ХИМИЯ

Олимпиады и конкурсные экзамены по ХИМИИ в МГУ

Лаборатория ЗНАНИЙ

ХИМИЯ

Олимпиады и конкурсные экзамены по ХИМИИ в МГУ

Под редакцией
профессора **Н. Е. Кузьменко**

3-е издание, электронное

Москва
Лаборатория знаний
2023

УДК 54 (076)
ББК 24я721
О-54

А в т о р ы:
Н. Е. Кузьменко, О. Н. Рыжова, В. И. Теренин,
Р. Л. Антипин, Е. Д. Демидова, В. В. Еремин,
С. И. Каргов, Е. В. Карпова, Е. А. Карпюк,
Д. А. Пичугина

Олимпиады и конкурсные экзамены по химии
О-54 в МГУ / Н. Е. Кузьменко, О. Н. Рыжова, В. И. Теренин [и др.] ; под ред. Н. Е. Кузьменко. — 3-е изд., электрон. — М. : Лаборатория знаний, 2023. — 670 с. — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-93208-657-5

Данное пособие отличается от большинства подобных изданий, предназначенных для абитуриентов, тем, что крупнейший отечественный вуз — Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова — представляет все варианты экзаменационных и олимпиадных заданий по химии, предлагавшихся на университетских олимпиадах и вступительных экзаменах на факультетах МГУ за шесть лет. Для каждого варианта приведены подробные решения заданий, указания к решению и ответы.

Для абитуриентов, поступающих в вузы на химические, медицинские и биологические специальности, а также для школьников старших классов и учителей химии.

УДК 54 (076)
ББК 24я721

Деривативное издание на основе печатного аналога: Олимпиады и конкурсные экзамены по химии в МГУ / Н. Е. Кузьменко, О. Н. Рыжова, В. И. Теренин [и др.] ; под ред. Н. Е. Кузьменко. — 2-е изд. — М. : Лаборатория знаний, 2020. — 667 с. : ил. — ISBN 978-5-00101-240-5.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации

ISBN 978-5-93208-657-5 © Лаборатория знаний, 2019

УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Традиция проведения вступительных испытаний по химии в письменной форме существует в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова уже более четверти века — с 1990 года. И все это время коллектив сотрудников химического факультета МГУ, которые в течение многих лет занимаются организацией, проведением и проверкой работ участников вступительных письменных экзаменов и олимпиад по химии, ежегодно публикует все варианты заданий на соответствующих испытаниях (вступительных экзаменах и олимпиадах «Абитуриент МГУ» в 90-е годы, а затем «Покори Воробьёвы горы!» и «Ломоносов»). В этой серии[1], посвященной материалам вступительных экзаменов и олимпиад по химии, это уже четвертая книга; она содержит все задания за шесть лет, 2011–2016 гг.

Мы считаем, что эти пособия выполняют очень важную обучающую функцию. Школьники и абитуриенты получают возможность погрузиться в задания, которые предлагались на прошедших испытаниях, что ориентирует читателя на уровень сложности, круг возможных тем, типы задач, а также знакомит с компоновкой экзаменационного билета или олимпиадного задания. Любая конкурсная задача проживает две жизни. Во-первых, на экзамене или на олимпиаде, где реализуется главная цель проводимых испытаний — отбор самых достойных по уровню знаний. Во-вторых, будучи опубликованными с подробным решением, задачи служат обучению, подготовке и мотивации к изучению химии многих поколений старшеклассников.

В книге две части: I. Задания и II. Решения и ответы.

В первой части представлены задания, предлагаемые на вступительном (дополнительном) письменном экзамене в МГУ (так называемом «внутреннем» экзамене), а также на заместительном экзамене (вместо ЕГЭ), который пишут в стенах МГУ иностранные граждане, желающие стать студентами университета, но не имеющие оценок ЕГЭ. Кроме того, первая часть содержит задания заочных и очных туров университетских олимпиад по химии «Покори Воробьёвы горы!»

---

[1] *Кузьменко Н. Е.*, *Еремин В. В.*, *Чуранов С. С.* Сборник конкурсных задач по химии. — М.: Экзамен, 2001.
Кузьменко Н. Е., *Теренин В. И.*, *Рыжова О. Н.* и др. Химия: формулы успеха на вступительных экзаменах / Под ред. Н. Е. Кузьменко, В. И. Теренина. — М.: Изд-во МГУ: Наука, 2006.
Кузьменко Н. Е., *Теренин В. И.*, *Рыжова О. Н.* и др. Вступительные экзамены и олимпиады по химии: опыт Московского университета / Под ред. Н. Е. Кузьменко, О. Н. Рыжовой, В. И. Теренина. — М.: Изд-во МГУ: 2011, 2012, 2018.

и «Ломоносов». Задания сгруппированы по годам и приведены почти в том же виде (в форме экзаменационных билетов или олимпиадных комплектов), в каком они предлагались школьникам; внесены только редакционные изменения.

Вторая часть содержит развернутые решения и/или ответы (в том случае, если задание предлагалось в нескольких вариантах). Как правило, подробное решение приведено к одному варианту, к остальным вариантам даны ответы.

Это пособие адресовано школьникам старших классов — будущим абитуриентам. Но, конечно же, эту книгу могут с успехом использовать также школьные учителя и преподаватели, углубленно занимающиеся со школьниками, интересующимися химией, подготовкой для поступления в вузы и к участию в предметных олимпиадах или к сдаче ЕГЭ по химии.

Приглашаем попробовать свои силы на вступительном экзамене в МГУ или на олимпиаде по химии «Ломоносов»!

Искренне желаем успеха всем школьникам и абитуриентам!

НЕСКОЛЬКО ПОЛЕЗНЫХ СОВЕТОВ

Обсудим особенности письменных испытаний по химии в Московском университете. Речь пойдет о двух разных экзаменах и двух олимпиадах, в каждой олимпиаде два тура — заочный и очный.

Поговорим об экзаменах. Вступительный (дополнительный, или так называемый «внутренний») письменный экзамен по химии проводится в МГУ для абитуриентов химического факультета, а также факультетов фундаментальной медицины и физико-химической инженерии. Результаты этого экзамена суммируются с баллами ЕГЭ по четырем предметам, которые требуются при поступлении на выбранный факультет. Другой экзамен — заместительный (вместо ЕГЭ) — для абитуриентов-иностранцев, поступающих в МГУ в общем конкурсе, но не сдававших ЕГЭ по химии; экзаменационный билет включает 10 письменных заданий и по сложности соответствует требованиям ЕГЭ, а по структуре похож на вступительный (дополнительный) экзамен в МГУ. Абитуриенты сдают этот экзамен в ходе университетской приемной кампании. Кроме того, в книгу включены все материалы по олимпиадам (задания и решения с ответами). Олимпиада по химии «Покори Воробьёвы горы!» последний раз проводилась в 2013 г. Олимпиада по химии «Ломоносов» — одна из самых массовых, в ее заочном туре участвуют порядка трех с половиной тысяч школьников. В олимпиаде могут участвовать даже младшие школьники (5–9 классы), для них на заочном и очном турах имеются специальные задания. Старшеклассникам (10–11 классы) предлагаются задания, похожие (по структуре и сложности) на задания вступительного (дополнительного) экзамена в МГУ, причем некоторые олимпиадные задачи требуют для решения развитой химической эрудиции.

Экзаменационный билет или задание олимпиады по химии «Ломоносов» для старшеклассников включает 10 заданий, среди которых расчетные и качественные задачи (последние не требуют проведения вычислений). К качественным задачам можно отнести, например, такие, где надо написать уравнение реакции, структурные формулы соединения или его изомеров. Более сложный вариант качественного задания — традиционные «цепочки превращений», включающие до шести реакций. Каждый билет компонуется так, чтобы охватить большинство разделов «Программы по химии для поступающих в МГУ» (приведена в конце этого пособия). В билетах, предлагаемых на экзамене или олимпиаде, указана максимальная оценка (в баллах) за каждый из 10 вопросов. Как и на ЕГЭ, на вступительном экзамене или олимпиаде по химии «Ломоносов» максимальная оценка в сумме

составляет 100 баллов, а минимальная положительная оценка определена в 36 баллов. Особенность олимпиад состоит в том, что на олимпиаде нет неудовлетворительных оценок, участник получает именно ту сумму баллов, которую он набрал (даже если этих баллов немного, к примеру, всего 10).

Предлагаемые в экзаменационных билетах вопросы и задачи оцениваются дифференцированно в зависимости от уровня сложности, то есть числа операций, необходимых для получения ответа. В каждом варианте задания расположены по возрастанию сложности, в этом же порядке увеличивается максимальная оценка.

Первое и второе задания требуют, как правило, просто воспроизвести материал школьного учебника. Это задание 4 балла.

Следующие три расчетные или качественные задачи типовые, с максимальной оценкой 6–10 баллов. По уровню сложности эти задачи такие же, как в школьном учебнике (после изложения определенной темы).

Шестая задача расчетная. Максимальная оценка 12 баллов. Для ее успешного решения требуется несколько логических операций.

В двух следующих заданиях (**7** и **8**), как правило, надо написать уравнения реакций для цепочки из шести превращений. Эти задания имеют такую же оценку, как шестая задача, — 12 баллов. Особенность качественных задач (чаще всего это относится именно к цепочкам превращений и задачам на распознавание веществ или разделение смесей) состоит в том, что решить их можно не одним, а несколькими различными (конечно же, правильными) способами. Экзаменационная комиссия ежегодно получает в работах абитуриентов неожиданные, но совершенно правильные варианты решений, и мы по возможности с удовольствием их публикуем.

Два последних задания (**9** и **10**) экзаменационного билета представлены комбинированными задачами по неорганической и органической химии, состоящими как бы из нескольких типовых задач. Максимальная оценка за эти задачи достигает 16 баллов.

Для успешного выполнения олимпиадных и экзаменационных заданий по химии необходима хорошая теоретическая база, получить которую можно, работая с учебными пособиями, энциклопедиями и справочниками по химии. Наши рекомендации по этому поводу приведены в конце книги.

Одна из особенностей университетских вступительных экзаменов и олимпиад по химии — ощутимая насыщенность решений математикой. Знакомясь с материалами книги, вы можете сами убедиться, что половина (а иногда — и больше) задач в билете расчетные. Это неудивительно. Химия, как и другие современные естественные науки, неразрывно связана с математикой, поскольку при описании свойств веществ и химических реакций используются математиче-

ские модели и вычислительные методы. Поэтому наш совет школьникам: готовясь к экзаменам и олимпиадам по химии, *обязательно углубленно изучайте математику*! При решении химических задач вам может потребоваться решить систему линейных уравнений или квадратное уравнение, вычислить площадь фигуры или объем тела, использовать натуральные и десятичные логарифмы и показательные функции. Будьте всегда внимательны к единицам измерения величин и грамотно используйте правила округления!

Теперь несколько *практических советов*, непосредственно относящихся к выполнению (написанию) олимпиадной или экзаменационной работы.

Вступительный экзамен в МГУ и университетские олимпиады по химии отличаются от испытаний по некоторым другим предметам и от ЕГЭ отсутствием тестовых заданий. И это очень важно. Ведь в итоге работы над тестовыми заданиями получают набор кратких ответов, а ход решения и расчеты остаются на черновиках. На письменном экзамене или олимпиаде ситуация совершенно иная. В экзаменационном билете по химии абитуриентам предлагают 10 заданий, качественных или расчетных, и в каждом задании надо привести развернутое решение — полностью весь ход решения со всеми промежуточными вычислениями. Экзаменационная комиссия или жюри олимпиады проверяет работы не по ответам (как в случае тестов), а внимательно разбирая весь ход решения. При этом положительно оцениваются все правильные действия даже в том случае, если абитуриент получил неправильный итоговый ответ. Это означает, что, к примеру, за 10-балльное задание можно получить 1, 2, 3 и т. д. балла, вплоть до 10 баллов, в зависимости от того, насколько вы продвинулись по правильному пути решения. Отсюда совет — оформляйте «чистовик» достаточно подробно, чтобы экзаменаторы могли проследить логику вашего решения. Оценка за работу, где в «чистовике» имеются одни лишь ответы (даже если они правильные), будет ниже.

Еще один важный совет относится к оформлению. Каждый из учебных предметов имеет свои особенности, а в химии много формул, химических и структурных, и уравнений реакций. Договоримся сразу с будущими абитуриентами и участниками олимпиад о том, что следует понимать под уравнением реакции. *В уравнении* должны быть указаны все реагенты и все продукты, а также поставлены правильные стехиометрические коэффициенты (*реакция должна быть уравнена*). Кроме того, надо указать условия проведения реакции (те специфические условия, без которых реакция не пойдет или протекает очень медленно). В противном случае это не уравнение реакции, а ее схема. Проиллюстрируем это на примере реакции окисления сульфита калия.

$$K_2SO_3 \xrightarrow{[O]} K_2SO_4$$

Здесь не указан конкретный окислитель и не приведены все продукты реакции, не говоря уже о стехиометрических коэффициентах. Это *схема реакции*.

Напишем теперь *уравнение реакции* окисления сульфита калия перманганатом калия в кислой среде:

$$5K_2SO_3 + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow 6K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 3H_2O$$

Именно такая запись представляет собой уравнение химической реакции, поскольку здесь приведены все реагенты и все продукты с правильными стехиометрическими коэффициентами.

В уравнениях реакций с участием органических соединений необходимо записывать структурные формулы веществ, однозначно отражающие порядок соединения атомов в молекуле. Например, реакцию присоединения бромоводорода к пропилену можно «ловко» записать, используя брутто-формулы веществ:

$$C_3H_6 + HBr \rightarrow C_3H_7Br$$

Вроде бы все правильно. Но здесь нет информации о том, какой именно изомер бромпропана получен (поэтому нет ясности, знаком ли школьник с правилом Марковникова). Правильная запись:

$$CH_3-CH=CH_2 + HBr \longrightarrow CH_3-\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{CH}}-CH_3$$

Последний совет школьникам: приступая к решению задач на экзамене или олимпиаде «Ломоносов», разумно оцените сложность задач и распределите время. На письменное испытание в университете отводится четыре астрономических часа (240 минут). Необходимо заранее предусмотреть не менее получаса на оформление «чистовика», то есть на перенесение решения задач из черновика. Советуем начать работу с простых задач, оставив наиболее трудные и емкие по времени напоследок. Если задача не получается «сходу», отложите ее и попробуйте решить другие. К отложенной задаче можно вернуться, если останется время, в противном случае вы рискуете потратить все четыре часа на решение одной задачи и не успеть решить другие, более доступные, потеряв на этом баллы.

Желаем успеха в познании химии всем нашим читателям!

ЧАСТЬ I. ЗАДАНИЯ

2011 ГОД

ОЛИМПИАДА «ПОКОРИ ВОРОБЬЁВЫ ГОРЫ!»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. Приведите по два примера соединений разных классов, в которых атом селена имеет минимальную (а) и максимальную (б) степени окисления.

2. Напишите электронную конфигурацию атома в невозбужденном состоянии, у которого общее число *s*-электронов равно общему числу *d*-электронов.

3. Сколько граммов $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ нужно добавить к 120 г 5,0%-го раствора сульфата меди, чтобы массовая доля соли в растворе увеличилась в 3 раза?

4. Рассчитайте pH раствора муравьиной кислоты с концентрацией 0,01 моль/л. Константа диссоциации муравьиной кислоты $1{,}77 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

5. Даны эквимолярные количества следующих солей: $(NH_4)_2CO_3$, NH_4HCO_3, $(NH_4)_2C_2O_4$, $(NH_4)_2Cr_2O_7$, NH_4NO_2, NH_4NO_3. Какая из этих солей при термическом разложении выделит самое большое количество воды?

6. Какой объем углекислого газа (н. у.) надо пропустить через 200 г 1,71%-го раствора гидроксида бария, чтобы масса выпавшего осадка составила 1,97 г, а раствор над осадком не давал окраски с фенолфталеином?

7. Константа равновесия реакции

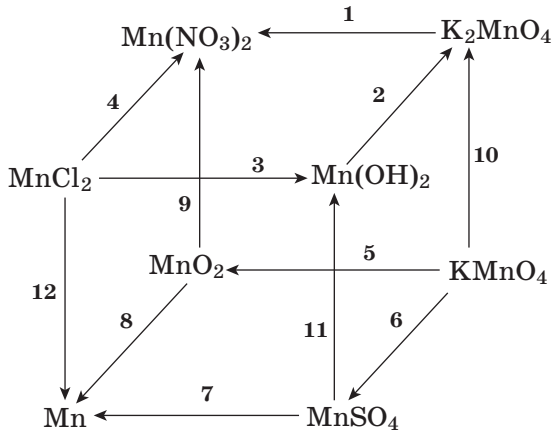
$$CaCO_3(т) \rightleftarrows CaO(т) + CO_2(г)$$

равна $3{,}9 \cdot 10^{-2}$ атм при 1000 К. Для реакции

$$C(т) + CO_2(г) \rightleftarrows 2CO(г)$$

при этой температуре константа равновесия равна 1,9 атм. Рассчитайте равновесные давления диоксида углерода и монооксида углерода над смесью углерода, карбоната кальция и оксида кальция при 1000 К.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия протекания реакций.

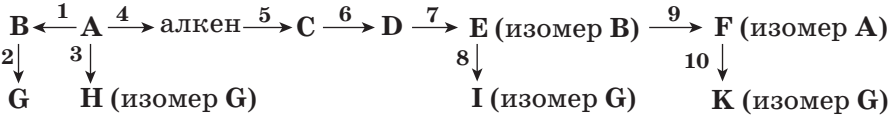


9. Принадлежность крови человека к одной из групп обусловлена наличием определенных олигосахаридов. Так, одним из олигосахаридов, определяющих принадлежность крови к группе B, является олигосахарид с относительной молекулярной массой 488. Какие моносахариды могут входить в состав этого олигосахарида?

10. В зависимости от условий проведения окисления вещества **A** кислородом воздуха образуются разные продукты: при прямом окислении — вещество **B**, при каталитическом окислении на одном катализаторе — вещество **C**, а на другом катализаторе — вещество **D**. Вещества **B**, **C** и **D** имеют одинаковую молярную массу. Определите вещества **A**, **B**, **C** и **D**. Напишите уравнения реакций, укажите условия их протекания.

11. Соль **X**, полученную при растворении оксида магния в бромоводородной кислоте и выпаривании раствора, нагрели на воздухе и получили вещество **Y**. Определите формулы веществ и напишите уравнения реакций, если в **X** массовая доля брома 54,8%, в **Y** — 71,4%.

12. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующую схему превращений:



Укажите условия протекания реакций. Напишите структурные формулы всех веществ и назовите их.

ОЧНЫЙ ТУР

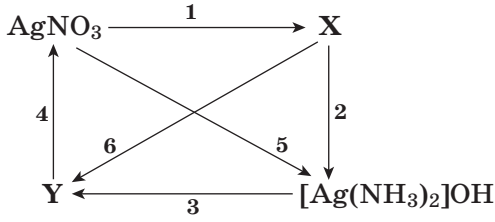
ВАРИАНТ 1

1. Напишите электронную конфигурацию атома в невозбужденном состоянии, у которого общее число *d*-электронов в 2 раза больше числа *s*-электронов.

2. В сосуде объемом 4,48 л при 0 °С смешали 18,25 г хлороводорода, 4 г водорода и 17 г аммиака. Определите давление газа в сосуде.

3. При концентрации раствора иодноватистой кислоты HIO 0,01 моль/л степень диссоциации кислоты 0,01%. Определите pH этого раствора.

4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания:



Определите вещества **X** и **Y**.

5. Напишите структурную формулу изомера 3-аминобензойной кислоты, о котором известно следующее:

а) этот изомер не реагирует с раствором $NaHCO_3$, но реагирует с разбавленным раствором NaOH;

б) этот изомер не реагирует с бромной водой, но реагирует с разбавленным раствором HCl.

Напишите уравнения реакций.

6. После нагревания 22,12 г перманганата калия получили твердый остаток массой 21,16 г. Какой максимальный объем хлора (н. у.) можно получить при действии на полученную смесь 36,5%-й соляной кислоты (плотность 1,18 г/мл)? Какой объем кислоты при этом расходуется?

7. Для полного гидролиза смеси двух сложных эфиров массой 3,42 г потребовалось 20 г 10%-го раствора гидроксида натрия. При добавлении к такому же количеству смеси избытка аммиачного раствора оксида серебра выделилось 4,32 г осадка. Определите строение сложных эфиров и их мольные доли в исходной смеси.

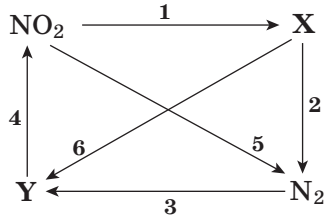
ВАРИАНТ 2

1. Напишите электронную конфигурацию атома в невозбужденном состоянии, у которого общее число *p*-электронов в 2 раза больше числа *s*-электронов.

2. В сосуде объемом 5,6 л при 0 °С смешали 36,5 г хлороводорода, 7,1 г хлора и 3,4 г аммиака. Определите давление в сосуде.

3. При концентрации раствора синильной кислоты HCN 0,2 моль/л степень диссоциации кислоты 0,005%. Определите pH этого раствора.

4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания:



Определите вещества **X** и **Y**.

5. Напишите структурную формулу изомера 4-аминобензойной кислоты, о котором известно следующее:

а) этот изомер не реагирует с бромной водой и с разбавленным раствором NaOH;

б) этот изомер реагирует с бромной водой и с разбавленным раствором NaOH.

Напишите уравнения реакций.

6. Навеску нитрата марганца прокалили, выделившийся газ собрали. К твердому остатку добавили избыток концентрированной соляной кислоты. Выделившийся в этой реакции газ смешали с первым газом; объем этой газовой смеси 3,36 л (н. у.), плотность 2,426 г/л. Какова масса исходной навески нитрата марганца?

7. Соединение содержит 57,83% углерода, 3,62% водорода (по массе) и кислород. Образец этого вещества массой 3,32 г может без остатка прореагировать с 20 мл 2 М раствора гидроксида калия; при нагревании такого же образца до 200 °С его масса уменьшается до 2,96 г. Установите строение этого соединения.

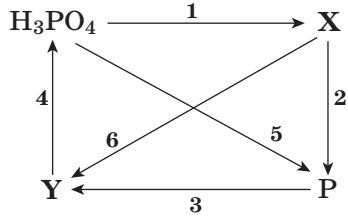
ВАРИАНТ 3

1. Напишите электронную конфигурацию атома в невозбужденном состоянии, у которого общее число *s*-электронов в 4 раза больше числа *d*-электронов.

2. В сосуде объемом 6,72 л при 0 °С смешали 8,1 г бромоводорода, 6 г этана и 9,3 г метиламина. Определите давление в сосуде.

3. При концентрации раствора хлорноватистой кислоты HClO 0,0034 моль/л степень диссоциации кислоты 0,294%. Определите pH этого раствора.

4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:



Определите вещества **X** и **Y**.

5. Напишите структурную формулу изомера 4-аминобензойной кислоты, о котором известно следующее:

а) этот изомер не реагирует с разбавленным раствором HCl и с разбавленным раствором NaOH;

б) этот изомер не содержит аминогруппу, но реагирует с разбавленным раствором NaOH и с разбавленным раствором HCl.

Напишите уравнения реакций.

6. Навеску дихромата калия прокалили, выделившийся газ собрали. К твердому остатку добавили избыток концентрированной соляной кислоты. Газ, полученный в этой реакции, смешали с первым газом; объем газовой смеси составил 10,08 л (н. у.), плотность 2,589 г/л. Какова масса исходной навески дихромата калия?

7. Соединение содержит 41,38% углерода, 3,45% водорода (по массе) и кислород. Образец массой 2,32 г может без остатка прореагировать с 20 мл 2 М раствора гидроксида натрия или с 160 г 2%-го раствора бромной воды; при нагревании такого же образца до 100 °С его масса уменьшается до 1,96 г. Установите строение соединения.

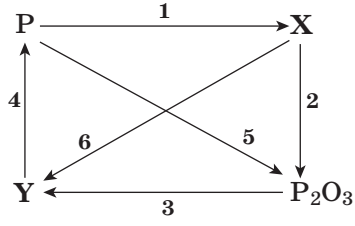
ВАРИАНТ 4

1. Напишите электронную конфигурацию атома в невозбужденном состоянии, у которого общее число *p*-электронов в 2 раза больше числа *d*-электронов.

2. В сосуде объемом 8,96 л при 0 °С смешали 16,2 г бромоводорода, 2 г водорода и 12,4 г метиламина. Определите давление в сосуде.

3. При концентрации раствора бромноватистой кислоты HBrO 0,05 моль/л степень диссоциации кислоты 0,02%. Определите pH этого раствора.

4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания.



Определите вещества **X** и **Y**.

5. Напишите структурную формулу изомера 2-аминобензойной кислоты, о котором известно следующее:

а) этот изомер не реагирует с разбавленным раствором HCl, но реагирует с разбавленным раствором NaOH;

б) этот изомер не реагирует с разбавленным раствором NaOH, но реагирует с разбавленным раствором HCl.

Напишите уравнения реакций.

6. Навеску нитрата серебра прокалили, выделившийся газ собрали. К твердому остатку добавили избыток концентрированной азотной кислоты. Газ, полученный в этой реакции, смешали с первым газом; объем полученной газовой смеси составил 5,6 л (н. у.), плотность 1,929 г/л. Какова масса исходной навески?

7. Соединение содержит 40,68% углерода, 5,08% водорода (по массе) и кислород. Образец этого вещества массой 3,54 г может без остатка прореагировать с 30 мл 2 М раствора гидроксида натрия; при нагревании такого же образца до 250 °С его масса уменьшается до 3,00 г. Установите строение этого соединения.

ВАРИАНТ 5

1. Напишите электронную конфигурацию атома в невозбужденном состоянии, у которого число *s*-электронов и *d*-электронов равно.

2. В сосуде объемом 13,44 л при 0 °С смешали 25,6 г иодоводорода, 6 г водорода и 15,5 г метиламина. Определите давление в сосуде.

3. Константа равновесия реакции $CO(г) + H_2O(г) \rightleftarrows CO_2(г) + H_2(г)$ при некоторой температуре равна 2,0. Рассчитайте массу воды, которую нужно добавить в сосуд объемом 50 л, содержащий 70 г CO и 5 г H_2, чтобы после установления равновесия степень превращения CO в CO_2 составила 60%.

4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания. Определите вещество **X**.

$$CO_2 \leftarrow C_2H_8N_2O_4 \rightarrow N_2O_3H_4 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow NH_4Cl \rightarrow N_2$$

5. Напишите структурную формулу изомера 4-аминобензойной кислоты, о котором известно следующее:

а) этот изомер не реагирует с раствором $NaHCO_3$, но реагирует с разбавленным раствором HCl;

б) этот изомер не реагирует с разбавленным раствором H_2SO_4, но реагирует с разбавленным раствором KOH.

Напишите уравнения реакций.

6. При прокаливании навески смеси дихромата калия и дихромата аммония выделился газ, плотность которого равна плотности воздуха (при 25 °С). При обработке такой же навески соляной кислотой, взятой в избытке, выделился газ объемом 488,9 мл (25 °С, 1 атм). Определите массу навески исходной смеси дихроматов и ее состав (в масс. %).

7. Для полного гидролиза 7,19 г смеси двух сложных эфиров потребовалось 80 г 7%-го раствора гидроксида калия. При добавлении к такому же количеству смеси избытка аммиачного раствора оксида серебра выделилось 3,24 г осадка. Определите строение сложных эфиров и их содержание в исходной смеси в мольных процентах.

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. Напишите формулы веществ, в которых атом кислорода имеет степень окисления: а) +2; б) +1; в) −1; г) $-{}^{1}/_{2}$; д) $-{}^{1}/_{3}$. Какое строение имеют эти вещества — молекулярное или немолекулярное?

2. В оксиде какого элемента самая большая массовая доля кислорода? Какой оксид находится на втором месте по этому показателю?

3. В природе известны два устойчивых изотопа водорода и три устойчивых изотопа кислорода. Сколько существует разных типов устойчивых молекул воды?

4. При растворении металла в избытке соляной кислоты выделилось 4,48 л газа (н. у.) и образовалось 17,8 г хлорида. Какой металл был взят?

5. Напишите структурные формулы шести веществ состава C_3H_6O, относящихся к разным классам органических соединений. Какие из них могут существовать в виде оптических изомеров?

6. Даны разбавленные растворы одинаковой молярной концентрации следующих веществ: LiOH, $(CuOH)_2CO_3$, $Na[Al(OH)_4]$, KOH, $[Cu(NH_3)_4](OH)_2$. В каком растворе концентрация гидроксильных групп самая большая?

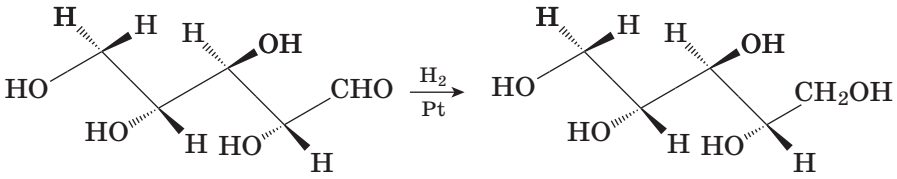
7. Какие вещества реагируют с $KMnO_4$: HCl, K_2SO_3, CO_2, KNO_3, $CH_2{=}CH{-}CH_3$, $C_6H_5CH_3$? Напишите уравнения всех возможных реакций и укажите условия их протекания.

8. При растворении 62,4 г смеси оксида железа(II, III) и оксида железа(III) в 500 г 80%-й серной кислоты получили раствор массой 556 г. Определите массовую долю соли в этом растворе.

9. Смешали газообразные вещества $\mathbf{A_2}$ и $\mathbf{B_2}$ в молярном соотношении 2 : 1; после установления равновесия число гетероядерных молекул **AB** в смеси оказалось равным общему числу гомоядерных молекул. Рассчитайте константу равновесия реакции $\mathbf{A_2} + \mathbf{B_2} \rightleftarrows 2\mathbf{AB}$. Если при тех же условиях вещества $\mathbf{A_2}$ и $\mathbf{B_2}$ смешать в равных количествах, во сколько раз гетероядерных молекул будет больше?

10. Для полного гидролиза 5,8 г сложного эфира потребовалось 40 г 10%-го раствора гидроксида натрия. Раствор после гидролиза нагрели с избытком подкисленного раствора перманганата калия, при этом выделилось 4,48 л (н. у.) углекислого газа. Установите строение сложного эфира, напишите уравнения реакций гидролиза и окисления.

11. При гидрировании соединения **A** на платиновом катализаторе образуется соединение **B**. Сколько асимметрических центров в соединениях **A** и **B**? Сколько стереоизомеров у этих соединений? Проявляют ли оптическую активность соединения **A** и **B**? Ответы поясните.



A **B**

12. Монослой графита — двумерную сетку правильных шестиугольников из атомов углерода — называют графеном. В 2004 г. А. Гейм и К. Новосёлов, работающие в Англии, смогли выделить такой слой из монокристалла графита и поместить эту тончайшую пленку на поверхность кремниевой подложки. В октябре 2010 г. это достижение было отмечено Нобелевской премией по физике.

1) Какова валентность углерода в графене?
2) Рассчитайте массу графенового квадрата размером 10×10 мм. Длину связи C—C в графите найдите в справочной литературе.
3) В графене углерод для насыщения своих свободных валентностей способен образовывать связи с газообразными веществами. Какое максимальное число атомов водорода может присоединить графеновый квадрат со стороной 10 мм?

ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. Предложите формулы двух соединений, в состав которых входят положительные ионы с электронной конфигурацией $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ и отрицательные ионы с электронной конфигурацией $1s^2 2s^2 2p^6$. Напишите уравнения реакций образования этих соединений из простых веществ.

2. Приведите примеры уравнений двух реакций, в результате которых из жидкого и твердого (при комнатной температуре) соединений можно получить соли.

3. Смесь цинка и нитрата цинка прокалили на воздухе, при этом масса смеси не изменилась. Определите массовые доли компонентов в исходной смеси.

4. Какой объем раствора азотной кислоты с молярной концентрацией 0,2 моль/л необходимо прилить к 500 мл воды для получения раствора с pH 3 (25 °C)?

5. Имеется смесь Al, Fe и Cu. Как химическим путем выделить каждый из металлов в индивидуальном виде? Опишите ход проведения процесса и напишите уравнения реакций.

6. Установите строение трипептида, в котором число атомов углерода в 2,8 раза больше числа атомов азота и в 3,5 раза больше числа

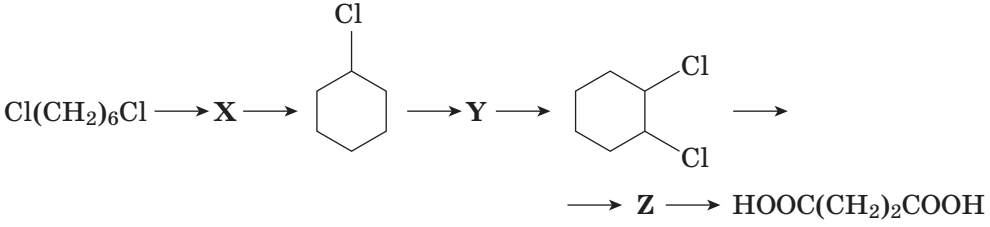
атомов кислорода. При частичном гидролизе этого трипептида образуются два изомерных дипептида; для полного гидролиза 1 моль трипептида требуется 3 моль гидроксида калия.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$CO_2 \rightarrow CH_8N_2O_3 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow NO \rightarrow NO_2 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow PH_3O_4$$

Укажите условия их протекания. Определите вещества **X** и **Y**.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Укажите структурные формулы всех веществ и условия протекания реакций. Определите вещества **X**, **Y** и **Z**.



9. В колбу с горячей 90%-й серной кислотой внесли смесь меди и оксида железа(II). После полного растворения смеси в кислоте масса раствора в колбе увеличилась на 12,0 г. Такую же навеску исходной смеси внесли в другую колбу с горячей 90%-й азотной кислотой. После полного растворения смеси масса раствора в колбе увеличилась на 5,0 г. Определите массу исходной смеси.

10. К образцу одноосновной карбоновой кислоты массой 15,6 г добавили водный раствор гидроксида кальция. Раствор упарили, осадок прокалили при 401 °C, при этом выделилась смесь газов (плотность 0,47 г/л) и остался твердый остаток массой 21,0 г. При добавлении к этому остатку избытка соляной кислоты выделилось 5,08 л газа (плотность 1,82 г/л при 22 °C). Определите карбоновую кислоту и рассчитайте количество газа, выделившегося при прокаливании осадка. Все процессы проводили при давлении 1 атм.

ВАРИАНТ 2

1. Предложите формулы двух соединений, в состав которых входят только ионы с электронной конфигурацией $1s^2 2s^2 2p^6$. Напишите уравнения реакций образования этих соединений из простых веществ.

2. Приведите примеры уравнений двух реакций, в результате которых из двух жидких (при комнатной температуре) соединений можно получить кислоты.

3. Смесь хрома и нитрата хрома(III) прокалили на воздухе, при этом масса смеси не изменилась. Определите массовые доли компонентов в исходной смеси.

4. Какой объем раствора гидроксида лития (молярная концентрация 1,2 моль/л) необходимо прилить к 750 мл воды для получения раствора с pH 13 (25 °C)?

5. Имеется смесь Fe, Zn и Cu. Как химическим путем выделить каждый металл в индивидуальном виде? Опишите ход проведения процесса. Напишите уравнения реакций.

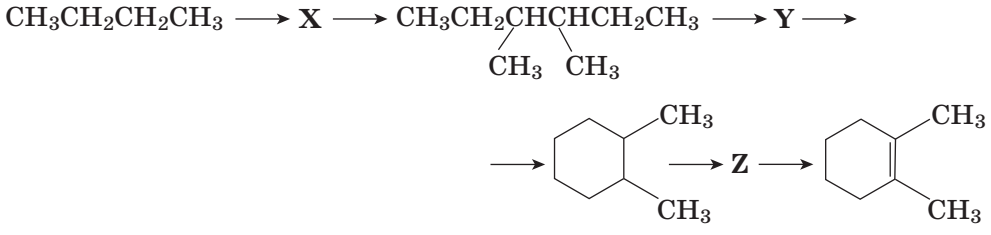
6. Установите строение трипептида, если известно, что число атомов углерода в нем в 3 раза больше числа атомов азота и в 1,8 раза больше числа атомов кислорода. При частичном гидролизе этого пептида образуются два изомерных дипептида; для полного гидролиза 1 моль этого трипептида требуется 3 моль гидроксида калия.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$CO_2 \rightarrow CrH_3O_3 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow CrK_2O_4 \rightarrow Cr_2K_2O_7 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow PCrO_4$$

Укажите условия их протекания. Определите вещества **X** и **Y**.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы всех веществ и условия протекания реакций. Определите вещества **X**, **Y** и **Z**.

9. В колбу с горячей 85%-й серной кислотой внесли смесь гидроксида железа(II) и оксида меди(I). После полного растворения смеси в кислоте масса колбы с раствором увеличилась на 19,6 г. Точно такую же навеску исходной смеси внесли в другую колбу с горячей 85%-й азотной кислотой. После полного растворения смеси масса колбы с раствором увеличилась на 14 г. Определите массу навески исходной смеси.

10. К одноосновной карбоновой кислоте массой 96,0 г добавили водный раствор гидроксида бария. Раствор упарили, осадок прокалили при 380 °C, при этом выделилась смесь газов (плотность 0,56 г/л) и остался твердый остаток массой 236,4 г. При добавлении к этому остатку избытка соляной кислоты выделилось 29,04 л газа (плотность 1,82 г/л при 22 °C). Определите карбоновую кислоту и рассчитайте количество газа, выделившегося при прокаливании осадка. Все процессы проводили при давлении 1 атм.

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

1. Приведите формулы двух газообразных (при н. у.) веществ, плотность каждого из которых равна плотности пропана.

2. Сколько протонов и электронов содержит хлорат-ион ClO_3^-? Напишите уравнение реакции, в которой этот ион — окислитель.

3. Напишите уравнения электролиза водного раствора: а) иодида стронция; б) сульфата лития.

4. Установите строение природной аминокислоты, в реакции которой с этиловым спиртом образуется соединение, молярная масса которого на 37,33% больше молярной массы исходной кислоты.

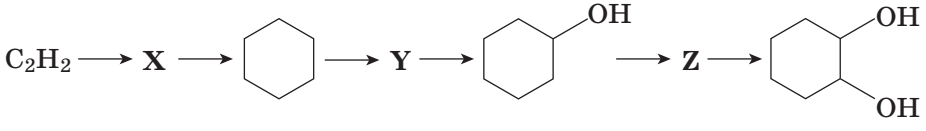
5. В реакционный сосуд объемом 1 л поместили 1,5 моль CO, 2,5 моль H_2O и 1 моль CO_2. При некоторой температуре установилось равновесие $CO(г) + H_2O(г) \rightleftarrows CO_2(г) + H_2(г)$. Степень превращения CO в CO_2 составила 60%. Рассчитайте константу равновесия этой реакции при данной температуре.

6. Рассчитайте температурный коэффициент Вант-Гоффа химической реакции в температурном интервале 12–52 °C, если энергия активации этой реакции 96,5 кДж/моль.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания:

$$H_2S \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow SO_2 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow ZnO \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow ZnH_4K_2O_4$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы всех веществ и условия протекания реакций.

9. Сплав алюминия с цинком массой 4,57 г полностью растворили в 43,75 мл 70%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,44 г/мл). В реакции выделилось 7,68 л газа (15 °C, 1 атм). К раствору добавили 35 г гидрокарбоната натрия. Рассчитайте мольные доли металлов в сплаве, массу осадка и объем газа (15 °C, 1 атм) после реакции с гидрокарбонатом натрия. Напишите уравнения реакций.

10. Смесь газов, образовавшихся при сжигании образца органического соединения **X** массой 2,96 г, пропущена последовательно че-

рез трубку с оксидом фосфора(V) и склянку с раствором гидроксида кальция. При этом масса трубки увеличилась на 3,6 г, в склянке образовался осадок массой 12,0 г, объем непоглощенного газа **Y** 984 мл (25 °C, 101,3 кПа). При добавлении к такому же образцу **X** избытка раствора азотистой кислоты образуется органическое соединение **Z** и выделяется вдвое больший объем газа **Y** (условия измерения те же). Установите состав **X** и **Y**. Напишите возможные структурные формулы этих соединений.

ВАРИАНТ 2

1. Приведите формулы двух газообразных (при н. у.) веществ, каждое из которых вдвое тяжелее аммиака.

2. Сколько протонов и электронов содержит бромат-ион BrO_3^-? Напишите уравнение реакции, в которой этот ион — окислитель.

3. Напишите уравнения электролиза водных растворов: а) сульфата магния; б) хлорида меди(II).

4. Установите строение природной аминокислоты, в реакции которой с этиловым спиртом образуется соединение, молярная масса которого на 18,54% больше молярной массы исходной кислоты.

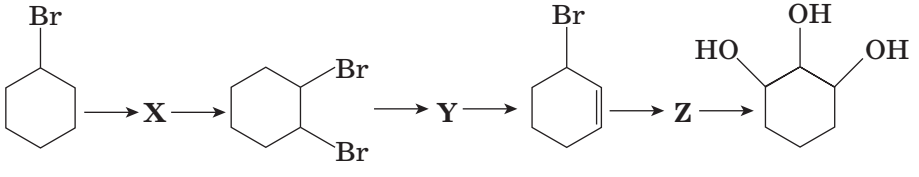
5. В реакционный сосуд объемом 1 л поместили 2 моль SO_2, 3 моль CO_2 и 1,5 моль CO. При некоторой температуре установилось равновесие $SO_2(г) + CO_2(г) \rightleftarrows SO_3(г) + CO(г)$. Степень превращения SO_2 в SO_3 составила 70%. Рассчитайте константу равновесия этой реакции при данной температуре.

6. Рассчитайте энергию активации химической реакции, если известно, что в интервале 12–52 °C температурный коэффициент Вант-Гоффа равен 3,5.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания:

$$NH_3 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow AgNO_3 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow Br_2 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow PH_3O_2$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы всех веществ и условия протекания реакций.

9. Сплав хрома с серебром массой 3,44 г полностью растворили в 22,94 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,373 г/мл).

В реакции выделилось 2,96 л газа (28 °С, 1 атм). К раствору добавили 17,5 г гидрокарбоната натрия. Рассчитайте мольные доли металлов в сплаве, массу осадка и объем газа (28 °С, 1 атм) в реакции с гидрокарбонатом натрия. Напишите уравнения реакций.

10. Смесь газов, образовавшихся при сжигании образца органического соединения **X** массой 1,8 г, пропущена последовательно через трубку с оксидом фосфора(V) и склянку с раствором гидроксида кальция. При этом масса трубки увеличилась на 2,16 г, в склянке образовался осадок массой 6,0 г, объем непоглощенного газа **Y** 758 мл (35 °С, 101,3 кПа). При добавлении к такому же образцу **X** избытка раствора азотистой кислоты образуется органическое соединение **Z** и выделяется вдвое больший объем газа **Y** (условия измерения те же). Установите состав соединений **X** и **Y**. Напишите возможные структурные формулы этих соединений.

ВАРИАНТ 3

1. Приведите формулы двух газообразных (при н. у.) веществ, плотность каждого из которых равна плотности азота.

2. Сколько протонов и электронов содержит сульфат-ион SO_4^{2-}? Напишите уравнение реакции, в которой этот ион — окислитель.

3. Напишите уравнение электролиза водных растворов: а) фосфорной кислоты; б) хлорида ртути(II).

4. Установите строение природной аминокислоты, в реакции которой с этиловым спиртом образуется соединение, молярная масса которого на 26,67% больше молярной массы исходной кислоты.

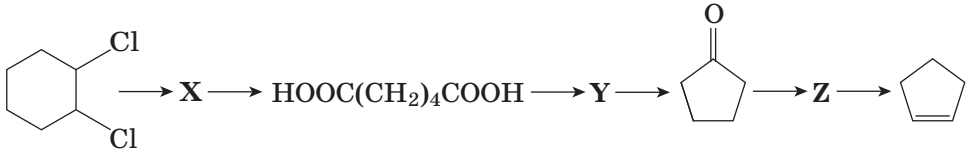
5. В реакционный сосуд объемом 1 л поместили 1 моль SO_3, 4 моль H_2 и 0,5 моль H_2O. При некоторой температуре установилось равновесие $SO_3(г) + H_2(г) \rightleftarrows SO_2(г) + H_2O(г)$. Степень превращения SO_3 в SO_2 составила 65%. Рассчитайте константу равновесия этой реакции.

6. Рассчитайте энергию активации химической реакции, если известно, что в интервале 11–51 °С температурный коэффициент Вант-Гоффа равен 3,6.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$O_3 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow KClO_3 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow SO_2 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow KAlO_2$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы всех веществ и условия протекания реакций.

9. Железо-цинковый сплав массой 4,66 г полностью растворили в 31,25 мл 70%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,44 г/мл). В реакции выделилось 5,29 л газа (20 °С, 1 атм). К раствору добавили 24,5 г гидрокарбоната натрия. Рассчитайте мольные доли металлов в сплаве, массу осадка и объем газа (20 °С, 1 атм) в реакции с гидрокарбонатом натрия. Напишите уравнения реакций.

10. Смесь газов, образовавшихся при сжигании образца органического соединения **X** массой 1,76 г, пропущена последовательно через трубку с оксидом фосфора(V) и склянку с раствором гидроксида стронция. При этом масса трубки увеличилась на 2,16 г, в склянке образовался осадок массой 11,84 г, объем непоглощенного газа **Y** 502 мл (33 °С, 101,3 кПа). При добавлении к такому же образцу **X** избытка раствора азотистой кислоты образуется органическое соединение **Z** и выделяется вдвое больший объем газа **Y** (условия измерения те же). Установите состав **X** и **Y**. Напишите возможные структурные формулы этих соединений.

ВАРИАНТ 4

1. Приведите формулы двух газообразных (при н. у.) веществ, плотность каждого из которых по неону равна 2.

2. Сколько протонов и электронов содержит хромат-ион CrO_4^{2-}? Напишите уравнение реакции, в которой этот ион — окислитель.

3. Напишите уравнения электролиза водных растворов: а) нитрата серебра; б) гидроксида калия.

4. Установите строение природной аминокислоты, если известно, что в реакции этой кислоты с этиловым спиртом образуется соединение, молярная масса которого на 31,46% больше молярной массы исходной кислоты.

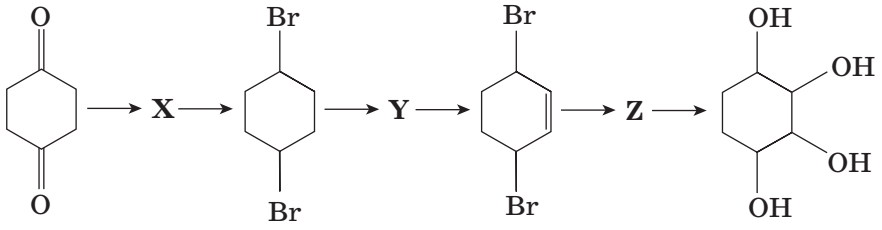
5. В реакционный сосуд объемом 1 л поместили 1 моль SO_3, 3 моль CO и 0,5 моль CO_2. При некоторой температуре установилось равновесие $SO_3(г) + CO(г) \rightleftarrows SO_2(г) + CO_2(г)$. Степень превращения SO_3 в SO_2 составила 85%. Рассчитайте константу равновесия этой реакции.

6. Рассчитайте энергию активации химической реакции, если известно, что в интервале 10–50 °С температурный коэффициент Вант-Гоффа равен 3,06.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$CO_2 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow SO_2 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow CrO_4NaH_4 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow NO_2$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы всех веществ и условия протекания реакций.

9. Алюминиево-марганцевый сплав массой 3,90 г полностью растворили в 45,34 мл 75%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,445 г/мл). В реакции выделилось 9,55 л газа (30 °С и 1 атм). К полученному раствору добавили 35 г гидрокарбоната натрия. Рассчитайте мольные доли металлов в сплаве, массу осадка и объем газа (30 °С, 1 атм) в реакции с гидрокарбонатом натрия. Напишите уравнения реакций.

10. Смесь газов, образовавшихся при сжигании образца органического соединения **X** массой 1,76 г, пропущена последовательно через трубку со свежепрокаленным хлоридом кальция и склянку с раствором гидроксида бария. При этом масса трубки увеличилась на 3,24 г, в склянке образовался осадок массой 23,64 г, объем непоглощенного газа **Y** 731 мл (24 °С, 101,3 кПа). При добавлении к такому же образцу **X** избытка раствора азотистой кислоты образуется органическое соединение **Z** и выделяется вдвое больший объем газа **Y** (условия измерения те же). Установите состав **X** и **Z**. Напишите возможные структурные формулы этих соединений.

ВАРИАНТ 5 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. Приведите формулы двух газообразных (при н. у.) веществ, плотность каждого из которых по гелию равна 8.

2. Сколько протонов и электронов содержит нитрит-ион NO_2^-? Напишите уравнение реакции, в которой этот ион — восстановитель.

3. Напишите уравнение электролиза водных растворов: а) бромоводорода; б) сульфата меди(II).

4. Установите строение природной аминокислоты, если в реакции этой кислоты с метиловым спиртом образуется соединение, молярная масса которого на 13,33% больше молярной массы исходной кислоты.

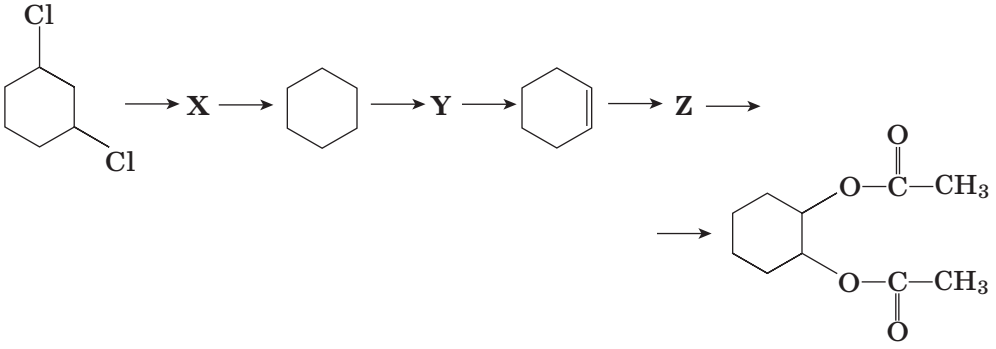
5. В реакционный сосуд объемом 1 л поместили 1,8 моль SO_3, 3,6 моль CO и 0,8 моль CO_2. При некоторой температуре установилось равновесие $SO_3(г) + CO(г) \rightleftarrows SO_2(г) + CO_2(г)$. Степень превращения SO_3 в SO_2 составила 75%. Рассчитайте константу равновесия этой реакции.

6. Рассчитайте энергию активации химической реакции, если известно, что в интервале 50–90 °С температурный коэффициент Вант-Гоффа равен 2,27.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания:

$$SO_2 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow NH_3 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow Ag \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow PAg_3O_4$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы всех веществ и условия протекания реакций.

9. Хромо-кобальтовый сплав массой 5,08 г полностью растворили в 37,79 мл 75%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,445 г/мл). В реакции выделилось 6,42 л газа (22 °С, 1 атм). К раствору добавили 33,5 г гидрокарбоната натрия. Рассчитайте мольные доли металлов в сплаве, массу осадка и объем газа (22 °С, 1 атм) в реакции с гидрокарбонатом натрия. Напишите уравнения реакций.

10. Смесь газов, образовавшихся при сжигании образца органического соединения **X** массой 2,4 г, пропущена последовательно через трубку со свежепрокаленным хлоридом кальция и склянку с раствором гидроксида бария. При этом масса трубки увеличилась на 2,88 г, в склянке образовался осадок массой 15,76 г, объем непоглощенного газа **Y** 984 мл (27 °С, 101,3 кПа). При добавлении к такому же образцу **X** избытка раствора азотистой кислоты образуется органическое соединение **Z** и выделяется вдвое больший объем газа **Y** (условия измерения те же). Установите состав **X** и **Z**. Напишите возможные структурные формулы этих соединений.

ВАРИАНТ 6 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. Приведите формулы двух газообразных (при н. у.) веществ, плотность каждого из которых равна плотности этана.

2. Сколько протонов и электронов содержит дихромат-ион $Cr_2O_7^{2-}$? Напишите уравнение реакции, в которой этот ион — окислитель.

3. Напишите уравнение электролиза водных растворов: а) серной кислоты; б) хлорида стронция.

4. Установите строение природной аминокислоты, если известно, что в реакции этой кислоты с метиловым спиртом образуется соединение, молярная масса которого на 11,57% больше молярной массы исходной кислоты.

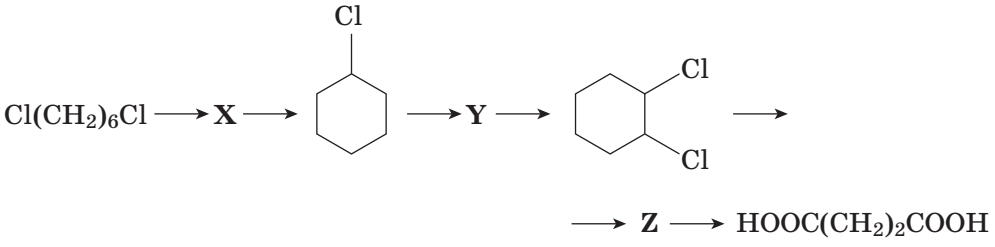
5. В реакционный сосуд объемом 1 л поместили 2 моль SO_3, 2,5 моль H_2 и 0,8 моль H_2O. При некоторой температуре установилось равновесие $SO_3(г) + H_2(г) \rightleftarrows SO_2(г) + H_2O(г)$. Степень превращения SO_3 в SO_2 составила 70%. Рассчитайте константу равновесия этой реакции.

6. Рассчитайте энергию активации химической реакции, если известно, что температурный коэффициент Вант-Гоффа в интервале 25–65 °С равен 2,05.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$NO_2 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow O_2 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow CHKO_2 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow CO$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы всех веществ и условия протекания реакций.

9. Сплав хрома с марганцем массой 3,41 г полностью растворили в 20,10 мл 85%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,475 г/мл). В реакции выделилось 4,57 л газа (28 °С, 1 атм). К раствору добавили 20 г гидрокарбоната натрия. Рассчитайте мольные доли металлов в сплаве, массу осадка и объем газа (28 °С, 1 атм) в реакции с гидрокарбонатом натрия. Напишите уравнения реакций.

10. Смесь газов, образовавшихся при сжигании образца органического соединения **X** массой 1,53 г, пропущена последовательно через трубку с оксидом фосфора(V) и склянку с раствором гидроксида бария. При этом масса трубки увеличилась на 1,89 г, в склянке образовалось 14,775 г осадка, объем непоглощенного газа **Y** 371 мл (28 °С, 101,3 кПа). При добавлении к такому же образцу **X** избытка раствора азотистой кислоты образуется органическое соединение **Z** и выделя-

ется вдвое больший объем газа **Y** (условия измерения те же). Установите состав **X** и **Y**. Напишите возможные структурные формулы этих соединений.

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

1. Каковы валентности и степени окисления элементов в молекулах H_2 и $KBrO_3$?

2. Напишите уравнение реакции бромэтана с водным раствором гидроксида калия.

3. Сколько существует изомерных бромэтилбензолов? Напишите их структурные формулы.

4. Во сколько раз уменьшится масса твердого вещества при полном разложении нитрата серебра?

5. Даны вещества: ацетат лития, оксид фосфора(V), сульфат цинка, хлорид натрия. Какую среду имеют растворы этих веществ в воде? Напишите уравнения соответствующих реакций в ионном виде.

6. В сосуде объемом 13,44 л реагируют 2 моль оксида углерода(II) и 3 моль паров воды при 257 °С. Вычислите общее давление в сосуде после установления равновесия.

7. Допишите уравнения следующих реакций:

1) $FeBr_3 + Ba(OH)_2 \rightarrow$
2) $Fe_2S_3 + O_2 \rightarrow$
3) $Cu + HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow$
4) $AlCl_3 + K_2CO_3 + H_2O \rightarrow$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_4 \rightarrow C_2H_4Br_2 \rightarrow C_2H_2 \rightarrow C_6H_6 \rightarrow C_6H_5Br \rightarrow C_6H_5ONa \rightarrow C_6H_6O$$

9. К 2,26 г смеси карбида алюминия и нитрида алюминия прилили 100 мл воды; при этом выделился газ. Осадок отфильтровали и высушили; масса сухого осадка 4,68 г. Установите объем газа (н. у.).

10. Смесь метана и пропена, в которой число атомов водорода в 2,5 раза больше числа атомов углерода, пропустили через склянку с бромной водой; при этом масса склянки увеличилась на 21 г, но раствор в склянке не изменил окраску. Сколько литров газообразного хлора (20 °С, 1 атм) потребуется для полного хлорирования газа, не поглощенного бромной водой?

ФИЛИАЛ ХИМИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ В БАКУ

1. Каковы валентность и степень окисления элементов в молекулах Cl_2 и $CaCO_3$?

2. Напишите реакцию хлорэтана со спиртовым раствором гидроксида калия.

3. Сколько существует изомерных трихлорфенолов? Напишите их структурные формулы.

4. Во сколько раз уменьшится масса твердого вещества при полном разложении нитрата меди(II)?

5. Даны вещества: литий, оксид серы(IV), карбонат калия, нитрат натрия. Какую среду имеют растворы этих веществ в воде? Напишите уравнения соответствующих реакций в ионном виде.

6. В сосуде объемом 11,2 л реагируют 2 моль иода и 1 моль водорода при 227 °С. Вычислите общее давление в сосуде после установления равновесия.

7. Допишите уравнения следующих реакций:

1) $FeBr_3 + NaOH \rightarrow$
2) $ZnS + O_2 \rightarrow$
3) $S + HNO_3$(конц.) $\rightarrow$
4) $AlBr_3 + K_2CO_3 + H_2O \rightarrow$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_5Cl \rightarrow C_2H_4 \rightarrow C_2H_6O \rightarrow C_2H_4O_2 \rightarrow C_2H_3O_2Cl \rightarrow$$
$$\rightarrow C_2H_5O_2N \rightarrow C_3H_7O_2N$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. К 1,31 г смеси гидрида алюминия и нитрида алюминия прилили 100 мл воды, при этом выделилось 2,24 л газа (н. у.). Осадок отфильтровали и высушили. Установите массу сухого осадка.

10. Смесь метана и ацетилена, в которой масса углерода в 6 раз больше массы водорода, пропустили через склянку с бромной водой, при этом масса склянки увеличилась на 6,5 г, но раствор в склянке не изменил окраску. Сколько литров газообразного хлора (20 °С, 1 атм) потребуется для полного хлорирования газа, не поглощенного бромной водой?

2012 ГОД

ОЛИМПИАДА «ПОКОРИ ВОРОБЬЁВЫ ГОРЫ!»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. Для элементов **A** и **B** приведите примеры соединений с формулами $\mathbf{A_2B}$ и $\mathbf{AB_2}$.

2. Для окисления 20 л газа потребовалось 10 л кислорода, а для восстановления 20 л этого газа — 20 л водорода (объемы всех газов измерены при одинаковых условиях). Установите формулу газа. Напишите уравнения реакций.

3. Изобразите структурные формулы всех циклических углеводородов с брутто-формулой C_5H_{10}.

4. Определите брутто-формулу соединения, в состав которого входят Fe, C и H в массовых долях 0,3011, 0,6451 и 0,0538 соответственно. Изобразите структурную формулу этого соединения. К какому классу оно относится?

5. При растворении в воде 100 г кристаллогидрата получили 500 мл раствора соли с концентрацией 0,621 моль/л. При длительном прокаливании навески этого кристаллогидрата потеря массы твердого вещества составила 55,9%. Установите формулу кристаллогидрата.

6. В результате полной нейтрализации 27,6 г органической кислоты (содержит атомы трех элементов, причем массовая доля кислорода в этом соединении 0,3478) образовалось 36,4 г натриевой соли. Определите неизвестную кислоту.

7. При восстановлении 46,4 г оксида металла водородом образовалось 14,4 г воды. При взаимодействии 33,6 г восстановленного металла с избытком соляной кислоты выделилось 13,44 л водорода (н. у.). Определите неизвестный металл. Напишите уравнения всех реакций.

8. В двух колбах при нормальных условиях находятся газообразные аммиак и хлороводород. Газы растворили в воде, причем в обеих колбах вода заполнила весь объем. Далее содержимое колб слили в один большой сосуд. Рассчитайте молярную концентрацию веществ в растворе, если объем колбы с хлороводородом был в 3 раза больше объема колбы с аммиаком.

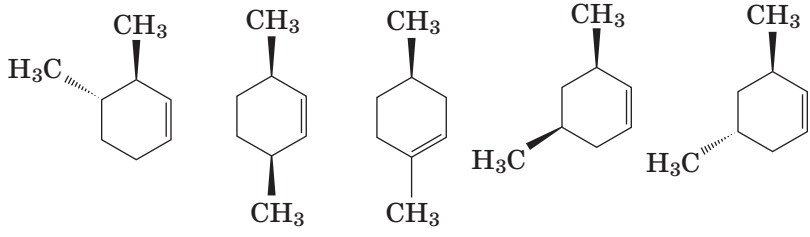
9. Напишите уравнения реакций при действии на растворы хлоридов бериллия, магния, кальция, хрома(III) и меди(II) растворов карбоната, сульфита и сульфида натрия.

10. Установите состав равновесной смеси, образовавшейся при превращении 5,6 г *цис*-бутена-2 в *транс*-бутен-2, если в реакции изомеризации выделилось 168 Дж тепла. Теплоты образования *цис*-бутена-2 и *транс*-бутена-2 составляют 7,0 и 11,2 кДж/моль. Рассчитайте константу равновесия реакции изомеризации. Как повлияет изменение температуры проведения реакции на состав смеси изомеров?

11. При прокаливании смеси магния и оксида кремния (мольное соотношение компонентов 1 : 2,3) в электрической печи без доступа воздуха получено 23,82 г кремния. Какова масса исходной смеси Mg и SiO_2?

12. Плотность металла палладия 12,02 г/см^3. Сколько сферических частиц, содержащих по 1 млн атомов палладия каждая, можно получить из бруска этого металла объемом 10 см^3? Каков радиус каждой такой частицы?

13. При каталитическом гидрировании оптически активного соединения **A** образуется оптически неактивное соединение. Какая (какие) из следующих структурных формул отвечает условию задачи? Ответ поясните.



I II III IV V

14. В 200 г 16%-го раствора гидроксида натрия добавили 200 г 16%-го раствора сульфата меди(II), внесли вещество **X** и полученную смесь нагрели. Выпал красный осадок, который отфильтровали; масса осадка 14,4 г. Фильтр высушили досуха, сухой остаток прокалили. При этом выделилось 4,48 л (н. у.) газа, имеющего плотность по воздуху 0,552. Вещество **X** разлагается кислотами и щелочами при кипячении, обесцвечивает бромную воду. Назовите вещество **X** и напишите уравнения всех упомянутых реакций. Найдите массу вещества **X**, вступившего в реакцию.

ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. Рассчитайте массу шести молекул аммиака.

2. В газовой смеси 40 об. % оксида азота(IV), 50 об. % кислорода и газ **X**. Средняя молярная масса смеси газов 38,8 г/моль. Предложите формулу газа **X**.

3. Смешали 25 мл раствора NaCl (концентрация 0,2 моль/л), 40 мл раствора Na_2CO_3 (0,2 моль/л), 50 мл раствора Na_3PO_4 (0,05 моль/л) и 600 мл воды. Определите молярную концентрацию ионов Na^+ в полученном растворе.

4. Теплота образования F_2O из простых веществ при стандартных условиях 22 кДж/моль. Рассчитайте энергию связи O—F в молекуле фторида кислорода. В молекулах O_2 и F_2 энергия связи равна 498 и 159 кДж/моль соответственно.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$Mg(NO_3)_2 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow Mg(NO_3)_2$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции обменные; 2) все реакции окислительно-восстановительные. Определите вещества $\mathbf{X_1}$ и $\mathbf{X_2}$.

6. Вещество **X** состава $C_4H_8O_3$ реагирует с бромоводородом с образованием $C_4H_7BrO_2$, с хлоридом фосфора(V) образуется $C_4H_6Cl_2O$. При нагревании **X** получается соединение состава $C_4H_6O_2$, которое обесцвечивает раствор брома в тетрахлориде углерода. Установите строение **X**. Напишите уравнения упомянутых реакций.

7. К 42 г смеси пирита (FeS_2) и сульфида алюминия при нагревании добавили 605,5 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,37 г/мл). Выделилось 148,7 л бурого газа (27 °C, 105,6 кПа). Раствор обработали избытком водного раствора гидроксида натрия. Рассчитайте массу образовавшегося осадка и массовые доли веществ в исходной смеси.

ВАРИАНТ 2

1. Рассчитайте массу трех атомов кислорода.

2. В газовой смеси 15 об. % кислорода, 50 об. % азота и оксид углерода(IV). Рассчитайте среднюю молярную массу смеси газов.

3. Смешали 5 мл раствора KBr (концентрация 0,1 моль/л), 15 мл раствора $MgBr_2$ (0,2 моль/л), 40 мл раствора $AlBr_3$ (0,1 моль/л) и 400 мл воды. Определите молярную концентрацию ионов Br^- в полученном растворе.

4. Смешали три вещества: 4 моль **A**, 3 моль **B** и 1 моль **C**. После установления равновесия $2\mathbf{A} \rightleftarrows \mathbf{B} + \mathbf{C}$ в системе обнаружили 2 моль **C**. Определите равновесный состав смеси (в мольных %) при той же температуре при смешении веществ **A**, **B** и **C** по 2 моль.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$CuBr_2 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow CuBr_2$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции обменные; 2) все реакции окислительно-восстановительные. Определите вещества $\mathbf{X_1}$ и $\mathbf{X_2}$.

6. Вещество **X** состава $C_4H_8O_3$ реагирует с бромоводородом с образованием $C_4H_7BrO_2$, с хлоридом фосфора(V) образуется $C_4H_6Cl_2O$. При нагревании **X** получается соединение состава $C_8H_{12}O_4$. Установите строение **X**. Напишите уравнения упомянутых реакций.

7. К 54,8 г смеси сульфида серебра и сульфида алюминия при нагревании добавили 574,8 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,37 г/мл). Выделилось 132,2 л бурого газа (27 °C, 105,6 кПа). Раствор обработали избытком водного раствора гидроксида натрия. Рассчитайте массу образовавшегося осадка и массовые доли веществ в исходной смеси.

ВАРИАНТ 3

1. Рассчитайте массу девяти молекул метана.

2. В газовой смеси 5 об. % азота, 60 об. % метана и газ **X**. Средняя молярная масса смеси газов 22,2 г/моль. Предложите формулу газа **X**.

3. Смешали 20 мл раствора NH_4Cl (концентрация 0,1 моль/л), 30 мл раствора $MgCl_2$ (0,25 моль/л), 45 мл раствора $AlCl_3$ (0,05 моль/л) и 400 мл воды. Определите молярную концентрацию ионов Cl^- в полученном растворе.

4. Смешали 3 моль вещества **A**, 2 моль вещества **B** и 1 моль вещества **C**. После установления равновесия $\mathbf{A} + \mathbf{B} \rightleftarrows 2\mathbf{C}$ в системе обнаружили 3 моль вещества **C**. Определите равновесный состав смеси (в мольных %) при той же температуре при смешении по 3 моль веществ **A**, **B** и **C**.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$FeCl_2 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow FeCl_2$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции обменные; 2) все реакции окислительно-восстановительные. Определите вещества $\mathbf{X_1}$ и $\mathbf{X_2}$.

6. Вещество **X** состава C_4H_6O взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра, а также с бромоводородом (образуется $C_4H_7Br_3$) и с гидридом натрия (образуется $C_4H_4ONa_2$). Установите строение **X**. Напишите уравнения упомянутых реакций.

7. Сульфид M_2S массой 40 г (металл M может проявлять степени окисления +1 и +2) поместили в герметично закрытый реактор, в котором находилось 0,75 моль кислорода, и подожгли, при этом давление в сосуде уменьшилось по сравнению с начальным в 1,5 раза (при неизменной температуре). Установите формулу твердого оксида при сгорании сульфида, а также формулу и количество вещества, полученного при последующем растворении этого оксида в избытке азотной кислоты.

ВАРИАНТ 4

1. Рассчитайте массу 15 молекул этилена.

2. В газовой смеси 10 об. % азота, 55 об. % ацетилена и газ **X**. Средняя молярная масса этой газовой смеси 32,5 г/моль. Предложите формулу газа **X**.

3. Смешали 35 мл раствора $CuSO_4$ (концентрация 0,1 моль/л), 75 мл раствора $Al_2(SO_4)_3$ (0,15 моль/л), 100 мл раствора Na_2SO_4 (0,2 моль/л) и добавили воды до объема 500 мл. Определите молярную концентрацию ионов SO_4^{2-} в полученном растворе.

4. В молекуле Cl_2O энергия связи O—Cl 209 кДж/моль. Рассчитайте теплоту образования оксида хлора(I) из простых веществ (при стандартных условиях). В молекулах O_2 и Cl_2 энергии связи равна 498 и 242 кДж/моль соответственно.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$Al(NO_3)_3 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow Al(NO_3)_3$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции обменные; 2) все реакции окислительно-восстановительные. Определите вещества $\mathbf{X_1}$ и $\mathbf{X_2}$.

6. Вещество **X** состава C_3H_4O обесцвечивает бромную воду и холодный раствор перманганата калия, а также дает реакцию «серебряного зеркала». Установите строение **X**. Напишите уравнения упомянутых реакций.

7. Сульфид металла M_2S массой 34,4 г (металл M может проявлять степени окисления +1 и +3) поместили в герметично закрытый реактор, в котором было 0,6 моль кислорода, и подожгли; при этом давление в сосуде уменьшилось по сравнению с начальным в 2 раза (при неизменной температуре). Установите формулу исходного сульфида. Образовавшийся в результате сгорания газ пропустили через избыток раствора $Na[Cr(OH)_4]$. Рассчитайте массу выпавшего осадка.

ВАРИАНТ 5

1. Рассчитайте массу семи атомов фосфора.

2. В газовой смеси 15 об. % азота, 5 об. % оксида углерода(II) и неон. Рассчитайте среднюю молярную массу смеси газов.

3. Смешали 10 мл раствора K_3PO_4 (концентрация 0,2 моль/л), 40 мл раствора K_2SiO_3 (0,1 моль/л), 50 мл раствора KCl (0,2 моль/л) и 400 мл воды. Определите молярную концентрацию ионов K^+ в полученном растворе.

4. Смешали по 3 моль веществ **A**, **B** и **C**. После установления равновесия $\mathbf{A} + \mathbf{B} \rightleftarrows 2\mathbf{C}$ в системе обнаружили 4,5 моль вещества **C**. Определите равновесный состав смеси (в мольных %) при той же температуре при смешении веществ **A**, **B** и **C** в мольном соотношении 2 : 3 : 1.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$CrCl_3 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow CrCl_3$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции обменные; 2) все реакции окислительно-восстановительные. Определите вещества $\mathbf{X_1}$ и $\mathbf{X_2}$.

6. Вещество **X** состава C_3H_4O взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра, а также с бромоводородом (образуется $C_3H_5Br_3$) и с гидридом натрия (образуется $C_3H_2ONa_2$). Установите строение **X**. Напишите уравнения упомянутых реакций.

7. Сульфид неметалла $Э_2S_3$ массой 31,6 г (неметалл Э может проявлять степени окисления +3 и +5) поместили в герметично закрытый реактор, в котором было 1,5 моль кислорода, и подожгли; при этом давление в сосуде уменьшилось по сравнению с начальным в 1,5 раза (при неизменной температуре). Установите формулу твердого оксида, образовавшегося при сгорании сульфида, а также формулу и количество вещества, полученгного при растворении этого оксида в избытке раствора гидроксида натрия.

ВАРИАНТ 6

1. Рассчитайте массу 13 атомов серебра.

2. В газовой смеси 30 об. % аргона, 10 об. % водорода и гелий. Рассчитайте среднюю молярную массу смеси газов.

3. Смешали 25 мл раствора $Fe(NO_3)_3$ (концентрация 0,2 моль/л), 35 мл раствора $Fe_2(SO_4)_3$ (0,05 моль/л), 40 мл раствора $FeBr_3$ (0,1 моль/л) и добавили воды до объема 500 мл. Определите молярную концентрацию ионов Fe^{3+} в растворе.

4. Смешали 5 моль вещества **A**, 3 моль вещества **B** и 1 моль вещества **C**. После установления равновесия $2\mathbf{A} \rightleftarrows \mathbf{B} + \mathbf{C}$ обнаружили 3 моль вещества **C**. Определите равновесный состав смеси (в мольных %) при той же температуре при смешении по 3 моль веществ **A**, **B** и **C**.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$Al_2O_3 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow Al_2O_3$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции обменные; 2) все реакции окислительно-восстановительные. Определите вещества $\mathbf{X_1}$ и $\mathbf{X_2}$.

6. Вещество **X** состава $C_5H_{10}O_2$ обесцвечивает горячий подкисленный раствор перманганата калия, при длительном кипячении превращаясь в $C_5H_8O_4$, реагирует с гидроксидом меди(II) с образованием желтого осадка, который при нагревании становится красным, а также вступает в реакцию с HBr. В кислой среде **X** превращается в циклический изомер. Установите строение **X**. Напишите уравнения упомянутых реакций.

7. Порошок железа массой 12,6 г растворили в 200 мл соляной кислоты (концентрация 4 моль/л); раствор оставили на воздухе. Через некоторое время к раствору добавили 10%-й раствор гидроксида калия до полного выпадения осадка. Осадок отфильтровали и в инертной атмосфере нагрели до постоянной массы; масса сухого остатка 17,2 г. Определите состав сухого остатка (в мольных %). Напишите уравнения проведенных реакций.

ВАРИАНТ 7

1. Рассчитайте массу 25 атомов меди.

2. В газовой смеси 25 об. % гелия, 15 об. % кислорода и азот. Рассчитайте среднюю молярную массу смеси газов.

3. Смешали 5 мл раствора KNO_3 (концентрация 0,1 моль/л), 15 мл раствора $Ba(NO_3)_2$ (0,2 моль/л), 40 мл раствора $Al(NO_3)_3$ (0,1 моль/л) и 400 мл воды. Определите молярную концентрацию ионов NO_3^- в полученном растворе.

4. Теплота образования хлороводорода из простых веществ 92 кДж/моль (при стандартных условиях). Рассчитайте энергию связи H—Cl в молекуле хлороводорода. В молекулах H_2 и Cl_2 энергии связи 436 и 242 кДж/моль соответственно.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$MgSO_4 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow MgSO_4$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции обменные; 2) все реакции окислительно-восстановительные. Определите вещества $\mathbf{X_1}$ и $\mathbf{X_2}$.

6. Вещество **X** состава $C_5H_8O_2$ обесцвечивает холодный раствор перманганата калия. При нагревании **X** с подкисленным раствором перманганата калия образуется уксусная кислота. Реакция **X** с насыщенным раствором гидрокарбоната натрия сопровождается выделением газа. Установите строение **X**. Напишите уравнения упомянутых реакций.

7. Порошок железа массой 9,8 г растворили в 300 мл серной кислоты (концентрация 1,5 моль/л); раствор оставили на воздухе. Через некоторое время к раствору добавили 10%-й раствор гидроксида калия до полного выпадения осадка. Осадок отфильтровали и нагрели в инертной атмосфере до постоянной массы; масса сухого остатка 13,4 г. Определите состав сухого остатка (в мольных %). Напишите уравнения проведенных реакций.

ВАРИАНТ 8

1. Рассчитайте массу 30 атомов цинка.

2. В газовой смеси 20 об. % гелия, 55 об. % метана и водород. Рассчитайте среднюю молярную массу смеси газов.

3. Смешали 15 мл раствора ортофосфата натрия (0,15 моль/л), 25 мл раствора силиката натрия (0,5 моль/л), 40 мл раствора бромида натрия (концентрация 0,1 моль/л) и 400 мл воды. Определите молярную концентрацию ионов Na^+ в растворе.

4. В молекуле трихлорида азота NCl_3 энергия связи N—Cl 313 кДж/моль. Рассчитайте теплоту образования NCl_3 из простых веществ при стандартных условиях. В молекулах N_2 и Cl_2 энергии связи 945 и 242 кДж/моль соответственно.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$FeCl_3 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow FeCl_3$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции обменные; 2) все реакции окислительно-восстановительные. Определите вещества $\mathbf{X_1}$ и $\mathbf{X_2}$.

6. Вещество **X** состава $C_4H_4O_4$ обесцвечивает холодный раствор перманганата калия. Реакция **X** с насыщенным раствором гидрокарбоната натрия сопровождается выделением газа. При нагревании до 100 °C **X** превращается в соединение состава $C_4H_2O_3$. Установите строение **X**. Напишите уравнения упомянутых реакций.

7. Смесь гидроксидов хрома(II) и (III) общей массой 2,92 г растворили в избытке соляной кислоты. К раствору добавили избыток щёлочи и получили осадок массой 0,86 г. Через фильтрат пропустили углекислый газ до прекращения выделения осадка. Найдите массу второго осадка. Напишите уравнения реакций (все опыты проводили в инертной атмосфере).

ВАРИАНТ 9

1. Рассчитайте массу 11 молекул водорода.

2. В газовой смеси 25 об. % водорода, 20 об. % гелия и газ **X**. Средняя молярная масса смеси газов 10,1 г/моль. Предложите формулу газа **X**.

3. Смешали 20 мл раствора хлорида аммония (концентрация 0,1 моль/л), 30 мл раствора хлорида бария (0,25 моль/л), 45 мл раствора хлорида железа(III) (0,05 моль/л) и 400 мл воды. Определите молярную концентрацию ионов Cl^- в полученном растворе.

4. Смешали 4 моль вещества **A**, 2 моль вещества **B** и 1 моль вещества **C**. После установления равновесия $\mathbf{A} + \mathbf{B} \rightleftarrows 2\mathbf{C}$ в системе обнаружили 3 моль вещества **C**. Определите равновесный состав смеси (в мольных %) при той же температуре при смешении по 3 моль веществ **A**, **B** и **C**.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$FeBr_2 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow FeBr_2$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции обменные; 2) все реакции окислительно-восстановительные. Определите вещества $\mathbf{X_1}$ и $\mathbf{X_2}$.

6. Вещество **X** состава $C_4H_4O_4$ устойчиво при нагревании, обесцвечивает бромную воду и холодный раствор перманганата калия. Реакция **X** с насыщенным раствором гидрокарбоната натрия сопровождается выделением газа. Установите строение **X**. Напишите уравнения упомянутых реакций.

7. Смесь сульфидов хрома(II) и (III) общей массой 3,68 г растворили в избытке соляной кислоты. К раствору добавили избыток щёлочи и получили осадок массой 1,72 г. Через фильтрат пропустили углекислый газ до прекращения выделения осадка. Найдите массу второго осадка. Напишите уравнения реакций (все опыты проводили в инертной атмосфере).

ВАРИАНТ 10

1. Рассчитайте массу 50 молекул ксенона.

2. В газовой смеси 25 об. % кислорода, 30 об. % этана и газ **X**, причем средняя молярная масса этой газовой смеси 36,8 г/моль. Предложите формулу газа **X**.

3. Смешали 35 мл раствора сульфата меди(II) (концентрация 0,1 моль/л), 75 мл раствора сульфата алюминия (0,15 моль/л) и 100 мл раствора сульфата натрия (0,2 моль/л) и добавили воды до объема 500 мл. Определите молярную концентрацию ионов SO_4^{2-} в полученном растворе.

4. Теплота образования газообразной воды из простых веществ 242 кДж/моль (при стандартных условиях). Рассчитайте энергию связи O—H в молекуле воды. В молекулах H_2 и O_2 энергии связи 436 и 498 кДж/моль соответственно.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$ZnSO_4 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow ZnSO_4$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции обменные; 2) все реакции окислительно-восстановительные. Определите вещества $\mathbf{X_1}$ и $\mathbf{X_2}$.

6. Вещество **X** состава $C_8H_6OCl_2$ обесцвечивает горячий подкисленный раствор перманганата калия, превращаясь в терефталевую (1,4-бензолдикарбоновую) кислоту, а также дает реакцию с аммиачным раствором оксида серебра и под действием водного раствор гидроксида натрия превращается в $C_8H_6O_2$. Установите строение **X**. Напишите уравнения упомянутых реакций.

7. Смесь сульфидов хрома(II) и (III) общей массой 7,36 г растворили в избытке соляной кислоты. К раствору добавили избыток щёлочи и получили осадок массой 3,44 г. Через фильтрат пропустили углекислый газ до прекращения выделения осадка. Найдите массу второго осадка. Напишите уравнения реакций (все опыты проводили в инертной атмосфере).

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. Где число атомов больше: в 1 моль воды или в 1 моль угарного газа?

2. При воздействии электрического разряда на смесь газов **A** и **B** произошла реакция и образовалась смесь газов **C** и **D**, причем у газов **C** и **D** и исходных газов **A** и **B** совпадают молярные массы. Определите формулы веществ **A**, **B**, **C** и **D**.

3. Приведите уравнения двух принципиально разных реакций, в результате которых из одной слабой кислоты образуются две более сильные кислоты.

4. В результате сильного нагревания соединения кремния получено 0,462 г кремния и 537,8 мл водорода (25 °C, 1 атм). Установите строение этого соединения.

5. Напишите структурные формулы веществ состава C_3H_6O, которые
а) и в отсутствие растворителя способны образовывать водородные связи;
б) могут образовывать водородные связи с водой.

6. Какое растворимое в воде вещество может реагировать с водным раствором каждого из следующих веществ: хлороводород, нитрат бария, гидроксид натрия, перманганат калия? Напишите уравнения реакций.

7. К 100 мл раствора сульфата железа(II) (концентрация 0,1 моль/л) прилили 100 мл раствора неизвестной соли такой же концентрации; при этом образовалось 1,52 г осадка. Установите формулу соли в осадке. Напишите уравнение реакции.

8. Два твердых вещества смешали и нагрели в фарфоровом тигле; один из продуктов этой реакции — вода. Какие вещества были взяты? Известно, что ни одно из исходных веществ не разлагается при нагревании с выделением воды. Приведите уравнения двух принципиально различных реакций, отвечающих условию.

9. В запаянной ампуле находится 105 мкг радионуклида полония-210 ^{210}Po ($T_{1/2}$ = 138 сут), который является α-излучателем. Какой объем газа (н. у.) образуется в ампуле через 276 сут? Какая масса свинца образуется за это время?

10. В смеси метана и паров воды на один атом углерода приходится семь атомов водорода. Смесь сильно нагрели, при этом произошли несколько реакций, в которых образовалась смесь продуктов, содержащая два оксида и одно простое вещество; исходных веществ в конечной смеси обнаружено не было. Определите состав исходной и конечной смесей (в % по объему). Напишите уравнения реакций (не менее двух), произошедших в смеси.

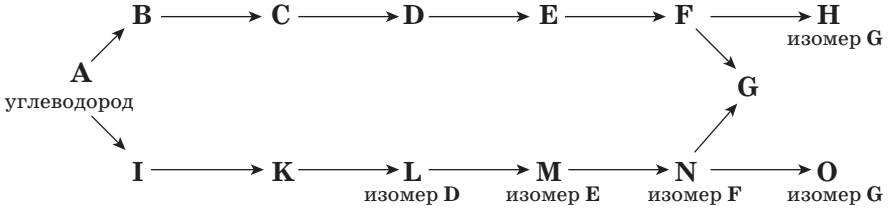
11. Электролиз водного раствора сульфата натрия проводили с никелевыми электродами; процесс продолжали, пока масса раствора не уменьшилась на 4,68 г. Сколько граммов оксида меди(II) может прореагировать с газом, выделившимся на катоде?

12. Навеску магния сожгли на воздухе. К твердому продукту, масса которого 18,0 г, добавили соляную кислоту до полного растворения. При добавлении к полученному раствору избытка гидроксида натрия выделился газ и выпал осадок массой 29,0 г. Определите объем выделившегося газа (н. у.) и минимальный объем 10%-й соляной кислоты (плотность 1,05 г/мл), необходимый для полного растворения твердого продукта сгорания.

13. Два изомерных спирта **A** (оптически активный) и **B** (оптически неактивный) имеют брутто-формулу $C_9H_{10}O$ и реагируют с концентрированной серной кислотой, давая один и тот же углеводород **C**. Каталитическое гидрирование **C** приводит к углеводороду **D** состава C_9H_{10}, который при нитровании концентрированной азотной кислотой в серной кислоте образует только два мононитропроизводных. Определите соединения **A**, **B**, **C** и **D**.

14. В 1 л водного раствора содержится 1 моль уксусной кислоты и 1 моль дихлоруксусной кислоты. Определите концентрации ацетат-иона и дихлорацетат-иона в растворе. Константы диссоциации уксусной и дихлоруксусной кислот $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ и $5{,}5 \cdot 10^{-2}$ соответственно.

15. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите условия протекания реакций. Приведите структурные формулы всех веществ.

ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. Приведите пример аниона, который имеет электронную конфигурацию катиона Al^{3+}.

2. У какого простого вещества плотность 19,32 г/см^3 и молярный объем 10,2 см^3/моль (при н. у.)?

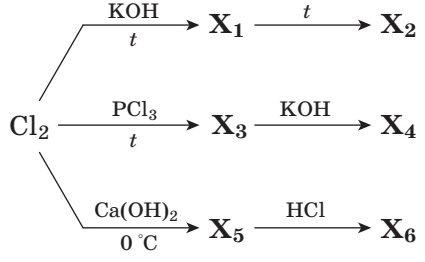
3. Напишите структурные формулы трех монохлорпроизводных гексана.

4. При образовании 35 л углекислого газа (25 °С, нормальное давление) из графита и кислорода выделилось 563 кДж теплоты; испарение 1 моль графита требует затраты энергии 705 кДж/моль. В молекуле углекислого газа энергия связи C═O 798 кДж/моль. Рассчитайте энергию связи O═O (в кДж/моль) в молекуле кислорода.

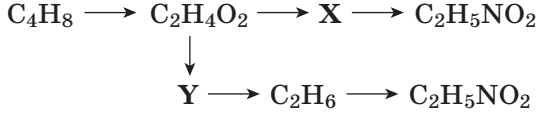
5. Твердый гидроксид калия массой 30,0 г оставили на воздухе. Через некоторое время твердый гидроксид превратился во влажное вещество массой 34,4 г, которое растворили в воде. Раствор разделили на две равные части. При добавлении избытка хлорида кальция к первому раствору выпал осадок массой 1,75 г. Определите состав влажного вещества (в массовых процентах). Как получить раствор чистого гидроксида калия исходя из второго раствора?

6. В 200 мл раствора формиата серебра пропустили избыток водорода до полного выпадения осадка. После отделения осадка раствор имел pH 2. Определите молярную концентрацию соли в исходном растворе. Константа диссоциации муравьиной кислоты $1{,}82 \cdot 10^{-4}$.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, определите неизвестные вещества и укажите условия протекания реакций.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Смесь двух бинарных соединений (каждое из этих веществ состоит из атомов двух элементов) массой 36,775 г содержит атомы фосфора, хлора и кислорода. Эта смесь может нейтрализовать 560 г 10%-го холодного раствора NaOH. При взаимодействии такой же навески смеси с избытком концентрированной серной кислоты выделяется сернистый газ объемом 2,48 л (25 °С, 99,9 кПа). Определите качественный состав и мольные доли компонентов в исходной смеси.

10. Для полного гидролиза 6,39 г тетрапептида потребовалось 0,81 мл воды, в результате получено две аминокислоты, которые количественно разделили. При добавлении к одной из аминокислот избытка азотистой кислоты выделилось 1008 мл газа (н. у.) и образовалось 4,77 г органического вещества. Установите строение тетрапептида.

ВАРИАНТ 2

1. Приведите пример катиона, который имеет электронную конфигурацию аниона O^{2-}.

2. У какого простого вещества плотность 2,33 г/см^3 и молярный объем 12,1 см^3/моль (при н. у.)?

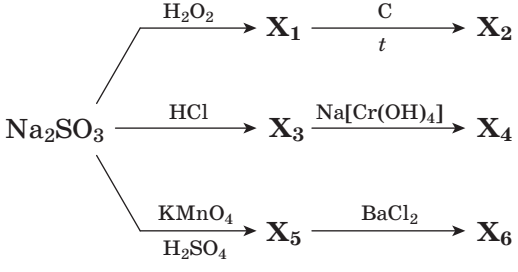
3. Напишите структурные формулы трех монохлорпроизводных 2,4-диметилпентана.

4. При образовании 45 л углекислого газа (25 °С, нормальное давление) из графита и кислорода выделилось 725 кДж теплоты. Испарение 1 моль графита требует затраты энергии 705 кДж/моль. В молекуле кислорода энергия связи O═O 497 кДж/моль. Рассчитайте энергию связи C═O (в кДж/моль) в молекуле углекислого газа.

5. Твердый гидроксид калия массой 22,4 г оставили на воздухе. Через некоторое время твердый гидроксид превратился во влажное вещество массой 26,0 г, которое растворили в воде. Раствор разлили на две равные части. При добавлении избытка хлорида кальция к первому раствору выпал осадок массой 1,5 г. Определите состав влажного вещества (в массовых процентах). Как получить раствор чистого гидроксида калия исходя из второго раствора?

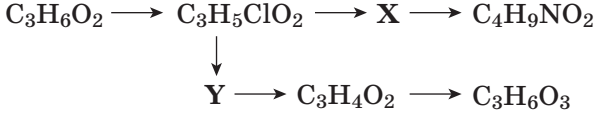
6. В 500 мл раствора ацетата серебра пропустили избыток водорода до полного выпадения осадка. После отделения осадка раствор имел pH 4. Определите молярную концентрацию соли в исходном растворе. Константа диссоциации уксусной кислоты $1{,}74 \cdot 10^{-5}$.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Определите неизвестные вещества и укажите условия протекания реакций.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Смесь двух бинарных соединений (каждое из этих веществ состоит из атомов двух элементов) массой 69,15 г содержит атомы фосфора, хлора и кислорода. Эта смесь может нейтрализовать 352 г 30,0%-го холодного раствора NaOH. При взаимодействии такой же навески смеси с избытком разбавленной азотной кислоты выделяется 1,96 л оксида азота(II) (21 °C, 99,7 кПа). Определите качественный состав и мольные доли компонентов в исходной смеси.

10. Для полного гидролиза 2,13 г тетрапептида потребовалось 0,27 мл воды, в результате получено две аминокислоты, которые количественно разделили. При добавлении к одной аминокислоте избытка азотистой кислоты выделилось 112 мл газа (н. у.) и образовалось 0,83 г органического вещества. Установите строение тетрапептида.

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

1. Сколько протонов, нейтронов и электронов содержит молекула F_2O с относительной молекулярной массой 54?

2. Установите формулу оксида углерода, плотность которого 1,165 г/л (1 атм, 20 °C).

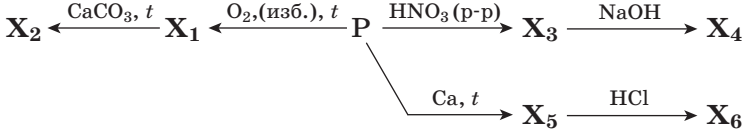
3. 80 мл 10%-го раствора хлорида кальция (плотность 1,05 г/мл) упарили до объема 50 мл. Определите молярную концентрацию соли в полученном растворе.

4. Установите формулу трисахарида, в состав которого входят глюкоза и фруктоза. Известно, что трисахарид обесцвечивает бромную воду; один из продуктов его частичного гидролиза — мальтоза. Ответ обоснуйте, написав необходимые уравнения реакций.

5. Какие из следующих веществ проявляют амфотерные свойства: FeO, $(NH_4)_2S$, $Cr(OH)_3$, H_2NCH_2COOH, $(CH_3COO)_2Ca$, $Ca(HCO_3)_2$? Напишите уравнения реакций, подтверждающих амфотерность этих веществ.

6. Определите pH водного раствора, содержащего $Sr(OH)_2$ и $SrCl_2$, если в 50 мл этого раствора $1{,}505 \cdot 10^{19}$ хлорид-ионов и $1{,}505 \cdot 10^{19}$ ионов стронция.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (вещества $\mathbf{X_1}$ — $\mathbf{X_6}$ содержат атомы фосфора):



Укажите условия протекания этих реакций.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_7N \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_2H_4O \rightarrow C_3H_5NO \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_3H_5BrO_2 \rightarrow C_4H_7BrO_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Смесь гидрида стронция и нитрида цинка прореагировала при нагревании с 260,85 мл воды. Масса полученного раствора на 16,4 г меньше суммарной массы исходных твердых веществ и воды, массовая доля соли в растворе 0,25. Рассчитайте количества веществ в исходной смеси.

10. В результате последовательной обработки алкена бромом, спиртовым раствором щёлочи и нагревания при 600 °C над активированным углем получен продукт, в котором массовая доля углерода на 3,18% больше, чем в алкене. Хлорирование продукта в присутствии железа приводит только к одному монохлорпроизводному. Хлорирование продукта на свету приводит к двум монохлорпроизводным. Установите структурные формулы алкена и продукта реакции. Напишите уравнения реакций.

ВАРИАНТ 2

1. Сколько протонов, нейтронов и электронов содержит молекула H_2S с относительной молекулярной массой 34?

2. Установите формулу углеводорода, плотность которого 1,248 г/л (1 атм, 20 °C).

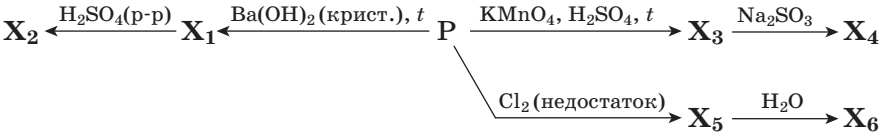
3. 100 мл 6%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1,07 г/мл) упарили до объема 40 мл. Определите молярную концентрацию полученного раствора щёлочи.

4. Установите формулу трисахарида, в состав которого входят рибоза и фруктоза. Известно, что продукты полного гидролиза этого трисахарида могут обесцветить столько же бромной воды, сколько и исходный трисахарид. Ответ обоснуйте, написав необходимые уравнения реакций.

5. Какие вещества проявляют амфотерные свойства: Na_2SO_4, ZnO, $CH_3CH(NH_2)COOH$, $(NH_4)_2SO_3$, CH_3COONa, $KHCO_3$? Напишите уравнения реакций, подтверждающих амфотерность этих веществ.

6. Определите pH водного раствора, содержащего $Ba(OH)_2$ и $BaCl_2$, если в 250 мл этого раствора $4{,}515 \cdot 10^{21}$ хлорид-ионов и $3{,}01 \cdot 10^{21}$ ионов бария.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (вещества $\mathbf{X_1}$ — $\mathbf{X_6}$ содержат атомы фосфора):



Укажите условия протекания этих реакций.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_3H_6O_3 \leftarrow \mathbf{X} \leftarrow C_2H_4O \rightarrow C_2H_4O_2 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_2H_5NO_2 \rightarrow C_2H_4O_3$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Смесь нитрида бария и фосфида алюминия прореагировала при нагревании с 277,5 мл воды. Масса полученного раствора на 35,0 г меньше суммарной массы исходных твердых веществ и воды, массовая доля соли в растворе 0,3. Рассчитайте количества веществ в исходной смеси.

10. В результате последовательной обработки алкена бромоводородом в присутствии пероксида водорода, натрием и нагревания при 500 °C над оксидом хрома(III) получен продукт, в котором массовая доля углерода на 6,60% больше, чем в алкене; этот продукт не реагирует с бромом на свету, его бромирование в присутствии железа приводит к одному монобромпроизводному. Установите структурные формулы алкена и продукта реакции. Напишите уравнения реакций.

ВАРИАНТ 3

1. Сколько протонов, нейтронов и электронов содержит молекула C_3H_6 с относительной молекулярной массой 42?

2. Установите формулу углеводорода, плотность которого 1,690 г/л (1 атм, 30 °C).

3. 100 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1,22 г/мл) упарили до объема 75 мл. Определите молярную концентрацию полученного раствора щёлочи.

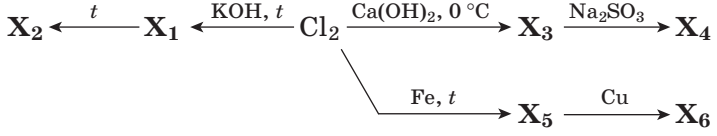
4. Установите формулу трисахарида, в состав которого входят глюкоза, рибоза и фруктоза. Известно, что этот трисахарид не обес-

цвечивает бромную воду и один из продуктов его частичного гидролиза — сахароза. Ответ обоснуйте, написав необходимые уравнения реакций.

5. Какие вещества проявляют амфотерные свойства: $HOCH_2COOH$, NH_4Cl, $Cr(OH)_3$, $H_2N(CH_2)_4COOH$, $HCOONH_4$, $KHSO_3$? Напишите уравнения реакций, подтверждающих амфотерность этих веществ.

6. Определите pH водного раствора, содержащего LiOH и Li_2SO_4, если в 50 мл этого раствора $3{,}612 \cdot 10^{21}$ сульфат-ионов и $7{,}525 \cdot 10^{21}$ ионов лития.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (вещества $\mathbf{X_1}$ — $\mathbf{X_6}$ содержат атомы хлора):



Укажите условия протекания

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_5NO_2 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_2H_6O \rightarrow C_2H_4O \rightarrow C_2H_4O_2 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_3H_6O.$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Смесь фосфида цезия и карбида алюминия прореагировала при нагревании с 367,2 мл воды. Масса полученного раствора на 32,0 г меньше суммарной массы исходных твердых веществ и воды, массовая доля соли в растворе 0,304. Рассчитайте количества веществ в исходной смеси.

10. В результате последовательной обработки алкена бромоводородом, натрием и нагревания при 500 °C над оксидом хрома(III) получен продукт, в котором массовая доля углерода на 4,86% больше, чем в алкене. Известно, что этот алкен может существовать в виде двух пространственных изомеров. Установите структурные формулы алкена и продукта реакции. Напишите уравнения реакций.

ВАРИАНТ 4

1. Сколько протонов, нейтронов и электронов содержит молекула SiH_4 с относительной молекулярной массой 32?

2. Установите формулу углеводорода, плотностью которого 1,046 г/л (1 атм, 30 °C).

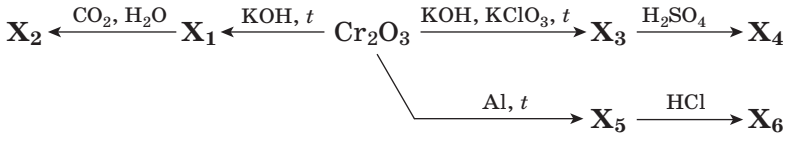
3. 100 мл 8%-го раствора сульфата натрия (плотность 1,07 г/мл) упарили до объема 50 мл. Определите молярную концентрацию полученного раствора соли.

4. Установите формулу трисахарида, в состав которого входят глюкоза и фруктоза. Известно, что этот трисахарид не обесцвечивает бромную воду и один из продуктов его частичного гидролиза — мальтоза. Ответ обоснуйте, написав необходимые уравнения реакций.

5. Какие вещества проявляют амфотерные свойства: ZnO, $CaHPO_4$, $CH_3CH_2COONH_4$, $(NH_4)_2SO_4$, $Ba(OH)_2$, H_2NCH_2COOH? Напишите уравнения реакций, подтверждающих амфотерность этих веществ.

6. Определите pH водного раствора, содержащего $Ba(OH)_2$ и $BaCl_2$, если в 200 мл этого раствора $8{,}428 \cdot 10^{21}$ хлорид-ионов и $4{,}816 \cdot 10^{21}$ ионов бария.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (вещества $\mathbf{X_1}$ — $\mathbf{X_6}$ содержат атомы хрома):



Укажите условия протекания реакций.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_3H_9N \rightarrow C_3H_8O \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_3H_9NO_2 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_3H_5ClO_2 \rightarrow C_3H_7NO_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Смесь гидрида бария и фосфида алюминия прореагировала при нагревании с 143,55 мл воды. Масса полученного раствора на 9,2 г меньше суммарной массы исходных твердых веществ и воды, массовая доля соли в растворе 0,109. Рассчитайте количества веществ в исходной смеси.

10. В результате последовательной обработки алкена бромоводородом, натрием и нагревания при 500 °C над оксидом хрома(III) получен продукт, в котором массовая доля углерода на 4,86% больше, чем в алкене. Хлорирование продукта в присутствии железа приводит к двум монохлорпроизводным. Хлорирование продукта на свету приводит только к одному монохлорпроизводному. Установите структурные формулы алкена и продукта реакции. Напишите уравнения реакций.

ВАРИАНТ 5

1. Сколько протонов, нейтронов и электронов содержит молекула PH_3 с относительной молекулярной массой 34?

2. Установите формулу оксида азота, плотность которого 1,818 г/л (1 атм, 22 °C).

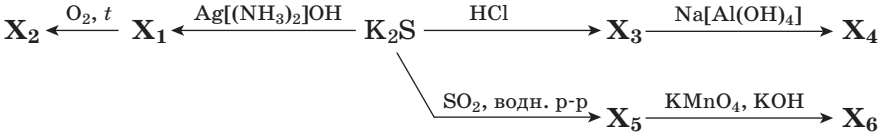
3. К 20 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,37 г/мл) добавили воды до объема 200 мл. Определите молярную концентрацию полученного раствора кислоты.

4. Установите формулу трисахарида, в состав которого входят дезоксирибоза и фруктоза. Известно, что продукты полного гидролиза этого трисахарида могут обесцветить столько же бромной воды, сколько исходный трисахарид. Ответ обоснуйте, написав необходимые уравнения реакций.

5. Какие вещества проявляют амфотерные свойства: $Al(OH)_3$, SO_3, $NH_2(CH_2)_3COOH$, Na_2HPO_4, $ClCH_2COOH$, CH_3COONH_4? Напишите уравнения реакций, подтверждающих амфотерность этих веществ.

6. Определите pH водного раствора, содержащего NaOH и Na_2SO_4, если в 50 мл этого раствора $3{,}01 \cdot 10^{19}$ сульфат-ионов и $9{,}03 \cdot 10^{19}$ ионов натрия.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (вещества $\mathbf{X_1}$ — $\mathbf{X_6}$ содержат атомы серы):



Укажите условия протекания реакций.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_2 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_2H_5NO_2 \rightarrow C_2H_7N \rightarrow C_2H_6O \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_2H_7NO_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Смесь гидрида стронция и нитрида алюминия прореагировала при нагревании с 97,4 мл воды. Масса полученного раствора на 22,8 г меньше суммарной массы исходных твердых веществ и воды, массовая доля соли в растворе 0,278. Рассчитайте количества веществ в исходной смеси.

10. В результате последовательной обработки алкена бромом, спиртовым раствором щёлочи и нагревания при 600 °C над активированным углем получен продукт, в котором массовая доля углерода на 3,18% больше, чем в алкене. Известно, что алкен может существовать в виде двух пространственных изомеров. Установите структурные формулы алкена и продукта реакции. Напишите уравнения реакций.

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

ВАРИАНТ 1

1. Напишите электронные конфигурации атома кальция и иона Ca^{2+}.

2. Напишите графическую формулу сульфита натрия.

3. С помощью какого реагента можно обнаружить примесь Na_3PO_4 в NaCl? Напишите уравнение реакции.

4. Напишите уравнение щелочного гидролиза этилацетата.

5. Как изменится скорость газофазной реакции $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$, если давление в системе уменьшить в 2 раза?

6. Какой объем кислорода (н. у.) необходим для сжигания 32,8 г смеси газов, содержащей 30% пропана, 30% оксида углерода(II) и 40% азота (по объему)?

7. Напишите уравнения следующих реакций:

$FeCl_2 + KOH \rightarrow$

$H_2S + O_2 \rightarrow$

$P + HNO_3(разб.) \rightarrow$

$Fe_2(SO_4)_3 + Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_4 \rightarrow C_2H_4Cl_2 \rightarrow C_2H_2 \rightarrow C_6H_6 \rightarrow C_6H_5Cl \rightarrow C_6H_5OK \rightarrow C_6H_6O$$

Укажите структурные формулы веществ и условия проведения реакций.

9. При сливании 200 мл 20%-го раствора хлорида бария (плотность 1,04 г/мл) и 142 г 10%-го раствора сульфата натрия выпал осадок. Рассчитайте массовые доли веществ в полученном растворе.

10. При пропускании смеси этана и пропена через избыток холодного водного раствора перманганата калия выпал осадок массой 8,7 г; при этом объем непоглощенного газа 1,12 л (н. у.). Определите массу и объем (н. у.) исходной газовой смеси.

2013 ГОД

ОЛИМПИАДА «ПОКОРИ ВОРОБЬЁВЫ ГОРЫ!»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. Каких атомов больше в земной коре — калия или натрия? Известно, что массовые доли этих элементов в земной коре примерно равны.

2. Напишите формулу аниона, состоящего из трех атомов двух элементов, находящихся в одном периоде. В этом анионе число электронов и протонов различается на единицу.

3. Напишите уравнение реакции между оксидом элемента II группы и оксидом элемента второго периода.

4. Какой галогеноводород находится в смеси с углекислым газом, если при 30 °С и нормальном атмосферном давлении плотность этой смеси 1,46 г/л?

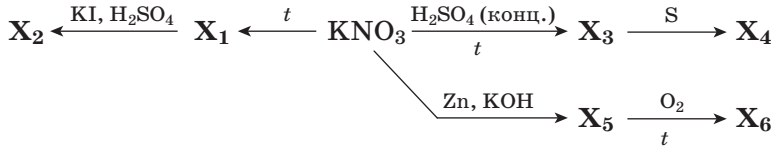
5. Сколько изомеров отвечает формуле $C_5H_{11}Cl$? Напишите структурные формулы этих изомеров и назовите их.

6. Неизвестная соль при нагревании полностью разлагается, превращаясь в смесь двух газов, из которых один легче воздуха, а другой тяжелее. При пропускании этой газовой смеси через раствор серной кислоты масса газа уменьшилась в 2 раза, объем — в 3 раза. Установите формулу соли.

7. В состав фармацевтического препарата, известного как обезболивающее, жаропонижающее и противовоспалительное средство, входят углерод (60 масс. %), водород (4,44 масс. %) и кислород. Определите брутто-формулу этого соединения. Как называется этот препарат? Напишите его структурную формулу.

8. К раствору 13,95 г смеси свежеполученных хлорида хрома(II) и бромида хрома(II) прибавили избыток раствора нитрата серебра. Выпал осадок массой 32,99 г. Определите количественный состав исходной смеси.

9. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания (вещества $\mathbf{X_1}$ — $\mathbf{X_6}$ содержат атомы азота):

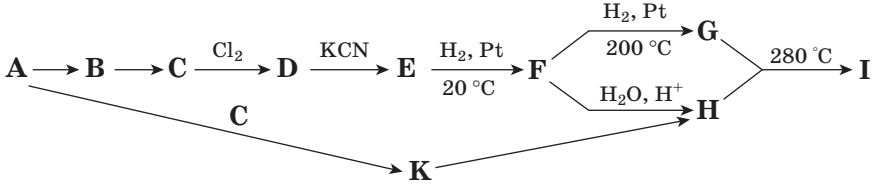


10. Константа равновесия реакции N_2(г) + $3H_2$(г) $\rightleftarrows$ $2NH_3$(г) при 400 °С, выраженная через парциальные давления, равна $1{,}60 \cdot 10^{-4}$ атм$^{-2}$. Считая газы идеальными, рассчитайте общее давление, которое необходимо приложить к газовой смеси, состоящей из 3 частей H_2 и 1 части N_2, чтобы при 400 °С получить равновесную смесь, содержащую 10% (по объему) NH_3.

11. В растворе соли при 45 °С pH = 6,8. Кислотную или щелочную реакцию имеет этот раствор? При этой температуре ионное произведение воды $K_w = 4{,}0 \cdot 10^{-14}$ моль^2/л^2. Ответ поясните.

12. При нагревании белого кристаллического вещества выше 100 °С образуется жидкость и выделяется газ, массовая доля кислорода в котором 72,73%. При действии на это вещество фосфорного ангидрида образуется газообразное при комнатной температуре бинарное соединение, в котором массовая доля кислорода 47,06%. Определите строение исходного твердого вещества и продуктов реакций. Напишите уравнения реакций.

13. Ниже приведена схема получения соединения **I** из соединения **A**.



Установите строение соединений **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**, **G**, **H**, **I** и **K**. Напишите уравнения реакций. Известно, что соединение **I** — ценный продукт химической промышленности. Как этот продукт называется? Укажите область его применения.

14. Для проведения опыта был использован прибор, состоящий из колбы, в которую вставлены капельная воронка и газоотводная трубка. В колбу поместили 20 мл 1 М раствора иодида калия и 20 мл 0,5 М раствора нитрита натрия. Проверив прибор на герметичность, в колбу добавили по каплям из капельной воронки 40 мл 3 М раствора серной кислоты. Выделяется газ, который поступает в колонку с фосфорным ангидридом и далее — в склянку с раствором щёлочи. Масса склянки со щёлочью увеличилась на 0,181 г. Газ, пропущенный через щёлочь, собрали над водой в перевернутый вверх дном мерный цилиндр. Определите объем воды, вытесненной при заполнении ци-

линдра газом, и оцените объем реакционной колбы. Опыт проводили при н. у.

15. Эквимолярная смесь углеводородов с одинаковой массовой долей углерода 92,308% не обесцвечивает бромную воду. После обработки 5,2 г этой смеси перманганатом калия в кислой среде в реакционной смеси была обнаружена только бензойная кислота, для нейтрализации которой потребовалось 13,1 мл 15%-го раствора KOH (плотность 1,14 г/мл). Установите строение и массу углеводородов в исходной смеси углеводородов.

ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. Напишите структурную формулу ароматического углеводорода $C_{10}H_{14}$, при хлорировании которого на свету образуются два продукта состава $C_{10}H_{13}Cl$. Напишите уравнение реакции.

2. Масса одной «молекулы» гексагидрата хлорида двухвалентного металла $4{,}435 \cdot 10^{-22}$ г. Сколько электронов содержит 1 моль этого соединения?

3. Смесь хлорида хрома(III) и сульфата меди(II) растворили в 150 мл воды; полученный раствор разделили на две равные части. К одной порции раствора добавили избыток раствора гидроксида натрия, при этом выпал осадок массой 5 г. При добавлении ко второй порции избытка раствора аммиака масса образовавшегося осадка 6 г. Определите массовые доли солей в исходном растворе.

4. В сосуд объемом 2,80 л поместили 5,08 г I_2; сосуд нагрели до 1500 К. По достижении равновесия давление в сосуде увеличилось до 1,30 атм. Для реакции $I_2(г) \rightleftarrows 2I(г)$ рассчитайте, считая газы идеальными, константу равновесия K_p, выраженную через парциальные давления участников реакции, при 1500 К.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия протекания этих реакций:

$$Mn \rightarrow MnSO_4 \rightarrow MnCO_3 \rightarrow K_2MnO_4 \rightarrow KMnO_4 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow Mn$$

6. Вещество **X** состава $C_5H_{10}O_3$ реагирует с бромоводородом с образованием $C_5H_9BrO_2$, а с хлоридом фосфора(V) образует $C_5H_8Cl_2O$. При нагревании вещества **X** образуется соединение состава $C_5H_8O_2$, которое не обесцвечивает раствор брома в тетрахлориде углерода. Установите возможное строение **X**. Напишите уравнения реакций.

7. При полном растворении в воде 0,532 г соединения щелочного металла с кислородом при нагревании выделился газ и получено 400 мл раствора с pH = 12. В раствор добавили избыток алюминия,

при этом выделился газ, объем которого в 1,2 раза больше объема первого газа (объемы измерены в одинаковых условиях). Установите формулу исходного соединения.

8. Для сжигания эквимолярной смеси формальдегида и оксида углерода(II) потребовалось 3,5 л воздуха (25 °C, 1 атм). Такое же количество этой газовой смеси пропустили через аммиачный раствор оксида серебра, взятый в избытке. Осадок отделили, высушили и растворили в 73 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,37 г/мл). Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

ВАРИАНТ 2

1. Напишите структурную формулу ароматического углеводорода $C_{10}H_{14}$, при хлорировании которого в присутствии железа образуются два продукта состава $C_{10}H_{13}Cl$. Напишите уравнение реакции.

2. Масса одной «молекулы» тетрагидрата хлорида двухвалентного металла $3{,}04 \cdot 10^{-22}$ г. Сколько электронов содержит 1 моль этого соединения?

3. Смесь ацетата хрома(III) и ацетата серебра растворили в 200 мл воды; полученный раствор разделили на две равные части. К одной порции раствора добавили избыток раствора гидроксида натрия, ко второй — избыток раствора аммиака. В обоих случаях выпал осадок массой 5 г. Определите массовые доли солей в исходном растворе.

4. В сосуд объемом 2,00 л помещено 2,54 г I_2, сосуд нагрели до 1300 К. По достижении равновесия давление в сосуде стало 0,680 атм. Для реакции $I_2(г) \rightleftarrows 2I(г)$ рассчитайте, считая газы идеальными, константу равновесия K_p, выраженную через парциальные давления участников реакции, при 1300 К.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$Fe \rightarrow FeS \rightarrow FeCl_2 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow FeSO_4 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow Fe$$

6. Вещество **X** состава C_8H_7OCl обесцвечивает горячий подкисленный раствор перманганата калия и превращается во фталевую (1,2-бензолдикарбоновую) кислоту. Вещество **X** взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра, а под действием водного раствора гидроксида натрия превращается в $C_8H_8O_2$. Установите строение **X**. Напишите уравнения реакций.

7. При полном растворении в воде 0,348 г соединения щелочного металла с кислородом при нагревании выделился газ и получено 40 мл раствора с pH = 13. В раствор добавили избыток алюминия, при этом выделился газ, объем которого на 22,4 мл (н. у.) больше объема первого газа (объемы измерены в одинаковых условиях). Установите формулу исходного соединения.

8. Для сжигания некоторого количества эквимолярной смеси ацетилена и оксида углерода(II) потребовалось 7,0 л воздуха (25 °C, 1 атм). Такое же количество этой газовой смеси пропустили через аммиачный раствор оксида серебра, взятый в избытке. Осадок отделили, высушили и растворили в 73 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,37 г/мл). Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

ВАРИАНТ 3

1. Приведите структурную формулу ароматического углеводорода $C_{10}H_{14}$, при хлорировании которого на свету образуется только один продукт состава $C_{10}H_{13}Cl$. Напишите уравнение реакции.

2. Масса одной «молекулы» гептагидрата сульфата двухвалентного металла $4{,}087 \cdot 10^{-22}$ г. Сколько электронов содержит 1 моль этого соединения?

3. Смесь хлорида алюминия и сульфата меди(II) растворили в 100 мл воды; полученный раствор разделили на две равные части. К первой порции добавили избыток раствора гидроксида натрия, при этом выпал осадок массой 8 г. При добавлении ко второй порции избытка раствора аммиака масса осадка составила 4 г. Определите массовые доли солей в исходном растворе.

4. В сосуд объемом 3,60 л поместили 1,60 г Br_2; сосуд нагрели до 1900 К. По достижении равновесия давление в сосуде уменьшилось до 0,730 атм. Для реакции $Br_2(г) \rightleftarrows 2Br(г)$ рассчитайте, считая газы идеальными, константу равновесия K_p, выраженную через парциальные давления участников реакции, при 1900 К.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$Li_3N \rightarrow LiNO_3 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow LiNO_2 \rightarrow HNO_2 \rightarrow N_2 \rightarrow Li_3N$$

6. Вещество **X** состава $C_8H_5OCl_3$ обесцвечивает горячий подкисленный раствор перманганата калия и превращается в изофталевую (1,3-бензолдикарбоновую) кислоту. Вещество **X** взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра, а под действием водного раствора гидроксида натрия превращается в $C_8H_5O_3Na$. Установите строение **X**. Напишите уравнения реакций.

7. При полном растворении в воде 0,399 г соединения щелочного металла с кислородом при нагревании выделился газ и получено 300 мл раствора с pH = 12. К раствору добавили избыток цинка, при этом выделился газ, объем которого в 2,5 раза меньше объема первого газа (объемы измерены в одинаковых условиях). Установите формулу исходного соединения.

8. Газовую смесь массой 3,45 г и объемом 3,025 л (22 °С, 1 атм), состоящую из оксида углерода(II) и неизвестного газа, объемная доля которого в смеси 20%, пропустили через аммиачный раствор оксида серебра. Осадок отделили и растворили в 73 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,37 г/мл). Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

ВАРИАНТ 4

1. Напишите структурную формулу ароматического углеводорода $C_{10}H_{14}$, при хлорировании которого в присутствии железа образуется только один продукт состава $C_{10}H_{13}Cl$. Напишите уравнение реакции.

2. Масса одной «молекулы» гексагидрата хлорида двухвалентного металла $3{,}372 \cdot 10^{-22}$ г. Сколько электронов содержит 1 моль этого соединения?

3. Смесь нитратов алюминия и серебра растворили в 200 мл воды; полученный раствор разделили на две равные части. К первой порции добавили избыток раствора гидроксида натрия, при этом выпал осадок массой 6 г. При добавлении ко второй порции избытка раствора аммиака масса осадка составила 4 г. Определите массовые доли солей в исходном растворе.

4. Сосуд объемом 4,30 л, содержащий 3,20 г Br_2, нагрели до 1700 К. По достижении равновесия давление в сосуде уменьшилось до 0,890 атм. Для реакции $Br_2(г) \rightleftarrows 2Br(г)$ рассчитайте, считая газы идеальными, константу равновесия K_p, выраженную через парциальные давления участников реакции, при 1500 К.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$FeS \rightarrow FeBr_2 \rightarrow FeCl_3 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow FeSO_4 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow FeS$$

6. Вещество **X** состава $C_7H_6O_2$ с бромной водой дает осадок $C_7H_3Br_3O_3$ и взаимодействует с гидроксидом меди(II) с образованием желтого осадка, который при нагревании становится красным, а также с раствором гидроксида натрия. Установите строение **X**. Напишите уравнения реакций.

7. При полном растворении в воде 0,78 г соединения щелочного металла с кислородом при нагревании выделился газ и получено 200 мл раствора с pH = 13. К раствору добавили избыток цинка, при этом выделился газ, масса которого в 8 раз меньше массы первого газа. Установите формулу исходного соединения.

8. Газовую смесь массой 6,9 г и объемом 4,89 л (25 °С, 1 атм), состоящую из оксида углерода(II) и углеводорода с концевой тройной связью, объемная доля которого в смеси 25%, пропустили через аммиачный раствор оксида серебра. Осадок отделили и растворили

в 109,5 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,37 г/мл). Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

ВАРИАНТ 5

1. Напишите структурную формулу ароматического углеводорода $C_{12}H_{18}$, при хлорировании которого на свету образуется только один продукт состава $C_{12}H_{17}Cl$. Напишите уравнение реакции.

2. Масса одной «молекулы» гептагидрата сульфата двухвалентного металла $4{,}618 \cdot 10^{-22}$ г. Сколько электронов содержит 1 моль этого соединения?

3. Смесь хлорида хрома(III) и нитрата меди(II) растворили в 50 мл воды и разделили на две равные части. К первой порции добавили избыток раствора гидроксида натрия, при этом выпал осадок массой 2 г. При добавлении ко второй порции избытка раствора аммиака масса выпавшего осадка составила 4 г. Определите массовые доли солей в исходном растворе.

4. Сосуд объемом 4,80 л, содержащий 3,55 г Cl_2, нагрели до 1900 К. По достижении равновесия давление в сосуде увеличилось до 1,90 атм. Для реакции $Cl_2(г) \rightleftarrows 2Cl(г)$ рассчитайте, считая газы идеальными, константу равновесия K_p, выраженную через парциальные давления участников реакции, при 1900 К.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$NH_3 \rightarrow AlN \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow NO_2 \rightarrow Ca(NO_3)_2 \rightarrow NaNO_3 \rightarrow NH_3$$

6. Вещество **X** состава C_8H_9OCl реагирует как с соляной кислотой, так и с водным раствором гидроксида натрия, обесцвечивает горячий подкисленный раствор перманганата калия и превращается в терефталевую (1,4-бензолдикарбоновую) кислоту. Установите строение вещества **X**. Напишите уравнения реакций.

7. При полном растворении в воде 0,543 г соединения щелочного металла с кислородом при нагревании выделился газ и получено 300 мл раствора с pH = 12. К раствору добавили избыток алюминия, при этом выделился газ, объем которого на 16,8 мл больше объема первого газа (объемы обоих газов измерены при н. у.). Установите формулу исходного соединения.

8. Для сжигания смеси формальдегида и оксида углерода(II), в которой число атомов углерода в 2,5 раза больше числа атомов водорода, требуется 7,0 л воздуха (25 °C, 1 атм). Такое же количество этой газовой смеси пропустили через аммиачный раствор оксида серебра, взятый в избытке. Осадок отделили и растворили в 146 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,37 г/мл). Определите массовые доли веществ в этом растворе.

ВАРИАНТ 6

1. Напишите структурную формулу ароматического углеводорода $C_{12}H_{18}$, при хлорировании которого в присутствии железа образуется только один продукт состава $C_{12}H_{17}Cl$. Напишите уравнение реакции.

2. Масса одной «молекулы» тригидрата нитрата двухвалентного металла $4{,}02 \cdot 10^{-22}$ г. Сколько электронов содержит 1 моль этого соединения?

3. Смесь нитрата хрома(III) и нитрата серебра растворили в 100 мл воды; полученный раствор разделили на две равные части. К первой порции добавили избыток раствора гидроксида натрия, при этом выпал осадок массой 3 г. При добавлении ко второй порции избытка раствора аммиака масса осадка составила 4 г. Определите массовые доли солей в исходном растворе.

4. Сосуд объемом 4,50 л, в котором было 2,84 г Cl_2, нагрели до 2200 К. По достижении равновесия давление в сосуде составило 2,30 атм. Для реакции $Cl_2(г) \rightleftarrows 2Cl(г)$ рассчитайте, считая газы идеальными, константу равновесия K_p, выраженную через парциальные давления участников реакции, при 2200 К.

5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$H_3PO_4 \rightarrow Ca(H_2PO_4)_2 \rightarrow P \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow H_3PO_3 \rightarrow PH_3 \rightarrow H_3PO_4$$

6. Неизвестное вещество **X** состава $C_8H_7Cl_3$ реагирует с водным раствором гидроксида натрия с образованием вещества **Y**, которое может взаимодействовать с аммиачным раствором оксида серебра. Вещество **Y** обесцвечивает горячий подкисленный раствор перманганата калия и превращается при этом в изофталевую (1,3-бензолдикарбоновую) кислоту. Установите строение **X** и **Y**. Напишите уравнения реакций.

7. При полном растворении в воде 2,13 г соединения щелочного металла с кислородом при нагревании выделился газ и получено 300 мл раствора с pH = 13. К раствору добавили избыток алюминия, при этом выделился газ, объем которого в 2 раза больше объема первого газа (объемы измерены в одинаковых условиях). Установите формулу исходного соединения.

8. Для сжигания смеси ацетилена и оксида углерода(II), в которой число атомов углерода в 1,25 раза больше числа атомов водорода, требуется 6,4 л воздуха (25 °C, 1 атм). Такое же количество этой газовой смеси пропустили через аммиачный раствор оксида серебра, взятый в избытке. Осадок отделили и растворили в 73 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,37 г/мл). Определите массовые доли веществ в полученном растворе.

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. Расположите следующие вещества в порядке увеличения степени окисления азота: азотная кислота, N_2H_4, NO, азот, нитрит калия, N_2O, $[Ag(NH_3)_2]OH$.

2. Какие два вещества и при каких условиях вступили в реакцию, если в результате их взаимодействия образовались следующие вещества (указаны все продукты реакций без стехиометрических коэффициентов):

1) $\rightarrow NH_4Cl + CO_2 + H_2O$

2) $\rightarrow K_2CO_3 + O_2$

3) $\rightarrow K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$

Напишите уравнения реакций.

3. Неизвестное вещество реагирует с натрием, гидроксидом натрия, окисляется аммиачным раствором оксида серебра и хлором. Это вещество находит применение в фармацевтической и пищевой промышленности. В молекуле этого вещества одинаковое количество атомов кислорода и водорода. Какое это вещество? Напишите уравнения реакций.

4. Для определения содержания неорганических катионов и анионов широкое применение находят плесневые грибы *Aspergillus*, чувствительные к наличию ионов металла даже в очень низких концентрациях, на уровне $5 \cdot 10^{-10}$ моль/л. Можно ли этим методом определить ионы железа в пробе воды с массовой долей сульфата железа(III) 10^{-7}%? Ответ подтвердите расчетом.

5. Старинную монету XVIII века диаметром 2,5 см и толщиной 1,8 мм, изготовленную из медного сплава, опустили в разбавленную соляную кислоту — монета растворилась частично. При последующем растворении остатка в концентрированной серной кислоте выделилось 2,48 л газа (объем измерен при нормальном давлении и 30 °C). Определите содержание (массовую долю) меди в монетном сплаве. Плотность сплава 8,92 г/см^3.

6. В 100 г некоторого вещества содержится 34,238 мг электронов. Определите формулу этого соединения.

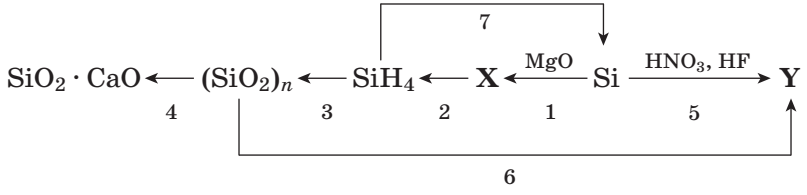
7. Две навески одинаковой массы двух веществ **X** и **Y** разного цвета были независимо друг от друга (т. е. в разных сосудах) обработаны избытком соляной кислоты:

$$\mathbf{X}(\text{т}) + HCl \rightarrow \ldots + \mathbf{A}\uparrow$$

$$\mathbf{Y}(\text{т}) + HCl \rightarrow \ldots + \mathbf{B}\uparrow$$

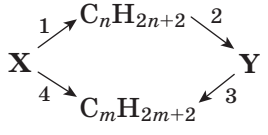
Выделяются газы **A** и **B** разного цвета; их объемы относятся как 5 : 3. Водные растворы **A** и **B** окрашивают индикатор метиловый оранжевый в красный цвет. Определите вещества **X**, **Y**, **A** и **B**. Напишите уравнения реакций **X** и **Y** с соляной кислотой, а газов **A** и **B** — с раствором гидроксида калия.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания (вещества **X** и **Y** содержат кремний):



9. В два больших по объему реактора, содержащих розовый раствор сульфата двухвалентного металла, при 30 °C поместили цинковую и железную пластинки. Через 10 часов пластинки вынули, высушили и взвесили. Масса первой пластинки уменьшилась на 3 г, а масса второй — увеличилась. Скорость растворения цинковой пластинки при этих условиях в 2 раза больше, чем скорость растворения железной пластинки. Сульфат какого двухвалентного металла находился в исходном растворе? На сколько увеличилась масса второй пластинки? Как изменилась масса каждого из растворов?

10. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (причем $n \neq m$), и укажите условия их протекания:



11. При термическом разложении навески хромата аммония выделилось 161 ккал теплоты. При пропускании образовавшегося газа через избыток соляной кислоты объем раствора уменьшился. Определите объем газа (при 1 атм и 25 °C), прошедшего через соляную кислоту. Стандартные теплоты образования при этой температуре хромата аммония, оксида хрома(III) и аммиака 1163, 1141 и 46 кДж/моль соответственно, теплота сгорания водорода 286 кДж/моль.

12. Соединение элемента **Э** с хлором содержит 66,20% хлора по массе. По данным, полученным при исследовании строения молекулы этого соединения, были рассчитаны расстояния **Э**—Cl и Cl—Cl, которые составляют $2{,}113 \cdot 10^{-10}$ и $3{,}450 \cdot 10^{-10}$ м соответственно. Определите состав этого соединения и пространственную конфигурацию его молекулы. Каков тип гибридизации атома **Э** в данной молекуле?

13. Взяли два образца радиоактивных изотопов, претерпевающих β-распад. Первый образец массой m состоял из чистого изотопа **A** с периодом полураспада $t_{1/2}$. Второй образец с массой в 4 раза бóльше состоял из чистого изотопа **B** с периодом полураспада, в 2 раза меньшим, чем у **A**. Через какое время массы изотопов **A** и **B** станут равными? Массой испускаемых β-частиц можно пренебречь.

14. Особое место среди животных жиров занимает молочный жир, содержание которого в коровьем масле 81,0–82,5%. Для полного гидролиза образца одного из триглицеридов массой 16,8 г (который входит в состав молочного жира) потребовалось 11,4 мл 25%-го раствора гидроксида калия (плотность 1,18 г/мл). Полученный раствор обесцветил бромную воду; образовавшееся при этом производное содержит 36,2% брома по массе. Предположите возможную формулу триглицерида; аргументируйте свой ответ. Что будет наблюдаться при подкислении раствора, содержащего продукты омыления триглицерида?

15. Смесь, состоящую из двух твердых соединений и содержащую 12,5 мол. % железа, 17,5 мол. % серы, 70 мол. % кислорода, прокалили в замкнутом сосуде без доступа воздуха. Твердый остаток после прокаливания массой 100 г состоит из одного соединения. Плотность полученной газовой смеси по водороду 26,93. Установите качественный и количественный (в мольных %) состав исходной смеси. Может ли растворяться твердый остаток при добавлении к нему растворов соляной кислоты или гидроксида натрия? Напишите уравнения реакций.

ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. Приведите формулы двух соединений разных классов, в которых сера имеет максимальную степень окисления.

2. Природное соединение состава $C_9H_{11}NO_3$ реагирует с растворами HCl и NaOH. Напишите структурную формулу соединения, его название и уравнения двух упомянутых реакций.

3. К раствору, содержащему 1,35 г хлорида металла (степень окисления металла +2), прибавили раствор, содержащий 0,51 г соли сероводородной кислоты, при этом выпало 0,96 г осадка. Соли прореагировали полностью. Напишите формулы исходных солей.

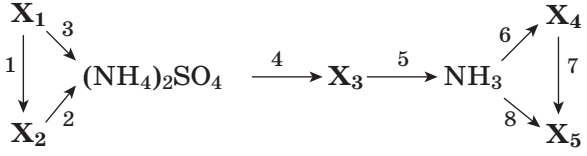
4. К 400 мл раствора NaOH с концентрацией 1,2 моль/л (плотность 1,04 г/мл) осторожно добавили 30 г 70%-го олеума. Рассчитайте массовые доли веществ в полученном растворе.

5. При растворении в воде 63 г Na_2SO_3 выделяется 5650 Дж теплоты, а при растворении 63 г кристаллогидрата $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$ погло-

щается 11715 Дж теплоты. Определите тепловой эффект образования 1 моль $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$ из безводной соли.

6. В стеклянную трубку поместили навеску хлорида аммония массой 3 г, затем трубку закрепили наклонно и хлорид аммония нагрели. Газы, выходящие из нижнего и верхнего концов трубки, пропустили через дистиллированную воду. Объем воды в первом случае составил 250 мл, во втором — 1 л. Рассчитайте pH полученных растворов, если $K_{\text{дисс}}(NH_4OH) = 2 \cdot 10^{-5}$.

7. Дана следующая схема превращений:



В левом «треугольнике» все реакции протекают без изменения степени окисления элементов, в правом — все реакции окислительно-восстановительные. Предложите формулы неизвестных веществ и напишите уравнения реакций.

8. Дана следующая схема превращений:

$C_nH_{2n}O_n \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_4H_7O_2Cl \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_4H_6O_2 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_mH_{2m}O_m$, где $n = 3m$

Напишите уравнения реакций, используя структурные формулы участников превращений, и укажите условия их протекания.

9. Локальное анодное растворение металла (электрохимическое травление) используют для нанесения рисунка на металлические поверхности. При какой силе тока следует проводить анодную обработку медно-цинкового сплава (плотность 8,2 г/см^3), чтобы при выходе реакции 50% за 10 минут сформировать бороздку длиной 10 см, шириной 5 мм и глубиной 3 мм? При частичном растворении образца этого сплава массой 96,6 г в избытке разбавленной серной кислоты объем выделившегося газа составил 14,66 л (25 °C и 1 атм).

10. Сложный эфир массой 25,6 г подвергли гидролизу. Образовавшуюся смесь нагрели со свежеосажденной взвесью, полученной при действии 560 г 20%-го раствора гидроксида калия на 135 г хлорида меди(II), после чего осадок отфильтровали и выдержали при 250 °C до постоянной массы 60,8 г. Предложите структурную формулу исходного эфира.

ВАРИАНТ 2

1. Приведите формулы двух соединений разных классов, в которых фосфор имеет минимальную степень окисления.

2. Природное соединение состава $C_5H_9NO_4$ реагирует с растворами HCl и NaOH. Приведите структурную формулу этого соединения, его название и уравнения двух упомянутых реакций.

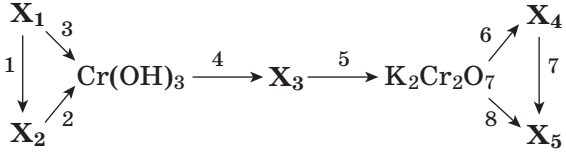
3. К раствору, содержащему 38,28 г ацетата металла (степень окисления металла +2), прибавили раствор, содержащий 6,12 г соли сероводородной кислоты, при этом выпало 27,96 г осадка. Соли прореагировали полностью. Напишите формулы исходных солей.

4. К 350 мл раствора KOH с концентрацией 1,4 моль/л (плотность 1,07 г/мл) осторожно добавили 50 г 55%-го олеума. Рассчитайте массовые доли веществ в полученном растворе.

5. При растворении в воде 160 г $CuSO_4$ выделяется 66,53 кДж теплоты, а при растворении 428 г кристаллогидрата $CuSO_4 \cdot 3H_2O$ выделяется 30,2 кДж теплоты. Определите тепловой эффект процесса образования 1 моль $CuSO_4 \cdot 3H_2O$ из безводной соли.

6. Стеклянную трубку, заполненную хлоридом аммония, закрепили наклонно и нагрели. Газы, выходящие из нижнего и верхнего концов трубки, пропустили через одинаковые объемы дистиллированной воды. После этого один из полученных растворов имел pH = 2. Рассчитайте pH другого раствора. $K_{\text{дисс}}(NH_4OH) = 2 \cdot 10^{-5}$.

7. Дана следующая схема превращений:



В левом «треугольнике» все реакции протекают без изменения степени окисления элементов, в правом — все реакции окислительно-восстановительные. Предложите возможные неизвестные вещества и напишите уравнения соответствующих реакций.

8. Дана следующая схема превращений:

$$C_nH_{2n}O_n \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_2H_4 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_6H_{10}O_4 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_mH_{2m}O_m, \text{ где } n = 3m$$

Напишите уравнения реакций, используя структурные формулы участников превращений, и укажите условия протекания.

9. Локальное анодное растворение металла (электрохимическое травление) используют для нанесения рисунка на металлических поверхностях. При каком значении силы тока следует проводить анодную обработку медно-цинкового сплава (плотность 8,2 г/см^3), чтобы при выходе реакции 60% за 8 минут сформировать бороздку длиной 8 см, шириной 5 мм и глубиной 2 мм? При частичном растворении образца этого сплава массой 32,2 г в избытке разбавленной серной кислоты выделился газ, объем которого составил 4,86 л (25 °C и 1 атм).

10. Сложный эфир массой 4,3 г подвергли гидролизу. Образовавшуюся смесь нагрели со свежеосажденной взвесью, полученной при действии 280 г 20%-го раствора гидроксида калия на 80 г сульфата

меди(II), после чего осадок отфильтровали и выдержали при 250 °C до постоянной массы 35,2 г. Предложите структурную формулу исходного эфира.

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

1. Изотоп какого элемента образуется при испускании α-частицы изотопом тория ^{230}Th? Напишите уравнение ядерной реакции.

2. Напишите формулу и назовите углеводород, в молекуле которого столько же электронов, сколько в молекуле фторида кислорода(II). Напишите уравнение реакции этого углеводорода с хлором и укажите условия ее протекания.

3. Рассчитайте количество теплоты, которая выделяется при прокаливании без доступа воздуха 20,67 г эквимолярной смеси алюминия, иода и иодида алюминия; теплота образования иодида алюминия 302,9 кДж/моль. Определите качественный и количественный состав смеси (в мол. %) после прокаливания.

4. Растворение образца железа в соляной кислоте при 19 °C заканчивается через 30 минут, а при 39 °C этот образец растворится за 4,8 минуты. За какое время такой же образец железа растворится при 54 °C? Напишите уравнение реакции.

5. Какие вещества реагируют с уксусным альдегидом (CH_3CHO): Br_2, HBr, HCOOH, C_2H_5OH, HCN, $C_6H_5NH_2$, CH_3MgBr, CH_3COONa? Напишите уравнения пяти реакций и укажите условия их протекания (температура, катализатор, среда).

6. К смеси формиата калия и карбоната натрия добавили концентрированную серную кислоту и реакционную смесь слегка нагрели — выделилось 10,08 л (н. у.) смеси газов; относительная плотность этой газовой смеси по монооксиду азота 1,23. Определите массу формиата калия в исходной смеси.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$Cu(NO_3)_2 \xrightarrow{1} \mathbf{X} \xrightarrow{2} N_2 \xrightarrow{3} \mathbf{Y} \xrightarrow{4} NH_3 \xrightarrow{5} \mathbf{Z} \xrightarrow{6} Ag_2S$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (C_5H_5N — пиридин):

$$\mathbf{C_5H_5N} \xleftarrow{6} C_6H_4NO_2K \xleftarrow{5} C_6H_7N \xrightarrow{1} C_6H_7NCl_2 \xrightarrow{2}$$

$$\xrightarrow{2} C_6H_7NO \xrightarrow{3} C_6H_7NO_6S \xrightarrow{4} C_6H_5NO_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. При добавлении смеси массой 51,1 г, состоящей из нитрата хрома(III), нитрата марганца(II) и нитрата алюминия, к избытку раствора сульфида аммония образуется 21,65 г осадка. Если к исходной смеси добавить избыток раствора гидроксида натрия, образуется осадок массой 8,9 г. Определите массу солей в исходной смеси, а также объем газа (35 °С, 0,95 атм), выделяющегося в реакции смеси с раствором сульфида аммония.

10. Газовую смесь массой 1,1 г, состоящую из алкена и ацетилена, пропустили сначала через аммиачный раствор оксида серебра, а затем через нейтральный раствор перманганата калия. Масса осадка в первом растворе больше массы осадка во втором растворе на 0,66 г. Исходная газовая смесь может обесцветить 261,5 мл 3%-го водного раствора брома (плотность 1,02 г/мл). Определите неизвестный алкен и его массу. Какой объем водорода потребуется для полного гидрирования 1 л данной смеси?

ВАРИАНТ 2

1. Изотоп какого элемента образуется при испускании β-частицы изотопом свинца ^{210}Pb? Напишите уравнение ядерной реакции.

2. Напишите формулу и назовите углеводород, в молекуле которого столько же электронов, сколько в молекуле оксида хлора(I). Напишите уравнение реакции этого углеводорода с хлором и укажите условия ее протекания.

3. Рассчитайте количество теплоты, которое выделяется при прокаливании без доступа воздуха 62,7 г эквимолярной смеси алюминия, серы и сульфида алюминия; теплота образования сульфида алюминия 508,9 кДж/моль. Определите качественный и количественный состав смеси (в мол. %) после прокаливания.

4. Растворение образца цинка в растворе гидроксида натрия при 25 °С заканчивается через 25 минут, а при 45 °С этот образец растворится за 4 минуты. За какое время такой же образец цинка растворится при 60 °С? Напишите уравнение реакции.

5. Какие вещества реагируют с толуолом (C_6H_5—CH_3): NaOH, NH_3, Cl_2, H_2, C_2H_5OH, CH_3COOH, C_3H_6, $KMnO_4$? Напишите уравнения пяти реакций и укажите условия их протекания (температура, катализатор, среда).

6. К смеси формиата калия и карбоната стронция добавили концентрированную серную кислоту и реакционную смесь слегка нагрели — выделилось 11,2 л (н. у.) смеси газов; относительная плотность этой газовой смеси по неону 1,56. Определите массу формиата калия в исходной смеси.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$Na_2SO_4 \xrightarrow{1} \mathbf{X} \xrightarrow{2} H_2S \xrightarrow{3} \mathbf{Y} \xrightarrow{4} H_2SO_4 \xrightarrow{5} \mathbf{Z} \xrightarrow{6} LiH$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (C_5H_5N — пиридин):

$$C_7H_{10}N_2O_3 \xleftarrow{6} C_7H_{10}NCl \xleftarrow{5} C_7H_9N \xrightarrow{1} C_6H_4NO_2K \xrightarrow{2}$$

$$\xrightarrow{2} \mathbf{C_5H_5N} \xrightarrow{3} C_5H_{11}N \xrightarrow{4} C_5H_{12}NBr$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. При добавлении смеси массой 81,2 г, состоящей из сульфата алюминия, сульфата никеля и сульфата меди(II), к избытку раствора сульфида аммония образуется 43,4 г осадка. Если к исходной смеси добавить избыток раствора гидроксида натрия, образуется осадок массой 28,4 г. Определите массу солей в исходной смеси, а также объем газа (10 °C, 0,95 атм), выделяющегося при реакции смеси с раствором сульфида аммония.

10. Газовую смесь массой 2,76 г, состоящую из алкена и бутина-1, пропустили сначала через аммиачный раствор оксида серебра, а затем через нейтральный раствор перманганата калия. Масса осадка в первом растворе меньше массы осадка во втором растворе на 0,26 г. Исходная газовая смесь может обесцветить 523 мл 3%-го водного раствора брома (плотность 1,02 г/мл). Определите неизвестный алкен и его массу. Какой объем водорода потребуется для полного гидрирования 3 л данной смеси?

ВАРИАНТ 3

1. Изотоп какого элемента образуется при испускании β-частицы изотопом углерода ^{14}C? Напишите уравнение ядерной реакции.

2. Напишите формулу и назовите углеводород, в молекуле которого столько же электронов, сколько в молекуле оксида серы(IV). Напишите уравнение реакции этого углеводорода с хлором и укажите условия ее протекания.

3. Рассчитайте количество теплоты, которое выделяется при прокаливании без доступа воздуха 52,95 г эквимолярной смеси цинка, фосфора и фосфида цинка; теплота образования фосфида цинка 194,9 кДж/моль. Определите качественный и количественный состав смеси (в мол. %) после прокаливания.

4. Растворение образца меди в разбавленной азотной кислоте при 20 °C заканчивается через 27 минут, а при 40 °C этот образец растворится за 3 минуты. За какое время такой же образец меди растворится при 60 °C? Напишите уравнение реакции.

5. Какие вещества реагируют с пропионовым альдегидом CH_3CH_2CHO: H_2, $KMnO_4$, C_6H_5COOH, $[Ag(NH_3)_2]OH$, C_2H_5OH, $Cu(OH)_2$, C_2H_4, HCN? Напишите уравнения пяти реакций и укажите условия их протекания (температура, катализатор, среда).

6. К смеси оксалата натрия и карбоната натрия добавили концентрированную серную кислоту и реакционную смесь нагрели — выделилось 8,96 л (н. у.) смеси газов; относительная плотность этой газовой смеси по аргону 1,0. Определите массу оксалата натрия в исходной смеси.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$Cr_2(SO_4)_3 \xrightarrow{1} \mathbf{X} \xrightarrow{2} S \xrightarrow{3} \mathbf{Y} \xrightarrow{4} ZnCl_2 \xrightarrow{5} \mathbf{Z} \xrightarrow{6} Zn(OH)_2$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (C_5H_5N — пиридин):

$$C_7H_{10}N_2O_3 \xleftarrow{6} C_7H_{10}NBr \xleftarrow{5} C_7H_9N \xrightarrow{1} C_7H_3NO_4K_2 \xrightarrow{2}$$

$$\xrightarrow{2} \mathbf{C_5H_5N} \xrightarrow{3} C_5H_6N_2O_6S \xrightarrow{4} C_5H_4N_2O_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. При добавлении смеси массой 70,1 г, состоящей из хлорида хрома(III), хлорида никеля и хлорида марганца(II), к избытку раствора сульфида аммония образуется 47,3 г осадка. Если к исходной смеси добавить избыток раствора гидроксида натрия, образуется осадок массой 27,3 г. Определите массу солей в исходной смеси, а также объем газа (5 °C, 0,95 атм), выделяющегося в реакции этой смеси с раствором сульфида аммония.

10. Газовую смесь массой 1,64 г, состоящую из алкена и пропина, пропустили сначала через аммиачный раствор оксида серебра, а затем через нейтральный раствор перманганата калия. Масса осадка в первом растворе больше массы осадка во втором растворе на 1,78 г. Исходная газовая смесь может обесцветить 313,8 мл 3%-го водного раствора брома (плотность 1,02 г/мл). Определите неизвестный алкен и его массу. Какой объем водорода потребуется для полного гидрирования 4 л данной смеси?

ВАРИАНТ 4

1. Изотоп какого элемента образуется при испускании β-частицы изотопом циркония ^{97}Zr? Напишите уравнение ядерной реакции.

2. Напишите формулу и назовите углеводород, в молекуле которого столько же электронов, сколько в молекуле оксида углерода(II). Напишите уравнение реакции этого углеводорода с хлором и укажите условия ее протекания.

3. Определите теплоту образования силицида магния, если при прокаливании без доступа воздуха 96 г эквимолярной смеси магния, кремния и силицида магния выделилось 29,7 кДж теплоты. Определите качественный и количественный состав этой смеси (в мольных долях) после прокаливания.

4. Растворение образца цинка в соляной кислоте при 25 °С заканчивается через 18 минут, а при 45 °С образец растворится за 2 минуты. За какое время такой же образец цинка растворится при 60 °С? Напишите уравнение реакции.

5. Какие вещества реагируют с этилбензолом C_6H_5—C_2H_5: Br_2, HCl, HNO_3, C_6H_5COOH, NH_3, C_2H_4, C_2H_5Cl, $KMnO_4$? Напишите уравнения пяти реакций и укажите условия их протекания (температура, катализатор, среда).

6. К смеси формиата натрия и карбоната натрия добавили концентрированную серную кислоту, реакционную смесь слегка нагрели — выделилось 16,8 л (н. у.) смеси газов; относительная плотность этой газовой смеси по хлору 0,47. Определите массу формиата калия в исходной смеси.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$NaCl \xrightarrow{1} \mathbf{X} \xrightarrow{2} O_2 \xrightarrow{3} \mathbf{Y} \xrightarrow{4} K_2CO_3 \xrightarrow{5} \mathbf{Z} \xrightarrow{6} CaO$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (C_5H_5N — пиридин):

$$C_7H_7NO_2 \xleftarrow{6} C_7H_8NO_2Cl \xleftarrow{5} C_6H_5NO_2 \xrightarrow{1} C_6H_4NO_2K \xrightarrow{2}$$

$$\xrightarrow{2} \mathbf{C_5H_5N} \xrightarrow{3} C_5H_6N_2O_6S \xrightarrow{4} C_5H_4N_2O_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. При добавлении смеси массой 11,15 г, состоящей из нитрата хрома(III), нитрата серебра и нитрата марганца(II), к избытку раствора сульфида аммония образуется 6,12 г осадка. Если к исходной смеси добавить избыток раствора гидроксида калия, образуется осадок массой 4,99 г. Определите массы солей в исходной смеси, а также объем газа (17 °С, 0,97 атм), выделяющегося в реакции этой смеси с раствором сульфида аммония.

10. Газовую смесь массой 23,4 г, состоящую из алкена и бутина-1, пропустили сначала через аммиачный раствор оксида серебра, а затем через нейтральный раствор перманганата калия. Масса осадка в первом растворе на 14,8 г больше массы осадка во втором растворе. Для полного гидрирования 5 л данной смеси потребуется 7 л водорода. Определите неизвестный алкен и его массу. Какой максимальный объем 3%-го водного раствора брома (плотность 1,02 г/мл) может обесцветить исходная газовая смесь?

ВАРИАНТ 5 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. Изотоп какого элемента образуется при испускании α-частицы изотопом полония ^{212}Po? Напишите уравнение ядерной реакции.

2. Напишите формулу и назовите углеводород, в молекуле которого содержится столько же электронов, сколько в молекуле оксида кремния(IV). Напишите уравнение реакции этого углеводорода с хлором и укажите условия ее протекания.

3. Рассчитайте количество теплоты, которое выделяется при прокаливании без доступа воздуха 91,2 г эквимолярной смеси кремния, серы и сульфида кремния; теплота образования сульфида кремния 145 кДж/моль. Определите качественный и количественный состав смеси (в мольных процентах) после прокаливания.

4. Растворение образца карбоната бария в соляной кислоте при 29 °C заканчивается через 9,8 минуты, а при 49 °C этот образец соли растворится за 48 секунд. За какое время такой образец соли растворится при 74 °C? Напишите уравнение реакции.

5. Какие вещества реагируют с муравьиной кислотой (HCOOH): H_2SO_4, $[Ag(NH_3)_2]OH$, $Ca(OH)_2$, NH_3, CH_3CHO, CH_3OH, Cl_2, $NaOH$? Напишите уравнения пяти реакций, укажите условия их протекания (температура, катализатор, среда).

6. К смеси оксалата натрия и карбоната натрия добавили концентрированную серную кислоту и реакционную смесь слегка нагрели — в результате выделилось 24,64 л (н. у.) смеси газов; относительная плотность этой газовой смеси по аммиаку 2,33. Определите массу оксалата натрия в исходной смеси.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$Ca_3P_2 \xrightarrow{1} \mathbf{X} \xrightarrow{2} H_3PO_4 \xrightarrow{3} \mathbf{Y} \xrightarrow{4} I_2 \xrightarrow{5} \mathbf{Z} \xrightarrow{6} Na[Al(OH)_4]$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (соединение C_5H_5N — пиридин):

$$\mathbf{C_5H_5N} \xleftarrow{6} C_6H_4NO_2K \xleftarrow{5} C_6H_7NO_6S \xrightarrow{4} C_6H_5NO \xrightarrow{1}$$

$$\xrightarrow{1} C_6H_7NO \xrightarrow{2} C_8H_{10}NO_2Cl \xrightarrow{3} C_8H_9NO_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Смесь хлоридов алюминия, никеля(II) и марганца(II) массой 77,9 г при добавлении к избытку раствора сульфида аммония образует 51,2 г осадка. Если же к исходной смеси добавить избыток раствора гидроксида натрия, то образуется осадок массой 36,4 г. Определите массу солей в исходной смеси, а также объем газа (27 °C, 0,99 атм), выделяющегося при реакции смеси с раствором сульфида аммония.

10. Газовую смесь массой 5,4 г, состоящую из неизвестного алкена и ацетилена, пропустили сначала через аммиачный раствор оксида серебра, а затем через нейтральный раствор перманганата калия. Масса осадка в первом растворе больше массы осадка во втором растворе на 18,2 г. Определите неизвестный алкен и его массу. Известно, что для полного гидрирования 2 л данной смеси требуется 3 л водорода. Какой максимальный объем 3%-го водного раствора брома (плотность 1,02 г/мл) может обесцветить исходная газовая смесь?

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

ВАРИАНТ 1

1. Сколько электронов и протонов входит в состав частицы Ca^{2+}?

2. Какие вещества выделятся на инертных электродах при электролизе водного раствора иодида калия? Напишите уравнение реакции.

3. С помощью какого реагента можно обнаружить примесь пропина в пропане? Напишите уравнение реакции.

4. Напишите уравнения следующих реакций:

$KMnO_4 + HCl \rightarrow \mathbf{X} + ...$

$\mathbf{X} + NaOH \rightarrow ...$

5. В сосуде объемом 5 л при 25 °С и 198,1 кПа находится простое газообразное вещество массой 8,0 г. Установите формулу этого газа.

6. Скорость некоторой реакции увеличивается в 2,5 раза при повышении температуры реакционной смеси на 10 градусов. Во сколько раз уменьшится скорость этой реакции при понижении температуры от 50 до 30 °С?

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$AgNO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow HNO_3 \rightarrow NH_4NO_3 \rightarrow KNO_3 \rightarrow KNO_2 \rightarrow HNO_2$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_4 \rightarrow C_2H_4Cl_2 \rightarrow C_2H_2 \rightarrow CH_3CHO \rightarrow C_2H_5OH \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_4H_{10}$$

Определите вещество **X** и укажите условия протекания реакций.

9. При растворении 29 г смеси бария и оксида бария было получено 400 мл раствора, при этом выделилось 2,24 л (н. у.) газа. Определите молярную концентрацию гидроксида бария в полученном растворе.

10. В результате реакции карбоновой кислоты с метанолом получено 39,96 г сложного эфира (выход 90%), а в реакции такого же ко-

личества кислоты с этанолом — 42,24 г сложного эфира (выход 80%). Установите строение и массу карбоновой кислоты.

ВАРИАНТ 2

1. Сколько электронов и протонов входит в состав частицы Li^+?

2. Какие вещества выделятся на инертных электродах при электролизе водного раствора хлорида стронция? Напишите уравнение реакции.

3. С помощью какого реагента можно обнаружить примесь пропина в пропене? Напишите уравнение реакции.

4. Напишите уравнения следующих реакций:

$Al + NaOH + H_2O \rightarrow \mathbf{X} + ...$

$\mathbf{X} + CuO \rightarrow ...$

5. В сосуде объемом 2 л при 25 °С и 247,6 кПа находится простое газообразное вещество массой 5,6 г. Установите формулу газа.

6. Скорость некоторой реакции увеличивается в 2 раза при повышении температуры реакционной смеси на 10 градусов. Во сколько раз увеличится скорость этой реакции при повышении температуры от 20 до 55 °С?

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$FeS \rightarrow SO_2 \rightarrow SO_3 \rightarrow H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow Fe_2O_3 \rightarrow Fe$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_6H_5CH_3 \rightarrow C_6H_5CH_2Cl \rightarrow C_6H_5CH_2OH \rightarrow C_6H_5CHO \rightarrow$$

$$\rightarrow C_6H_5COOH \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_6H_6$$

Определите вещество **X** и укажите условия протекания реакций.

9. При растворении 13,2 г смеси кальция и оксида кальция в воде получено 500 мл раствора гидроксида кальция с концентрацией 0,5 моль/л. Какой объем газа (н. у.) выделился при растворении смеси?

10. В реакции карбоновой кислоты с этанолом получено 26,64 г сложного эфира (выход 90%). При взаимодействии такого же количества кислоты с бутанолом-2 получено 28,56 г сложного эфира (выход 70%). Установите строение и массу карбоновой кислоты.

2014 ГОД

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

10–11 КЛАССЫ

НОЯБРЬ-1

1. Определите валентность и степень окисления атомов переходного металла в $K_2Cr_2O_7$ и K_2CrO_4. Напишите уравнение реакции, соответствующей превращению $K_2Cr_2O_7 \rightarrow K_2CrO_4$.

2. Имеются образцы трех веществ: глюкозы, сахарозы и крахмала. Как их различить?

3. В пробирках без подписей находятся растворы NaCl, Na_2CO_3, NaOH и $NaNO_3$. Предложите способы определения содержимого пробирок. Напишите уравнения реакций.

4. Даны две газовые смеси: азота с кислородом и криптона с углекислым газом. Могут ли эти две газовые смеси, находясь в одинаковых условиях, иметь одинаковую плотность?

5. Бинарное соединение имеет ионное строение. Общее число электронов в положительном ионе в 1,8 раза больше, чем в отрицательном ионе, заряды ядер двух элементов отличаются в 2,5 раза. Установите формулу соединения. Предложите два способа его получения.

6. Определите строение алкена **A**, если известно, что с осадком, полученным при взаимодействии 16,8 г **A** с водным раствором перманганата калия при охлаждении, может прореагировать 200 мл соляной кислоты с концентрацией 4 моль/л, а при взаимодействии **A** с подкисленным раствором дихромата калия при нагревании образуется только одно органическое соединение. Напишите уравнения реакций.

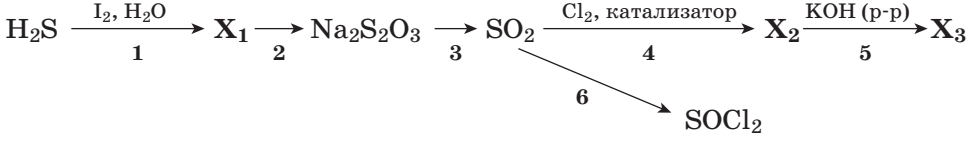
7. В 0,141%-м растворе одноосновной кислоты (плотность 1 г/мл) pH = 2,436. Определите формулу этой кислоты. Константа диссоциации кислоты $K_{\text{дисс}} = 5{,}1 \cdot 10^{-4}$. Диссоциацией воды можно пренебречь.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_7H_5Cl_3 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_7H_5NO_4 \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow C_7H_8N_2O_5 \rightarrow \mathbf{X_3} \rightarrow C_6H_7N$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения (все неизвестные вещества содержат серу):



10. Соединение **X**, состоящее только из углерода и кислорода, получают при кипячении графита с концентрированной азотной кислотой. С горячим раствором гидроксида натрия соединение **X** взаимодействует с образованием соли **Y**; после полного испарения воды из этого раствора и прокаливания сухого остатка с дополнительным количеством твердого NaOH образуется бензол. Количество углерода в бензоле равно половине количества углерода в соединении **X**. Предложите графическую формулу соединения **X**. Напишите уравнения реакций.

НОЯБРЬ-2

1. Определите валентность и степень окисления переходного металла в $KMnO_4$ и K_2MnO_4. Напишите уравнение реакции, соответствующее превращению $KMnO_4 \rightarrow K_2MnO_4$.

2. Имеются образцы трех веществ: глюкозы, глицерина и сахарозы. Как их различить?

3. В пробирках без подписей находятся растворы NaOH, $NH_3 \cdot H_2O$, Na_2S и NaClO. Предложите способы определения содержимого пробирок. Напишите уравнения реакций.

4. Даны две газовые смеси: углекислого газа с угарным газом и аргона с ксеноном. Могут ли эти две газовые смеси, находясь в одинаковых условиях, иметь одинаковую плотность?

5. Вещество ионного строения состоит из двух элементов-неметаллов. Массовая доля одного элемента 93,3%, мольная доля другого 50%. Установите строение этого вещества. Определите геометрическую форму катиона и аниона и тип гибридизации каждого атома.

6. Определите строение алкена **A**, если для нейтрализации раствора, полученного при взаимодействии 50,4 г **A** с водным раствором перманганата калия при охлаждении, требуется 80 мл раствора серной кислоты (концентрация 2,5 моль/л), а при взаимодействии **A** с подкисленным раствором дихромата калия при нагревании образуется только одно органическое соединение. Напишите уравнения реакций.

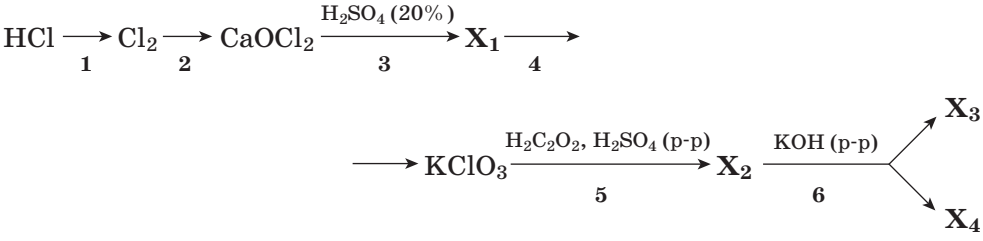
7. Вычислите pH раствора бензойной кислоты с концентрацией 0,01 моль/л; константа диссоциации бензойной кислоты $K_{дисс} = 6{,}6 \cdot 10^{-5}$. Как изменится pH, если в 1 л этого раствора добавить 0,2 моль бензоата натрия? Считайте, что соль диссоциирована полностью.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_7H_{16} \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_7H_7NO_2 \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow C_7H_{10}N_2O_3 \rightarrow \mathbf{X_3} \rightarrow C_7H_9NBr_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения:



10. Соединение **X**, состоящее только из углерода и кислорода, получают при кипячении графита с концентрированной азотной кислотой. С горячим раствором гидроксида натрия соединение **X** взаимодействует с образованием соли **Y**. После полного испарения воды из этого раствора и прокаливания сухого остатка с дополнительным количеством твердого NaOH образуется бензол. Количество углерода в бензоле равно половине количества углерода в соединении **X**. Предложите графическую формулу соединения **X**. Напишите уравнения реакций.

НОЯБРЬ-3

1. Определите валентность и степень окисления переходного металла в $K[Cr(OH)_4]$ и $Cr(OH)_3$. Напишите уравнение реакции, соответствующее превращению $K[Cr(OH)_4] \rightarrow Cr(OH)_3$.

2. Имеются образцы глицеринового альдегида, крахмала и сахарозы. Как их различить?

3. В пробирках без подписей находятся концентрированные растворы HNO_3, H_2SO_4, H_3PO_4 и HCl. Предложите способы определения содержимого пробирок. Напишите уравнения реакций.

4. Даны две газовые смеси: водорода с угарным газом и азота с хлороводородом. Могут ли эти две газовые смеси, находясь в одинаковых условиях, иметь одинаковую плотность?

5. Вещество **X** имеет ионное строение. В составе положительного и отрицательного ионов есть общий элемент. Общая масса отрицательных ионов в 2,5 раза больше массы положительных ионов. Установите формулу **X**. Напишите по одному уравнению реакции **X** со щёлочью и кислотой.

6. Определите строение алкена **A**, если при взаимодействии с соляной кислотой осадка, полученного в реакции 25,2 г **A** с водным раствором перманганата калия при охлаждении, выделяется 6,72 л (н. у.) газа, а при взаимодействии **A** с подкисленным раствором дихромата калия при нагревании образуется только одно органическое соединение. Напишите уравнения реакций.

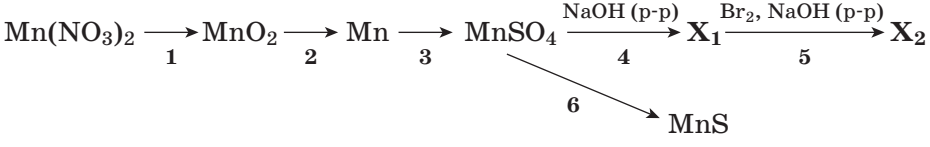
7. Взвесь 1,27 г $CaOCl_2$ в 1 л раствора количественно прореагировала с карбонатом натрия. Выпавший осадок отфильтровали, причем объем раствора не изменился. Напишите уравнение реакции. Определите pH полученного раствора. Константа диссоциации хлорноватистой кислоты $K_{дисс}(HClO) = 2{,}9 \cdot 10^{-8}$.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_2 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_7H_8 \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow C_7H_5NO_4 \rightarrow \mathbf{X_3} \rightarrow C_6H_5NO_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения:



10. Соединение **X**, состоящее только из углерода и кислорода, получают при кипячении графита с концентрированной азотной кислотой. С горячим раствором гидроксида натрия соединение **X** взаимодействует с образованием соли **Y**; после полного испарения воды из этого раствора и прокаливания сухого остатка с дополнительным количеством твердого NaOH образуется бензол. Количество углерода в бензоле равно половине количества углерода в соединении **X**. Предложите графическую формулу соединения **X**. Напишите уравнения реакций.

НОЯБРЬ-4

1. Определите валентность и степень окисления переходного металла в $Na_2[Zn(OH)_4]$ и $Zn(OH)_2$. Напишите уравнение реакции, соответствующее превращению $Na_2[Zn(OH)_4] \rightarrow Zn(OH)_2$.

2. Имеются образцы трех веществ: глюкозы, фруктозы и крахмала. Как их различить?

3. В пробирках без подписей находятся растворы H_2S, HBr, H_3PO_4 и HCHO. Предложите способы определения содержимого пробирок. Напишите уравнения реакций.

4. Даны две газовые смеси: фосфина с неоном и фтороводорода с гелием. Могут ли эти две газовые смеси, находясь при одинаковых условиях, иметь одинаковую плотность?

5. Бинарное соединение имеет ионное строение. Общее число электронов в отрицательном ионе в 1,8 раза больше, чем в положительном ионе, а заряды ядер двух элементов отличаются в 0,75 раза. Установите формулу бинарного соединения и предложите два способа его получения.

6. Определите строение алкена **A**, если с осадком, полученным при взаимодействии 10,5 г **A** с водным раствором перманганата калия при охлаждении, может прореагировать 250 мл соляной кислоты (концентрация 1,6 моль/л); при взаимодействии **A** с подкисленным раствором перманганата калия при нагревании образуется две карбоновые кислоты. Напишите уравнения реакций.

7. При электролизе водного раствора хлорида калия в электролизере с диафрагмой получено 80 л 11,2%-го раствора едкого кали (плотность 1,14 г/мл). Определите, сколько килограммов хлорида калия превратилось в KOH. Выход реакции 88%.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_7H_{16} \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_6H_5COONa \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow C_7H_5NO_4 \rightarrow \mathbf{X_3} \rightarrow C_7H_4NO_4Na$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Укажите условия проведения реакций (все вещества **X** содержат железо).

$$Fe \xrightarrow[1]{} Fe(NO_3)_3 \xrightarrow[2]{Br_2,\ KOH(р\text{-}р),\ t} \mathbf{X_1} \xrightarrow[3]{HCl} \mathbf{X_2} \xrightarrow[4]{H_2S(р\text{-}р)} \mathbf{X_3} \xrightarrow[5]{} FeS \xrightarrow[6]{O_2,\ t} \mathbf{X_4}$$

10. Соединение **X**, состоящее только из углерода и кислорода, получают при кипячении графита с концентрированной азотной кислотой. Соединение **X** взаимодействует с горячим раствором гидроксида натрия с образованием соли **Y**; после полного испарения воды из этого раствора и прокаливания сухого остатка с дополнительным количеством твердого NaOH образуется бензол. Количество углерода в бензоле равно половине количества углерода в соединении **X**. Предложите графическую формулу соединения **X**. Напишите уравнения реакций.

ДЕКАБРЬ-1

1. Напишите уравнения реакций, характеризующих окислительные (а) и восстановительные (б) свойства хлороводорода.

2. Молярный объем толуола 106,11 $см^3$/моль. Определите его плотность (в данных условиях).

3. Какое вещество может реагировать в водном растворе с каждым из следующих веществ: H_2SO_4, KOH, Br_2 и $KMnO_4$? Напишите уравнения реакций.

4. Для серы известны два соединения разного состава: SXY_2 и SX_2Y_2. В первом соединении массовая доля серы 26,89%, а элемента **X** — 13,45%. Определите, какие это соединения. Напишите уравнения реакций этих соединений с раствором щёлочи.

5. В результате полного взаимодействия с парáми брома при нагревании эквимолярной смеси двух металлов образовалась смесь бромидов (в каждом бромиде степень окисления металла +3). Масса смеси после бромирования в 4,934 раза больше массы исходной смеси. Определите неизвестные металлы.

6. При щелочном гидролизе 12 г дипептида образовался единственный продукт, который обработали раствором, полученным при смешивании нитрита натрия и избытка соляной кислоты; при этом выделилось 3,74 л газа (720 мм рт. ст., 15 °C). Определите строение дипептида. Напишите уравнения всех реакций.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_2 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_3H_5NO \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow C_3H_6O_3 \rightarrow \mathbf{X_3} \rightarrow C_4H_8O_3$$

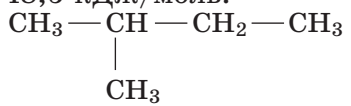
Укажите структурные формулы веществ и условия проведения реакций.

8. К 250 г 10%-го раствора хлорида железа(II) добавили стехиометрическое количество оксалата натрия. Осадок отделили от раствора и нагрели в инертной атмосфере до постоянной массы. Полученное твердое вещество растворили в 80%-м растворе серной кислоты, после чего к раствору добавили избыток щёлочи. Рассчитайте массу выпавшего осадка. Напишите уравнения всех реакций.

9. При действии избытка металлического натрия на эквимолярную смесь двух галогеналканов получили 6,6 г смеси газов (в эквимолярных количествах) и 45 г иодида натрия. Какие галогеналканы использованы в реакции?

10. Теплоты образования органических веществ в разных агрегатных состояниях можно оценить, применив метод групповых вкладов. Для примера рассмотрим молекулу метилбутана, в которой есть три вида групп: одна CH, одна CH_2 и три CH_3. Вклады этих групп в те-

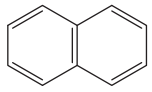
плоту образования жидких алканов известны: CH 9,2 кДж/моль; CH_2 25,5 кДж/моль и CH_3 48,5 кДж/моль.



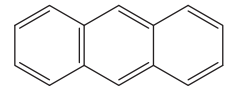
метилбутан C_5H_{12}

$$Q_{обр}(C_5H_{12}(ж)) = 9{,}2 + 25{,}5 + 3 \cdot 48{,}5 = 180{,}2 \text{ кДж/моль}$$

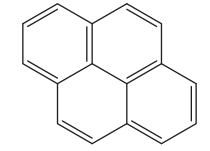
Используя данные по теплотам образования следующих полиароматических соединений:



нафталин $C_{10}H_8$



антрацен $C_{14}H_{10}$



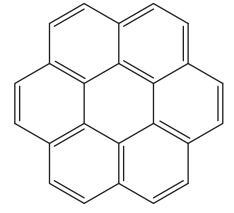
пирен $C_{16}H_{10}$

$Q_{обр}(C_{10}H_8(т)) = -78{,}0$ кДж/моль

$Q_{обр}(C_{14}H_{10}(т)) = -127{,}5$ кДж/моль

$Q_{обр}(C_{16}H_{10}(т)) = -125{,}2$ кДж/моль

оцените $Q_{обр}$ твердого коронена $C_{24}H_{12}$ на основе метода групповых вкладов.



коронен $C_{24}H_{12}$

ДЕКАБРЬ-2

1. Напишите уравнения реакций, характеризующих окислительные (а) и восстановительные (б) свойства аммиака.

2. Плотность глицерина 1,261 г/см^3. Рассчитайте молярный объем глицерина (в данных условиях).

3. Какое вещество может реагировать в водном растворе с каждым из следующих веществ: $Ba(NO_3)_2$, NaOH, HCl и $KMnO_4$? Напишите уравнения реакций.

4. Для фосфора известны два соединения разного состава: PX_3Y_4 и PX_3Y_3; в первом соединении массовая доля фосфора 31,63%, элемента **Y** — 65,31%. Определите, какие это соединения. Напишите уравнения реакций этих веществ с раствором щёлочи.

5. При полном сжигании в атмосфере хлора эквимолярной смеси двух металлов образовалась смесь хлоридов (в каждом хлориде степень окисления металла +2); масса смеси хлоридов в 1,807 раза больше массы исходной смеси. Определите неизвестные металлы.

6. Полное омыление 161,2 г жира привело к образованию единственной натриевой соли карбоновой кислоты; масса соли 166,8 г. Напишите формулу жира. Назовите соль.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

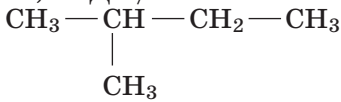
$$C_2H_4 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_3H_5N \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow C_3H_6O_2 \rightarrow \mathbf{X_3} \rightarrow C_3H_3O_2Na$$

Укажите структурные формулы веществ и условия проведения реакций.

8. Металл **A** реагирует с кислородом, образуя соединения **B** и **C**, которые взаимодействуют с водой с образованием соединения **D**; массовая доля металла в соединении **D** 80,12%. Определите неизвестные вещества. Напишите уравнения реакций.

9. При действии избытка металлического натрия на эквимолярную смесь двух галогеналканов получили 17,4 г смеси веществ (также в эквимолярных количествах) и 61,8 г бромида натрия. Какие галогеналканы использованы в реакции?

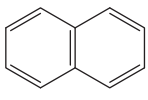
10. Теплоты образования органических веществ в разных агрегатных состояниях можно оценить, применив метод групповых вкладов. Для примера рассмотрим молекулу метилбутана, в которой есть три вида групп: одна CH, одна CH_2 и три CH_3. Вклады этих групп в теплоту образования жидких алканов известны: CH 9,2 кДж/моль; CH_2 25,5 кДж/моль и CH_3 48,5 кДж/моль.



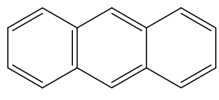
метилбутан C_5H_{12}

$$Q_{обр}(C_5H_{12}(ж)) = 9{,}2 + 25{,}5 + 3 \cdot 48{,}5 = 180{,}2 \text{ кДж/моль}$$

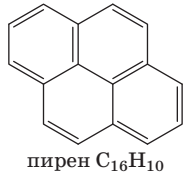
Используя данные по теплотам образования следующих полиароматических соединений:



нафталин $C_{10}H_8$



антрацен $C_{14}H_{10}$



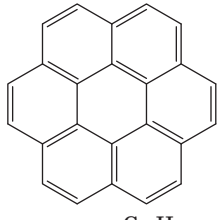
пирен $C_{16}H_{10}$

$Q_{обр}(C_{10}H_8(т)) =$ $= -78{,}0$ кДж/моль

$Q_{обр}(C_{14}H_{10}(т)) =$ $= -127{,}5$ кДж/моль

$Q_{обр}(C_{16}H_{10}(т)) =$ $= -125{,}2$ кДж/моль

оцените $Q_{обр}$ твердого коронена $C_{24}H_{12}$ на основе метода групповых вкладов.



коронен $C_{24}H_{12}$

ДЕКАБРЬ-3

1. Напишите уравнения реакций, характеризующих окислительные (а) и восстановительные (б) свойства сероводорода.

2. Молярный объем многоатомного спирта 55,71 $см^3$/моль, плотность 1,113 $г/см^3$. Установите строение неизвестного спирта.

3. Какое вещество может реагировать в водном растворе с каждым из следующих веществ: $KMnO_4$, HCl, NaOH и $AlCl_3$? Напишите уравнения реакций.

4. Кислород входит в состав двух соединений: $O_3\mathbf{X_2Y_2}$ и $O_3\mathbf{X_2Y}$; в первом соединении массовая доля кислорода 42,11%, элемента **Y** — 56,14%. Установите неизвестные соединения. Напишите уравнения реакций этих соединений с раствором щёлочи.

5. При полном сжигании в атмосфере фтора эквимолярной смеси двух металлов образовалась смесь фторидов (в каждом фториде степень окисления металла +3); масса полученной смеси фторидов в 1,905 раза больше массы исходной смеси. Определите неизвестные металлы.

6. При щелочном гидролизе 4,68 г дипептида образовался единственный продукт, который обработали раствором, полученным при смешивании нитрита натрия и избытка соляной кислоты; при этом выделилось 733 мл газа (745 мм рт. ст., 19 °C). Определите строение дипептида. Напишите уравнения реакций.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

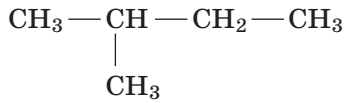
$$C_7H_8 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_6H_6 \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow C_6H_{11}Cl \rightarrow \mathbf{X_3} \rightarrow HOOC(CH_2)_4COOH$$

Укажите структурные формулы веществ и условия проведения реакций.

8. Кристаллогидрат соли состава $M(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ растворили в воде, а затем из раствора количественно осадили гидроксид, который выделили и прокалили до оксида. Известно, что из 1,0 г исходного вещества образуется 0,159 г оксида. Определите, какой металл входил в состав кристаллогидрата.

9. При действии избытка металлического натрия на эквимолярную смесь двух галогеналканов получено 35,1 г хлорида натрия и 25,8 г смеси жидких (при н. у.) веществ (также в эквимолярных количествах). Какие галогеналканы использованы в реакции?

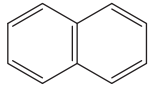
10. Теплоты образования органических веществ в разных агрегатных состояниях можно оценить, применив метод групповых вкладов. Для примера рассмотрим молекулу метилбутана, в которой есть три вида групп: одна CH, одна CH_2 и три CH_3. Вклады этих групп в теплоту образования жидких алканов известны: CH 9,2 кДж/моль; CH_2 25,5 кДж/моль и CH_3 48,5 кДж/моль.



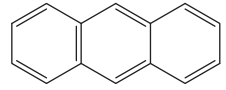
метилбутан C_5H_{12}

$$Q_{обр}(C_5H_{12}(ж)) = 9{,}2 + 25{,}5 + 3 \cdot 48{,}5 = 180{,}2 \text{ кДж/моль}$$

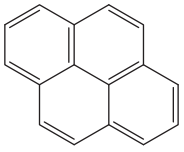
Используя данные по теплотам образования следующих полиароматических соединений:



нафталин $C_{10}H_8$



антрацен $C_{14}H_{10}$



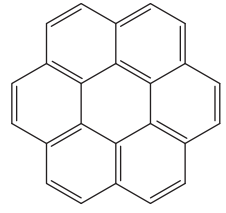
пирен $C_{16}H_{10}$

$Q_{обр}(C_{10}H_8(т)) = -78{,}0$ кДж/моль

$Q_{обр}(C_{14}H_{10}(т)) = -127{,}5$ кДж/моль

$Q_{обр}(C_{16}H_{10}(т)) = -125{,}2$ кДж/моль

оцените $Q_{обр}$ твердого коронена $C_{24}H_{12}$ на основе метода групповых вкладов.



коронен $C_{24}H_{12}$

ДЕКАБРЬ-4

1. Напишите уравнения реакций, характеризующих окислительные (а) и восстановительные (б) свойства пероксида водорода.

2. Рассчитайте плотность этана при температуре 293 К и давлении 100 кПа.

3. Какое вещество может реагировать в водном растворе с каждым из следующих веществ: KOH, $AgNO_3$, HI и $KMnO_4$? Напишите уравнения реакций.

4. Азот входит в состав двух соединений: $N_2X_2Y_4$ и $N_2X_3Y_4$; в первом соединении массовая доля азота 43,75%, элемента **X** — 50,0%. Установите неизвестные соединения. Напишите уравнения реакций этих соединений с раствором щёлочи.

5. При взаимодействии эквимолярной смеси двух металлов с парáми иода при нагревании образовалась смесь иодидов (в каждом иодиде степень окисления металла +2); масса полученной смеси иодидов в 6,708 раза больше массы исходной смеси. Определите неизвестные металлы.

6. Полное омыление 88,4 г жира привело к образованию единственной калиевой соли карбоновой кислоты и 9,2 г глицерина. Напишите формулу жира. Назовите соль.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

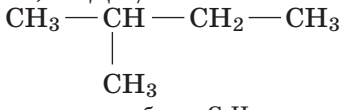
$$C_3H_8 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_3H_7MgBr \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow C_4H_8O_2 \rightarrow \mathbf{X_3} \rightarrow C_4H_5O_2K$$

Укажите структурные формулы веществ и условия проведения реакций.

8. При действии концентрированной серной кислоты на 18,2 г твердого фторида щелочного металла выделился газ, при пропускании которого через известковую воду образовалось 27,3 г осадка. Определите неизвестный металл. Напишите уравнения реакций.

9. При действии избытка металлического натрия на эквимолярную смесь двух галогеналканов получено 30 г иодида натрия и 7,2 г смеси веществ (также в эквимолярных количествах). Каждое из этих веществ образует только одно монохлорпроизводное. Какие галогеналканы использованы в реакции?

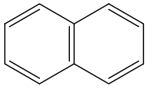
10. Теплоты образования органических веществ в разных агрегатных состояниях можно оценить, применив метод групповых вкладов. Для примера рассмотрим молекулу метилбутана, в которой есть три вида групп: одна CH, одна CH_2 и три CH_3. Вклады этих групп в теплоту образования жидких алканов известны: CH 9,2 кДж/моль; CH_2 25,5 кДж/моль и CH_3 48,5 кДж/моль.



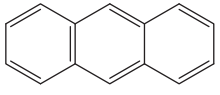
метилбутан C_5H_{12}

$$Q_{обр}(C_5H_{12}(ж)) = 9{,}2 + 25{,}5 + 3 \cdot 48{,}5 = 180{,}2 \text{ кДж/моль}$$

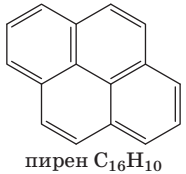
Используя данные по теплотам образования следующих полиароматических соединений:



нафталин $C_{10}H_8$



антрацен $C_{14}H_{10}$



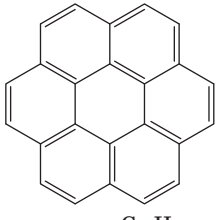
пирен $C_{16}H_{10}$

$Q_{обр}(C_{10}H_8(т)) =$ $= -78{,}0$ кДж/моль

$Q_{обр}(C_{14}H_{10}(т)) =$ $= -127{,}5$ кДж/моль

$Q_{обр}(C_{16}H_{10}(т)) =$ $= -125{,}2$ кДж/моль

оцените $Q_{обр}$ твердого коронена $C_{24}H_{12}$ на основе метода групповых вкладов.



коронен $C_{24}H_{12}$

ЯНВАРЬ-1

1. Напишите электронные конфигурации ионов Fe^{2+} и Fe^{3+}.

2. Напишите уравнение реакции, в которой из слабой кислоты образуются две более сильные кислоты.

3. Напишите структурные формулы двух изомерных спиртов, дающих при дегидратации один и тот же алкен, при окислении которого образуется единственный органический продукт (ацетон).

4. Приведите примеры: а) двух неорганических соединений, в которых массовые доли хлора одинаковые; б) двух органических соединений, в которых массовые доли хлора одинаковые.

5. Углеводород **A** массой 3,60 г, содержащий 93,33% углерода по массе, обработали раствором брома в четыреххлористом углероде. Спиртовой раствор продукта **B** обработали цинком при нагревании, при этом было израсходовано 1,30 г цинка. Определите возможное строение соединений **A** и **B**. Напишите уравнения реакций.

6. Водяной пар пропускают над раскаленным углем при температуре 1000 К:

$$C(\text{графит}) + H_2O(г) \rightleftarrows CO(г) + H_2(г)$$

Константа равновесия этой реакции при 1000 К равна 2,52 бар. Приняв, что в этих условиях протекает только указанная реакция, рассчитайте равновесные давления H_2O, CO и H_2 при общем давлении 1 бар.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения (вещество **X** содержит серу):

$$HNO_3 \xrightarrow[1]{SO_2} \mathbf{X} \xrightarrow{2} \begin{matrix} FeSO_4 \xrightarrow[3]{} Fe(OH)_3 \xrightarrow[4]{} K_2FeO_4 \\ + \\ H_2S \xrightarrow[5]{} Ag_2S \xrightarrow[6]{} Ag \end{matrix}$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_3BrO_2 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_4H_8N_2O_3 \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow C_2H_6N_2O_5 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_2H_4O_3$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. При взаимодействии простых веществ **A** и **B** — элементов одной группы Периодической системы — образуется газ **C**. Пропускание этого газа через избыток раствора NaOH приводит к образованию раствора соли **D**, обесцвечивающего раствор $KMnO_4$, подкисленный серной кислотой. При кипячении раствора соли **D** с веществом **B** получают раствор соли **E**, которую можно выделить из раствора в виде кристаллического пентагидрата. 4,96 г этих кристаллов полностью обесцве-

чивают раствор бромной воды, содержащий 12,8 г брома (подтвердите расчетом). Определите вещества **A** — **E**. Напишите уравнения всех реакций. Укажите условия проведения этих реакций.

10. Смесь двух сульфидов разных металлов массой 40 г подвергли окислительному обжигу в атмосфере кислорода. В результате были получены газ, объем которого 17 л (0,9 атм, температура 100 °C), и твердый остаток массой 32 г. В соединении одного из этих металлов с кислородом его массовая доля равна 0,8. В конечной твердой смеси после обжига массовая доля этого же металла была 0,4. Определите состав исходной смеси.

ЯНВАРЬ-2

1. Напишите электронную конфигурацию ионов S^{2-} и S^{4+}.

2. Напишите уравнение реакции, в которой образуются кислота и основание.

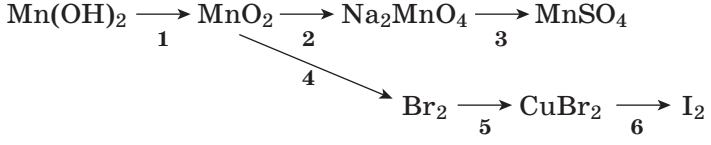
3. Изобразите структурные формулы двух изомерных бромалканов, при дегидробромировании которых образуется один и тот же алкен. Присоединением бромоводорода к этому алкену могут быть получены оба бромалкана. Окисление же этого алкена перманганатом калия в кислой среде дает ацетон и уксусную кислоту.

4. Приведите примеры: а) двух неорганических соединений, в которых массовые доли углерода одинаковые; б) двух органических соединений, в которых массовые доли углерода одинаковые.

5. Углеводород **A** массой 3,96 г, содержащий 90,91% углерода (по массе), обработали раствором брома в тетрахлориде углерода. Спиртовой раствор продукта **B** обработали цинком при нагревании, при этом было израсходовано 1,95 г цинка. Определите возможное строение соединений **A** и **B**. Напишите уравнения реакций.

6. Какой минимальный объем этана (25 °C, 1 атм) надо сжечь, чтобы нагреть 1 л воды от 25 °C до кипения? Теплоты образования диоксида углерода, воды и этана равны 393,5, 285,8 и 84,68 кДж/моль соответственно. Теплоемкость воды 4,184 Дж/(К · г).

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения:



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_9H_9BrO_2 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_{18}H_{20}N_2O_3 \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow C_9H_{12}N_2O_5 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow C_9H_{10}O_3$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. При взаимодействии простого вещества **A** с горячим раствором KOH образуются соли **B** и **C**, причем при охлаждении соль **C** выпадает в осадок. Соль **C** можно получить также электролизом водного раствора соли **B** в электролизере без диафрагмы, при этом масса полученной соли **C** на 40% больше массы исходной соли **B** (подтвердите расчетом). Взаимодействие избытка простого вещества **A** с белым мягким веществом **D** приводит образованию желто-оранжевых кристаллов **E**, которые реагируют с раствором KOH с образованием солей **B** и **F**. При сгорании вещества **D** в большом количестве кислорода образуется оксид **G**, взаимодействие которого с раствором KOH приводит к соли **F**. Определите вещества **A** — **G**. Напишите все реакции, укажите условия их проведения.

10. Смесь двух сульфидов разных металлов массой 40 г подвергли окислительному обжигу в атмосфере кислорода. В результате были получены газ объемом 17 л (0,9 атм, температура 100 °C) и твердый остаток массой 32 г. В соединении с кислородом одного из металлов его массовая доля равна 0,8. В конечной твердой смеси после обжига массовая доля этого же металла была 0,4. Определите состав исходной смеси.

ЯНВАРЬ-3

1. Напишите электронные конфигурации ионов Cl^- и Cl^+.

2. Предложите структурную формулу сопряженного диена, дающего один и тот же продукт как при 1,2-, так и при 1,4-присоединении хлороводорода. Напишите уравнения реакций.

3. Напишите структурные формулы двух изомерных спиртов, дающих при дегидратации один и тот же алкен, окисление которого перманганатом калия в кислой среде приводит к ацетону и уксусной кислоте.

4. Приведите примеры: а) двух неорганических соединений, в которых массовые доли водорода одинаковые; б) двух органических соединений, в которых массовые доли водорода одинаковые.

5. Углеводород **A** массой 3,12 г, содержащий 92,31% углерода по массе, обработали раствором брома в тетрахлориде углерода. Спиртовой раствор продукта **B** обработали цинком при нагревании, при этом было израсходовано 1,95 г цинка. Определите возможное строение соединений **A** и **B**. Напишите уравнения реакций.

6. При взаимодействии 31 г белого фосфора с хлором образовалась смесь хлоридов фосфора(III) и фосфора(V) и выделилось 353 кДж теплоты. Рассчитайте состав полученной смеси хлоридов в мольных процентах. Теплоты образования хлорида фосфора(III) и хлорида фосфора(V) равны 287 и 375 кДж/моль соответственно.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения:

$$\begin{array}{l} \qquad\qquad\quad I_2 \xrightarrow[2]{} KIO_3 \\ NaI \xrightarrow[1]{} + \\ \qquad\qquad\quad H_2S \xrightarrow[3]{} Cu_2S \xrightarrow[4]{} CuO \xrightarrow[5]{} Cu \xrightarrow[6]{} CuCl_2 \end{array}$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_4O_2 \to C_2H_3BrO_2 \to \mathbf{X_1} \to C_4H_8N_2O_3 \to \mathbf{X_2} \to$$

$$\to C_2H_6N_2O_5 \to C_2H_4NO_2Na$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Образец металлического натрия был полностью сожжен в кислороде; масса продукта на 69,5% больше массы взятого натрия. При осторожном растворении 1,56 г продукта горения натрия в подкисленном серной кислотой растворе иодида калия образуется раствор буро-коричневого цвета. Какой объем раствора тиосульфата натрия (концентрация 0,5 моль/л) потребуется для полного обесцвечивания этого раствора?

10. Смесь двух сульфидов разных металлов массой 40 г подвергли окислительному обжигу в атмосфере кислорода. В результате были получены газ объемом 17 л (0,9 атм, температура 100 °C) и твердый остаток массой 32 г. В соединении с кислородом одного из металлов его массовая доля равна 0,8. В конечной твердой смеси после обжига массовая доля этого же металла была 0,4. Определите состав исходной смеси.

ЯНВАРЬ-4

1. Напишите электронную конфигурацию ионов S^{2-} и S^{6+}.

2. Изобразите структурную формулу простейшей карбоновой кислоты, которая реагирует с бромной водой. Напишите уравнение реакции.

3. Изобразите структурные формулы двух изомерных спиртов, дающих при дегидратации один и тот же алкен, при окислении которого перманганатом калия в кислой среде образуются бутанон и уксусная кислота.

4. Приведите примеры: а) двух неорганических соединений, в которых массовые доли кислорода одинаковые; б) двух органических соединений, в которых массовые доли кислорода одинаковые.

5. Углеводород **A** массой 4,72 г, содержащий 91,52% углерода (по массе), обработали раствором брома в тетрахлориде углерода. Далее спиртовой раствор продукта **B** обработали цинком при нагревании, при этом израсходовано 2,60 г цинка. Определите строение соединений **A** и **B**. Напишите уравнения реакций.

6. При полном окислении 1 моль газообразного азота до NO поглощается 180 кДж теплоты, а при полном окислении 2 моль NO до NO_2 выделяется 114 кДж. Рассчитайте теплоту образования диоксида азота NO_2 (в кДж/моль).

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения. Вещество **X** содержит серу.

$$Na_2S \xrightarrow[1]{} H_2S \xrightarrow[2]{} \mathbf{X} \xrightarrow[3]{} H_2SO_4 \xrightarrow[4]{} FeSO_4 \xrightarrow[5]{t} \mathbf{X} \xrightarrow[6]{} Na_2SO_3$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_9H_{10}O_2 \to C_9H_9BrO_2 \to \mathbf{X_1} \to C_{18}H_{20}N_2O_3 \to \mathbf{X_2} \to$$
$$\to C_9H_{12}N_2O_5 \to C_9H_{10}NO_2K$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Смесь дигидрата оксалата марганца(II) и карбоната марганца(II) массой 40,9 г прокалили в инертной атмосфере. Образовался твердый серо-зеленый остаток **A** и газообразные продукты разложения. Образовавшиеся газы пропустили сначала через раствор гидроксида кальция, а затем через аммиачный раствор оксида серебра. Из первого раствора выпал белый осадок **B**, а из второго — черный осадок **C** массой 21,6 г. Определите состав осадка **C**, а также состав и массу веществ **A** и **B**. Рассчитайте массовые доли солей в исходной смеси. Напишите уравнения всех реакций.

10. Смесь двух сульфидов разных металлов массой 40 г подвергли окислительному обжигу в атмосфере кислорода. В результате были получены газ объемом 17 л (0,9 атм, температура 100 °C) и твердый остаток массой 32 г. В соединении с кислородом одного из металлов его массовая доля равна 0,8. В конечной твердой смеси после обжига массовая доля этого же металла была 0,4. Определите состав исходной смеси.

5–9 КЛАССЫ

1. Напишите уравнения реакций, характеризующих амфотерные свойства гидроксида цинка.

2. В трех сосудах одинакового объема (н. у.) находятся три разных вещества: азот, хлороводород и вода. Расположите вещества в порядке возрастания числа молекул в этих сосудах. Ответ обоснуйте.

3. Приведите по два примера веществ, имеющих красную и зеленую окраску.

4. Каким атомам и ионам соответствует электронная конфигурация $1s^2 2s^2 2p^6$? Напишите формулы соединений с этими ионами и назовите их.

5. Для элемента в высшей степени окисления молярные массы его оксида и хлорида относятся как 6 : 17. Какой элемент образует эти соединения?

6. Массовая доля неизвестного газа в смеси с метаном равна 50%, объемная доля 20%. Определите, какой это газ.

7. Смесь этилена и ацетилена сожгли в кислороде — образовалась газовая смесь, содержащая 60 об. % CO_2 и 40 об. % H_2O. Какова объемная доля этилена в исходной смеси?

8. При сгорании 53,76 л (н. у.) ацетилена выделилось 3118,8 кДж теплоты. Рассчитайте теплоту образования ацетилена. Теплоты образования CO_2 и H_2O равны 393,5 и 285,8 кДж/моль соответственно.

9. Известняк используют для производства гашёной, негашёной и белильной извести, гипса и карбида кальция. Напишите формулы указанных соединений и назовите их согласно правилам химической номенклатуры. Напишите уравнения реакций получения этих соединений из известняка с указанием условий проведения.

10. Какой объем 28%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,17 г/мл) следует прибавить к 50 г фосфата кальция для его полного растворения?

11. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Укажите условия их проведения.

$$FeSO_4 \xrightarrow{1} \mathbf{X_1} \xrightarrow{2} S \xrightarrow{3} \mathbf{X_2} \xrightarrow{4} H_2S \xrightarrow{5} \mathbf{X_3} \xrightarrow{6} H_2SO_4$$

12. К 50 г 35,6%-го раствора галогенида щелочного металла прибавили 10 г раствора нитрата серебра. После выделения осадка концентрация исходного раствора галогенида уменьшилась в 1,2 раза. Установите формулу галогенида металла.

ОЧНЫЙ ТУР

10–11 КЛАССЫ

ВАРИАНТ 1

1. Напишите структурную формулу кислоты, анион $ЭO_4^-$ которой содержит 50 электронов. Укажите степень окисления атома **Э**.

2. Напишите формулу $CH_2Zn_2O_5$ в общепринятом виде и назовите это соединение.

3. При смешении 200 мл раствора перхлората натрия (концентрация 0,2 моль/л) и 300 мл раствора хлорида калия (концентра-

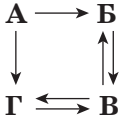
ция 0,3 моль/л) выпал осадок $KClO_4$. Произведение растворимости $KClO_4$ $1{,}1 \cdot 10^{-2}$. Объемом осадка можно пренебречь. Определите массу осадка.

4. При сгорании смеси двух органических соединений образуются только углекислый газ и вода; массовая доля углерода в исходной смеси 40%. Общая масса продуктов сгорания 32 г, массовая доля водорода в продуктах сгорания 5%. Установите качественный и количественный состав исходной смеси.

5. Смесь нитрата ртути(II) и нитрата алюминия массой 22,53 г прокалили при температуре >400 °С. Полученная в результате прокаливания газовая смесь была пропущена через раствор гидроксида калия. Объем прошедшего через раствор (непоглощенного) газа составил 366 мл (298 К, 1 атм). Рассчитайте массовые доли веществ в исходной навеске.

6. При сжигании газовой смеси, состоящей из этана и метана, выделилось 8250 Дж теплоты. Продукты сгорания последовательно пропущены через хлоркальциевую трубку и 1 л дистиллированной воды — при этом масса хлоркальциевой трубки увеличилась на 306 мг. $K_{\text{дисс}}(H_2CO_3/HCO_3^-) = 4{,}27 \cdot 10^{-7}$; теплота сгорания этана и метана 1561 и 891 кДж/моль соответственно. Рассчитайте pH водного раствора.

7. Расшифруйте следующую схему превращений, где вещество **Б** — этилен:



Напишите уравнения реакций, укажите условия их протекания. Укажите структурные формулы соединений **А** — **Г**.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Укажите условия проведения этих реакций. Вещество **X** содержит марганец, вещество **Y** — серу.

$$Mn(NO_3)_2 \rightarrow MnO_2 \xrightarrow{KOH(т),\,O_2,\,t} \mathbf{X} \rightarrow KMnO_4 \xrightarrow{H_2S,\,H_2SO_4(р\text{-}р)} \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow FeS \rightarrow SO_2$$

9. В реакции карбоновой кислоты с пропанолом-2 получено 28 г сложного эфира с выходом 70%. При полной нейтрализации такого же количества этой кислоты водным раствором гидроксида калия образовалось 38,4 г соли. Предложите формулу карбоновой кислоты. Что происходит с этой кислотой и ее изомером при нагревании до 150 °С? Напишите уравнения всех реакций.

10. При взаимодействии двух простых веществ, одно из которых — светло-желтый газ (плотность по фтороводороду 1,9), полу-

чена светло-желтая жидкость, в которой массовая доля более тяжелого элемента 58,39%. Это жидкое вещество активно взаимодействует с раствором гидроксида натрия. При электролизе полученного раствора в электролизере с диафрагмой (где продукты электролиза не взаимодействуют с раствором) масса продуктов, выделившихся на аноде до начала выделения кислорода, равна 1,72 г. Рассчитайте максимальную массу порции сульфита натрия, которая может быть окислена раствором, полученным в реакции со щёлочью.

ВАРИАНТ 2

1. Напишите структурную формулу кислоты, анион $ЭO_2^-$ которой содержит 34 электрона. Укажите степень окисления атома **Э**.

2. Напишите формулу $H_{14}O_2N_4Cu$ в общепринятом виде и назовите это соединение.

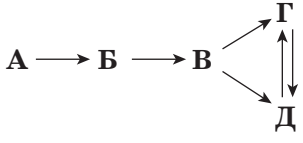
3. При смешении 200 мл раствора бромата натрия (концентрация 0,5 моль/л) и 100 мл раствора хлорида рубидия (концентрация 0,25 моль/л) образовался осадок $RbBrO_3$. Произведение растворимости $RbBrO_3$ $2{,}0 \cdot 10^{-2}$. Объемом осадка можно пренебречь. Определите массу осадка.

4. При сгорании смеси двух органических соединений образуются только углекислый газ и вода. Массовая доля водорода в исходной смеси 15%. Общая масса продуктов сгорания 24 г, массовая доля углерода в продуктах сгорания 15%. Установите качественный и количественный состав исходной смеси.

5. Смесь нитрата ртути(II) и нитрата железа(III) массой 17,84 г прокалили при температуре >400 °С. Полученную смесь газов пропустили через раствор гидроксида лития — объем прошедшего через раствор (непоглощенного) газа 489 мл (298 К, 1 атм). Рассчитайте массовые доли веществ в исходной навеске.

6. При сжигании газовой смеси этана и пропана выделилось 8,56 кДж теплоты. Продукты сгорания были последовательно пропущены через хлоркальциевую трубку и 5 л дистиллированной воды, при этом масса хлоркальциевой трубки увеличилась на 279 мг. $K_{\text{дисс}}(H_2CO_3/HCO_3^-) = 4{,}27 \cdot 10^{-7}$. Теплота сгорания этана и пропана 1561 и 2222 кДж/моль соответственно. Рассчитайте pH водного раствора.

7. Расшифруйте следующую схему превращений, где вещество **Б** — этанол:



Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания. Укажите структурные формулы соединений **А** — **Г**.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения. Вещество **X** содержит калий, вещество **Y** — алюминий.

$$KClO_3 \rightarrow KCl \xrightarrow{\text{электролиз раствора, диафрагма}} \mathbf{X} \rightarrow K[Al(OH)_4] \rightarrow$$

$$\rightarrow AlCl_3 \xrightarrow{Na_2CO_3\text{(р-р)}} \mathbf{Y} \rightarrow KAlO_2$$

9. В реакции карбоновой кислоты с бутанолом-1 получено 6,48 г сложного эфира с выходом 75%. При полной нейтрализации такого же количества этой кислоты водным раствором гидроксида бария образовалось 9,56 г соли. Установите формулу карбоновой кислоты. Что происходит с этой кислотой при нагревании до 150 °C? Напишите уравнения реакций.

10. При взаимодействии двух простых веществ, одно из которых представляет собой черные кристаллы с фиолетовым блеском (плотность его паров по азоту 9,07), получены красные кристаллы, в которых массовая доля более легкого элемента 21,846%. Эти красные кристаллы могут активно взаимодействовать с раствором гидроксида натрия. При электролизе полученного раствора в электролизере с диафрагмой (где продукты электролиза не могут взаимодействовать с раствором) масса продуктов, выделившихся на аноде до начала выделения кислорода составила 7,21 г. Рассчитайте максимальный объем сернистого газа (н. у.), который может быть окислен раствором, полученным в реакции со щёлочью.

5–9 КЛАССЫ

1. Молекула серы в восемь раз тяжелее молекулы кислорода. Какова молекулярная формула серы?

2. Вещество состоит из двух элементов, масса всех атомов одного из них в 16 раз больше массы всех атомов другого элемента. Установите формулу вещества.

3. Назовите четыре химических элемента, название которых так или иначе связано с нашей страной — Россией.

4. Водный раствор содержит 1,2 моль ионов калия, 1,8 моль нитрат-ионов и ионы алюминия. Каково количество (моль) ионов алюминия в растворе?

5. Приведите пример вещества, в котором один и тот же элемент одновременно проявляет и низшую, и высшую степени окисления. Напишите уравнение реакции с участием этого вещества.

6. Простое вещество **Z** образует соединения состава $\mathbf{XZ_2}$ и $\mathbf{YZ_2}$; элементы **X** и **Y** — ближайшие соседи элемента **Z** по периоду и по группе.

Определите элементы **X**, **Y** и **Z**. Напишите уравнение реакции между соединениями $\mathbf{XZ_2}$ и $\mathbf{YZ_2}$.

7. Напишите уравнения окислительно-восстановительных реакций, соответствующих следующим схемам превращений:

а) $H_2SO_4 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow H_2SO_4$

б) $NO_2 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow NO_2$

в) $O_2 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow O_2$

г) $H_2 \rightarrow \mathbf{Q} \rightarrow H_2$

Определите неизвестные промежуточные вещества.

8. Оксид фосфора P_2O_5 может реагировать с водой в молярных соотношениях 1 : 1, 1 : 2 и 1 : 3. Напишите уравнения этих реакций и структурные формулы продукта в каждой реакции.

9. Имея в распоряжении только водород, воздух и поваренную соль, получите (а) кислоту; (б) основание; (в) соль, в составе которой три элемента; (г) кислотный оксид; (д) основный оксид. Можно использовать любые физические процессы и катализаторы.

10. Жидкое вещество **X** состоит из атомов двух элементов, которые есть в организме человека. В молекуле **X** шесть атомов, молекулярная масса **X** такая же, как у молекулы кислорода; массовая доля более тяжелого элемента в веществе **X** 87,5%. Вещество **X** получают реакцией между пероксидом водорода H_2O_2 и веществом **Y**, которое состоит из тех же атомов, что и **X**, но в соотношении 1 : 3. Установите молекулярную формулу **X** и напишите его структурную формулу. Напишите уравнение реакции получения этого соединения.

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

1. Напишите формулы двух соединений меди, в которых этот элемент имеет разные степени окисления, и уравнения реакций получения этих соединений.

2. Сколько граммов кристаллогидрата $LiNO_2 \cdot H_2O$ нужно взять для приготовления 200 г 1,06%-го водного раствора нитрита лития? Определите молярную концентрацию этого раствора (плотность 1,01 г/мл).

3. 1008 мл (н. у.) газообразного предельного углеводорода сожгли. Продукты сгорания пропустили через 540 г баритовой воды (1,9%-й раствор) — образовалось 5,91 г осадка. Установите формулу углеводорода.

4. Раствор, содержащий эквимолярную смесь двух галогенидов натрия, разделили пополам. В одну порцию добавили избыток раствора нитрата серебра, в другую — избыток раствора сульфата магния; масса первого осадка больше массы второго в 6,065 раза. Установите формулы галогенидов. Напишите уравнения реакций.

5. Смесь азота и водорода (плотность по гелию 2,125) поместили с целью синтеза аммиака в герметично закрытый реактор с ванадиевым катализатором при температуре 350 °C и повышенном давлении. Через некоторое время давление в реакторе стало меньше на 10% (при той же температуре). Вычислите степень превращения азота в аммиак и содержание аммиака (в объемных процентах) в реакционной смеси.

6. В сосуде объемом 8,0 л смешали при определенной температуре 0,25 моль вещества $\mathbf{A_2}$ и 0,45 моль вещества $\mathbf{B_2}$. Через 25 минут в системе установилось равновесие:

$$\mathbf{A_2}(г) + \mathbf{B_2}(г) \rightleftarrows 2\mathbf{AB}(г)$$

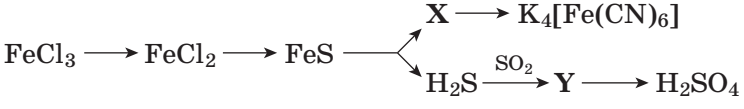
Средняя скорость расхода $\mathbf{B_2}$ $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ моль/(л · мин). Рассчитайте константу равновесия этой реакции и мольные доли всех веществ в равновесной смеси. Во сколько раз скорость прямой реакции в равновесной системе меньше начальной скорости? Прямую реакцию считайте элементарной.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_3H_6O \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_3H_6 \rightarrow C_3H_7Br \rightarrow C_3H_8O \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_3H_6O_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения. Вещество **X** содержит железо, вещество **Y** — серу.



9. Взяли 0,726 г нуклеотида, который подвергли гидролизу. Для нейтрализации смеси продуктов потребовалось 24 мл раствора едкого кали (концентрация 0,25 моль/л). Из раствора выделили смесь органических веществ, которую сожгли в избытке кислорода. Образовавшиеся газы были пропущены последовательно через избыток известковой воды, концентрированную серную кислоту и трубку с раскаленной медью. При этом выпало 2 г осадка и остался непоглощенный газ объемом 0,129 л (давление нормальное, 42 °C). Определите формулу нуклеотида. Напишите уравнения всех реакций.

10. Смесь оксида марганца(IV) и гидроксида цинка массой 9,3 г была полностью растворена в концентрированной соляной кислоте; выделилось 1,12 л газа (н. у.). К раствору добавили избыток сульфида аммония — образовался осадок, который отфильтровали, высушили и сожгли в избытке кислорода. Рассчитайте массу твердых продуктов сгорания.

ВАРИАНТ 2

1. Напишите формулы двух соединений хрома, в которых этот элемент имеет разные степени окисления, и уравнения реакций получения этих соединений.

2. Сколько граммов кристаллогидрата $CdCl_2 \cdot 2H_2O$ нужно взять для приготовления 120 г 2,29%-го водного раствора хлорида кадмия? Определите молярную концентрацию этого раствора (плотность 1,02 г/мл).

3. Углеводород ряда алкенов, взятый в объеме 560 мл (н. у.), сожгли. Продукты сгорания пропустили через 450 г баритовой воды (1,9%-й раствор), в результате образовалось 4,925 г осадка. Установите формулу углеводорода.

4. Раствор, содержащий эквимолярную смесь двух галогенидов натрия, разделили пополам. В одну порцию добавили избыток раствора нитрата серебра, в другую — избыток раствора сульфата магния; масса первого осадка больше массы второго в 4,630 раза. Установите формулы галогенидов. Напишите уравнения реакций.

5. Смесь пропилена и водорода (плотность по этану 0,6) поместили в герметично закрытый реактор с платиновым катализатором при температуре 25 °C и повышенном давлении. Через некоторое время давление в реакторе стало меньше на 25% (при той же температуре). Вычислите степень превращения пропилена в пропан и содержание пропана (в объемных процентах) в реакционной смеси.

6. В сосуде объемом 5,0 л смешали при определенной температуре 0,3 моль вещества $\mathbf{A_2}$ и 0,5 моль вещества $\mathbf{B_2}$. Через 20 минут в системе установилось равновесие. Константа равновесия $K = 4$.

$$\mathbf{A_2}(г) + \mathbf{B_2}(г) \rightleftarrows 2\mathbf{AB}(г)$$

Найдите мольные доли всех веществ в равновесной смеси. Определите среднюю скорость образования **AB** (за время от начала реакции до установления равновесия). Во сколько раз скорость прямой реакции в равновесной системе меньше начальной скорости? Прямую реакцию считайте элементарной.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_3H_6O_2 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_3H_6O \rightarrow C_4H_9OMgBr \rightarrow C_4H_{10}O \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_8H_{18}$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения. Вещество **X** содержит углерод, вещество **Y** — хром.

$$HCOOH \rightarrow CO \xrightarrow{CuO,\,t} \mathbf{X} \xrightarrow{K_3[Cr(OH)_6]} \mathbf{Y} \rightarrow K_2CrO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 \rightarrow Cr_2O_3$$

9. Взяли 0,993 г нуклеотида, который подвергли гидролизу. Для нейтрализации смеси продуктов потребовалось 360 мл раствора гидроксида калия (концентрация 0,025 моль/л). Из раствора выделили смесь органических веществ, которую сожгли в избытке кислорода. Образовавшиеся газы были пропущены последовательно через избыток раствора едкого натра, концентрированную серную кислоту и трубку с раскаленной медью. При этом масса раствора щёлочи увеличилась на 1,32 г и остался непоглощенный газ объемом 0,183 л (давление нормальное, 24 °C). Определите формулу нуклеотида. Напишите уравнения всех реакций.

10. Смесь алюминия и цинка массой 5,3 г смешали с 9,6 г серы. После нагревания приготовленной смеси без доступа воздуха получили твердый продукт, который обработали избытком воды. Нерастворившийся остаток отфильтровали и высушили. Далее этот остаток, масса которого 15,2 г, был полностью растворен в концентрированной азотной кислоте. Рассчитайте объем выделившегося в последней реакции бурого газа (н. у.).

ВАРИАНТ 3

1. Напишите формулы двух соединений кислорода, в которых этот элемент имеет разные степени окисления, и уравнения реакций получения этих соединений.

2. Сколько граммов кристаллогидрата $CuBr_2 \cdot H_2O$ нужно взять для приготовления 160 г 1,40%-го водного раствора бромида меди? Определите молярную концентрацию этого раствора (плотность 1,01 г/мл).

3. 448 мл (н. у.) углеводорода ряда алкенов сожгли. Продукты сгорания пропустили через 540 г баритовой воды (0,95%-й раствор) — образовалось 3,94 г осадка. Установите формулу углеводорода.

4. Раствор, содержащий эквимолярную смесь двух галогенидов натрия, разделили пополам. В одну порцию добавили избыток раствора нитрата серебра, в другую — избыток раствора сульфата магния; масса первого осадка больше массы второго в 7,580 раза. Установите формулы галогенидов. Напишите уравнения реакций.

5. Смесь оксида углерода(II) и водорода (плотность по азоту 0,35) поместили с целью синтеза метанола в герметично закрытый реактор с медно-цинковым катализатором при температуре 250 °C и повышенном давлении. Через некоторое время давление в реакторе стало меньше на 6% (при той же температуре). Вычислите степень превращения оксида углерода(II) в метанол и содержание метанола (в объемных процентах) в реакционной смеси.

6. В сосуде объемом 12 л смешали при определенной температуре 0,9 моль вещества $\mathbf{A_2}$ и 0,6 моль вещества $\mathbf{B_2}$. Через 15 минут в системе установилось равновесие:

$$\mathbf{A_2}(г) + \mathbf{B_2}(г) \rightleftarrows 2\mathbf{AB}(г)$$

Расход $\mathbf{A_2}$ происходил со средней скоростью $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ моль/(л · мин). Рассчитайте константу равновесия этой реакции и мольные доли всех веществ в равновесной смеси. Во сколько раз скорость прямой реакции в равновесной смеси меньше начальной скорости? Прямую реакцию считайте элементарной.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_2 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_2H_4O_2 \rightarrow C_2H_3O_2Cl \rightarrow C_2H_5NO_2 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_2H_3O_2Br$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения. Вещество **X** содержит марганец, вещество **Y** — иод.

$$HI \leftarrow KI \leftarrow KIO_3 \leftarrow \mathbf{Y} \xleftarrow{KI,\ H_2SO_4(разб.)} KMnO_4 \xrightarrow{MnSO_4,\ H_2O} \mathbf{X} \rightarrow MnCl_2$$

9. Взяли 1,61 г нуклеотида, который подвергли гидролизу. Для нейтрализации смеси продуктов потребовалось 75 мл раствора гидроксида бария (концентрация 0,1 моль/л). Из раствора выделили смесь органических веществ, которую сожгли в избытке кислорода. Образовавшиеся газы были пропущены последовательно через избыток раствора едкого натра, концентрированную серную кислоту и трубку с раскаленной медью. При этом масса первого раствора увеличилась на 2,2 г и остался непоглощенный газ объемом 0,124 л (давление нормальное, 29 °C). Определите формулу нуклеотида. Напишите все уравнения реакций.

10. К раствору смеси сульфата цинка и сульфата марганца(II) добавили избыток сульфида аммония — образовался осадок массой 7,36 г. Осадок отфильтровали и полностью растворили в соляной кислоте. Выделившийся газ пропустили через избыток концентрированной азотной кислоты — выделился бурый газ объемом 14,336 л (н. у.). Рассчитайте массу сульфатов в исходном растворе.

ВАРИАНТ 4

1. Напишите формулы двух соединений брома, в которых этот элемент имеет разные степени окисления, и уравнения реакций получения этих соединений.

2. Сколько граммов кристаллогидрата $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ нужно взять для приготовления 180 г 1,40%-го водного раствора хлорида марганца? Определите молярную концентрацию полученного раствора (плотность 1,01 г/мл).

3. Предельный углеводород объемом 504 мл (н. у.) сожгли. Продукты сгорания пропустили через 275 г 0,74%-го раствора известковой воды — образовалось 1 г осадка. Установите формулу углеводорода.

4. Раствор, содержащий эквимолярную смесь двух галогенидов натрия, разделили пополам. В одну порцию добавили избыток раствора нитрата серебра, в другую — избыток раствора нитрата бария; масса первого осадка больше массы второго в 2,150 раза. Установите формулы галогенидов. Напишите уравнения реакций.

5. Смесь оксида углерода(II) и водорода (плотность по аммиаку 0,5) поместили с целью синтеза метанола в герметично закрытый реактор с медно-цинковым катализатором при температуре 250 °C и повышенном давлении. Через некоторое время давление в реакторе стало меньше на 10% (при той же температуре). Вычислите степень превращения оксида углерода(II) в метанол и содержание метанола (в объемных процентах) в реакционной смеси.

6. В сосуде объемом 15 л смешали при определенной температуре 0,8 моль вещества $\mathbf{A_2}$ и 0,7 моль вещества $\mathbf{B_2}$. Через 30 минут в системе установилось равновесие с константой равновесия 2,1.

$$\mathbf{A_2}(г) + \mathbf{B_2}(г) \rightleftarrows 2\mathbf{AB}(г)$$

Найдите мольные доли всех веществ в равновесной смеси. Определите среднюю скорость образования **AB** (за время от начала реакции до установления равновесия)? Во сколько раз скорость прямой реакции в равновесной смеси меньше начальной скорости? Прямую реакцию считайте элементарной.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$CH_2O \to C_2H_5OMgI \to C_2H_6O \to \mathbf{X} \to C_2H_4O_2 \to \mathbf{Y} \to C_2H_6$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения. Вещество **X** содержит азот, вещество **Y** — серебро.

$$NH_4NO_2 \xrightarrow{t} \mathbf{X} \to NH_3 \to [Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{H_2S} \mathbf{Y} \to AgNO_3 \to Ag$$

9. Взяли 1,292 г нуклеотида, который подвергли гидролизу. Для нейтрализации смеси продуктов потребовалось 60 мл раствора едкого натра (концентрация 0,2 моль/л). Из раствора выделили смесь органических веществ, которую сожгли в избытке кислорода. Образовавшиеся газы были пропущены последовательно через избыток известковой воды, концентрированную серную кислоту и трубку с раскаленной медью. При этом выпало 3,6 г осадка и остался непоглощенный газ объемом 0,15 л (давление нормальное, 32 °С). Определите формулу нуклеотида. Напишите все уравнения реакций.

10. Смесь оксида цинка и оксида железа(III) растворили в разбавленной серной кислоте. К полученному раствору добавили избыток сульфида аммония — образовалось 5,13 г осадка, при обработке которого избытком соляной кислоты выделилось 1,12 л газа (н. у.). Рассчитайте массу исходной смеси оксидов.

ВАРИАНТ 5 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. Напишите формулы двух соединений марганца, в которых этот элемент имеет разные степени окисления, и уравнения реакций получения этих соединений.

2. Сколько граммов кристаллогидрата $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ нужно взять для приготовления 150 г 2,22%-го водного раствора хлорида кальция? Определите молярную концентрацию этого раствора (плотность 1,03 г/мл).

3. Предельный углеводород объемом 336 мл (н. у.) сожгли. Продукты сгорания пропустили через 360 г баритовой воды (1,9%-й раствор) — образовалось 3,94 г осадка. Установите формулу предельного углеводорода.

4. Раствор, содержащий эквимолярную смесь двух галогенидов натрия, разделили пополам. В одну порцию добавили избыток раствора нитрата серебра, в другую — избыток раствора нитрата бария; масса первого осадка в 2,685 раза больше массы второго. Установите формулы галогенидов. Напишите уравнения реакций.

5. Смесь азота и водорода (плотность по метану 0,45) поместили с целью синтеза аммиака в герметично закрытый реактор с ванадиевым катализатором при температуре 350 °С и повышенном давлении. Через некоторое время давление в реакторе стало меньше на 8% (при той же температуре). Вычислите степень превращения азота в аммиак и содержание аммиака (в объемных процентах) в реакционной смеси.

6. В сосуде объемом 30 л смешали при определенной температуре 1,8 моль вещества $\mathbf{A_2}$ и 2,7 моль вещества $\mathbf{B_2}$. Через 15 минут в системе установилось равновесие:

$$\mathbf{A_2}(г) + \mathbf{B_2}(г) \rightleftarrows 2\mathbf{AB}(г)$$

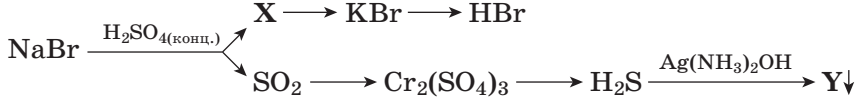
Средняя скорость образования **AB** $4{,}0 \cdot 10^{-3}$ моль/(л · мин). Рассчитайте константу равновесия этой реакции и мольные доли всех веществ в равновесной смеси. Во сколько раз скорость прямой реакции в равновесной смеси меньше начальной скорости? Прямую реакцию считайте элементарной.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_4O_2 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow CH_2O \rightarrow C_3H_7OMgBr \rightarrow C_3H_8O \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_4H_8O_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения. Вещество **X** содержит бром, вещество **Y** — серу.



9. Взяли 1,452 г нуклеотида, который подвергли гидролизу. Для нейтрализации смеси продуктов потребовалось 60 мл раствора гидроксида натрия (концентрация 0,2 моль/л). Из раствора выделили смесь органических веществ, которую сожгли в избытке кислорода. Образовавшиеся газы пропущены последовательно через избыток раствора гидроксида бария, концентрированную серную кислоту и трубку с раскаленной медью. При этом выпало 7,88 г осадка и остался непоглощенный газ объемом 0,238 л (давление нормальное, 17 °C). Определите формулу нуклеотида. Напишите уравнения всех реакций.

10. Смесь пирита FeS_2 и сульфида меди(I) сожгли в избытке кислорода. По окончании горения получено 32 г твердого остатка, который растворили в избытке соляной кислоты. При добавлении к раствору избытка сульфида аммония масса осадка 40 г. Рассчитайте массу исходной смеси.

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

ВАРИАНТ 1

1. Сколько протонов, нейтронов и электронов в частице $^{16}O^{2-}$?

2. Напишите уравнение реакции 1-бромпропана с гидроксидом натрия в воде.

3. С помощью какого реагента можно обнаружить примесь Na_2SO_4 в NaCl? Напишите уравнение реакции.

4. В сосуде объемом 3 л находится 1,6 г газообразного простого вещества при 25 °С и 660,4 кПа. Установите формулу этого газа.

5. Как изменится скорость следующей реакции, если давление в системе уменьшить в 2 раза?

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

6. Смесь равных количеств нитрата калия и гидрокарбоната магния прокалили. Вычислите плотность по хлору образовавшейся газовой смеси.

7. Какой объем (в мл) 2%-й иодоводородной кислоты (плотность 1,01 г/мл) требуется для нейтрализации 250 мл раствора гидроксида натрия с pH = 12?

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_3H_8O \rightarrow C_3H_7Br \rightarrow C_6H_{14} \rightarrow C_6H_6 \rightarrow C_7H_8 \rightarrow C_7H_6O_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$MgCl_2 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow MgCl_2$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции протекают без изменения степеней окисления элементов; 2) все реакции — окислительно-восстановительные.

10. Углеводород при добавлении избытка водного раствора брома вступает в реакцию присоединения — образуется дибромпроизводное. Установите структурную формулу углеводорода. Известно, что в этом углеводороде 93,33% (по массе) углерода, в продукте присоединения — 47,06% брома. Напишите уравнения реакций.

ВАРИАНТ 2

1. Сколько протонов, нейтронов и электронов в частице $^{37}Cl^-$?

2. Напишите уравнение реакции 2-бромпропана с гидроксидом натрия в спирте.

3. С помощью какого реагента можно обнаружить примесь Na_2CO_3 в Na_2SO_4? Напишите уравнение реакции.

4. В сосуде объемом 5 л находится 11,4 г газообразного простого вещества при 25 °С и 148,6 кПа. Установите формулу этого газа.

5. Как изменится скорость следующей реакции, если давление в системе уменьшить в 4 раза?

$$CO + Cl_2 \rightarrow COCl_2$$

6. Смесь равных количеств карбоната магния и гидросульфита кальция обработали избытком разбавленной серной кислоты. Вычислите плотность по азоту образовавшейся газовой смеси.

7. Какой объем (в мл) 10%-й соляной кислоты (плотность 1,05 г/мл) потребуется для нейтрализации 2 л раствора гидроксида натрия с pH = 12?

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_5Cl \rightarrow C_2H_4 \rightarrow C_2H_6O \rightarrow C_2H_4O_2 \rightarrow C_2H_3ClO_2 \rightarrow C_2H_5NO_2$$

В уравнениях используйте структурные формулы. Укажите условия протекания реакций.

9. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$Fe(NO_3)_3 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow Fe(NO_3)_3$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции протекают без изменения степеней окисления элементов; 2) все реакции окислительно-восстановительные.

10. Углеводород вступает в реакцию присоединения при добавлении избытка водного раствора брома — образуется дибромпроизводное. Установите структурную формулу углеводорода. Известно, что в этом углеводороде 88,23% (по массе) углерода, в продукте присоединения — 70,17% брома. Напишите уравнения реакций.

ВАРИАНТ 3

1. Сколько протонов, нейтронов и электронов в частице $^{24}Mg^{2+}$?

2. Напишите уравнение реакции 1-хлорпропана с гидроксидом натрия в воде.

3. С помощью какого реагента можно обнаружить примесь $(NH_4)_2SO_4$ в NH_4Cl? Напишите уравнение реакции.

4. В сосуде, имеющем объем 1 л, находится 0,8 г простого газообразного вещества при 25 °C и 495,3 кПа. Установите формулу этого газа.

5. Как изменится скорость следующей реакции, если давление в системе увеличить в 2 раза?

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

6. Смесь равных количеств сульфита магния и гидрокарбоната кальция обработали избытком разбавленной серной кислоты. Вычислите плотность по неону образовавшейся газовой смеси.

7. Какой объем (в мл) 10%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,06 г/мл) требуется для нейтрализации 2,5 л раствора гидроксида калия с pH = 12?

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_4 \rightarrow C_2H_5OH \rightarrow C_2H_5Br \rightarrow C_6H_5C_2H_5 \rightarrow$$
$$\rightarrow C_6H_5CHClCH_3 \rightarrow C_6H_5CH{=}CH_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$CuSO_4 \rightarrow \mathbf{X_1} \rightarrow \mathbf{X_2} \rightarrow CuSO_4$$

Рассмотрите два случая: 1) все реакции протекают без изменения степеней окисления элементов; 2) все реакции окислительно-восстановительные.

10. Углеводород вступает в реакцию присоединения при добавлении избытка раствора брома в воде — образуется дибромпроизводное. Установите структурную формулу углеводорода. Известно, что в этом углеводороде 87,80% (по массе) углерода, в продукте присоединения — 66,11% брома. Напишите уравнения реакций.

2015 ГОД

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

10–11 КЛАССЫ

НОЯБРЬ-1

1. Почему у уксусной кислоты более высокая температура кипения (118 °С), чем у этилового эфира уксусной кислоты (77 °С)?

2. Какой объем 10%-го раствора нитрата бария, плотность которого 1,1 г/мл, надо добавить к 200 г 5%-го раствора сульфата натрия для получения 2%-го раствора нитрата бария?

3. Смесь KNO_3 и $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ общей массой 7,87 г подвергли прокаливанию при 400 °С. К твердому остатку после прокаливания добавили воду — получили бесцветный раствор **A** и черный осадок **B**. При взаимодействии раствора **A** с подкисленным серной кислотой раствором иодида калия выделилось 0,732 л (25 °С, 1 атм) бесцветного газа, быстро буреющего на воздухе. Определите состав и массу осадка **B**.

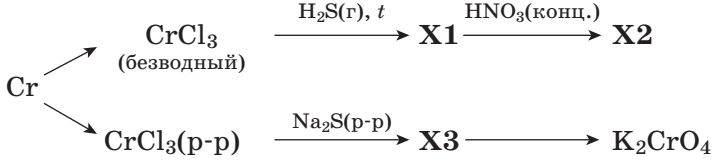
4. Образец насыщенной монохлорсодержащей органической кислоты массой 1,89 г сожгли. С продуктами сгорания может прореагировать 57,75 мл 5,8%-го раствора нитрата серебра (плотность 1,015 г/мл). Установите возможное строение кислоты. Напишите уравнения всех реакций.

5. Два сосуда одинакового объема соединены трубкой пренебрежимо малого объема; в каждом сосуде по 2 моль идеального газа. Первый сосуд поместили в термостат с температурой 100 °С, второй — в термостат с другой температурой. После того как система пришла в равновесие, в первом сосуде стало на 0,62 моль газа меньше, чем во втором. Определите температуру второго термостата.

6. Безводные одноатомный спирт и одноосновная кислота в присутствии серной кислоты вступают в реакцию этерификации. При мольном соотношении спирт — кислота 1 : 1 выход реакции равен b, а при соотношении 2 : 1 выход увеличивается на 25%. Рассчитайте вы-

ход *b*. Определите константу равновесия реакции этерификации и выход при соотношении спирт — кислота 1 : 2.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям. Укажите условия проведения этих реакций. Все вещества **X** содержат хром.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_4H_6 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_6H_8N_2 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_6H_8O_3$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. К подкисленному серной кислотой раствору дихромата калия добавили цинк. Реакцию проводили без доступа воздуха и наблюдали изменение окраски раствора. После полного растворения цинка к раствору добавили избыток гидроксида натрия, что привело к образованию 34,4 г осадка, который отфильтровали. Через раствор пропустили углекислый газ, осадок отфильтровали и прокалили; масса твердого остатка составила 145 г. Напишите уравнения всех реакций. Определите массы дихромата калия и цинка, вступивших в реакцию. Считайте, что цинк реагирует только с соединениями хрома.

10. Смесь ацетата кальция и формиата кальция прокалили при 440 °С; масса твердого остатка 30,0 г. По охлаждении продуктов прокаливания до 0 °С получена жидкость, к которой прибавили избыток аммиачного раствора оксида серебра — выпало 43,2 г осадка. При прокаливании исходной смеси солей кальция получено 5,8 г ацетона. Рассчитайте массовую долю формиата кальция в исходной смеси.

НОЯБРЬ-2

1. Почему у уксусной кислоты более высокая температура кипения (118 °С), чем у метилового эфира уксусной кислоты (57 °С)?

2. Какой объем 10%-го раствора нитрата бария (плотность 1,1 г/мл) необходимо добавить к 200 г 5%-го раствора сульфата натрия для получения 3%-го раствора нитрата натрия?

3. Смесь $NaNO_3$ и $Cr(NO_3)_3 \cdot 3H_2O$ общей массой 9,24 г подвергли прокаливанию при 400 °С. К твердому остатку после прокаливания добавили воду — получили бесцветный раствор **A** и темно-зеленый осадок **B**. При взаимодействии раствора **A** с подкисленным серной кислотой раствором иодида натрия выделилось 0,976 л (25 °С, 1 атм)

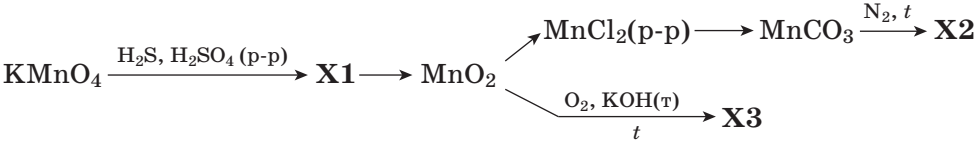
бесцветного газа, быстро буреющего на воздухе. Определите состав и массу осадка **B**.

4. Образец насыщенной монохлорсодержащей органической кислоты массой 1,085 г сожгли. С продуктами сгорания может прореагировать 28 мл 6%-го раствора нитрата серебра (плотность 1,05 г/мл). Установите строение кислоты. Напишите уравнения всех реакций.

5. Два сосуда одинакового объема заполнены идеальным газом и соединены трубкой пренебрежимо малого объема. Один из сосудов поместили в термостат с температурой 0 °C, второй — в термостат при 50 °C. После того как система пришла в равновесие, в первом сосуде стало на 0,5 моль газа больше, чем во втором. Сколько молей газа было в каждом сосуде изначально?

6. Безводные одноатомный спирт и одноосновная кислота вступают в реакцию этерификации в присутствии серной кислоты; константа равновесия этой реакции 0,45. При каком мольном соотношении спирт — кислота выход реакции равен 45%? При каком соотношении выход минимальный? Чему он равен?

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям, и укажите условия их проведения. Все вещества **X** содержат марганец.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$CO \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_4H_6O_4 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_2H_2O_4 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_2H_4O_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. В раствор массой 50 г, содержащий сульфат железа(III) (5 масс. %) и сульфат никеля (5 масс. %), поместили цинковую пластину — раствор практически обесцветился. При добавлении к этому раствору (без доступа воздуха) избытка концентрированного водного раствора аммиака образуется осадок массой 0,9 г. Насколько изменилась масса пластины? Напишите уравнения реакций.

10. Смесь пропионата кальция и формиата кальция прокалили при 450 °C; масса твердого остатка 45,0 г. По охлаждении продуктов прокаливания до 0 °C получили жидкость, к которой прибавили избыток аммиачного раствора оксида серебра — выпало 64,8 г осадка. Масса образовавшегося при прокаливании диэтилкетона (пентанона-3) 12,9 г. Рассчитайте массовую долю формиата кальция в исходной смеси.

НОЯБРЬ-3

1. Почему у этанола более высокая температура кипения (78 °C), чем у диэтилового эфира (36 °C)?

2. Какой объем 25%-й соляной кислоты (плотность 1,1 г/мл) надо добавить к 150 г 1,84%-го раствора карбоната калия для получения 3%-й соляной кислоты?

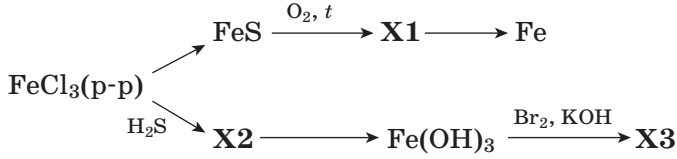
3. Смесь $AgNO_3$ и $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ общей массой 12,01 г прокалили при 500 °C. Твердый остаток после прокаливания обработали соляной кислотой, в результате получили бледно-розовый раствор **A**, черный осадок **B** и 0,732 л (25 °C, 1 атм) желто-зеленого газа. Определите состав и массу осадка **B**.

4. Образец ароматической монохлорсодержащей органической кислоты массой 4,695 г сожгли. С продуктами сгорания может прореагировать 62,96 мл 7,5%-го раствора нитрата серебра (плотность 1,08 г/мл). Установите строение кислоты. Напишите уравнения реакций.

5. Два сосуда одинакового объема, соединенные трубкой пренебрежимо малого объема, находятся при температуре 25 °C. В системе содержится 3 моль идеального газа. Первый сосуд поместили в термостат с температурой 0 °C, второй — в термостат с другой температурой. После установления равновесия давление в системе стало на 5% выше исходного. Определите температуру второго термостата.

6. В двухосновной кислоте две карбоксильные группы разделены длинной углеводородной цепью. Пусть K — константа равновесия реакции этерификации по каждой карбоксильной группе. В каком молярном соотношении следует взять эту кислоту и одноатомный спирт, чтобы после установления равновесия реакционная смесь содержала одинаковые количества моно- и диэфира?

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям. Укажите условия проведения реакций. Все вещества **X** содержат железо.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_4H_6 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_4H_9Cl \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_8H_{10} \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_8H_4O_3$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. К раствору $CrCl_2$ добавили бром и избыток гидроксида натрия. Бром прореагировал полностью. Через полученный раствор пропусти-

ли избыток CO_2 — образовался осадок массой 3,4 г, который отфильтровали. Вещество, содержащееся в фильтрате, может реагировать с концентрированной соляной кислотой, при этом выделяется 2,24 л хлора (н. у.). Рассчитайте количество исходного хлорида хрома(II). Напишите уравнения всех реакций.

10. Эквимолярную смесь ацетата кальция и пропионата кальция прокалили при 440 °С; масса твердого остатка 40,0 г. По охлаждении образовавшихся газообразных продуктов до 20 °С получена жидкость, при прибавлении к которой избытка водного раствора иода и щелочи выпал желтоватый осадок и осталась жидкость массой 8,6 г, не смешивающаяся с водой (растворимостью этого вещества в воде можно пренебречь). Чему равна масса осадка?

НОЯБРЬ-4

1. Почему у этанола более высокая температура кипения (78 °С), чем у этилового эфира муравьиной кислоты (54 °С)?

2. Какой объем 25%-й соляной кислоты (плотность 1,1 г/мл) надо добавить к 150 г 1,84%-го раствора карбоната калия для получения 1,5%-го раствора хлорида калия?

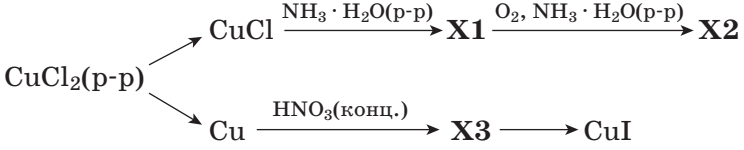
3. Смесь $Hg(NO_3)_2 \cdot 0{,}5H_2O$ и $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ массой 24,34 г прокалили при 300 °С. Твердый остаток прокаливания обработали соляной кислотой, в результате получили бледно-розовый раствор **A**, черный осадок **B** и 1,220 л (25 °С, 1 атм) желто-зеленого газа. Определите состав и массу осадка **B**.

4. Образец ароматической галогенсодержащей органической кислоты массой 3,41 г сожгли. С продуктами сгорания может прореагировать 40,48 мл 8%-го раствора нитрата серебра (плотность 1,05 г/мл). Установите строение кислоты. Напишите уравнения реакций.

5. Два сосуда одинакового объема соединены трубкой пренебрежимо малого объема; вся система находится при температуре 25 °С. В сосудах содержится по 2 моль идеального газа. Первый сосуд поместили в термостат с одной температурой, а второй — в термостат с другой температурой. После того как система пришла в равновесие, в первом сосуде стало на 0,48 моль газа больше, чем во втором, а давление на 10% выше исходного. Определите температуры термостатов.

6. В двухосновной кислоте две карбоксильные группы разделены длинной углеводородной цепью. Пусть K — константа равновесия реакции этерификации по каждой карбоксильной группе. Смешали 5 моль спирта и 1 моль кислоты в присутствии катализатора. По окончании реакции в равновесной смеси было в 2 раза больше диэфира по сравнению с моноэфиром. Рассчитайте K и определите количество веществ в равновесной смеси.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям. Укажите условия проведения реакций. Все вещества **X** содержат медь.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_4H_8O_2 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_6H_{14} \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_6H_{12} \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_5H_{12}O_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. В раствор сульфата меди(II) на некоторое время поместили цинковую пластину. После того как пластину вынули, в раствор добавили избыток раствора гидроксида натрия, в результате образовалось 9,8 г осадка. При добавлении раствора сульфида аммония образовалось 29 г осадка. Определите, насколько изменилась масса пластинки после того, как ее вынули из раствора. Напишите уравнения реакций.

10. Эквимолярную смесь ацетата кальция и бутаноата кальция прокалили при 450 °С. Масса твердого остатка 6,0 г. По охлаждении газообразных продуктов прокаливания до 20 °С получена жидкость, к которой прибавили избыток водного раствора иода и щёлочи, при этом выпал желтоватый осадок и осталась жидкость, не смешивающаяся с водой; масса этой жидкости 2,28 г (растворимостью этого вещества в воде можно пренебречь). Чему равна масса выпавшего осадка?

ДЕКАБРЬ-1

1. Напишите структурные формулы всех монохлорпроизводных бутена-1. Укажите соединения, содержащие асимметрический атом углерода.

2. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции, но без стехиометрических коэффициентов):

а) $\rightarrow MnBr_2 + Br_2 + H_2O$

б) $\rightarrow C_6H_5CH_3 + K_2CO_3$

в) $\rightarrow Na_2CO_3 + O_2$?

Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

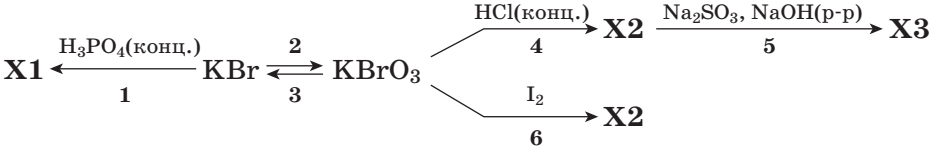
3. При взаимодействии водного раствора перманганата калия с нитритом калия получено 17,4 г осадка. Осадок отфильтровали. Рассчитайте массу осадка, который образуется при добавлении к фильтрату избытка сульфата меди.

4. При 25 °C произведение растворимости $PbBr_2$ равно $4{,}5 \cdot 10^{-6}$. Рассчитайте растворимость $PbBr_2$ (в моль/л): а) в чистой воде и б) в 0,1 М растворе $Pb(NO_3)_2$.

5. В смеси хлорэтана и 2-хлорпропана общей массой 36,45 г соотношение атомов водорода и хлора составляет 31 : 5. Определите количество (в молях) каждого газа в смеси. Какой объем занимает данная порция газовой смеси при 70 °C и 780 мм рт. ст.?

6. Смесь уксусной и пропионовой кислот нейтрализовали, на что было израсходовано 86,15 мл 20%-го раствора гидроксида калия (плотность 1,3 г/мл). Раствор выпарили, остаток прокалили с избытком твердой щёлочи — выделился газ (плотность по воздуху 0,914). Определите качественный состав этого газа и объемные доли соединений в этой газовой смеси. Рассчитайте массовые доли кислот в исходной смеси.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям. Укажите условия проведения реакций. Все вещества **X** содержат бром.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_4H_{10} \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_8H_{18} \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_8H_9NO_2 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_8H_8ClNO_4$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. При сплавлении оксида хрома(III) и карбоната натрия в атмосфере кислорода получены твердый остаток массой 129,0 г и газ. Полное растворение твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению 7,34 л того же газа (25 °C, 1 атм) и образованию оранжевого раствора. Сколько граммов осадка можно получить при пропускании через этот раствор газообразного сероводорода? Какой цвет приобретает раствор после выпадения осадка? В каком мольном соотношении взяты исходные твердые вещества?

10. Некоторый объем воды, взятой при температуре 25 °C, при нагревании на газовой горелке закипает за 25 мин. После закипания в воду положили 200 г льда с температурой 0 °C. Определите температуру воды после установления равновесия в системе. Метан выходит из горелки со скоростью 5,7 мл/с (25 °C, 1 атм), теплота плавления льда равна −79,67 кал/г, теплота сгорания метана 212,7 ккал/моль, теплоёмкость воды 1 кал/(г · град). Теплообменом системы с окружающей средой можно пренебречь.

ДЕКАБРЬ-2

1. Напишите структурные формулы всех монохлорпроизводных 3-метилбутена-1. Укажите соединения, содержащие асимметрический атом углерода.

2. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции, но без стехиометрических коэффициентов)?

а) $\rightarrow BaSO_3 + Na_2SO_3 + H_2O$

б) $\rightarrow C_6H_5—C_2H_5 + HBr$

в) $\rightarrow CuCl_2 + FeCl_2$?

Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

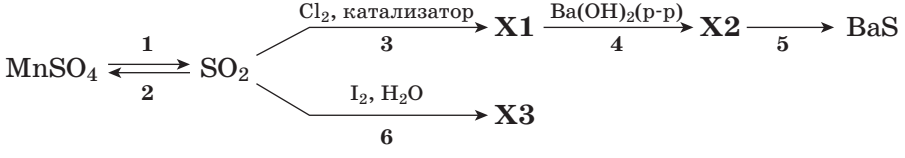
3. Через раствор сульфита калия пропустили избыток сероводорода, в результате образовалось 4,8 г осадка. Сколько граммов осадка может образоваться, если к исходному раствору сульфита калия добавить избыток хлорида стронция?

4. При 25 °C произведение растворимости PbI_2 равно $8{,}2 \cdot 10^{-9}$. Рассчитайте растворимость PbI_2 (в моль/л): а) в чистой воде и б) в 0,1 М растворе $Pb(CH_3COO)_2$.

5. Смесь монооксида азота и диоксида азота общей массой 53 г содержит $9{,}03 \cdot 10^{23}$ атомов азота. Определите количество каждого газа в смеси. Как изменится плотность смеси газов при добавлении CO_2 (при неизменных температуре и давлении)? Ответ аргументируйте.

6. Смесь пропионовой и масляной кислот нейтрализовали, на это потребовалось 213 мл 12%-го раствора гидроксида калия (плотность 1,1 г/мл). Раствор выпарили, остаток прокалили с избытком твердой щёлочи, при этом выделился газ (относительная плотность по оксиду азота(IV) 0,855). Определите качественный состав газа и рассчитайте объемные доли соединений в этой газовой смеси, а также массовые доли кислот в исходной смеси.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям. Укажите условия проведения этих реакций. Все вещества **X** содержат серу.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_3H_8 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_3H_6 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_3H_6O \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_4H_{12}O$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. При сплавлении оксида хрома(III) и карбоната калия в атмосфере кислорода получены твердый остаток массой 182,8 г и 19,56 л газа (25 °C, 1 атм). Полное растворение твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению того же газа и образованию оранжевого раствора. В каком мольном соотношении были взяты исходные твердые вещества? Какой объем раствора сульфида калия (концентрация 1 моль/л) нужно добавить к этому раствору, чтобы выпало максимальное количество осадка? Какой цвет имеет раствор после выпадения осадка?

10. Некоторый объем воды, имеющей температуру 25 °C, при нагревании на газовой горелке закипает за 50 мин. После закипания в воду добавили некоторое количество льда с температурой 0 °C. После установления равновесия температура воды стала 64 °C. Определите массу добавленного льда. Метан выходит из горелки со скоростью 5,7 мл/с (25 °C, 1 атм), теплота плавления льда равна −79,67 кал/г, теплота сгорания метана 212,7 ккал/моль, теплоёмкость воды 1 кал/(г · град). Теплообменом системы с окружающей средой можно пренебречь.

ДЕКАБРЬ-3

1. Напишите структурные формулы всех дихлорпроизводных бутина-1. Укажите соединения, содержащие асимметрический атом углерода.

2. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции, но без стехиометрических коэффициентов)?

а) $\rightarrow Sr(OH)_2 + H_2$

б) $\rightarrow CH_3CH_2CH(NH_2)COOH + NH_4Cl$

в) $\rightarrow CaOCl_2 + H_2O$?

Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

3. Осадок массой 5,08 г, полученный при взаимодействии водного раствора перманганата калия, иодида калия и серной кислоты, отфильтровали и внесли в избыток раствора сероводородной кислоты. Рассчитайте массу конечного осадка.

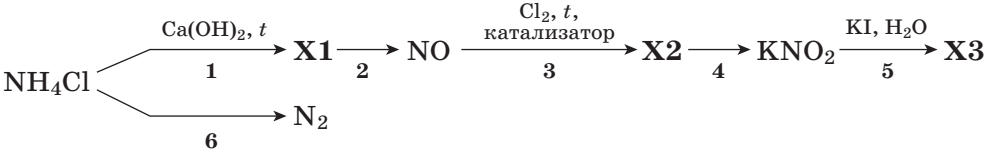
4. При 25 °C произведение растворимости Ag_2SO_4 равно $1{,}2 \cdot 10^{-5}$. Рассчитайте растворимость Ag_2SO_4 (в моль/л): а) в чистой воде и б) в 0,1 М растворе Na_2SO_4.

5. Смесь этана и бутана общей массой 89 г содержит $3{,}1906 \cdot 10^{25}$ протонов. Определите количество газа в смеси. Рассчитайте плотность смеси при 40 °C и давлении 0,95 атм.

6. Смесь масляной и уксусной кислот нейтрализовали, на что было израсходовано 155,34 мл 5%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1,03 г/мл). Раствор выпарили, остаток прокалили с избытком твердой щёлочи, при этом выделился газ (относительная плотность по кислороду 0,719). Определите качественный состав газа и объем-

ные доли соединений в этой газовой смеси. Рассчитайте массовые доли кислот в исходной смеси.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям. Укажите условия проведения реакций. Все вещества **X** содержат азот.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$CO \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow CH_2O \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_4H_{10}O \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_4H_{10}O_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. При сплавлении оксида хрома(III) и карбоната натрия в атмосфере кислорода получены твердый остаток массой 107,2 г и 9,78 л газа (25 °C, 1 атм). Полное растворение твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению того же газа и образованию раствора. В каком мольном соотношении были взяты исходные твердые вещества? Какой объем раствора сульфида натрия (концентрация 1,5 моль/л) надо добавить к этому раствору, чтобы получить максимальное количество осадка? Какой цвет имеет раствор после выпадения осадка?

10. К нагретой до 100 °C воде добавили 100 г льда, имеющего температуру 0 °C. После установления равновесия температура воды стала 70 °C. Определите, через какое время охлажденная льдом вода закипит при нагревании на газовой горелке. Метан выходит из горелки со скоростью 5,7 мл/с (25 °C, 1 атм), теплота плавления льда равна −79,67 кал/г, теплота сгорания метана 212,7 ккал/моль, теплоёмкость воды 1 кал/(г · град). Теплообменом системы с окружающей средой можно пренебречь.

ДЕКАБРЬ-4

1. Напишите структурные формулы всех монохлорпроизводных 2-метилпентана. Укажите соединения, содержащие асимметрический атом углерода.

2. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции)?

а) $\rightarrow K_2HPO_4 + CaHPO_4$

б) $\rightarrow CH_3CH_2C{\equiv}CH + CuBr$

в) $\rightarrow Fe + Al_2O_3 + N_2$?

Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

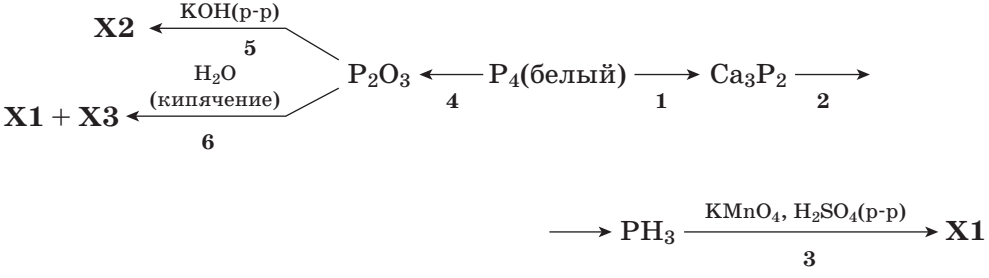
3. При взаимодействии водного раствора перманганата калия с сульфитом калия получено 3,48 г осадка, который был отфильтрован. Сколько граммов осадка образуется при добавлении к фильтрату избытка хлорида алюминия?

4. При 25 °C произведение растворимости Ag_2CrO_4 равно $4{,}7 \cdot 10^{-12}$. Рассчитайте растворимость Ag_2CrO_4 (в моль/л): а) в чистой воде и б) в 0,1 М растворе K_2CrO_4.

5. В смеси SO_2 и SO_3 общая масса атомов серы в 1,35 раза меньше, чем масса атомов кислорода. Рассчитайте массовые и мольные доли компонентов смеси.

6. Смесь валериановой и пропионовой кислот нейтрализовали, на что было израсходовано 238,1 мл 8%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1,05 г/мл). Раствор выпарили, остаток прокалили с избытком твердой щёлочи, при этом выделился газ (плотность по водороду 17,8). Определите качественный состав газа и объемные доли компонентов в этой газовой смеси. Рассчитайте массовые доли кислот в исходной смеси.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям. Все вещества **X** содержат фосфор.



Укажите условия проведения реакций.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_4H_6 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_4H_9Br \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_8H_{10}$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. При сплавлении оксида хрома(III) и карбоната калия в атмосфере кислорода получены твердый остаток массой 80,2 г и газ. Полное растворение твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению 7,34 л того же газа (25 °C, 1 атм) и образованию оранжевого раствора. В каком мольном соотношении взяты исходные твердые вещества? Сколько граммов осадка можно получить при пропускании через этот раствор газообразного сероводорода? Какой цвет имеет раствор после выпадения осадка?

10. Один килограмм воды нагрели до 100 °C, после чего туда положили некоторое количество льда. После установления равновесия в системе температура воды стала 40 °C. За какое время закипит охлажденная льдом вода при нагревании на газовой горелке? Метан выходит из горелки со скоростью 5,7 мл/с (25 °C, 1 атм.), теплота плавления льда −79,67 кал/г, теплота сгорания метана 212,7 ккал/моль, теплоемкость воды 1 кал/(г · град). Теплообменом системы с окружающей средой можно пренебречь.

5–9 КЛАССЫ

1. Напишите уравнения реакции разложения, реакции соединения, реакции обмена и реакции замещения с участием одного и того же вещества.

2. Какие из перечисленных ниже открытий и достижений сделаны Д. И. Менделеевым?

1) Открытие закона сохранения массы.
2) Открытие Периодического закона.
3) Предсказание новых химических элементов.
4) Создание физико-химической теории растворов.
5) Первый в истории синтез этилового спирта.
6) Открытие электрона.
7) Открытие инертных газов.
8) Создание учебника «Новый курс химической философии».
9) Открытие каталитического крекинга нефти.
10) Вывод уравнения состояния идеального газа.

3. Самый тяжелый газ (при комнатной температуре) состоит всего из двух элементов. Молекула этого газа имеет массу 298 а. е. м.; в ней 7 атомов. Атомная масса более тяжелого элемента составляет 61,7% молекулярной массы газа. Установите формулу газа.

4. Калий — один из самых важных химических элементов для организма человека, именно благодаря калию нервные клетки могут взаимодействовать между собой. Содержание калия в организме составляет 0,2% (по массе). В 1 л питьевой воды всего 12 мг (в среднем) калия, который присутствует в воде в виде положительно заряженных ионов. Сколько литров воды пришлось бы выпить школьнику с массой тела 60 кг, чтобы получить необходимое количество калия, если бы калий поступал в организм только с водой?

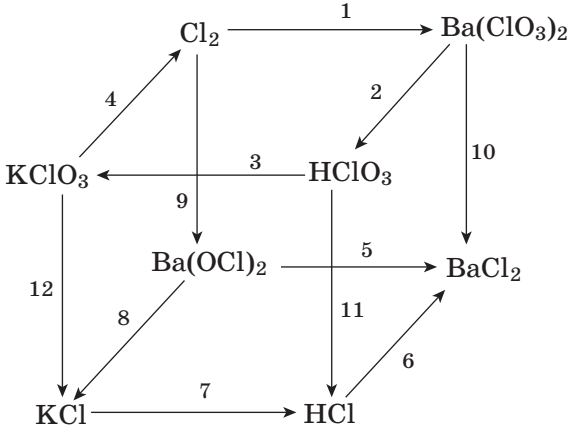
5. В ядерных реакторах золото превращается в свинец в результате последовательного захвата (присоединения) медленных нейтронов и последующего бета-распада (ядро при бета-распаде испускает электрон, при этом массовое число ядра не меняется, а заряд ядра увеличивается на 1). Сколько захватов нейтронов и бета-распадов включает серия превращений $^{197}_{79}\mathrm{Au}$ в $^{204}_{82}\mathrm{Pb}$? Объясните.

6. Назовите самую тяжелую жидкость при комнатной температуре. Напишите два уравнения реакции с участием этого вещества. Найдите в справочнике температуру кипения этой жидкости и рассчитайте, во сколько раз увеличивается объем, занимаемый этим веществом, при полном испарении при температуре кипения.

7. При полном разложении оксида неизвестного элемента образуется только смесь газов (плотность 3,2 г/л при н. у.). Какой это оксид? Установите его формулу и напишите три уравнения реакции с его участием.

8. Вещество **X** ионного строения состоит всего из двух элементов-неметаллов в равных мольных долях. Масса положительных ионов составляет 30% массы вещества. Определите формулу **X**. Напишите уравнение реакции его разложения.

9. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (каждая стрелка соответствует одной реакции):



10. Простое вещество-металл реагирует с кислородом и галогенами. Объемы кислорода, фтора и хлора, которые расходуются на окисление одного и того же количества этого металла, относятся как 5 : 10 : 8. Молярная масса полученного хлорида на 6% больше, чем молярная масса его оксида. Определите металл. Напишите уравнения реакций.

ОЧНЫЙ ТУР

10–11 КЛАССЫ

ВАРИАНТ 1

1. При сливании двух водных растворов разных солей железа выпал осадок. Напишите уравнение реакции.

2. Смесь 1,00 г KO_2 и 2,00 г $CaCO_3$ в вакуумированной ампуле объемом 200 мл прокалили при 1000 °С. Какое давление установилось в ампуле после охлаждения продуктов реакции до 25 °С?

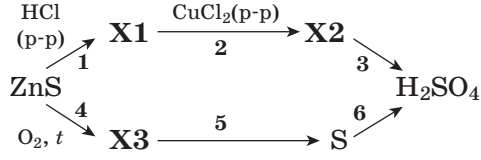
3. В результате взаимодействия 2,46 г нитробензола с бромом в присутствии безводного бромида алюминия при нагревании выделился газ, который был поглощен водой; получено 1,5 л раствора с pH 1,7. Установите количества органических соединений, полученных в реакции.

4. Приведите примеры четырех органических соединений разных классов, способных реагировать с гидроксидом калия. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

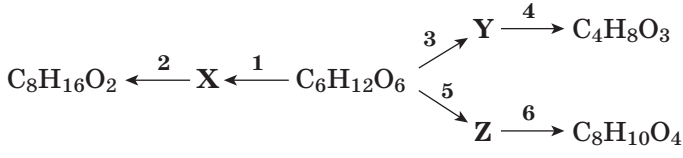
5. Навеску фосфора массой 13,95 г обработали хлором. Смесь продуктов реакции растворили в воде и полученный раствор полностью нейтрализовали 1031,6 мл 15%-го раствора гидроксида калия (плотность 1,14 г/мл). Определите массы соединений в конечном растворе.

6. Константа равновесия газофазной реакции $H_2 + Br \rightleftarrows HBr + H$ при 500 К равна 3. А при температуре 330 °С константа скорости прямой реакции в 5 раз больше константы скорости обратной реакции. Рассчитайте разность энергий активации прямой и обратной реакций.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующим превращениям. Укажите условия проведения реакций. Все вещества **X** содержат серу.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Газовую смесь, образовавшуюся при сжигании 6,24 г природного дипептида, пропустили через избыток раствора гашеной извести. Определите массу выпавшего осадка, если исходная газовая смесь может обесцветить 60 мл водного раствора перманганата калия (концентрация 0,2 моль/л). Установите аминокислотный состав дипептида.

10. 40 г сульфидного минерала халькозина состава A_2S_x (металл A может проявлять степени окисления +1 и +2) подвергли обжигу в избытке кислорода, в результате получили твердый остаток и газ, который был пропущен через бромную воду. Добавление избытка раствора хлорида бария к раствору, полученному после полного поглощения газа бромной водой, привело к образованию 58,25 г белого осадка. Твердый остаток после обжига был растворен в строго необходимом количестве 40%-й азотной кислоты — выделения газа не происходило; в полученном растворе массовая доля соли 47,6%. Добавление к раствору избытка раствора иодида калия привело к образованию бурого раствора и белого осадка. Определите состав минерала халькозина и массу белого осадка после добавления иодида калия.

ВАРИАНТ 2

1. При сливании двух водных растворов разных солей алюминия выпал осадок. Напишите уравнение реакции.

2. Смесь 4,40 г K_2O_2 и 5,04 г $MgCO_3$ прокалили при 900 °C в вакуумированной ампуле объемом 250 мл. Какое давление установилось в ампуле по охлаждении продуктов реакции до 25 °C?

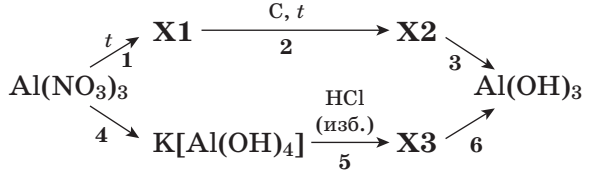
3. В результате реакции 2,76 г толуола с бромом на свету выделился газ, который был поглощен водой; при этом получено 2 л раствора с pH = 1,7. Установите количества органических соединений, полученных в этой реакции.

4. Приведите примеры четырех органических соединений разных классов, способных реагировать с натрием. Напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания.

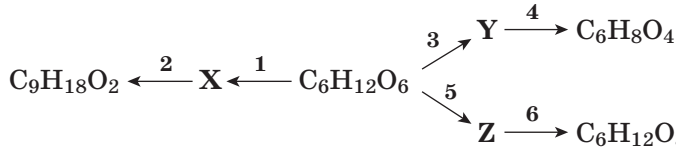
5. Навеску фосфора массой 0,93 г обработали хлором. Смесь продуктов реакции растворили в воде и полученный раствор полностью нейтрализовали 150 мл 12%-го раствора гидроксида рубидия (плотность 1,02 г/мл). Определите массы соединений в конечном растворе.

6. Для газофазной реакции $2HI \rightleftarrows H_2 + I_2$ разность энергий активации прямой и обратной реакций составляет 21 кДж/моль; при температуре 350 °C константа равновесия этой реакции равна 0,01. Во сколько раз константа скорости прямой реакции меньше константы скорости обратной реакции при температуре 500 K?

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующим превращениям. Укажите условия проведения реакций. Все вещества **X** содержат алюминий.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Газовую смесь, образовавшуюся при сжигании 31,25 г природного дипептида, пропустили через избыток баритовой воды. Определите массу осадка, если исходная газовая смесь может обесцветить 125 мл водного раствора перманганата калия (концентрация 0,4 моль/л). Установите аминокислотный состав дипептида.

10. 33,6 г сульфидного минерала ковеллина состава AS_x (металл A может проявлять степени окисления +1 и +2) подвергли обжигу в избытке кислорода — образовался твердый остаток и газ, который был пропущен через иодную воду. Добавление избытка раствора хлорида бария к раствору после полного поглощения газа иодной водой привело к образованию 81,55 г белого осадка. Твердый остаток после обжига был полностью растворен в строго необходимом количестве 33%-й азотной кислоты; при этом образовался раствор, массовая доля соли в котором 40,7%, выделения газа при растворении не происходило. Добавление к этому раствору раствора иодида калия привело к образованию бурого раствора и белого осадка. Определите состав минерала ковеллина и массу белого осадка после добавления иодида калия.

5–9 КЛАССЫ

1. Напишите по одному примеру уравнений реакции соединения и реакции замещения с участием воды.

2. Напишите структурную формулу молекулы, состоящей из атомов трех элементов, один из которых имеет валентность VI.

3. Определите формулу частицы, состоящей из 4 атомов, в состав которой входит 30 протонов и 32 электрона.

4. Элемент образует несколько газообразных соединений с водородом; у самого легкого водородного соединения этого элемента плотность по водороду 16. Определите формулу соединения. Напишите формулу любого другого водородного соединения этого элемента. Чему равна плотность этого соединения по водороду?

5. Молекула «тяжелого» углекислого газа в 2,4 раза тяжелее молекулы «тяжелой» воды. В состав обеих молекул входит один

и тот же изотоп кислорода. Какой это изотоп? Напишите формулы обоих веществ.

6. Д. И. Менделеев в учебнике «Основы химии» писал о свойствах оксидов углерода: «*Углекислый газ занимает такой же объем, как кислород, в нем находящийся, а окись углерода объем, в два раза больший объема кислорода, в ней заключающегося. CO_2 от действия жара распадается отчасти на $2CO$ и O_2*». Поясните кратко, какие свойства имел в виду Менделеев. Напишите уравнения всех реакций.

7. Имеются водные растворы SO_2, Cl_2 и NaOH. Напишите уравнения всех реакций, протекающих попарно между указанными веществами.

8. Аммиак лучше всех других газов растворяется в воде; при нормальных условиях (н. у.) в одном объеме воды может раствориться 1200 объемов аммиака. Рассчитайте массовую долю аммиака в насыщенном растворе (плотность воды 1,0 г/мл при н. у.).

9. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно реализовать следующие превращения (каждая стрелка — одна реакция):

$$NaBr \rightarrow NaCl \rightarrow NaOH \rightarrow H_2 \rightarrow Cu \rightarrow Ag \rightarrow NO$$

10. Элемент **X** образует два оксида **Y** и **Z**. При разложении 100 г оксида **Y** образуется оксид **Z** и 16,8 л (н. у.) кислорода. 100 г оксида **Y** при реакции с простым веществом **X** образует 152 г оксида **Z**. Определите формулы **X**, **Y** и **Z**. Известно, что оксидах **Y** и **Z** элемент **X** имеет единственную валентность. Напишите уравнения взаимодействия оксидов **Y** и **Z** с избытком щёлочи.

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

1. К какому типу можно отнести следующие соли: $Al(OH)_2Br$; $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$; $KHSO_4$?

2. При электролизе водного раствора соли на катоде и аноде не происходило выделения газов (н. у.). Какая соль была взята? Напишите уравнение реакции электролиза.

3. Как с помощью одного реагента различить: а) $ZnSO_4$ и $MgSO_4$; б) этанол и этиленгликоль? Напишите уравнения реакций.

4. Определите pH раствора, полученного при смешении 100 мл 2%-й соляной кислоты (плотность 1,01 г/мл) и 50 мл 4%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1,05 г/мл). Примите, что при смешении объемы растворов можно суммировать.

5. 120 г водного раствора смеси муравьиного и изомасляного альдегидов обесцветили 3200 г 2,5%-й бромной воды. Для полного гидрирования этих карбонильных соединений на металлическом никеле при нагревании требуется 7,58 л водорода (760 мм рт. ст., 35 °C). Рассчитайте массовые доли альдегидов в исходном водном растворе.

6. Двухосновная серная кислота в разбавленных растворах диссоциирует необратимо по первой ступени и обратимо по второй; $K(HSO_4^-) = 1{,}0 \cdot 10^{-2}$. При какой концентрации H_2SO_4 гидросульфат-ионов в растворе в 2 раза больше, чем сульфат-ионов? При какой концентрации H_2SO_4 степень диссоциации по второй ступени составит 50%?

7. Напишите уравнения всех реакций и укажите условия проведения реакции **4**. Все вещества **X** содержат марганец, все вещества **Y** — серу.

$$\mathbf{X_2} \xleftarrow[2]{KOH(т), O_2, t} \mathbf{X_1} \xleftarrow[1]{K_2SO_3, H_2O} KMnO_4 \xrightarrow[3]{C_2H_5OH, H_2SO_4, t} \mathbf{X_3} \xrightarrow[4]{}$$

$$\rightarrow MnS \xrightarrow[5]{O_2, t} \mathbf{Y_1} \xrightarrow[6]{I_2, H_2O} \mathbf{Y_2}$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_6H_6 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_6H_6O \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_9H_{12}O$$

$$\downarrow$$

$$\mathbf{Z} \rightarrow C_9H_{12}O_2$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Для полного окисления навески предельного спирта требуется 400 мл подкисленного раствора дихромата калия (концентрация 0,15 моль/л). При количественном протекании реакции (т. е. с выходом 100%) масса продукта на 1,724% меньше массы исходного спирта. Установите строение и массу спирта и продукта его окисления, если в реакции окисления выход равен 80% и при дегидратации этого спирта образуется только один неразветвленный алкен.

10. Смесь алюминия и серы прокалили без доступа воздуха; продукт разделили на три равные порции. Первую порцию обработали избытком раствора гидроксида натрия при комнатной температуре — выделилось 1,467 л газа (25 °C, 1 атм). Ко второй порции добавили избыток соляной кислоты — выделилось 2,200 л газа (25 °C, 1 атм). В третью порцию добавили избыток концентрированной азотной кислоты и нагрели; выделившийся при этом оксид азота(IV) был поглощен 30%-м раствором гидроксида калия (плотность 1,29 г/мл). Рассчитайте объем раствора гидроксида калия, который потребовался для полного поглощения оксида азота(IV).

ВАРИАНТ 2

1. К какому типу можно отнести следующие соли: $Al(OH)(NO_3)_2$; $KFe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$; KHS?

2. При электролизе водного раствора соли, окрашивающей пламя в фиолетовый цвет, только на катоде выделяется газ (н. у.). Какая соль взята? Напишите уравнение реакции электролиза.

3. Как с помощью одного реагента различить: а) $ZnSO_4$ и $Al_2(SO_4)_3$; б) пропен и пропин? Напишите уравнения реакций.

4. К 250 мл раствора гидроксида калия с pH 13 прибавили 15 мл 10%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,06 г/мл при 25 °C). Определите pH полученного раствора. Примите, что при смешении объемы растворов можно суммировать.

5. К 80 г водного раствора смеси муравьиного и изомасляного альдегидов добавили избыток аммиачного раствора оксида серебра — при умеренном нагревании выпало 54 г осадка. Для полного гидрирования исходной смеси карбонильных соединений на металлическом никеле при нагревании требуется 3,68 л водорода (760 мм рт. ст., 26 °C). Рассчитайте массовые доли альдегидов в исходном водном растворе.

6. Двухосновная серная кислота в разбавленных растворах диссоциирует необратимо по первой ступени, обратимо по второй; в 0,033 М растворе H_2SO_4 степень диссоциации по второй ступени составляет 20%. Напишите уравнения диссоциации H_2SO_4. Рассчитайте константу диссоциации H_2SO_4 по второй ступени. При какой концентрации H_2SO_4 гидросульфат-ионов в растворе в 2 раза больше, чем сульфат-ионов?

7. Напишите уравнения всех реакций и укажите условия проведения реакции **3**. Все вещества **X** содержат азот, все вещества **Y** — хром.

$$NH_3 \xleftarrow[3]{} \mathbf{X_2} \xleftarrow[2]{Mg,\,t} \mathbf{X_1} \xleftarrow[1]{t} (NH_4)_2Cr_2O_7 \xrightarrow[4]{C_2H_5OH,\,H_2SO_4,\,t} \mathbf{Y_1} \xrightarrow[5]{KOH(изб.)} \mathbf{Y_2} \xrightarrow[6]{NH_4Cl(р\text{-}р)} \mathbf{Y_2}$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$C_nH_{2n}O_n \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_3H_8O \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_3H_5O_2Cl \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_mH_{2m}O_m$, где $m = 3n$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Для полного окисления навески предельного спирта требуется 200 мл подкисленного раствора перманганата калия (концентрация 0,4 моль/л). При количественном протекании реакции (т. е. с выходом 100%) масса продукта на 18,92% больше массы исходного спирта. Установите строение и массу спирта и продукта его окисления, если в реакции окисления выход 90% и при дегидратации спирта образуется неразветвленный алкен.

10. Смесь алюминия и фосфора прокалили без доступа воздуха; продукт прокаливания разделили на три равные порции. Первую порцию обработали водой — выделилось 0,978 л газа (25 °С, 1 атм). Вторую порцию обработали избытком соляной кислоты — выделилось 1,712 л газа (25 °С, 1 атм). В третью порцию добавили избыток концентрированной азотной кислоты и нагрели; выделившийся при этом оксид азота(IV) был поглощен 20%-м раствором гидроксида калия (плотность 1,20 г/мл). Рассчитайте объем раствора гидроксида калия, который потребовался для полного поглощения оксида азота(IV).

ВАРИАНТ 3

1. К какому типу можно отнести следующие соли: $Al(OH)(CH_3COO)_2$; $RbAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$; $NaHSO_3$?

2. При электролизе водного раствора соли, окрашивающей пламя в фиолетовый цвет, на катоде и аноде выделились равные объемы газов (н. у.). Какая это соль? Напишите уравнение реакции электролиза.

3. Как с помощью одного реагента различить: а) SO_2 и CO_2; б) гексиламин и анилин? Напишите уравнения реакций.

4. К 250 мл раствора гидроксида калия с pH 12 прибавили 10 мл 4%-го раствора иодоводородной кислоты (плотность 1,03 г/мл при 25 °С). Определите pH полученного раствора. Примите, что при смешении объемы растворов можно суммировать.

5. К 80 г водного раствора смеси муравьиного и изомасляного альдегидов добавили избыток свежеполученного гидроксида меди(II); при умеренном нагревании выпало 36 г осадка. Для полного гидрирования исходной смеси карбонильных соединений на металлическом никеле при нагревании требуется 3,68 л водорода (760 мм рт. ст., 26 °С). Рассчитайте массовые доли альдегидов в исходном водном растворе.

6. Двухосновная серная кислота в разбавленных растворах диссоциирует необратимо по первой ступени и обратимо — по второй. Раствор H_2SO_4, в котором pH 2,0, содержит равные количества сульфат- и гидросульфат-ионов. Напишите уравнения диссоциации H_2SO_4. Рассчитайте константу диссоциации H_2SO_4 по второй ступени. Найдите концентрации всех ионов в заданном растворе, степень диссоциации по второй ступени и начальную концентрацию H_2SO_4.

7. Напишите уравнения всех реакций и укажите условия проведения реакции **4**. Все вещества **X** содержат бром, все вещества **Y** — железо.

$$\mathbf{X_3} \xleftarrow[3]{CH_2{=}CHCOOH} \mathbf{X_2} \xleftarrow[2]{H_3PO_4(\text{конц.}),\,t} \mathbf{X_1} \xleftarrow[1]{KBrO_3,\,KOH,\,t} Fe(OH)_3 \xrightarrow[4]{}$$

$$\rightarrow FeCl_3 \xrightarrow[5]{H_2S(\text{р-р})} \mathbf{Y_1} \xrightarrow[6]{KOH,\,H_2O,\,O_2} \mathbf{Y_2}$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$C_nH_{2n}O_n \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_3H_5O_2Br \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_3H_4O_2 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_mH_mO_{2m}$, где $n = 3m$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Для полного окисления предельного спирта требуется 200 мл подкисленного раствора дихромата калия (концентрация 0,2 моль/л). При количественном протекании реакции (с выходом 100%) масса продукта на 1,96% меньше массы исходного спирта. Установите строение и массу спирта и продукта его окисления, если в реакции окисления выход равен 70% и при дегидратации спирта образуется алкен с кратной связью на конце цепи.

10. Смесь магния и фосфора прокалили без доступа воздуха; продукт прокаливания разделили на три равные порции. Первую порцию обработали водой, вторую — избытком соляной кислоты; в обоих случаях выделилось по 0,978 л газа (25 °C, 1 атм). В третью порцию добавили избыток концентрированной азотной кислоты и нагрели; для полного поглощения выделившегося при этом оксида азота(IV) потребовалось 136,3 мл 15%-го раствора KOH (плотность 1,15 г/мл). Установите мольную долю магния в исходной смеси.

ВАРИАНТ 4

1. К какому типу можно отнести следующие соли: $(Mg(OH))_2CO_3$; $FeNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$; NH_4HSO_4?

2. При электролизе водного раствора соли, окрашивающей пламя в кирпично-красный цвет, на катоде и аноде выделились равные объемы газов (н. у.). Какая соль взята? Напишите уравнение реакции электролиза.

3. Как с помощью одного реагента различить: а) K_2CO_3 и K_2SO_3; б) уксусную и муравьиную кислоты? Напишите уравнения реакций.

4. Определите pH раствора, полученного при смешении 100 мл 2%-го раствора иодоводородной кислоты (плотность 1,01 г/мл) и 50 мл 2%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1,02 г/мл). Примите, что при смешении объемы растворов можно суммировать.

5. К 120 г водного раствора смеси муравьиного и масляного альдегидов добавили избыток свежеосажденного гидроксида меди(II); при умеренном нагревании выпало 100,8 г осадка. Для полного гидрирования исходной смеси альдегидов на металлическом никеле при нагревании требуется 9,72 л водорода (760 мм рт. ст., 23 °C). Рассчитайте массовые доли альдегидов в исходном водном растворе.

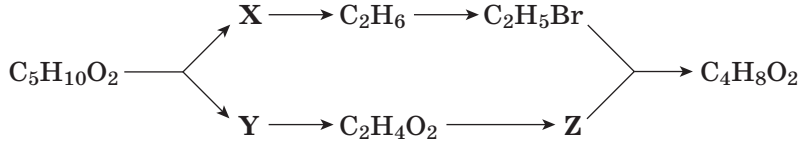
6. Двухосновная серная кислота в разбавленных растворах диссоциирует необратимо по первой ступени и обратимо — по второй.

В 0,05 М растворе степень диссоциации H_2SO_4 по второй ступени равна 15%. Напишите уравнения диссоциации; рассчитайте константу диссоциации H_2SO_4 по второй ступени. При какой концентрации H_2SO_4 количества сульфат- и гидросульфат-ионов в растворе равны?

7. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия протекания реакции **1**. Все вещества **X** содержат натрий, все вещества **Y** — медь.

$$\mathbf{X_2} \xleftarrow[3]{Cr_2O_3,\,O_2,\,t} \mathbf{X_1} \xleftarrow[2]{NaH} H_2O \xleftarrow[1]{} Cu(OH)_2 \xrightarrow[4]{CH_3CHO,\,t} \rightarrow \mathbf{Y_1} \xrightarrow[5]{H_2SO_4(конц),\,t} \mathbf{Y_2} \xrightarrow[6]{H_2O,\,электролиз} \mathbf{Y_3}$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Для полного окисления предельного спирта требуется 300 мл подкисленного раствора дихромата калия (концентрация 0,2 моль/л). При количественном протекании реакции (т. е. с выходом 100%) масса продукта на 2,70% меньше массы исходного спирта. Установите строение и массу исходного спирта и продукта его окисления, если в реакции окисления выход равен 90%.

10. Смесь алюминия и фосфора прокалили без доступа воздуха, продукт прокаливания разделили на три равные порции. Первую порцию обработали водой — выделилось 0,734 л газа (25 °С, 1 атм). Вторую порцию обработали избытком раствора гидроксида натрия (при комнатной температуре) — выделилось 1,467 л газа (25 °С, 1 атм). В третью порцию добавили избыток концентрированной азотной кислоты и нагрели; выделившийся при этом оксид азота (IV) был поглощен 20%-м раствором гидроксида калия (плотность 1,20 г/мл). Рассчитайте объем раствора гидроксида калия, который потребовался для полного поглощения оксида азота(IV).

ВАРИАНТ 5 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. К какому типу можно отнести следующие соли: $Fe(OH)NO_3$; KH_2PO_4; $AlNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$?

2. При электролизе водного раствора соли, окрашивающей пламя в желтый цвет, на катоде выделились газы, объем которых (н. у.) в 3 раза меньше объема газов на аноде. Какая соль взята? Напишите уравнение реакции электролиза.

3. Как с помощью одного реагента можно различить: а) Na_2SO_3 и Na_2SO_4; б) бутин-1 и бутен-1? Напишите уравнения реакций.

4. Определите pH раствора, полученного при смешении 100 мл 2%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,01 г/мл) и 75 мл 3%-го раствора гидроксида калия (плотность 1,02 мл). Примите, что при смешении объемы растворов можно суммировать.

5. 150 г водного раствора смеси муравьиного и уксусного альдегидов обесцветили, добавив 2560 г бромной воды с массовой долей брома 2,5%. Для полного гидрирования исходной смеси альдегидов на металлическом никеле при нагревании требуется 7,41 л водорода (760 мм рт. ст., 28 °C). Рассчитайте массовые доли альдегидов в исходном водном растворе.

6. Двухосновная серная кислота в разбавленных растворах диссоциирует необратимо по первой ступени и обратимо по второй; $K(HSO_4^-) = 1{,}0 \cdot 10^{-2}$. При какой концентрации H_2SO_4 количества сульфат- и гидросульфат-ионов в растворе равны? При какой исходной концентрации H_2SO_4 степень диссоциации по второй ступени составит 10%? Определите pH такого раствора.

7. Напишите уравнения всех реакций и укажите условия протекания реакции **2**. Все вещества **X** содержат углерод, все вещества **Y** — медь.

$$\mathbf{X2} \xleftarrow[t,\,p]{\mathrm{H_2},\ \text{катализатор}}{}_{\mathbf{3}} \mathrm{CO} \xleftarrow[\mathbf{2}]{} \mathbf{X1} \xleftarrow[\mathbf{1}]{t} (\mathrm{CuOH})_2\mathrm{CO_3} \xrightarrow[\mathbf{4}]{\mathrm{H_2SO_4(р\text{-}р)}}$$

$$\rightarrow \mathbf{Y1} \xrightarrow[\mathbf{5}]{\mathrm{NH_3 \cdot H_2O(изб.)}} \mathbf{Y2} \xrightarrow[\mathbf{6}]{\mathrm{H_2S,\,H_2O},\ t} \mathbf{Y3}$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_nH_n \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow C_8H_{10} \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow C_8H_8 \rightarrow \mathbf{Z} \rightarrow C_mH_m, \text{ где } m = 7n$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Для полного окисления предельного спирта требуется 300 мл подкисленного раствора дихромата калия (концентрация 0,2 моль/л). При количественном протекании реакции (т. е. с выходом 100%) масса продукта на 2,27% меньше массы исходного спирта. Установите строение и массу исходного спирта и продукта его окисления, если в реакции окисления выход равен 80% и при дегидратации спирта образуется только один неразветвленный алкен.

10. Смесь магния и фосфора прокалили без доступа воздуха; продукт прокаливания разделили на три равные порции. К первой порции добавили воду — выделилось 0,489 л газа (25 °C, 1 атм). Вторую порцию обработали избытком соляной кислоты — выделилось 0,734 л газа (25 °C, 1 атм). В третью порцию добавили избыток концентри-

рованной азотной кислоты и нагрели; выделившийся при этом оксид азота(IV) был поглощен 20%-м раствором гидроксида калия (плотность 1,20 г/мл). Рассчитайте объем раствора гидроксида калия, который потребовался для полного поглощения оксида азота(IV).

ВАРИАНТ 6 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. К какому типу можно отнести следующие соли: $Mn(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$; $[Cr(NH_3)_6]Cl_3$; $(Mg(OH))_2SO_4$?

2. При электролизе водного раствора соли, окрашивающей пламя в желтый цвет, объем газов, выделяющихся на катоде, в 2 раза больше (н. у.), чем на аноде. Какая соль взята? Напишите уравнение реакции электролиза.

3. Как с помощью одного реагента различить: а) $Mg(OH)_2$ и $Zn(OH)_2$; б) уксусную и пропеновую кислоты? Напишите уравнения реакций.

4. Определите pH раствора, полученного при смешении 100 мл 2%-й соляной кислоты (плотность 1,01 г/мл) и 75 мл 3%-го раствора гидроксида калия (плотность 1,02 мл). Примите, что при смешении объемы растворов можно суммировать.

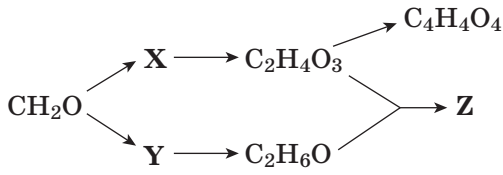
5. 130 г водного раствора смеси муравьиного и пропионового альдегидов обесцветили 2000 г бромной воды с массовой долей брома 2%. Для полного гидрирования исходной смеси альдегидов на металлическом никеле при нагревании требуется 3,68 л водорода (760 мм рт. ст., 26 °C). Рассчитайте массовые доли альдегидов в исходном водном растворе.

6. Двухосновная серная кислота в разбавленных растворах диссоциирует необратимо по первой ступени и обратимо по второй. В 0,10 М растворе H_2SO_4 степень диссоциации по второй ступени равна 8,4%. Напишите уравнения диссоциации и рассчитайте константу диссоциации H_2SO_4 по второй ступени. При какой концентрации H_2SO_4 сульфат-ионов в растворе в 2 раза больше, чем гидросульфат-ионов?

7. Напишите уравнения всех реакций и укажите условия протекания реакции **1**. Все вещества **X** содержат хром, все вещества **Y** — марганец.

$$\mathbf{X2} \xleftarrow[3]{KOH(т),\,t} \mathbf{X1} \xleftarrow[2]{Cr,\,t} O_2 \xleftarrow[1]{} MnO_2 \xrightarrow[4]{KOH(т)} \mathbf{Y1} \xrightarrow[5]{Cl_2} \rightarrow \mathbf{Y2} \xrightarrow[6]{C_6H_5CH_3,\,H_2SO_4} \mathbf{Y3}$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Для полного окисления навески предельного спирта требуется 150 мл подкисленного раствора дихромата калия (концентрация 0,4 моль/л). При количественном протекании реакции (т. е. с выходом 100%) масса продукта на 15,91% больше массы исходного спирта. Установите строение и массу спирта и продукта окисления, если в реакции окисления выход равен 85%, а при дегидратации спирта образуется неразветвленный алкен.

10. Смесь алюминия и фосфора прокалили без доступа воздуха; продукт прокаливания разделили на три равные порции. Первую порцию обработали водой, вторую — избытком раствора гидроксида натрия (при комнатной температуре); в обоих случаях выделилось по 0,734 л газа (25 °С, 1 атм). В третью порцию добавили избыток концентрированной азотной кислоты и нагрели; для полного поглощения выделившегося при этом оксида азота(IV) потребовалось 110,4 мл 15%-го раствора KOH (плотность 1,15 г/мл). Установите мольную долю алюминия в исходной смеси.

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

ВАРИАНТ 1

1. Какова степень окисления и валентность азота в аммиаке?

2. Напишите структурные формулы двух изомеров C_4H_8.

3. Сколько электронов содержится в 4 г кислорода?

4. В какой цвет окрашивают лакмус растворы следующих веществ: а) KCl; б) LiOH; в) CH_3COOH; г) Na_2CO_3? Ответ поясните.

5. Определите температурный коэффициент скорости реакции, если при понижении температуры на 50 °С реакция замедлилась в 32 раза. Как изменится скорость этой реакции, если температуру поднять на 30 °С?

6. Чему равна массовая доля азотной кислоты в водном растворе, в котором число атомов водорода в 1,5 раза больше числа атомов кислорода?

7. Напишите уравнения следующих реакций и укажите условия их протекания:

$$FeBr_3 + KOH \rightarrow$$

$$ZnS + O_2 \rightarrow$$

$$Cu + H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow$$

$$AlCl_3 + Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_6 \xrightarrow{Cl_2,\,h\nu} \mathbf{A} \xrightarrow{KOH,\,H_2O} \mathbf{B} \rightarrow CH_3CHO \xrightarrow{Cu(OH)_2} \rightarrow \mathbf{C} \xrightarrow{NaOH} \mathbf{D} \xrightarrow{NaOH(т.),\,t} \mathbf{E}$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Для полного растворения 23,7 г сплава серебра и цинка израсходовано 32,75 мл 88%-го раствора серной кислоты (плотность 1,7 г/мл). Такая же навеска сплава реагирует с 200 мл 2 М раствора гидроксида натрия. Рассчитайте объем газа (н. у.), выделившегося при обработке сплава серной кислотой. Определите массовые доли металлов в сплаве.

10. Для гидролиза дипептида, состоящего из лизина и аланина, израсходовано 49,8 мл 20%-й соляной кислоты (плотность 1,1 г/мл). Определите объем 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1,22 г/мл) потребуется для гидролиза этой навески дипептида? Напишите уравнения реакций.

ВАРИАНТ 2

1. Какова степень окисления и валентность водорода в воде?

2. Напишите структурные формулы двух изомеров $C_4H_8O_2$.

3. Сколько электронов в 7 г азота?

4. В какой цвет окрашивают лакмус растворы следующих веществ: а) K_2SO_4; б) NaOH; в) H_3PO_4; г) NH_4Cl? Ответ поясните.

5. Определите температурный коэффициент скорости реакции, если при понижении температуры на 30 °С реакция замедляется в 27 раз. Как изменится скорость этой реакции, если температуру поднять на 20 °С?

6. Чему равна массовая доля фосфорной кислоты в водном растворе, в котором число атомов водорода и число атомов кислорода равны?

7. Напишите уравнения следующих реакций и укажите условия их протекания:

$$Mg(NO_3)_2 + Ba(OH)_2 \rightarrow$$

$$CuS + O_2 \rightarrow$$

$$Fe + H_2SO_4(разб.) \rightarrow$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2S + H_2O \rightarrow$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_6H_5CH_3 \xrightarrow{KMnO_4,\,H^+} \mathbf{A} \xrightarrow{NaOH} \mathbf{B} \rightarrow C_6H_6 \xrightarrow{HNO_3,\,H_2SO_4} \rightarrow \mathbf{C} \xrightarrow{H_2,\,Ni} \mathbf{D} \xrightarrow{HCl} \mathbf{E}$$

Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Для полного растворения 15,5 г сплава меди и алюминия израсходовано 96,93 мл 65%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,4 г/мл). Такая же масса сплава реагирует с 500 мл 0,2 М раствора гидроксида калия. Напишите уравнения реакций. Рассчитайте объем газа (н. у.), выделившегося при обработке сплава азотной кислотой. Определите массовые доли металлов в сплаве.

10. Для гидролиза навески дипептида, состоящего из аланина и тирозина, израсходовано 12,3 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1,22 г/мл). Какой объем 20%-й соляной кислоты (плотность 1,22 г/мл) потребуется для гидролиза такой же навески дипептида? Напишите уравнения реакций.

ВАРИАНТ 3

1. Какова степень окисления и валентность водорода в метане?

2. Напишите структурные формулы двух изомеров C_4H_6.

3. Сколько электронов в 7,1 г хлора?

4. В какой цвет окрашивают лакмус растворы следующих веществ: а) NaI; б) $Ba(OH)_2$; в) HCl; г) NH_4Br? Ответ поясните.

5. Определите температурный коэффициент скорости реакции, если при понижении температуры на 30 °С реакция замедлилась в 8 раз. Как изменится скорость этой реакции, если температуру поднять на 20 °С?

6. Чему равна массовая доля ортофосфорной кислоты в водном растворе, в котором число атомов водорода в 1,5 раза больше числа атомов кислорода?

7. Напишите уравнения следующих реакций и укажите условия их протекания:

$$CrCl_3 + NaOH \rightarrow$$

$$MgS + O_2 \rightarrow$$

$$Br_2 + KOH \rightarrow$$

$$CrCl_3 + K_2CO_3 + H_2O \rightarrow$$

8. Укажите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_2H_6 \xrightarrow{Br_2,\,h\nu} \mathbf{A} \xrightarrow{Na} \mathbf{B} \rightarrow CH_3COOH \xrightarrow{NaOH} \rightarrow \mathbf{C} \xrightarrow{NaOH(т),\,t} \mathbf{D} \xrightarrow{Cl_2,\,h\nu} \mathbf{E}$$

Напишите структурные формулы веществ.

9. Для полного растворения 9,7 г сплава меди и цинка израсходовано 45,65 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,38 г/мл). Такая же навеска сплава реагирует с 200 мл 1 М раствора гидроксида

натрия. Рассчитайте объем газа (н. у.), выделившегося при обработке сплава азотной кислотой. Определите массовые доли металлов в сплаве.

10. Для гидролиза дипептида, состоящего из глицина и лизина, израсходовано 16,4 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1,22 г/мл). Какой объем 20%-й соляной кислоты (плотность 1,1 г/мл) потребуется для гидролиза этой навески дипептида? Напишите уравнения реакций.

ВАРИАНТ 4

1. Какова степень окисления и валентность хлора в хлороводороде?

2. Напишите структурные формулы двух изомеров $C_4H_{10}O$.

3. Сколько электронов в 24 г озона?

4. В какой цвет окрашивают лакмус растворы следующих веществ: а) NaCl; б) KOH; в) H_2SO_4; г) K_2CO_3? Ответ поясните.

5. Определите температурный коэффициент скорости реакции, если при понижении температуры на 20 °С реакция замедлилась в 9 раз. Как изменится скорость этой реакции, если температуру поднять на 30 °С?

6. Чему равна массовая доля хлорной кислоты в водном растворе, в котором число атомов водорода в 1,5 раза больше числа атомов кислорода?

7. Напишите уравнения следующих реакций и укажите условия их протекания:

$$FeCl_2 + KOH \rightarrow$$

$$H_2S + O_2 \rightarrow$$

$$P + HNO_3(\text{разб.}) \rightarrow$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$CH_4 \xrightarrow{Br_2,\,h\nu} \mathbf{A} \xrightarrow{Na} \mathbf{B} \xrightarrow{Cl_2,\,h\nu} \mathbf{C} \rightarrow C_2H_5OH \xrightarrow{CuO,\,t} \mathbf{D} \xrightarrow{HCN} \mathbf{E}$$

Укажите структурные формулы веществ.

9. Для растворения 18,4 г сплава железа и меди израсходовано 113,0 мл 60%-го раствора азотной кислоты (плотность 1,3 г/мл). Такая же масса сплава реагирует с 25,4 мл 25%-й соляной кислоты (плотность 1,15 г/мл). Напишите уравнения реакций. Рассчитайте объем газа (н. у.), выделившегося при обработке сплава азотной кислотой. Определите массовые доли металлов в сплаве.

10. Для гидролиза дипептида, состоящего из глицина и тирозина, израсходовано 49,2 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1,22 г/мл). Какой объем 20%-й соляной кислоты (плотность 1,1 г/мл) потребуется для гидролиза этот навески дипептида? Напишите уравнения реакций.

2016 ГОД

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

10–11 КЛАССЫ

НОЯБРЬ-1

1. Приведите по одному соединению, в которых азот проявляет высшую и низшую степени окисления. Укажите степень окисления азота в этих соединениях.

2. Напишите уравнение реакции, в результате которой одновременно образуются соляная и фосфорная кислоты.

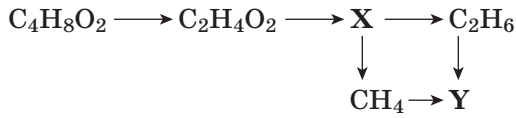
3. Приведите пример газообразного простого вещества, плотность которого (при одинаковых условиях) больше, чем у первого члена гомологического ряда алканов, но меньше, чем у первого члена гомологического ряда алкинов.

4. При реакции двух простых веществ, образованных элементами одной группы Периодической системы, образуется соединение, в котором атом одного элемента содержит в 2 раза больше протонов, чем атом другого элемента, но общее число протонов во всех атомах первого элемента равно общему числу протонов во всех атомах второго элемента. Установите формулы веществ. Напишите уравнение реакции получения этого соединения.

5. В 21,2 л газообразного углеводорода (60 °С, 735 мм рт. ст.) содержится $5{,}8695 \cdot 10^{24}$ атомов. Предложите возможный состав и строение углеводорода.

6. В реакции $\mathbf{A} + \mathbf{B} \rightleftarrows \mathbf{C}$, протекающей в идеальной газовой смеси при температуре 500 К и давлении 1 атм, установилось равновесие с равновесными количествами веществ **A**, **B** и **C** 1,00, 3,00 и 2,00 моль (соответственно). При изменении давления до 2 атм и той же температуре в системе установилось новое равновесие. Рассчитайте равновесные количества веществ **A**, **B** и **C**.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующие следующей схеме превращений. Приведите структурные формулы веществ и укажите условия проведения реакций.



8. Разделение смеси оксида алюминия и оксида цинка на индивидуальные соединения проводилось по описанной далее методике. Смесь оксидов была сплавлена с избытком твердого гидроксида натрия. Плав растворили в воде, затем обработали 20%-й серной кислотой. К полученному раствору добавили избыток раствора аммиака и отделили образовавшийся осадок **X**. В оставшийся аммиачный раствор пропустили сероводород — выпал осадок **Y**.

Напишите уравнения всех реакций. Определите состав **X** и **Y**. Предложите способы получения из **X** и **Y** безводного хлорида алюминия и металлического цинка.

9. При нагревании 13,35 г природной α-аминокислоты до 180 °C образовалось циклическое органическое соединение и выделилось 5,58 л газа (измерено при 180 °C и нормальном давлении). Определите строение аминокислоты. Напишите уравнения реакций.

10. Сульфид серебра массой 24,8 г растворили при нагревании в 79,7 мл 63%-й азотной кислоты (плотность 1,38 г/мл) и добавили 500 г воды. Раствор подвергли электролизу, который продолжали до выделения на аноде 1,68 л газа (20 °C, 1 атм). Определите массу серебра, выделившегося на катоде, и массовые доли веществ в растворе после электролиза. Рассчитайте pH раствора (плотность 1,01 г/мл) после электролиза. Второй ступенью диссоциации сильной кислоты можно пренебречь.

НОЯБРЬ-2

1. Приведите по одному соединению, в которых сера проявляет высшую и низшую степени окисления. Укажите степень окисления серы в этих соединениях.

2. Напишите уравнение реакции, в результате которой одновременно образуются соляная и фосфористая кислоты.

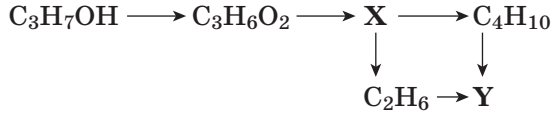
3. Приведите пример газообразного простого вещества, плотность которого в одинаковых условиях больше, чем у второго члена гомологического ряда предельных аминов, но меньше, чем у четвертого члена гомологического ряда алканов.

4. В реакции двух простых веществ элементов одной группы Периодической системы образуется соединение, в молекуле которого число протонов в атоме одного элемента в 2 раза больше, чем в атоме другого элемента, но общее число протонов в атомах первого элемента равно общему числу протонов атомах второго элемента. Установите формулу продукта реакции этих двух простых веществ и напишите соответствующее уравнение реакции.

5. 8,96 л газообразного углеводорода (70 °C, 1,1 атм) содержит $2{,}5284 \cdot 10^{24}$ атомов. Предложите возможный состав и строение углеводорода.

6. В реакции $\mathbf{A} \rightleftarrows \mathbf{B} + \mathbf{C}$, протекающей в идеальной газовой смеси при температуре 600 К и давлении 2 атм, равновесные количества **A**, **B** и **C** составляют 1,00, 2,00 и 3,00 моль (соответственно). При изменении давления до 3 атм при той же температуре в системе снова установилось равновесие. Рассчитайте равновесные количества **A**, **B** и **C** в этих условиях.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующие следующей схеме превращений. Приведите структурные формулы веществ и укажите условия проведения реакций.



8. Разделение смеси оксида кремния и оксида хрома(III) на индивидуальные соединения проводилось по описанной далее методике.

Смесь оксидов была сплавлена в токе кислорода с избытком твердого гидроксида калия. Плав растворили в воде, затем обработали 20%-й серной кислотой и отделили образовавшийся осадок **X**. В полученный сернокислый раствор сначала пропустили оксид серы(IV), а затем добавили избыток раствора карбоната натрия — выпал осадок **Y**.

Напишите уравнения всех реакций. Определите состав **X** и **Y**. Предложите способы получения из **X** и **Y** силана и безводного хлорида хрома(III).

9. При нагревании 8,25 г природной α-аминокислоты до 180 °C образовалось циклическое органическое соединение и выделилось 1,86 л газа (измерено при 180 °C и нормальном давлении). Определите строение аминокислоты. Напишите уравнения реакций.

10. Сульфид меди(II) массой 14,4 г растворили при нагревании в 123,2 мл 63%-й азотной кислоты (плотность 1,38 г/мл) и добавили 550 г воды. Раствор подвергли электролизу, который продолжали до тех, пор, пока объемы газов, выделившихся на электродах, не стали равны. Определите массу меди, выделившейся на катоде, и массовые доли веществ в растворе после электролиза. Рассчитайте pH этого раствора (плотность 1,01 г/мл). Второй ступенью диссоциации сильной кислоты можно пренебречь.

НОЯБРЬ-3

1. Приведите по одному соединению, в которых кислород проявляет высшую и низшую степени окисления. Укажите степень окисления кислорода в этих соединениях.

2. Напишите уравнение реакции, в результате которой одновременно образуются соляная и серная кислоты.

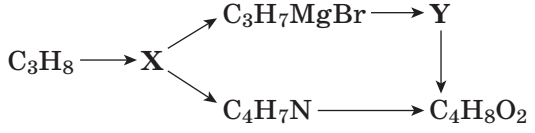
3. Приведите пример газообразного простого вещества, плотность которого в одинаковых условиях больше, чем у первого члена гомологического ряда предельных аминов, но меньше, чем у второго члена гомологического ряда алкинов.

4. Два простых вещества, образованных элементами одной группы Периодической системы, при взаимодействии друг с другом образуют соединение, в котором атом одного элемента содержит в 3 раза больше протонов, чем атом другого элемента, но общее число протонов во всех атомах первого элемента в 2 раза больше, чем во всех атомах второго элемента. Установите формулы веществ. Напишите уравнение реакции.

5. В 13,76 л газообразного углеводорода при 80 °С и 720 мм рт. ст. содержится $4{,}0635 \cdot 10^{24}$ атомов. Предложите возможный состав и строение углеводорода.

6. В реакции $\mathbf{D} + \mathbf{E} \rightleftarrows \mathbf{F}$, протекающей в идеальной газовой смеси при температуре 700 К и давлении 3 атм, равновесные количества веществ **D**, **E** и **F** составляют 2,00, 3,00 и 4,00 моль (соответственно). При изменении давления в системе до 5 атм при постоянной температуре в системе установилось новое равновесие. Рассчитайте равновесные количества веществ **D**, **E** и **F** в этих условиях.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих приведенной схеме превращений. Напишите структурные формулы веществ и укажите условия проведения реакций.



8. Разделение смеси оксида меди(II) и оксида железа(II) на индивидуальные соединения проводилось по описанной далее методике. Смесь оксидов была обработана при нагревании концентрированной серной кислотой. Раствор разбавили водой до концентрации кислоты ~1 моль/л и пропустили в него сероводород, выпавший осадок **X** отделили. В оставшийся раствор сначала пропустили хлор, а затем добавили избыток раствора карбоната натрия — выпал осадок **Y**. Напишите уравнения всех реакций. Определите состав **X** и **Y**. Предложите способы получения из **X** и **Y** металлической меди и безводного хлорида железа(III).

9. При нагревании 18,75 г природной α-аминокислоты до 180 °С образовалось циклическое органическое соединение и выделилось 9,3 л газа (180 °С, давление нормальное). Определите строение аминокислоты. Напишите уравнения реакций.

10. Сульфид серебра массой 18,6 г растворили при нагревании в 72,5 мл 63%-й азотной кислоты (плотность 1,38 г/мл). К раствору доба-

вили 450 г воды и подвергли электролизу, который продолжали до выделения на катоде 1,20 л газа (20 °С, 1 атм). Определите массу серебра, выделившегося на катоде, и массовые доли веществ в растворе после электролиза. Рассчитайте pH этого раствора (плотность 1,01 г/мл). Второй ступенью диссоциации сильной кислоты можно пренебречь.

НОЯБРЬ-4

1. Приведите по одному веществу, в которых хром проявляет высшую и низшую степени окисления, указав степень окисления хрома.

2. Напишите уравнение реакции, в результате которой одновременно образуются бромоводородная и фосфорная кислоты.

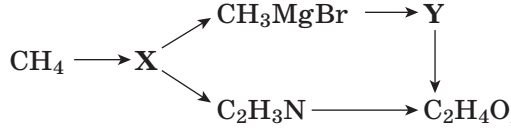
3. Приведите пример газообразного простого вещества, плотность которого больше, чем у первого члена гомологического ряда алкинов, но меньше, чем у первого члена гомологического ряда циклоалканов, при одинаковых условиях.

4. Два простых вещества, образованных элементами одной группы Периодической системы, при взаимодействии друг с другом образуют соединение, в котором атом одного элемента содержит в 2 раза больше протонов, чем атом другого элемента, но общее число протонов во всех атомах первого элемента в 1,5 раза меньше общего числа протонов во всех атомах второго элемента. Установите формулы веществ. Напишите уравнение реакции.

5. В 7,33 л газообразного углеводорода при 30 °С и 0,95 атм содержится $1{,}6856 \cdot 10^{24}$ атомов. Предложите возможный состав и строение углеводорода.

6. В реакции $\mathbf{D} \rightleftarrows \mathbf{E} + \mathbf{F}$, протекающей в идеальной газовой смеси при температуре 800 К и давлении 6 атм, равновесные количества веществ **D**, **E** и **F** составляют 2,00, 3,00 и 4,00 моль (соответственно). При изменении давления в системе до 9 атм при постоянной температуре в системе установилось новое равновесие. Рассчитайте равновесные количества веществ **D**, **E** и **F** в этих условиях.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующие следующей схеме превращений. Приведите структурные формулы веществ. Укажите условия проведения реакций.



8. Разделение смеси оксида алюминия и оксида марганца(IV) на индивидуальные соединения проводилось по описанной далее методике. Смесь оксидов была сплавлена в токе кислорода с избытком твердого гидроксида калия. Плав растворили в воде, затем обработали 20%-й серной кислотой; выпавший осадок **X** отделили. К сернокислому рас-

твору добавили раствор карбоната калия — выпал осадок **Y**. В полученный нейтральный раствор добавили раствор сульфита калия — выпало еще некоторое количество осадка **X**. Напишите уравнения всех реакций. Определите состав **X** и **Y**. Предложите способы получения из **X** и **Y** металлического алюминия и сульфида марганца.

9. При нагревании 19,65 г природной α-аминокислоты до 180 °С образовалось циклическое органическое соединение и выделилось 5,58 л газа (180 °С, давление нормальное). Определите строение аминокислоты. Напишите уравнения реакций.

10. Сульфид меди(II) массой 14,4 г растворили при нагревании в 115,9 мл 63%-й азотной кислоты (плотность 1,38 г/мл). К раствору добавили 450 г воды; раствор подвергли электролизу, который продолжали до тех пор, пока объем газа, выделившегося на катоде, не стал равен половине объема газа, выделившегося на аноде. Определите массу меди, выделившейся на катоде, и массовые доли веществ в растворе после электролиза. Рассчитайте pH этого раствора (плотность 1,01 г/мл). Второй ступенью диссоциации сильной кислоты можно пренебречь.

ДЕКАБРЬ-1

1. Какие молекулы полярные и неполярные: C_2H_2, HBr, BCl_3, CH_3NH_2? Ответ поясните.

2. В атоме сумма числа протонов, нейтронов и электронов равна 134, причем число нейтронов превышает число электронов на 11. Определите порядковый номер и массовое число элемента. Назовите этот элемент.

3. Для приготовления раствора смешали 500 мл воды, 10 г гидроксида натрия, 5 г сульфата натрия и 6 г гидросульфата натрия. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе.

4. После пропускания смеси двух газов (плотность по метану 1,875) в нейтральный водный раствор перманганата калия объем газовой смеси уменьшился в 2 раза, а относительная плотность газовой смеси не изменилась. Определите состав газовой смеси и рассчитайте массу осадка, образовавшегося при пропускании 44,8 л (н. у.) исходной газовой смеси. Предложите возможный качественный и количественный состав исходной газовой смеси.

5. Определите теплоту, выделившуюся при сжигании 7,33 л (1 атм, 25 °С) смеси метана и этана. При пропускании продуктов сгорания этой смеси через известковую воду выпало 50 г белого осадка. Теплоты образования метана, этана, углекислого газа и воды 74,85, 84,67, 393,50 и 241,83 кДж/моль соответственно.

6. Аммиак, взятый при комнатной температуре, нагрели до 800 °С, образовавшуюся газовую смесь привели к первоначальным условиям (температуре и давлению); плотность этой газовой смеси в 1,2 раза

меньше исходной плотности аммиака. Определите степень разложения аммиака и состав полученной смеси (в мольных долях).

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Укажите условия проведения реакций. Все неизвестные вещества содержат хлор.

$$HCl \rightarrow Cl_2 \rightarrow CaOCl_2 \xrightarrow{H_2SO_4(20\%)} \mathbf{X_1} \xrightarrow{Fe,\,t} \mathbf{X_2} \xrightarrow{Na_2S,\,H_2O} \xrightarrow{Na_2S,\,H_2O} \mathbf{X_3} \rightarrow NaClO_3$$

8. При хлорировании пропана на свету при 25 °С получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 40% 1-хлорпропана и 60% 2-хлорпропана. При хлорировании изобутана в тех же условиях получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 60% 2-метил-1-хлорпропана и 40% 2-метил-2-хлорпропана. Какие монохлорпроизводные и в каких количествах (в мольных %) может содержать смесь при хлорировании 2-метилбутана на свету при 25 °С? Ответ подтвердите расчетом.

9. Сульфид черного цвета массой 4,8 г подвергли окислительному обжигу в атмосфере кислорода — получили 4 г твердого вещества черного цвета, которое растворяется в соляной кислоте с образованием голубого раствора. Если к этому раствору добавить гидроксид натрия, образуется сине-голубой осадок, который растворяется в этиленгликоле с образованием синего раствора. Определите все описанные соединения. Напишите уравнения реакций. Свои выводы подтвердите расчетами.

10. В смеси двух ближайших гомологов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных карбоновых кислот с гидроксильной группой на конце цепи, массовая доля кислорода 50%. Какие кислоты и в каких количествах (в мольных %) находятся в смеси? Какие вещества и в каких количествах образуются при нагревании 16,8 г смеси до 150 °С? Напишите уравнения реакций.

ДЕКАБРЬ-2

1. Какие молекулы полярные и неполярные: C_2H_4, H_2O, BF_3, $(CH_3)_2NH$? Ответ поясните.

2. В атоме сумма числа протонов, нейтронов и электронов равна 128, причем число нейтронов превышает число электронов на 11. Определите порядковый номер и массовое число элемента. Назовите этот элемент.

3. Для приготовления раствора смешали 200 мл воды, 3 г ортофосфата натрия, 5 г гидроортофосфата натрия и 7 г дигидроортофосфата натрия. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе.

4. При пропускании смеси двух газов в раствор манганата(VI) калия образуется 10 г осадка; при этом объем газа, прошедшего через раствор, в 3 раза меньше начального, а относительная плотность газа по водороду не изменилась и осталась равной 22. Определите объем

исходной газовой смеси (н. у.). Предположите ее возможный качественный и количественный состав.

5. При сжигании смеси метана и этана выделилось 446,03 кДж теплоты. Продукты сгорания смеси были пропущены через хлоркальциевую трубку, при этом масса трубки увеличилась на 18 г. Определите количественный состав газовой смеси и ее объем (1 атм и 25 °С). Теплоты образования метана, этана, углекислого газа и воды 74,85, 84,67, 393,5 и 241,83 кДж/моль соответственно.

6. Сероводород, взятый при комнатной температуре, сильно нагрели. Затем образовавшуюся газовую смесь привели к первоначальным условиям (температуре и давлению); плотность этой газовой смеси в 3,4 раза меньше исходной плотности сероводорода. Определите степень разложения сероводорода и состав полученной газовой смеси (в мольных долях).

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращениям. Укажите условия проведения реакций. Все неизвестные вещества содержат серу.

$$H_2S \xrightarrow{O_2(\text{недостат.})} \mathbf{X_1} \xrightarrow{Na_2SO_3(\text{р-р}),\,t} \mathbf{X_2} \rightarrow SO_2 \xrightarrow{KMnO_4,\,H_2O}$$

$$\xrightarrow{KMnO_4,\,H_2O} \mathbf{X_2} \rightarrow K_2S \xrightarrow{Al_2(SO_4)_3,\,H_2O} \ldots$$

8. При хлорировании пропана на свету при 25 °С получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 40% 1-хлорпропана и 60% 2-хлорпропана. При хлорировании изобутана в тех же условиях получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 60% 2-метил-1-хлорпропана и 40% 2-метил-2-хлорпропана. Какие монохлорпроизводные и в каких количествах (в мольных %) может содержать смесь при хлорировании 3-метилпентана на свету при 25 °С? Ответ подтвердите расчетом.

9. Сульфид черного цвета массой 37,2 г подвергли окислительному обжигу на воздухе и получили 32,4 г твердого вещества серого цвета, которое растворяется в концентрированной азотной кислоте с образованием бесцветного раствора. Добавление раствора гидроксида натрия к этому раствору приводит к образованию черно-коричневого осадка, который растворяется в растворе аммиака. Добавление к аммиачному раствору уксусного альдегида приводит к образованию простого вещества в виде серого осадка или зеркального налета на стенках. Определите все описанные соединения. Напишите уравнения реакций. Свои выводы подтвердите расчетами.

10. В смеси двух ближайших гомологов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных карбоновых кислот с гидроксильной группой на конце цепи, массовая доля кислорода 45%. Какие кислоты и в каких количествах (в мольных %) находятся в смеси? Какие вещества и в каких количествах образуются при нагревании 5,6 г смеси до 150 °С? Напишите уравнения реакций.

ДЕКАБРЬ-3

1. Какие молекулы полярные и неполярные: C_2H_6, PH_3, BBr_3, CH_3COCH_3? Ответ поясните.

2. В атоме сумма числа протонов, нейтронов и электронов равна 145, причем число нейтронов превышает число электронов на 13. Определите порядковый номер и массовое число элемента. Назовите этот элемент.

3. Для приготовления раствора смешали 400 мл воды, 50 г сульфита калия, 100 г гидросульфита калия и 50 г гидроксида калия. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе.

4. Смесь двух газов (относительная плотность смеси по кислороду 0,875) реагирует с водным раствором перманганата калия с образованием 16 г осадка; объем газа, прошедшего через раствор, в 4 раза меньше исходного объема газовой смеси, относительная же плотность газа не изменилась. Определите объем (н. у.) исходной газовой смеси и ее возможный качественный и количественный состав.

5. Определите теплоту, выделившуюся при сжигании 12,22 л (1 атм, 25 °С) смеси ацетилена и этилена, если при пропускании через хлоркальциевую трубку продуктов сгорания этой смеси масса трубки увеличилась на 12,6 г. Теплоты образования ацетилена, этилена, углекислого газа и воды −226,75, −52,30, 393,50 и 241,83 кДж/моль соответственно.

6. Метан, взятый при комнатной температуре, сильно нагрели; образовавшуюся газовую смесь привели к первоначальным условиям (температуре и давлению). В смеси было обнаружено всего два вещества; плотность этой смеси в 4 раза меньше исходной плотности метана. Определите степень разложения метана и состав полученной газовой смеси (в мольных долях).

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия проведения реакций. Все неизвестные вещества содержат иод.

$$KIO_3 \xrightarrow{t} \mathbf{X_1} \rightarrow I_2 \rightarrow HI \xrightarrow{KIO_3,\ H_2SO_4(р\text{-}р)} \mathbf{X_2} \xrightarrow{HNO_3(конц.),\ t} \rightarrow \mathbf{X_3} \xrightarrow{AgNO_3(р\text{-}р)} \ldots$$

8. При хлорировании пропана на свету при 25 °С получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 40% 1-хлорпропана и 60% 2-хлорпропана. При хлорировании изобутана в тех же условиях получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 60% 2-метил-1-хлорпропана и 40% 2-метил-2-хлорпропана. Какие монохлорпроизводные и в каких количествах (в мольных %) может содержать смесь при хлорировании 2-метилпентана на свету при 25 °С? Ответ подтвердите расчетом.

9. Твердое вещество с золотистым блеском массой 12 г подвергли окислительному обжигу в атмосфере кислорода. В результате получе-

но 8 г вещества красно-коричневого цвета, которое хорошо растворяется в серной кислоте. Если к полученному раствору добавить желтую кровяную соль, то образуется раствор интенсивно-синего цвета. Если к сернокислому раствору добавить гидроксид натрия, выпадает осадок бурого цвета. Определите все описанные соединения. Напишите уравнения реакций. Свои выводы подтвердите расчетами.

10. В смеси двух ближайших гомологов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных неразветвленных дикарбоновых кислот, массовая доля кислорода 60%. Какие кислоты и в каких количествах (в мольных %) находятся в смеси? Какие вещества и в каких количестве образуются при нагревании 56 г смеси до 250 °С? Напишите уравнения реакций.

ДЕКАБРЬ-4

1. Какие молекулы полярные и неполярные: CS_2, PBr_3, CCl_4, CH_2O? Ответ поясните.

2. В атоме сумма числа протонов, нейтронов и электронов равна 120, причем число нейтронов превышает число электронов на 12. Определите порядковый номер и массовое число элемента. Назовите этот элемент.

3. Для приготовления раствора смешали 700 мл воды, 12 г карбоната натрия, 15 г гидрокарбоната натрия и 10 г гидроксида натрия. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе.

4. При пропускании 56 л (н. у.) смеси двух газов (относительная плотность смеси по гелию 10) через водный раствор перманганата калия объем газа уменьшился в 3 раза; плотность газа при этом не изменилась. Предложите возможный качественный и количественный состав исходной газовой смеси и рассчитайте массу перманганата калия, который прореагировал с этой газовой смесью.

5. При сжигании смеси ацетилена и этилена выделилось 522,45 кДж теплоты. Продукты сгорания были пропущены через известковую воду — выпало 80 г белого осадка. Определите количественный состав газовой смеси и ее объем (при 1 атм и 25 °С). Теплоты образования ацетилена, этилена, углекислого газа и воды −226,75, −52,30, 393,50 и 241,83 кДж/моль соответственно.

6. Оксид азота(I), взятый при комнатной температуре, сильно нагрели. Затем образовавшуюся газовую смесь привели к первоначальным условиям (температуре и давлению); плотность новой смеси в 1,25 раза меньше исходной плотности оксида азота. Определите степень разложения N_2O и состав полученной смеси (в мольных долях).

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их проведения. Все неизвестные вещества содержат бром.

$$NaBr \xrightarrow{H_3PO_4(конц.)} \mathbf{X_1} \xrightarrow{H_2SO_4(конц.)} \mathbf{X_2} \rightarrow AlBr_3 \xrightarrow{K_2CO_3, H_2O} \mathbf{X_3}$$

$$\mathbf{X_3} \xrightarrow{K_2Cr_2O_7, H_2SO_4(р\text{-}р)} \mathbf{X_2} \xrightarrow{NaOH(р\text{-}р), t} \ldots$$

8. При хлорировании пропана на свету при 25 °С получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 40% 1-хлорпропана и 60% 2-хлорпропана. При хлорировании изобутана в тех же условиях получена смесь монохлорпроизводных, содержащая 60% 2-метил-1-хлорпропана и 40% 2-метил-2-хлорпропана. Какие монохлорпроизводные и в каких количествах (в мольных %) может содержать смесь при хлорировании 2,4-диметилпентана на свету при 25 °С? Ответ подтвердите расчетом.

9. Сульфид черного цвета массой 16 г подвергли окислительному обжигу в атмосфере кислорода. В результате получено 16 г твердого вещества черного цвета, хорошо растворимого в серной кислоте. Если к полученному голубому сернокислому раствору добавить гидроксид натрия и уксусный альдегид, наблюдается образование осадка кирпичного цвета. Если к сернокислому раствору добавить избыток раствора аммиака, раствор окрашивается в ярко-синий цвет. Определите все описанные соединения. Напишите уравнения реакций. Свои выводы подтвердите расчетами.

10. В смеси двух ближайших гомологов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных неразветвленных дикарбоновых кислот, массовая доля кислорода 50%. Какие кислоты и в каких количествах (в мольных %) находятся в смеси? Какие вещества и в каких количествах образуются при нагревании 44,8 г смеси до 250 °С? Напишите уравнения еакций.

5–9 КЛАССЫ

1. Напишите по одному уравнению реакций с участием воды, в результате которых:

1) число молекул увеличивается в 1,5 раза;
2) число молекул увеличивается в 2 раза;
3) число молекул уменьшается в 1,5 раза;
4) число молекул уменьшается в 2 раза;
5) число молекул уменьшается в 3 раза;
6) число молекул не изменяется.

2. Какие открытия и достижения принадлежат российским ученым? Укажите все правильные ответы.

1) Открытие щелочных металлов.
2) Открытие периодического изменения свойств элементов.
3) Периодический закон.
4) Закон сохранения массы в химических реакциях.
5) Доказательство существования атомов и молекул.

6) Закон Авогадро.
7) Закон Гесса.
8) Открытие инертных газов.
9) Открытие 44-го элемента.
10) Открытие 118-го элемента.

3. Соль состоит из трех элементов-неметаллов. Атомов одного из неметаллов в веществе — столько же, сколько атомов остальных элементов, вместе взятых. Предложите формулу соли. Напишите по одному уравнению реакции этой соли с щелочами и сильными кислотами.

4. Кислота состоит из трех элементов. У одного из элементов массовая доля в кислоте равна его мольной доле. Предложите формулу кислоты и рассчитайте долю этого элемента в кислоте.

5. При добавлении какого вещества к соляной кислоте масса раствора уменьшается? Напишите уравнение реакции. Объясните.

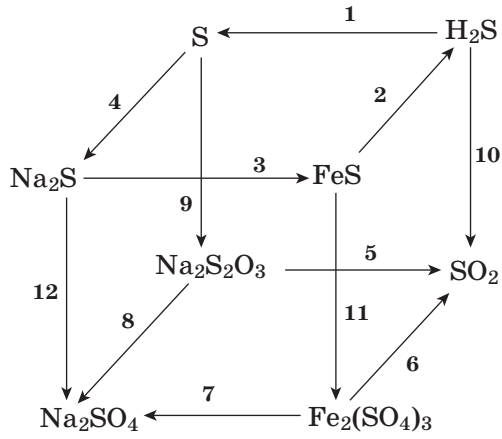
6. Напишите уравнения окислительно-восстановительных реакций, в которых:

1) атом окислителя принимает 5 электронов, атом восстановителя отдает 1 электрон;
2) атом окислителя принимает 8 электронов, атом восстановителя отдает 2 электрона;
3) атом окислителя принимает 2 электрона, атом восстановителя отдает 8 электронов;
4) атом окислителя принимает столько же электронов, сколько отдает атом восстановителя;
5) атом окислителя имеет отрицательную, а атом восстановителя положительную степень окисления.

7. Неорганическая соль, применяемая в текстильной промышленности как отбеливатель, содержит 157% активного хлора (речь идет о хлоре, выделяющемся в реакции с соляной кислотой; в сравнении с массой исходного вещества-отбеливателя масса этого хлора составляет 157%). Какое это вещество? Почему для отбеливания применяется именно это вещество, а не другие, более доступные, состоящие из тех же элементов?

8. Смесь хлорида калия с хлоридом неизвестного металла массой 6,873 г растворили в воде. Раствор разделили на две равные порции. К одной порции прилили избыток раствора нитрата серебра, к другой — избыток раствора фторида серебра. В первом случае выпало 8,1795 г осадка, а во втором 8,9355 г осадка. Определите качественный и количественный состав исходной смеси.

9. Напишите уравнения реакций, соответствующих превращениям, изображенным на схеме, где каждая стрелка соответствует одной реакции.



10. Аммиак, взятый при комнатной температуре, нагрели до 800 °С. Образовавшуюся газовую смесь привели к первоначальным условиям (температуре и давлению); плотность этой смеси в 1,2 раза меньше плотности аммиака. Сколько процентов аммиака разложилось?

ОЧНЫЙ ТУР

10–11 КЛАССЫ

ВАРИАНТ 1

1. Напишите формулы следующих веществ и назовите их по правилам ИЮПАК: веселящий газ, малахит, пирит, кумол.

2. Установите формулу соединения, которое содержит цинк (58,04 масс. %), водород (0,89 масс. %), углерод (5,36 масс. %) и кислород. Напишите уравнение реакции этого соединения с соляной кислотой.

3. В трех бюксах под номерами I—III находятся белые кристаллические вещества Na_2SO_4, Na_2SO_3 и Na_2S. Используя данные таблицы, определите номер бюкса с каждой из солей. Напишите уравнения всех реакций.

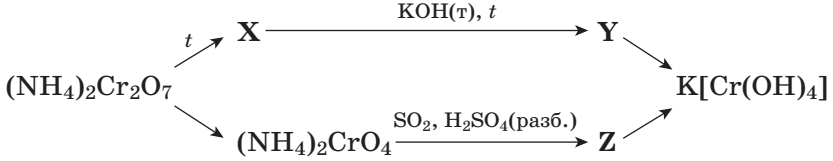
Соль / Реактив	I	II	III
I_2 (водный р-р)	Обесцвечивание раствора иода; образуется осадок	Обесцвечивание раствора иода	Нет видимых изменений
$BaCl_2$ (р-р)	Нет видимых изменений	Образуется осадок	Образуется осадок

4. При неполном сгорании бензина в двигателе автомобиля наряду с углекислым газом и водой образуется токсичный угарный газ. Будем считать, что бензин состоит только из октана (плотность октана 0,70 кг/л). При сгорании 20,0 л такого бензина было получено 60,0 кг продуктов сгорания. Рассчитайте массы CO, CO_2 и H_2O в продуктах сгорания. Какова масса кислорода, который потребовался для сгорания этого топлива?

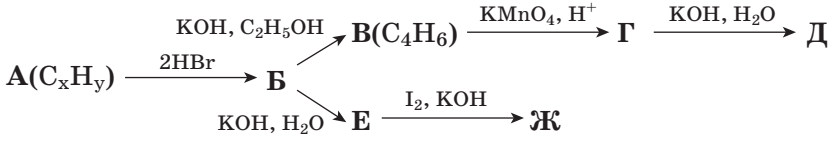
5. Плотность газообразной смеси двух эфиров, относящихся к гомологическому ряду насыщенных алифатических простых эфиров, 1,6244 г/л при 151 °C и 1 атм. Плотность другой смеси этих эфиров 2,2282 г/л (при тех же условиях). Объемная доля одного эфира в первой смеси равна объемной доле другого эфира во второй смеси. Один из эфиров проявляет оптическую активность. Установите качественный и количественный состав каждой смеси (в мольных %).

6. При повышении температуры от 20 до 35 °C и одновременном увеличении объема реакционной смеси, где протекает реакция $2NO_2 \rightarrow 2NO + O_2$, начальная скорость реакции не изменилась. Во сколько раз был увеличен объем системы? Энергия активации этой реакции 112,6 кДж/моль.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Все неизвестные вещества содержат хром. Укажите условия проведения реакций.



8. Расшифруйте следующую схему превращений. Известно, что соединения **А** и **В** — изомеры, а соединения **Д** и **Ж** — гомологи. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений **А** — **Ж**.



9. Эквимолярную смесь нитрита калия и хлорида аммония разделили на две равные порции. Газообразные продукты прокаливания одной порции пропустили через хлоркальциевую трубку, затем над нагретым металлическим литием; при этом образовалось 2,1 г зеленовато-черного вещества **А**. В другую порцию добавили избыток подкисленного серной кислотой раствора иодида калия — образовался бурый раствор **В**. Установите состав вещества **А**. Рассчитайте, на сколько

увеличилась масса хлоркальциевой трубки, а также определите объем раствора сульфита калия с концентрацией 0,25 моль/л, который потребуется для полного обесцвечивания раствора **B**.

10. При нагревании 2,4,5-триметилгептана до 450 °C в присутствии оксида хрома(III) получили 20,1 г смеси ароматических углеводородов, которую обработали избытком подкисленного раствора $KMnO_4$ — выделилось 1,12 л газа (н. у.). Органические вещества выделили из раствора и высушили. Установите качественный и количественный состав полученной смеси веществ. На сколько уменьшится масса этой смеси при нагревании до 200 °C?

ВАРИАНТ 2

1. Напишите формулы следующих веществ и назовите их по правилам ИЮПАК: кварц, красная кровяная соль, поташ, щавелевая кислота.

2. Установите формулу соединения, которое содержит марганец (53,92 масс. %), водород (0,98 масс. %), углерод (5,88 масс. %) и кислород. Напишите уравнение реакции этого соединения с раствором серной кислоты.

3. В трех бюксах под номерами **I**—**III** находятся белые кристаллические вещества NaBr, Na_3PO_4 и Na_2SO_3. Используя данные таблицы, определите номер бюкса с каждой из этих солей. Напишите уравнения всех реакций.

Соль / Реактив	I	II	III
H_2SO_4 (конц.)	Нет видимых изменений	Выделяется газ и изменяется окраска	Выделяется газ
$CaCl_2$ (р-р)	Образуется осадок	Нет видимых изменений	Образуется осадок

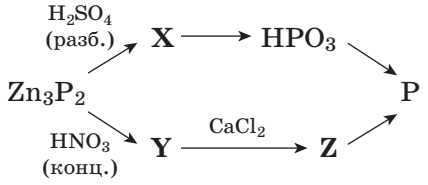
4. При неполном сгорании бензина в двигателе автомобиля наряду с углекислым газом и водой образуется токсичный угарный газ. Будем считать, что бензин состоит только из октана (плотность октана 0,70 кг/л). При сгорании 16,0 л такого бензина было получено 49,0 кг продуктов сгорания. Рассчитайте массы CO, CO_2 и H_2O в продуктах сгорания. Какова масса кислорода, который потребовался для сгорания этого топлива?

5. Плотность газообразной смеси двух спиртов, относящихся к гомологическому ряду насыщенных алифатических спиртов, 1,0993 г/л при 175 °C и 1 атм. Плотность другой смеси этих спиртов 1,7850 г/л при тех же условиях. Объемная доля одного спирта в первой смеси равна объемной доле другого спирта во второй смеси. Один из спиртов

проявляет оптическую активность. Установите качественный и количественный состав этих смесей (в мольных %).

6. В реакции $2NO + Br_2 \rightarrow 2NOBr$ участвуют только газы; энергия активации этой реакции 5,44 кДж/моль. При увеличении исходного объема реакционной смеси вдвое и одновременном повышении температуры начальная скорость реакции уменьшилась в 7 раз. До какой температуры была нагрета смесь? Начальная температура исходной газовой смеси 20 °С.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Все неизвестные вещества содержат фосфор. Укажите условия проведения реакций.



8. Расшифруйте следующую схему превращений. Известно, что соединения **А** и **Д**, а также **Б** и **Е** — изомеры. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений **А** — **Ж**.

$$\textbf{В} \xleftarrow{KMnO_4,\ H^+} \textbf{Б} \xleftarrow{C_{актив},\ 600\,^\circ C} \textbf{А}\ (C_xH_y) \xrightarrow{2HBr} \textbf{Г} \xrightarrow{KOH,\ C_2H_5OH}$$

$$\xrightarrow{KOH,\ C_2H_5OH} \textbf{Д}\ (C_4H_6) \xrightarrow{C_{акт.},\ 600\,^\circ C} \textbf{Е} \xrightarrow{KMnO_4,\ H^+} \textbf{Ж}$$

9. Смесь солей нитрита калия и хлорида аммония в молярном соотношении 1,5 : 1 разделили на две равные порции. Газообразные продукты прокаливания одной порции солей пропустили через хлоркальциевую трубку, масса которой в результате увеличилась на 4,32 г, затем над нагретым металлическим литием — образовалось зеленовато-черное вещество **А**. В другую порцию смеси солей добавили избыток подкисленного серной кислотой раствора иодида калия — образовался бурый раствор **В**. Установите состав вещества **А** и рассчитайте его массу, а также определите объем раствора сульфида калия (концентрация 0,25 моль/л), который требуется для полного обесцвечивания раствора **В**.

10. При нагревании 2,5-диметилгептана до 450 °С в присутствии оксида хрома получили 24 г смеси ароматических углеводородов. Смесь обработали избытком подкисленного раствора $KMnO_4$ — выделилось 1,12 л газа (н. у.). Органические вещества из раствора выделили и высушили. Установите качественный и количественный состав полученной смеси органических веществ. На сколько уменьшится масса этой смеси при нагревании до 200 °С?

7–9 КЛАССЫ

1. Напишите уравнение реакции между двумя газами, в результате которой образуются жидкость (при обычных условиях) и газ.

2. Заряд ядра элемента в 2 раза больше номера его группы в Периодической системе. Какой это элемент? Сколько электронов в атоме этого элемента?

3. Приведите пример вещества, которое может вступать в реакции соединения и с кислородом, и с водой. Напишите уравнения реакций.

4. В воду добавили некую жидкость и получили 10%-й раствор, в котором на одну молекулу этого жидкого вещества приходится 16 молекул воды. Найдите молекулярную массу жидкости.

5. Озон — очень ядовитый газ. Его предельно допустимое содержание в воздухе всего 0,03 мг/м^3. Сколько молекул озона приходится на 1 млрд (т. е. 10^9) молекул воздуха (н. у.) при таком содержании?

6. Д. И. Менделеев в учебнике «Основы химии» писал: «*Итак, в белильной извести нужно признать существование по крайней мере двух веществ: хлористого кальция и вещества, подобного водной извести, в которой водород замещен хлором. Это вещество при различных обстоятельствах может разлагаться или с выделением кислорода, или с выделением хлора, или с выделением окиси хлора*». Что такое белильная известь? Какое вещество имел в виду Менделеев? Предложите уравнения реакций, характеризующих описанные превращения.

7. Напишите уравнения окислительно-восстановительных реакций, в которых:

а) атомы и окислителя, и восстановителя имеют отрицательную степень окисления;

б) атомы и окислителя, и восстановителя имеют положительную степень окисления;

в) атом восстановителя отдает больше электронов, чем принимает атом окислителя.

Для каждой реакции составьте схему реакции с соблюдением электронного баланса.

8. В состав свинцовых белил входит неорганическая соль свинца, содержащая также углерод, водород и кислород. Содержание самого тяжелого элемента в этой соли 20%, а самого легкого — 13,3%. О каких процентах идет речь — о массовых или атомных? Объясните. Установите формулу этой соли свинца с учетом того, что в ней доли двух других элементов различаются в 4 раза. Напишите уравнения термического разложения этой соли свинца (в инертной атмосфере) и ее реакции с азотной кислотой.

9. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно реализовать следующие превращения:

$$SiO_2 \rightarrow CO_2 \rightarrow O_2 \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow H_2 \rightarrow \mathbf{Y} \rightarrow NO$$

Определите неизвестные вещества.

10. Элемент **X** образует с фтором три газообразных соединения. Самое легкое из них — газ **A**; этот газ в 2 раза тяжелее углекислого газа, число атомов в двух других газах **B** и **C** одинаковое. Газы **A** и **C** реагируют с водой — в каждой реакции образуется две кислоты. При сильном нагревании **C** превращается в **A**. Газ **A** при нагревании с мелкодисперсным никелем дает летучую жидкость, пары которой в 4,67 раза тяжелее **A**. Установите элемент **X** и формулы газов **A**, **B** и **C**. Напишите уравнения всех реакций, о которых здесь идет речь.

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

1. Ион $\mathbf{X}O_2^-$ содержит 24 электрона. Определите неизвестный элемент **X**. Напишите уравнение реакции простого вещества **X** с раскаленным литием.

2. При взаимодействии 16 г водорода и 480 г брома выделилось 217,8 кДж тепла. Чему равна теплота образования бромоводорода?

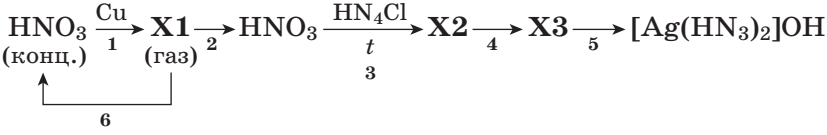
3. Какие осушители (конц. H_3PO_4, CaO, безводный $CaCl_2$) нельзя использовать для обезвоживания и количественного выделения каждого из следующих газов: HCl, C_2H_4, NH_3 и SO_2? Ответ обоснуйте. Напишите уравнения реакций.

4. При добавлении галогеноводорода к 4 л метана (25 °C, 1 атм) объем газовой смеси увеличился в 1,25 раза; плотность полученной смеси 1,571 г/л. Определите галогеноводород. Как изменится плотность газовой смеси при добавлении 1 л метиламина?

5. Смесь содержит сульфат, нитрат и оксид металла в мольном соотношении 1 : 2 : 2,5; степень окисления металла в этих соединениях одинаковая. Содержание металла в смеси 78,89% (по массе). Во сколько раз уменьшится масса смеси после прокаливания при 800 °C?

6. Имеются водные растворы двух оснований одинаковой концентрации — аммиака и гидроксида натрия. pH первого раствора 11,7. Найдите концентрацию растворов оснований и pH раствора гидроксида натрия. Определите pH после смешения равных объемов растворов этих оснований. $K_b(NH_3) = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Все неизвестные вещества содержат азот. Определите неизвестные вещества. Укажите условия реакций.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений.

$$C_7H_8 \xleftarrow{2} \mathbf{A} \xleftarrow{1} C_xH_y \xrightarrow{3} \mathbf{B} \xrightarrow{4} C_2H_4O \xrightarrow{5} \mathbf{C} \xrightarrow{6} C_4H_{10}O$$

Напишите структурные формулы веществ. Укажите условия протекания реакций.

9. Смесь калия (92,31 масс. %) и цинка полностью растворили в 45 мл воды. Объем выделившегося при этом водорода составил 9,856 л (н. у.). Рассчитайте массу исходной смеси металлов. Чтобы образовался осадок максимальной массы, необходимо добавить 1000 мл соляной кислоты. Рассчитайте молярную концентрацию добавленной кислоты и массу осадка.

10. Для сжигания 13,6 г смеси двух природных аминокислот потребовалось 13,888 л кислорода (н. у.). При обработке 7,3 г одной аминокислоты азотистой кислотой выделилось 2,24 л газа (н. у.), для полной нейтрализации 6,3 г второй аминокислоты потребовалось 10 г 24%-го раствора гидроксида натрия. Определите состав и строение аминокислот. Рассчитайте массовые доли аминокислот в смеси.

ВАРИАНТ 2

1. Ион $\mathbf{X}O_4^-$ содержит 50 электронов. Определите элемент **X**. Напишите уравнение реакции простого вещества **X** с холодным раствором гидроксида натрия.

2. При взаимодействии 24 г углерода и 80 г кислорода выделилось 787 кДж тепла. Чему равна теплота образования оксида углерода(IV)?

3. Какие осушители (конц. H_2SO_4, CaO, безводный $CaCl_2$) нельзя использовать для обезвоживания и количественного выделения каждого из следующих газов: H_2S, C_3H_6, O_2 и CH_3NH_2? Ответ обоснуйте. Напишите уравнения реакций.

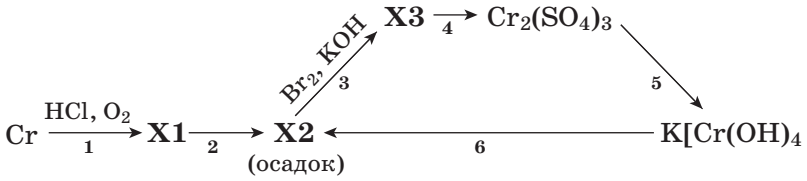
4. При добавлении галогеноводорода к 1 л бутана (20 °C, 1 атм) объем газовой смеси увеличился в 1,5 раза, плотность полученной смеси 2,732 г/л. Определите галогеноводород. Как изменится плотность газовой смеси при добавлении 0,5 л диметиламина?

5. Смесь содержит гидроксид, нитрат и основной карбонат металла в мольном соотношении 2 : 2 : 3; степень окисления металла в этих

соединениях одинаковая. Во сколько раз уменьшится масса смеси после прокаливания при 650 °C? Содержание металла в смеси составляет 28,64% (по массе).

6. Имеются водные растворы одинаковой концентрации двух оснований — этиламина и гидроксида натрия. pH раствора этиламина 12,0. Найдите концентрацию растворов оснований и pH раствора гидроксида натрия. Определите pH после смешения равных объемов растворов этих оснований. $K_b(C_2H_5NH_2) = 6{,}4 \cdot 10^{-4}$.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Все неизвестные вещества содержат хром. Расшифруйте неизвестные вещества, укажите условия протекания реакций.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Вещества $C_2H_5NO_2$ — изомеры.

$$C_2H_5NO_2 \xleftarrow{2} \mathbf{A} \xleftarrow{1} C_xH_y \xrightarrow{3} \mathbf{B} \xrightarrow{4}$$

$$\xrightarrow{4} C_2H_4O_2 \xrightarrow{5} \mathbf{C} \xrightarrow{6} C_2H_5O_2$$

Напишите структурные формулы веществ. Укажите условия протекания реакций.

9. Смесь калия и цинка массой 8,45 г залили 15 мл воды. В исходной смеси количество калия превышает количество цинка в 20 раз. Рассчитайте массовые доли металлов в исходной смеси и объем газа (н. у.), который выделится при полном протекании реакций. Какой объем 0,8 М соляной кислоты надо добавить к раствору, чтобы масса осадка была максимальной? Рассчитайте массу осадка.

10. Для сжигания 10,33 г смеси двух природных аминокислот потребовалось 8,904 л кислорода (н. у.). При обработке 5,34 г одной аминокислоты азотистой кислотой выделилось 1,344 л газа (н. у.), для полной нейтрализации 4,41 г второй аминокислоты потребовалось 16,8 г 20%-го раствора гидроксида калия. Определите состав и строение аминокислот. Рассчитайте массовые доли аминокислот в исходной смеси.

ВАРИАНТ 3

1. Ион $\mathbf{X}O_4^{2-}$ содержит 50 электронов. Определите элемент **X**. Напишите уравнение реакции простого вещества **X** с горячей концентрированной азотной кислотой.

2. При взаимодействии 84 г азота и 64 г кислорода поглотилось 360,8 кДж тепла. Чему равна теплота образования оксида азота(II)?

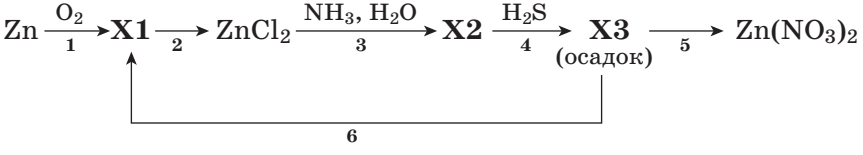
3. Какие осушители (конц. H_3PO_4, KOH, безводный $CaCl_2$) нельзя использовать для обезвоживания и количественного выделения каждого из следующих газов: HCl, Cl_2, NH_3 и C_2H_4? Ответ обоснуйте. Напишите уравнения реакций.

4. При добавлении галогеноводорода к 0,5 л бутана (25 °C, 1 атм) объем газовой смеси увеличился в 3 раза; плотность этой газовой смеси 1,786 г/л. Определите галогеноводород. Как изменится плотность газовой смеси при добавлении 1 л аммиака?

5. Смесь содержит нитрат, основной карбонат и оксид металла в мольном соотношении 1 : 3 : 2; степень окисления металла в этих соединениях одинаковая. Содержание металла в смеси 56,80% (по массе). Во сколько раз уменьшится масса смеси после прокаливания при 250 °C?

6. Имеются водные растворы одинаковой концентрации двух кислот — плавиковой и азотной. pH плавиковой кислоты 1,9. Найдите концентрацию растворов кислот и pH азотной кислоты. Определите pH при смешении равных объемов этих кислот. $K_a(HF) = 6{,}6 \cdot 10^{-4}$.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме. Все неизвестные вещества содержат цинк. Расшифруйте неизвестные вещества. Укажите условия протекания реакций.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Вещества **B** и **C** — гомологи.

$$\mathbf{B} \xleftarrow{3} C_6H_6 \xleftarrow{2} \mathbf{A} \xleftarrow{1} C_xH_y \xrightarrow{4} \mathbf{C} \xrightarrow{5}$$

$$\rightarrow C_4H_9BrMnO \xrightarrow{6} C_4H_{10}O$$

Напишите структурные формулы веществ. Укажите условия протекания реакций.

9. Смесь натрия и алюминия массой 21,1 г полностью растворили в 100 мл воды; объем выделившегося водорода 12,32 л (н. у.). Рассчитайте массовые доли металлов в исходной смеси. Какой объем 0,5 М соляной кислоты надо добавить к раствору, чтобы масса осадка была максимальной? Рассчитайте массу осадка.

10. Для сжигания 15,55 г смеси двух природных аминокислот потребовалось 21,56 л кислорода (н. у.). При обработке 7,3 г одной аминокислоты азотистой кислотой выделилось 2,24 л газа (н. у.), для полной

этерификации 13,2 г второй аминокислоты потребовалось 4,6 мл этилового спирта (плотность 0,8 г/мл). Определите состав и строение аминокислот. Рассчитайте массовые доли аминокислот в исходной смеси.

ВАРИАНТ 4

1. Ион $\mathbf{X}O_3^-$ содержит 42 электрона. Определите элемент **X** и напишите уравнение реакции простого вещества **X** с горячим раствором гидроксида калия.

2. Чему равна теплота образования этана, если при взаимодействии 30 г водорода и 96 г углерода выделилось 333,8 кДж тепла?

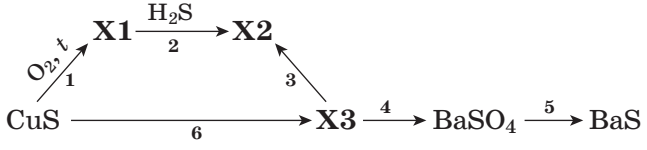
3. Какие осушители (конц. H_2SO_4, NaOH, безводный $MgSO_4$) нельзя использовать для обезвоживания и количественного выделения каждого из следующих газов: NH_3, HI, CO и C_3H_6? Ответ обоснуйте. Напишите уравнения реакций.

4. При добавлении газообразного амина к 2 л метана (25 °C, 1 атм) объем газовой смеси увеличился в 1,5 раза; плотность полученной смеси 1,241 г/л. Определите амин. Как изменится плотность газовой смеси при добавлении 1 л хлороводорода?

5. Смесь содержит нитрат, оксид и сульфат металла в мольном соотношении 2 : 1 : 1; степень окисления металла в этих соединениях одинаковая. Во сколько раз уменьшится масса смеси после прокаливания при 550 °C? Содержание металла в смеси после прокаливания 69,03% (по массе).

6. Имеются водные растворы одинаковой концентрации двух кислот — уксусной и соляной. pH первого раствора 2,3. Найдите концентрацию растворов кислот и pH соляной кислоты. Определите pH при смешении равных объемов этих кислот. $K_a(CH_3COOH) = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Все неизвестные вещества содержат серу. Расшифруйте неизвестные вещества, укажите условия протекания реакций.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

$$C_4H_{10}O_2 \xleftarrow{3} C_4H_8 \xleftarrow{2} \mathbf{A} \xleftarrow{1} C_xH_y \xrightarrow{4} \mathbf{B} \xrightarrow{5}$$

$$\rightarrow C_2H_{93}BrO_2 \xrightarrow{6} C_2H_5NO_2$$

9. Смесь калия и алюминия массой 8,34 г полностью растворили в 15 мл воды; объем выделившегося при этом водорода составил 2,912 л (н. у.). Рассчитайте массовые доли металлов в исходной смеси. Для образования осадка максимальной массы необходимо добавить 500 мл соляной кислоты. Рассчитайте молярную концентрацию добавленной кислоты и массу осадка.

10. Для сжигания 6,29 г смеси двух природных аминокислот потребовалось 7,112 л кислорода (н. у.). При обработке 2,67 г одной аминокислоты азотистой кислотой выделилось 0,672 л газа (н. у.), для полной нейтрализации 3,62 г второй аминокислоты потребовалось 20 г 11,2%-го раствора гидроксида калия. Определите состав и строение аминокислот. Рассчитайте массовые доли аминокислот в исходной смеси.

ВАРИАНТ 5 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. Ион XO_3^{2-} содержит 42 электрона. Определите элемент **X** и напишите уравнение реакции простого вещества **X** с горячей концентрированной азотной кислотой.

2. Чему равна теплота образования фтороводорода? При взаимодействии 8 г водорода и 76 г фтора выделилось 1093,28 кДж теплоты.

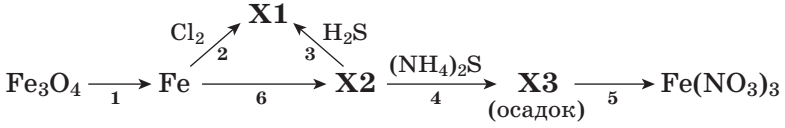
3. Какие осушители (конц. H_2SO_4, KOH, безводный $MgSO_4$) нельзя использовать для обезвоживания и количественного выделения каждого из следующих газов: C_2H_4, Cl_2, HCl и CH_3NH_2? Ответ обоснуйте. Напишите уравнения реакций.

4. При добавлении газа к 1 л бутана (20 °C, 1 атм) объем газовой смеси увеличился в 3 раза; плотность этой газовой смеси 1,276 г/л. Определите неизвестный газ. Как изменится плотность газовой смеси при добавлении 2 л хлороводорода?

5. Смесь содержит равные количества (в молях) сульфата, нитрата и гидроксида металла; степень окисления металла в этих соединениях одинаковая. Во сколько раз уменьшится масса смеси после прокаливания при 900 °C? Содержание металла в смеси 17,06% (по массе).

6. Имеются водные растворы одинаковой концентрации двух оснований — метиламина и гидроксида калия. pH первого раствора 12,1. Найдите концентрацию растворов оснований и pH раствора гидроксида калия. Определите pH при смешении равных объемов этих растворов оснований. $K_b(CH_3NH_2) = 3{,}7 \cdot 10^{-4}$.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Все неизвестные вещества содержат железо. Расшифруйте неизвестные вещества, укажите условия протекания реакций.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

$$C_8H_{10} \xleftarrow{2} \mathbf{A} \xleftarrow{1} C_xH_y \xrightarrow{3} \mathbf{B} \xrightarrow{4} C_3H_5NO \xrightarrow{5} \rightarrow \mathbf{C} \xrightarrow{6} C_3H_9NO_3$$

9. Смесь калия и алюминия массой 15,87 залили 25 мл воды. В исходной смеси количество калия превышает количество алюминия в 40 раз. Рассчитайте массовые доли металлов в исходной смеси и объем газа (н. у.), который выделится при полном протекании реакций. Какой объем 0,6 М соляной кислоты надо добавить к полученному раствору, чтобы масса осадка была максимальной? Рассчитайте массу осадка.

10. Для сжигания 10,29 г смеси двух природных аминокислот потребовалось 11,816 л кислорода (н. у.). При обработке 5,84 г одной аминокислоты азотистой кислотой выделилось 1,792 л газа (н. у.), для полной этерификации 4,45 г второй аминокислоты потребовалось 2 мл метилового спирта (плотность 0,8 г/мл). Определите состав и строение аминокислот. Рассчитайте массовые доли аминокислот в исходной смеси.

ВАРИАНТ «КРЫМ»

1. Ион $\mathbf{X}O_4^{2-}$ содержит 58 электронов. Определите элемент **X** и напишите уравнение реакции простого вещества **X** с соляной кислотой.

2. Чему равна теплота образования иодоводорода? При взаимодействии 12 г водорода и 254 г иода поглотилось 53,2 кДж тепла.

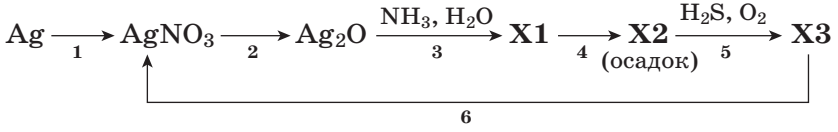
3. Какие осушители (конц. H_2SO_4, CaO, безводный $MgSO_4$) нельзя использовать для обезвоживания и количественного выделения каждого из следующих газов: NO, HI, NH_3 и C_2H_4? Ответ обоснуйте. Напишите уравнения реакций.

4. При добавлении газообразного амина к 2 л метана (20 °С, 1 атм) объем газовой смеси увеличился в 2,5 раза, плотность этой газовой смеси 1,390 г/л. Определите амин. Как изменится плотность газовой смеси при добавлении 3 л хлороводорода?

5. Смесь содержит нитрат, карбонат и гидроксид металла в мольном соотношении 1 : 2 : 3; степень окисления металла в этих соединениях одинаковая. Во сколько раз уменьшится масса смеси после прокаливания при 950 °С? Содержание металла в смеси 19,38% (по массе).

6. Имеются водные растворы одинаковой концентрации двух оснований — метиламина и гидроксида натрия. pH первого раствора 11,9. Найдите концентрацию растворов оснований и pH раствора гидроксида натрия. Определите pH при смешении равных объемов этих растворов оснований. $K_b(CH_3NH_2) = 3{,}7 \cdot 10^{-4}$.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Все неизвестные вещества содержат серебро. Расшифруйте неизвестные вещества и укажите условия протекания реакций.



8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений (вещества **A** и **C** — гомологи). Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

$$C_2H_7NO_2 \xleftarrow{3} \mathbf{B} \xleftarrow{2} \mathbf{A} \xleftarrow{1} C_xH_y \xrightarrow{4} CH_3Br \xrightarrow{5} \mathbf{C} \xrightarrow{6} C_3H_6O$$

9. Смесь натрия и алюминия массой 14,88 г залили 30 мл воды. В исходной смеси количество натрия в 15 раз больше количества алюминия. Рассчитайте массовые доли металлов в исходной смеси и объем газа (н. у.), который выделится при полном протекании реакции. Какой объем 0,7 М соляной кислоты потребуется добавить к раствору, чтобы масса осадка была максимальной? Рассчитайте массу осадка.

10. Для сжигания 11,44 г смеси двух природных аминокислот потребовалось 12,096 л кислорода (н. у.). При обработке 8,4 г одной аминокислоты азотистой кислотой выделилось 1,792 л газа (н. у.), для полной нейтрализации 5,43 г второй аминокислоты потребовалось 16,8 г 20%-го раствора гидроксида калия. Определите состав и строение аминокислот. Рассчитайте массовые доли аминокислот в исходной смеси.

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

ВАРИАНТ 1

1. Изобразите структурную формулу силикат-иона. Напишите электронную конфигурацию и укажите степень окисления центрального атома.

2. Какие вещества выделятся на инертных электродах при электролизе водного раствора гидроксида лития? Напишите уравнение электролиза.

3. Установите формулу газа, плотность которого по водороду 17.

4. Во сколько раз уменьшается масса твердого нитрата меди(II) при полном разложении?

5. Как изменится скорость реакции $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$, если концентрацию NO в системе увеличить в 2 раза, а концентрацию O_2 уменьшить в 3 раза?

6. Установите формулу безводного среднего фосфата железа, если он содержит 42,38% (по массе) кислорода. Сколько молекул кристаллизационной воды в кристаллогидрате этой соли, если последний содержит 51,33% (по массе) кислорода?

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$ZnSO_4 \rightarrow Zn(NO_3)_2 \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow ZnO \rightarrow ZnCl_2$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$CH_4 \rightarrow C_2H_2 \rightarrow C_6H_6 \rightarrow C_7H_8 \rightarrow C_7H_5O_2K \rightarrow C_7H_6O_2$$

В уравнениях укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Металл массой 8,4 г растворили в разбавленной азотной кислоте, при этом кислота восстановилась до оксида азота(II) и было получено 125 мл 1,2 М раствора соли. Определите неизвестный металл и напишите уравнение реакции. Напишите уравнение реакции этого металла с разбавленной серной кислотой.

10. При добавлении подкисленного раствора нитрита калия к 31 г водного раствора предельного амина выделилось 736 мл газа (нормальное давление, 26 °C). При сжигании исходного амина в избытке кислорода объем углекислого газа превышает объем азота в 2 раза. Определите строение амина и его массовую долю в исходном растворе. Напишите уравнения реакций.

ВАРИАНТ 2

1. Изобразите структурную формулу сульфит-иона. Напишите электронную конфигурацию и укажите степень окисления центрального атома.

2. Какие вещества выделятся на инертных электродах при электролизе водного раствора сульфата натрия? Напишите уравнение электролиза.

3. Установите формулу газа, плотность которого по кислороду 2.

4. Во сколько раз уменьшается масса твердого нитрата цинка при полном разложении?

5. Как изменится скорость реакции $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$, если концентрацию SO_2 увеличить в 3 раза, а концентрацию O_2 уменьшить в 2 раза?

6. Установите формулу безводного среднего фосфата железа, если он содержит 35,75% (по массе) кислорода. Сколько молекул кристал-

лизационной воды в кристаллогидрате этой соли? Этот кристаллогидрат содержит 16,74% (по массе) кислорода.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$ZnSO_4 \rightarrow ZnCl_2 \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow Zn(NO_3)_2 \rightarrow ZnO$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$C_3H_7Cl \rightarrow C_3H_8O \rightarrow C_3H_6O \rightarrow C_3H_6O_2 \rightarrow C_3H_5BrO_2 \rightarrow C_3H_7NO_2$$

В уравнениях укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Металл массой 10,8 г растворили в концентрированной азотной кислоте, при этом кислота восстановилась до оксида азота(IV) и было получено 300 мл 1,25 М раствора соли. Определите неизвестный металл и напишите уравнение реакции. Напишите уравнение реакции этого металла с концентрированной серной кислотой.

10. При добавлении подкисленного раствора нитрита калия к 59 г водного раствора предельного амина выделилось 768 мл газа (нормальное давление, 39 °С). При сжигании исходного амина в избытке кислорода объем углекислого газа превышает объем азота в 6 раз. Определите строение амина и его массовую долю в исходном растворе. Напишите уравнения реакций.

ВАРИАНТ 3

1. Изобразите структурную формулу перхлорат-иона. Напишите электронную конфигурацию и укажите степень окисления центрального атома.

2. Какие вещества выделятся на инертных электродах при электролизе водного раствора бромида калия? Напишите уравнение электролиза.

3. Установите формулу газа, плотность которого по водороду 14.

4. Во сколько раз уменьшается масса твердого нитрата магния при полном разложении?

5. Как изменится скорость реакции $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$, если концентрацию N_2 в системе увеличить в 3 раза, а концентрацию H_2 уменьшить в 2 раза?

6. Установите формулу безводного среднего сульфата хрома, если он содержит 48,98% (по массе) кислорода. Сколько молекул кристаллизационной воды в кристаллогидрате этой соли? Кристаллогидрат содержит 53,81% (по массе) кислорода.

7. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, и укажите условия их протекания:

$$ZnCl_2 \rightarrow Zn(NO_3)_2 \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow ZnO \rightarrow ZnSO_4$$

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

$$CH_4 \rightarrow C_2H_2 \rightarrow CH_3CHCl_2 \rightarrow C_2H_4O \rightarrow C_2H_4O_2 \rightarrow C_3H_6O_2$$

В уравнениях укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.

9. Металл массой 19,5 г растворили в концентрированной азотной кислоте; при этом кислота восстановилась до оксида азота(IV) и было получено 250 мл 1,2 М раствора соли. Определите неизвестный металл и напишите уравнение реакции. Напишите уравнение реакции металла с концентрированной серной кислотой.

10. При добавлении подкисленного раствора нитрита калия к 38,75 г водного раствора предельного амина выделилось 1,22 л газа (нормальное давление, 25 °C). При сжигании этого амина в избытке кислорода объем углекислого газа превышает объем азота в 2 раза. Определите строение амина и его массовую долю в исходном растворе. Напишите уравнения реакций.

ЧАСТЬ II. РЕШЕНИЯ И ОТВЕТЫ

2011 ГОД

ОЛИМПИАДА «ПОКОРИ ВОРОБЬЁВЫ ГОРЫ!»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. Селен проявляет минимальную степень окисления (−2) в H_2Se и K_2Se; максимальную (+6) — в SeO_3 и H_2SeO_4.

2. Ni: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^8$; восемь *s*-электронов, восемь *d*-электронов.

3. Молярные массы соли и кристаллогидрата:

$$M_1 = M(CuSO_4) = 160 \text{ г/моль}$$

$$M_2 = M(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 250 \text{ г/моль}$$

Масса $CuSO_4$ в исходном растворе:

$$m_1 = 120 \cdot 0{,}05 = 6{,}0 \text{ г}$$

Массовая доля $CuSO_4$ в исходном растворе:

$$\omega = 6 : 120 = 0{,}05$$

Пусть к исходному раствору нужно добавить x моль $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Тогда массовая доля соли:

$$\omega = \frac{m_1 + x \cdot M_1}{120 + x \cdot M_2} = 0{,}15$$

$$x = 0{,}098 \text{ моль} \approx 0{,}1 \text{ моль}$$

Масса кристаллогидрата:

$$m(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 250x = 24{,}5 \text{ г}$$

Ответ. 24,5 г.

4. Муравьиная кислота — слабый электролит, в воде обратимо диссоциирует на ионы:

$$HCOOH \rightleftarrows HCOO^- + H^+$$

Обозначим $[H^+] = x$.

$$K_{\text{дисс}} = \frac{x^2}{c - x} = \frac{x^2}{0{,}01 - x} = 1{,}77 \cdot 10^{-4}$$

$$x = [H^+] = 1{,}24 \cdot 10^{-3}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 2{,}90$$

Ответ. pH = 2,90.

5. Напишем уравнения реакций термического разложения солей.

$$(NH_4)_2CO_3 \xrightarrow{t} 2NH_3 + CO_2 + H_2O$$

$$NH_4HCO_3 \xrightarrow{t} NH_3 + CO_2 + H_2O$$

$$(NH_4)_2C_2O_4 \xrightarrow{t} 2NH_3 + CO_2 + CO + H_2O$$

$$(NH_4)_2Cr_2O_7 \xrightarrow{t} Cr_2O_3 + N_2 + 4H_2O$$

$$NH_4NO_2 \xrightarrow{t} N_2 + 2H_2O$$

$$NH_4NO_3 \xrightarrow{t} N_2O + 2H_2O$$

Видно, что максимальное количество воды образуется при термическом разложении 1 моль $(NH_4)_2Cr_2O_7$.

Ответ. $(NH_4)_2Cr_2O_7$.

6. При пропускании углекислого газа через раствор гидроксида бария образуется осадок карбоната бария, который при дальнейшем пропускании CO_2 может раствориться с образованием кислой соли:

$$Ba(OH)_2 + CO_2 \rightarrow BaCO_3\downarrow + H_2O$$

$$BaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ba(HCO_3)_2$$

При недостатке CO_2 раствор над осадком содержит $Ba(OH)_2$ и дает малиновое окрашивание с фенолфталеином. Согласно условию задачи, характерного малинового окрашивания нет, следовательно, CO_2 находился в избытке относительно $Ba(OH)_2$. Значит, $Ba(OH)_2$ превратился в $BaCO_3$, который затем в присутствии CO_2 частично растворился.

$$\nu(Ba(OH)_2) = 200 \cdot 0{,}0171 : 171 = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(BaCO_3) = 1{,}97 : 197 = 0{,}01 \text{ моль}$$

Для того чтобы весь $Ba(OH)_2$ превратился в $BaCO_3$, в исходный раствор надо пропустить 0,02 моль CO_2, и затем еще 0,01 моль CO_2, чтобы растворилось 0,01 моль $BaCO_3$; при этом в осадке останется 0,01 моль $BaCO_3$.

$$V(CO_2) = (0{,}02 + 0{,}01) \cdot 22{,}4 = 0{,}672 \text{ л}$$

Ответ. 0,672 л CO_2.

7. Равновесие в первой реакции не зависит от присутствия углерода, поэтому равновесное давление CO_2

$$p(CO_2) = K_p(1) = 3{,}9 \cdot 10^{-2} \text{ атм}$$

Константа равновесия второй реакции:

$$K_p(2) = \frac{p(CO)^2}{p(CO_2)}$$

$$p(CO) = (K_p(2) \cdot p(CO_2))^{1/2} = (1{,}9 \cdot 3{,}9 \cdot 10^{-2})^{1/2} = 0{,}272 \text{ атм}$$

Ответ. $p(CO_2) = 3{,}9 \cdot 10^{-2}$ атм, $p(CO) = 0{,}272$ атм.

8. 1) $K_2MnO_4 + 2KNO_2 + 2HNO_3 \rightarrow Mn(NO_3)_2 + 4KNO_3 + 2H_2O$

2) $Mn(OH)_2 + 2KOH(т) + O_2 \xrightarrow{t} K_2MnO_4 + 2H_2O$

3) $MnCl_2 + 2KOH(р\text{-}р) \rightarrow Mn(OH)_2\downarrow + 2KCl$

4) $MnCl_2 + 2AgNO_3(р\text{-}р) \rightarrow Mn(NO_3)_2 + 2AgCl\downarrow$

5) $2KMnO_4 + 3CH_2{=}CH_2 + 4H_2O \rightarrow 3C_2H_6O_2 + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$

6) $2KMnO_4 + 5H_2O_2 + 3H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5O_2\uparrow + 8H_2O$

7) $Mn + H_2SO_4(разб.) \rightarrow MnSO_4 + H_2\uparrow$

8) $3MnO_2 + 4Al \xrightarrow{t} 2Al_2O_3 + 3Mn$

9) $MnO_2 + KNO_2 \rightarrow Mn(NO_3)_2 + KNO_3 + H_2O$

10) $2MnO_4(т) \xrightarrow{t} K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2\uparrow$

11) $MnSO_4 + 2KOH(р\text{-}р) \rightarrow Mn(OH)_2\downarrow + K_2SO_4$

12) $MnCl_2(расплав) \xrightarrow{электролиз} Mn + Cl_2\uparrow$

9. Чтобы сделать предположение о числе остатков моносахаридов в составе олигосахарида, разделим относительную молекулярную массу олигосахарида на относительную молекулярную массу любой гексозы, равную 180:

$$\frac{488}{180} = 2{,}71$$

Можно предположить, что это трисахарид; его гидролиз должен протекать по следующей схеме:

Трисахарид + $2H_2O \rightarrow$

$\rightarrow$ моносахарид 1 + моносахарид 2 + моносахарид 3

Сумма молекулярных масс трех моносахаридов:

$$488 + 18 \cdot 2 = 524$$

$$524 : 3 = 174{,}67 < 180$$

Получили число немного меньше относительной молекулярной массы глюкозы и других изомерных ей гексоз. Из школьной програм-

мы известны и другие моносахариды: пентозы рибоза (молекулярная масса 150) и дезоксирибоза (молекулярная масса 134); молекулярные массы этих моносахаридов существенно меньше 174,67. Возможно, молекула нашего трисахарида включает два остатка гексоз и один остаток более легкого моносахарида. Проверим это предположение.

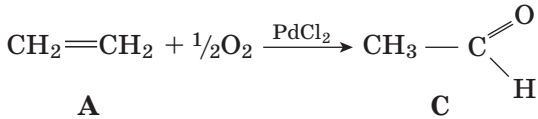
$$524 - 180 \cdot 2 = 164$$

Масса 164 не соответствует известным гексозам, но отличается от 180 на 16, а это атомная масса кислорода. Итак, можно предположить, что в составе трисахарида две гексозы и одна дезоксигексоза. Действительно, в состав этого трисахарида входят два остатка галактозы и один остаток фукозы (6-дезоксигалактозы).

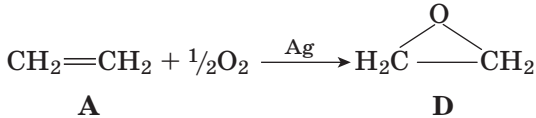
Ответ. В состав трисахарида входят два остатка гексоз и один — дезоксигексозы.

10. $CH_2{=}CH_2 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$

A **B**



A **C**



A **D**

$M(CO_2) = M(CH_3CHO) = M((CH_2)_2O) = 44$ г/моль

Ответ. **A** — этилен C_2H_4; **B** — CO_2; **C** — ацетальдегид CH_3CHO; **D** — окись этилена, или этиленоксид, $(CH_2)_2O$.

11. Растворение оксида магния в бромоводородной кислоте приводит к образованию бромида магния, а при выпаривании раствора выделяется его кристаллогидрат (соль **X**):

$$MgO + 2HBr + (x - 1)H_2O \rightarrow MgBr_2 \cdot xH_2O$$

По условию, содержание брома в кристаллогидрате **X**:

$$\omega(Br) = \frac{160}{24 + 60 + 18x} = 0{,}548$$

$$x = 6$$

X — гексагидрат бромида магния $MgBr_2 \cdot 6H_2O$.

Если в веществе **Y** формульная единица содержит один атом брома, на все остальные элементы, включая магний, придется масса:

$$80 : 71{,}4 \cdot 28{,}6 = 32$$

что невозможно. При двух атомах брома на остальные элементы придется 64, что соответствует формуле Mg_2O. **Y** = Mg_2OBr_2.

$$2MgBr_2 \cdot 6H_2O \xrightarrow{t} Mg_2OBr_2 + 11H_2O + 2HBr$$

12. Это задание предоставило широкие возможности для проявления творческого подхода. Участники заочного тура олимпиады (школьники) предложили несколько интересных вариантов решения. Приводим два варианта, чтобы читатели убедились, что возможны разные правильные решения. Надо заметить, что и проверять подобные задачи трудно!

Вариант I

1) $CH_3—CH_2—CH_2Br + KOH(водн.) \rightarrow CH_3—CH_2—CH_2OH + KBr$

2) $CH_3—CH_2—CH_2—COOH + CH_3—CH_2—CH_2OH \rightleftarrows$
$\rightleftarrows CH_3—CH_2—CH_2—COO—CH_2—CH_2—CH_3 + H_2O;$

3) $CH_3—CH_2—CH_2Br + CH_3—CH(CH_3)—COONa \rightarrow$
$\rightarrow CH_3—CH(CH_3)—COO—CH_2—CH_2—CH_3 + NaBr;$

4) $CH_3—CH_2—CH_2Br + KOH$ (спиртовой раствор) $\rightarrow$
$\rightarrow CH_3—CH{=}CH_2 + KBr + H_2O$

5) $CH_3—CH{=}CH_2 \xrightarrow{Ni} CH_3—C{\equiv}CH + H_2$

6) $CH_3—C{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{Hg^{2+},H^+} CH_3—CO—CH_3$

7) $CH_3—CO—CH_3 + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3—CH(OH)—CH_3$

8) $CH_3—CH_2—CH_2—COOH + CH_3—CH(OH)—CH_3 \rightleftarrows$
$\rightleftarrows CH_3—CH_2—CH_2—COO—CH(CH_3)_2 + H_2O;$

9) $CH_3—CH(OH)—CH_3 + HBr \rightarrow CH_3—CHBr—CH_3 + H_2O$

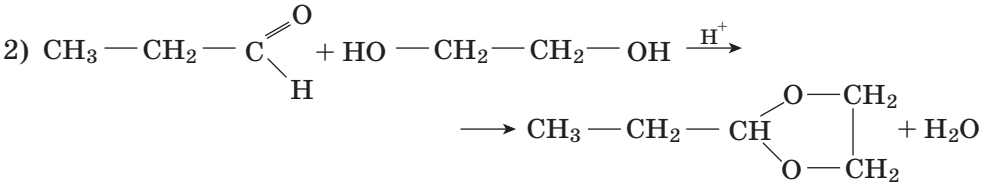
10) $(CH_3)_2CH—COONa + CH_3—CHBr—CH_3 \rightarrow$
$\rightarrow (CH_3)_2CH—COO—CH(CH_3)_2 + NaBr$

Ответ.

A — $CH_3—CH_2—CH_2Br$, 1-бромпропан;
B — $CH_3—CH_2—CH_2OH$, пропанол-1;
C — $CH_3—C{\equiv}CH$, пропин;
D — $CH_3—C(O)—CH_3$, ацетон;
E — $CH_3—CH(OH)—CH_3$, пропанол-2 (изомер **B**);
F — $CH_3—CHBr—CH_3$, 2-бромпропан (изомер **A**);
G — $CH_3—CH_2—CH_2—COO—CH_2—CH_2—CH_3$, пропилбутират;
H — $(CH_3)_2CH—COO—CH_2—CH_2—CH_3$, пропилизобутират (изомер **G**);
I — $CH_3—CH_2—CH_2—COO—CH(CH_3)_2$, изопропилбутират (изомер **G**);
K — $(CH_3)_2CH—COO—CH(CH_3)_2$, изопропилизобутират (изомер **G**).

Вариант II

1) $CH_3—CH_2—CH_2—OH + CuO \xrightarrow{t} CH_3—CH_2—CHO + Cu + H_2O$

2) 

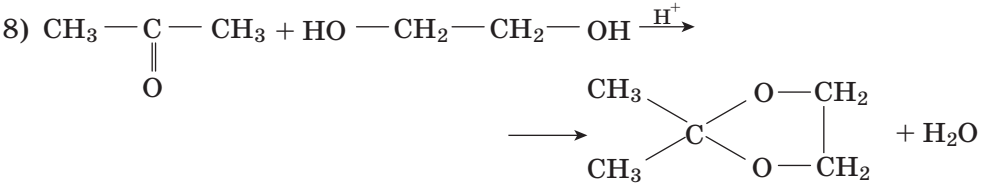
3) $CH_3—CH_2—CH_2—OH + CH_3COOH \overset{H^+}{\rightleftarrows} \rightleftarrows CH_3—COO—CH_2—CH_2—CH_3 + H_2O$

4) $CH_3—CH_2—CH_2—OH \xrightarrow[H_2SO_4]{t} CH_3—CH{=}CH_2 + H_2O$

5) $CH_3—CH{=}CH_2 + Br_2 \rightarrow CH_3—CHBr—CH_2Br$

6) $CH_3—CHBr—CH_2Br + 2KOH \xrightarrow{\text{спирт}} CH_3—C{\equiv}CH + 2KBr + 2H_2O$

7) $CH_3—C{\equiv}CH + 2H_2O \xrightarrow{Hg^{2+},H^+} CH_3—C(O)—CH_3$

8) 

9) $CH_3—C(O)—CH_3 + H_2 \xrightarrow{t,Ni} CH_3—CH(OH)—CH_3$

10) $CH_3—CH(OH)—CH_3 + CH_3—COOH \overset{H^+}{\rightleftarrows} \rightleftarrows CH_3—COO—CH(CH_3)_2 + H_2O$

Ответ.

A — $CH_3—CH_2—CH_2OH$, пропанол-1.

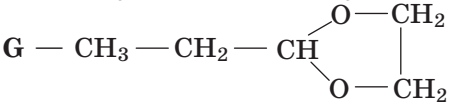
B — $CH_3—CH_2—CHO$, пропаналь.

C — $CH_3—CHBr—CH_2Br$, 1,2-дибромпропан.

D — $CH_3—C{\equiv}CH$, пропин.

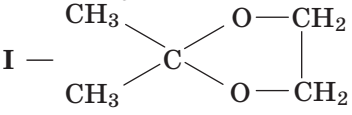
E — $CH_3—C(O)—CH_3$, ацетон (изомер **B**).

F — $CH_3—CH(OH)—CH_3$, пропанол-2 (изомер **A**).

G — 

Это ацеталь 2-этил-1,3-диоксалан, образованный пропаналем и этиленгликолем.

H — $CH_3—COO—CH_2—CH_2—CH_3$, пропилацетат (изомер **G**).

I — 

Изомер **G** — кеталь 2,2-диметил-1,3-диоксалан, образованный ацетоном и этиленгликолем.

K — $CH_3—COO—CH(CH_3)_2$, изопропилацетат (изомер **G**).

ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. Cd: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10}$.
W: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2 4f^{14} 5d^4$.

2. Начальные количества газов:

$$\nu(HCl) = 18{,}25 : 36{,}5 = 0{,}5 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = 4 : 2 = 2 \text{ моль}$$

$$\nu(NH_3) = 17 : 17 = 1 \text{ моль}$$

При смешении 0,5 моль HCl и 0,5 моль NH_3 образуется соль (твердое вещество):

$$HCl + NH_3 \rightarrow NH_4Cl\downarrow$$

В сосуде останутся газы: 0,5 моль NH_3 и 2 моль H_2; суммарно 2,5 моль газов. Давление в сосуде:

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{2{,}5 \cdot 8{,}314 \cdot 273}{4{,}48} = 1267 \text{ кПа} = 12{,}5 \text{ атм}$$

Ответ. 12,5 атм.

3. Слабый электролит иодноватистая кислота в водном растворе диссоциирует.

$$HIO \rightleftarrows H^+ + IO^-$$

Концентрация ионов водорода в растворе кислоты:

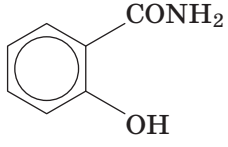
$$[H^+] = c \cdot \alpha = 0{,}01 \cdot 0{,}01 : 100 = 10^{-6} \text{ моль/л}$$

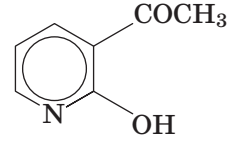
$$pH = -\lg[H^+] = 6$$

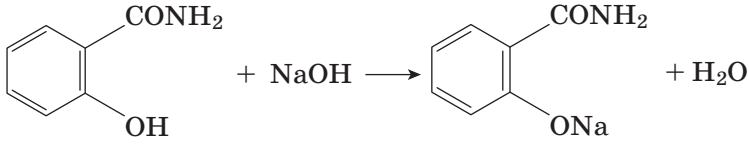
Ответ. pH = 6.

4. 1) $2AgNO_3 + 2KOH \rightarrow Ag_2O\downarrow + 2KNO_3 + H_2O$
2) $Ag_2O + 4NH_3 + H_2O \rightarrow 2[Ag(NH_3)_2]OH$
3) $2[Ag(NH_3)_2]OH + CH_3{-}CHO \rightarrow$
$\rightarrow 2Ag\downarrow + CH_3{-}COONH_4 + 3NH_3 + H_2O$
4) $Ag + 2HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow AgNO_3 + NO_2\uparrow + H_2O$
5) $AgNO_3 + 3NH_3 + H_2O \rightarrow [Ag(NH_3)_2]OH + NH_4NO_3$
6) $2Ag_2O \xrightarrow{t} 4Ag + O_2\uparrow$

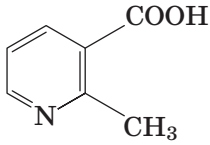
Ответ. **X** — Ag_2O; **Y** — Ag.

5. а) 

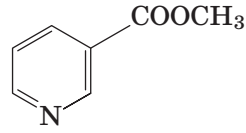
или 

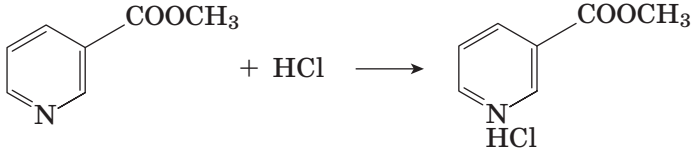


б)



или





6. Исходное количество $KMnO_4$:

$$\nu(KMnO_4) = \frac{22{,}12}{158} = 0{,}14 \text{ моль}$$

При нагревании перманганат калия разлагается:

$$2KMnO_4 \xrightarrow{t} K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2\uparrow$$

$$\nu(O_2) = \frac{22{,}12 - 21{,}16}{32} = 0{,}03 \text{ моль}$$

Образуется твердая смесь, содержащая $0{,}14 - 0{,}06 = 0{,}08$ моль $KMnO_4$, $0{,}03$ моль K_2MnO_4 и $0{,}03$ моль MnO_2. При действии на эту смесь соляной кислоты протекают следующие реакции:

$$\underset{0{,}08}{2KMnO_4} + \underset{0{,}64}{16HCl} \rightarrow \underset{0{,}20}{5Cl_2\uparrow} + 2KCl + 2MnCl_2 + 8H_2O$$

$$\underset{0{,}03}{K_2MnO_4} + \underset{0{,}24}{8HCl} \rightarrow \underset{0{,}06}{2Cl_2\uparrow} + 2KCl + MnCl_2 + 4H_2O$$

$$\underset{0{,}03}{MnO_2} + \underset{0{,}12}{4HCl} \rightarrow \underset{0{,}03}{Cl_2\uparrow} + MnCl_2 + 2H_2O$$

Общее количество выделившегося хлора:

$$\nu(Cl_2) = 0{,}20 + 0{,}06 + 0{,}03 = 0{,}29 \text{ моль}$$

Объем хлора:

$$V(Cl_2) = 0{,}29 \cdot 22{,}4 = 6{,}496 \text{ л}$$

Количество израсходованной кислоты:

$$\nu(HCl) = 0{,}64 + 0{,}24 + 0{,}12 = 1{,}0 \text{ моль}$$

Объем раствора кислоты:

$$V(\text{р-ра HCl}) = \frac{1{,}0 \cdot 36{,}5}{0{,}365 \cdot 1{,}18} = 84{,}7 \text{ мл}$$

Ответ. $V(Cl_2) = 6{,}496$ л, $V(\text{р-ра HCl}) = 84{,}7$ мл.

7. Гидролиз смеси неизвестных эфиров можно описать следующими обобщенными уравнениями реакций:

$$R_1COOR_2 + NaOH \rightarrow R_1COONa + R_2OH$$
$$R_3COOR_4 + NaOH \rightarrow R_3COONa + R_4OH$$

Количество затраченного гидроксида натрия:

$$\nu(NaOH) = 20 \cdot 0{,}1 : 40 = 0{,}05 \text{ моль}$$

Суммарное количество эфиров то же, а именно 0,05 моль.

Поскольку при добавлении аммиачного раствора оксида серебра выделяется осадок серебра, то один из эфиров — формиат, т. е. $R_1 = H$:

$$HCOOR_2 + 2[Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{t} 2Ag\downarrow + R_2OH + 4NH_3\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

Количество выделившегося серебра:

$$\nu(Ag) = 4{,}32 : 108 = 0{,}04 \text{ моль}$$

Количество первого эфира (формиата):

$$\nu_1 = \nu(Ag) : 2 = 0{,}02 \text{ моль}$$

Количество второго эфира:

$$\nu_2 = 0{,}05 - 0{,}02 = 0{,}03 \text{ моль}$$

Количества эфиров ν_1 и ν_2 и их молярные массы M_1 и M_2 связаны с общей массой m.

$$\nu_1 \cdot M_1 + \nu_2 \cdot M_2 = m$$
$$0{,}02 \cdot M_1 + 0{,}03 \cdot M_2 = 3{,}42$$

Если предположить, что $R_2 = CH_3$, то $M_1 = 60$ г/моль. Тогда $M_2 = 74$ г/моль. Единственный вариант: $R_3 = R_4 = CH_3$. Других вариантов нет, потому что, если радикал R_2 больше, чем CH_3, то радикалы R_3 или R_4 должны быть меньше CH_3, что невозможно (меньше CH_3 только H).

Итак, первый эфир — метилформиат $HCOOCH_3$, второй эфир — метилацетат CH_3COOCH_3.

Мольные доли эфиров в исходной смеси:

$$x(HCOOCH_3) = 0{,}02 : 0{,}05 = 0{,}4, \text{ или } 40\%$$
$$x(CH_3COOCH_3) = 0{,}03 : 0{,}05 = 0{,}6, \text{ или } 60\%$$

Ответ. 40% $HCOOCH_3$, 60% CH_3COOCH_3.

ВАРИАНТ 2

1. Ar: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.
Se: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^4$.
Sn: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^2$.
Ba: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^2$.

2. Начальные количества газов

$$\nu(HCl) = 36{,}5 : 36{,}5 = 1{,}0 \text{ моль}$$

$$\nu(Cl_2) = 7{,}1 : 71 = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$\nu(NH_3) = 3{,}4 : 17 = 0{,}2 \text{ моль}$$

При смешении 0,2 моль HCl и 0,2 моль NH_3 образуется соль (твердое вещество):

$$HCl + NH_3 \rightarrow NH_4Cl\downarrow$$

В сосуде останется 0,8 моль HCl и 0,1 моль Cl_2; всего 0,9 моль. Давление газов в сосуде:

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0{,}9 \cdot 8{,}314 \cdot 273}{5{,}6} = 365 \text{ кПа} = 3{,}6 \text{ атм}$$

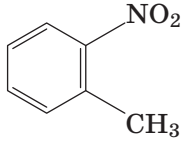
Ответ. 3,6 атм.

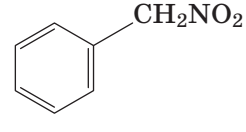
3. $[H^+] = c \cdot \alpha = 0{,}2 \cdot 0{,}005 : 100 = 10^{-5}$ моль/л
$pH = -\lg[H^+] = 5$

Ответ. pH = 5.

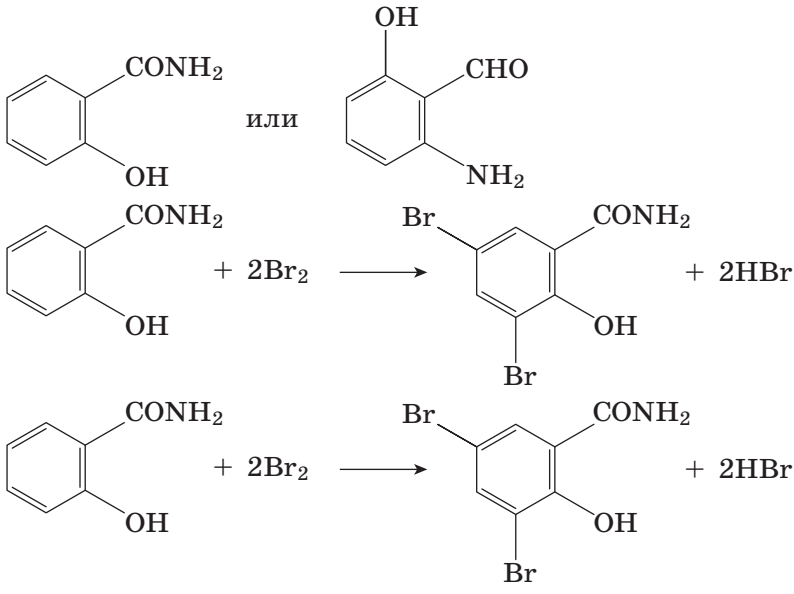
4. 1) $4NO_2 + 2H_2O + O_2 \xrightarrow{t} 4HNO_3$
2) $12HNO_3 + 5Mg \rightarrow 5Mg(NO_3)_2 + N_2\uparrow + 6H_2O$
3) $N_2 + O_2 \xrightarrow{t} 2NO$
4) $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$
5) $2NO_2 + 2C \xrightarrow{t} 2CO_2 + N_2$
6) $8HNO_3 + 3Zn \rightarrow 3Zn(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$

Ответ. **X** — HNO_3; **Y** — NO.

5. а) 

или 

Эти соединения не реагируют ни с бромной водой, ни с разбавленным раствором NaOH.

б) 

6. Пусть исходное количество нитрата марганца x моль. При прокаливании нитрата марганца выделяется NO_2:

$$\underset{x}{Mn(NO_3)_2} \xrightarrow{t} \underset{x}{MnO_2} + \underset{2x}{2NO_2}\uparrow$$

При обработке твердого остатка концентрированной соляной кислотой выделяется Cl_2:

$$\underset{x}{MnO_2} + 4HCl \rightarrow \underset{x}{Cl_2}\uparrow + MnCl_2 + 2H_2O$$

Общее количество выделившихся газов:

$$\nu(\text{газов}) = 3{,}36 : 22{,}4 = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$3x = 0{,}15$$

$$x = 0{,}05 \text{ моль}$$

Общая масса газов:

$$m(\text{газов}) = 2x \cdot 46 + x \cdot 71 = 8{,}15 \text{ г}$$

что совпадает с условием задачи:

$$m = V \cdot \rho = 3{,}36 \cdot 2{,}426 = 8{,}15 \text{ г}$$

Масса исходной навески:

$$m(Mn(NO_3)_2) = x \cdot 179 = 0{,}05 \cdot 179 = 8{,}95 \text{ г}$$

Ответ. 8,95 г.

7. Пусть формула соединения $C_xH_yO_z$. Из условия:

$$x : y : z = (57{,}83 : 12) : (3{,}62 : 1) : (38{,}55 : 16) = 4 : 3 : 2$$

Простейшая формула $C_4H_3O_2$. Истинная формула $C_8H_6O_4$. Докажем это.

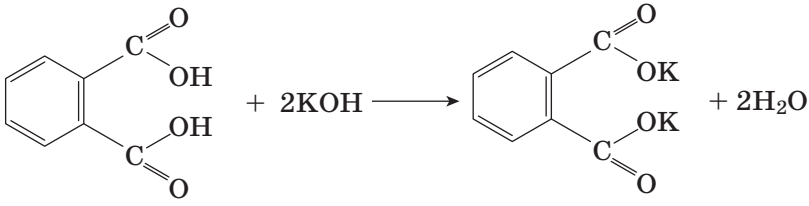
Из условия задачи рассчитаем количества веществ.

$$\nu(C_8H_6O_4) = 3{,}32 : 166 = 0{,}02 \text{ моль}$$

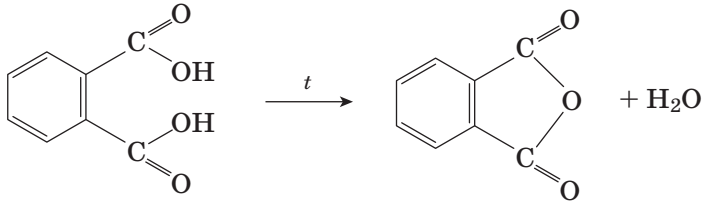
$$\nu(KOH) = 0{,}02 \cdot 2 = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2O) = (3{,}32 - 2{,}96) : 18 = 0{,}02 \text{ моль}$$

Из формулы соединения и количеств KOH и H_2O следует, что это фталевая кислота.



При нагревании фталевой кислоты образуется фталевый ангидрид:



m(ангидрида) = $\nu \cdot M$ = 0,02 · 148 = 2,96 г. Это соответствует условию задачи.

Ответ. Фталевая кислота $C_8H_6O_4$.

ВАРИАНТ 3

1. Ti: $1s^22s^22p^63s^23p^64s^23d^2$.

2. Начальные количества газов:

$$\nu(HBr) = 8{,}1 : 81 = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$\nu(C_2H_6) = 6 : 30 = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$\nu(CH_3NH_2) = 9{,}3 : 31 = 0{,}3 \text{ моль}$$

При смешении 0,1 моль HBr и 0,1 моль CH_3NH_2 образуется соль (твердое вещество):

$$HBr + CH_3NH_2 \rightarrow CH_3NH_3Br\downarrow$$

В сосуде останется 0,2 моль CH_3NH_2 и 0,2 моль C_2H_6; суммарно 0,4 моль газов.

Давление газов в сосуде:

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0{,}4 \cdot 8{,}314 \cdot 273}{6{,}72} = 135{,}0 \text{ кПа} = 1{,}33 \text{ атм}$$

Ответ. 1,33 атм.

3. Концентрация ионов водорода в растворе кислоты:

$$[H^+] = c \cdot \alpha = 0{,}0034 \cdot 0{,}294 : 100 = 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 5$$

Ответ. pH = 5.

4. 1) $2H_3PO_4 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2 + 6H_2O$

2) $Ca_3(PO_4)_2 + 5C + 3SiO_2 \xrightarrow{t} 2P + 3CaSiO_3 + 5CO\uparrow$

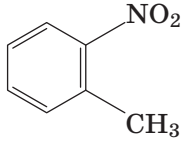
3) $4P + 5O_2(\text{изб.}) \rightarrow 2P_2O_5$

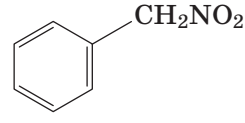
4) $P_2O_5 + 3H_2O(\text{изб.}) \rightarrow 2H_3PO_4$

5) $P + 5HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} H_3PO_4 + 5NO_2\uparrow + H_2O$

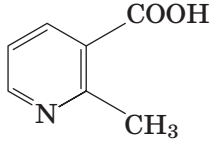
6) $P_2O_5 + 3Ca(OH)_2 \xrightarrow{t} Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2O$

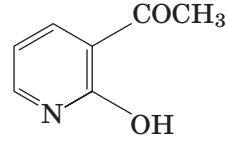
Ответ. **X** — $Ca_3(PO_4)_2$; **Y** — P_2O_5.

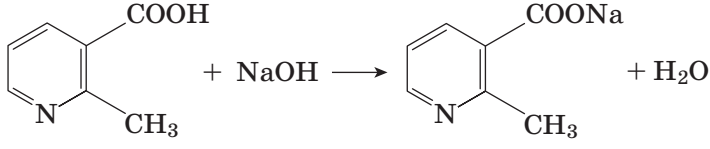
5. а) 

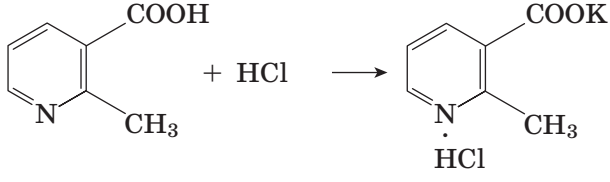
или 

Эти соединения не реагируют ни с разбавленным раствором HCl, ни с разбавленным раствором NaOH.

б) 

или 





6. Пусть исходное количество дихромата калия x моль. При прокаливании дихромата калия выделяется O_2:

$$\underset{x}{4K_2Cr_2O_7} \xrightarrow{t} \underset{x}{4K_2CrO_4} + 2Cr_2O_3 + \underset{0{,}75x}{3O_2\uparrow}$$

При обработке твердого остатка концентрированной соляной кислотой выделяется хлор:

$$\underset{x}{2K_2CrO_4(т)} + 16HCl \rightarrow \underset{1{,}5x}{3Cl_2\uparrow} + 4KCl + 2CrCl_3 + 8H_2O$$

Из условия, общее количество выделившихся газов:

$$\nu(\text{газов}) = 10{,}08/22{,}4 = 0{,}45 \text{ моль}$$

$$2{,}25x = 0{,}45$$

$$x = 0{,}2 \text{ моль}$$

Общая масса газов:

$$m(\text{газов}) = 0{,}75x \cdot 32 + 1{,}5x \cdot 71 = 26{,}1 \text{ г}$$

Это совпадает с массой газов по условию:

$$m = V \cdot \rho = 10{,}08 \cdot 2{,}589 = 26{,}1 \text{ г}$$

Масса исходной навески:

$$m(K_2Cr_2O_7) = x \cdot 294 = 0{,}2 \cdot 294 = 58{,}8 \text{ г}$$

Ответ. 58,8 г.

7. Пусть формула соединения $C_xH_yO_z$; из условия:

$$x : y : z = (41{,}38 : 12) : (3{,}45 : 1) : (55{,}17 : 16) = 1 : 1 : 1$$

Простейшая формула CHO; истинная формула $C_4H_4O_4$. Докажем это.

Рассчитаем количества веществ.

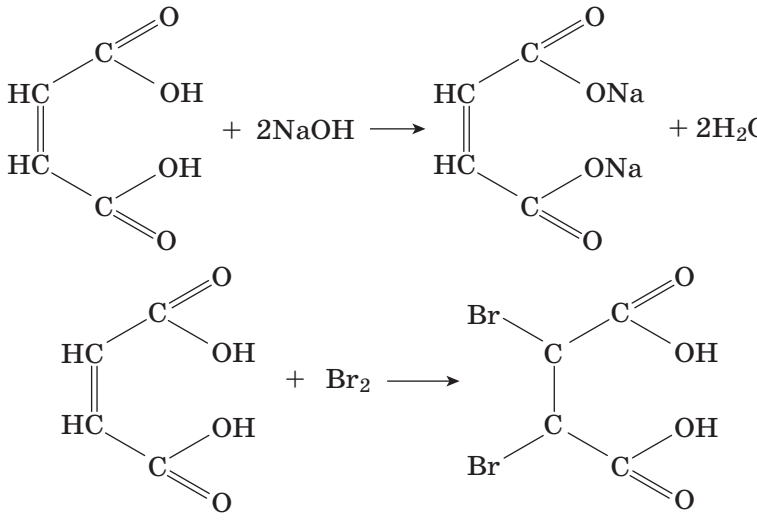
$$\nu(C_4H_4O_4) = 2{,}32 : 116 = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(NaOH) = 0{,}02 \cdot 2 = 0{,}04 \text{ моль}$$

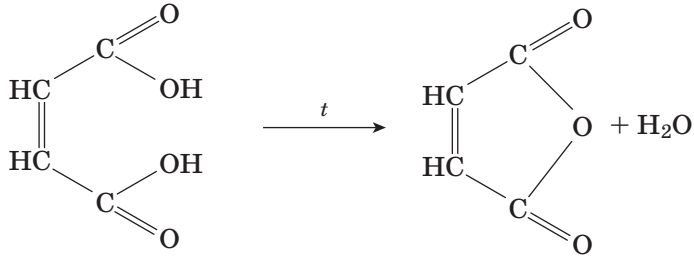
$$\nu(Br_2) = 160 \cdot 0{,}02 : 160 = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2O) = (2{,}32 - 1{,}96) : 18 = 0{,}02 \text{ моль}$$

Из формулы соединения и количеств NaOH, Br_2 и H_2O следует, что это малеиновая кислота.



При нагревании малеиновой кислоты образуется ангидрид:



m(ангидрида) = $\nu \cdot M$ = 0,02 · 98 = 1,96 г, что соответствует условию задачи.

Ответ. Малеиновая кислота $C_4H_4O_4$.

ВАРИАНТ 4

1. Fe: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$.

2. Начальные количества газов:

$$\nu(HBr) = 16{,}2 : 81 = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = 2 : 2 = 1{,}0 \text{ моль}$$

$$\nu(CH_3NH_2) = 12{,}4 : 31 = 0{,}4 \text{ моль}$$

При смешении 0,2 моль HBr и 0,2 моль CH_3NH_2 образуется соль (твердое вещество):

$$HBr + CH_3NH_2 \rightarrow CH_3NH_3Br\downarrow$$

В сосуде останется 0,2 моль CH_3NH_2 и 1,0 моль H_2; всего газов 1,2 моль.

Давление в сосуде:

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{1{,}2 \cdot 8{,}314 \cdot 273}{8{,}96} = 304{,}0 \text{ кПа} = 3{,}0 \text{ атм}$$

Ответ. 3,0 атм.

3. Концентрация ионов водорода в растворе кислоты:

$$[H^+] = c \cdot \alpha = 0{,}05 \cdot 0{,}02 : 100 = 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 5$$

Ответ. pH = 5.

4. 1) $P(\text{бел.}) \xrightarrow{t} P(\text{красн.})$

2) $4P(\text{красн.}) + 3O_2(\text{недост.}) \rightarrow 2P_2O_3$

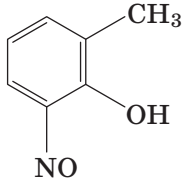
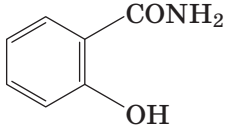
3) $P_2O_3 + O_2 \rightarrow P_2O_5$

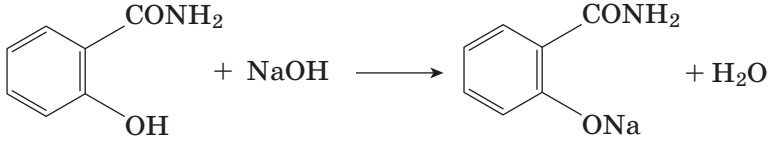
4) $P_2O_5 + 5C \xrightarrow{t} 2P + 5CO\uparrow$

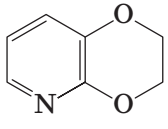
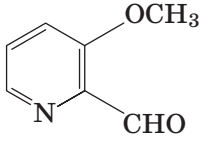
5) $4P(\text{бел.}) + 3O_2(\text{недост.}) \rightarrow 2P_2O_3$

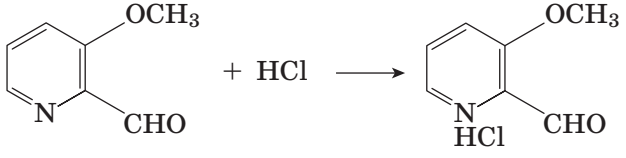
6) $4P(\text{красн.}) + 5O_2\ (\text{изб.}) \rightarrow 2P_2O_5$

Ответ. **X** — P(красн.); **Y** — P_2O_5.

5. а)  или 



б)  или 



6. Пусть исходное количество нитрата серебра x моль. При прокаливании нитрата серебра выделяется смесь NO_2 и O_2:

$$\underset{x}{2AgNO_3} \xrightarrow{t} \underset{x}{2Ag} + \underset{x}{2NO_2\uparrow} + \underset{0{,}5x}{O_2\uparrow}$$

При обработке твердого остатка концентрированной азотной кислотой выделяется NO_2:

$$\underset{x}{Ag} + 2HNO_3 \rightarrow AgNO_3 + \underset{x}{NO_2\uparrow} + H_2O$$

Из условия задачи общее количество выделившихся газов:

$$\nu(\text{газов}) = 5{,}6/22{,}4 = 0{,}25 \text{ моль}$$

В результате реакций выделилось $2{,}5x$ моль газов.

$$2{,}5x = 0{,}25,\ x = 0{,}1 \text{ моль}$$

Общая масса газов:

$$m(\text{газов}) = 2x \cdot 46 + 0{,}5x \cdot 32 = 10{,}8 \text{ г}$$

что совпадает с условием:

$$m = V \cdot \rho = 10{,}08 \cdot 2{,}589 = 10{,}8 \text{ г}$$

Масса исходной навески:

$$m(AgNO_3) = x \cdot 170 = 0{,}1 \cdot 170 = 17{,}0 \text{ г}$$

Ответ. 17,0 г.

7. Пусть соединение имеет формулу $C_xH_yO_z$.

$$x : y : z = (40{,}68 : 12) : (5{,}08 : 1) : (54{,}24 : 16) = 2 : 3 : 2$$

Простейшая формула $C_2H_3O_2$. Истинная формула $C_4H_6O_4$. Докажем это.

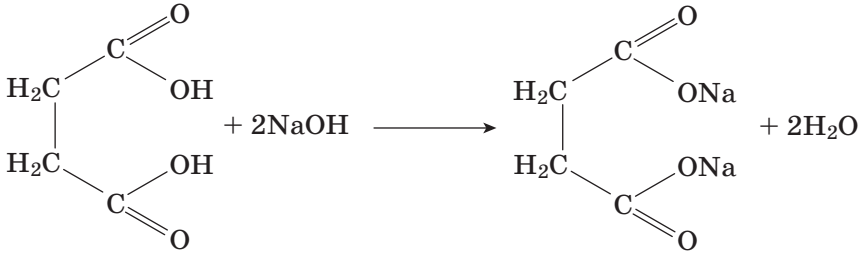
Рассчитаем количества веществ.

$$\nu(C_4H_6O_4) = 3{,}54 : 118 = 0{,}03 \text{ моль}$$

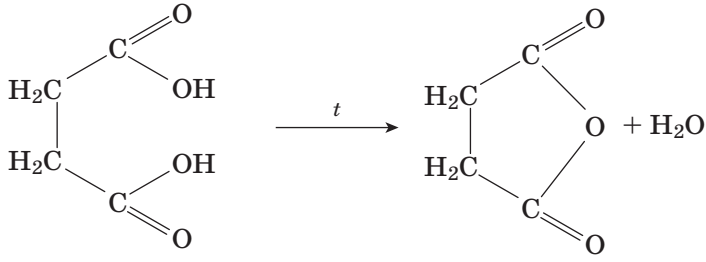
$$\nu(NaOH) = 0{,}03 \cdot 2 = 0{,}06 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2O) = (3{,}54 - 3{,}00) : 18 = 0{,}03 \text{ моль}$$

Из формулы соединения и количеств NaOH и H_2O следует, что это янтарная кислота.



При нагревании янтарной кислоты образуется ангидрид:



m(ангидрида) = ν · M = 0,03 · 100 = 3,0 г, что соответствует условию задачи.

Ответ. Янтарная кислота $C_4H_6O_4$.

ВАРИАНТ 5

1. Ni: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^8$.
Sr: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2$.

2. Начальные количества газов:

$$\nu(HI) = 25{,}6 : 128 = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = 6 : 2 = 3 \text{ моль}$$

$$\nu(CH_3NH_2) = 15{,}5 : 31 = 0{,}5 \text{ моль}$$

При смешении 0,2 моль HI и 0,2 моль CH_3NH_2 образуется твердая соль:

$$HI + CH_3NH_2 \rightarrow CH_3NH_3I\downarrow$$

В сосуде останется 0,3 моль CH_3NH_2 и 3 моль H_2; всего 3,3 моль. Давление газов в сосуде:

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{3{,}3 \cdot 8{,}31 \cdot 273}{13{,}44} = 557 \text{ кПа} = 5{,}5 \text{ атм}$$

Ответ. 5,5 атм.

3. Исходные концентрации веществ (по условию):

$$[CO] = \frac{70}{28 \cdot 50} = 0{,}05 \text{ моль/л}$$

$$[H_2] = \frac{5}{2 \cdot 50} = 0{,}05 \text{ моль/л}$$

Обозначим равновесную концентрацию воды $[H_2O]$ a моль/л.

	$CO(г) + H_2O(г) \rightleftarrows CO_2(г) + H_2(г)$			
Исходные концентрации	0,05	a	0	0,05
Равновесные концентрации	$0{,}05 - x$	$a - x$	x	$0{,}05 + x$

По условию, $x = 0{,}6 \cdot 0{,}05 = 0{,}03$ моль/л.

$$K = \frac{[CO_2] \cdot [H_2]}{[CO] \cdot [H_2O]} = \frac{0{,}03 \cdot (0{,}05 + 0{,}03)}{(0{,}05 - 0{,}03) \cdot (a - 0{,}03)} = 2$$

$a = 0{,}09$ моль/л. Масса воды:

$$m(H_2O) = 0{,}09 \cdot 18 \cdot 50 = 81 \text{ г}$$

Ответ. 81 г H_2O.

4. 1) $(NH_4)_2C_2O_4 \xrightarrow{t} 2NH_3 + CO + CO_2 + H_2O$

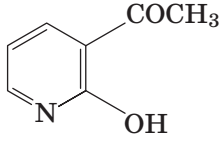
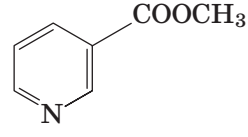
2) $(NH_4)_2C_2O_4 + 2HNO_3 \rightarrow 2NH_4NO_3 + H_2C_2O_4$

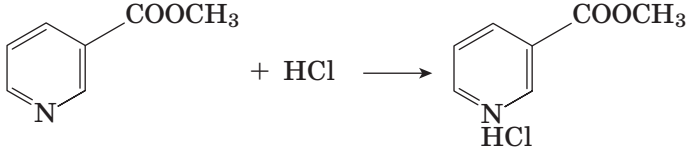
3) $NH_4NO_3 + NaOH \rightarrow NH_3 + NaNO_3 + H_2O$

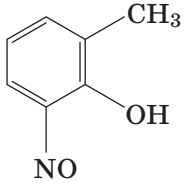
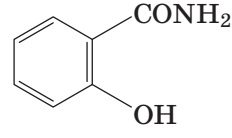
4) $NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$

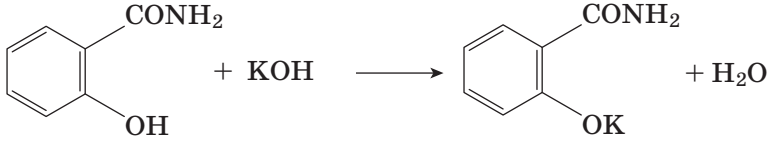
5) $NH_4Cl + NaNO_2 \xrightarrow{t} N_2 + NaCl + 2H_2O$

Ответ. **X** — NH_3.

5. а)  или 



б)  или 



6. При прокаливании исходной навески протекают реакции:

$$\underset{x}{4K_2Cr_2O_7} \xrightarrow{t} 4K_2CrO_4 + 2Cr_2O_3 + \underset{0{,}75x}{3O_2}$$

$$\underset{y}{(NH_4)_2Cr_2O_7} \xrightarrow{t} Cr_2O_3 + 4H_2O + \underset{y}{N_2}$$

Выделившаяся смесь газов состоит из кислорода и азота. Поскольку плотность газа равна плотности воздуха, то M(смеси) = 29 г/моль.

$$M(\text{смеси}) = \frac{0{,}75x \cdot 32 + y \cdot 28}{0{,}75x + y} = 29$$

$$y = 2{,}25x$$

При обработке исходной навески соляной кислотой выделяется хлор:

$$\underset{x}{K_2Cr_2O_7} + 14HCl \rightarrow \underset{3x}{3Cl_2} + 2KCl + 2CrCl_3 + 7H_2O$$

$$\underset{y}{(NH_4)_2Cr_2O_7} + 14HCl \rightarrow \underset{3y}{3Cl_2} + 2NH_4Cl + 2CrCl_3 + 7H_2O$$

Общее количество выделившегося хлора:

$$\nu(Cl_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}4889}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}020 \text{ моль}$$

Составим систему уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} y = 2{,}25x \\ 3x + 3y = 0{,}02 \end{cases}$$

$$x = 0{,}00205 \text{ моль}$$

$$y = 0{,}00461 \text{ моль}$$

Исходные массы веществ:

$$m(K_2Cr_2O_7) = 294x = 0{,}603 \text{ г}$$

$$m((NH_4)_2Cr_2O_7) = 252y = 1{,}162 \text{ г}$$

$$m(\text{навески}) = m(K_2Cr_2O_7) + m((NH_4)_2Cr_2O_7) = 1{,}765 \text{ г}$$

Массовые доли исходных веществ:

$$\omega(K_2Cr_2O_7) = 0{,}603/1{,}765 = 0{,}3416, \text{ или } 34{,}16\%$$

$$\omega((NH_4)_2Cr_2O_7) = 1{,}162/1{,}765 = 0{,}6584, \text{ или } 65{,}84\%$$

Ответ. 1,766 г; 34,16%; 65,84%.

7. Гидролиз неизвестных эфиров можно описать обобщенными уравнениями реакций:

$$R_1COOR_2 + KOH \rightarrow R_1COOK + R_2OH$$

$$R_3COOR_4 + KOH \rightarrow R_3COOK + R_4OH$$

Из условия количество гидроксида калия:

$$\nu(KOH) = 80 \cdot 0{,}07 : 56 = 0{,}1 \text{ моль}$$

Суммарное количество двух эфиров 0,1 моль.

Поскольку при добавлении аммиачного раствора оксида серебра выделяется осадок (серебро), один из эфиров — формиат и $R_1 = H$:

$$HCOOR_2 + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow 2Ag\downarrow + R_2OH + 4NH_3\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

Количество выделившегося серебра:

$$\nu(Ag) = 3{,}24 : 108 = 0{,}03 \text{ моль}$$

Количество первого эфира (формиата):

$$\nu_1 = \nu(Ag) : 2 = 0{,}015 \text{ моль}$$

Количество второго эфира:

$$\nu_2 = 0{,}1 - 0{,}015 = 0{,}085 \text{ моль}$$

$$\nu_1 \cdot M_1 + \nu_2 \cdot M_2 = m$$

$$0{,}015 \cdot M_1 + 0{,}085 \cdot M_2 = 7{,}19 \text{ г}$$

Предположим, что $R_2 = CH_3$, тогда $M_1 = 60$ г/моль, $M_2 = 74$ г/моль. Единственный вариант: $R_3 = R_4 = CH_3$, потому что, если радикал R_2 больше, чем CH_3, то радикал R_3 или R_4 должен быть меньше CH_3 (это только H), что невозможно: при R = H, получим уксусную кислоту, а не эфир.

Итак, первый эфир — $HCOOCH_3$, второй эфир — CH_3COOCH_3.

Рассчитаем мольные доли эфиров:

$$x(HCOOCH_3) = 0{,}015 : 0{,}1 = 0{,}15, \text{ или } 15\%$$

$$x(CH_3COOCH_3) = 0{,}085 : 0{,}1 = 0{,}85, \text{ или } 85\%$$

Ответ. 15% $HCOOCH_3$, 85% CH_3COOCH_3.

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. а) F_2O — дифторид кислорода, состоит из молекул F—O—F;

б) F_2O_2 — дифторид дикислорода, имеет молекулярное строение и состоит из молекул F—O—O—F;

в) H_2O_2 — пероксид водорода, состоит из молекул H—O—O—H; или Na_2O_2 — пероксид натрия, состоит из ионов Na^+ и O_2^{2-};

г) KO_2 — надпероксид калия, состоит из ионов K^+ и O_2^-;

д) KO_3 — озонид калия, состоит из ионов K^+ и O_3^-.

2. Общая формула бинарных кислородсодержащих соединений R_xO_y. Если ограничить рассмотрение оксидами элементов с постоянной валентностью, то формула упрощается: R_2O_n, где n — степень окисления элемента (n = 1÷8). Теперь число неизвестных уменьшается до двух: атомная масса элемента M и степень окисления n. Исходя из формулы R_2O_n запишем выражение для массовой доли кислорода:

$$\omega(O) = \frac{16n}{2M + 16n} = \frac{1}{\frac{M}{8n} + 1}$$

Надо найти M и n, при которых содержание кислорода ω(O) самое высокое, для чего знаменатель должен быть минимальным. Поэтому ищем элемент, у которого отношение атомной массы к степени окисления (иногда это отношение называют *эквивалентом*) наименьшее. Очевидно, что это водород: M = 1, n = 1. Искомый оксид — вода H_2O.

Для элементов 2- и 3-го периодов (по понятным причинам исключаем из рассмотрения O, F, Ne, Ar) находим отношение $M : n$; минимальное значение у азота: 14 : 5 = 2,8. Таким образом, после воды на втором месте по массовой доле кислорода высший оксид азота N_2O_5.

Однако, если рассматривать оксид как произвольное бинарное соединение элемента и кислорода, то «лидером» окажется пероксид водорода H_2O_2, а на втором месте — H_2O.

Ответ. H_2O, N_2O_5 или H_2O_2, H_2O.

3. Для каждого устойчивого изотопа кислорода существуют следующие типы молекул воды: обычная HOH, тяжелая DOD и полутяжелая HOD. Устойчивых изотопов кислорода три. Следовательно, всего возможно девять устойчивых молекул воды; все они (в разных количествах) входят в состав природной воды.

Ответ. 9.

4. Степень окисления металла M в соли обозначим x (x = 1÷4). Запишем уравнение реакции растворения металла в соляной кислоте:

$$M + xHCl \rightarrow MCl_x + {}^{x}/_{2}H_2\uparrow$$

Из условия, количество выделившегося водорода:

$$\nu(H_2) = 4{,}48 : 22{,}4 = 0{,}2 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции, хлорид образуется в количестве:

$$\nu(MCl_x) = {}^{2}/_{x} \cdot \nu(H_2) = 0{,}4 : x \text{ моль}$$

Молярная масса хлорида:

$$M(MCl_x) = 17{,}8 : (0{,}4 : x) = 44{,}5x \text{ г/моль}$$

Атомная масса металла:

$$A(\text{M}) = 44{,}5x - 35{,}5x = 9x \text{ г/моль}$$

Методом подбора находим: $x = 3$, $A = 27$ г/моль. Это алюминий Al.

Ответ: Al.

5.

1) Пропионовый альдегид $CH_3CH_2C(=O)H$

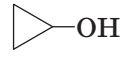
2) Ацетон (кетон) $CH_3-C(=O)-CH_3$

3) Аллиловый (непредельный) спирт $CH_2=CH-CH_2-OH$

4) Винилметиловый эфир (непредельный простой эфир):

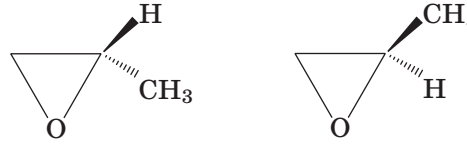
$$CH_2=CH-O-CH_3$$

5) Циклопропанол (циклический спирт):



6) Оксетан (циклический эфир):

7) 2-Метилоксиран (циклический эфир), который существует в виде двух оптических изомеров:



6. Самая большая концентрация гидроксильных групп в растворе гидроксида тетраамминмеди(II), который в водном растворе полностью диссоциирован на ионы.

$$[Cu(NH_3)_4](OH)_2 \rightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+} + 2OH^-$$

Ответ. $[Cu(NH_3)_4](OH)_2$.

7. 1) $2KMnO_4 + 16HCl \rightarrow 5Cl_2\uparrow + 2KCl + 2MnCl_2 + 8H_2O$

2) $2KMnO_4 + 5K_2SO_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow 6K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 3H_2O$

3) $2KMnO_4 + K_2SO_3 + 2KOH \rightarrow K_2SO_4 + 2K_2MnO_4 + H_2O$

4) $2KMnO_4 + 3K_2SO_3 + H_2O \rightarrow 3K_2SO_4 + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$

5) $2KMnO_4 + 3CH_2=CH-CH_3 + 4H_2O \rightarrow$
$\rightarrow 3CH_2(OH)CH(OH)CH_3 + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$

6) $2KMnO_4 + CH_2{=}CH{-}CH_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow CO_2\uparrow + CH_3COOH + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 4H_2O$

7) $6KMnO_4 + 5C_6H_5CH_3 + 9H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5C_6H_5COOH + 3K_2SO_4 + 6MnSO_4 + 14H_2O$

8) $2KMnO_4 + C_6H_5CH_3 \rightarrow C_6H_5COOK + 2MnO_2 + KOH + H_2O$

Реакция (3) с образованием соединения пятивалентного марганца Mn(V) (Mn^{+5}) протекает при прокаливании.

8. Напишем уравнения реакций растворения оксидов железа в серной кислоте:

$$\underset{x}{2Fe_3O_4} + 10H_2SO_4 \rightarrow \underset{1{,}5x}{3Fe_2(SO_4)_3} + \underset{0{,}5x}{SO_2\uparrow} + 10H_2O$$

$$\underset{y}{Fe_2O_3} + 3H_2SO_4 \rightarrow \underset{y}{Fe_2(SO_4)_3} + 3H_2O$$

Из условия, общая масса оксидов:

$$m(\text{оксидов}) = 232x + 160y = 62{,}4 \text{ г}$$

Рассчитаем массу выделившегося SO_2:

$$m(SO_2) = 64 \cdot 0{,}5x = 500 + 62{,}4 - 556 = 6{,}4 \text{ г}$$

Составим систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} 232x + 160y = 62{,}4 \\ 32x = 6{,}4 \end{cases}$$

$$x = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$y = 0{,}1 \text{ моль}$$

Количество соли $Fe_2(SO_4)_3$ в полученном растворе:

$$\nu(Fe_2(SO_4)_3) = 1{,}5x + y = 0{,}4 \text{ моль}$$

Массовая доля $Fe_2(SO_4)_3$ в растворе:

$$\omega(Fe_2(SO_4)_3) = \frac{0{,}4 \cdot 400}{556} = 0{,}288, \text{ или } 28{,}8\%$$

Ответ. 28,8%.

9. В первом случае к моменту достижения равновесия количество вещества (моль) участников реакции составит:

	A_2	+ B_2	$\rightleftarrows$ 2AB
Было	2	1	0
Прореагировало	x	x	
По достижении равновесия	$2 - x$	$1 - x$	$2x$

По условию задачи:

$$2x = (2 - x) + (1 - x)$$

$$x = 0{,}75 \text{ моль}$$

Константа равновесия:

$$K = \frac{(2x)^2}{(2-x)(1-x)} = \frac{1{,}5^2}{1{,}25 \cdot 0{,}25} = 7{,}2$$

Во втором случае к моменту достижения равновесия количество вещества (моль) участников реакции составит:

	$A_2 + B_2 \rightleftarrows 2AB$		
Было	1	1	0
Прореагировало	y	y	
По достижении равновесия	$2 - y$	$1 - y$	$2y$

Из выражения константы равновесия рассчитаем количества веществ в равновесной системе.

$$K = \frac{(2y)^2}{(1-y)(1-y)} = 7{,}2$$

$$y = 0{,}573 \text{ моль}$$

Для второго случая рассчитаем, во сколько раз число гетероядерных молекул в смеси больше общего числа гомоядерных.

$$n = \frac{AB}{A_2 + B_2} = \frac{2y}{(1-y) + (1-y)} = 1{,}34$$

Ответ. $K = 7{,}2$; в 1,34 раза.

10. При гидролизе на 1 моль сложного эфира одноосновной карбоновой кислоты требуется 1 моль щелочи, на 1 моль сложного эфира двухосновной кислоты — 2 моль щелочи, на 1 моль сложного эфира фенола — 2 моль щёлочи.

По условию задачи:

$$\nu(KOH) = 40 \cdot 0{,}1 : 40 = 0{,}1 \text{ моль}$$

Отсюда, если исходное соединение — эфир одноосновной кислоты, то ν(эфира) = 0,1 моль, M = 58 г/моль; если это эфир двухосновной кислоты, то ν(эфира) = 0,05, M = 116 г/моль.

При окислении продуктов гидролиза сложного эфира образуется углекислый газ, причем $\nu(CO_2) = \nu(C)$, следовательно, в процессе окисления разрушается углеродный скелет.

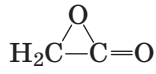
По условию, количество углекислого газа:

$$\nu(CO_2) = 4{,}48 : 22{,}4 = 0{,}2 \text{ моль}$$

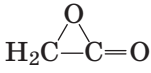
Для эфира с M = 58 г/моль:

$$\nu(\text{эфира}) : \nu(\text{C}) = 0{,}1 : 0{,}2 = 1 : 2$$

Итак, этот сложный эфир содержит два атома углерода, два атома кислорода и два атома водорода: $C_2H_2O_2$, что соответствует структурной формуле:



Уравнения реакций гидролиза и окисления эфира:

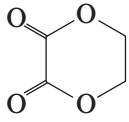


$$10HOCH_2COONa + 12KMnO_4 + 23H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 20CO_2\uparrow + 6K_2SO_4 + 12MnSO_4 + 5Na_2SO_4 + 38H_2O$$

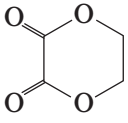
Для эфира двухосновной кислоты с M = 116 г/моль:

$$\nu(\text{эфира}) : \nu(\text{C}) = 0{,}05 : 0{,}2 = 1 : 4$$

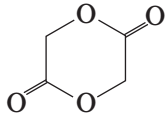
Этот сложный эфир содержит четыре атома углерода, четыре атома кислорода и четыре атома водорода: $C_4H_4O_4$. Условию задачи отвечают структурные формулы (а) и (б):

а) 

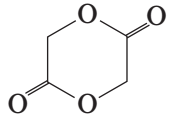
Уравнения реакций гидролиза эфира и окисления эфира и спирта:



$$5NaOOC—COONa + 2KMnO_4 + 8H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 10CO_2\uparrow + 5Na_2SO_4 + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O$$
$$HOCH_2—CH_2OH + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 2CO_2 + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 6H_2O$$

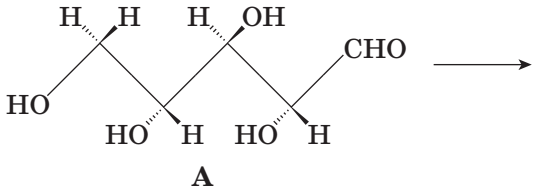
б) 

Уравнения реакций гидролиза и окисления эфира:

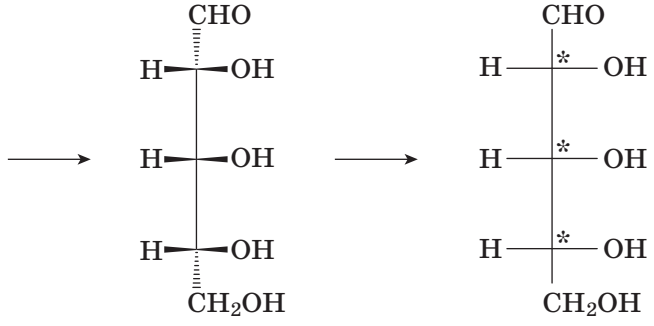


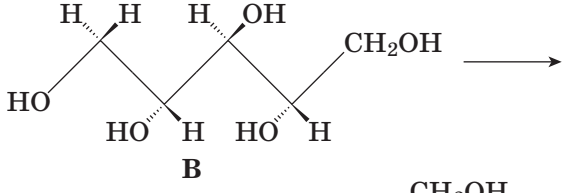
$$10HOCH_2COONa + 12KMnO_4 + 23H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 20CO_2\uparrow + 6K_2SO_4 + 12MnSO_4 + 5Na_2SO_4 + 38H_2O$$

11. Переведем клиновидные проекции соединений **A** и **B** в проекционные формулы Фишера:

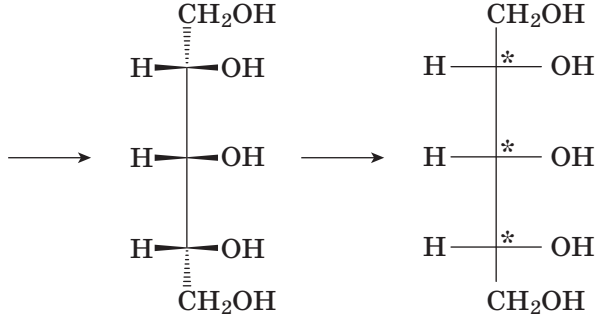


A



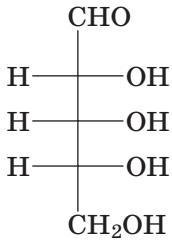


B

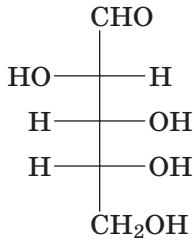


Соединения **A** и **B** имеют по три асимметрических центра: атомы углерода C(2), C(3) и C(4) (отмеченые звездочкой).

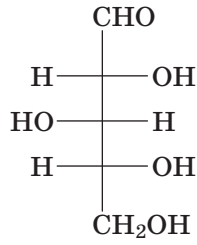
Как видно из проекционной формулы, соединение **A** — это альдопентоза, а именно D-рибоза. Если молекула содержит три асимметрических центра, то число стереоизомеров равно $2^3 = 8$. Известно восемь изомеров альдопентоз: D- и L-рибоза, D- и L-арабиноза, D- и L-ксилоза и D- и L-ликсоза.



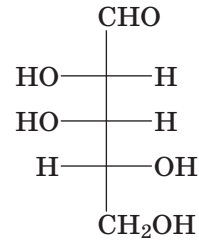
D-рибоза



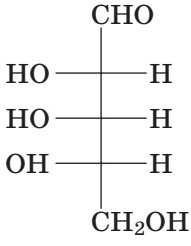
D-арабиноза



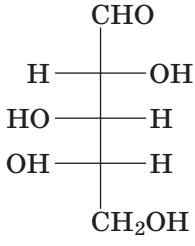
D-ксилоза



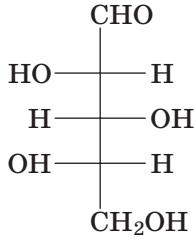
D-ликсоза



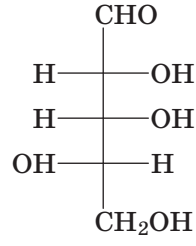
L-рибоза



L-арабиноза

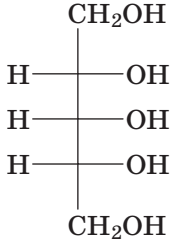


L-ксилоза

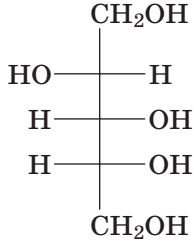


L-ликсоза

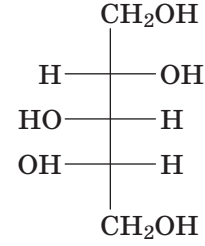
У пентан-1,2,3,4,5-пентаола четыре стереоизомера:



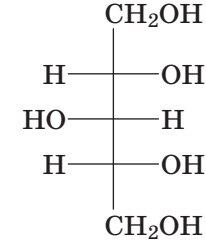
1



2



3



4

Соединения *2* и *3* — энантиомеры (оптически активны). Соединения *1* и *4* не проявляют оптической активности (это мезоформы), у них есть плоскость симметрии, проходящая через углерод C(3) и водород и гидроксильную группу при C(3).

Таким образом, соединение **A** оптически активно, соединение **B** не обладает оптической активностью.

Ответ. Соединение **A** оптически активно, имеет три асимметрических центра и восемь стереоизомеров (формула **A** и еще семь). Соединение **B** оптически неактивно, имеет три асимметрических центра и четыре стереоизомера (формула **B** и еще три).

12. 1) В графене у углерода валентность III: каждый атом углерода образует три σ-связи с соседними атомами углерода и, следовательно, может присоединить один атом водорода.

2) Найдем число атомов углерода в графеновом квадрате со стороной 10 мм. Для этого сначала рассчитаем число шестиугольников (краевыми эффектами пренебрегаем):

$$N_{\text{шестиуг}} = \frac{S_{\text{кв}}}{S_{\text{шестиуг}}} = \frac{(10 \cdot 10^{-3})^2}{\frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot (0{,}142 \cdot 10^{-9})^2} = 1{,}91 \cdot 10^{15}$$

где $0{,}142 \cdot 10^{-9}$ м — длина связи C—C в графеновом слое (справочные данные могут различаться: например, $0{,}141 \cdot 10^{-9}$ м или $0{,}1418 \cdot 10^{-9}$ м).

Каждый атом углерода принадлежит одновременно трем шестиугольникам. На один шестиугольник приходится 6 : 3 = 2 атома углерода; общее число атомов C в графеновом квадрате:

$$N(\text{C}) = 2N_{\text{шестиуг}} = 3{,}82 \cdot 10^{15} \text{ атомов}$$

Масса заданного фрагмента графена:

$$m = \frac{N(\text{C})}{N_A} M(\text{C}) = \frac{3{,}82 \cdot 10^{15}}{6{,}02 \cdot 10^{23}} \cdot 12 = 7{,}61 \cdot 10^{-8} \text{ г} = 76{,}1 \text{ нг}$$

3) Каждый атом углерода может присоединить один водород, поэтому максимальное число атомов водорода, способных присоединиться к графену:

$$N(\text{H}) = 3{,}82 \cdot 10^{15}$$

Ответ. III; 76,1 нг; $3{,}82 \cdot 10^{15}$.

ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. Положительные ионы с конфигурацией $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$: K^+ и Ca^{2+}, отрицательные ионы с конфигурацией $1s^2 2s^2 2p^6$: F^- и O^{2-}.

Возможные соединения: KF, K_2O, CaF_2 и CaO, которые можно получить из простых веществ в следующих реакциях:

$$2K + F_2 \rightarrow 2KF$$

$$Ca + F_2 \rightarrow CaF_2$$

$$2Ca + O_2 \xrightarrow{t} 2CaO$$

2. Твердые основные оксиды CaO и MgO при взаимодействии с кислотным оксидом SO_3 (бесцветная жидкость) или 100%-й серной кислотой дают соли.

$$MgO + SO_3 \rightarrow MgSO_4$$

$$CaO + H_2SO_4 \text{ (100\%-я)} \rightarrow CaSO_4 + H_2O$$

3. Пусть в смеси было x моль цинка и y моль нитрата цинка.

$$\underset{x}{Zn} + 0{,}5O_2 \xrightarrow{t} \underset{x}{ZnO}$$

$$\underset{y}{Zn(NO_3)_2} \xrightarrow{t} \underset{y}{ZnO} + \underset{2y}{2NO_2\uparrow} + \underset{0{,}5y}{0{,}5O_2}$$

Согласно условию, масса исходной смеси равна массе конечной смеси.

$$65x + 189y = 81(x + y)$$

$$x = 6{,}75y$$

Массовые доли компонентов в исходной смеси:

$$\omega(Zn) = \frac{65x}{65x + 189y} = 0{,}6989, \text{ или } 69{,}89\%$$

$$\omega(Zn(NO_3)_2) = 0{,}3011, \text{ или } 30{,}11\%$$

Ответ. 69,89% Zn; 30,11% $Zn(NO_3)_2$.

4. По условию, pH = 3,0, отсюда $[H^+]$ = 0,001 моль/л. Пусть к 500 мл (0,5 л) воды необходимо прилить x л HNO_3 с концентрацией 0,2 моль/л, что соответствует $0{,}2x$ моль ионов H^+. Концентрация полученного раствора:

$$c(HNO_3) = \frac{0{,}2x}{0{,}5 + x} = 0{,}001$$

$$x = 0{,}0025 \text{ л} = 2{,}5 \text{ мл}$$

Ответ. 2,5 мл.

5. 1) Поместим смесь металлов в соляную кислоту:

$$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2\uparrow$$

$$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2\uparrow$$

Железо и алюминий растворяются, медь с соляной кислотой не реагирует. Отфильтровываем осадок, т. е. выделяем *медь*.

2) К фильтрату приливаем избыток раствора щёлочи:

$$FeCl_2 + 2NaOH \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow + 2NaCl$$

$$AlCl_3 + 4NaOH \rightarrow Na[Al(OH)_4] + 3NaCl$$

Гидроксид железа выпадает в осадок. Отфильтровываем гидроксид железа.

3) Прокаливаем осадок на воздухе (в присутствии кислорода образуется Fe_2O_3), твердый продукт прокаливания восстанавливаем:

$$2Fe(OH)_2 + {}^1/_2O_2 \xrightarrow{t} Fe_2O_3 + 2H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe$$

Металлическое *железо* выделено.

4) Через фильтрат пропускаем CO_2 (или SO_2), выпавший осадок гидроксида алюминия отфильтровываем:

$$Na[Al(OH)_4] + CO_2 \rightarrow NaHCO_3 + Al(OH)_3\downarrow$$

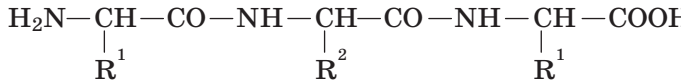
Осадок прокаливаем, восстанавливаем алюминий из расплава оксида электролизом:

$$2Al(OH)_3 \xrightarrow{t} Al_2O_3 + 3H_2O$$

$$2Al_2O_3(\text{расплав}) \xrightarrow{\ \ } 4Al + 3O_2$$

Таким образом, выделен и *алюминий*.

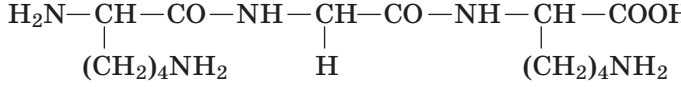
6. Поскольку при частичном гидролизе трипептида образуются два изомерных дипептида, можно сделать вывод, что в трипептиде концевые аминокислоты одинаковые. Общая формула этого трипептида:



Из условия C : N = 14 : 5; C : O = 14 : 4. Отсюда C : N : O = 14 : 5 : 4.

На гидролиз 1 моль трипептида необходимо 3 моль KOH, отсюда следует, что в трех аминокислотах три кислотные группы (т. е. нет аминокислот с дополнительными кислотными группами). В трипептиде пять атомов азота, следовательно, концевые аминокислоты содержат по два атома азота. Далее, если в радикалах R^1 по одной аминогруппе и в каждом из них четыре атома углерода, то R^2 = H.

Формула трипептида:



или

Lys—Gly—Lys

Ответ. Лизилглициллизин.

7. 1) $CO_2 + 2NH_3 + H_2O \rightarrow (NH_4)_2CO_3$

2) $(NH_4)_2CO_3 + 2KOH \rightarrow K_2CO_3 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$

3) $4NH_3 + 5O_2 \xrightarrow{\text{катализатор}} 2NO + 3H_2O$

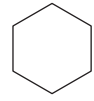
4) $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$

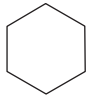
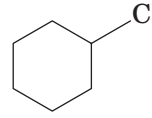
5) $4NO_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4HNO_3$

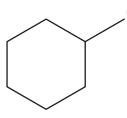
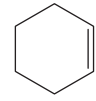
6) $3P + 5HNO_3 + 2H_2O \xrightarrow{t} 3H_3PO_4 + 5NO\uparrow$

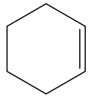
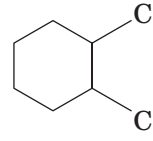
Ответ. **X** — NH_3; **Z** — HNO_3.

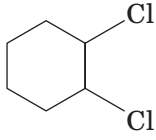
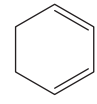
8.

1) $Cl(CH_2)_6Cl + Zn \xrightarrow{t}$  $+ ZnCl_2$

2)  $+ Cl_2 \xrightarrow{h\nu}$  $+ HCl$

3)  $+ KOH \xrightarrow{C_2H_5OH}$  $+ KCl + H_2O$

4)  $+ Cl_2 \longrightarrow$ 

5)  $+ KOH \xrightarrow{C_2H_5OH}$  $+ 2KCl + 2H_2O$

6) $+ 18KMnO_4 + 27H_2SO_4 \longrightarrow 5HOOC{-}(CH_2)_2{-}COOH +$

$+ 9K_2SO_4 + 18MnSO_4 + 10CO_2 + 32H_2O$

Ответ. **X** — C_6H_{12}; **Y** — C_6H_{10}; **Z** — C_6H_8.

9. Пусть исходная навеска содержит x моль Cu и y моль FeO. При взаимодействии с горячей концентрированной серной кислотой происходит полное растворение смеси с выделением SO_2:

$$\underset{x}{Cu} + 2H_2SO_4 \xrightarrow{t} CuSO_4 + \underset{x}{SO_2\uparrow} + 2H_2O$$

$$\underset{y}{2FeO} + 4H_2SO_4 \xrightarrow{t} Fe_2(SO_4)_3 + \underset{0,5y}{SO_2\uparrow} + 4H_2O$$

Из условия:

$$(64x + 72y) - (64x + 32y) = 12{,}0 \text{ г}$$

При внесении такой же навески в колбу с горячей концентрированной азотной кислотой происходит растворение и выделение NO_2:

$$\underset{x}{Cu} + 4HNO_3 \xrightarrow{t} Cu(NO_3)_2 + \underset{2x}{2NO_2\uparrow} + 2H_2O$$

$$\underset{y}{FeO} + 4HNO_3 \xrightarrow{t} Fe(NO_3)_3 + \underset{y}{NO_2\uparrow} + 2H_2O$$

Из условия:

$$(64x + 72y) - 46\,(2x + y) = 5{,}0 \text{ г}$$

Раскрыв скобки, получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 40y = 12 \\ 26y - 28x = 5{,}0 \end{cases}$$

$$x = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$y = 0{,}3 \text{ моль}$$

Масса исходной смеси:

$$m = 64x + 72y = 28{,}0 \text{ г}$$

Ответ. 28 г.

10. Из условия нельзя заключить, находятся ли реагирующие вещества в эквимолярном соотношении или же одно из них дано в избытке.

Предположим, что в избытке карбоновая кислота или реагенты взяты в эквимолярном соотношении. По окончании реакции кислоты с $Ca(OH)_2$ раствор выпаривается — в остатке только соль органической кислоты:

$$Ca(OH)_2 + 2RCOOH \rightarrow (RCOO)_2Ca\downarrow + 2H_2O \qquad (1)$$

При прокаливании этой соли (в реакции кетонизации) образуется только один газ:

$$(RCOO)_2Ca(т) \xrightarrow{t} CaCO_3 + R{-}CO{-}R\uparrow \qquad (2)$$

Однако по условию выделяется смесь двух газов. Это возможно только в том случае, если $Ca(OH)_2$ взят в избытке, тогда после упаривания раствора досуха остается смесь $(RCOO)_2Ca$ и $Ca(OH)_2$, причем избыток гидроксида кальция вступает в реакцию декарбоксилирования:

$$(RCOO)_2Ca(т) + Ca(OH)_2(т) \xrightarrow{t} 2CaCO_3 + 2RH\uparrow \qquad (3)$$

Когда весь $Ca(OH)_2$ израсходуется, оставшаяся органическая соль даст второй продукт — кетон, а твердый остаток после прокаливания (21,0 г) содержит только карбонат кальция. При приливании к этому

твердому остатку избытка соляной кислоты выделяется CO_2 в количестве, равном количеству $CaCO_3$:

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

Проверим это предположение.

$$M(\text{газа}) = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1{,}82 \cdot 8{,}31 \cdot 295}{101{,}3} = 44 \text{ г/моль}$$

$$\nu(\text{газа}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 5{,}08}{8{,}31 \cdot 295} = 0{,}21 \text{ моль}$$

$$\nu(CaCO_3) = 21 : 100 = 0{,}21 \text{ моль}$$

Итак, остаток состоит только из карбоната кальция.

Пусть в реакции (2) образовалось z моль $CaCO_3$, а в реакции (3) — x моль $CaCO_3$. Общее количество карбоната кальция:

$$\nu(CaCO_3) = x + z = 0{,}21 \text{ моль}$$

Пусть выделилось газов: x моль углеводорода RH и z моль кетона RCOR — всего 0,21 моль газов.

По условию, средняя молярная масса смеси газов:

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{0{,}47 \cdot 8{,}31 \cdot 674}{101{,}3} = 26 \text{ г/моль}$$

$$M = \frac{M_1\upsilon_1 + M_2\upsilon_2}{\upsilon_1 + \upsilon_2} = \frac{(R + 1)x + (2R + 28)z}{x + z} = 26 \text{ г/моль}$$

$$(R + 1)x + (2R + 28)z = 26 \cdot 0{,}21 = 5{,}46$$

С учетом того, что $(0{,}5x + z)$ моль кальциевой соли $(RCOO)_2Ca$ образовалось из $2(0{,}5x + z)$ моль исходной кислоты RCOOH, можно записать

$$2(0{,}5x + z) = 15{,}6 : (R + 45)$$

Или после преобразований:

$$(x + 2z) \cdot (R + 45) = 15{,}46$$

Получили систему из трех уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} x + z = 0{,}21 \\ (x + 2z) \cdot (R + 45) = 15{,}6 \\ (R + 1)x + (2R + 28)z = 5{,}46 \end{cases}$$

$$x = 0{,}16;\ z = 0{,}05;\ R = 15$$

Искомая кислота — уксусная CH_3COOH ($R = CH_3$), при прокаливании получилось 0,1 моль CH_4 и 0,05 моль ацетона CH_3COCH_3.

Ответ. CH_3COOH; 0,16 моль CH_4; 0,05 моль CH_3COCH_3.

ВАРИАНТ 2

1. Положительные ионы с конфигурацией $1s^2 2s^2 2p^6$: Na^+ и Mg^{2+}, отрицательные ионы с конфигурацией $1s^2 2s^2 2p^6$: F^- и O^{2-}.

Возможные соединения: NaF, Na_2O, MgF_2 и MgO.

Эти соединения можно получить из простых веществ в следующих реакциях:

$$2Na + F_2 \rightarrow 2NaF$$

$$Mg + F_2 \rightarrow MgF_2$$

$$2Mg + O_2 \xrightarrow{t} 2MgO$$

2. Самое «популярное» жидкое при комнатной температуре вещество — вода. Кислота может быть получена по реакции кислотного оксида с водой. Например, при комнатной температуре кислотные оксиды SO_3 и Cl_2O_7 — жидкости.

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

$$Cl_2O_7 + H_2O \rightarrow 2HClO_4$$

Кислота может образовываться также при взаимодействии двух жидкостей — ангидрида органической кислоты и воды:

$$(CH_3CO)_2O + H_2O \rightarrow 2CH_3COOH$$

3. Пусть в смеси было x моль хрома и y моль нитрата хрома. Запишем уравнения реакций:

$$\underset{x}{4Cr} + 3O_2 \xrightarrow{t} \underset{0{,}5x}{2Cr_2O_3}$$

$$\underset{y}{4Cr(NO_3)_3} \xrightarrow{t} \underset{0{,}5y}{2Cr_2O_3} + 12NO_2\uparrow + 3O_2$$

По условию, масса исходной смеси равна массе конечной смеси.

$$52x + 238y = 76x + 76y$$

$$x = 6{,}75y$$

Массовые доли компонентов в исходной смеси:

$$\omega(Cr) = \frac{52x}{52x + 238y} = 0{,}5959, \text{ или } 59{,}59\%$$

$$\omega(Cr(NO_3)_3) = 0{,}4041, \text{ или } 40{,}41\%$$

Ответ. 59,59% Cr; 40,41% $Cr(NO_3)_3$.

4. По условию, pH = 13,0. Отсюда $[OH^-] = 0{,}1$ моль/л.

Пусть к 750 мл (0,75 л) воды необходимо прилить x л LiOH с концентрацией 1,2 моль/л, отсюда содержание ионов OH^- в этом растворе $1{,}2x$ моль. Концентрация полученного раствора гидроксида лития:

$$c(\text{LiOH}) = \frac{1{,}2x}{0{,}75 + x} = 0{,}1$$

$$x = 0{,}0682 \text{ л} = 68{,}2 \text{ мл}$$

Ответ. 68,2 мл.

5. 1) Поместим смесь металлов в соляную кислоту:

$$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2$$

$$Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2$$

$$Cu + HCl \not\rightarrow \text{ реакция не идет}$$

Железо и цинк растворяются, медь с соляной кислотой не реагирует. Отфильтровываем осадок, т. е. выделяем *медь*.

2) К фильтрату приливаем избыток раствора щёлочи:

$$FeCl_2 + 2NaOH \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow + 2NaCl$$

$$ZnCl_2 + 4NaOH \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + 2NaCl$$

Гидроксид железа выпадает в осадок. Отфильтровываем гидроксид железа.

3) Прокаливаем осадок на воздухе (в присутствии кислорода образуется Fe_2O_3), твердый продукт прокаливания восстанавливаем:

$$2Fe(OH)_2 + {}^1/_2O_2 \xrightarrow{t} Fe_2O_3 + 2H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe$$

Выделено металлическое *железо*.

4) Через фильтрат пропустим CO_2 или SO_2 и отфильтруем осадок гидроксида цинка.

$$Na_2[Zn(OH)_4] + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + Zn(OH)_2\downarrow + H_2O$$

Осадок прокаливаем из оксида восстанавливаем цинк.

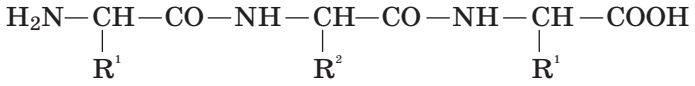
$$Zn(OH)_2 \xrightarrow{t} ZnO + H_2O$$

$$ZnO + C \xrightarrow{t} CO\uparrow + Zn$$

Таким образом, выделен *цинк*.

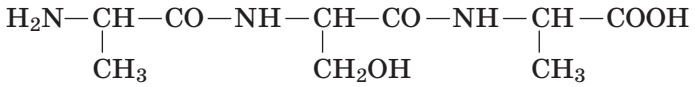
6. Поскольку при частичном гидролизе трипептида образуются два изомерных дипептида, можно сделать вывод, что в трипептиде

концевые аминокислоты одинаковые. Общая формула этого трипептида:



Из условия C : N = 3 : 1, C : O = 9 : 5. Отсюда C : N : O = 9 : 3 : 5. На гидролиз 1 моль трипептида необходимо 3 моль KOH, отсюда следует, что в трех аминокислотах три кислотные группы, и, если в трипептиде общее число атомов кислорода 5, то можно предположить, что радикал R^2 содержит гидроксил, например CH_2OH. Тогда $R^1 = CH_3$.

Формула трипептида:



или

Ala—Ser—Ala

Ответ. Аланилсерилаланин.

7. 1) $Na[Cr(OH)_4] + CO_2 \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + NaHCO_3$

2) $KOH + Cr(OH)_3 \rightarrow K[Cr(OH)_4]$

3) $2K[Cr(OH)_4] + 3Cl_2 + 8KOH(\text{конц.}) \xrightarrow{t} 2K_2CrO_4 + 6KCl + 8H_2O$

4) $2K_2CrO_4 + H_2SO_4 \rightarrow K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$

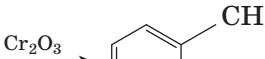
5) $3K_2SO_3 + K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + 4H_2O$

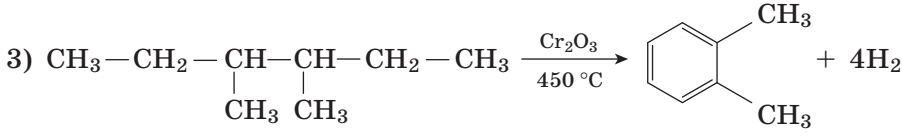
6) $Cr_2(SO_4)_3 + 2K_3PO_4 \rightarrow 2CrPO_4\downarrow + 3K_2SO_4$

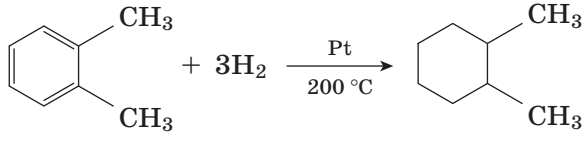
Ответ. **X** — $K[Cr(OH)_4]$; **Z** — $Cr_2(SO_4)_3$

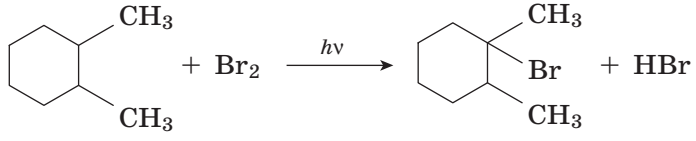
8.

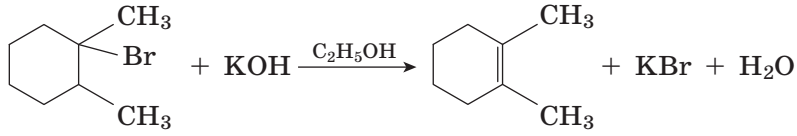
1) $CH_3CH_2CH_2CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3CH_2CHBrCH_3 + HBr$

2) $2CH_3CH_2CHBrCH_3 + 2Na \longrightarrow$ 

3) 

4) 

5) 

6) 

9. Пусть исходная навеска содержит x моль $Fe(OH)_2$ и y моль Cu_2O. При взаимодействии с горячей концентрированной серной кислотой происходит полное растворение смеси с выделением SO_2:

$$\underset{x}{2Fe(OH)_2} + 4H_2SO_4 \xrightarrow{t} Fe_2(SO_4)_3 + \underset{0,5x}{SO_2\uparrow} + 6H_2O$$

$$\underset{y}{Cu_2O} + 3H_2SO_4 \xrightarrow{t} 2CuSO_4 + \underset{y}{SO_2\uparrow} + 2H_2O$$

Из условия задачи следует:

$$(90x + 144y) - (32x + 64y) = 19{,}6 \text{ г}$$

При внесении такой же навески смеси в колбу с горячей концентрированной азотной кислотой происходит ее растворение и выделяется NO_2:

$$\underset{x}{Fe(OH)_2} + 4HNO_3 \xrightarrow{t} Fe(NO_3)_3 + \underset{x}{NO_2\uparrow} + 3H_2O$$

$$\underset{y}{Cu_2O} + 6HNO_3 \xrightarrow{t} 2Cu(NO_3)_2 + \underset{2y}{2NO_2\uparrow} + 3H_2O$$

$$(90x + 144y) - 46(x + 2y) = 14{,}0 \text{ г}$$

Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 58x + 80y = 19{,}6 \\ 44x + 52y = 14 \end{cases}$$

$$x = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$y = 0{,}1 \text{ моль}$$

Следовательно, масса исходной смеси составляет

$$m = 90 \cdot 0{,}2 + 144 \cdot 0{,}1 = 32{,}4 \text{ г}$$

Ответ. 32,4 г.

10. Из условия непонятно, находятся ли реагирующие вещества в эквимолярном соотношении или же одно из них дано в избытке. Обратимся к условию задачи.

Если карбоновая кислота дана в избытке или же реагенты взяты в эквимолярном соотношении, то после реакции кислоты с $Ba(OH)_2$

и выпаривания раствора в твердом осадке оказалась бы только соль органической кислоты:

$$Ba(OH)_2 + 2RCOOH \rightarrow (RCOO)_2Ba + 2H_2O \quad (1)$$

Прокаливание осадка привело бы к образованию только одного газа в реакции кетонизации:

$$(RCOO)_2Ba(т) \xrightarrow{t} BaCO_3 + R{-}CO{-}R\uparrow \quad (2)$$

Однако, по условию, выделяется смесь двух газов. Это возможно только в том случае, если $Ba(OH)_2$ был взят в избытке. Осадок после упаривания раствора досуха содержит смесь $(RCOO)_2Ba$ и $Ba(OH)_2$, причем избыток гидроксида бария вступает в реакцию декарбоксилирования:

$$(RCOO)_2Ba(т) + Ba(OH)_2(т) \xrightarrow{t} 2BaCO_3 + 2RH\uparrow \quad (3)$$

Когда весь $Ba(OH)_2$ израсходуется, оставшаяся органическая соль даст второй продукт — кетон, и твердый остаток (236,4 г) после прокаливания состоит только из карбоната бария. При приливании избытка HCl к этому твердому остатку образуется CO_2 в количестве, равном количеству $BaCO_3$:

$$BaCO_3 + 2HCl \rightarrow BaCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

Проверим это предположение.

M(газа) = $\rho RT/p$ = 1,82 · 8,31 · 295 : 101,3 = 44 г/моль

ν(газа) = pV/RT = 101,3 · 29,04 : (8,31 · 295) = 1,2 моль

$\nu(BaCO_3)$ = 236,4 : 197 = 1,2 моль

Итак, остаток состоит только из карбоната бария.

Пусть в реакции (2) образовалось z моль $BaCO_3$, а в реакции (3) — x моль $BaCO_3$. Общее количество карбоната бария:

$$x + z = 1{,}2 \text{ моль}$$

Смесь выделившихся газов содержит x моль углеводорода RH и z моль кетона RCOR. Средняя молярная масса смеси:

$$M = \rho RT/p = 0{,}56 \cdot 8{,}31 \cdot 653 : 101{,}3 = 30 \text{ г/моль}$$

$$M = \frac{M_1\nu_1 + M_2\nu_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{(R + 1)x + (2R + 28)z}{x + z}$$

$$(R + 1)x + (2R + 28)z = 30 \cdot 1{,}2 = 36$$

С учетом того, что $(0{,}5x + z)$ моль $(RCOO)_2Ba$ образовалось из $2(0{,}5x + z)$ моль RCOOH, можно записать:

$$2(0{,}5x + z) = 96{,}0 : (R + 45)$$

$$(x + 2z)(R + 45) = 96$$

Получили систему из трех уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} x + z = 1{,}2 \\ (x + 2z) \cdot (R + 45) = 96 \\ (R + 1)x + (2R + 28)z = 36 \end{cases}$$

$$x = 0{,}8;\ z = 0{,}4;\ R = 15$$

Искомая кислота — уксусная CH_3COOH ($R = CH_3$), при прокаливании выделилось 0,8 моль CH_4 и 0,4 моль ацетона CH_3COCH_3.

Ответ. CH_3COOH; 0,8 моль CH_4; 0,4 моль CH_3COCH_3.

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

1. Молярная масса пропана C_3H_8 44 г/моль; его плотность при нормальных условиях 44 : 22,4 = 1,96 г/л; такую же плотность (н. у.) имеют все газы с молярной массой 44 г/моль, например CO_2 и N_2O.

Ответ. CO_2, N_2O.

2. В хлорат-ионе ClO_3^-: $N(p) = 17 + 24 = 41$

$$N(e) = N(p) + 1 = 42$$

$$KClO_3 + 6HCl \rightarrow 3Cl_2\uparrow + KCl + 3H_2O$$

3. Запишем суммарные уравнения электролиза двух водных растворов.

а) Электролиз раствора иодида стронция:

$$SrI_2 + 2H_2O \rightarrow Sr(OH)_2 + H_2 + I_2$$

б) Электролиз раствора сульфата лития:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$$

4. Между аминокислотой и этиловым спиртом протекает реакция:

$$H_2N—CH(R)—COOH + C_2H_5OH \rightarrow H_2N—CH(R)—COO—C_2H_5 + H_2O$$

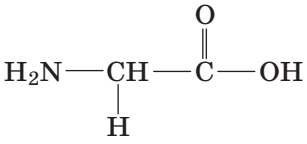
Пусть молярная масса искомой аминокислоты x г/моль; молярная масса эфира $(x + 28)$ г/моль. Из условия:

$$\frac{M(\text{эфира})}{M(\text{кислоты})} = 1{,}3733$$

$$\frac{x + 28}{x} = 1{,}3733$$

$$x = 75 \text{ г/моль}$$

Это глицин:



5.

	$CO_{(г)}$	$+ H_2O_{(г)}$	$\rightleftarrows CO_{2(г)}$	$+ H_{2(г)}$
Было	1,5	2,5	1,0	0
Прореагировало	0,9	0,9		
По достижении равновесии	0,6	1,6	1,9	0,9

Константа равновесия:

$$K = \frac{1{,}9 \cdot 0{,}9}{0{,}6 \cdot 1{,}6} = 1{,}78$$

Ответ. 1,78.

6. По правилу Вант-Гоффа:

$$\gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}} = \frac{\upsilon_2}{\upsilon_1}$$

Далее используем уравнение Аррениуса.

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{Ae^{-\frac{E_a}{RT_2}}}{Ae^{-\frac{E_a}{RT_1}}} = e^{\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}}$$

$$\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \frac{k_2}{k_1} = e^{\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}}$$

$$\gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}} = e^{\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}}$$

$$\gamma^{\frac{325 - 285}{10}} = e^{\frac{96500 \cdot (325 - 285)}{8{,}314 \cdot 285 \cdot 325}} = 150{,}27$$

$$\gamma = \sqrt[4]{150{,}27} = 3{,}5$$

Ответ. 3,5.

7. 1) $2H_2S + O_2(\text{недост.}) \xrightarrow{t} 2S + 2H_2O$

2) $S + O_2 \xrightarrow{t} SO_2$

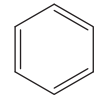
3) $Na_2[Zn(OH)_4] + SO_2 \rightarrow Zn(OH)_2\downarrow + Na_2SO_3 + H_2O$

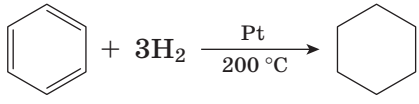
4) $Zn(OH)_2 \xrightarrow{t} ZnO + H_2O$

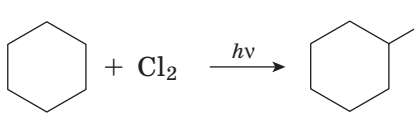
5) $ZnO + C \xrightarrow{t} Zn + CO\uparrow$

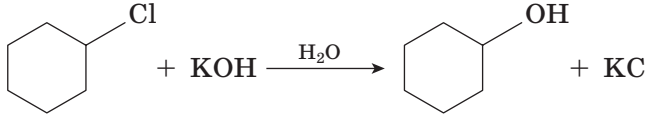
6) $Zn + 2KOH + 2H_2O \rightarrow K_2[Zn(OH)_4] + H_2\uparrow$

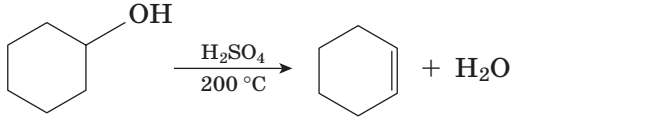
Ответ. **X** — S; **Y** — $Zn(OH)_2$; **Z** — Zn

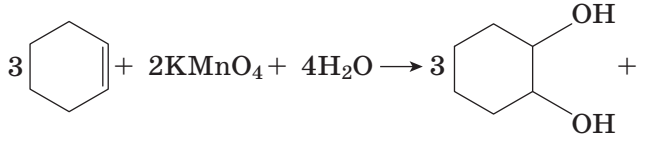
8. $3C_2H_2 \xrightarrow[600\ ^\circ C]{C_{актив}}$ 











Ответ. **X** — C_6H_6; **Y** — $C_6H_{11}Cl$; **Z** — C_6H_{10}.

9. При растворении сплава в растворе азотной кислоты протекают реакции:

$$Al + 6HNO_3 \rightarrow Al(NO_3)_3 + 3NO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$Zn + 4HNO_3 \rightarrow Zn(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

Из условия рассчитаем количество выделившегося диоксида азота.

$$\nu(NO_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 7{,}68}{8{,}314 \cdot 288} = 0{,}325 \text{ моль}$$

Пусть в реакцию вступило x моль Al и y моль Zn.

$$\nu(NO_2) = 3x + 2y = 0{,}325 \text{ моль}$$

$$m(\text{сплава}) = m(\text{Al}) + m(\text{Zn}) = 27x + 65y = 4{,}57 \text{ г}$$

$$\begin{cases} 3x + 2y = 0{,}325 \\ 27x + 65y = 4{,}57 \end{cases}$$

$$x = 0{,}085;\ y = 0{,}035$$

Сплав содержит 0,085 моль Al и 0,035 моль Zn; суммарно 0,12 моль металлов. Мольные доли металлов в сплаве:

$$x(\text{Al}) = 0{,}085 : 0{,}12 = 0{,}708, \text{ или } 70{,}8\%$$

$$x(\text{Zn}) = 0{,}035 : 0{,}12 = 0{,}292, \text{ или } 29{,}2\%$$

Рассчитаем массу исходного раствора азотной кислоты и массу азотной кислоты в этом растворе:

$$m(\text{р-ра } HNO_3) = V \cdot \rho = 43{,}75 \cdot 1{,}44 = 63 \text{ г}$$

$$m(HNO_3) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega(HNO_3) = 63 \cdot 0{,}7 = 44{,}1 \text{ г}$$

Количество азотной кислоты в исходном растворе:

$$\nu(HNO_3) = \frac{m}{M} = \frac{44{,}1}{63} = 0{,}7 \text{ моль}$$

В реакции с металлами израсходовано азотной кислоты:

$$\nu(HNO_3) = 6 \cdot 0{,}085 + 4 \cdot 0{,}035 = 0{,}65 \text{ моль}$$

Осталось в растворе:

$$\nu(HNO_3) = 0{,}7 - 0{,}65 = 0{,}05 \text{ моль}$$

При добавлении гидрокарбоната натрия протекают реакции:

$$HNO_3 + NaHCO_3 \rightarrow NaNO_3 + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$Al(NO_3)_3 + 3NaHCO_3 \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 3NaNO_3$$

$$Zn(NO_3)_2 + 2NaHCO_3 \rightarrow ZnCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + 2NaNO_3 + H_2O$$

В этих реакциях выделяется CO_2 в количестве:

$$\nu(CO_2) = \nu(HNO_3) + 3\nu(\text{Al}) + \nu(\text{Zn}) = 0{,}05 + 3 \cdot 0{,}085 + 0{,}035 = 0{,}34 \text{ моль}$$

При заданных условиях 0,34 моль диоксида углерода занимает следующий объем:

$$V(CO_2) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0{,}34 \cdot 8{,}314 \cdot 288}{101{,}3} = 8{,}04 \text{ л}$$

Масса осадка, образовавшегося в реакции с гидрокарбонатом:

$$m = m(Al(OH)_3) + m(ZnCO_3) = 0{,}085 \cdot 78 + 0{,}035 \cdot 125 = 11{,}005 \text{ г}$$

Ответ. 70,8%; 29,2%; 8,04 л; 11,005 г.

10. Исходное соединение, по-видимому, содержит азот.

$$\underset{a}{C_xH_yO_zN_f} + (x + 0{,}25y - 0{,}5z)O_2 \xrightarrow{t} \underset{xa}{xCO_2}\uparrow + \underset{0{,}5fa}{0{,}5fN_2}\uparrow + \underset{0{,}5ya}{0{,}5yH_2O}\uparrow$$

Увеличение массы трубки с P_2O_5 произошло в результате поглощения паров воды:

$$P_2O_5 + 3H_2O \to 2H_3PO_4$$

Количество поглощенной воды:

$$\nu(H_2O) = 0{,}5ya = 3{,}6 : 18 = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$\nu(H) = 0{,}4 \text{ моль}$$

Поглощение CO_2 раствором гидроксида кальция приводит к образованию осадка карбоната кальция:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \to CaCO_3\downarrow + H_2O$$

$$\nu(CaCO_3) = xa = 12 : 100 = 0{,}12 \text{ моль}$$

$$\nu(C) = 0{,}12 \text{ моль}$$

Непоглощенный газ **Y** — это азот N_2 в количестве:

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}984}{8{,}31 \cdot 298} = 0{,}04 \text{ моль}$$

В пересчете на атомы азота:

$$\nu(N) = 0{,}08 \text{ моль}$$

Далее необходимо проверить, содержало ли исходное соединение **X** кислород.

$$m(\mathbf{X}) = 2{,}96 = m(C_xH_yO_zN_f) = 12 \cdot \nu(C) + 1 \cdot \nu(H) + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot \nu(N) =$$

$$= 12 \cdot 0{,}12 + 1 \cdot 0{,}4 + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot 0{,}08 = 2{,}96 + 16 \cdot \nu(O)$$

$$\nu(O) = 0$$

Итак, в составе исходного соединения нет кислорода. Находим брутто-формулу $C_xH_yN_f$.

$$x : y : f = 0{,}12 : 0{,}4 : 0{,}08 = 3 : 10 : 2$$

Искомая формула $C_3H_{10}N_2$. Это алифатический диамин; его количество 2,96 : 74 = 0,04 моль. При взаимодействии диамина с азотистой

кислотой HNO_2 выделилось 0,08 моль азота N_2 — вдвое больше, чем при горении амина. Отсюда следует, что в исходном диамине две первичные аминогруппы, например:

$$\underset{\textbf{X}\ (0{,}04\ \text{моль})}{H_2N—CH_2—CH_2—CH_2—NH_2} + 2HNO_2 \rightarrow$$

$$\rightarrow HO—CH_2—\underset{\textbf{Z}}{CH_2}—CH_2—\underset{(0{,}08\ \text{моль})}{OH} + 2N_2\uparrow + 2H_2O$$

Вторичные и третичные амины в реакции с HNO_2 не выделяют азот.

Ответ. **X** — $C_3H_{10}N_2$; **Z** — $C_3H_8O_2$.

ВАРИАНТ 2

1. Молярная масса аммиака NH_3 17 г/моль; любой газ с молярной массой 34 г/моль, например H_2S, PH_3, CH_3F, в 2 раза тяжелее аммиака.

2. В бромат-ионе BrO_3^-: $N(\text{p}) = 35 + 24 = 59$

$N(\text{e}) = N(\text{p}) + 1 = 60$

$$KBrO_3 + 6HBr \rightarrow 3Br_2 + KBr + 3H_2O$$

3. а) Электролиз водного раствора сульфата магния:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$$

б) Электролиз водного раствора хлорида меди:

$$CuCl_2 \rightarrow Cu + Cl_2$$

4.

$$H_2N—CH(R)—COOH + C_2H_5OH \rightarrow H_2N—CH(R)—COO—C_2H_5 + H_2O$$

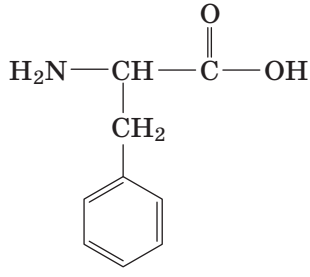
Пусть молярная масса искомой аминокислоты x г/моль; молярная масса эфира $(x + 28)$ г/моль. Из условия:

$$\frac{M(\text{эфира})}{M(\text{кислоты})} = 1{,}1854$$

$$\frac{x + 28}{x} = 1{,}1854$$

$$x = 151{,}02\ \text{г/моль}$$

Это фенилаланин:



5.

	SO_2(г)	+ CO_2(г)	⇄ SO_3(г)	+ CO(г)
Было	2,0	3,0	0	1,5
Прореагировало	1,4	1,4		
По достижении равновесия	0,6	1,6	1,4	2,9

Константа равновесия:

$$K = \frac{1{,}4 \cdot 2{,}9}{0{,}6 \cdot 1{,}6} = 4{,}23$$

Ответ. 4,23.

6. $$\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}} = 3{,}5^{\frac{325-285}{10}} = 3{,}5^4 = 150{,}06$$

Далее используем уравнение Аррениуса.

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{Ae^{-\frac{E_a}{RT_2}}}{Ae^{-\frac{E_a}{RT_1}}} = e^{\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}}$$

$$\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \frac{k_2}{k_1} = e^{\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}} = 150{,}06$$

$$e^{\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}} = 150{,}06$$

$$\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2} = \ln 150{,}06$$

$$E_a = \frac{RT_1T_2 \ln 150}{T_2 - T_1} = \frac{8{,}314 \cdot 285 \cdot 325 \cdot \ln 150{,}06}{325 - 285} = 96472 \text{ Дж/моль}$$

Ответ. 96,5 кДж/моль.

7. 1) $Ag_2O + 4NH_3 + H_2O \rightarrow 2[Ag(NH_3)_2]OH$

2) $3HNO_3 + [Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow AgNO_3 + 2NH_4NO_3 + H_2O$

3) $AgNO_3 + NaBr \rightarrow NaNO_3 + AgBr\downarrow$

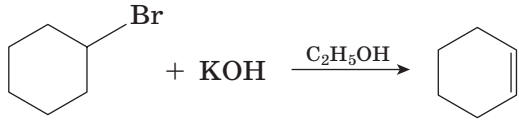
4) $2AgBr \xrightarrow{h\nu} 2Ag + Br_2$

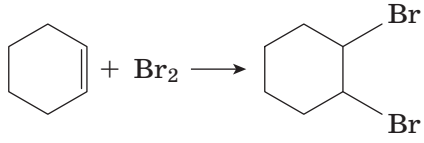
5) $Br_2 + H_2 \rightleftarrows 2HBr$

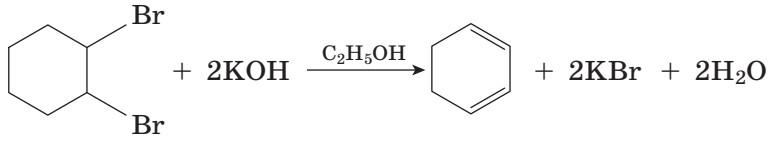
6) $KH_2PO_2 + HBr \rightarrow H_3PO_2 + KBr$

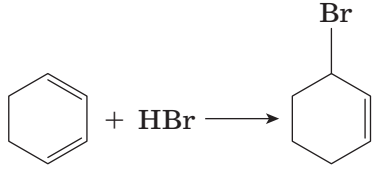
Ответ. **X** — $[Ag(NH_3)_2]OH$; **Y** — AgBr; **Z** — HBr.

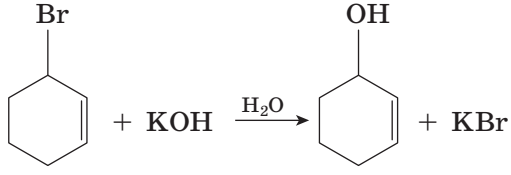
8.

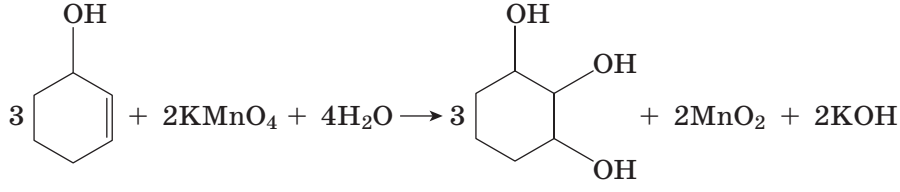












Ответ. **X** — C_6H_{10}; **Y** — C_6H_8; **Z** — $C_6H_{10}O$.

9. При растворении сплава в растворе азотной кислоты протекают следующие реакции:

$$Cr + 6HNO_3 \to Cr(NO_3)_3 + 3NO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$Ag + 2HNO_3 \to AgNO_3 + NO_2\uparrow + H_2O$$

Из условия рассчитаем количество выделившегося диоксида азота:

$$\nu(NO_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 2{,}96}{8{,}314 \cdot 301} = 0{,}12 \text{ моль}$$

Пусть в реакцию вступило x моль хрома и y моль серебра.

$$\nu(NO_2) = 3x + y = 0{,}12 \text{ моль}$$

$$m(\text{сплава}) = m(Cr) + m(Ag) = 52x + 108y = 3{,}44 \text{ г}$$

$$\begin{cases} 3x + y = 0{,}12 \\ 52x + 108y = 3{,}44 \end{cases}$$

$$x = 0{,}035$$

$$y = 0{,}015$$

Сплав содержит 0,035 моль Cr и 0,015 моль Ag; суммарно 0,05 моль металлов. Мольные доли металлов в сплаве:

$$x(\text{Cr}) = \frac{0{,}035}{0{,}05} = 0{,}7, \text{ или } 70\%$$

$$x(\text{Ag}) = \frac{0{,}015}{0{,}05} = 0{,}3, \text{ или } 30\%$$

Рассчитаем массу исходного раствора азотной кислоты и массу азотной кислоты в этом растворе:

$$m(\text{р-ра } HNO_3) = V \cdot \rho = 22{,}94 \cdot 1{,}373 = 31{,}5 \text{ г}$$

$$m(HNO_3) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega(HNO_3) = 31{,}5 \cdot 0{,}6 = 18{,}9 \text{ г}$$

$$\nu(HNO_3) = \frac{m}{M} = \frac{18{,}9}{63} = 0{,}3 \text{ моль}$$

Из этого количества азотной кислоты в реакции с металлами израсходовано:

$$\nu(HNO_3) = 6 \cdot 0{,}035 + 2 \cdot 0{,}015 = 0{,}24 \text{ моль}$$

Осталось в растворе:

$$\nu(HNO_3) = 0{,}3 - 0{,}24 = 0{,}06 \text{ моль}$$

При добавлении гидрокарбоната натрия протекают следующие реакции:

$$HNO_3 + NaHCO_3 \rightarrow NaNO_3 + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$Cr(NO_3)_3 + 3NaHCO_3 \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 3NaNO_3$$

$$2AgNO_3 + 2NaHCO_3 \rightarrow Ag_2CO_3\downarrow + CO_2\uparrow + 2NaNO_3 + H_2O$$

В этих реакциях выделяется CO_2:

$$\nu(CO_2) = \nu(HNO_3) + 3\nu(\text{Cr}) + 0{,}5\nu(\text{Ag}) = \\ = 0{,}06 + 3 \cdot 0{,}035 + 0{,}5 \cdot 0{,}015 = 0{,}1725 \text{ моль}$$

При заданных условиях 0,1725 моль диоксида углерода занимают объем:

$$V(CO_2) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0{,}1725 \cdot 8{,}314 \cdot 301}{101{,}3} = 4{,}26 \text{ л}$$

Масса осадка, образовавшегося в реакции с гидрокарбонатом:

$$m = m(Cr(OH)_3) + m(Ag_2CO_3) = 0{,}035 \cdot 103 + 0{,}5 \cdot 0{,}015 \cdot 276 = 5{,}675 \text{ г}$$

Ответ. 70%; 30%; 4,26 л; 5,675 г.

10. Исходное соединение, по-видимому, содержит азот.

$$\underset{a}{C_xH_yO_zN_f} + (x + 0{,}25y - 0{,}5z)O_2 \xrightarrow{t} \underset{xa}{xCO_2}\uparrow + \underset{0{,}5fa}{0{,}5fN_2}\uparrow + \underset{0{,}5ya}{0{,}5yH_2O}\uparrow$$

Увеличение массы трубки с P_2O_5 произошло в результате поглощения паров воды:

$$P_2O_5 + 3H_2O \to 2H_3PO_4$$

$$\nu(H_2O) = 0{,}5ya = 2{,}16 : 18 = 0{,}12 \text{ моль}$$

$$\nu(H) = 0{,}24 \text{ моль}$$

Поглощение CO_2 раствором гидроксида кальция приводит к образованию осадка карбоната кальция:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \to CaCO_3\downarrow + H_2O$$

$$\nu(CaCO_3) = xa = \frac{6{,}00}{100} = 0{,}06 \text{ моль}$$

$$\nu(C) = 0{,}06 \text{ моль}$$

Непоглощенный газ **Y** — это азот N_2.

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}758}{8{,}31 \cdot 308} = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(N) = 0{,}06 \text{ моль}$$

Далее необходимо проверить, содержало ли исходное соединение **X** кислород.

$$m(\mathbf{X}) = 1{,}8 = m(C_xH_yO_zN_f) = 12 \cdot \nu(C) + 1 \cdot \nu(H) + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot \nu(N) =$$

$$= 12 \cdot 0{,}06 + 1 \cdot 0{,}24 + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot 0{,}06 = 1{,}8 + 16 \cdot \nu(O)$$

$$\nu(O) = 0$$

Итак, в исходном соединении нет кислорода.

Находим брутто-формулу $C_xH_yN_f$:

$$x : y : f = 0{,}06 : 0{,}24 : 0{,}06 = 2 : 8 : 2$$

Искомая формула $C_2H_8N_2$. Это алифатический диамин; его количество 1,8 : 60 = 0,03 моль. При взаимодействии с HNO_2 выделилось 0,06 моль N_2 — вдвое больше, чем при горении амина. Отсюда следует, что в исходном диамине две первичные аминогруппы, например:

$$\underset{\textbf{X}\ (0{,}03\ \text{моль})}{H_2N—CH_2—CH_2—NH_2} + 2HNO_2 \rightarrow$$

$$\rightarrow \underset{\textbf{Z}}{HO—CH_2—CH_2—OH} + \underset{(0{,}06\ \text{моль})}{2N_2\uparrow} + 2H_2O$$

Напомним, что вторичные и третичные амины не выделяют азот при взаимодействии с HNO_2.

Ответ. **X** — $C_2H_8N_2$; **Z** — $C_2H_6O_2$.

ВАРИАНТ 3

1. Молярная масса азота N_2 28 г/моль, такую же молярную массу имеют CO, C_2H_4 или B_2H_6.

2. В сульфат-ионе SO_4^{2-}: $N(\text{p}) = 16 + 32 = 48$
$N(\text{e}) = N(\text{p}) + 2 = 50$

$$Zn + 2H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow ZnSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

3. а) Электролиз водного раствора фосфорной кислоты:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$$

б) Электролиз водного раствора хлорида ртути(II):

$$HgCl_2 \rightarrow Hg + Cl_2$$

4.

$$H_2N—CH(R)—COOH + C_2H_5OH \rightarrow H_2N—CH(R)—COO—C_2H_5 + H_2O$$

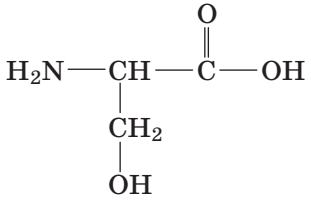
Пусть молярная масса искомой аминокислоты x г/моль; молярная масса эфира $(x + 28)$ г/моль. Из условия задачи:

$$\frac{M(\text{эфира})}{M(\text{кислоты})} = 1{,}2667$$

$$\frac{x + 28}{x} = 1{,}2667$$

$$x = 104{,}99 \approx 105\ \text{г/моль}$$

Это серин:



	$SO_3(г) + H_2(г) \rightleftarrows SO_2(г) + H_2O(г)$			
Было	1,0	4,0	0	0,5
Прореагировало	0,65	0,65		
По достижении равновесия	0,35	3,35	0,65	1,15

Константа равновесия:

$$K = \frac{0{,}65 \cdot 1{,}15}{0{,}35 \cdot 3{,}35} = 0{,}64$$

6. $$\frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}} = 3{,}6^{\frac{324-284}{10}} = 3{,}6^4 = 167{,}96$$

Далее используем уравнение Аррениуса:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{Ae^{-\frac{E_a}{RT_2}}}{Ae^{-\frac{E_a}{RT_1}}} = e^{\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}}$$

$$v_2/v_1 = k_2/k_1$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k_2}{k_1} = e^{\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}} = 167{,}96$$

$$e^{\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}} = 167{,}96$$

$$\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2} = \ln 167{,}96$$

$$E_a = \frac{RT_1T_2 \ln 168}{T_2 - T_1} = \frac{8{,}314 \cdot 284 \cdot 324 \cdot \ln 167{,}96}{324 - 284} = 97994 \text{ Дж/моль}$$

Ответ. 98,0 кДж/моль.

7. 1) $O_3 + 2KI + H_2O \rightarrow 2KOH + I_2\downarrow + O_2$

2) $6KOH + 3Cl_2 \xrightarrow{t} 5KCl + KClO_3 + 3H_2O$

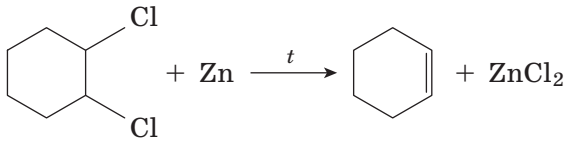
3) $2KClO_3 \xrightarrow{t} 2KCl + 3O_2\uparrow$

4) $S + O_2 \xrightarrow{t} SO_2$

5) $Na[Al(OH)_4] + SO_2 \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + NaHSO_3$

6) $2Al(OH)_3(т) + K_2CO_3(т) \xrightarrow{t} 2KAlO_2 + CO_2 + 3H_2O$

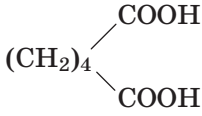
Ответ. **X** — KOH; **Y** — O_2; **Z** — $Al(OH)_3$.

8. 

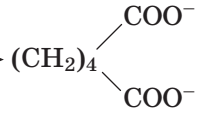
$$+ \text{Zn} \xrightarrow{t} + \text{ZnCl}_2$$

$$+ 8\text{KMnO}_4 + 12\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow$$

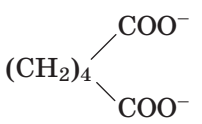
$$\longrightarrow 5\text{HOOC}—(\text{CH}_2)_4—\text{COOH} + 4\text{K}_2\text{SO}_4 + 8\text{MnSO}_4 + 12\text{H}_2\text{O}$$



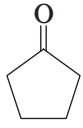
$$+ \text{Ca(OH)}_2 \longrightarrow$$



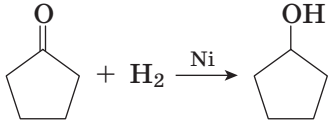
$$\text{Ca}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$$



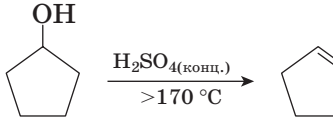
$$\text{Ca}^{2+} \xrightarrow{400\ ^\circ\text{C}}$$



$$+ \text{CaCO}_3$$



$$+ \text{H}_2 \xrightarrow{\text{Ni}}$$



$$\xrightarrow[>170\ ^\circ\text{C}]{\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{конц.})}}$$

$$+ \text{H}_2\text{O}$$

Ответ. **X** — C_6H_{10}; **Y** — $(CH_2)_4(COO)_2Ca$; **Z** — $C_5H_{10}O$.

9. $\text{Fe} + 6\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe(NO}_3)_3 + 3\text{NO}_2\uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$

$\text{Zn} + 4\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Zn(NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$

Из условия рассчитываем количество диоксида азота:

$$\nu(\text{NO}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 5{,}29}{8{,}314 \cdot 293} = 0{,}22 \text{ моль}$$

Пусть в реакцию вступило x моль Fe и y моль Zn.

$$\nu(\text{NO}_2) = 3x + 2y = 0{,}22 \text{ моль}$$

$$m(\text{сплава}) = m(\text{Fe}) + m(\text{Zn}) = 56x + 65y = 4{,}66 \text{ г}$$

$$\begin{cases} 3x + 2y = 0{,}22 \\ 56x + 65y = 4{,}66 \end{cases}$$

$$x = 0{,}06$$

$$y = 0{,}02$$

Сплав содержит 0,06 моль Fe и 0,02 моль Zn; суммарно 0,08 моль металлов. Мольные доли металлов в сплаве:

$$x(\text{Fe}) = 0{,}06 : 0{,}08 = 0{,}75, \text{ или } 75\%$$

$$x(\text{Zn}) = 0{,}02 : 0{,}08 = 0{,}25, \text{ или } 25\%$$

Рассчитаем массу исходного раствора азотной кислоты и массу азотной кислоты в этом растворе:

$$m(\text{р-ра } HNO_3) = V \cdot \rho = 31{,}25 \cdot 1{,}44 = 45 \text{ г}$$

$$m(HNO_3) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega(HNO_3) = 45 \cdot 0{,}7 = 31{,}5 \text{ г}$$

$$\nu(HNO_3) = \frac{m}{M} = \frac{31{,}5}{63} = 0{,}5 \text{ моль}$$

В реакции с железом и цинком израсходовано азотной кислоты:

$$\nu(HNO_3) = 6 \cdot 0{,}06 + 4 \cdot 0{,}02 = 0{,}44 \text{ моль}$$

Осталось в растворе:

$$\nu(HNO_3) = 0{,}5 - 0{,}44 = 0{,}06 \text{ моль}$$

При добавлении гидрокарбоната натрия протекают реакции:

$$HNO_3 + NaHCO_3 \rightarrow NaNO_3 + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$Fe(NO_3)_3 + 3NaHCO_3 \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 3NaNO_3$$

$$Zn(NO_3)_2 + 2NaHCO_3 \rightarrow ZnCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + 2NaNO_3 + H_2O$$

В этих реакций выделяется CO_2.

$$\nu(CO_2) = \nu(HNO_3) + 3\nu(\text{Fe}) + \nu(\text{Zn}) = 0{,}06 + 3 \cdot 0{,}06 + 0{,}02 = 0{,}26 \text{ моль}$$

При заданных условиях 0,26 моль диоксида углерода занимает объем:

$$V(CO_2) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0{,}26 \cdot 8{,}314 \cdot 293}{101{,}3} = 6{,}25 \text{ л}$$

Масса осадка, образовавшегося в реакции с гидрокарбонатом:

$$m = m(Fe(OH)_3) + m(ZnCO_3) = 0{,}06 \cdot 107 + 0{,}02 \cdot 125 = 8{,}92 \text{ г}$$

Ответ. 75%; 25%; 6,25 л; 8,92 г.

10. Исходное соединение, по-видимому, содержит азот.

$$\underset{a}{C_xH_yO_zN_f} + (x + 0{,}25y - 0{,}5z)O_2 \xrightarrow{t} \underset{xa}{xCO_2\uparrow} + \underset{0{,}5fa}{0{,}5fN_2\uparrow} + \underset{0{,}5ya}{0{,}5yH_2O\uparrow}$$

Увеличение массы трубки с P_2O_5 произошло в результате поглощения паров воды:

$$P_2O_5 + 3H_2O \to 2H_3PO_4$$

$$\nu(H_2O) = 0{,}5ya = 2{,}16 : 18 = 0{,}12 \text{ моль}$$

$$\nu(H) = 0{,}24 \text{ моль}$$

Поглощение CO_2 раствором гидроксида стронция приводит к образованию осадка карбоната стронция:

$$Sr(OH)_2 + CO_2 \to SrCO_3\downarrow + H_2O$$

$$\nu(SrCO_3) = xa = 11{,}84 : 148 = 0{,}08 \text{ моль}$$

$$\nu(C) = 0{,}08 \text{ моль}$$

Непоглощенный газ **Y** — это азот N_2.

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}502}{8{,}314 \cdot 306} = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(N) = 0{,}04 \text{ моль}$$

Далее необходимо проверить, содержит ли исходное соединение **X** кислород.

$$m(\mathbf{X}) = 1{,}76 = m(C_xH_yO_zN_f) = 12 \cdot \nu(C) + 1 \cdot \nu(H) + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot \nu(N) =$$

$$= 12 \cdot 0{,}08 + 1 \cdot 0{,}24 + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot 0{,}04 = 1{,}76 + 16 \cdot \nu(O)$$

$$\nu(O) = 0$$

Итак, в исходном соединении нет кислорода.

Находим брутто-формулу $C_xH_yN_f$.

$$x : y : f = 0{,}08 : 0{,}24 : 0{,}04 = 4 : 12 : 2$$

Искомая формула — $C_4H_{12}N_2$. Это алифатический диамин; его количество $1{,}76 : 88 = 0{,}02$ моль. При взаимодействии с HNO_2 выделилось 0,04 моль N_2 — вдвое больше, чем в реакции горения амина. Отсюда следует, что в диамине две первичные аминогруппы, например:

$$\underset{\mathbf{X}\ (0{,}02\ \text{моль})}{H_2N{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}NH_2} + 2HNO_2 \to$$

$$\to \underset{\mathbf{Z}}{HO{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}OH} + \underset{(0{,}04\ \text{моль})}{2N_2\uparrow} + 2H_2O$$

Напомним, что вторичные и третичные амины не выделяют азот при взаимодействии с HNO_2.

Ответ. **X** — $C_4H_{12}N_2$; **Z** — $C_4H_{10}O_2$.

ВАРИАНТ 4

1. Молярная масса газа, плотность которого по неону равна 2:

$$M(\text{газа}) = M(\text{Ne}) \cdot D_{\text{Ne}} = 20 \cdot 2 = 40 \text{ г/моль}$$

Такую молярную массу имеют C_3H_4 (пропин) и Ar.

2. В хромат-ионе CrO_4^{2-}:

$N(\text{p}) = 24 + 32 = 56$

$N(\text{e}) = N(\text{p}) + 2 = 58$

$$2K_2CrO_4 + 16HCl \rightarrow 3Cl_2\uparrow + 2CrCl_3 + 4KCl + 8H_2O$$

3. а) Электролиз водного раствора нитрата серебра:

$$4AgNO_3 + 2H_2O \rightarrow 4Ag + O_2 + 4HNO_3$$

б) Электролиз водного раствора гидроксида калия:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$$

4.

$$H_2N{-}CH(R){-}COOH + C_2H_5OH \rightarrow H_2N{-}CH(R){-}COO{-}C_2H_5 + H_2O$$

Пусть молярная масса искомой аминокислоты x г/моль; молярная масса эфира $(x + 28)$ г/моль. Из условия:

$$\frac{M(\text{эфира})}{M(\text{кислоты})} = 1{,}3146$$

$$\frac{x + 28}{x} = 1{,}3146$$

$$x = 89 \text{ г/моль}$$

Это аланин $H_2N{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}{-}OH$

5.

	SO_3(г)	+ CO(г)	$\rightleftarrows$ SO_2(г)	+ CO_2(г)
Было	1,0	3,0	0	0,5
Прореагировало	0,85	0,85		
По достижении равновесия	0,15	2,15	0,85	1,35

Константа равновесия:

$$K = \frac{0{,}85 \cdot 1{,}35}{0{,}15 \cdot 2{,}15} = 3{,}56$$

6. По правилу Вант-Гоффа:

$$\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \gamma^{\frac{T_2-T_1}{10}} = 3{,}06^{\frac{323-283}{10}} = 3{,}06^4 = 87{,}68$$

Далее используем уравнение Аррениуса:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{Ae^{-\frac{E_a}{RT_2}}}{Ae^{-\frac{E_a}{RT_1}}} = e^{\frac{E_a(T_2-T_1)}{RT_1T_2}}$$

$$\upsilon_2/\upsilon_1 = k_2/k_1$$

$$\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \frac{k_2}{k_1} = e^{\frac{E_a(T_2-T_1)}{RT_1T_2}} = 87{,}68$$

$$e^{\frac{E_a(T_2-T_1)}{RT_1T_2}} = 87{,}68$$

$$\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2} = \ln 87{,}68$$

$$E_a = \frac{RT_1T_2 \ln 168}{T_2 - T_1} = \frac{8{,}314 \cdot 283 \cdot 323 \cdot \ln 87{,}68}{323 - 283} = 84997 \text{ Дж/моль}$$

Ответ. 85 кДж/моль.

7. 1) $2CO_2 + 4KO_2 \xrightarrow{t} 2K_2CO_3 + 3O_2$

2) $S + O_2 \xrightarrow{t} SO_2$

3) $K[Cr(OH)_4] + SO_2 \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + KHSO_3$

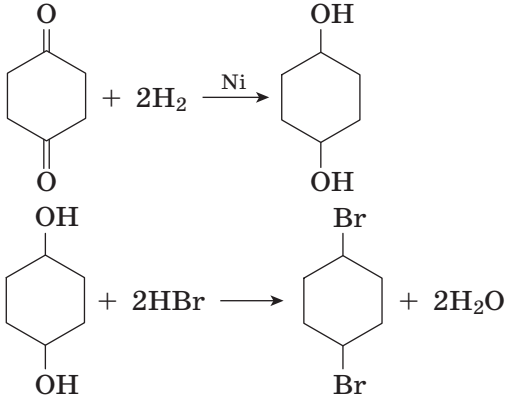
4) $NaOH(\text{водн.}) + Cr(OH)_3 \rightarrow Na[Cr(OH)_4]$

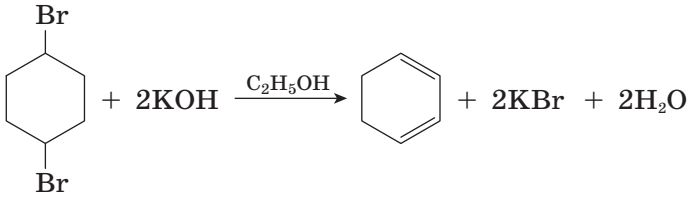
5) $Na[Cr(OH)_4] + 4HNO_3 \rightarrow NaNO_3 + Cr(NO_3)_3 + 4H_2O$

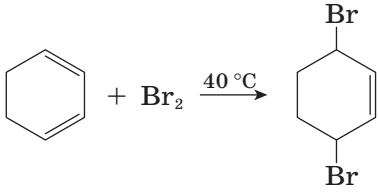
6) $4Cr(NO_3)_3 \xrightarrow{t} 2Cr_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

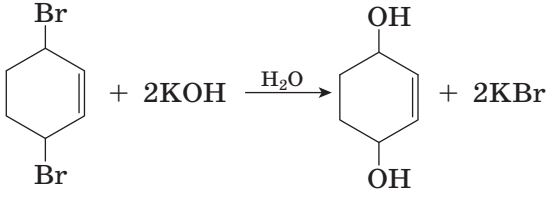
Ответ. **X** — O_2; **Y** — $Cr(OH)_3$; **Z** — $Cr(NO_3)_3$

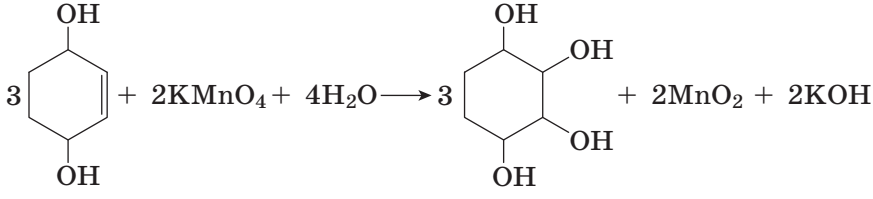
8.











Ответ. **X** — $C_6H_{12}O_2$; **Y** — C_6H_8; **Z** — $C_6H_{10}O_2$.

9. $Al + 6HNO_3 \to Al(NO_3)_3 + 3NO_2\uparrow + 3H_2O$

$Mn + 4HNO_3 \to Mn(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$

По условию, количество выделившегося диоксида азота:

$$\nu(NO_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 9{,}55}{8{,}314 \cdot 303} = 0{,}384 \text{ моль}$$

Пусть в реакцию вступило x моль Al и y моль Mn:

$$\nu(NO_2) = 3x + 2y = 0{,}384 \text{ моль}$$

$$m(\text{сплава}) = m(Al) + m(Mn) = 27x + 55y = 3{,}90 \text{ г}$$

Составим систему уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} 3x + 2y = 0{,}384 \\ 27x + 55y = 3{,}90 \end{cases}$$

$$x = 0{,}12$$

$$y = 0{,}012$$

Сплав содержит 0,12 моль Al и 0,012 моль Mn; в сумме 0,132 моль металлов. Мольные доли металлов в сплаве:

$$X(\text{Al}) = 0{,}12 : 0{,}132 = 0{,}91, \text{ или } 91\%$$

$$X(\text{Mn}) = 0{,}012 : 0{,}132 = 0{,}09, \text{ или } 9\%$$

Рассчитаем массу исходного раствора азотной кислоты и массу азотной кислоты в этом растворе:

$$m(\text{р-ра } HNO_3) = V \cdot \rho = 45{,}34 \cdot 1{,}445 = 65{,}52 \text{ г}$$

$$m(HNO_3) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega(HNO_3) = 65{,}52 \cdot 0{,}75 = 49{,}14 \text{ г}$$

$$\nu(HNO_3) = \frac{m}{M} = \frac{49{,}14}{63} = 0{,}78 \text{ моль}$$

Из этого количества азотной кислоты в реакции с алюминием и цинком израсходовано:

$$\nu(HNO_3) = 6 \cdot 0{,}12 + 4 \cdot 0{,}012 = 0{,}768 \text{ моль}$$

Осталось в растворе:

$$\nu(HNO_3) = 0{,}78 - 0{,}768 = 0{,}012 \text{ моль}$$

При добавлении гидрокарбоната натрия протекают реакции:

$$HNO_3 + NaHCO_3 \rightarrow NaNO_3 + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$Al(NO_3)_3 + 3NaHCO_3 \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 3NaNO_3$$

$$Mn(NO_3)_2 + 2NaHCO_3 \rightarrow MnCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + 2NaNO_3 + H_2O$$

Количество выделившегося CO_2:

$$\nu(CO_2) = \nu(HNO_3) + 3\nu(\text{Al}) + \nu(\text{Mn}) = \\ = 0{,}012 + 3 \cdot 0{,}12 + 0{,}012 = 0{,}384 \text{ моль}$$

При заданных условиях 0,384 моль диоксида углерода занимает следующий объем:

$$V(CO_2) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0{,}384 \cdot 8{,}314 \cdot 303}{101{,}3} = 9{,}55 \text{ л}$$

Масса осадка, образовавшегося в реакции с гидрокарбонатом:

$$m(\text{осадка}) = m(Al(OH)_3) + m(MnCO_3) = 0{,}12 \cdot 78 + 0{,}012 \cdot 115 = 10{,}74 \text{ г}$$

Ответ. 91%; 9%; 9,55 л; 10,74 г.

10. Исходное соединение, по-видимому, содержит азот.

$$\underset{a}{C_xH_yO_zN_f} + (x + 0{,}25y - 0{,}5z)O_2 \xrightarrow{t} \underset{xa}{xCO_2\uparrow} + \underset{0{,}5fa}{0{,}5fN_2\uparrow} + \underset{0{,}5ya}{0{,}5yH_2O\uparrow}$$

Масса трубки с $CaCl_2$ увеличилась в результате поглощения паров воды с образованием кристаллогидрата:

$$\nu(H_2O) = 0{,}5ya = 3{,}24/18 = 0{,}18 \text{ моль}$$

$$\nu(H) = 0{,}36 \text{ моль}$$

Поглощение CO_2 гидроксидом бария приводит к образованию осадка карбоната бария:

$$Ba(OH)_2 + CO_2 \rightarrow BaCO_3\downarrow + H_2O$$

$$\nu(BaCO_3) = xa = 23{,}64 : 197 = 0{,}12 \text{ моль}$$

$$\nu(C) = 0{,}12 \text{ моль}$$

Непоглощенный газ **Y** — это азот N_2.

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}731}{8{,}31 \cdot 297} = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(N) = 0{,}06 \text{ моль}$$

Далее необходимо проверить, содержит ли исходное соединение **X** кислород.

$$m(\mathbf{X}) = 2{,}64 = m(C_xH_yO_zN_f) = 12 \cdot \nu(C) + 1 \cdot \nu(H) + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot \nu(N) =$$

$$= 12 \cdot 0{,}12 + 1 \cdot 0{,}36 + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot 0{,}06 = 2{,}64 + 16 \cdot \nu(O)$$

$$\nu(O) = 0$$

Итак, исходное соединение не содержит кислород.

Находим брутто-формулу искомого соединения $C_xH_yN_{f.}$

$$x : y : f = 0{,}12 : 0{,}36 : 0{,}06 = 4 : 12 : 2$$

Искомая формула $C_4H_{12}N_2$. Это алифатический диамин; его количество $2{,}64 : 88 = 0{,}03$ моль. При взаимодействии с HNO_2 выделилось вдвое больше N_2 (0,06 моль), чем в реакции горения амина. Отсюда следует, что в диамине две первичные аминогруппы, например:

$$\underset{\mathbf{X}\ (0{,}03\ \text{моль})}{H_2N—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—NH_2} + 2HNO_2 \rightarrow$$

$$\rightarrow \underset{\mathbf{Z}}{HO—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—OH} + \underset{(0{,}06\ \text{моль})}{2N_2} + 2H_2O$$

Напомним, что вторичные и третичные амины не выделяют азот при взаимодействии с HNO_2.

Ответ. **X**—$C_4H_{12}N_2$; **Z** — $C_4H_{10}O_2$.

ВАРИАНТ 5 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. Молярная масса газа, плотность которого по гелию равна 8:

$$M(\text{газа}) = M(\text{He}) \cdot D_{\text{He}} = 4 \cdot 8 = 32 \text{ г/моль}$$

Такую молярную массу имеют O_2 и SiH_4.

2. В нитрит-ионе NO_2^-:

$N(\text{p}) = 7 + 16 = 23$
$N(\text{e}) = N(\text{p}) + 1 = 24$

$$2KMnO_4 + 5KNO_2 + 3H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 5KNO_3 + 3H_2O$$

3. а) Электролиз водного раствора бромоводородной кислоты:

$$2HBr \rightarrow H_2 + Br_2$$

б) Электролиз водного раствора сульфата меди(II):

$$2CuSO_4 + 2H_2O \rightarrow 2Cu + O_2 + 2H_2SO_4$$

4.

$$H_2N—CH(R)—COOH + C_2H_5OH \rightarrow H_2N—CH(R)—COO—C_2H_5 + H_2O$$

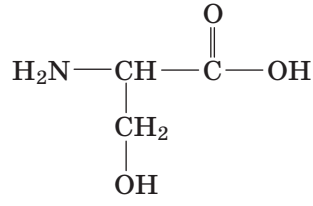
Пусть молярная масса искомой аминокислоты x г/моль; молярная масса эфира $(x + 28)$ г/моль. Из условия задачи:

$$\frac{M(\text{эфира})}{M(\text{кислоты})} = 1{,}1333$$

$$\frac{x + 28}{x} = 1{,}1333$$

$$x = 105{,}02 \text{ г/моль}$$

Это серин:



5.

$$SO_3(\text{г}) + CO(\text{г}) \rightleftarrows SO_2(\text{г}) + CO_2(\text{г})$$

Было	1,8	3,6	0	0,8 (моль)
Прореагировало	1,35	1,35		
По достижении равновесия	0,45	2,25	1,35	2,15

Константа равновесия:

$$K = \frac{2{,}15 \cdot 1{,}35}{0{,}45 \cdot 2{,}25} = 2{,}87$$

6. По правилу Вант-Гоффа:

$$\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}} = 2{,}27^{\frac{363-323}{10}} = 2{,}27^4 = 26{,}55$$

Используя уравнение Аррениуса:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{Ae^{-\frac{E_a}{RT_2}}}{Ae^{-\frac{E_a}{RT_1}}} = e^{\frac{E_a(T_2-T_1)}{RT_1T_2}}$$

$$\upsilon_2/\upsilon_1 = k_2/k_1$$

$$\frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \frac{k_2}{k_1} = e^{\frac{E_a(T_2-T_1)}{RT_1T_2}} = 26{,}55$$

$$e^{\frac{E_a(T_2-T_1)}{RT_1T_2}} = 26{,}55$$

$$\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2} = \ln 26{,}55$$

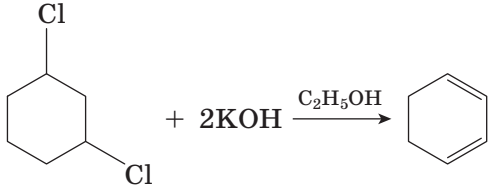
$$E_a = \frac{RT_1T_2 \ln 26{,}55}{T_2 - T_1} = \frac{8{,}314 \cdot 323 \cdot 363 \cdot \ln 26{,}55}{323 - 283} =$$

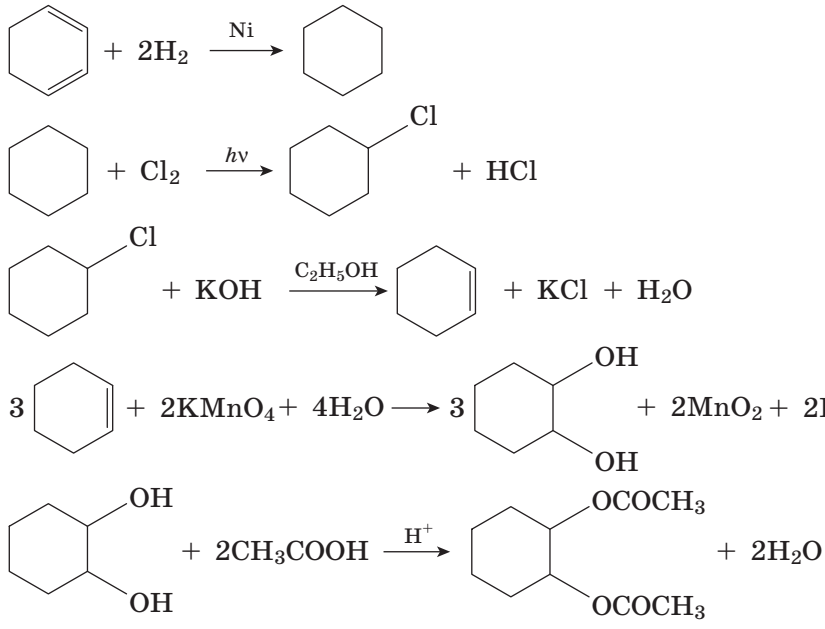
$$= 79911 \text{ Дж/моль} = 80 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. 80 кДж/моль.

7. 1) $SO_2 + NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4HSO_3$
или
$SO_2 + 2NH_3 + H_2O \rightarrow (NH_4)_2SO_3$
2) $NH_4HSO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_3\downarrow + NH_3\uparrow + 2H_2O$
3) $Ag_2O + 4NH_3 + H_2O \rightarrow 2[Ag(NH_3)_2]OH$
4) $CH_3{-}CHO + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow$
$\rightarrow CH_3COONH_4 + 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$
5) $Ag + 2HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow AgNO_3 + NO_2\uparrow + H_2O$
6) $3AgNO_3 + Na_3PO_4 \rightarrow Ag_3PO_4\downarrow + 3NaNO_3$

Ответ. **X** — NH_4HCO_3 или $(NH_4)_2CO_3$; **Y** — $[Ag(NH_3)_2]OH$; **Z** — $AgNO_3$.

8. 



Ответ. **X** — C_6H_8; **Y** — $C_6H_{11}Cl$; **Z** — $C_6H_{12}O_2$.

9. $Cr + 6HNO_3 \rightarrow Cr(NO_3)_3 + 3NO_2\uparrow + 3H_2O$

$Co + 4HNO_3 \rightarrow Co(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$

По условию, количество выделившегося диоксида азота:

$$\nu(NO_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 6{,}42}{8{,}314 \cdot 295} = 0{,}265 \text{ моль}$$

Пусть в реакцию вступило x моль Cr и y моль Co:

$$\nu(NO_2) = 3x + 2y = 0{,}265 \text{ моль}$$

$$m(\text{сплава}) = m(Cr) + m(Co) = 52x + 59y = 5{,}08 \text{ г}$$

Составим систему уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} 3x + 2y = 0{,}265 \\ 52x + 59y = 5{,}08 \end{cases}$$

$$x = 0{,}075$$

$$y = 0{,}02$$

Сплав содержит 0,075 моль Cr и 0,02 моль Co; в сумме 0,095 моль металлов. Мольные доли металлов в сплаве:

$$x(Cr) = \frac{0{,}075}{0{,}095} = 0{,}79, \text{ или } 79\%$$

$$x(\text{Co}) = \frac{0{,}02}{0{,}095} = 0{,}21, \text{ или } 21\%$$

Рассчитаем массу исходного раствора азотной кислоты и массу азотной кислоты в этом растворе.

$$m(\text{р-ра } HNO_3) = V \cdot \rho = 37{,}79 \cdot 1{,}445 = 54{,}61 \text{ г}$$

$$m(HNO_3) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega(HNO_3) = 54{,}61 \cdot 0{,}75 = 40{,}96 \text{ г}$$

Количество азотной кислоты:

$$\nu(HNO_3) = \frac{m}{M} = \frac{40{,}96}{63} = 0{,}65 \text{ моль}$$

Из этого количества азотной кислоты в реакции с хромом и кобальтом израсходовано:

$$\nu(HNO_3) = 6 \cdot 0{,}075 + 4 \cdot 0{,}02 = 0{,}53 \text{ моль}$$

Осталось в растворе:

$$\nu(HNO_3) = 0{,}65 - 0{,}53 = 0{,}12 \text{ моль}$$

При добавлении гидрокарбоната натрия протекают реакции:

$$HNO_3 + NaHCO_3 \rightarrow NaNO_3 + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$Cr(NO_3)_3 + 3NaHCO_3 \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 3NaNO_3$$

$$Co(NO_3)_2 + 2NaHCO_3 \rightarrow CoCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + 2NaNO_3 + H_2O$$

Количество выделившегося CO_2:

$$\nu(CO_2) = \nu(HNO_3) + 3\nu(Cr) + \nu(Co) =$$

$$= 0{,}12 + 3 \cdot 0{,}075 + 0{,}02 = 0{,}365 \text{ моль}$$

При заданных условиях 0,365 моль диоксида углерода занимает объем:

$$V(CO_2) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0{,}365 \cdot 8{,}314 \cdot 295}{101{,}3} = 8{,}84 \text{ л}$$

Масса осадка, образовавшегося в реакции с гидрокарбонатом:

$$m(\text{осадка}) = m(Cr(OH)_3) + m(CoCO_3) =$$

$$= 0{,}075 \cdot 103 + 0{,}02 \cdot 119 = 10{,}105 \text{ г}$$

Ответ. 79%; 21%; 8,84 л; 10,105 г.

10. Исходное соединение, по-видимому, содержит азот.

$$\underset{a}{C_xH_yO_zN_f} + (x + 0{,}25y - 0{,}5z)O_2 \xrightarrow{t} \underset{xa}{xCO_2\uparrow} + \underset{0{,}5fa}{0{,}5fN_2\uparrow} + \underset{0{,}5ya}{0{,}5yH_2O\uparrow}$$

Увеличение массы трубки с $CaCl_2$ произошло в результате поглощения паров воды с образованием кристаллогидрата.

$$\nu(H_2O) = 0{,}5ya = 2{,}88/18 = 0{,}16 \text{ моль}$$

$$\nu(H) = 0{,}32 \text{ моль}$$

Поглощение CO_2 раствором гидроксида бария образуется осадок карбоната бария:

$$Ba(OH)_2 + CO_2 \rightarrow BaCO_3\downarrow + H_2O$$

$$\nu(BaCO_3) = xa = \frac{15{,}76}{197} = 0{,}08 \text{ моль}$$

$$\nu(C) = 0{,}08 \text{ моль}$$

Непоглощенный газ **Y** — это азот N_2.

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}984}{8{,}314 \cdot 300} = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$\nu(N) = 0{,}08 \text{ моль}$$

Далее необходимо проверить, содержало ли исходное соединение **X** кислород.

$$m(\mathbf{X}) = 2{,}4 = m(C_xH_yO_zN_f) = 12 \cdot \nu(C) + 1 \cdot \nu(H) + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot \nu(N) =$$

$$= 12 \cdot 0{,}08 + 1 \cdot 0{,}32 + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot 0{,}08 = 2{,}4 + 16 \cdot \nu(O)$$

$$\nu(O) = 0$$

Исходное соединение не содержит кислорода.

Находим брутто-формулу искомого соединения $C_xH_yN_f$:

$$x : y : f = 0{,}08 : 0{,}32 : 0{,}08 = 2 : 8 : 2$$

Искомая формула $C_2H_8N_2$. Это алифатический диамин; его количество 2,4 : 60 = 0,04 моль. При взаимодействии с HNO_2 выделилось вдвое больше N_2, чем в реакции горения амина (0,08 моль). Отсюда следует, что поэтому в диамине две первичные аминогруппы, например:

$$\underset{\mathbf{X}\ (0{,}04\ \text{моль})}{H_2N{-}CH_2{-}CH_2{-}NH_2} + 2HNO_2 \rightarrow$$

$$\rightarrow \underset{\mathbf{Z}}{HO{-}CH_2{-}CH_2{-}OH} + \underset{(0{,}08\ \text{моль})}{2N_2\uparrow} + 2H_2O$$

Напомним, что вторичные и третичные амины не выделяют азот при взаимодействии с HNO_2.

Ответ. **X** — $C_2H_8N_2$: **Z** — $C_2H_6O_2$.

ВАРИАНТ 6 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. Молярная масса этана 30 г/моль; такую же молярную массу имеют газообразные NO и формальдегид CH_2O.

2. В дихромат-ионе $Cr_2O_7^{2-}$:

$N(\text{p}) = 48 + 56 = 104$

$N(\text{e}) = N(\text{p}) + 2 = 106$

$$K_2Cr_2O_7 + 14HCl \rightarrow 3Cl_2\uparrow + 2KCl + 2CrCl_3 + 7H_2O$$

3. а) Электролиз водного раствора серной кислоты:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$$

б) Электролиз водного раствора хлорида стронция:

$$SrCl_2 + 2H_2O \rightarrow Sr(OH)_2 + H_2 + Cl_2$$

4.

$$H_2N{-}CH(R){-}COOH + C_2H_5OH \rightarrow H_2N{-}CH(R){-}COO{-}C_2H_5 + H_2O$$

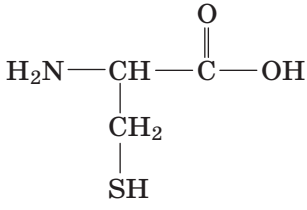
Пусть молярная масса искомой аминокислоты x г/моль; молярная масса эфира $(x + 28)$ г/моль. Из условия задачи:

$$\frac{M(\text{эфира})}{M(\text{кислоты})} = 1{,}1157$$

$$\frac{x + 28}{x} = 1{,}1157$$

$$x = 121{,}00 \text{ г/моль}$$

Это цистеин:



5.

	$SO_3(г)$	$+\ H_2(г)$	$\rightleftarrows\ SO_2(г)$	$+\ H_2O(г)$
Было	2,0	2,5	0	0,5
Прореагировало	1,4	1,4		
По достижении равновесия	0,6	1,1	1,4	1,9

Константа равновесия:

$$K = \frac{1{,}4 \cdot 1{,}9}{0{,}6 \cdot 1{,}1} = 4{,}03$$

Ответ. 4,03.

6. По правилу Вант-Гоффа:

$$\frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{T_2-T_1}{10}} = 2{,}05^{\frac{338-298}{10}} = 2{,}05^4 = 17{,}66$$

Далее используем уравнение Аррениуса:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{Ae^{-\frac{E_a}{RT_2}}}{Ae^{-\frac{E_a}{RT_1}}} = e^{\frac{E_a(T_2-T_1)}{RT_1T_2}}$$

$$v_2/v_1 = k_2/k_1$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k_2}{k_1} = e^{\frac{E_a(T_2-T_1)}{RT_1T_2}} = 17{,}66$$

$$e^{\frac{E_a(T_2-T_1)}{RT_1T_2}} = 17{,}66$$

$$\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2} = \ln 17{,}66$$

$$E_a = \frac{RT_1T_2 \ln 168}{T_2 - T_1} = \frac{8{,}314 \cdot 298 \cdot 338 \cdot \ln 17{,}66}{323 - 283} =$$

$$= 60112 \text{ Дж/моль} = 60{,}1 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. 60,1 кДж/моль.

7. 1) $4KOH + 4NO_2 + O_2 \rightarrow 4KNO_3 + 2H_2O$

2) $2KNO_3 \xrightarrow{t} 2KNO_2 + O_2\uparrow$

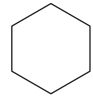
3) $2C + O_2(\text{недост.}) \xrightarrow{t} 2CO$

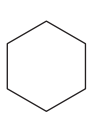
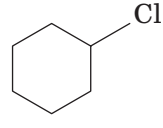
4) $CO + KOH \xrightarrow{p,t} HCOOK$

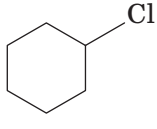
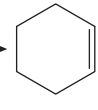
5) $HCOOK + HCl \rightarrow HCOOH + KCl$

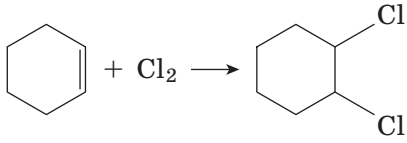
6) $HCOOH \xrightarrow{t,\,H_2SO_4\,(\text{конц.})} CO\uparrow + H_2O$

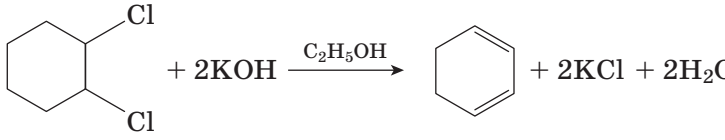
Ответ. **X** — KNO_3; **Y** — CO; **Z** — HCOOH.

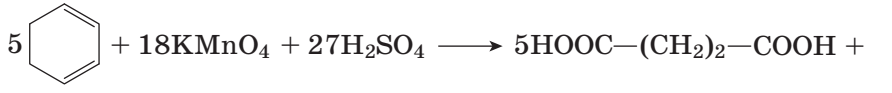
8. $Cl(CH_2)_6Cl + Zn \xrightarrow{t}$  $+ ZnCl_2$

 $+ Cl_2 \xrightarrow{h\nu}$  $+ HCl$

 $+ KOH \xrightarrow{C_2H_5OH}$  $+ KCl + H_2O$







Ответ. **X** — C_6H_{12}; **Y** — C_6H_{10}; **Z** — C_6H_8.

9. $Cr + 6HNO_3 \rightarrow Cr(NO_3)_3 + 3NO_2\uparrow + 3H_2O$

$Mn + 4HNO_3 \rightarrow Mn(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$

По условию, количество выделившегося диоксида азота:

$$\nu(NO_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 4{,}57}{8{,}314 \cdot 301} = 0{,}185 \text{ моль}$$

Пусть в реакцию вступило x моль хрома и y моль марганца.

$$\nu(NO_2) = 3x + 2y = 0{,}185 \text{ моль}$$

$$m(\text{сплава}) = m(Cr) + m(Co) = 52x + 55y = 3{,}41 \text{ г}$$

$$\begin{cases} 3x + 2y = 0{,}185 \\ 52x + 55y = 3{,}41 \end{cases}$$

$$x = 0{,}055$$

$$y = 0{,}01$$

Сплав содержит 0,055 моль Cr и 0,01 моль Mn; суммарно 0,065 моль металлов. Мольные доли металлов в сплаве:

$$x(Cr) = \frac{0{,}055}{0{,}065} = 0{,}846, \text{ или } 84{,}6\%$$

$$x(Mn) = \frac{0{,}01}{0{,}065} = 0{,}154, \text{ или } 15{,}4\%$$

Рассчитаем массу исходного раствора азотной кислоты и массу азотной кислоты в этом растворе:

$$m(\text{р-ра } HNO_3) = V \cdot \rho = 20{,}10 \cdot 1{,}475 = 29{,}65 \text{ г}$$

$$m(HNO_3) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega(HNO_3) = 29{,}65 \cdot 0{,}85 = 25{,}2 \text{ г}$$

$$\nu(HNO_3) = \frac{m}{M} = \frac{25{,}2}{63} = 0{,}4 \text{ моль}$$

В реакции с хромом и марганцем израсходовано азотной кислоты:

$$\nu(HNO_3) = 6 \cdot 0{,}055 + 4 \cdot 0{,}01 = 0{,}37 \text{ моль}$$

Осталось в растворе:

$$\nu(HNO_3) = 0{,}4 - 0{,}37 = 0{,}03 \text{ моль}$$

При добавлении гидрокарбоната натрия протекают реакции:

$$HNO_3 + NaHCO_3 \rightarrow NaNO_3 + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$Cr(NO_3)_3 + 3NaHCO_3 \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 3NaNO_3$$

$$Mn(NO_3)_2 + 2NaHCO_3 \rightarrow MnCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + 2NaNO_3 + H_2O$$

Количество выделившегося CO_2:

$$\nu(CO_2) = \nu(HNO_3) + 3\nu(Cr) + \nu(Mn) =$$

$$= 0{,}03 + 3 \cdot 0{,}055 + 0{,}01 = 0{,}205 \text{ моль}$$

0,205 моль диоксида углерода при заданных условиях занимает следующий объем:

$$V(CO_2) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0{,}205 \cdot 8{,}314 \cdot 301}{101{,}3} = 5{,}06 \text{ л}$$

Масса осадка, образовавшегося в результате реакции с гидрокарбонатом:

$$m(\text{осадка}) = m(Cr(OH)_3) + m(MnCO_3) =$$

$$= 0{,}055 \cdot 103 + 0{,}01 \cdot 115 = 6{,}815 \text{ г}$$

Ответ. 84,6%; 15,4%; 5,06 л; 6,815 г.

10. Исходное соединение, по-видимому, содержит азот.

$$\underset{a}{C_xH_yO_zN_f} + (x + 0{,}25y - 0{,}5z)O_2 \xrightarrow{t} \underset{xa}{xCO_2\uparrow} + \underset{0{,}5fa}{0{,}5fN_2\uparrow} + \underset{0{,}5ya}{0{,}5yH_2O\uparrow}$$

Увеличение массы содержимого трубки с P_2O_5 произошло в результате поглощения паров воды:

$$P_2O_5 + 3H_2O \rightarrow 2H_3PO_4$$

$$\nu(H_2O) = 0{,}5ya = 1{,}89 : 18 = 0{,}105 \text{ моль}$$

$$\nu(H) = 0{,}21 \text{ моль}$$

Поглощение CO_2 гидроксидом бария приводит к образованию осадка карбоната бария:

$$Ba(OH)_2 + CO_2 \rightarrow BaCO_3\downarrow + H_2O$$

$$\nu(BaCO_3) = xa = \frac{14{,}775}{197} = 0{,}075 \text{ моль}$$

$$\nu(C) = 0{,}075 \text{ моль}$$

Непоглощенный газ **Y** — это азот N_2.

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}371}{8{,}314 \cdot 301} = 0{,}015 \text{ моль}$$

$$\nu(N) = 0{,}03 \text{ моль}$$

Проверим, содержит ли исходное соединение **X** кислород.

$$m(\mathbf{X}) = 1{,}53 = m(C_xH_yO_zN_f) = 12 \cdot \nu(C) + 1 \cdot \nu(H) + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot \nu(N) =$$

$$= 12 \cdot 0{,}075 + 1 \cdot 0{,}21 + 16 \cdot \nu(O) + 14 \cdot 0{,}03 = 1{,}53 + 16 \cdot \nu(O)$$

$$\nu(O) = 0$$

В исходном соединении нет кислорода. Находим брутто-формулу искомого соединения $C_xH_yN_f$:

$$x : y : f = 0{,}075 : 0{,}21 : 0{,}03 = 5 : 14 : 2$$

Искомое соединение имеет формулу $C_5H_{14}N_2$. Это алифатический диамин; его количество $1{,}53 : 102 = 0{,}015$ моль. При взаимодействии с HNO_2 выделилось вдвое больше N_2 (0,03 моль), чем в реакции горения амина. Отсюда следует, что в исходном диамине две первичные аминогруппы, например:

$$\underset{\mathbf{X}}{H_2N{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}NH_2} + 2HNO_2 \rightarrow$$

$$\rightarrow \underset{\mathbf{Z}}{HO{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}OH} + 2N_2 + 2H_2O$$

Заметим, что вторичные и третичные амины не выделяют азот при взаимодействии с HNO_2.

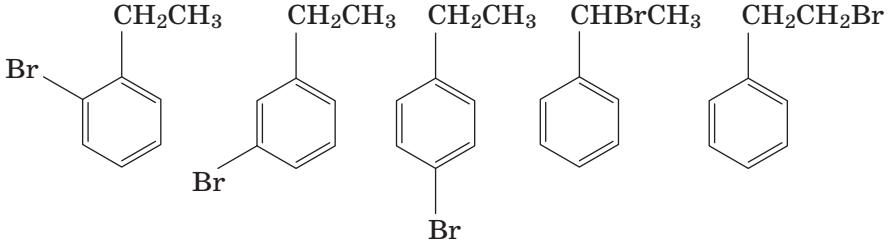
Ответ. **X** — $C_5H_{14}N_2$; **Z** — $C_5H_{12}O_2$.

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

1. H_2. Валентность: H(I), степень окисления: H^0;
$KBrO_3$. Валентности: K(I), Br(V), O(II), степени окисления: K^{+1}, Br^{+5}, O^{-2}.

2. $C_2H_5Br + KOH(\text{водн. р-р}) \rightarrow C_2H_5OH + KBr$

3. Существует пять изомерных бромэтилбензолов:



4. При нагревании нитрат серебра полностью разлагается:

$$2AgNO_3 \xrightarrow{t} 2Ag + 2NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$M(AgNO_3) = 170$ г/моль

$M(Ag) = 108$ г/моль.

$$n = \frac{170}{108} = 1{,}57$$

Ответ. В 1,57 раз.

5. $CH_3COOLi + H_2O \rightleftarrows Li^+ + OH^- + CH_3COOH$ Среда щелочная

$P_2O_5 + 3H_2O \rightarrow 2H_3PO_4 \rightleftarrows H + H_2PO_4^-$ Среда кислотная

$ZnSO_4 + H_2O \rightleftarrows ZnOH^+ + SO_4^{2-} + H^+$ Среда кислотная

$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$, гидролиз не идет Среда нейтральная

6. В равновесной системе

$$CO(г) + H_2O(г) \rightleftarrows CO_2(г) + H_2(г)$$

в любой момент находится 5 моль газов, поскольку их общее количество в результате реакции не изменяется. Используя уравнение Клапейрона–Менделеева, рассчитаем общее давление газов в сосуде:

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{5 \cdot 8{,}314 \cdot 530}{13{,}44} = 1639{,}3 \text{ кПа}$$

Ответ. 1639,3 кПа.

7. 1) $2FeBr_3 + 3Ba(OH)_2 \rightarrow 3BaBr_2 + 2Fe(OH)_3\downarrow$

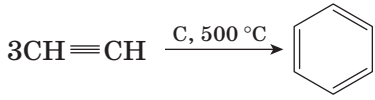
2) $2Fe_2S_3 + 9O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 6SO_2\uparrow$

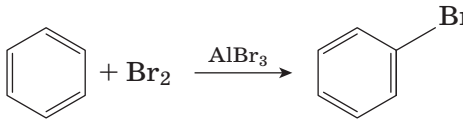
3) $Cu + 4HNO_3(конц.) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$

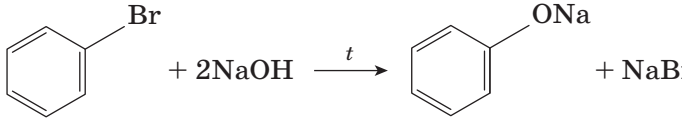
4) $2AlCl_3 + 3K_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 6KCl + 3CO_2\uparrow$

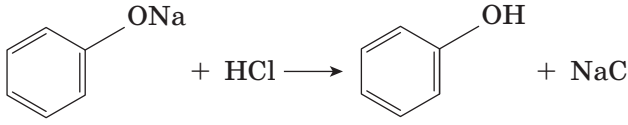
8. $CH_2{=}CH_2 + Br_2(водн.\ р\text{-}р) \rightarrow CH_2Br{-}CH_2Br$

$CH_2Br{-}CH_2Br + 2KOH \xrightarrow{t,\ спирт} CH{\equiv}CH + 2KBr + 2H_2O$

$3CH{\equiv}CH \xrightarrow{C,\ 500\ ^\circ C}$ 







9. При добавлении воды к смеси карбида и нитрида алюминия протекают реакции:

$$\underset{x}{Al_4C_3} + 12H_2O \rightarrow \underset{4x}{4Al(OH)_3}\downarrow + \underset{3x}{3CH_4}\uparrow$$

$$\underset{y}{AlN} + 3H_2O \rightarrow \underset{y}{Al(OH)_3}\downarrow + \underset{y}{NH_3}\uparrow$$

Исходя из условия задачи и уравнений реакций составим систему уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} 144x + 41y = 2{,}26 \\ 4 \cdot 78x + 78y = 4{,}68 \end{cases}$$

$$x = 0{,}01$$

$$y = 0{,}02$$

В результате реакций выделилось 0,03 моль CH_4 и 0,02 моль NH_3, что в сумме составляет 0,05 моль. Суммарный объем выделившихся газов при н. у.:

$$V = 22{,}4 \cdot 0{,}05 = 1{,}12 \text{ л}$$

Объемы метана и аммиака:

$$V(CH_4) = 22{,}4 \cdot 0{,}03 = 0{,}672 \text{ л}$$

$$V(NH_3) = 22{,}4 \cdot 0{,}02 = 0{,}448 \text{ л}$$

Ответ. 0,672 л CH_4; 0,448 л NH_3; в сумме 1,12 л.

10. Введем обозначения: $\nu(CH_4) = x$ моль, $\nu(C_3H_6) = y$ моль.

$$\nu(C) = x + 3y$$

$$\nu(H) = 4x + y$$

По условию, $\nu(H) = 2{,}5\ \nu(C)$, отсюда $x = y$. В смеси содержится одинаковое число молей метана и пропена. При пропускании смеси через склянку с бромной водой протекает реакция:

$$CH_3CH{=}CH_2 + Br_2(\text{водн.}) \rightarrow CH_3CHBr{-}CH_2Br$$

$$\nu(C_3H_6) = \frac{21}{42} = 0{,}5 \text{ моль}$$

Оставшийся газ — это метан, количество которого также 0,5 моль; метан реагирует с избытком хлора:

$$CH_4 + 4Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CCl_4 + 4HCl$$

Рассчитаем объем хлора:

$$V = \frac{\nu RT}{p} = \frac{4 \cdot 0{,}5 \cdot 8{,}314 \cdot 293}{101{,}3} = 48{,}0 \text{ л}$$

Ответ. 48 л.

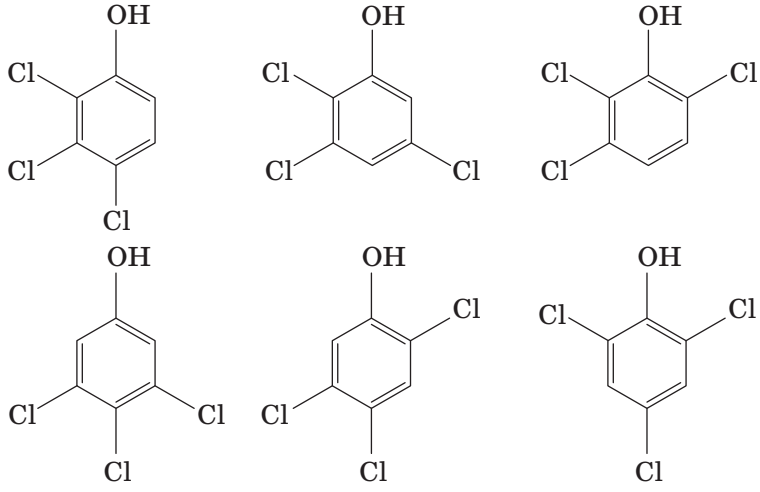
ФИЛИАЛ ХИМИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ В БАКУ

1. Cl_2. Валентность: Cl^{I}; степень окисления; Cl^{0}.
$CaCO_3$. Валентности: Ca^{II}, C^{IV}, O^{II}; степени окисления: Ca^{+2}, C^{+4}, O^{-2}.

2. Реакция хлорэтана с гидроксидом калия в спиртовом растворе:

$$C_2H_5Cl + KOH(\text{спирт. р-р}) \rightarrow CH_2{=}CH_2 + KCl + H_2O$$

3. Существует шесть изомерных трихлорфенолов:



4. $2Cu(NO_3)_2 \xrightarrow{t} 2CuO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

$M(Cu(NO_3)_2) = 188$ г/моль

$M(CuO) = 80$ г/моль.

$n = 188 : 80 = 2{,}35$

Ответ. В 2,35 раза.

5. $2Li + 2H_2O \rightarrow 2Li^+ + 2OH^- + H_2$ Среда щелочная

$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3 \rightleftarrows H + HSO_3^-$ Среда кислотная

$K_2CO_3 + H_2O \rightleftarrows 2K^+ + HCO_3^- + OH^-$ Среда щелочная

$NaNO_3 \rightarrow Na^+ + NO_3^-$ Гидролиз не идет, среда нейтральная

6. В равновесной системе в любой момент находится 3 моль газов:

$$H_2(г) + I_2(г) \rightleftarrows 2HI(г)$$

Используя уравнение Клапейрона–Менделеева, рассчитаем общее давление газов в сосуде:

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{3 \cdot 8{,}314 \cdot 500}{11{,}2} = 1113{,}5 \text{ кПа}$$

Ответ. 1113,5 кПа.

7. 1) $FeBr_3 + 3NaOH \rightarrow 3NaBr + Fe(OH)_3\downarrow$

2) $2ZnS + 2O_2 \xrightarrow{t} 2ZnO + SO_2\uparrow$

3) $S + 6HNO_3(конц.) \rightarrow H_2SO_4 + 6NO_2\uparrow + 2H_2O$

4) $2AlBr_3 + 3K_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 6KBr + 3CO_2\uparrow$

8. 1) $CH_3CH_2Cl + KOH \xrightarrow{t,\text{спирт}} CH_2{=}CH_2 + KCl + H_2O$

2) $CH_2{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{H^+,t} CH_3CH_2OH$

3) $5CH_3CH_2OH + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5CH_3COOH + 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 8H_2O$

4) $CH_3COOH + Cl_2 \xrightarrow{P_{\text{красн}}} ClCH_2COOH + HCl$

5) $ClCH_2COOH + 2NH_3 \rightarrow NH_2CH_2COOH + NH_4Cl$

6) $NH_2CH_2COOH + CH_3OH \xrightarrow{H^+} NH_2CH_2COOCH_3 + H_2O$

9.
$$\underset{x}{AlH_3} + 3H_2O \rightarrow \underset{x}{Al(OH)_3}\downarrow + \underset{3x}{3H_2}\uparrow$$

$$\underset{y}{AlN} + 3H_2O \rightarrow \underset{y}{Al(OH)_3}\downarrow + \underset{y}{NH_3}\uparrow$$

$$\begin{cases} 30x + 41y = 1{,}31 \\ 3x + y = \dfrac{2{,}24}{22{,}4} = 0{,}1 \end{cases}$$

$x = 0{,}03$

$y = 0{,}01$

В осадке 0,04 моль $Al(OH)_3$:

$$m(Al(OH)_3) = 78 \cdot 0{,}04 = 3{,}12 \text{ г}$$

Ответ. 3,12 г.

10. Введем обозначения: $\nu(CH_4) = x$ моль, $\nu(C_2H_2) = y$ моль.

$$m(C) = 12(x + 2y)$$

$$m(H) = 4x + 2y$$

По условию, $m(C) = 6\ m(H)$, отсюда $x = y$. В смеси одинаковое количество (молей) метана и ацетилена. При пропускании смеси через склянку с бромной водой протекает реакция:

$$C_2H_2 + 2Br_2(\text{водн.}) \rightarrow CHBr_2{-}CHBr_2$$

$$\nu(C_2H_2) = \frac{6{,}5}{26} = 0{,}25 \text{ моль}$$

Оставшийся газ — метан, количество которого 0,25 моль, метан реагирует с избытком хлора:

$$CH_4 + 4Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CCl_4 + 4HCl$$

Рассчитаем объем хлора:

$$V = \frac{\nu RT}{p} = \frac{4 \cdot 0{,}25 \cdot 8{,}314 \cdot 293}{101{,}3} = 24{,}0 \text{ л}$$

Ответ. 24 л.

2012 ГОД

ОЛИМПИАДА «ПОКОРИ ВОРОБЬЁВЫ ГОРЫ!»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. K_2O и KO_2, N_2O и NO_2, и т. п.

2. Известны вещества, которые окисляются кислородом и восстанавливаются водородом, например NO, CO и CH_2O.

Уравнения реакций окисления:

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$

$$2CH_2O + O_2 \rightarrow 2HCOOH$$

В этих реакциях число молей (объем) каждого газа в 2 раза больше числа молей (объема) кислорода, что согласуется с условием.

Уравнения реакций восстановления:

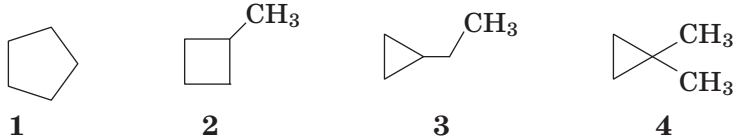
$$2NO + 2H_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O$$

$$CO + H_2 \rightarrow C + H_2O$$

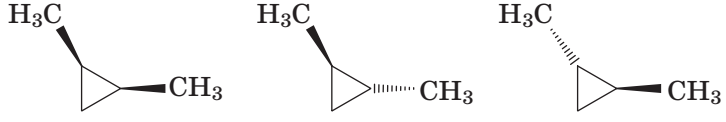
$$CH_2O + H_2 \rightarrow CH_3OH$$

В этих реакциях число молей (объем) каждого газа равно числу молей (объему) водорода, что также согласуется с условием.

3. Брутто-формулу C_5H_{10} имеют следующие соединения:



1 **2** **3** **4**



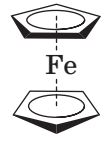
5 **6** **7**

Структурные формулы **6** и **7** — это два энантиомера (зеркальные изомеры) *транс*-диметилциклопропана.

4. Запишем формулу в общем виде: $Fe_xC_yH_z$. Зная массовые доли каждого элемента, можно для 100 г вещества составить следующую пропорцию:

$$x : y : z = \frac{30{,}11}{56} : \frac{64{,}51}{12} : \frac{5{,}38}{1} = 0{,}5377 : 0{,}5376 : 5{,}38 = 1 : 10 : 10$$

Отсюда брутто-формула искомого соединения — $FeC_{10}H_{10}$. Это ферроцен — сэндвичевое металлокомплексное соединение.



Ответ. $FeC_{10}H_{10}$.

5. Пусть формула кристаллогидрата $\mathbf{X} \cdot n H_2O$. Рассчитаем количество безводной соли в 500 мл раствора:

$$\nu(\mathbf{X}) = 0{,}500 \cdot 0{,}621 = 0{,}3105 \text{ моль}$$

Зная навеску кристаллогидрата, можно рассчитать его молярную массу:

$$M(\mathbf{X} \cdot n H_2O) = \frac{m}{\nu} = \frac{100}{0{,}3105} = 322 \text{ г/моль}$$

По условию, массовая доля воды в кристаллогидрате 0,559, отсюда в 1 моль кристаллогидрата масса воды:

$$m(H_2O) = 322 \cdot 0{,}559 = 180 \text{ г}$$

что составляет 180 : 18 = 10 моль. Молярная масса безводной соли:

$$M(\mathbf{X}) = 322 - 180 = 142 \text{ г/моль}$$

$$M(Na_2SO_4) = 23 \cdot 2 + 32 + 16 \cdot 4 = 142.$$

Итак, это Na_2SO_4. Формула кристаллогидрата — $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$.
Ответ. $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, декагидрат сульфата натрия.

6. Уравнение реакции нейтрализации органической кислоты:

$$C_xH_yO_z + n\text{NaOH} \rightarrow C_xH_{y-n}O_zNa_n + nH_2O$$

Выразим молярные массы кислоты и образовавшейся соли:

$$M(\text{кислоты}) = 12x + y + 16z = M$$

$$M(\text{соли}) = 12x + y - n + 16z + 23n = 12x + y + 16z + 22n = M + 22n$$

Из условия, количество кислоты и количество соли:

$$\nu(\text{кислоты}) = \frac{27{,}6}{M} \text{ (моль)}$$

$$\nu(\text{соли}) = \frac{36{,}4}{M + 22n} \text{ (моль)}$$

Но, согласно уравнению реакции, ν(кислоты) = ν(соли).

$$\frac{27{,}6}{M} = \frac{36{,}4}{M + 22n}$$

$$M = 69n$$

Массовая доля кислорода в кислоте (по условию):

$$\omega(\text{O}) = \frac{16z}{M} = \frac{16z}{69n} = 0{,}3478$$

$$z = 1{,}5n$$

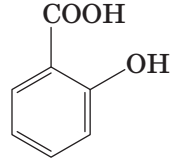
При $n = 1$: $M = 69$, $z = 1{,}5$. Эти значения не подходят, так как z — целое число.

При $n = 2$: $M = 138$, $z = 3$.

$$M = 12x + y + 48 = 138$$

Методом подбора находим: $x = 7$, $y = 6$.

Формула кислоты $C_7H_6O_3$. Это может быть один из изомеров гидроксибензойных кислот, например салициловая кислота:



Ответ. Гидроксибензойная кислота $C_7H_6O_3$.

7. Реакция взаимодействия металла M с соляной кислотой (n — валентность металла M):

$$\text{M} + n\text{HCl} \rightarrow \text{MCl}_n + \frac{n}{2}\text{H}_2\uparrow$$

По условию, количество выделившегося водорода:

$$\nu(\text{H}_2) = 13{,}44 : 22{,}4 = 0{,}6 \text{ моль}$$

Отсюда количество прореагировавшего металла M:

$$\nu(\text{M}) = 0{,}6 \cdot \frac{2}{n} = \frac{1{,}2}{n} \text{ моль}$$

Найдем молярную массу металла М:

$$M(\text{M}) = \frac{33{,}6 \cdot n}{1{,}2} = 28n$$

При $n = 1$: $M = 28$ г/моль. Металла с такой молярной массой нет.
При $n = 2$: $M = 56$ г/моль. Это железо Fe.
Уравнение реакции восстановления оксида железа водородом:

$$\text{Fe}_x\text{O}_y + y\text{H}_2 \rightarrow x\text{Fe} + y\text{H}_2\text{O}$$

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 14{,}4 : 18 = 0{,}8 \text{ моль}$$

Такое же количество атомов кислорода содержится и в оксиде железа. Масса железа в оксиде:

$$m(\text{Fe}) = 46{,}4 - 0{,}8 \cdot 16 = 33{,}6 \text{ г}$$

$$\nu(\text{Fe}) = 33{,}6 : 56 = 0{,}6 \text{ (моль)}$$

$$x : y = 0{,}6 : 0{,}8 = 3 : 4$$

Это оксид железа Fe_3O_4.

Ответ. Fe, Fe_3O_4.

8. Пусть объем аммиака V (л), тогда, по условию, объем хлороводорода $3V$. Выразим начальные количества аммиака и хлороводорода:

$$\nu(\text{NH}_3) = \frac{V}{22{,}4} \text{ (моль)}$$

$$\nu(\text{HCl}) = \frac{3V}{22{,}4} \text{ (моль)}$$

После растворения веществ в воде и сливания двух растворов аммиак (очевидно, что он в недостатке) полностью прореагировал с хлороводородом:

$$\text{NH}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$$

Общий объем раствора $4V$ и там содержится хлороводород в количестве

$$\nu(\text{HCl}) = \frac{3V}{22{,}4} - \frac{V}{22{,}4} = \frac{2V}{22{,}4} \text{ (моль)}$$

и $\frac{V}{22{,}4}$ моль NH_4Cl.

Концентрации хлороводорода и хлорида аммония в растворе:

$$c(\mathrm{HCl}) = \frac{2V}{22{,}4 \cdot 4V} = 0{,}022 \text{ моль/л}$$

$$c(\mathrm{NH_4Cl}) = \frac{V}{22{,}4 \cdot 4V} = 0{,}011 \text{ моль/л}$$

Ответ. $c(\mathrm{HCl}) = 0{,}022$ моль/л, $c(\mathrm{NH_4Cl}) = 0{,}011$ моль/л.

9. Надо сравнить силу в ряду оснований и в ряду кислот:

$$\underset{\text{очень слабое основание}}{\mathrm{Cr(OH)_3}} < \underbrace{\mathrm{Cu(OH)_2} < \mathrm{Be(OH)_2} < \mathrm{Mg(OH)_2}}_{\text{слабые основания}} < \underset{\text{сильное основание}}{\mathrm{Ca(OH)_2}}$$

$$\xrightarrow{\text{Сила кислот увеличивается}}$$

$$\mathrm{H_2S} < \mathrm{H_2CO_3} < \mathrm{H_2SO_3}$$

Карбонат, сульфид и сульфит — анионы слабых кислот. Чем слабее кислота и основание, тем полнее протекает гидролиз соли.

Следует также обратиться к таблице растворимости: нерастворимые соли, например CuS, практически не гидролизуются.

Наконец, важно установить, какие свойства проявляют вещества — окислительные или восстановительные. Из приведенных солей металлов наиболее сильные окислительные свойства у меди(II), восстановительными свойствами обладают анионы сульфид и сульфит. Здесь уместно дать некоторые пояснения: только формально CuS соответствует сульфиду меди(II), на самом деле это смешанный сульфид-дисульфид меди(I) и меди(II) и его формула $\mathrm{Cu_2^+Cu^{2+}S^{2-}(S_2)^{2-}}$. Ниже приведены уравнения всех реакций с комментариями.

1) $\mathrm{2BeCl_2 + 2Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow Be_2(OH)_2CO_3\downarrow + CO_2\uparrow + 4NaCl}$

При избытке соды вместо углекислого газа образуется $\mathrm{NaHCO_3}$.

2) $\mathrm{6MgCl_2 + 6Na_2CO_3 + 2H_2O \rightarrow}$

$$\rightarrow \mathrm{Mg_5(OH)_2(CO_3)_4\downarrow + Mg(HCO_3)_2 + 12NaCl}$$

Как правильный ответ здесь принимали также основную соль магния любого состава, например $\mathrm{Mg_2(OH)_2CO_3}$ или $\mathrm{Mg_3(OH)_2(CO_3)_2}$, и $\mathrm{NaHCO_3}$ и $\mathrm{CO_2}$ (вместо гидрокарбоната магния), например:

$$\mathrm{2MgCl_2 + 2Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow Mg_2(OH)_2CO_3\downarrow + CO_2\uparrow + 4NaCl}$$

или

$$\mathrm{2MgCl_2 + 3Na_2CO_3 + 2H_2O \rightarrow Mg_2(OH)_2CO_3\downarrow + 2NaHCO_3 + 4NaCl}$$

3) $\mathrm{CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3\downarrow + 2NaCl}$

Единственный правильный ответ.

4) $\mathrm{2CrCl_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 6NaCl}$

Как правильный ответ здесь принимали также $\mathrm{CrOOH\downarrow}$.

5) $2CuCl_2 + 2Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow Cu_2(OH)_2CO_3\downarrow + CO_2\uparrow + 4NaCl$

Единственный правильный ответ.

6) $BeCl_2 + Na_2SO_3 + H_2O \rightarrow Be(OH)_2\downarrow + SO_2\uparrow + 2NaCl$

Как правильный ответ здесь принимали основную соль бериллия любого состава (вместо гидроксида бериллия), например:

$$2BeCl_2 + 2Na_2SO_3 + H_2O \rightarrow Be_2(OH)_2SO_3\downarrow + SO_2\uparrow + 4NaCl$$

или

$$2BeCl_2 + 3Na_2SO_3 + 2H_2O \rightarrow Be_2(OH)_2SO_3\downarrow + 2NaHSO_3 + 4NaCl$$

7) $6MgCl_2 + 6Na_2SO_3 + 2H_2O \rightarrow$

$$\rightarrow Mg_5(OH)_2(SO_3)_4\downarrow + Mg(HSO_3)_2 + 12NaCl$$

Как правильный ответ здесь принимали любую основную соль магния, например:

$$2MgCl_2 + 2Na_2SO_3 + H_2O \rightarrow Mg_2(OH)_2SO_3\downarrow + SO_2\uparrow + 4NaCl$$

или

$$2MgCl_2 + 3Na_2SO_3 + 2H_2O \rightarrow Mg_2(OH)_2SO_3\downarrow + 2NaHSO_3 + 4NaCl$$

8) $CaCl_2 + Na_2SO_3 \rightarrow CaSO_3\downarrow + 2NaCl$

Единственный правильный ответ.

9) $2CrCl_3 + 3Na_2SO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 3SO_2\uparrow + 6NaCl$

Как правильный ответ здесь принимали также $CrOOH\downarrow$.

10) $2CuCl_2 + Na_2SO_3 + H_2O \rightarrow 2CuCl\downarrow + Na_2SO_4 + 2HCl$

или

$$3CuCl_2 + 5Na_2SO_3 + 3H_2O \rightarrow$$

$$\rightarrow Cu_3(SO_3)_2 \cdot 2H_2O\downarrow + 2NaHSO_3 + 6NaCl + Na_2SO_4$$

При частичном восстановлении меди образуется желто-коричневый осадок соли Шевреля — двойной сульфит меди(II) и меди(I).

11) $BeCl_2 + Na_2S + 2H_2O \rightarrow Be(OH)_2\downarrow + H_2S\uparrow + 2NaCl$

Как правильный ответ здесь принимали также основной хлорид бериллия BeOHCl (вместо гидроксида бериллия) и гидросульфид натрия (вместо сероводорода).

12) $MgCl_2 + Na_2S + 2H_2O \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow + H_2S\uparrow + 2NaCl$

Как правильный ответ здесь принимали также основной хлорид магния MgOHCl (вместо гидроксида магния) и гидросульфид натрия (вместо сероводорода).

13) $CaCl_2 + 2Na_2S + 2H_2O \rightleftarrows Ca(HS)_2 + 2NaCl + 2NaOH$

или

$$CaCl_2 + 2Na_2S + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2\downarrow + 2NaCl + 2NaHS$$

В первом уравнении отсутствуют признаки протекания реакции (нет ни осадка, ни газа) — эта реакция протекает в разбавленном растворе. Однако при сливании крепких растворов (второе уравнение) выпадает белый осадок гидроксида кальция. *Ошибочный ответ*, если указано, что в осадок выпадает CaS и выделяется сероводород.

14) $2CrCl_3 + 3Na_2S + 6H_2O \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow + 6NaCl$

Как правильный ответ здесь принимали также $CrOOH\downarrow$.

15) $CuCl_2 + Na_2S \rightarrow CuS\downarrow + 2NaCl$

Единственный правильный ответ.

10. Уравнение реакции изомеризации:

$$цис\text{-}C_4H_8 \rightleftarrows транс\text{-}C_4H_8 + Q$$

Тепловой эффект этой реакции:

$$Q = Q_{обр}(транс\text{-}C_4H_8) - Q_{обр}(цис\text{-}C_4H_8) = 11{,}2 - 7 = 4{,}2 \text{ кДж/моль}$$

Исходное количество *цис*-C_4H_8:

$$\nu_{исх}(цис\text{-}C_4H_8) = 5{,}6 : 56 = 0{,}1 \text{ моль}$$

По количеству выделившегося тепла (168 Дж) рассчитаем количество прореагировавшего *цис*-C_4H_8.

$$\nu_{прор}(цис\text{-}C_4H_8) = 168 : 4200 = 0{,}04 \text{ моль}$$

Равновесная концентрация *цис*-C_4H_8:

$$\nu_{равн}(цис\text{-}C_4H_8) = 0{,}1 - 0{,}04 = 0{,}06 \text{ моль}$$

Согласно уравнению изомеризации: $\nu_{равн}(транс\text{-}C_4H_8) = 0{,}04$ моль.

Итак, в равновесной смеси содержится 0,06 моль *цис*-бутена-2 и 0,04 моль *транс*-бутена-2. Константа равновесия:

$$K = \frac{\nu(транс\text{-}C_4H_8)}{\nu(цис\text{-}C_4H_8)} = \frac{0{,}04}{0{,}06} = 0{,}667$$

Реакция изомеризации экзотермическая, поэтому при нагревании содержание *цис*-бутена-2 в смеси увеличивается.

Ответ. $K = 0{,}667$; при нагревании количество *цис*-бутена-2 увеличивается.

11. Пусть изначально было x моль оксида кремния, тогда магния $2{,}3x$ моль.

В результате прокаливания произошло восстановление кремния:

$$\underset{2x}{2Mg} + \underset{x}{SiO_2} \xrightarrow{t} \underset{x}{2MgO} + Si$$

В реакционной смеси осталось $0{,}3x$ моль магния, который полностью прореагировал с x моль кремния:

$$\underset{2x}{2Mg} + \underset{x}{Si} \xrightarrow{t} Mg_2Si$$

Кремния при этом израсходовано $0{,}15x$ моль, осталось кремния:

$$\nu(Si) = x - 0{,}15x = 0{,}85x \text{ моль}$$

По условию, это составляет 23,82 г.

$$x = \frac{23{,}82}{28 \cdot 0{,}85} = 1 \text{ моль}$$

В исходной смеси:

$$\nu(SiO_2) = 1 \text{ моль}$$

$$\nu(Mg) = 2{,}3 \text{ моль}$$

Рассчитаем массу исходной смеси:

$$m = 2{,}3 \cdot 24 + 1 \cdot 60 = 115{,}2 \text{ г}$$

Ответ. 115,2 г.

12. Сделаем расчеты для брусочка палладия.

$$m(Pd) = \rho \cdot V = 12{,}02 \cdot 10 = 120{,}2 \text{ г}$$

$$\nu(Pd) = \frac{m}{M} = \frac{120{,}2}{106} = 1{,}13 \text{ моль}$$

$$N = N_A \cdot \nu = 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 1{,}13 = 6{,}80 \cdot 10^{23} \text{ атомов Pd}$$

Поскольку каждая сферическая частица содержит 10^6 атомов, число таких частиц в бруске:

$$N(\text{частиц}) = \frac{N}{10^6} = \frac{6{,}80 \cdot 10^{23}}{10^6} = 6{,}80 \cdot 10^{17}$$

Объем одной сферической частицы:

$$V(\text{частицы}) = \frac{10}{6{,}80 \cdot 10^{17}} = 1{,}47 \cdot 10^{-17} \text{ см}^3$$

Формула объема шара:

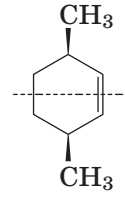
$$V(\text{шара}) = {}^4/_3\pi r^3$$

Радиус палладиевого шарика (сферической частицы):

$$r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 1{,}47 \cdot 10^{-17}}{4 \cdot 3{,}14}} = 1{,}52 \cdot 10^{-6} \text{ см}$$

Ответ. $6{,}80 \cdot 10^{17}$ частиц с радиусом $1{,}52 \cdot 10^{-6}$ см.

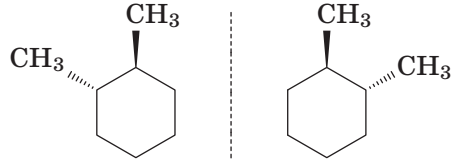
13. Сразу можно исключить соединение **II**, которое не отвечает условию. Это оптически неактивное соединение, поскольку имеется плоскость симметрии:



II

Остальные соединения оптически активны. Рассмотрим их по порядку.

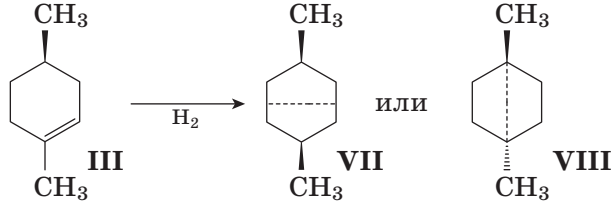
Соединение **I** при гидрировании дает соединение **VI**, которое тоже является оптически активным — структурная формула не совмещается с ее зеркальным отражением:



VI

Итак, соединение **I** не отвечает условию задачи.

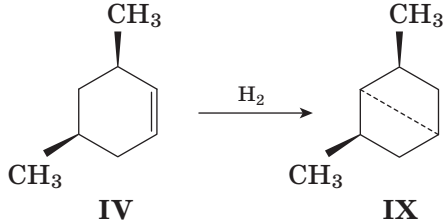
Соединение **III** при гидрировании дает соединения **VII** или **VIII**, которые являются оптически неактивными (их зеркальные отражения совмещаются с исходными соединениями — имеются плоскости симметрии):



III **VII** или **VIII**

Итак, соединение **III** отвечает условию задачи.

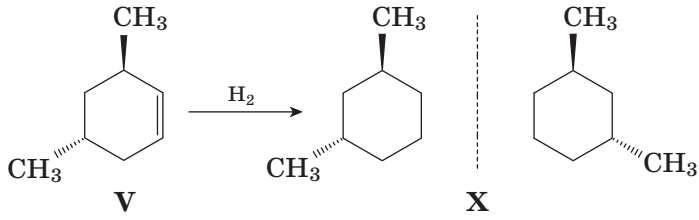
Соединение **IV** при гидрировании дает соединение **IX**, которое является оптически неактивным (зеркальное изображение совмещается с исходной структурной формулой — имеется плоскость симметрии):



IV **IX**

Итак, соединение **IV** отвечает условию задачи.

Соединение **V** при гидрировании дает соединение **X**, которое тоже является оптически активным — зеркальное отражение не совмещается с исходной структурной формулой:



V **X**

Итак, соединение **V** не отвечает условию задачи.

Ответ. Соединения **III** и **IV**.

14. Исходные количества NaOH и $CuSO_4$:

$$\nu(NaOH) = \frac{200 \cdot 0{,}16}{40} = 0{,}8 \text{ моль}$$

$$\nu(CuSO_4) = \frac{200 \cdot 0{,}16}{160} = 0{,}2 \text{ моль}$$

В реакции полностью расходуется $CuSO_4$ (взят в недостатке):

$$\underset{0{,}2}{CuSO_4} + \underset{0{,}4}{2NaOH} \rightarrow \underset{0{,}2}{Cu(OH)_2}\downarrow + Na_2SO_4$$

Образуется 0,2 моль $Cu(OH)_2$ и остается 0,4 моль NaOH.

Красный осадок, образующийся при внесении в полученную смесь вещества **X** при нагревании, — это Cu_2O. Из этого следует, что происходит окислительно-восстановительная реакция, где вещество **X** — восстановитель.

Количество образующегося оксида меди(I):

$$\nu(Cu_2O) = 14{,}4 : 144 = 0{,}1 \text{ моль}$$

Следовательно, $Cu(OH)_2$ (0,2 моль) полностью прореагировал с **X**.

Какой газ выделился при прокаливании сухого остатка, определим по его молярной массе.

$$M(\text{газа}) = 0{,}552 \cdot 29 = 16 \text{ г/моль}$$

Этот газ — метан CH_4.

$$\nu(CH_4) = 4{,}48 : 22{,}4 = 0{,}2 \text{ моль}$$

Предположим, что **X** — ацетальдегид CH_3CHO. В щелочной среде он окисляется до ацетата натрия:

$$\underset{0{,}2}{2Cu(OH)_2} + \underset{0{,}1}{CH_3CHO} + \underset{0{,}1}{NaOH} \xrightarrow{t} \underset{0{,}1}{Cu_2O}\downarrow + \underset{0{,}1}{CH_3COONa} + 3H_2O$$

При прокаливании ацетата с NaOH образуется метан:

$$\underset{0,1}{CH_3COONa} + NaOH \xrightarrow{t} \underset{0,1}{CH_4\uparrow} + Na_2CO_3$$

Ацетат натрия нельзя получить из других альдегидов. Однако, по условию, метана выделилось в 2 раза больше (0,2 моль). Вывод: в результате щелочного гидролиза вещество **X** образуется и из ацетальдегида, и из ацетата натрия. По условию, **X** разлагается кислотами и щелочами, поэтому, возможно, речь идет о сложном эфире. Обесцвечивание бромной воды обусловлено наличием в эфире кратной связи. **X** — винилацетат $CH_3COO—CH{=}CH_2$.

Уравнение щелочного гидролиза:

$$CH_3COO—CH{=}CH_2 + NaOH \rightarrow CH_3COONa + CH_3CHO$$

Кроме того, винилацетат разлагается кислотами и обесцвечивает бромную воду, что отвечает условию.

$$CH_3COO—CH{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3COOH + CH_3CHO$$

$$CH_3COO—CH{=}CH_2 + Br_2 \rightarrow CH_3COO—CHBr—CH_2Br$$

Итак, при внесении винилацетата в реакционную смесь произошли следующие реакции:

$$\underset{0,1}{CH_3COO—CH{=}CH_2} + \underset{0,1}{NaOH} \rightarrow \underset{0,1}{CH_3COONa} + \underset{0,1}{CH_3CHO}$$

$$\underset{0,2}{2Cu(OH)_2} + \underset{0,1}{CH_3CHO} + \underset{0,1}{NaOH} \xrightarrow{t} \underset{0,1}{Cu_2O\downarrow} + \underset{0,1}{CH_3COONa} + 3H_2O$$

Суммарное количество ацетата натрия:

$$\nu(CH_3COONa) = 0,2 \text{ моль}$$

что соответствует количеству выделившегося метана:

$$\underset{0,2}{CH_3COONa} + \underset{0,2}{NaOH} \xrightarrow{t} \underset{0,2}{CH_4\uparrow} + Na_2CO_3$$

Масса вступившего в реакцию винилацетата:

$$m(CH_3COO—CH{=}CH_2) = 86 \cdot 0,1 = 8,6 \text{ г}$$

Ответ. **X** — винилацетат; 8,6 г.

ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. $m = 6 \cdot \dfrac{M(NH_3)}{N_A} = 6 \cdot \dfrac{17}{6{,}02 \cdot 10^{23}} = 1{,}69 \cdot 10^{-22}$ г

Ответ. $1{,}69 \cdot 10^{-22}$ г.

2. Объемная доля газа **X** в смеси:

$$\varphi(\mathbf{X}) = 1 - 0{,}4 - 0{,}5 = 0{,}1$$

Выразим среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M_{ср} = \varphi_1 \cdot M_1 + \varphi_2 \cdot M_2 + \varphi(\mathbf{X}) \cdot M(\mathbf{X}) =$$
$$= 0{,}40 \cdot 46 + 0{,}50 \cdot 32 + 0{,}10 \cdot M(\mathbf{X}) = 38{,}8 \text{ г/моль}$$

$$M(\mathbf{X}) = \frac{38{,}8 - 18{,}4 - 16}{0{,}1} = 44 \text{ г/моль}$$

Газ **X** может быть любой из следующих: CO_2, N_2O или C_3H_8.

Ответ. CO_2, N_2O или C_3H_8.

3. Объем раствора:

$$V_{общ} = 25 + 40 + 50 + 600 = 715 \text{ мл} = 0{,}715 \text{ л}$$

Ионы натрия образуются при диссоциации солей в растворе:

$$NaCl \rightarrow Na^+ + Cl^-$$

$$Na_2CO_3 \rightarrow 2Na^+ + CO_3^{2-}$$

$$Na_3PO_4 \rightarrow 3Na^+ + PO_4^{3-}$$

Молярная концентрация ионов натрия в растворе:

$$c(Na^+) = \frac{V_1 \cdot c_1 + V_2 \cdot c_2 \cdot 2 + V_3 \cdot c_3 \cdot 3}{V_{общ}} =$$
$$= \frac{0{,}025 \cdot 0{,}2 + 0{,}040 \cdot 0{,}2 \cdot 2 + 0{,}050 \cdot 0{,}05 \cdot 3}{0{,}715} = 0{,}04 \text{ моль/л}$$

Ответ. 0,04 моль/л.

4. Условие задачи запишем в виде термохимических уравнений:

1) $F_2 + 0{,}5O_2 \rightarrow F_2O + Q_1$ $\quad Q_1 = 22$ кДж
2) $O_2 \rightarrow 2O + Q_2$ $\quad Q_2 = -498$ кДж
3) $F_2 \rightarrow 2F + Q_3$ $\quad Q_3 = -159$ кДж

Надо найти теплоту реакции Q_4:

4) $F_2O \rightarrow 2F + O + Q_4$ $\quad Q_4 = 2E_{св}(F—O)$

Реакцию (4) можно представить как комбинацию трех первых реакций согласно схеме: (4) = $^1/_2$ (2) + (3) − (1).

$$Q_4 = {}^1/_2 Q_2 + Q_3 - Q_1 = 0{,}5 \cdot (-498) - 159 - 22 = -430 \text{ кДж}$$

Энергия связи O—F: 430/2 = 215 кДж/моль.

Ответ. 215 кДж/моль.

5. Приведем один вариант ответа.

Обменные реакции:

$Mg(NO_3)_2 + 2KOH \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow + 2KNO_3$

$Mg(OH)_2 + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + 2H_2O$

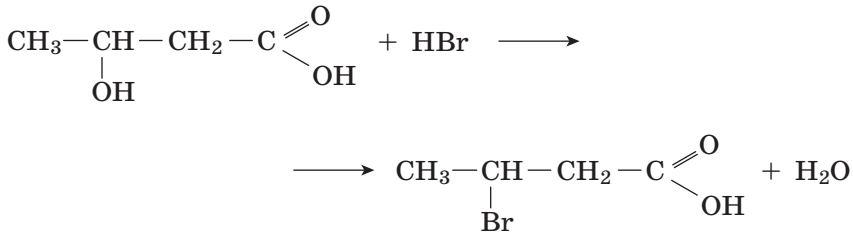
$MgCl_2 + 2AgNO_3 \rightarrow Mg(NO_3)_2 + 2AgCl\downarrow$

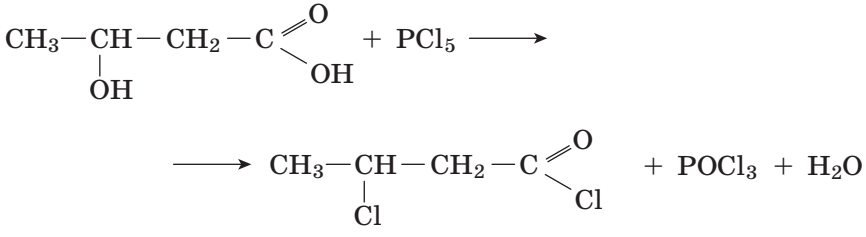
Окислительно-восстановительные реакции:

$2Mg(NO_3)_2 \xrightarrow{t} 2MgO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

$MgO + H_2 \xrightarrow{t} Mg + H_2O$

$4Mg + 10HNO_3 \rightarrow 4Mg(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$

6. 1) 

2) 

3) $CH_3—CH(OH)—CH_2—COOH \xrightarrow{t}$
$\rightarrow CH_3—CH=CH—COOH + H_2O$

4) $CH_3—CH=CH—COOH + Br_2 \rightarrow CH_3—CHBr—CHBr—COOH$

Ответ. **X** — 3-гидроксибутановая кислота $CH_3—CH(OH)—CH_2—COOH$.

7. При растворении смеси в азотной кислоте протекают следующие реакции:

$FeS_2 + 18HNO_3 \rightarrow 15NO_2\uparrow + Fe(NO_3)_3 + 2H_2SO_4 + 7H_2O$

$Al_2S_3 + 30HNO_3 \rightarrow 24NO_2\uparrow + 2Al(NO_3)_3 + 3H_2SO_4 + 12H_2O$

Пусть $\nu(FeS_2) = x$ моль, $\nu(Al_2S_3) = y$ моль. Масса смеси:

$$m = 120x + 150y = 42 \text{ г}$$

Количество выделившегося диоксида азота:

$$\nu(NO_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{105{,}6 \cdot 148{,}7}{8{,}31 \cdot 300} = 6{,}3 \text{ моль}$$

Количество добавленной азотной кислоты:

$$\nu(HNO_3) = \frac{605{,}5 \cdot 1{,}37 \cdot 0{,}6}{63} = 7{,}9 \text{ моль}$$

Если предположить, что HNO_3 в избытке, то количество NO_2 определяется количеством прореагировавших сульфидов:

$$\nu(NO_2) = 15x + 24y = 6{,}3 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 120x + 150y = 42 \\ 15x + 24y = 6{,}3 \end{cases}$$

$$x = 0{,}1;\ y = 0{,}2$$

Для растворения такого количества сульфидов требуется азотная кислота в количестве:

$$\nu(HNO_3) = 18 \cdot 0{,}1 + 30 \cdot 0{,}2 = 7{,}8 \text{ моль}$$

Было добавлено 7,9 моль HNO_3. Азотная кислота в избытке.

При обработке полученного раствора избытком щёлочи протекают следующие реакции:

$$HNO_3 + NaOH \rightarrow NaNO_3 + H_2O$$

$$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$Fe(NO_3)_3 + 3NaOH \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow + 3NaNO_3$$

$$Al(NO_3)_3 + 4NaOH \rightarrow Na[Al(OH)_4] + 3NaNO_3$$

В осадке только $Fe(OH)_3$.

$$\nu(Fe(OH)_3) = \nu(FeS_2) = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$m(Fe(OH)_3) = 0{,}1 \cdot 107 = 10{,}7 \text{ г}$$

Массовые доли веществ в исходной смеси:

$$\omega(FeS_2) = 0{,}1 \cdot 120/42 = 0{,}268, \text{ или } 28{,}6\%$$

$$\omega(Al_2S_3) = 0{,}714, \text{ или } 71{,}4\%$$

Ответ. 10,7 г $Fe(OH)_3$; 28,6% FeS_2, 71,4% Al_2S_3.

ВАРИАНТ 2

1. $7{,}97 \cdot 10^{-23}$ г.

2. 34,2 г/моль.

3. 0,04 моль/л.

4. φ**(A)** = 26,2%,
φ**(B)** = 36,9%,
φ**(C)** = 36,9%.

5. Приводим один вариант ответа.

Обменные реакции:

$CuBr_2 + 2KOH \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow + 2KBr$

$Cu(OH)_2 + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + 2H_2O$

$CuCl_2 + 2AgNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2AgCl\downarrow$

Окислительно-восстановительные реакции:

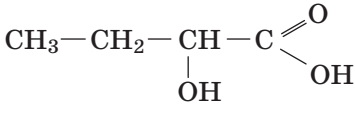
$CuBr_2 \xrightarrow{\text{электролиз}} Cu + Br_2$

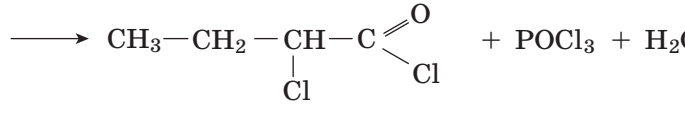
$2Cu + I_2 \rightarrow 2CuI$

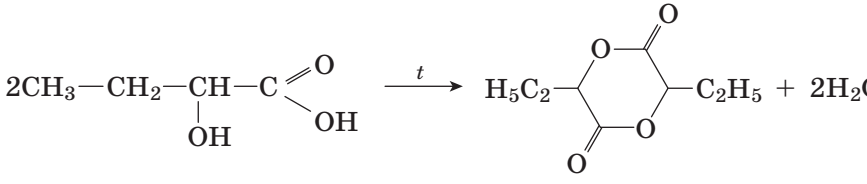
$2CuI + 2Br_2 \rightarrow 2CuBr_2 + I_2$

6.

$CH_3CH_2—CH(OH)—COOH + HBr \rightarrow CH_3CH_2—CHBr—COOH + H_2O$







7. 23,2 г Ag_2O; 45,3%, Ag_2S, 54,7% Al_2S_3

ВАРИАНТ 3

1. $2{,}39 \cdot 10^{-22}$ г.

2. O_2.

3. 0,048 моль/л.

4. φ**(A)** = 24,3%, φ**(B)** = 24,3%, φ**(C)** = 51,4%.

5. Приводим один вариант ответа.

Обменные реакции:

$FeCl_2 + 2KOH \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow + 2KCl$

$2Fe(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + 2H_2O$

$FeSO_4 + BaCl_2 \rightarrow FeCl_2 + BaSO_4\downarrow$

Окислительно-восстановительные реакции:

$FeCl_2(\text{расплав}) \xrightarrow{\text{электролиз}} Fe + Cl_2\uparrow$

$2Fe + 3Cl_2 \rightarrow 2FeCl_3$

$2FeCl_3 + Fe \rightarrow 3FeCl_2$

6. В молекуле **X** есть тройная связь и гидроксильная группа:

$HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2OH$

$HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2OH + [Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow$

$\rightarrow AgC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2OH\downarrow + H_2O + 2NH_3\uparrow$

$HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2OH + 3HBr \rightarrow CH_3{-}CBr_2{-}CH_2{-}CH_2Br + H_2O$

$HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2OH + 2NaH \rightarrow NaC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_2ONa + 2H_2\uparrow$

7. CuO, 0,5 моль $Cu(NO_3)_2$

ВАРИАНТ 4

1. $6{,}98 \cdot 10^{-22}$ г.

2. CO_2, N_2O или C_3H_8.

3. 0,1145 моль/л.

4. Условие задачи запишем в виде термохимических уравнений:

1) $Cl_2O = 2Cl + O + Q_1$ $\quad Q_1 = 2 \cdot (-209)$ кДж
2) $O_2 = 2O + Q_2$ $\quad Q_2 = -498$ кДж
3) $Cl_2 = 2Cl + Q_3$ $\quad Q_3 = -242$ кДж

Надо найти теплоту реакции (4).

4) $Cl_2 + 0{,}5O_2 = Cl_2O + Q_4$

Реакцию (4) можно представить как комбинацию трех первых реакций: (4) = (3) + $^1/_2$(2) − (1)

Теплота реакции (4):

$$Q_4 = Q_3 + 0{,}5Q_2 - Q_1 =$$
$$= -242 + 0{,}5 \cdot (-498) - 2 \cdot (-209) = -73 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. −73 кДж/моль.

5. Приведем один вариант ответа.

Обменные реакции:

$Al(NO_3)_3 + 3KOH \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3KNO_3$

$Al(OH)_3 + 3HCl \rightarrow AlCl_3 + 3H_2O$

$AlCl_3 + 3AgNO_3 \rightarrow Al(NO_3)_3 + 3AgCl\downarrow$

Окислительно-восстановительные реакции:

$4Al(NO_3)_3 \xrightarrow{t} 2Al_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

$2Al_2O_3(\text{расплав.}) \xrightarrow{\text{электролиз}} 4Al + 3O_2\uparrow$

$8Al + 30HNO_3(\text{разб.}) \rightarrow 8Al(NO_3)_3 + 3NH_4NO_3 + 9H_2O$

6.

$CH_2{=}CH{-}CHO + 2Br_2 + H_2O \rightarrow CHBr{-}CHBr{-}COOH + 2HBr$

$CH_2{=}CH{-}CHO + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow$

$\rightarrow CH_2{=}CH{-}COONH_4 + 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$

$3CH_2{=}CH{-}CHO + 4KMnO_4 + 5H_2O \rightarrow$

$\rightarrow 3CH_2OH{-}CHOH{-}COOK + 4MnO_2\downarrow + KOH$

Ответ. **X** — $CH_2{=}CH{-}CHO$.

7. Ga_2S, 41,2 г $Cr(OH)_3$.

ВАРИАНТ 5

1. $3{,}60 \cdot 10^{-22}$ г.

2. 21,6 г/моль.

3. 0,048 моль/л.

4. φ(**A**) = 17,4%, φ(**B**) = 34,0%, φ(**C**) = 48,6%.

5. Приведем один из возможных вариантов решения.

Обменные реакции:

$CrCl_3 + 3KOH \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + 3KCl$

$2Cr(OH)_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 6H_2O$

$Cr_2(SO_4)_3 + 3BaCl_2 \rightarrow 2CrCl_3 + 3BaSO_4\downarrow$

Окислительно-восстановительные реакции:

$Cr_2O_3 + 2Al \xrightarrow{t} 2Cr + Al_2O_3$

$Cr + 2HCl \rightarrow CrCl_2 + H_2\uparrow$

$2CrCl_2 + Cl_2 \rightarrow 2CrCl_3$

6. **X** — это $HC{\equiv}C{-}CH_2OH$.

$HC{\equiv}C{-}CH_2OH + [Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow AgC{\equiv}C{-}CH_2OH + H_2O + 2NH_3\uparrow$

$HC{\equiv}C{-}CH_2OH + 3HBr \rightarrow CH_3{-}CBr_2{-}CH_2Br + H_2O$

$HC{\equiv}C{-}CH_2OH + 2NaH \rightarrow NaC{\equiv}C{-}CH_2ONa + 2H_2\uparrow$

7. P_2O_5, 0,4 моль Na_3PO_4.

ВАРИАНТ 6

1. $2{,}33 \cdot 10^{-21}$ г.

2. 14,6 г/моль.

3. 0,025 моль/л.

4. φ(**A**) = 11,4%, φ(**B**) = 44,3%, φ(**C**) = 44,3%.

5. Приведем один вариант ответа.

Обменные реакции:

$Al_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2O$

$AlCl_3 + 3KOH \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3KCl$

$2Al(OH)_3 \xrightarrow{t} Al_2O_3 + 3H_2O$

Окислительно-восстановительные реакции:

$2Al_2O_3 \xrightarrow{\text{электролиз расплава}} 4Al + 3O_2$

$8Al + 30HNO_3(\text{разб}) \rightarrow 8Al(NO_3)_3 + 3NH_4NO_3 + 9H_2O$

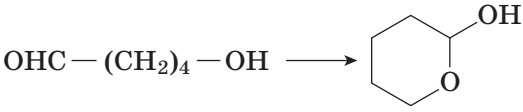
$4Al(NO_3)_3 \xrightarrow{t} 2Al_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

6. **X** — альдегидоспирт $OHC—(CH_2)_4—OH$.

$$5OHC—(CH_2)_4—OH + 6KMnO_4 + 9H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 5HOOC—(CH_2)_3—COOH + 6MnSO_4 + 3K_2SO_4 + 14H_2O$$

$$OHC—(CH_2)_4—OH + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t}$$
$$\rightarrow HOOC—(CH_2)_4—OH + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$$

$$OHC—(CH_2)_4—OH + HBr \rightarrow OHC—(CH_2)_4—Br + H_2O$$



7. 61,5% FeO, 38,5% Fe_2O_3.

ВАРИАНТ 7

1. $2{,}64 \cdot 10^{-21}$ г.

2. 22,6 г/моль.

3. 0,04 моль/л.

4. 431 кДж/моль.

5. Приведем один вариант ответа.

Обменные реакции:

$$MgSO_4 + BaCl_2 \rightarrow MgCl_2 + BaSO_4\downarrow$$

$$MgCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow MgCO_3\downarrow + 2NaCl$$

$$MgCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow MgSO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

Окислительно-восстановительные реакции:

$$2MgSO_4 \xrightarrow{t} 2MgO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$MgO + H_2 \xrightarrow{t} Mg + H_2O$$

$$Mg + H_2SO_4 \rightarrow MgSO_4 + H_2\uparrow$$

6. **X** — это пентеновая кислота $CH_3—CH=CH—CH_2—COOH$.

$$3CH_3—CH=CH—CH_2—COOH + 2KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow$$
$$\rightarrow 2CH_3—CH(OH)—CH(OH)—CH_2—COOK +$$
$$+ CH_3—CH(OH)—CH(OH)—CH_2—COOH + 2MnO_2\downarrow$$

$$5CH_3—CH=CH—CH_2—COOH + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \xrightarrow{t}$$
$$\rightarrow 10CH_3—COOH + 5CO_2\uparrow + 8MnSO_4 + 4K_2SO_4 + 12H_2O$$

$CH_3—CH=CH—CH_2—COOH + NaHCO_3 \rightarrow$

$\rightarrow CH_3—CH=CH—CH_2—COONa + CO_2\uparrow + H_2O$

7. 60% FeO, 40% Fe_2O_3.

ВАРИАНТ 8

1. $3{,}26 \cdot 10^{-21}$ г.

2. 10,1 г/моль.

3. 0,126 моль/л.

4. 103,5 кДж/моль.

5. Приведем один вариант ответа.

Обменные реакции:

$FeCl_3 + 3AgNO_3 \rightarrow Fe(NO_3)_3 + 3AgCl\downarrow$

$Fe(NO_3)_3 + 3KOH \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow + 3KNO_3$

$Fe(OH)_3 + 3HCl \rightarrow FeCl_3 + 3H_2O$

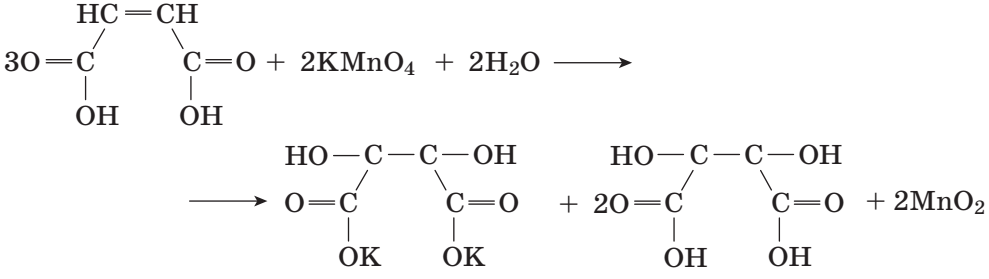
Окислительно-восстановительные реакции:

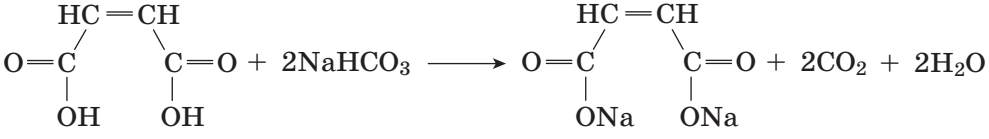
$2FeCl_3(\text{расплав}) \xrightarrow{\text{электролиз}} 2Fe + 3Cl_2$

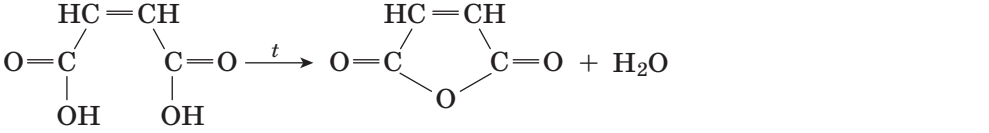
$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2\uparrow$

$2FeCl_2 + Cl_2 \rightarrow 2FeCl_3$

6. **X** — это *цис*-HOOC—CH=CH—COOH.







7. 2,06 г $Cr(OH)_3$.

ВАРИАНТ 9

1. $3{,}65 \cdot 10^{-23}$ г.

2. CH_4.

3. 0,048 моль/л.

4. φ(**A**) = 26,8%, φ(**B**) = 26,8%, φ(**C**) = 46,4%.

5. Приведем один вариант ответа.

Обменные реакции:

$FeBr_2 + 2KOH \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow + 2KBr$

$2Fe(OH)_2 + H_2SO_4(\text{разб.}) \rightarrow FeSO_4 + 2H_2O$

$FeSO_4 + BaBr_2 \rightarrow FeBr_2 + BaSO_4\downarrow$

Окислительно-восстановительные реакции:

$FeBr_2(\text{расплав}) \xrightarrow{\text{электролиз}} Fe + Br_2$

$2Fe + 3Br_2 \rightarrow 2FeBr_3$

$2FeBr_3 + Fe \rightarrow 3FeBr_2$

6. **X** — это фумаровая кислота *транс*-HOOC—CH=CH—COOH.

$HOOC—CH=CH—COOH + Br_2 \rightarrow HOOC—CHBr—CHBr—COOH$

$3HOOC—CH=CH—COOH + 2KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow$

$\rightarrow KOOC—CH(OH)—CH(OH)—COOK +$

$+ 2HOOC—CH(OH)—CH(OH)—COOH + 2MnO_2\downarrow$

$HOOC—CH=CH—COOH + 2NaHCO_3 \rightarrow$

$\rightarrow NaOOC—CH=CH—COONa + 2CO_2\uparrow + 2H_2O$

транс-Бутен-2-диовая кислота (фумаровая) при нагревании устойчива.

7. 2,06 г $Cr(OH)_3$.

ВАРИАНТ 10

1. $1{,}09 \cdot 10^{-20}$ г.

2. CO_2, N_2O или C_3H_8.

3. 0,1145 моль/л.

4. 463,5 кДж/моль.

5. Приведем один вариант ответа.

Обменные реакции:

$ZnSO_4 + BaCl_2 \rightarrow ZnCl_2 + BaSO_4\downarrow$

$ZnCl_2 + 2KOH(\text{недост.}) \rightarrow Zn(OH)_2\downarrow + 2KCl$

$2Zn(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + 2H_2O$

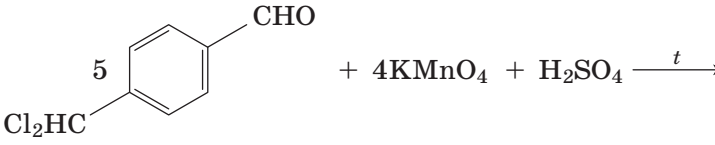
Окислительно-восстановительные реакции:

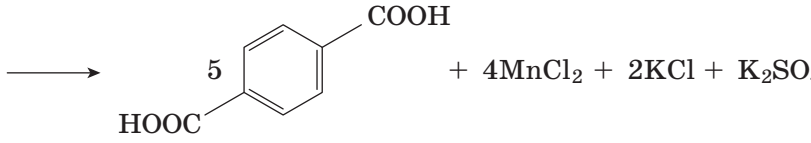
$2ZnSO_4 \xrightarrow{t} 2ZnO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow$

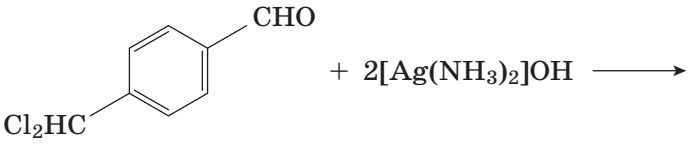
$ZnO + H_2 \xrightarrow{t} Zn + H_2O$

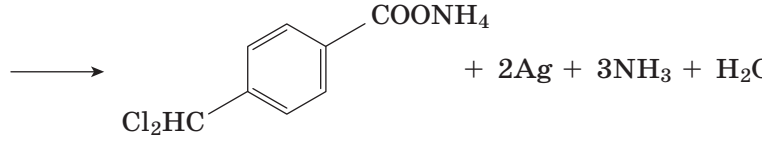
$Zn + H_2SO_4(\text{разб.}) \rightarrow ZnSO_4 + H_2\uparrow$

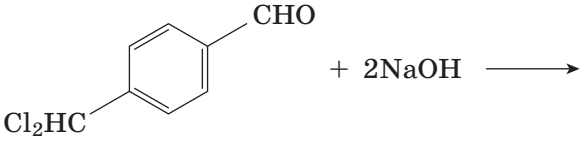
6. Вещество **X** — *пара*-$Cl_2HC—C_6H_4—CHO$.

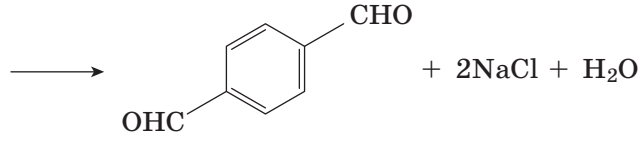












7. 4,12 г $Cr(OH)_3$.

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. Один моль любого вещества содержит одинаковое число молекул. Однако молекула воды H_2O состоит из трех атомов, молекула угарного газа CO — из двух, поэтому в 1 моль воды атомов больше, чем в 1 моль угарного газа.

2. Ключ к решению — равенство молярных масс продуктов и реагентов. Для газов: CO, C_2H_4, N_2, B_2H_6, M = 28 г/моль, для газов CO_2, N_2O, C_3H_8, CH_3CHO M = 44 г/моль. 44 − 28 = 16. Это атомная масса кислорода. Поэтому в реакции между **A** и **B** происходит переход атома кислорода от одного вещества к другому. Подходящие вещества — N_2O (окислитель) и CO (восстановитель).

$$N_2O + CO \xrightarrow{\text{электрический разряд}} N_2 + CO_2$$

Ответ. **A** — N_2O, **B** — CO, **C** — CO_2, **D** — N_2.

3. Можно привести достаточно много уравнений реакций, в которых из одной слабой кислоты образуются две более сильные кислоты. Приведем два примера.

1) $CH_3COOH + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} ClCH_2COOH + HCl$

В этой реакции замещения участвуют органические и неорганические вещества. Уксусная кислота — слабая кислота; хлоруксусная кислота сильнее уксусной, а соляная кислота — одна из самых сильных.

2) $H_2SO_3 + Br_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + HBr$

В этой окислительно-восстановительной реакции участвуют только неорганические соединения. Сернистая кислота — слабая кислота; серная и бромоводородная — сильные кислоты.

4. По условию, при разложении образуются кремний и водород. Пусть соединение имеет формулу Si_xH_y.

$$x : y = \nu(Si) : \nu(H)$$

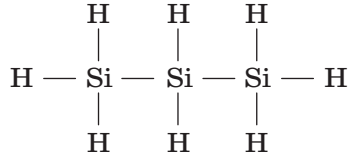
$$\nu(Si) = \frac{m}{M} = \frac{0{,}462}{28} = 0{,}0165 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}5378}{8{,}31 \cdot 298} = 0{,}022 \text{ моль}$$

$$\nu(H) = 2\nu(H_2) = 0{,}044 \text{ моль атомов водорода}$$

$$x : y = 0{,}0165 : 0{,}044 = 1 : 2{,}66 = 3 : 8$$

Это трисилан Si_3H_8:

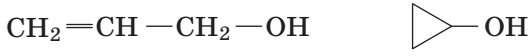


Уравнение термического разложения трисилана:

$$Si_3H_8 \xrightarrow{t} 3Si + 4H_2$$

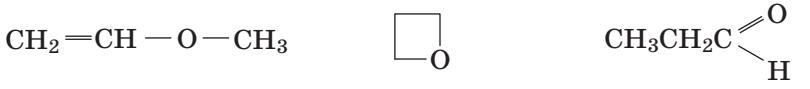
Ответ. Si_3H_8.

5. а) Соединения, содержащие гидроксильные группы, например спирты, могут образовывать водородные связи между собственными молекулами в отсутствие растворителя.

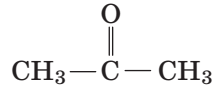


аллиловый спирт циклопропанол

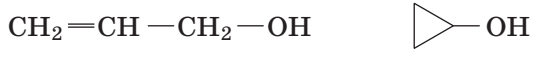
б) Соединения, содержащие полярную связь C—O, например простые эфиры и карбонильные соединения, а также спирты могут образовывать водородные связи с молекулами воды.



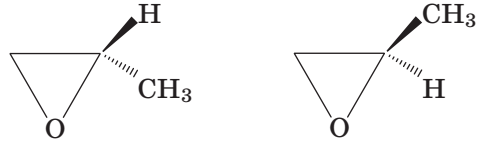
винилметиловый эфир оксетан пропионовый альдегид



ацетон



аллиловый спирт циклопропанол



2-метилоксиран
(оптические изомеры)

6. Приведем один вариант ответа. Это сульфит аммония $(NH_4)_2SO_3$.

$$(NH_4)_2SO_3 + 2HCl \rightarrow 2NH_4Cl + SO_2\uparrow + H_2O$$

$$(NH_4)_2SO_3 + Ba(NO_3)_2 \rightarrow BaSO_3\downarrow + 2NH_4NO_3$$

$$(NH_4)_2SO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_3 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$$

$$3(NH_4)_2SO_3 + 2KMnO_4(\text{водн. р-р}) \rightarrow$$

$$\rightarrow 2(NH_4)_2SO_4 + K_2SO_4 + 2MnO_2\downarrow + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

7. Масса сульфата железа $FeSO_4$, вступившего в реакцию:

$$m(FeSO_4) = c \cdot V \cdot M = 0{,}1 \cdot 0{,}1 \cdot 152 = 1{,}52 \text{ г}$$

Масса сульфата железа и масса соли, выпавшей в осадок, равны. Следовательно, соль в осадке содержит катион железа и анион с массой, равной массе сульфат-иона, или анион SO_4^{2-} и катион металла с массой, равной массе железа. Это гидрофосфат железа $FeHPO_4$.

$$FeSO_4 + Na_2HPO_4 \rightarrow FeHPO_4\downarrow + Na_2SO_4$$

8. Задача имеет несколько решений. Приведем некоторые.

$$SiO_2 + 2NaOH \xrightarrow{t} Na_2SiO_3 + H_2O$$

$$NaNO_2 + NH_4Cl \xrightarrow{t} N_2 + NaCl + 2H_2O$$

$$C_{17}H_{35}COOH + NaOH \xrightarrow{t} C_{17}H_{35}COONa + H_2O$$

$$Al_2O_3 + 2KOH \xrightarrow{t} 2KAlO_2 + H_2O$$

9. Уравнение радиоактивного распада радионуклида ^{210}Po:

$$^{210}_{84}Po \rightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$$

Рассчитаем начальное количество полония-210.

$$\nu(^{210}Po) = \frac{105 \cdot 10^{-6}}{210} = 0{,}5 \cdot 10^{-6} \text{ моль}$$

За 138 суток (период полураспада $T_{1/2}$ полония-210) распадается половина атомов этого радионуклида, за следующие 138 дней — половина оставшихся атомов. Итак, всего распалось 3/4 исходного количества ^{210}Po, или $0{,}75\nu$:

$$\nu(^{210}Po) = 0{,}75 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-6} = 0{,}375 \cdot 10^{-6} \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции, в результате распада образуются свинец и гелий в количестве по $0{,}375 \cdot 10^{-6}$ моль.

$$V(He) = 0{,}375 \cdot 10^{-6} \cdot 22{,}4 = 8{,}4 \cdot 10^{-6} \text{ л} = 8{,}4 \text{ мкл}$$

$$m(^{206}Pb) = 0{,}375 \cdot 10^{-6} \cdot 206 = 77{,}25 \cdot 10^{-6} \text{ г} = 77{,}25 \text{ мкг}$$

Ответ. 8,4 мкл гелия; 77,25 мкг свинца.

10. Пусть в исходной смеси $\nu(CH_4) = x$ моль, $\nu(H_2O) = y$ моль, отсюда следует, что $\nu(C) = x$ моль, $\nu(H) = (4x + 2y)$ моль.

$$\frac{\nu(H)}{\nu(C)} = \frac{4x + 2y}{x} = 7, \quad y = 1{,}5x$$

Состав исходной смеси: 40% CH_4, 60% H_2O.

В конечной смеси присутствуют оксиды CO и CO_2 и простое вещество H_2.

Возьмем 1 моль CH_4 и 1,5 моль H_2O. Обозначим: $\nu(CO) = a$ моль, $\nu(CO_2) = b$ моль, $\nu(H_2) = c$ моль. Воспользовавшись законом сохранения массы веществ, рассчитаем число моль атомов C, O и H в конечных продуктах.

$$\nu(C) = a + b = 1 \text{ моль}$$

$$\nu(O) = a + 2b = 1{,}5 \text{ моль}$$

$$\nu(H) = 2c = 7 \text{ моль}$$

$$a = b = 0{,}5,\ c = 3{,}5$$

$$\nu(CO) = \nu(CO_2) = 1 \text{ моль},\ \nu(H_2) = 7 \text{ моль}$$

Состав конечной смеси:

$$\varphi(CO) = \varphi(CO_2) = 1 : 9 = 0{,}111, \text{ или } 11{,}1\%$$

$$\varphi(H_2) = 7 : 9 = 0{,}778, \text{ или } 77{,}8\%$$

Уравнения возможных реакций:

$$CH_4 + H_2O \xrightarrow{t} CO + 3H_2$$

$$CO + H_2O \xrightarrow{t} CO_2 + H_2$$

или

$$CH_4 + 2H_2O \xrightarrow{t} CO_2 + 4H_2$$

$$CH_4 + CO_2 \xrightarrow{t} 2CO + 2H_2$$

Ответ. В исходной смеси 40% CH_4 и 60% H_2O;
в конечной смеси 11,1% CO, 11,1% CO_2 и 77,8% H_2.

11. На никелевых (активных) электродах происходят процессы окисления и восстановления.

Катод (–): $2H_2O + 2e \rightarrow H_2 + 2OH^-$
$Ni^{2+} + 2e \rightarrow Ni^0$

Таким образом, на катоде одновременно выделяется водород и осаждается никель.

На аноде растворяется никель — материал анода.

Анод (+): $Ni^0 - 2e \rightarrow Ni^{2+}$

Суммарное уравнение электролиза в молекулярной форме:

$$Ni + 2H_2O \xrightarrow{\text{электролиз}} Ni(OH)_2\downarrow + H_2\uparrow$$

Параллельные процессы растворения/осаждения никеля в расчетах можно не учитывать; масса раствора уменьшается — в результате электролиза разлагается вода. Пусть выделилось x моль водорода. Масса прореагировавшей воды:

$$m(H_2O) = 2x \cdot 18 = 4{,}68 \text{ г}$$

$$x = 0{,}13 \text{ моль}$$

$$CuO + H_2 \xrightarrow{t} Cu + H_2O$$

Масса оксида меди:

$$m(CuO) = 0{,}13 \cdot 80 = 10{,}4 \text{ г}$$

Ответ. 10,4 г CuO.

12. Предположим, что при сгорании магния образуется оксид. Из 18 г (0,45 моль) оксида магния при растворении в соляной кислоте и далее добавлении избытка гидроксида натрия должно образоваться 26,1 г (0,45 моль) гидроксида магния, что не соответствует условию.

Но в состав воздуха входит азот, а магний может реагировать не только с кислородом, но и с азотом.

$$2Mg + O_2 \xrightarrow{t} 2MgO$$

$$3Mg + N_2 \xrightarrow{t} Mg_3N_2$$

Пусть при сжигании магния образовалось x моль оксида магния и y моль нитрида магния.

$$\underset{x}{MgO} + \underset{2x}{2HCl} \rightarrow \underset{x}{MgCl_2} + H_2O$$

$$\underset{y}{Mg_3N_2} + \underset{8y}{8HCl} \rightarrow \underset{3y}{3MgCl_2} + \underset{2y}{2NH_4Cl}$$

При добавлении щёлочи протекают реакции:

$$\underset{x+3y}{MgCl_2} + 2NaOH \rightarrow \underset{x+3y}{Mg(OH)_2\downarrow} + 2NaCl$$

$$\underset{2y}{NH_4Cl} + NaOH \rightarrow NaCl + \underset{2y}{NH_3\uparrow} + H_2O$$

Осадок — гидроксид магния, по условию, его масса 29 г.

$$m(Mg(OH)_2) = 58(x + 3y) = 29 \text{ г}$$

Масса твердого продукта сгорания 18 г.

$$m(MgO + Mg_3N_2) = 40x + 100y = 18 \text{ г}$$

$$\begin{cases} 58(x + 3y) = 29 \\ 40x + 100y = 18 \end{cases}$$

$x = 0{,}2$ моль, $y = 0{,}1$ моль.

Объем выделившегося газа аммиака:

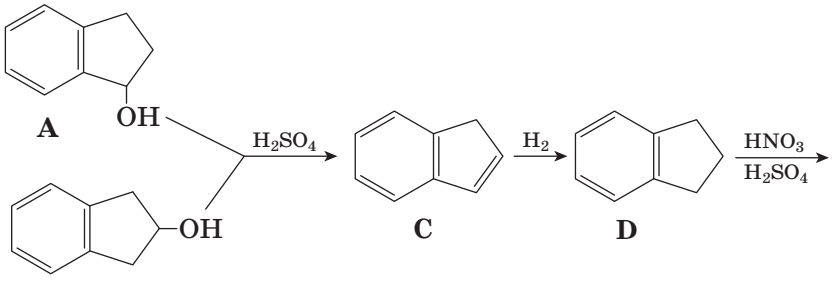
$$V(NH_3) = 0{,}2 \cdot 22{,}4 = 4{,}48 \text{ л}$$

Для полного растворения твердого продукта сгорания (оксида и нитрида магния) потребовалось 1,2 моль HCl. Рассчитаем объем раствора соляной кислоты:

$$V(HCl) = \frac{\nu \cdot M}{c \cdot \rho} = \frac{1{,}2 \cdot 36{,}5}{0{,}1 \cdot 1{,}05} = 417{,}14 \text{ мл}$$

Ответ. 4,38 л; 417,14 мл.

13. При дегидратации изомерных спиртов **A** и **B** образуется углеводород **C** состава C_9H_8, который при гидрировании дает углеводород **D** состава C_9H_{10}. Поскольку при нитровании **D** образуется только два нитропроизводных (в указанных условиях идет нитрование в бензольное кольцо), можно сделать вывод, что соединение **D** содержит два одинаковых заместителя в *орто*-положении друг к другу. Условиям задачи удовлетворяет только следующая схема превращений:



14. Дихлоруксусная кислота более чем на три порядка сильнее, она практически подавляет диссоциацию уксусной кислоты. Поэтому

концентрация ионов водорода в растворе определяется диссоциацией дихлоруксусной кислоты.

$$CHCl_2COOH \rightleftarrows H^+ + CHCl_2COO^-$$

$$K_{дисс}(CHCl_2COOH) = \frac{[H^+][CHCl_3COO^-]}{[CHCl_2COOH]} = 5{,}5 \cdot 10^{-2}$$

Обозначим равновесные концентрации:

$$[H^+] = [CHClCOO^-] = x$$

$$[CHCl_2COOH] = 1 - x$$

$$K_{дисс} = \frac{x^2}{1-x} = 5{,}5 \cdot 10^{-2}$$

Положительный корень этого квадратного уравнения $x = 0{,}21$. Поэтому равновесные концентрации ионов водорода и дихлорацетат-ионов составляют по 0,21 моль/л.

$$K_{дисс}(CH_3COOH) = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

Концентрацию ацетат-ионов обозначим y.

$$K_{дисс} = \frac{0{,}21 \cdot y}{1-y} = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$$

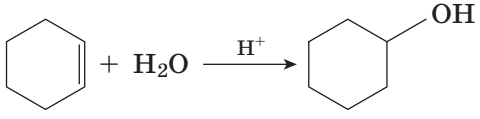
$$y = 8{,}6 \cdot 10^{-5}$$

Концентрация ацетат-иона $8{,}6 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

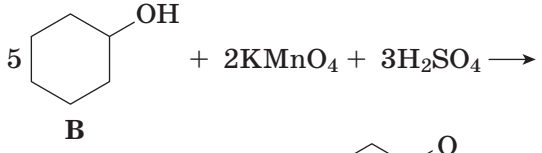
Ответ. $8{,}6 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 0,21 моль/л.

15. Участники олимпиады прислали очень много правильных вариантов ответов на это задание.

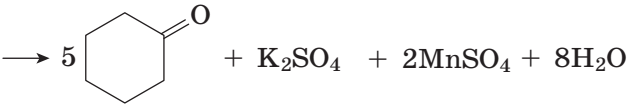
Внимание! Но надо было написать *уравнения* реакций, а не схемы!

1) 

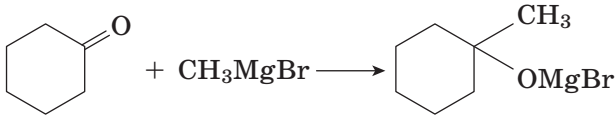
A **B**

2) 

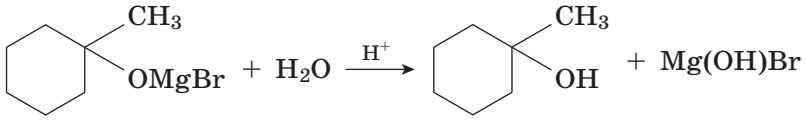
B



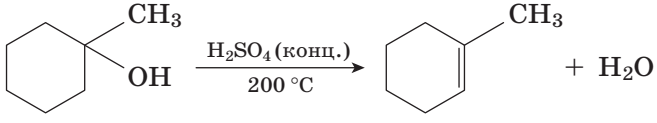
C

3) 

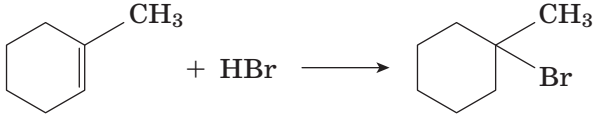
C **D**

4) 

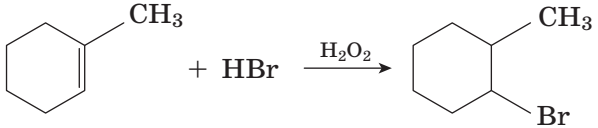
D **E**

5) 

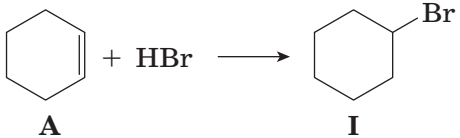
E **F**

6) 

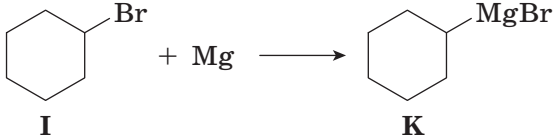
F **G**

7) 

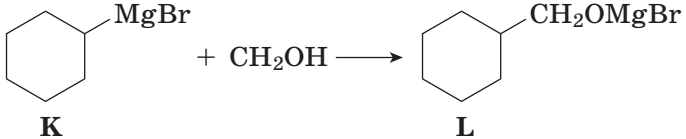
F **H**

8) 

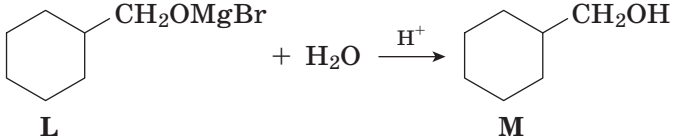
A **I**

9) 

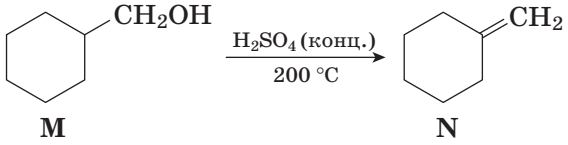
I **K**

10) 

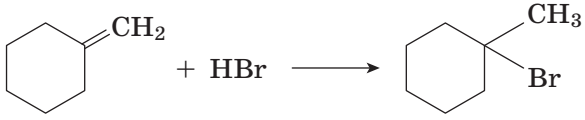
K **L**

11) 

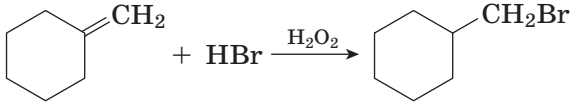
L **M**

12) 

M **N**

13) 

N **G**

14) 

N **O**

Продолжение см. на с. 263–265.

ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. Электронную конфигурацию катиона Al^{3+} ($1s^2 2s^2 2p^6$) имеют анионы F^- и O^{2-}.

2. $M = \rho \cdot V_m = 19{,}32 \cdot 10{,}2 = 197$ г/моль
Это простое вещество — золото Au.

3. **Cl**CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3
CH_3—**CHCl**—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3
CH_3—CH_2—**CHCl**—CH_2—CH_2—CH_3

4. $\nu(CO_2) = \dfrac{pV}{RT} = \dfrac{35 \cdot 101{,}3}{8{,}314 \cdot 298} = 1{,}43$ моль

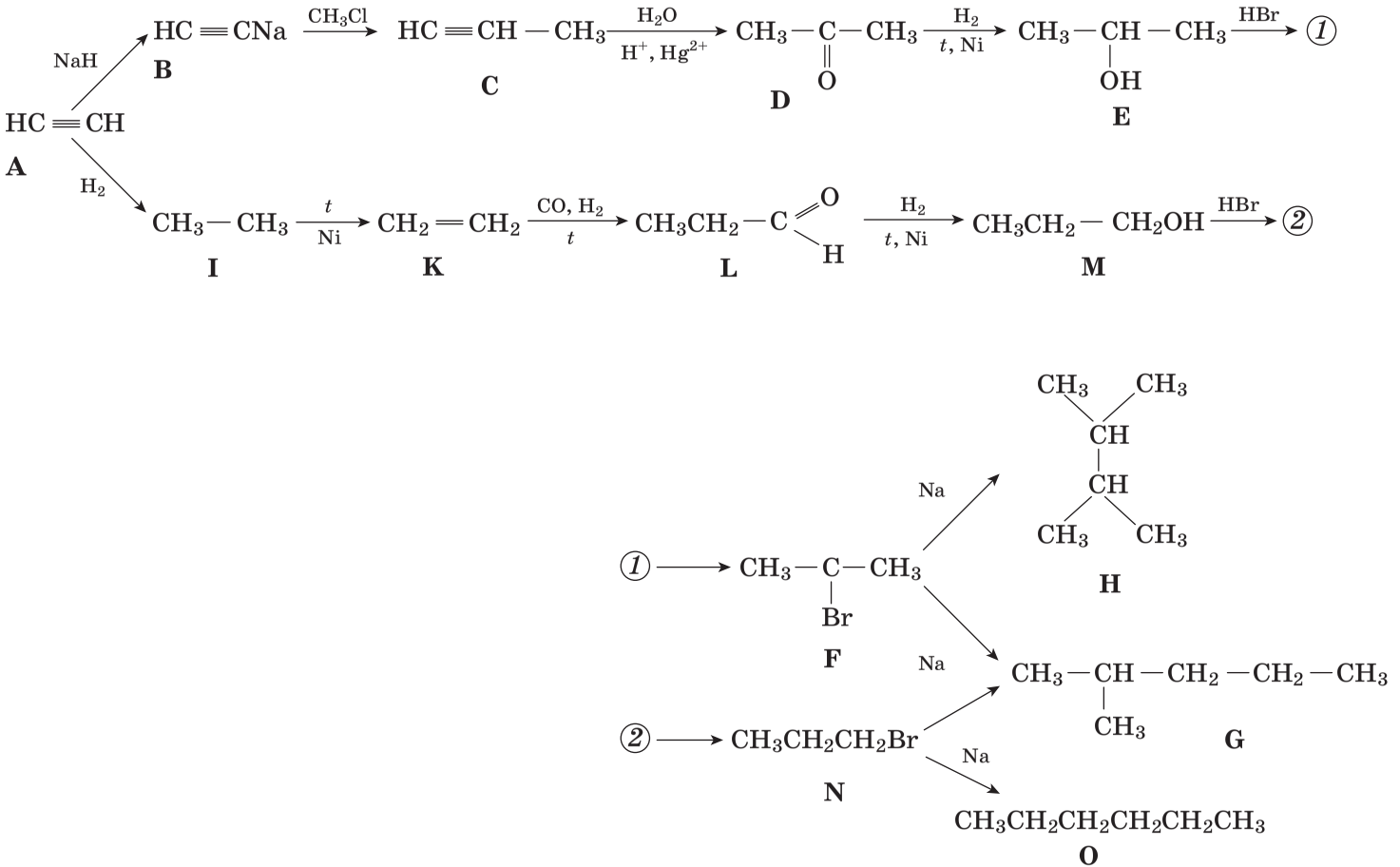
Тепловой эффект реакции пересчитаем на 1 моль углекислого газа.

$$Q = \frac{563}{1{,}43} = 394 \text{ кДж/моль}$$

Тепловой эффект реакции обусловлен образованием химических связей, когда энергия выделяется (экзотермический процесс), и разрывом связей и испарением твердого вещества, когда энергия затрачивается (эндотермический процесс).

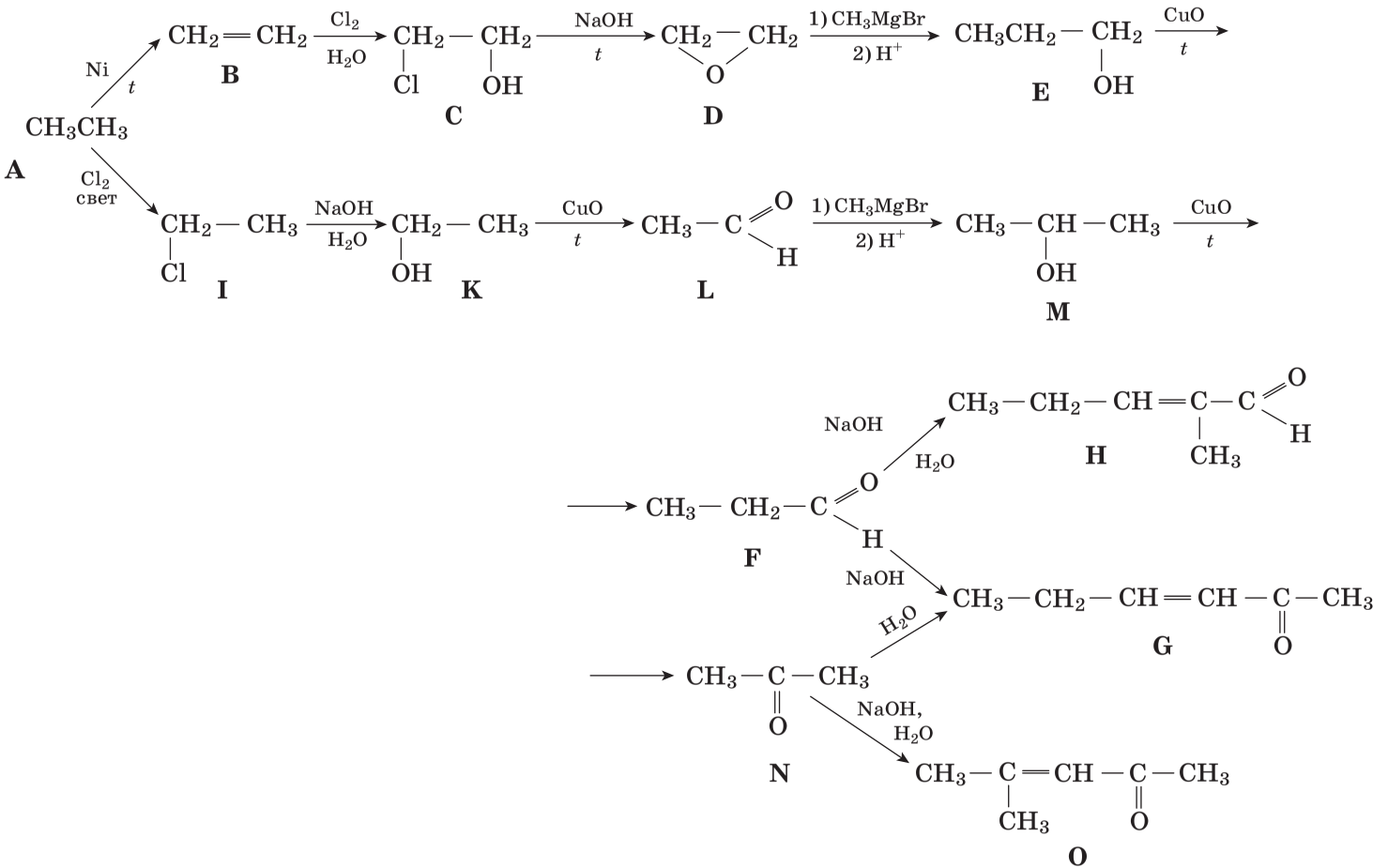
C(графит, г) + O═O → O═C═O + Q

$Q = 2 \cdot E_{св}(C{=}O) - E_{св}(O{=}O) - Q$ (затраты на испарение графита)

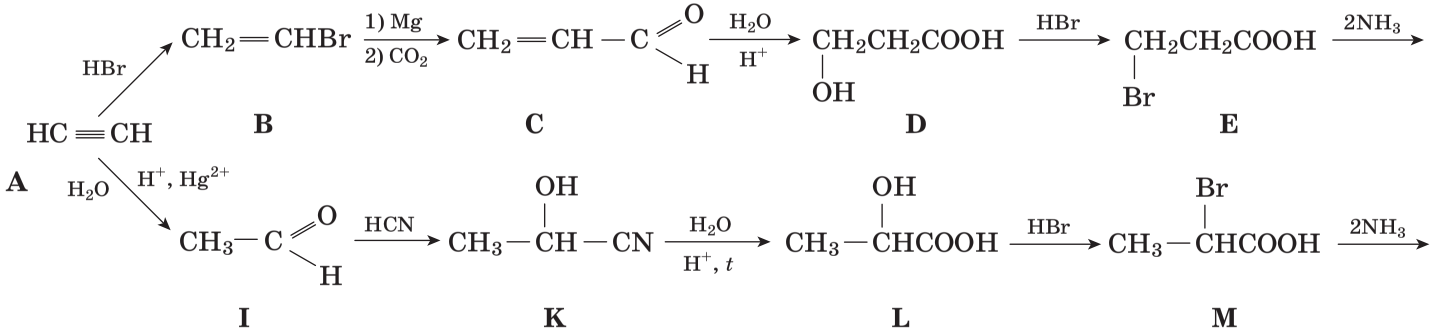


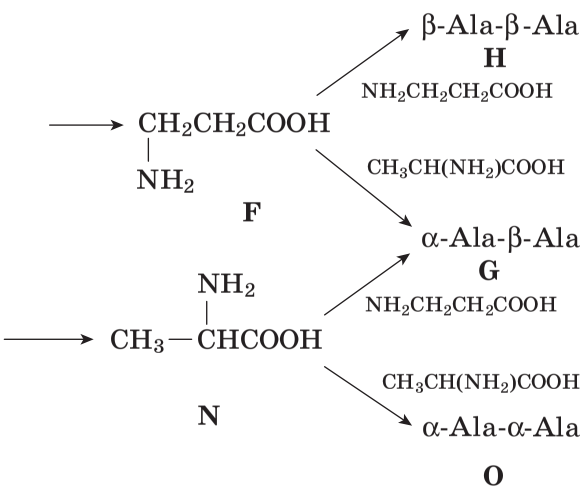
Цифры ① и ② показывают порядок совмещения схемы превращений.

Продолжение решения задания **15.**



Окончание решения задания **15.**





Пусть $E_{св}(O{=}O) = x$ (кДж/моль).

$$394 = 2 \cdot 798 - x - 705$$

$$x = 497 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. $E_{св}(O{=}O) = 497$ кДж/моль.

5. Твердый гидроксид калия поглощает H_2O и CO_2 из воздуха.

$$2KOH + CO_2 \rightarrow K_2CO_3 + H_2O$$

Влажное вещество представляет собой смесь KOH, K_2CO_3 и H_2O.

При добавлении к первому раствору избытка хлорида кальция образуется осадок карбоната кальция.

$$K_2CO_3 + CaCl_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + 2KCl$$

$$\nu(CaCO_3) = 1{,}75 : 100 = 0{,}0175 \text{ моль}$$

Итак, в половинной порции влажного вещества содержится 0,0175 моль карбоната калия, тогда во влажном веществе до его разделения на порции было 0,035 моль карбоната калия.

$$m(K_2CO_3) = 0{,}035 \cdot 138 = 4{,}83 \text{ г}$$

Массовая доля K_2CO_3 во влажном веществе:

$$\omega(K_2CO_3) = 4{,}83 : 34{,}4 = 0{,}140, \text{ или } 14{,}0\%$$

В реакцию с 0,035 моль CO_2 вступило 0,07 моль KOH. В смеси (во влажном веществе) осталось KOH:

$$m(KOH) = 30{,}0 - 0{,}07 \cdot 56 = 26{,}08 \text{ г}$$

Массовая доля KOH во влажном веществе:

$$\omega(KOH) = 26{,}08 : 34{,}4 = 0{,}758, \text{ или } 75{,}8\%$$

Массовую долю воды найдем по разности.

$$\omega(H_2O) = 100 - 14{,}0 - 75{,}8 = 10{,}2\%$$

Для того чтобы во втором растворе «избавиться» от карбоната калия и получить раствор гидроксида калия, надо добавить необходимое количество гидроксида бария:

$$K_2CO_3 + Ba(OH)_2 \rightarrow BaCO_3\downarrow + 2KOH$$

Ответ. 75,8% KOH, 14,0% K_2CO_3, 10,2% H_2O; надо добавить $Ba(OH)_2$.

6. $2HCOOAg + H_2 \rightarrow 2HCOOH + 2Ag\downarrow$

По условию, pH полученного раствора 2. Отсюда равновесная концентрация ионов H^+:

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-2} \text{ моль/л}$$

Молярную концентрацию образовавшейся муравьиной кислоты обозначим c.

$$K_{\text{дисс}} = \frac{[H^+][HCOO^-]}{[HCOOH]} = \frac{[H^+]^2}{c - [H^+]}$$

$$1{,}82 \cdot 10^{-4} = \frac{10^{-4}}{c - 10^{-2}}$$

$$c(HCOOH) = 0{,}559 \text{ моль/л}$$

Молярная концентрация формиата серебра в исходном растворе 0,559 моль/л.

Ответ. 0,559 моль/л.

7. 1) $3Cl_2 + 6KOH \xrightarrow{t} 5KCl + KClO_3 + 3H_2O$

2) $4KClO_3 \xrightarrow{t} 3KClO_4 + KCl$ (без катализатора)

3) $Cl_2 + PCl_3 \xrightarrow{t} PCl_5$

4) $PCl_5 + 8KOH \rightarrow K_3PO_4 + 5KCl + 4H_2O$

5) $2Cl_2 + 2Ca(OH)_2 \xrightarrow{\text{холодный р-р}} 2CaOCl_2 + 2H_2O$

6) $CaOCl_2 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + Cl_2\uparrow + H_2O$

8. 1) $5CH_3{-}CH{=}CH{-}CH_3 + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 10CH_3COOH + 4K_2SO_4 + 8MnSO_4 + 12H_2O$

2) $CH_3COOH + Cl_2 \xrightarrow{P_{\text{красн}}} ClCH_2COOH + HCl$

3) $ClCH_2COOH + 2NH_3 \rightarrow H_2NCH_2COOH + NH_4Cl$

4) $CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$

5) $2CH_3COONa + 2H_2O \xrightarrow{\text{электролиз}} CH_3CH_3 + 2CO_2 + H_2 + 2NaOH$

6) $CH_3CH_3 + HNO_3 \xrightarrow{t} CH_3CH_2NO_2 + H_2O$

Ответ. **X** — $ClCH_2COOH$, **Y** — CH_3COONa.

9. Рассчитаем количества щёлочи и сернистого газа:

$$\nu(NaOH) = \frac{m(\text{р-ра}) \cdot \omega}{M} = \frac{560 \cdot 0{,}1}{40} = 1{,}4 \text{ моль}$$

$$\nu(SO_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{99{,}9 \cdot 2{,}48}{8{,}31 \cdot 298} = 0{,}1 \text{ моль}$$

Возможны следующие варианты смесей:

а) P_2O_3 и PCl_3;

б) P_2O_5 и PCl_3;

в) P_2O_3 и PCl_5;

г) P_2O_5 и PCl_5.

Последний вариант (P_2O_5 и PCl_5) следует исключить из рассмотрения, так как ни P_2O_5, ни PCl_5 не реагируют с концентрированной серной кислотой.

Рассмотрим первые три варианта.

а) P_2O_3 и PCl_3.

Концентрированная серная кислота окисляет оба компонента смеси. Пусть в смеси x моль P_2O_3 и y моль PCl_3.

$$\underset{x}{P_2O_3} + 2H_2SO_4 + H_2O \rightarrow 2H_3PO_4 + \underset{2x}{2SO_2}\uparrow$$

$$\underset{y}{PCl_3} + H_2SO_4 + 2H_2O \rightarrow H_3PO_4 + \underset{y}{SO_2}\uparrow + 3HCl$$

$$m(\text{смеси}) = 110x + 137{,}5y = 36{,}775 \text{ г}$$

$$\begin{cases} 110x + 137{,}5y = 36{,}775 \\ 2x + y = 0{,}1 \end{cases}$$

Решение этой системы уравнений дает $x < 0$, что невозможно.

б) P_2O_5 и PCl_3.

Масса смеси, состоящей из x моль P_2O_5 и y моль PCl_3:

$$m(\text{смеси}) = 142x + 137{,}5y = 36{,}775 \text{ г}$$

С концентрированной серной кислотой взаимодействует только PCl_3, при этом выделяется y моль сернистого газа, что, по условию, составляет 0,1 моль; $y = 0{,}1$.

$$x = 0{,}16 \text{ моль}$$

Проведем проверку по количеству затраченной на нейтрализацию щёлочи.

$$\underset{x}{P_2O_5} + \underset{6x}{6NaOH} \rightarrow 2Na_3PO_4 + 3H_2O$$

$$\underset{y}{PCl_3} + \underset{5y}{5NaOH} \rightarrow Na_2HPO_3 + 3NaCl + 2H_2O$$

Количество щёлочи:

$$\nu(NaOH) = 6x + 5y = 6 \cdot 0{,}16 + 5 \cdot 0{,}1 = 1{,}46 \text{ моль}$$

По условию, щёлочи тратится 1,4 моль. Вариант (б) также исключается.

в) P_2O_3 и PCl_5.

Масса смеси, содержащей x моль P_2O_3 и y моль PCl_5:

$$m(\text{смеси}) = 110x + 208{,}5y = 36{,}775 \text{ г}$$

С концентрированной серной кислотой взаимодействует только оксид фосфора P_2O_3 (уравнение реакции см. выше). Из уравнения ре-

акции и условия задачи следует: $2x = 0{,}1$ моль; $x = 0{,}05$ моль. Подставляем в уравнение для массы смеси и получаем $y = 0{,}15$ моль.

Проведем проверку по количеству щёлочи, затраченной на нейтрализацию.

$$\underset{x}{P_2O_3} + \underset{4x}{4NaOH} \rightarrow 2Na_2HPO_3 + H_2O$$

$$\underset{y}{PCl_5} + \underset{8y}{8NaOH} \rightarrow Na_3PO_4 + 5NaCl + 4H_2O$$

Количество щёлочи:

$$\nu(NaOH) = 4x + 8y = 4 \cdot 0{,}05 + 8 \cdot 0{,}15 = 1{,}4 \text{ моль}$$

что соответствует условию.

Мольные доли компонентов:

$$X(P_2O_3) = \frac{0{,}05}{0{,}05 + 0{,}15} = 0{,}25, \text{ или } 25\%$$

$$X(PCl_5) = 0{,}75, \text{ или } 75\%$$

Ответ. 25% P_2O_3 и 75% PCl_5 (указан мольный состав).

10. Для полного гидролиза 1 моль тетрапептида требуется 3 моль воды. В результате гидролиза образуется четыре аминокислоты $АК_1$, $АК_2$, $АК_3$ и $АК_4$.

$$\text{тетрапептид} + 3H_2O \rightarrow АК_1 + АК_2 + АК_3 + АК_4$$

По условию, количество воды, участвующей в гидролизе:

$$\nu(H_2O) = 0{,}81 : 18 = 0{,}045 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{пептида}) = 0{,}015 \text{ моль}$$

$$\nu_{общ}(\text{аминокислот}) = 0{,}06 \text{ моль}$$

Рассчитаем массу образовавшихся аминокислот.

$$m(\text{аминокислот}) = m(\text{пептида}) + m(H_2O) = 6{,}39 \text{ г} + 0{,}81 \text{ г} = 7{,}2 \text{ г}$$

Одна из аминокислот в реакции с азотистой кислотой образует гидроксикислоту (органическое вещество), при этом выделяется азот:

$$H_2NCHRCOOH + HNO_2 \rightarrow HOCHRCOOH + N_2\uparrow + H_2O$$

Из условия, количество выделившегося азота:

$$\nu(N_2) = 1{,}008 : 22{,}4 = 0{,}045 \text{ моль}$$

Количество образовавшейся гидроксикислоты также 0,045 моль.

Отсюда молярная масса гидроксикислоты и молярная масса радикала R:

$$M = m/\nu = 4{,}77 : 0{,}045 = 106 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{R}) = 106 - 75 = 31 \text{ г/моль}$$

R = CH_2OH. При гидролизе образовалась аминокислота серин (Ser) $H_2NCH(CH_2OH)COOH$; M(Ser) = 105 г/моль.

$$m(\text{Ser}) = 105 \cdot 0{,}045 = 4{,}725 \text{ г}$$

Но при гидролизе получено в 3 раза больше серина по сравнению с количеством исходного тетрапептида (0,015 моль). Отсюда можно заключить, что в составе тетрапептида три остатка серина и один остаток неизвестной аминокислоты, количество которой 0,015 моль.

Масса и молярная масса неизвестной аминокислоты:

$$m(\text{аминокислоты}) = 7{,}2 - 4{,}725 = 2{,}475 \text{ г}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = 2{,}475 : 0{,}015 = 165 \text{ г/моль}$$

Это фенилаланин $H_2NCH(CH_2C_6H_5)COOH$.

Состав тетрапептида (одна из возможных аминокислотных последовательностей):

серил-серил-фенилаланил-серин

Ser–Ser–Phe–Ser

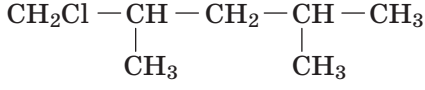
Ответ. Ser–Ser–Phe–Ser.

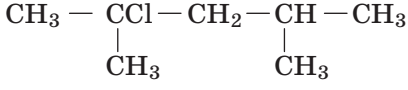
ВАРИАНТ 2

1. Na^+, Mg^{2+}.

2. Si.

3.





4. $E_{св}$(C═O) = 798 кДж/моль.

5. 73,2% KOH, 15,9% K_2CO_3, 10,9% H_2O; добавить $Ba(OH)_2$.

6. $6{,}75 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

7. 1) $Na_2SO_3 + H_2O_2 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$

2) $Na_2SO_4 + 4C \xrightarrow{t} Na_2S + 4CO\uparrow$

3) $Na_2SO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + SO_2\uparrow + H_2O$

4) $Na[Cr(OH)_4] + SO_2 \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + NaHSO_3$

5) $5Na_2SO_3 + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5Na_2SO_4 + 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 3H_2O$

6) $BaCl_2 + MnSO_4 \rightarrow BaSO_4\downarrow + MnCl_2$

8. 1) $CH_3CH_2COOH + Cl_2 \xrightarrow{P_{красн}} CH_3CHClCOOH + HCl$

2) $CH_3CHClCOOH + 2NH_3 \rightarrow CH_3CH(NH_2)COOH + NH_4Cl$

3) $CH_3CH(NH_2)COOH + CH_3OH \xrightarrow{H^+}$
$\rightarrow CH_3CH(NH_2)COOCH_3 + H_2O$

4) $CH_3CHClCOOH + 2KOH \xrightarrow{спирт} CH_2{=}CHCOOK + KCl + H_2O$

5) $2CH_2{=}CH{-}COOK + H_2SO_4 \rightarrow 2CH_2{=}CH{-}COOH + K_2SO_4$

6) $CH_2{=}CH{-}COOH + H_2O \xrightarrow{H^+} HOCH_2CH_2COOH$

Ответ. **X** — $CH_3CH(NH_2)COOH$; **Y** — $CH_2{=}CHCOOK$.

9. 16,7% P_2O_3 и 83,3% PCl_5 (указан мольный состав).

10. Состав тетрапептида (одна из возможных аминокислотных последовательностей): серил-серил-фенилаланил-серин или Ser–Ser–Phe–Ser.

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

1. $N(\text{p}) = N(\text{e}) = 9 \cdot 2 + 8 = 26$ (число электронов равно числу протонов, так как молекула электронейтральна). Находим число нейтронов:

$$N(\text{n}) = M - Z = 54 - 26 = 28$$

Ответ. 26 протонов, 26 электронов, 28 нейтронов.

2. Воспользуемся уравнением Клапейрона—Менделеева.

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M}RT$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Выразим молярную массу M газа через известные величины.

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1{,}165 \cdot 8{,}31 \cdot 293}{101{,}3} = 28 \text{ г/моль}$$

Это оксид углерода (угарный газ) CO.
Ответ. CO.

3. $\nu(CaCl_2) = \dfrac{\rho \cdot V \cdot \omega}{M(CaCl_2)} = 0{,}0757$ моль

$$c = \frac{\nu}{V} = \frac{0{,}0757}{0{,}05} = 1{,}514 \text{ моль/л}$$

Ответ. 1,514 моль/л.

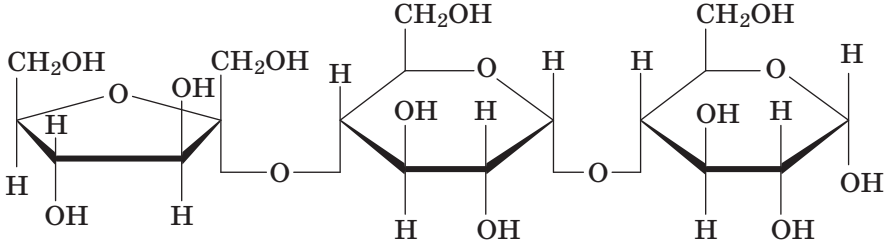
4. Из условия следует, что, во-первых, трисахарид является восстанавливающим, поскольку реагирует с бромной водой. Это означает, что пиранозный цикл глюкозы этого трисахарида содержит гликозидный гидроксил и может раскрываться, образуя альдегидную группу, которая окисляется бромной водой до карбоксильной:

$$R—CHO + Br_2 + H_2O \rightarrow R—COOH + 2HBr$$

Во-вторых, частичный гидролиз этого трисахарида приводит к образованию дисахарида мальтозы (состоит из двух остатков α-глюкозы) и моносахарида (очевидно, фруктозы):

$$\underset{\text{трисахарид}}{C_{18}H_{32}O_{16}} + H_2O \xrightarrow{H^+} \underset{\text{фруктоза}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{мальтоза}}{C_{12}H_{22}O_{11}}$$

Условию удовлетворяет трисахарид фруктоза-глюкоза-глюкоза.



Ответ. Фруктоза-глюкоза-глюкоза.

5. Амфотерность — способность вещества вступать в реакции (не сопровождающиеся изменением степеней окисления) как с кислотами, так и со щелочами. Только FeO и $(CH_3COO)_2Ca$ не обладают амфотерными свойствами. Реакции, подтверждающие амфотерность остальных четырех веществ:

1) $Cr(OH)_3 + NaOH \rightarrow Na[Cr(OH)_4]$
   $Cr(OH)_3 + 3HCl \rightarrow CrCl_3 + 3H_2O$

2) $H_2N—CH_2—COOH + NaOH \rightarrow H_2N—CH_2—COONa + H_2O$
$H_2N—CH_2—COOH + HCl \rightarrow Cl^-H_3N^+—CH_2—COOH$
3) $(NH_4)_2S + 2NaOH \rightarrow Na_2S + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$
$(NH_4)_2S + 2HCl \rightarrow 2NH_4Cl + H_2S\uparrow$
4) $Ca(HCO_3)_2 + 2NaOH \rightarrow CaCO_3\downarrow + Na_2CO_3 + H_2O$
$Ca(HCO_3)_2 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + 2CO_2\uparrow + 2H_2O$

Ответ. Амфотерными свойствами обладают $Cr(OH)_3$, H_2NCH_2COOH, $(NH_4)_2S$ и $Ca(HCO_3)_2$.

6. В 50 мл раствора находятся $1{,}505 \cdot 10^{19}$ хлорид-ионов и $1{,}505 \cdot 10^{19}$ ионов стронция, тогда в 1 л раствора — $3{,}01 \cdot 10^{20}$ хлорид-ионов и $3{,}01 \cdot 10^{20}$ ионов стронция. Найдем количества ионов и растворенных веществ.

$\nu(Cl^-) = N(Cl^-) : N_A = 3{,}01 \cdot 10^{20} : 6{,}02 \cdot 10^{23} = 5 \cdot 10^{-4}$ моль

$\nu(SrCl_2) = 0{,}5 \cdot \nu(Cl^-) = 2{,}5 \cdot 10^{-4}$ моль

$\nu(Sr^{2+}) = N(Sr^{2+}) : N_A = 3{,}01 \cdot 10^{20} : 6{,}02 \cdot 10^{23} = 5 \cdot 10^{-4}$ моль

$\nu(Sr(OH)_2) = \nu(Sr^{2+}) - \nu(SrCl_2) = 5 \cdot 10^{-4} - 2{,}5 \cdot 10^{-4} = 2{,}5 \cdot 10^{-4}$ моль

$\nu(OH^-) = \nu(Sr(OH)_2) = 2 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-4} = 5 \cdot 10^{-4}$ моль

Концентрация OH^- в растворе:

$$[OH^-] = 5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

Найдем концентрацию ионов H^+. Запишем ионное произведение воды:

$$K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$$

$$[H^+] = 10^{-14} : 5 \cdot 10^{-4} = 2 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg(2 \cdot 10^{-11}) = 10{,}7$$

Или по-другому:

$$pH = 14 + \lg[OH^-] = 10{,}7$$

Ответ. pH = 10,7.

7. 1) $4P + 5O_2(\text{изб.}) \xrightarrow{t} 2P_2O_5$
2) $P_2O_5 + 3CaCO_3 \xrightarrow{t} Ca_3(PO_4)_2 + 3CO_2\uparrow$
3) $3P + 5HNO_3(\text{разб.}) + 2H_2O \rightarrow 3H_3PO_4 + 5NO\uparrow$
4) $H_3PO_4 + 3NaOH \rightarrow Na_3PO_4 + 3H_2O$
5) $2P + 3Ca \xrightarrow{t} Ca_3P_2$
6) $Ca_3P_2 + 6HCl \rightarrow 3CaCl_2 + 2PH_3\uparrow$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — P_2O_5; $\mathbf{X_2}$ — $Ca_3(PO_4)_2$; $\mathbf{X_3}$ — H_3PO_4; $\mathbf{X_4}$ — Na_3PO_4; $\mathbf{X_5}$ — Ca_3P_2; $\mathbf{X_6}$ — PH_3.

8. 1) $CH_3CH_2NH_2 + HNO_2 \rightarrow CH_3CH_2OH + N_2\uparrow + H_2O$

2) $CH_3CH_2OH + CuO \xrightarrow{t} CH_3CHO + Cu + H_2O$

3) $CH_3CHO + HCN \rightarrow CH_3—CH(OH)—CN$

4) $CH_3—CH(OH)—CN + 2H_2O + HCl \rightarrow$
$\rightarrow CH_3—CH(OH)—COOH + NH_4Cl$

5) $CH_3—CH(OH)—COOH + HBr \rightarrow CH_3—CHBr—COOH + H_2O$

6) $CH_3—CHBr—COOH + CH_3OH \xrightarrow{H^+}$
$\rightarrow CH_3—CHBr—COO—CH_3 + H_2O$

Ответ. **X** — CH_3CH_2OH; **Y** — $CH_3—CH(OH)—COOH$, молочная кислота.

9. Пусть в исходной смеси x моль SrH_2 и y моль Zn_3N_2.

$$\underset{x}{SrH_2} + 2H_2O \rightarrow \underset{x}{Sr(OH)_2} + \underset{2x}{2H_2}\uparrow$$

$$\underset{y}{Zn_3N_2} + 6H_2O \rightarrow \underset{3y}{3Zn(OH)_2}\downarrow + \underset{2y}{2NH_3}\uparrow$$

Гидроксид стронция $Sr(OH)_2$ (щёлочь) и амфотерный гидроксид цинка $Zn(OH)_2$ образуют комплексную соль тетрагидроксоцинкат стронция.

$$\underset{x}{Sr(OH)_2} + \underset{x}{Zn(OH)_2} \rightarrow \underset{x}{Sr[Zn(OH)_4]}$$

Уменьшение массы раствора обусловлено выделением газов H_2 и NH_3 и образованием осадка $Zn(OH)_2$ (в случае его *избытка*):

$4x + 34y + 99(3y - x) = 16{,}4$

$331y - 95x = 16{,}4$

$m(\text{р-ра}) = 90x + 223y + 260{,}85 - 16{,}4 = 90x + 223y + 244{,}45$

Массовая доля соли в этом растворе:

$$\omega(Sr[Zn(OH)_4]) = \frac{m}{m(\text{р-ра})} = \frac{221x}{90x + 223y + 244{,}45} = 0{,}25$$

$$\begin{cases} 331y - 95x = 16{,}4 \\ 794x - 223y = 244{,}45 \end{cases}$$

$x = 0{,}35,\ y = 0{,}15$

Другой вариант решения. Предположим, что в реакции с водой щёлочь $Sr(OH)_2$ образовалась в избытке и гидроксид цинка прореагировал полностью.

$$\underset{3y}{Sr(OH)_2} + \underset{3y}{Zn(OH)_2} \rightarrow \underset{3y}{Sr[Zn(OH)_4]}$$

В этом случае изменение массы раствора обусловлено только выделением газов.

$$4x + 34\ y = 16{,}4$$

$$\omega(Sr[Zn(OH)_4]) = \frac{m}{m(\text{р-ра})} = \frac{221 \cdot 3y}{90x + 233y + 244{,}45} = 0{,}25$$

$$\begin{cases} 4x + 34y = 16{,}4 \\ 2419y - 90x = 244{,}45 \end{cases}$$

$$x = 2{,}73,\ y = 0{,}7$$

Ответ (два варианта). 0,35 моль SrH_2 и 0,15 моль Zn_3N_2
или 2,73 моль SrH_2 и 0,7 моль Zn_3N_2.

10.

$$\text{алкен} \xrightarrow{Br_2} \text{дибромалкан} \xrightarrow{KOH\ (\text{спирт})} \text{алкин} \xrightarrow{C_{\text{актив}},\ 600\ ^\circ C} \text{арен}$$

Массовая доля углерода в алкене C_nH_{2n}:

$$\omega(C) = 12n/14n = 0{,}8571$$

Массовая доля углерода в арене C_mH_{2m-6} (продукте реакции):

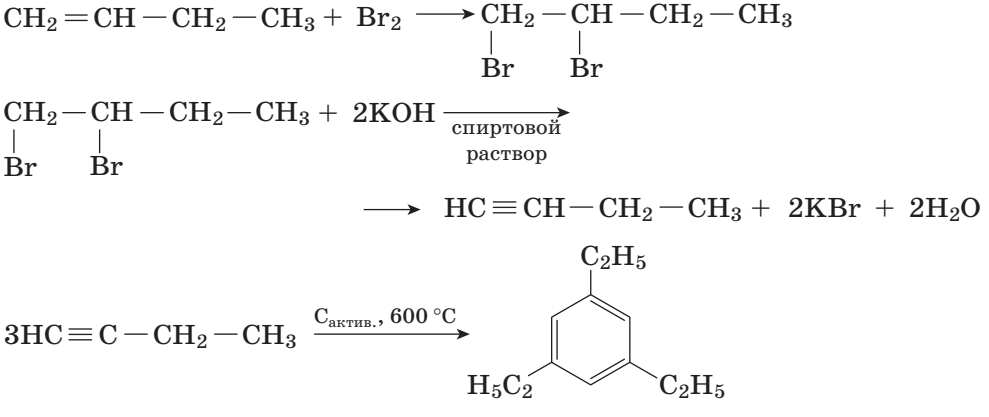
$$\omega(C) = 0{,}8571 + 0{,}0318 = 0{,}8889$$

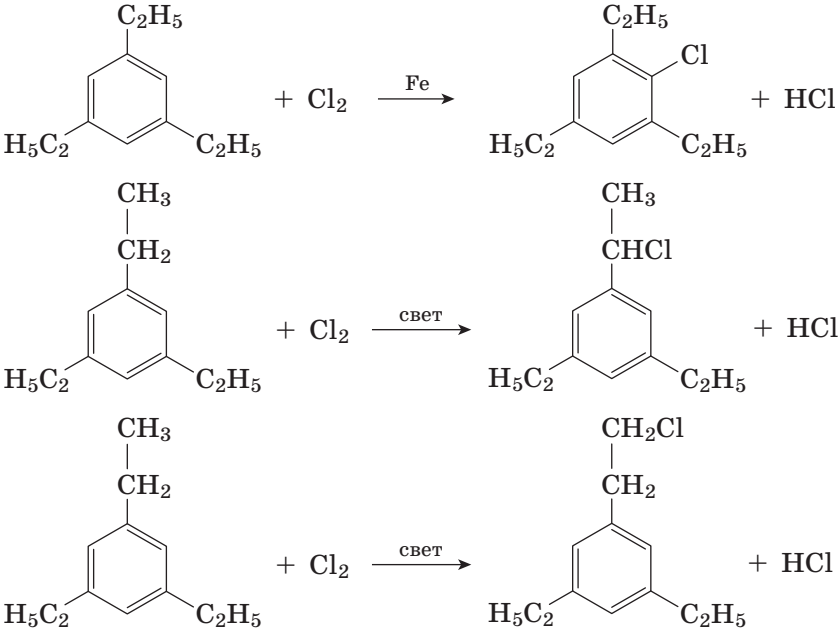
$$0{,}8889 = 12m : (14m - 6)$$

$$m = 12$$

Это арен $C_{12}H_{18}$. Последняя реакция — тримеризация алкина, поэтому исходный алкен — C_4H_8.

Поскольку хлорирование арена в присутствии железа приводит к единственному монохлорпроизводному, а хлорирование на свету — к двум монохлорпроизводным, то искомый арен — это 1,3,5-триэтилбензол, а исходный алкен — бутен-1.





Ответ. Бутен-1; 1,3,5-триэтилбензол.

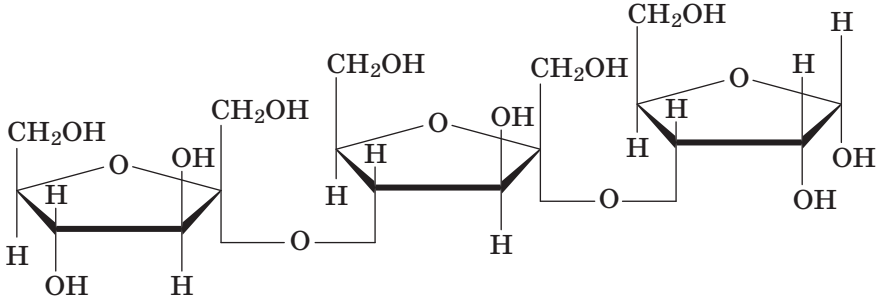
ВАРИАНТ 2

1. 18 протонов, 18 электронов, 16 нейтронов.

2. C_2H_6.

3. 4 моль/л.

4. Фруктоза-фруктоза-рибоза:



5. ZnO, $H_2NCH(CH_3)COOH$, $(NH_4)_2SO_3$ и $KHCO_3$. Реакции, подтверждающие амфотерность этих веществ:

1) $ZnO + 2NaOH + H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4]$
   $ZnO + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2O$
2) $H_2N—CH(CH_3)—COOH + NaOH \rightarrow$
   $\rightarrow H_2N—CH(CH_3)—COONa + H_2O$

$H_2N—CH(CH_3)—COOH + HCl \rightarrow Cl^-H_3N^+—CH(CH_3)—COOH$

3) $(NH_4)_2SO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_3 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$
$(NH_4)_2SO_3 + 2HCl \rightarrow 2NH_4Cl + SO_2\uparrow + H_2O$

4) $KHCO_3 + KOH \rightarrow K_2CO_3 + H_2O$
$KHCO_3 + HCl \rightarrow KCl + CO_2\uparrow + H_2O$

6. pH = 12

7. 1) $8P + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O \xrightarrow{t} 3Ba(H_2PO_2)_2 + 2PH_3\uparrow$

2) $Ba(H_2PO_2)_2 + H_2SO_4 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2H_3PO_2$

3) $2P + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \xrightarrow{t} 2H_3PO_4 + K_2SO_4 + 2MnSO_4$

4) $2H_3PO_4(конц.) + 3Na_2SO_3(т) \rightarrow 2Na_3PO_4 + 3SO_2\uparrow + 3H_2O$

5) $2P + 3Cl_2(недост.) \rightarrow 2PCl_3$

6) $2PCl_3 + 6H_2O \rightarrow 2H_3PO_3 + 6HCl$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — $Ba(H_2PO_2)_2$; $\mathbf{X_2}$ — H_3PO_2; $\mathbf{X_3}$ — H_3PO_4; $\mathbf{X_4}$ — Na_3PO_4; $\mathbf{X_5}$ — PCl_3; $\mathbf{X_6}$ — H_3PO_3.

8. 1) $CH_3—CHO + HCN \rightarrow CH_3—CH(OH)—C\equiv N$

2) $CH_3CH(OH)CN + 2H_2O + HCl \rightarrow CH_3CH(OH)COOH + NH_4Cl$

3) $CH_3CHO + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} CH_3COOH + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$

4) $CH_3—COOH + Cl_2 \xrightarrow{P_{красн}} ClCH_2—COOH + HCl$

5) $ClCH_2—COOH + 2NH_3 \rightarrow H_2N—CH_2—COOH + NH_4Cl$

6) $H_2N—CH_2—COOH + HNO_2 \rightarrow HO—CH_2—COOH + N_2\uparrow + H_2O$

Ответ. **X** — $CH_3—CH(OH)—C\equiv N$; **Y** — $ClCH_2—COOH$.

9. 0,1 моль Ba_3N_2 и 0,7 моль AlP или 0,28 моль Ba_3N_2 и 0,75 моль AlP.

10. Пропен, бензол.

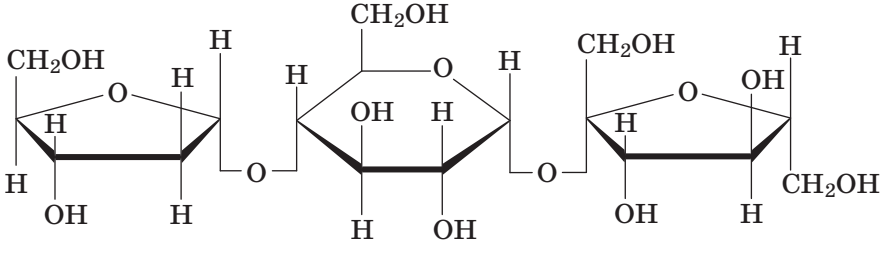
ВАРИАНТ 3

1. $N(p) = 24$, $N(n) = 18$, $N(e) = 24$.

2. C_3H_6.

3. 8,13 моль/л.

4. Рибоза-глюкоза-фруктоза:



5. 1) $Cr(OH_3 + NaOH \rightarrow Na[Cr(OH)_4]$
$Cr(OH)_3 + 3HCl \rightarrow CrCl_3 + 3H_2O$
2) $H_2N(CH_2)_4COOH + NaOH \rightarrow H_2N(CH_2)_4COONa + H_2O$
$H_2N(CH_2)_4COOH + HCl \rightarrow Cl^-H_3N^+(CH_2)_4COOH$
3) $HCOONH_4 + NaOH \rightarrow HCOONa + NH_3 + H_2O$
$HCOONH_4 + HCl \rightarrow 2NH_4Cl + HCOOH$
4) $KHSO_3 + KOH \rightarrow K_2SO_3 + H_2O$
$KHSO_3 + HCl \rightarrow KCl + SO_2 + H_2O$

6. pH = 12.

7. 1) $3Cl_2 + 6KOH \xrightarrow{t} 5KCl + KClO_3 + 3H_2O$

2) $4KClO_3 \xrightarrow{t} 3KClO_4 + KCl$

3) $3Cl_2 + 2Fe \xrightarrow{t} 2FeCl_3$

4) $2FeCl_3 + Cu \rightarrow 2FeCl_2 + CuCl_2$
5) $2Cl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaOCl_2 + 2H_2O$
6) $CaOCl_2 + Na_2SO_3 \rightarrow CaSO_4\downarrow + 2NaCl$

8. 1) $CH_3CH_2NO_2 + 3H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2NH_2 + 2H_2O$
2) $CH_3CH_2NH_2 + HNO_2 \rightarrow CH_3CH_2OH + N_2\uparrow + H_2O$
3) $CH_3CH_2OH + CuO \xrightarrow{t} CH_3CHO + Cu + H_2O$
4) $CH_3CHO + 2Cu(OH)_2 \rightarrow CH_3COOH + Cu_2O + 2H_2O$
5) $2CH_3COOH + CaO \rightarrow (CH_3COO)_2Ca + H_2O$
6) $(CH_3COO)_2Ca \xrightarrow{t} CH_3COCH_3\uparrow + CaCO_3$

9. Два варианта: 0,2 моль Cs_3P и 0,2 моль Al_4C_3 или 2,46 моль Cs_3P и 0,193 моль Al_4C_3.

10. C_4H_8 (бутен-2), C_8H_{10} (1,2-диметилбензол, *орто*-ксилол).

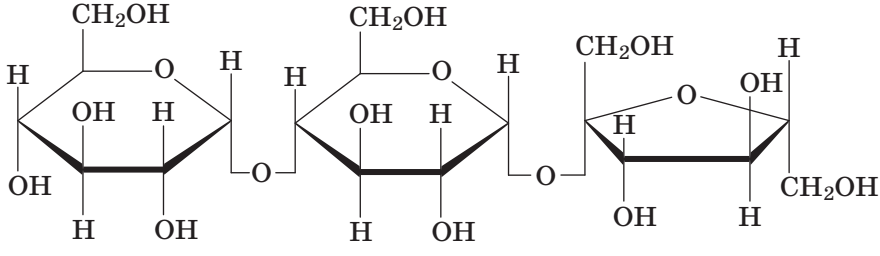
ВАРИАНТ 4

1. $N(p) = 18$, $N(n) = 14$, $N(e) = 18$.

2. C_2H_2.

3. 1,2 моль/л.

4. Глюкоза-глюкоза-фруктоза:



5. 1) $ZnO + 2NaOH + H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4]$
$ZnO + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2O$
2) $2CaHPO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2\downarrow + 2H_2O$
$CaHPO_4 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + H_3PO_4$
3) $CH_3CH_2COONH_4 + NaOH \rightarrow CH_3CH_2COONa + NH_3 + H_2O$
$CH_3CH_2COONH_4 + HCl \rightarrow 2NH_4Cl + CH_3CH_2COOH$
4) $H_2NCH_2COOH + NaOH \rightarrow H_2NCH_2COONa + H_2O$
$H_2NCH_2COOH + HCl \rightarrow Cl^-H_3N^+CH_2COOH$

6. pH = 12.

7. 1) $Cr_2O_3 + 2KOH \xrightarrow{t} 2KCrO_2 + H_2O$
2) $KCrO_2 + CO_2 + 2H_2O \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + KHCO_3$
3) $Cr_2O_3 + KClO_3 + 4KOH \rightarrow 2K_2CrO_4 + KCl + 2H_2O$
4) $2K_2CrO_4 + H_2SO_4 \rightarrow K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$
5) $Cr_2O_3 + 2Al \xrightarrow{t} Al_2O_3 + 2Cr$
6) $Cr + 2HCl \rightarrow CrCl_2 + H_2$

8. 1) $CH_3CH_2CH_2NH_2 + HNO_2 \rightarrow CH_3CH_2CH_2OH + N_2\uparrow + H_2O$
2) $CH_3CH_2CH_2OH + CuO \xrightarrow{t} CH_3CH_2CHO + Cu + H_2O$
3) $CH_3CH_2CHO + 2Ag[(NH_3)_2]OH \rightarrow$
$\rightarrow CH_3CH_2COONH_4 + 3NH_3 + H_2O + 2Ag\downarrow$
4) $CH_3CH_2COONH_4 + HCl \rightarrow CH_3CH_2COOH + NH_4Cl$
5) $CH_3CH_2COOH + Cl_2 \xrightarrow{P_{красн}} CH_3CHClCOOH + HCl$
6) $CH_3CHClCOOH + 2NH_3 \rightarrow CH_3CH(NH_2)COOH + NH_4Cl$

9. Два варианта: 0,05 моль BaH_2 и 0,15 моль AlP или 0,83 моль BaH_2 и 0,173 моль AlP.

10. C_4H_8, бутен-1 или бутен-2; C_8H_{10}, 1,2-диметилбензол (*орто*-ксилол).

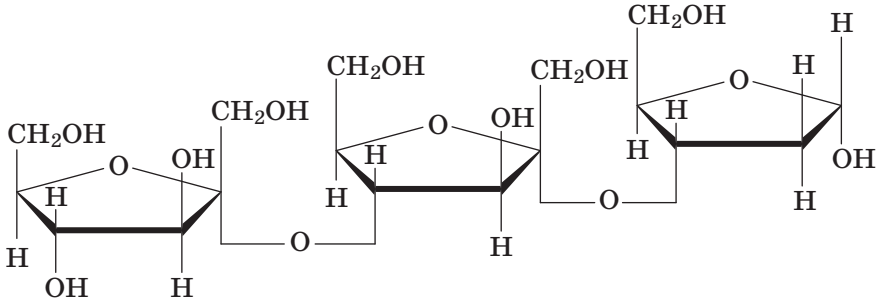
ВАРИАНТ 5

1. $N(p) = 18$, $N(n) = 16$, $N(e) = 18$.

2. N_2O.

3. 1,3 моль/л.

4. Фруктоза-фруктоза-дезоксирибоза:



5. 1) $Al(OH)_3 + NaOH \rightarrow Na[Al(OH)_4]$
$Al(OH)_3 + 3HCl \rightarrow AlCl_3 + 3H_2O$
2) $H_2N(CH_2)_3COOH + KOH \rightarrow H_2N(CH_2)_3COOK + H_2O$
$H_2N(CH_2)_3COOH + HCl \rightarrow Cl^-H_3N^+(CH_2)_3COOH$
3) $Na_2HPO_4 + NaOH \rightarrow Na_3PO_4 + H_2O$
$Na_2HPO_4 + HCl \rightarrow NaCl + NaH_2PO_4$
4) $CH_3COONH_4 + NaOH \rightarrow CH_3COONa + NH_3\uparrow + H_2O$
$CH_3COONH_4 + HCl \rightarrow 2NH_4Cl + CH_3COOH$

6. pH = 11.

7. 1) $K_2S + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow Ag_2S\downarrow + 4NH_3 + 2KOH$
2) $Ag_2S + O_2 \xrightarrow{t} 2Ag + SO_2$
3) $K_2S + 2HCl \rightarrow H_2S\uparrow + 2KCl$
4) $Na[Al(OH)_4] + H_2S \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + NaHS + H_2O$
5) $2K_2S(р\text{-}р) + 3SO_2 \rightarrow 2K_2SO_3 + 3S\downarrow$
6) $K_2SO_3 + 2KMnO_4 + 2KOH \rightarrow 2K_2MnO_4 + K_2SO_4 + H_2O$

8. 1) $CH{\equiv}CH + 2H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_3$
2) $CH_3CH_3 + HNO_3 \xrightarrow{t} CH_3CH_2NO_2 + H_2O$
3) $CH_3CH_2NO_2 + 3H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2NH_2 + 2H_2O$
4) $CH_3CH_2NH_2 + HNO_2 \rightarrow CH_3CH_2OH + N_2\uparrow + H_2O$
5) $CH_3CH_2OH + CuO \xrightarrow{t} CH_3CHO + Cu + H_2O$
6) $CH_3CHO + 2Ag[(NH_3)_2]OH \rightarrow$
$\rightarrow CH_3COONH_4 + 3NH_3 + H_2O + 2Ag\downarrow$

9. 0,104 моль SrH_2 и 0,407 моль AlN.

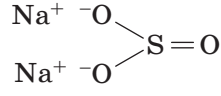
10. C_4H_8, Бутен-2; $C_{12}H_{18}$, гексаметилбензол.

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

ВАРИАНТ 1

1. Атом Ca: $1s^22s^22p^63s^23p^64s^2$.
Ион Ca^{2+}: $1s^22s^22p^63s^23p^6$.

2. Графическая формула сульфита натрия Na_2SO_3:



3. Примесь фосфата натрия в хлориде натрия можно обнаружить с помощью соединения, не взаимодействующего с хлоридом, но даю-

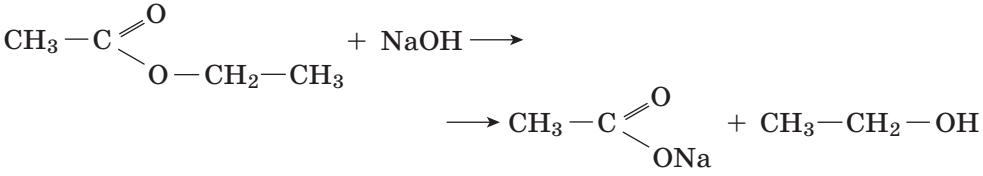
щего осадок с фосфатом натрия, например это может быть гидроксид бария:

$$Ba(OH)_2 + NaCl \rightarrow \text{реакция не идет}$$

$$Ba(OH)_2 + Na_3PO_4 \rightarrow Ba_3(PO_4)_2\downarrow + 3NaOH$$

Если в исходном хлориде натрия присутствовала примесь фосфата, то с гидроксидом бария образуется белый осадок.

4. Реакция щелочного гидролиза этилацетата:



5. Выражение для скорости реакции $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$:

$$v = kc(CO)^2 \cdot c(O_2)$$

Молярные концентрации газов прямо пропорциональны давлению:

$$p = cRT$$

При уменьшении давления в 2 раза скорость реакции уменьшится в $2^3 = 8$ раз.

Ответ. Скорость реакции уменьшится в 8 раз.

6. Пусть в смеси x моль пропана ($M(C_3H_8) = 44$ г/моль), y моль угарного газа ($M(CO) = 28$ г/моль) и z моль азота ($M(N_2) = 28$ г/моль). Масса смеси:

$$32{,}8 = 44x + 28y + 28z$$

Поскольку для газов мольные доли совпадают с объемными, можно составить еще два уравнения:

$$x = y$$

$$0{,}4 = \frac{z}{x + y + z} = \frac{z}{2y + z}$$

Выразим из последнего уравнения z:

$$z = 1{,}33y$$

Подставим это выражение в уравнение для массы смеси.

$$32{,}8 = 44y + 28y + 28 \cdot 1{,}33y = 109{,}24y$$

$$y = x = \frac{32{,}8}{109{,}24} = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$z = 0{,}4 \text{ моль}$$

Запишем уравнения сгорания пропана и угарного газа (азот не взаимодействует с кислородом):

$$\underset{0,3}{C_3H_8} + \underset{1,8}{6O_2} \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$$

$$\underset{0,3}{2CO} + \underset{1,5}{O_2} \rightarrow 2CO_2$$

Общее количество кислорода $\nu = 1,8 + 1,5 = 3,3$ моль, его объем при н. у.:

$$V(O_2) = \nu \cdot V_m = 3,3 \cdot 22,4 = 73,92 \text{ л}$$

Ответ. 73,92 л.

7. $FeCl_2 + 2KOH \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow + 2KCl$

$H_2S + 0,5O_2 \rightarrow H_2O + S$ (при недостатке кислорода)

$H_2S + 1,5O_2 \rightarrow H_2O + SO_2$ (при избытке кислорода)

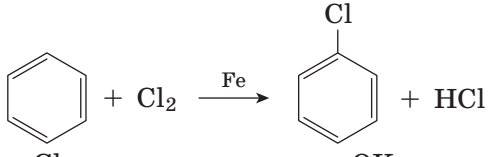
$3P + 5HNO_3 + 2H_2O \rightarrow 3H_3PO_4 + 5NO\uparrow$

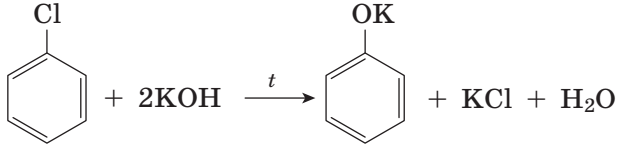
$Fe_2(SO_4)_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 3Na_2SO_4$

8. 1) $CH_2{=}CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl{=}CH_2Cl$

2) $CH_2Cl{=}CH_2Cl + 2KOH(\text{спиртовой р-р}) \rightarrow C_2H_2 + 2KCl + 2H_2O$

3) $3C_2H_2 \xrightarrow{C_{\text{актив}},\, t} C_6H_6$

4) 

5) 

6) $C_6H_5{-}OK + HCl \rightarrow C_6H_5{-}OH + KCl$

9. $m(BaCl_2) = V \cdot \rho \cdot \omega = 200 \cdot 1,04 \cdot 0,2 = 41,6$ г

$$\nu(BaCl_2) = \frac{41,6}{208} = 0,2 \text{ моль}$$

$m(Na_2SO_4) = m \cdot \omega = 142 \cdot 0,1 = 14,2$ г

$$\nu(Na_2SO_4) = \frac{14,2}{142} = 0,1 \text{ моль}$$

$$\underset{0,1}{BaCl_2} + \underset{0,1}{Na_2SO_4} \rightarrow \underset{0,1}{BaSO_4}\downarrow + \underset{0,2}{2NaCl}$$

Хлорид бария в избытке, по окончании реакции образуется 0,1 моль осадка сульфата бария, в растворе остается 0,1 моль $BaCl_2$ и 0,2 моль NaCl.

$$m(BaCl_2) = 208 \cdot 0{,}1 = 20{,}8 \text{ г}$$

$$m(NaCl) = 58{,}5 \cdot 0{,}2 = 11{,}7 \text{ г}$$

$$m(BaSO_4) = 233 \cdot 0{,}1 = 23{,}3 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра}) = 208 + 142 - 23{,}3 = 350 - 23{,}3 = 326{,}7 \text{ г}$$

Массовые доли веществ в растворе:

$$\omega(BaCl_2) = \frac{20{,}8}{326{,}7} = 0{,}0637, \text{ или } 6{,}37\%$$

$$\omega(NaCl) = \frac{11{,}7}{326{,}7} = 0{,}0358, \text{ или } 3{,}58\%$$

Ответ. 6,37% $BaCl_2$ и 3,58% NaCl.

10. Алканы не реагируют с водным раствором перманганата калия. Непоглощенный газ — это этан.

$$V(C_2H_6) = 1{,}12 \text{ л}$$

$$\nu(C_2H_6) = 1{,}12 : 22{,}4 = 0{,}05 \text{ моль}$$

$$m(C_2H_6) = 0{,}05 \cdot 30 = 1{,}5 \text{ г}$$

Реакция пропена с $KMnO_4$:

$$3CH_3{-}CH{=}CH_2 + 2KMnO_4 + 4H_2O \rightarrow$$
$$\rightarrow 3CH_3{-}CH(OH){-}CH_2(OH) + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$$

Образуется осадок оксида марганца.

$$\nu(MnO_2) = 8{,}7 : 87 = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$\nu(C_3H_6) = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$V(C_3H_6) = 0{,}15 \cdot 22{,}4 = 3{,}12 \text{ л}$$

$$m(C_3H_6) = 0{,}15 \cdot 42 = 6{,}3 \text{ г}$$

$$m(\text{смеси газов}) = 1{,}5 + 6{,}3 = 7{,}8 \text{ г}$$

$$V(\text{смеси газов}) = 1{,}12 + 3{,}12 = 4{,}24 \text{ л}$$

Ответ. 7,8 г, 4,24 л.

2013 ГОД

ОЛИМПИАДА «ПОКОРИ ВОРОБЬЁВЫ ГОРЫ!»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. Зная массу вещества m, можно найти количество вещества: $\nu = m/M$, где M = молярная или атомная масса этого вещества. Поскольку в земной коре общая масса калия и общая масса натрия почти одинаковы, а $M(\text{Na}) < M(\text{K})$, то атомов натрия в ней больше, чем атомов калия.

Ответ. В земной коре больше атомов натрия.

2. Нитрит-ион NO_2^-.

3. $CaO + CO_2 \rightarrow CaCO_3$.

4. Запишем уравнение Клапейрона—Менделеева.

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

Выразим и рассчитаем среднюю молярную массу смеси $M_{\text{ср}}$:

$$M_{\text{ср}} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1{,}46 \cdot 8{,}31 \cdot 303}{101{,}3} = 36{,}3 \text{ г/моль}$$

Средняя молярная масса смеси, состоящей из углекислого газа CO_2 (M = 44 г/моль) и неизвестного галогеноводорода, оказалась меньше молярной массы HCl (36,5 г/моль). Этот галогеноводород — HF.

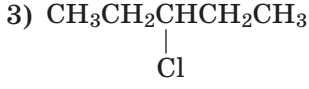
Ответ. HF.

5. Напишем структурные формулы изомерных соединений.

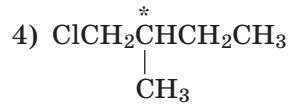
1) $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2Cl$

2) $CH_3\overset{*}{C}HCH_2CH_2CH_3$ (Cl — у звёздочки)

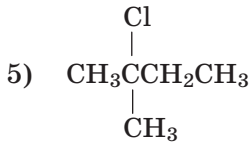
2-хлорпентан

3) 

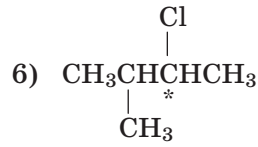
3-хлорпентан

4) 

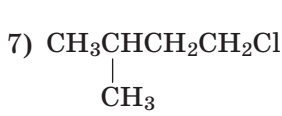
2-метил-1-хлорбутан

5) 

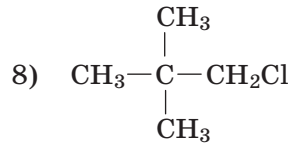
2-метил-2-хлорбутан

6) 

2-метил-3-хлорбутан

7) 

3-метил-1-хлорбутан

8) 

2,2-диметил-1-хлорпропан

Соединения (2), (4) и (6) содержат асимметрический атом углерода (отмечен звездочкой) и существуют в виде двух зеркальных изомеров (энантиомеров). Таким образом, всего 11 изомеров.

Ответ. 11 изомеров.

6. Предположим, что неизвестное вещество — соль аммония. При термическом разложении этой соли образуются аммиак и неизвестный газ. При пропускании этой газовой смеси через раствор серной кислоты поглощается аммиак:

$$H_2SO_4 + NH_3 \rightarrow NH_4HSO_4$$

При этом объем газовой смеси уменьшается в 3 раза, поэтому в исходной смеси на аммиак приходится 2 об. части, а на неизвестный газ — одна.

$$\text{соль аммония} \xrightarrow{t} 2NH_3 + \mathbf{X}$$

По условию, массы газов в смеси равны, следовательно, молярная масса **X** в 2 раза больше молярной массы аммиака.

$$M(\mathbf{X}) = 2M(NH_3) = 34 \text{ г/моль}$$

Это сероводород H_2S. Искомая соль — сульфид аммония.

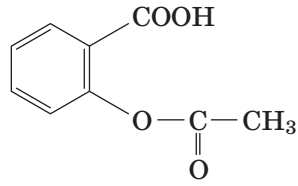
$$(NH_4)_2S \xrightarrow{t} 2NH_3\uparrow + H_2S\uparrow$$

Ответ. $(NH_4)_2S$.

7. Пусть формула соединения $C_xH_yO_z$. Тогда можно записать:

$$x : y : z = \frac{60}{12} : \frac{4,44}{1} : \frac{35,56}{16} = 5 : 4,44 : 2,22 = 9 : 8 : 4$$

Брутто-формула соединения $C_9H_8O_4$. Это ацетилсалициловая кислота (аспирин). Структурная формула ацетилсалициловой кислоты:



Ответ. Ацетилсалициловая кислота (аспирин) $C_9H_8O_4$.

8. При добавлении нитрата серебра может происходить одновременно как образование галогенидов серебра, так и восстановление серебра и окисление хрома до Cr(III). Например, для хлорида хрома(II):

$$Ag^+ + Cl^- \to AgCl\downarrow$$

$$Cr^{2+} + Ag^+ \to Cr^{3+} + Ag^0$$

Запишем суммарные реакции с участием хлорида и бромида (по аналогии) хрома(II):

$$\underset{x}{CrCl_2} + 3AgNO_3 \to Cr(NO_3)_3 + \underset{2x}{2AgCl\downarrow} + \underset{x}{Ag\downarrow}$$

$$\underset{y}{CrBr_2} + 3AgNO_3 \to Cr(NO_3)_3 + \underset{2y}{2AgBr\downarrow} + \underset{y}{Ag\downarrow}$$

Пусть в исходной смеси x г $CrCl_2$ и y г $CrBr_2$. Составим систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} 123x + 212y = 13{,}95; \\ 2x \cdot 143{,}5 + 2y \cdot 188 + (x + y) \cdot 108 = 32{,}99 \end{cases}$$

$$x = 0{,}01; \quad y = 0{,}06$$

Массы исходных солей:

$$m(CrCl_2) = 1{,}3x = 1{,}23 \text{ г}$$

$$m(CrBr_2) = 2{,}2y = 12{,}72 \text{ г}$$

Ответ. 1,23 г $CrCl_2$ и 12,72 г $CrBr_2$.

9. $2KNO_3 \xrightarrow{t} \underset{X_1}{2KNO_2} + O_2\uparrow$

$$\underset{X_1}{2KNO_2} + 2KI + 2H_2SO_4 \to 2K_2SO_4 + I_2\downarrow + \underset{X_2}{2NO\uparrow} + 2H_2O$$

$$2KNO_3(т) + H_2SO_4(конц.) \xrightarrow{t} \underset{X_3}{2HNO_3\uparrow} + K_2SO_4$$

$$\underset{\mathbf{X_3}}{S} + 6HNO_3 \xrightarrow{t} H_2SO_4 + \underset{\mathbf{X_4}}{6NO_2\uparrow} + 2H_2O$$

$$KNO_3 + 4Zn + 7KOH + 6H_2O \xrightarrow{t} 4K_2[Zn(OH)_4] + \underset{\mathbf{X_5}}{NH_3\uparrow}$$

$$\underset{\mathbf{X_5}}{4NH_3} + 3O_2 \rightarrow \underset{\mathbf{X_6}}{2N_2} + 6H_2O \text{ (без катализатора)}$$

10. Пусть в исходной смеси 1 моль N_2 и 3 моль H_2; по достижении равновесия прореагировало x моль N_2. В равновесной смеси содержится $(1 - x)$ моль N_2, $(3 - 3x)$ моль H_2 и $2x$ моль NH_3; общее количество газов:

$$(1 - x) + (3 - 3x) + 2x = 4 - 2x$$

Объемная (или мольная) доля NH_3 в равновесной смеси составляет, по условию, 10%.

$$\frac{2x}{4 - 2x} = 0{,}10$$

$$x = 0{,}182$$

Объемные доли участников реакции:

$$\varphi(N_2) = \frac{1 - x}{4 - 2x} = 0{,}225$$

$$\varphi(H_2) = \frac{3 - 3x}{4 - 2x} = 0{,}675$$

$$\varphi(NH_3) = 0{,}100$$

Если p — общее давление, то парциальные давления газов в равновесной смеси по закону Дальтона:

$$p(N_2) = 0{,}225 \cdot p$$

$$p(H_2) = 0{,}675 \cdot p$$

$$p(NH_3) = 0{,}100 \cdot p$$

Константа равновесия:

$$K_p = \frac{p(NH_3)^2}{p(N_2) \cdot p(H_2)^3} = \frac{(0{,}100p)^2}{(0{,}225p) \cdot (0{,}675p)^3} = 1{,}60 \cdot 10^{-4}$$

$p = 30{,}0$ атм

Ответ. 30,0 атм.

11. K_w (45 °C) = $[H^+] \cdot [OH^-] = 4{,}0 \cdot 10^{-14}$
В нейтральном растворе $[H^+] = [OH^-]$.

$$[H^+] = \sqrt{K_w} = 2{,}0 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$$

Итак, в нейтральном растворе pH = $-\lg[H^+] = 6{,}7$. Поэтому pH = 6,8 соответствует щелочной реакции.

Ответ. Раствор имеет щелочную реакцию.

12. Установим формулу газа, в котором массовая доля кислорода 72,73%. Если молекула газа содержит один атом кислорода, молярная масса этого газа:

$$M = \frac{16}{0{,}7273} = 22 \text{ г/моль}$$

Если в молекуле газа два атома кислорода, то молярная масса:

$$M = \frac{16 \cdot 2}{0{,}7273} = 44 \text{ г/моль}$$

Это углекислый газ. Известно, что фосфорный ангидрид используют как осушитель (водоотнимающий агент). Неизвестное вещество под действием P_2O_5 теряет воду и превращается в бинарное соединение, содержащее кислород и углерод. Установим формулу бинарного соединения, в котором массовая доля кислорода 47,06%. Если молекула газа содержит один атом кислорода, то молярная масса этого газа:

$$M = \frac{16}{0{,}74706} = 34 \text{ г/моль}$$

Если же в молекуле газа два атома кислорода, молярная масса:

$$M = \frac{16 \cdot 2}{0{,}74706} = 68 \text{ г/моль}$$

Этой молярной массе соответствует оксид C_3O_2 (недоокись углерода или дикетен). Это соединение образуется при дегидратации малоновой кислоты под действием фосфорного ангидрида:

$$HOOC—CH_2—COOH + 2P_2O_5 \rightarrow O{=}C{=}C{=}C{=}O + 4HPO_3$$

При нагревании малоновая кислота легко декарбоксилируется с образованием уксусной кислоты:

$$HOOC—CH_2—COOH \xrightarrow{t} CH_3COOH + CO_2\uparrow$$

Ответ. Малоновая кислота.

13.

$$\underset{\mathbf{A}}{C_2H_4} + H_2O \xrightarrow{H^+} \underset{\mathbf{B}}{C_2H_5OH}$$

$$2C_2H_5OH \xrightarrow[ZnO,\,Al_2O_3]{450\,^\circ C} \underset{\mathbf{C}}{CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2} + 2H_2O + H_2$$

$$CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2 + Cl_2 \xrightarrow{40\,^\circ C} \underset{\mathbf{D}}{ClCH_2{-}CH{=}CH{-}CH_2Cl}$$

$$ClCH_2{-}CH{=}CH{-}CH_2Cl + 2KCN \rightarrow$$

$$\rightarrow \underset{\mathbf{D}}{NC{-}CH_2{-}CH{=}CH{-}CH_2{-}CN}$$

$$NC{-}CH_2{-}CH{=}CH{-}CH_2{-}CN + H_2 \xrightarrow[20\,^\circ C]{Pt} \underset{\mathbf{F}}{NC{-}(CH_2)_4{-}CN}$$

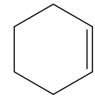
$$NC{-}(CH_2)_4{-}CN + 4H_2 \xrightarrow[200\,^\circ C]{Pt} \underset{\mathbf{G}}{H_2N{-}(CH_2)_6{-}NH_2}$$

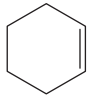
$$NC{-}(CH_2)_4{-}CN + 4H_2O + 2HCl \xrightarrow{t}$$

$$\rightarrow \underset{\mathbf{H}}{HOOC{-}(CH_2)_4{-}COOH} + 2NH_4Cl$$

$$n\,H_2N{-}(CH_2)_6{-}NH_2 + n\,HOOC{-}(CH_2)_4{-}COOH \xrightarrow{280\,^\circ C}$$

$$\rightarrow \underset{\mathbf{I}}{(-NH{-}(CH_2)_6{-}NH{-}CO{-}(CH_2)_4{-}CO-)_n} + n\,H_2O$$

$$C_2H_4 + CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2 \xrightarrow{600\,^\circ C} \underset{\mathbf{K}}{\text{  }}$$

$$5\,\text{  } + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \rightarrow$$

$$\rightarrow 5\underset{\mathbf{H}}{HOOC{-}(CH_2)_4{-}COOH} + K_2SO_4 + 8MnSO_4 + 12H_2O$$

Ответ. Соединение **I** — полимер найлон-6,6.

14. В колбе протекает следующая реакция:

$$2KI + 2NaNO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow I_2 + K_2SO_4 + Na_2SO_4 + 2NO\uparrow + 2H_2O$$

Выделившийся газ частично окислился содержавшимся в колбе кислородом воздуха до NO_2, который далее был поглощен щёлочью:

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

$$2NO_2 + 2NaOH \rightarrow NaNO_2 + NaNO_3 + H_2O$$

Увеличение массы склянки с раствором щёлочи произошло из-за поглощения диоксида азота. Определим количество поглощенного NO_2:

$$\nu(NO_2) = \frac{0{,}181}{46} = 0{,}03935 \text{ моль}$$

Объем O_2, вступившего в реакцию окисления NO:

$$V(O_2) = 0{,}5 \cdot \nu(NO_2) \cdot 22{,}4 = 0{,}044 \text{ л}$$

Этот объем O_2 соответствует следующему объему воздуха (в воздухе 21% O_2):

$$V(\text{возд.}) = \frac{0{,}044}{0{,}21} = 0{,}21 \text{ л} = 210 \text{ мл}$$

Согласно уравнению реакции, в NO_2 превратилось 0,088 л NO. По условию:

$$\nu(NaNO_2) = 0{,}5 \cdot 0{,}02 = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$\nu(KI) = 1 \cdot 0{,}02 = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2SO_4) = 3 \cdot 0{,}04 = 0{,}12 \text{ моль}$$

Таким образом, иодид и кислота взяты в избытке, причем реакция между ними не идет, так как раствор разбавлен. В реакционной колбе выделяется газ NO, который там же частично окисляется кислородом воздуха. При взаимодействии KI и нитрита образуется NO в количестве:

$$\nu(NO) = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$V(NO) = 0{,}0224 \text{ л}$$

После окисления в колбе оставался непрореагировавший NO, объем которого 0,224 − 0,088 = 0,136 л = 136 мл.

В начальный момент в колбе находилось 40 мл раствора и 210 мл воздуха. Таким образом, объем колбы 250 мл.

В реакции образовалось 224 мл NO. Часть оксида азота(II), а именно 88 мл, окислилась в NO_2, при этом поглотилось 44 мл кислорода. При добавлении в колбу серной кислоты из колбы было вытеснено 40 мл газа. Полный объем вытесненной воды:

$$V(H_2O) = 224 - 88 - 44 + 40 = 132 \text{ мл}$$

Таким образом, собрано 132 мл этой газовой смеси.

Ответ. В мерном цилиндре собрано 132 мл газа; примерный объем реакционной колбы 250 мл.

15. Речь идет об изомерах; все углеводороды в смеси имеют общую формулу C_xH_y.

$$x : y = \frac{92{,}308}{12} : \frac{7{,}692}{1} = 1 : 1$$

Итак, определили простейшую формулу CH.

При окислении углеводородов образуется бензойная кислота, поэтому можно предположить, что в смеси присутствует углеводород, в молекуле которого есть бензольное кольцо, т. е. это могут быть производные бензола: C_8H_8, $C_{10}H_{10}$, $C_{12}H_{12}$, $C_{14}H_{14}$ и т. д. либо сам бензол C_6H_6. По условию, смесь этих углеводородов не обесцвечивает бромную воду, следовательно, ни один из углеводородов не содержит кратных связей. Одним из веществ может быть 1,2-дифенилэтан $C_6H_5—CH_2—CH_2—C_6H_5$ ($C_{14}H_{14}$); другое вещество в смеси — бензол или $C_{22}H_{22}$.

Рассмотрим вариант: $C_{14}H_{14}$ и C_6H_6. Среди изомеров $C_{14}H_{14}$ только $C_6H_5—CH_2—CH_2—C_6H_5$ дает при окислении бензойную кислоту, при этом из 1 моль дифенилэтана образуется 2 моль бензойной кислоты:

$$C_6H_5CH_2CH_2C_6H_5 \xrightarrow{[O]} 2C_6H_5COOH$$

Бензол в указанных условиях не окисляется. Нейтрализация кислоты щёлочью:

$$C_6H_5COOH + KOH \rightarrow C_6H_5COOK + H_2O$$

Количество KOH, пошедшее на нейтрализацию кислоты:

$$\nu(KOH) = \frac{\rho \cdot V \cdot \omega}{M} = \frac{1{,}14 \cdot 13{,}1 \cdot 0{,}15}{56} = 0{,}04 \text{ моль}$$

$\nu(C_6H_5COOH) = 0{,}04$ моль

$\nu(C_{14}H_{14}) = 0{,}02$ моль

$\nu(C_6H_6) = 0{,}02$ моль

$m(C_6H_5—CH_2—CH_2—C_6H_5) = 0{,}02 \cdot 1{,}2 = 3{,}64$ г

$m(C_6H_6) = 0{,}02 \cdot 78 = 1{,}56$ г

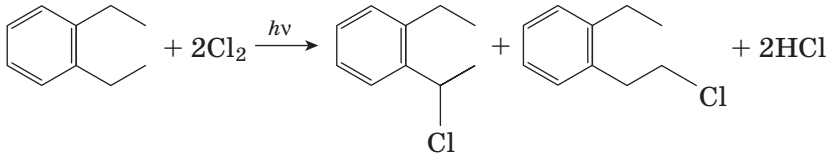
m(смеси) $= 3{,}64 + 1{,}56 = 5{,}2$ г (что соответствует условию задачи).

Ответ. 1,56 г бензола и 3,64 г дифенилэтана.

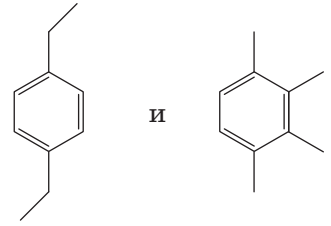
ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. Возможно, это 1,2-диэтилбензол:



или следующие соединения:



2. Формула кристаллогидрата $MCl_2 \cdot 6H_2O$.

$M(MCl_2 \cdot 6H_2O) = m \cdot N_A = 4{,}435 \cdot 10^{-22} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} = 267$ г/моль

$M(M) = 267 - 71 - 6 \cdot 18 = 88$ г/моль

Неизвестный металл — это стронций Sr, а кристаллогидрат — $SrCl_2 \cdot 6H_2O$.

$$\nu(\bar{e}) = (38 + 17 \cdot 2 + 6 \cdot 10) = 132 \text{ моль}$$

$$N(\bar{e}) = \nu(\bar{e}) \cdot N_A = 7{,}95 \cdot 10^{25}$$

Ответ. 132 моль электронов, или $7{,}95 \cdot 10^{25}$ ē.

3. При добавлении щёлочи происходят реакции:

$$CrCl_3 + 4NaOH \rightarrow Na[Cr(OH)_4] + 3NaCl$$

$$CuSO_4 + 2NaOH \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

В осадке гидроксид меди, его масса $m(Cu(OH)_2) = 5$ г.
В исходном растворе:

$$\nu(CuSO_4) = 2\nu(Cu(OH)_2) = \frac{2 \cdot 5}{98} = 0{,}102 \text{ моль}$$

$$m(CuSO_4) = 0{,}102 \cdot 160 = 16{,}32 \text{ г}$$

При добавлении раствора аммиака происходят следующие реакции:

$$CrCl_3 + 3NH_3 + 3H_2O \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + 3NH_4Cl$$

$$CuSO_4 + 4NH_3 \rightarrow [Cu(NH_3)_4]SO_4$$

В осадке гидроксид хрома, его масса $m(Cr(OH)_3) = 6$ г.
В исходном растворе:

$$\nu(CrCl_3) = 2\nu(Cr(OH)_3) = \frac{2 \cdot 6}{103} = 0{,}1165 \text{ моль}$$

$$m(CrCl_3) = 0{,}1165 \cdot 158{,}5 = 18{,}47 \text{ г}$$

Масса исходного раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(CuSO_4) + m(CrCl_3) + m(H_2O) =$$

$$= 16{,}32 + 18{,}47 + 1{,}0 = 184{,}8 \text{ г}$$

В исходном растворе содержалось:

$$\omega(CrCl_3) = \frac{18{,}47}{184{,}8} = 0{,}1, \text{ или } 10{,}0\%$$

$$\omega(CuSO_4) = \frac{16{,}32}{184{,}8} = 0{,}088, \text{ или } 8{,}8\%$$

Ответ. 10,0% $CrCl_3$, 8,8% $CuSO_4$.

4. В сосуде происходит термическая диссоциация молекул иода на атомы:

$$I_2(г) \rightleftarrows 2I(г)$$

Исходное количество (*моль*):	n	0
Всего частиц (I_2 + I) (*моль*)	$n + x$	
Равновесное количество (*моль*):	$n - x$	$2x$
Равновесная мольная доля:	$\frac{n-x}{n+x}$	$\frac{2x}{n+x}$

Количество взятого иода:

$$n(I_2) = 5{,}08 : 254 = 0{,}02 \text{ моль}$$

Выразим парциальные давления участников реакции через общее давление p:

$$p(I_2) = \frac{n-x}{n+x} \cdot p$$

$$p(I) = \frac{2x}{n+x} \cdot p$$

Общее давление газов:

$$p = \frac{(n+x)RT}{V}$$

$$1{,}30 \cdot 101{,}325 = \frac{(0{,}02 + x) \cdot 8{,}31 \cdot 1500}{2{,}80}$$

$$x = 0{,}00957 \text{ (моль)}.$$

Парциальные давления:

$$p(I_2) = \frac{n-x}{n+x} \cdot p = \frac{0{,}02 - 0{,}00957}{0{,}02 + 0{,}00957} \cdot 1{,}30 = 0{,}458 \text{ атм} = 46{,}4 \text{ кПа}$$

$$p(\mathrm{I}) = \frac{2x}{n+x} \cdot p = \frac{2 \cdot 0{,}0957}{0{,}02 + 0{,}0957} \cdot 1{,}30 = 0{,}842 \text{ атм} = 85{,}3 \text{ кПа}$$

Константа равновесия реакции:

$$K_p = \frac{p(\mathrm{I})^2}{p(\mathrm{I}_2)} = \frac{0{,}842^2}{0{,}458} = 1{,}55 \text{ атм} = 157 \text{ кПа}$$

Другой способ решения. Можно не вычислять парциальные давления молекул I_2 и атомов I, а подставить выражения для них в формулу константы равновесия:

$$K_p = \frac{p(\mathrm{I})^2}{p(\mathrm{I}_2)} = \frac{\left(\frac{2x}{n+x} \cdot p\right)^2}{\frac{n-x}{n+x} \cdot p} = \frac{4x^2}{(n-x)(n+x)} \cdot p$$

Подставляя x, n и p, получим $K_p = 1{,}55$ атм = 157 кПа.

Ответ. $K_p = 1{,}55$ атм = 157 кПа.

5. 1) $Mn + H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + H_2\uparrow$

2) $MnSO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow MnCO_3\downarrow + Na_2SO_4$

Поскольку более вероятно образование основного карбоната марганца, лучше записать так:

$$MnSO_4 + 2NaHCO_3 \rightarrow MnCO_3\downarrow + Na_2SO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

3) $MnCO_3 + 2Cl_2 + 8KOH \rightarrow K_2MnO_4 + 4KCl + K_2CO_3 + 4H_2O$

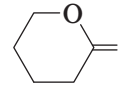
4) $3K_2MnO_4 + 2H_2O \rightarrow 2KMnO_4 + MnO_2\downarrow + 4KOH$

5) $2KMnO_4 \xrightarrow{t} \underset{\mathbf{X}}{K_2MnO_4} + MnO_2 + O_2\uparrow$

6) $3MnO_2 + 4Al \xrightarrow{t} 2Al_2O_3 + 3Mn$

6. Вещество **X** — 5-гидроксипентановая кислота:

$$HO(CH_2)_4COOH + HBr \rightarrow Br(CH_2)_4COOH + H_2O$$

$$HO(CH_2)_4COOH \xrightarrow{t} \text{  } + H_2O$$

$$HO(CH_2)_4COOH + PCl_5 \rightarrow Cl(CH_2)_4COCl + POCl_3 + H_2O$$

7. pOH = 14 − pH. $[OH^-] = 10^{-2}$ моль/л

$c(MOH) = [OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-2}$ моль/л

$\nu(MOH) = c(MOH) \cdot V = 0{,}01 \cdot 0{,}4 = 0{,}004$ моль

$$2Al + 2MOH + 6H_2O \rightarrow 2M[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$$

$\nu(H_2) = 1{,}5 \cdot \nu(MOH) = 0{,}006$ моль

$\nu(O_2) = \nu(H_2) : 1{,}2 = 0{,}005$ моль

$\nu(MOH) : \nu(O_2) = 4 : 5$

Отсюда подбором находим, что исходное соединение — озонид MO_3:

$$4MO_3 + 2H_2O \to 4MOH + 5O_2\uparrow$$

$$M(MO_3) = 0{,}532 : 0{,}04 = 133 \text{ г/моль}$$

$$M(M) = 133 - 16 \cdot 3 = 85 \text{ г/моль}$$

Металл M — это рубидий Rb, исходное соединение — озонид рубидия RbO_3.

Ответ. RbO_3.

8. Количество каждого компонента смеси обозначим x (моль). При сжигании смеси происходят реакции:

$$\underset{x}{CH_2O} + \underset{x}{O_2} \to CO_2 + H_2O$$

$$\underset{x}{2CO} + \underset{0{,}5x}{O_2} \to 2CO_2$$

$$\nu(\text{воздуха}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 3{,}5}{8{,}31 \cdot 298} = 0{,}143 \text{ моль}$$

В воздухе содержится 21% кислорода, поэтому

$$\nu(O_2) = \nu(\text{воздуха}) \cdot 0{,}21 = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(O_2) = 1{,}5x = 0{,}03$$

$$x = 0{,}02 \text{ моль}$$

При пропускании газов через аммиачный раствор оксида серебра (раствор гидроксида диамминсеребра) протекают следующие реакции:

$$\underset{x}{CH_2O} + 4[Ag(NH_3)_2]OH \to \underset{4x}{4Ag\downarrow} + (NH_4)_2CO_3 + 6NH_3\uparrow + 2H_2O$$

$$\underset{x}{CO} + 2[Ag(NH_3)_2]OH \to \underset{2x}{2Ag\downarrow} + (NH_4)_2CO_3 + 2NH_3\uparrow$$

Растворение осадка в растворе азотной кислоты:

$$\underset{6x}{Ag} + \underset{12x}{2HNO_3} \to \underset{6x}{NO_2\uparrow} + \underset{6x}{AgNO_3} + H_2O$$

Масса конечного раствора:

$$\begin{aligned} m(\text{р-ра}) &= m(\text{исх. р-ра}) + m(Ag) - m(NO_2) = \\ &= 73 \cdot 1{,}37 + 6x \cdot 108 - 6x \cdot 46 = \\ &= 100 + 6 \cdot 0{,}02 \cdot 108 - 6 \cdot 0{,}02 \cdot 46 = 107{,}45 \text{ г} \end{aligned}$$

Количество HNO_3 в конечном растворе:

$$\nu(HNO_3) = \frac{73 \cdot 1{,}37 \cdot 0{,}60}{63} - 12x = 0{,}952 - 12 \cdot 0{,}02 = 0{,}712 \text{ моль}$$

Количество $AgNO_3$ в конечном растворе:

$$\nu(AgNO_3) = 6x = 0{,}12 \text{ моль}$$

Массовые доли веществ в конечном растворе:

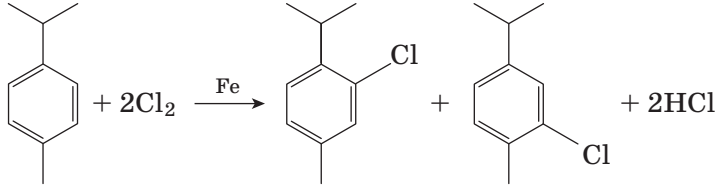
$$\omega(HNO_3) = \frac{0{,}712 \cdot 63}{107{,}45} = 0{,}417, \text{ или } 41{,}7\%$$

$$\omega(AgNO_3) = \frac{0{,}12 \cdot 170}{107{,}45} = 0{,}19, \text{ или } 19{,}0\%$$

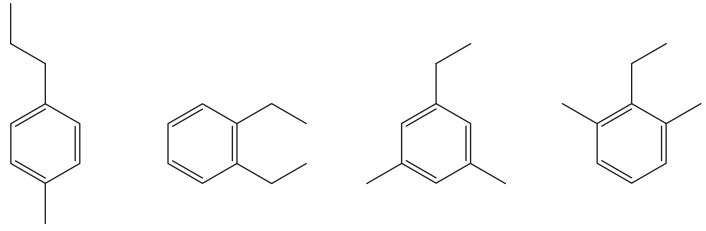
Ответ. 41,8% HNO_3, 19,0% $AgNO_3$.

ВАРИАНТ 2

1. Возможно, это 1-изопропил-4-метилбензол.



или следующие соединения:



2. Формула кристаллогидрата $MCl_2 \cdot 4H_2O$.

$M(MCl_2 \cdot 4H_2O) = m \cdot N_A = 3{,}04 \cdot 10^{-22} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} = 183$ г/моль

$M(M) = 183 - 71 - 4 \cdot 18 = 40$ г/моль

Неизвестный металл — это кальций Ca, а кристаллогидрат — $CaCl_2 \cdot 4H_2O$.

$$\nu(\bar{e}) = (20 + 2 \cdot 17 + 4 \cdot 10) = 94 \text{ моль}$$

$$N(\bar{e}) = \nu(\bar{e}) \cdot N_A = 5{,}66 \cdot 10^{25}.$$

Ответ. 94 моль, или $5{,}66 \cdot 10^{25}\bar{e}$.

3. При добавлении избытка раствора гидроксида натрия происходят следующие реакции:

$$Cr(CH_3COO)_3 + 4NaOH \rightarrow Na[Cr(OH)_4] + 3CH_3COONa$$

$$2CH_3COOAg + 2NaOH \rightarrow Ag_2O\downarrow + 2CH_3COONa + H_2O$$

В осадке оксид серебра, его масса $m(Ag_2O) = 5$ г.

В исходном растворе:

$$\nu(CH_3COOAg) = 4\nu(Ag_2O) = \frac{4 \cdot 5}{232} = 0{,}0862 \text{ моль}$$

$$m(CH_3COOAg) = 0{,}0862 \cdot 167 = 14{,}4 \text{ г}$$

При добавлении избытка раствора аммиака происходят следующие реакции:

$$Cr(CH_3COO)_3 + 3NH_3 + 3H_2O \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + 3CH_3COONH_4$$

$$CH_3COOAg + 2NH_3 \rightarrow [Ag(NH_3)_2]CH_3COO$$

В этом случае осадок — гидроксид хрома, его масса $m(Cr(OH)_3) = 5$ г.

В исходном растворе:

$$\nu(Cr(CH_3COO)_3) = 2\nu(Cr(OH)_3) = \frac{2 \cdot 5}{103} = 0{,}0971 \text{ моль}$$

$$m(Cr(CH_3COO)_3) = 0{,}0971 \cdot 2{,}9 = 22{,}2 \text{ г}$$

Масса исходного раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(CH_3COOAg) + m(Cr(CH_3COO)_3) + m(H_2O) =$$
$$= 14{,}4 + 22{,}2 + 200 = 236{,}6 \text{ г}$$

В исходном растворе:

$$\omega(Cr(CH_3COO)_3) = 22{,}2 : 236{,}6 = 0{,}094, \text{ или } 9{,}4\%$$

$$\omega(CH_3COOAg) = 14{,}4 : 236{,}6 = 0{,}061, \text{ или } 6{,}1\%$$

Ответ. 9,4% $Cr(CH_3COO)_3$, 6,1% CH_3COOAg.

4.

	I_2(г)	=	2I(г)
Исходное количество (*моль*):	n		0
Всего частиц (I_2 + I) (*моль*)	$n + x$		
Равновесное количество (*моль*):	$n - x$		$2x$
Равновесная мольная доля:	$\frac{n-x}{n+x}$		$\frac{2x}{n+x}$

$$n(I_2) = \frac{2{,}54}{254} = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$p(I_2) = \frac{n - x}{n + x} \cdot p$$

$$p(I) = \frac{2x}{n + x} \cdot p$$

где p — общее давление.

Общее давление газов:

$$p = \frac{(n + x)RT}{V}$$

или

$$0{,}680 \cdot 101{,}325 = \frac{(0{,}01 + x) \cdot 8{,}31 \cdot 1300}{2{,}00}$$

$$x = 0{,}00274$$

Парциальные давления:

$$p(\mathrm{I_2}) = \frac{n - x}{n + x} \cdot p = \frac{0{,}01 - 0{,}0275}{0{,}01 + 0{,}0275} \cdot 0{,}680 = 0{,}387 \text{ атм} = 39{,}2 \text{ кПа}$$

$$p(\mathrm{I}) = \frac{2x}{n + x} \cdot p = \frac{2 \cdot 0{,}0275}{0{,}01 + 0{,}0275} \cdot 0{,}680 = 0{,}293 \text{ атм} = 29{,}7 \text{ кПа}$$

$$K_p = \frac{p(\mathrm{I})^2}{p(\mathrm{I_2})} = \frac{0{,}293^2}{0{,}387} = 0{,}222 \text{ атм} = 22{,}5 \text{ кПа}$$

Другой способ решения. Подставим выражения для парциальных давлений в выражение для константы.

$$K_p = \frac{p(\mathrm{I})^2}{p(\mathrm{I_2})} = \frac{\left(\frac{2x}{n + x} \cdot p\right)^2}{\frac{n - x}{n + x} \cdot p} = \frac{4x^2}{(n - x)(n + x)} \cdot p$$

$K_p = 0{,}222$ атм $= 22{,}5$ кПа

Ответ. $K_p = 0{,}222$ атм $= 22{,}5$ кПа.

5. 1) $\mathrm{Fe + S \xrightarrow{t} FeS}$

2) $\mathrm{FeS + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2S\uparrow}$

3) $\mathrm{5FeCl_2 + KMnO_4 + 4H_2SO_4 \rightarrow}$
$\mathrm{\rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 3FeCl_3 + KCl + MnSO_4 + 4H_2O}$

4) $\mathrm{Fe_2(SO_4)_3 + Cu \rightarrow 2FeSO_4 + CuSO_4}$

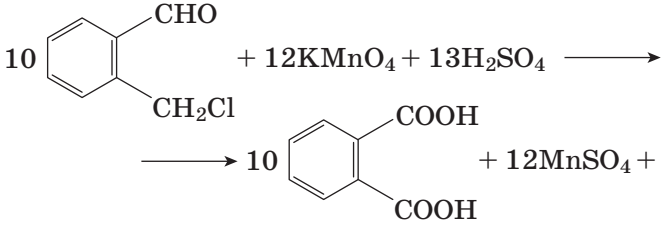
5) $\mathrm{4FeSO_4 \xrightarrow{t} \underset{\mathbf{X}}{2Fe_2O_3} + 4SO_2\uparrow + O_2\uparrow}$

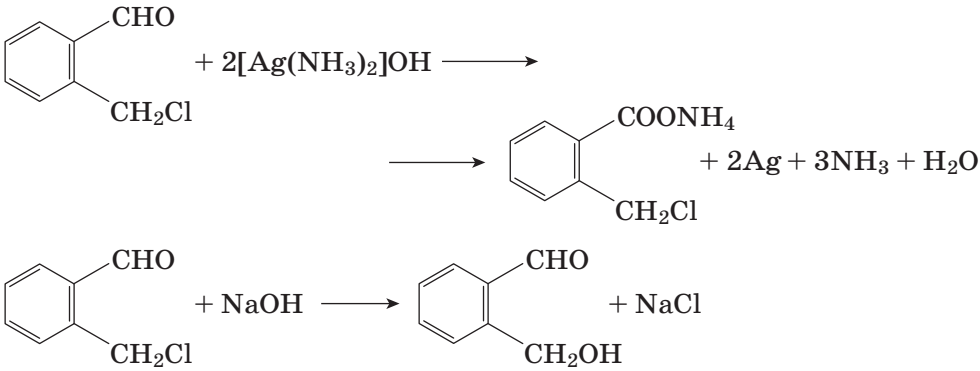
6) $\mathrm{Fe_2O_3 + 3CO \xrightarrow{t} 2Fe + 3CO_2\uparrow}$

или

$\mathrm{Fe_2O_3 + 2Al \xrightarrow{t} 2Fe + Al_2O_3}$

6. Неизвестное соединение **X** — 2-хлорметилбензальдегид.





7. pOH = 14 − pH. $[OH^-] = 10^{-1}$ моль/л

$c(MOH) = [OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-1}$ моль/л

$\nu(MOH) = c(MOH) \cdot V = 0{,}1 \cdot 0{,}04 = 0{,}004$ моль

$$2Al + 2MOH + 6H_2O \to 2M[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$$

$\nu(H_2) = 1{,}5 \cdot \nu(MOH) = 0{,}006$ моль

$\nu(O_2) = \nu(H_2) - 0{,}001 = 0{,}005$ моль

$\nu(MOH) : \nu(O_2) = 4 : 5$

Исходное соединение — озонид MO_3:

$$4MO_3 + 2H_2O \to 4MOH + 5O_2\uparrow$$

$M(MO_3) = 0{,}348 : 0{,}004 = 87$ г/моль

$M(M) = 87 - 16 \cdot 3 = 39$ г/моль

Неизвестный металл — калий K, исходное соединение — озонид калия KO_3.

Ответ. KO_3.

8. $\underset{x}{2C_2H_2} + \underset{2{,}5x}{5O_2} \to 4CO_2 + 2H_2O$

$\underset{x}{2CO} + \underset{0{,}5x}{O_2} \to 2CO_2$

$$\nu(\text{воздуха}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 7{,}0}{8{,}31 \cdot 298} = 0{,}286 \text{ моль}$$

$\nu(O_2) = \nu(\text{воздуха}) \cdot 0{,}21 = 0{,}06$ моль

$\nu(O_2) = 3x = 0{,}06$

$x = 0{,}02$

$\underset{x}{C_2H_2} + 2[Ag(NH_3)_2]OH \to \underset{x}{Ag_2C_2}\downarrow + 4NH_3\uparrow + 2H_2O$

$\underset{x}{CO} + 2[Ag(NH_3)_2]OH \to \underset{2x}{2Ag}\downarrow + (NH_4)_2CO_3 + 2NH_3\uparrow$

При растворении осадка в растворе азотной кислоты протекают следующие реакции:

$$\underset{x}{Ag_2C_2} + \underset{2x}{2HNO_3} \rightarrow \underset{2x}{2AgNO_3} + \underset{x}{C_2H_2}\uparrow$$

$$\underset{2x}{Ag} + \underset{4x}{2HNO_3} \rightarrow \underset{2x}{NO_2}\uparrow + \underset{2x}{AgNO_3} + H_2O$$

Масса конечного раствора:

$$m = m(\text{исх. р-ра}) + m(Ag) + m(Ag_2C_2) - m(NO_2) - m(C_2H_2) =$$
$$= 73 \cdot 1{,}37 + x \cdot 108 + x \cdot 240 - 2x \cdot 46 - x \cdot 26 =$$
$$= 1{,}0 + 0{,}02 \cdot 108 + 0{,}02 \cdot 240 - 2 \cdot 0{,}02 \cdot 46 - 0{,}02 \cdot 26 = 106{,}77 \text{ г}$$

Количество HNO_3 в конечном растворе:

$$\nu(HNO_3) = \frac{73 \cdot 1{,}37 \cdot 0{,}60}{63} - 6x = 0{,}952 - 6 \cdot 0{,}02 = 0{,}832 \text{ моль}$$

Количество $AgNO_3$ в конечном растворе:

$$\nu(AgNO_3) = 4x = 0{,}08 \text{ моль}$$

$$\omega(HNO_3) = \frac{0{,}832 \cdot 63}{106{,}77} = 0{,}491, \text{ или } 49{,}1\%$$

$$\omega(AgNO_3) = \frac{0{,}08 \cdot 170}{106{,}77} = 0{,}127, \text{ или } 12{,}7\%$$

Ответ. 49,1% HNO_3, 12,7% $AgNO_3$.

ВАРИАНТ 3

1. 1,2,4,5-Тетраметилбензол.

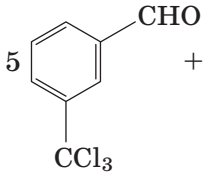
2. 130 моль электронов, или $7{,}83 \cdot 10^{25}$ ē.

3. 9,8% $AlCl_3$, 18,7% $CuSO_4$.

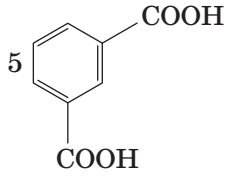
4. $K_p = 2{,}59$ атм = 263 кПа.

5. 1) $Li_3N + 4HNO_3 \rightarrow 3LiNO_3 + NH_4NO_3$
2) $4LiNO_3 \xrightarrow{t} 2Li_2O + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$
3) $Li_2O + H_2O \rightarrow 2LiOH$
4) $2NO_2 + 2LiOH \rightarrow LiNO_2 + LiNO_3 + H_2O$
5) $LiNO_2 + HCl \rightarrow HNO_2 + LiCl$
6) $HNO_2 + CH_3CH_2NH_2 \rightarrow CH_3CH_2OH + N_2\uparrow + H_2O$
7) $N_2 + 6Li \rightarrow 2Li_3N$

6. 3-Трихлорметилбензальдегид.



$$+ 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + 7H_2O \longrightarrow$$

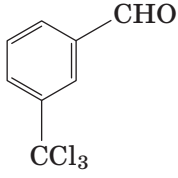


$$+ 2MnSO_4 + 15HCl + K_2SO_4$$

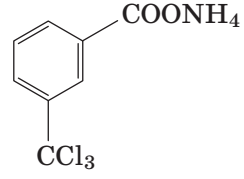
или

$$5Cl_3C—C_6H_4—CHO + 2KMnO_4 + 7H_2O \rightarrow$$

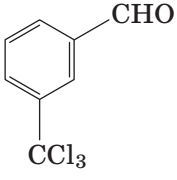
$$\rightarrow 5HOOC—C_6H_4—COOH + 2MnCl_2 + 2KCl + 9HCl$$



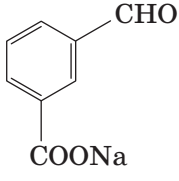
$$+ 2[Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{t}$$



$$+ 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$$



$$+ 4NaOH \longrightarrow$$



$$+ 3NaCl + 2H_2O$$

7. RbO_3.

8. 26,9% HNO_3, 36,1% $AgNO_3$.

ВАРИАНТ 4

1. 1,2,4,5-Тетраметилбензол.

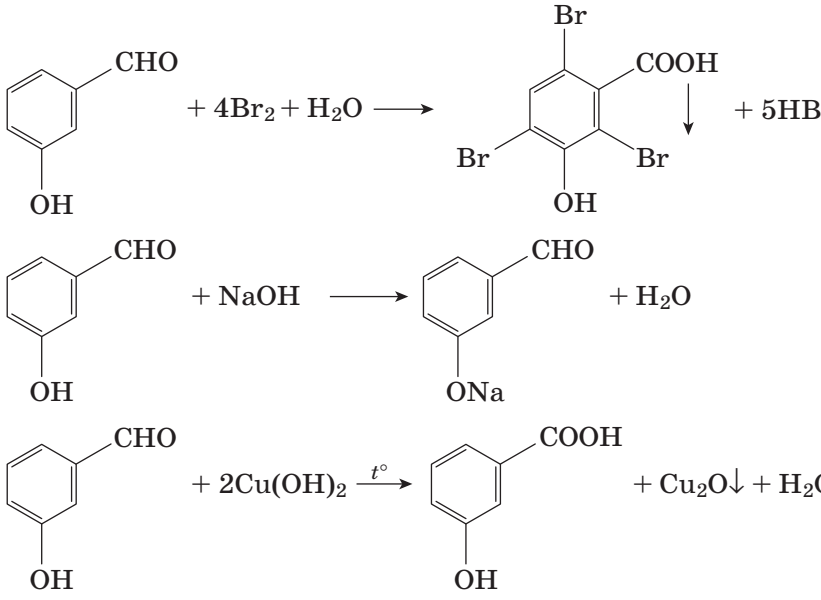
2. 106 моль элементов, или $6{,}38 \cdot 10^{25}$ ē.

3. 9,1% $Al(NO_3)_3$, 7,3% $AgNO_3$.

4. K_p = 0,569 атм = 57,6 кПа.

5. 1) $FeS + 2HBr \rightarrow FeBr_2 + H_2S\uparrow$
2) $2FeBr_2$(водн. р-р) $+ 3Cl_2 \rightarrow 2FeCl_3 + 2Br_2$
3) $2FeCl_3$(т) $+ 3H_2SO_4$(конц.) $\xrightarrow{t} Fe_2(SO_4)_3 + 6HCl\uparrow$
4) $Fe_2(SO_4)_3 + Cu \rightarrow 2FeSO_4 + CuSO_4$
5) $FeSO_4 + BaCl_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + FeCl_2$
6) $FeCl_2 + Na_2S \rightarrow FeS\downarrow + 2NaCl$

6. **X** — 3-гидроксибензальдегид.



7. Na_2O_2.

8. 28,2% HNO_3, 34,2% $AgNO_3$.

ВАРИАНТ 5

1. Гексаметилбензол.

2. 144 моль электронов, или $8{,}67 \cdot 10^{25}$ ē.

3. 17,6% $CrCl_3$, 11,0% $Cu(NO_3)_2$.

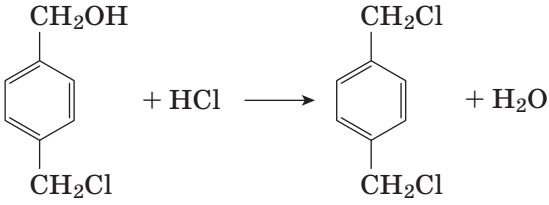
4. K_p = 0,226 атм = 22,9 кПа.

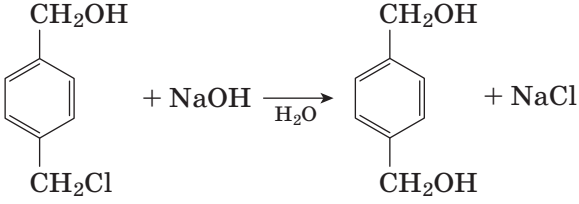
5. 1) $2NH_3 + 2Al \xrightarrow{t} 2AlN + 3H_2\uparrow$
2) $AlN + 4HNO_3 \rightarrow Al(NO_3)_3 + NH_4NO_3$
3) $4Al(NO_3)_3 \xrightarrow{t} 2Al_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$
4) $4NO_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + Ca(NO_2)_2 + 2H_2O$

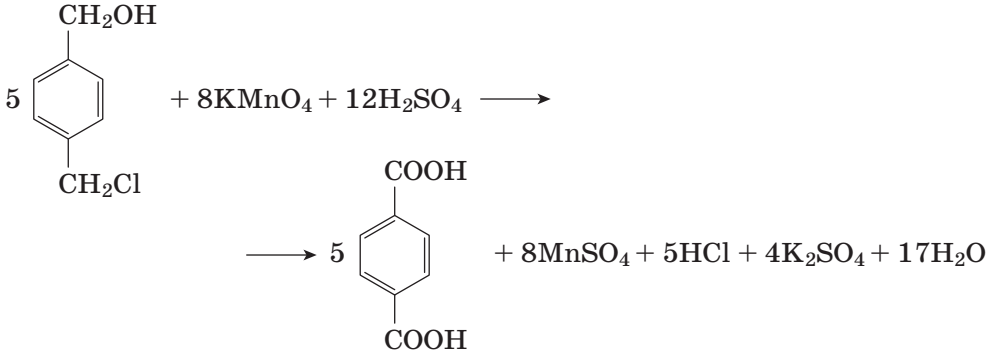
5) $Ca(NO_3)_2 + 2NaF \rightarrow 2NaNO_3 + CaF_2\downarrow$

6) $NaNO_3 + 4Zn + 7NaOH + 6H_2O \xrightarrow{t} 4Na_2[Zn(OH)_4] + NH_3\uparrow$

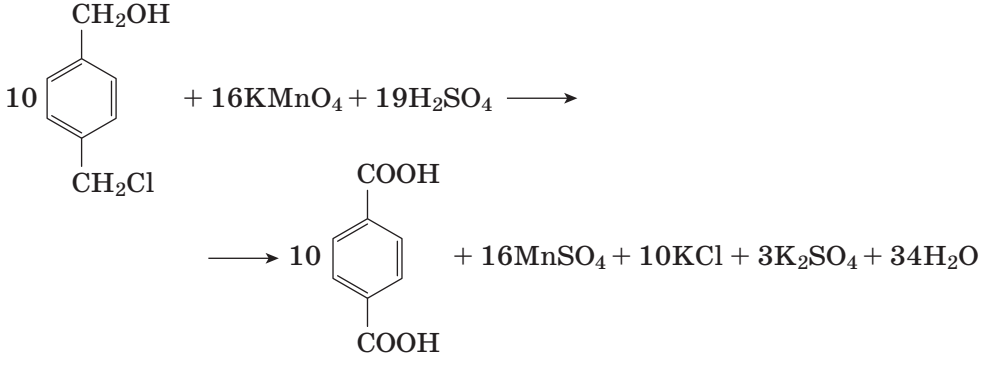
6.







или



7. CsO_3.

8. 41,8% HNO_3, 19,0% $AgNO_3$.

ВАРИАНТ 6

1. *пара*-Диизопропилбензол.

2. 121 моль электронов, или $7{,}28 \cdot 10^{25}$ ē.

3. 14,5% $Cr(NO_3)_3$, 6,9% $AgNO_3$.

4. K_p = 2,13 атм = 215 кПа.

5. 1) $2H_3PO_4 + CaO \rightarrow Ca(H_2PO_4)_2 + H_2O$

2) $Ca(H_2PO_4)_2 + 5C + SiO_2 \xrightarrow{t} 2P + CaSiO_3 + 5CO + 2H_2O$

3) $2P + 3Cl_2 \rightarrow 2PCl_3$

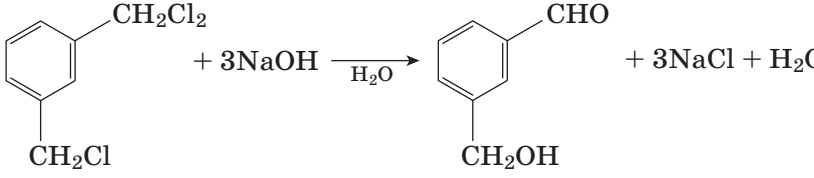
X

4) $PCl_3 + 3H_2O$(недост.) $\rightarrow H_3PO_3 + 3HCl$

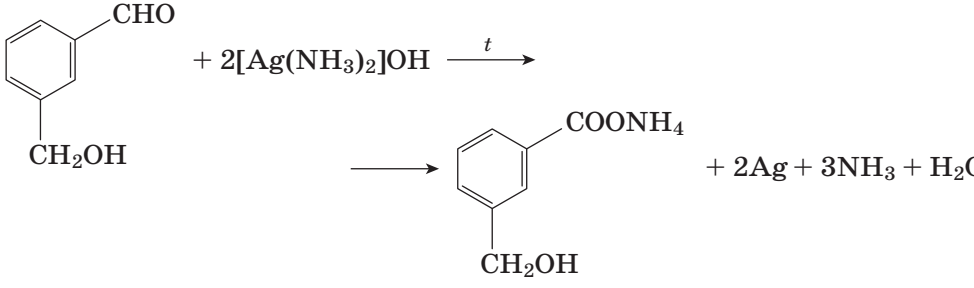
5) $4H_3PO_3 \xrightarrow{t} PH_3 + 3H_3PO_4$

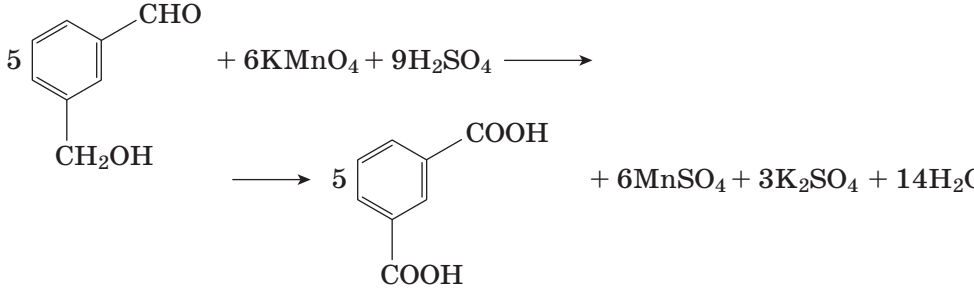
6) $PH_3 + 2O_2 \rightarrow H_3PO_4$

6.



X





7. KO_2.

8. 52,1% HNO_3, 9,67% $AgNO_3$.

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

1. $[Ag(\overset{-3}{N}H_3)_2]OH$, $\overset{-2}{N}_2H_4$, $\overset{0}{N}_2$, $\overset{+1}{N}_2O$, $\overset{+2}{N}O$, $K\overset{+3}{N}O_2$, $H\overset{+5}{N}O_3$.

2. 1) $(NH_4)_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NH_4Cl + CO_2\uparrow + H_2O$

2) $2K_2O_2 + 2CO_2 \rightarrow 2K_2CO_3 + O_2\uparrow$

или

$4KO_2 + 2CO_2 \rightarrow 2K_2CO_3 + 3O_2\uparrow$

3) $2K_2CrO_4 + H_2SO_4 \rightarrow K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$

3. Неизвестное вещество — муравьиная кислота HCOOH. В пищевой промышленности муравьиная кислота применяется как консервант (пищевая добавка Е-236). Муравьиный спирт (спиртовой раствор HCOOH) используют в медицине как местное средство с отвлекающим раздражающим действием при невралгиях и артритах.

$2HCOOH + 2Na \rightarrow 2HCOONa + H_2\uparrow$

$HCOOH + NaOH \rightarrow HCOONa + H_2O$

$HCOOH + 2[Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{t} 2Ag\downarrow + (NH_4)_2CO_3 + 2NH_3 + H_2O$

$HCOOH + Cl_2 \rightarrow CO_2\uparrow + 2HCl$

4. Пусть масса пробы анализируемого раствора x г. Дан сильно разбавленный водный раствор (плотность 1 г/мл), поэтому объем раствора практически совпадает с его массой: V(р-ра) = x мл = $x \cdot 10^{-3}$ л. Выразим массу и количество $Fe_2(SO_4)_3$ в этом растворе.

$$m(Fe_2(SO_4)_3) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega = 10^{-9} \cdot x(\text{г})$$

$$\nu(Fe_2(SO_4)_3) = m(Fe_2(SO_4)_3) : M(Fe_2(SO_4)_3) =$$

$$= 10^{-9} \cdot x : 400 = 2{,}5 \cdot x \cdot 10^{-12} \text{ моль}$$

$$Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow 2Fe^{3+} + 3SO_4^{2-}$$

$$\nu(Fe^{3+}) = 2\nu(Fe_2(SO_4)_3) = 5x \cdot 10^{-12} \text{ моль}$$

Отсюда концентрация ионов железа в пробе:

$$c(Fe^{3+}) = \frac{\nu(Fe^{3+})}{V(\text{р-ра})} = \frac{5x \cdot 10^{-12}}{x \cdot 10^{-3}} = 5 \cdot x \cdot 10^{-12} : (x \cdot 10^{-3}) = 5 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л}$$

Получили, что концентрация ионов Fe^{3+} в анализируемом растворе на порядок больше минимально определяемой этим методом

($5 \cdot 10^{-10}$ моль/л). Поэтому плесневые грибы подходят для выполнения такого анализа.

Ответ. Да, можно определить.

5. Рассчитаем объем и массу монеты (монета — это цилиндр высотой h с радиусом основания r):

$$V(\text{монеты}) = \pi \cdot r^2 \cdot h = 3{,}14 \cdot 12{,}5^2 \cdot 1{,}8 = 883{,}125 \text{ мм}^3 = 0{,}883 \text{ см}^3$$

$$m(\text{монеты}) = V(\text{монеты}) \cdot \rho = 0{,}883 \cdot 8{,}92 = 7{,}88 \text{ г}$$

По условию, основа монетного сплава — медь; в состав монеты могут входить более активные металлы (например, железо и цинк), которые растворяются в соляной кислоте:

$$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2\uparrow$$

После растворения в соляной кислоте остается медь, которая растворяется в концентрированной серной кислоте:

$$Cu + 2H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow CuSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

Количество выделившегося SO_2 равно количеству растворенной меди.

$$\nu(SO_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 2{,}48}{8{,}31 \cdot 303} = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$\nu(Cu) = \nu(SO_2) = 0{,}1 \text{ моль}$$

Масса и массовая доля меди в монете:

$$m(Cu) = \nu(Cu) \cdot M(Cu) = 0{,}1 \cdot 64 = 6{,}4 \text{ г}$$

$$\omega(Cu) = \frac{m(Cu)}{m(\text{монеты})} = \frac{6{,}4}{7{,}88} = 0{,}812, \text{ или } 81{,}2\%$$

Ответ. 81,2% Cu.

6. Пусть в одной молекуле вещества содержится e электронов, p протонов и n нейтронов. Тогда его молярная масса численно равна сумме протонов и нейтронов ($p + n$). Можно выразить количество вещества в 100 г и найти число молекул в этом количестве:

$$\nu(\text{в-ва}) = m(\text{в-ва}) : M(\text{в-ва}) = 100 : (p + n)$$

$$N(\text{молекул}) = \nu(\text{вещ-ва}) \cdot N_A = 6{,}02 \cdot 10^{25} : (p + n)$$

Как мы приняли, в одной молекуле этого вещества содержится e электронов, $e = p$, тогда общее число электронов:

$$N(e) = e \cdot 6{,}02 \cdot 10^{25} : (p + n) = p \cdot 6{,}02 \cdot 10^{25} : (p + n)$$

Масса одного электрона $m_0(\text{e}) = 9{,}1 \cdot 10^{-28}$ г. Масса всех электронов в этом количестве вещества:

$$m(\text{e}) = m_0(\text{e}) \cdot N(\text{e}) = 9{,}1 \cdot 10^{-28} \cdot p \cdot 6{,}02 \cdot 10^{25} : (p + n) =$$
$$= 0{,}05478 \cdot p : (p + n) = 34{,}238 \cdot 10^{-3}$$

Находим, что $n : p = 0{,}6$. Этому условию удовлетворяет только метан CH_4 ($p = 10$, $n = 6$).

Ответ. CH_4.

7. Рассмотрим случаи, когда в реакциях с соляной кислотой образуются газы, дающие при взаимодействии с водой кислотную среду (красный раствор индикатора метилового оранжевого). Возможно, в реакции с соляной кислотой образуется хлор — желто-зеленый газ, тогда вещество **X** — это $KMnO_4$ или MnO_2; вещество **Y**, дающее бесцветный газ, может быть карбонатом, сульфитом или сульфидом (в реакции с соляной кислотой выделяются CO_2, SO_2 или H_2S).

Приведем один из вариантов ответа. Пусть искомые вещества — это $KMnO_4$ (черные кристаллы, розово-фиолетовый водный раствор) и Na_2CO_3 (белая соль).

$$\underset{\textbf{X}}{2KMnO_4} + 16HCl \rightarrow \underset{\textbf{A}\text{ (желто-зеленый газ)}}{5Cl_2\uparrow} + 2MnCl_2 + 2KCl + 8H_2O$$

$$\underset{\textbf{Y}}{Na_2CO_3} + 2HCl \rightarrow 2NaCl + \underset{\textbf{B}\text{ (бесцветный газ)}}{CO_2\uparrow} + H_2O$$

Пусть x — масса каждой соли. $\nu(KMnO_4) = x : 158$.

$$\nu(Cl_2) = \frac{5}{2 \cdot 158} x = 0{,}016x \text{ (моль)}$$
$$\nu(Na_2CO_3) = \nu(CO_2) = x : 106 \text{ (моль)}$$

По условию, $V(Cl_2) : V(CO_2) = 0{,}016 \cdot 106 = 1{,}677 \approx 5 : 3$

При пропускании через воду оба газа создают кислотную среду.

Реакции газов с раствором щёлочи:

$$6KOH + 3Cl_2 \xrightarrow{t} 5KCl + KClO_3 + 3H_2O$$
$$2KOH + CO_2 \rightarrow K_2CO_3 + H_2O$$

Удовлетворяет условию также пара $KMnO_4$ — $MgSO_3$. Вместо $KMnO_4$ можно взять MnO_2.

Участники олимпиады предложили и другие пары: MnO_2 — $ZnSO_3$ и MnO_2 — CdS. Однако сульфид кадмия удовлетворяет условию лишь формально, так как не растворяется в разбавленной соляной кислоте и поэтому сероводород не выделяется.

Ответ. Один из вариантов решения: **X** — $KMnO_4$, **Y** — Na_2CO_3, **A** — Cl_2, **B** — CO_2.

8. 1) $2Si + 2MgO \xrightarrow{t} Mg_2Si + SiO_2$

2) $Mg_2Si + HCl(\text{разб.}) \rightarrow MgCl_2 + SiH_4\uparrow$

3) $nSiH_4 + 2nO_2 \rightarrow (SiO_2)_n + 2nH_2O$

4) $(SiO_2)_n + nCaO \xrightarrow{t} nSiO_2 \cdot CaO$

5) $3Si + 4HNO_3 + 12HF \rightarrow 4NO\uparrow + 8H_2O + 3SiF_4\uparrow$ (или H_2SiF_6)

6) $SiO_2 + 4HF \rightarrow 2H_2O + SiF_4\uparrow$ (или H_2SiF_6)

7) $SiH_4 \xrightarrow{t} Si + 2H_2\uparrow$

9. При погружении металлических пластинок в раствор соли металла **X** происходят реакции замещения:

$$\mathbf{X}SO_4 + Zn \rightarrow ZnSO_4 + \mathbf{X}\downarrow$$

$$\mathbf{X}SO_4 + Fe \rightarrow FeSO_4 + \mathbf{X}\downarrow$$

Эти реакции возможны, если **X** стоит в ряду напряжений металлов правее Fe и Zn. Масса первой пластинки уменьшилась, следовательно, металл **X** имеет меньшую атомную массу, чем Zn. А масса второй пластинки увеличилась, отсюда следует, что атомная масса **X** больше, чем атомная масса Fe. Этим требованиям удовлетворяют медь, кобальт и никель, причем только растворы солей кобальта имеют розовый цвет (например, $CoSO_4$).

$$CoSO_4 + Zn \rightarrow ZnSO_4 + Co\downarrow$$

$$CoSO_4 + Fe \rightarrow FeSO_4 + Co\downarrow$$

Пусть x моль — количество растворившегося цинка, тогда $0{,}5x$ — количество растворившегося железа. Это следует из того, что скорость растворения цинка в 2 раза больше, чем скорость растворения железа, а $w = -\Delta\nu(\text{металла}) : \Delta t$.

Изменение массы первой пластинки обусловлено растворением Zn и осаждением Co:

$$\Delta m = 59x - 65x = -3$$

$x = \nu(Zn) = 0{,}5$ моль, тогда $\nu(Fe) = 0{,}25$ моль

Изменение массы железной пластинки:

$$\Delta m = 59 \cdot 0{,}5x - 56 \cdot 0{,}5x = 0{,}75 \text{ г}$$

Масса первого раствора увеличилась на 3 г, масса второго раствора уменьшилась на 0,75 г.

Ответ. $CoSO_4$, $\Delta m_2 = 0{,}75$ г. Масса первого раствора увеличилась на 3 г, масса второго раствора уменьшилась на 0,75 г.

10. Два алкана с разным числом углеродных атомов можно получить из соли предельной карбоновой кислоты. Пусть, например, вещество **X** — ацетат натрия:

1) $CH_3COONa + NaOH \xrightarrow{t} CH_4\uparrow + Na_2CO_3$

2) $CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{\text{свет}} CH_3Cl + HCl$

3) $2CH_3Cl + 2Na \xrightarrow[\text{эфир}]{} C_2H_6 + 2NaCl$

4) $2CH_3COONa + 2H_2O \xrightarrow{\text{электролиз}} 2H_2\uparrow + 2CO_2\uparrow + C_2H_6\uparrow + 2NaOH$

11. При разложении хромата аммония образуются газы азот и аммиак:

$$2(NH_4)_2CrO_4 \xrightarrow{t} Cr_2O_3 + N_2 + 2NH_3 + 5H_2O + Q$$

Понятно, что теплота сгорания водорода равна теплоте образования воды, и по закону Гесса можно рассчитать стандартный тепловой эффект реакции разложения 2 моль хромата аммония:

$$Q = Q(Cr_2O_3) + Q(N_2) + 2Q(NH_3) + 5Q(H_2O) - 2Q((NH_4)_2CrO_4) =$$

$$= 1141 + 0 + 2 \cdot 46 + 5 \cdot 286 - 2 \cdot 1163 = 337 \text{ кДж}$$

По условию, теплоты выделилось 161 ккал = 673,6 кДж, что в 2 раза больше, чем согласно термохимическому уравнению реакции для 2 моль хромата аммония. Поэтому $\nu((NH_4)_2CrO_4) = 4$ моль, $\nu(N_2) = 2$ моль.

Аммиак был поглощен соляной кислотой:

$$NH_3 + HCl \to NH_4Cl$$

Через соляную кислоту прошел только азот. Рассчитаем его объем:

$$V(N_2) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{2 \cdot 8{,}314 \cdot 298}{101{,}325} = 48{,}9 \text{ л}$$

Ответ. 48,9 л.

12. Неизвестный элемент может давать с хлором соединение $\text{Э}Cl_x$. Относительную атомную массу элемента **Э** примем за y.

$$\omega(Cl) = \frac{35{,}5x}{y + 35{,}5x} = 0{,}6620$$

$$35{,}5x = 0{,}6620y + 23{,}501x$$

$$11{,}999x = 0{,}6620y$$

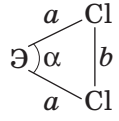
$$y = 18{,}125x$$

Но x совпадает валентностью **Э** (поэтому x — целое число). Определим атомную массу элемента **Э** подбором:

$x = 1$	$y = 18{,}125$	$x = 4$	$y = 72{,}500$
$x = 2$	$y = 36{,}250$	$x = 5$	$y = 90{,}625$
$x = 3$	$y = 54{,}375$	$x = 6$	$y = 108{,}75$
		$x = 7$	$y = 126{,}875$

Единственное разумное сочетание массы и валентности — это четырехвалентный германий, $A_r(\mathrm{Ge}) = 72{,}59$. Отметим, что при $x = 7$ с достаточно хорошей точностью получим атомную массу иода, однако в гипотетическом соединении $\mathrm{ICl_7}$ расстояния Cl—Cl обязательно должны быть разными, что противоречит условию. Итак, исследуемое соединение — тетрахлорид германия. Чтобы определить строение этой молекулы, нужно установить величину угла Cl—Ge—Cl (треугольник, образованный этими атомами, равнобедренный).

Длины сторон треугольника и косинус одного из углов связывает теорема косинусов:



$$b^2 = 2a^2 - 2a^2\cos\alpha = 2a^2(1 - \cos\alpha)$$

$$1 - \cos\alpha = \frac{b^2}{2a^2} = \frac{(3{,}45 \cdot 10^{-10})^2}{2 \cdot (2{,}113 \cdot 10^{-10})^2} = \frac{11{,}9025}{8{,}9295} = 1{,}333$$

$$\cos\alpha = -0{,}333 = -\frac{1}{3}$$

$$\alpha = 109{,}5^\circ$$

Угол тетраэдрический. Молекула $\mathrm{GeCl_4}$ имеет тетраэдрическое строение, что обусловлено sp^3-гибридизацией атома германия.

Ответ. $\mathrm{GeCl_4}$, тетраэдрическая конфигурация, sp^3-гибридизация.

13. Наиболее простой и наглядный способ решения — проанализировать, как изменяются массы изотопов через временные интервалы, равные периодам их полураспада.

Изотоп	**A**	**B**
Начальный момент ($t = 0$)	m	$4m$
$0{,}5\ t_{1/2}$	—	$2m$
$t_{1/2}$	$0{,}5m$	m
$1{,}5t_{1/2}$	—	$0{,}5m$
$2t_{1/2}$	$\mathbf{0{,}25}\boldsymbol{m}$	$\mathbf{0{,}25}\boldsymbol{m}$
$2{,}5t_{1/2}$	—	$0{,}125m$
$3t_{1/2}$	$0{,}125m$	$0{,}0625m$

Видно, что по истечении двух периодов полураспада изотопа **A** массы радиоактивных изотопов **A** и **B** стали равными. Для решения также можно использовать зависимости масс изотопов от времени.

Изотоп **A**: $m(t) = m \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$

Изотоп **B**: $m(t) = 4m \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{0{,}5t_{1/2}}}$

Надо найти время t, по истечении которого массы изотопов станут равными.

$$m \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} = 4m \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{0{,}5t_{1/2}}}$$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} = 4\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2t}{t_{1/2}}}$$

Прологарифмируем это выражение:

$$\frac{t}{t_{1/2}}\lg\frac{1}{2} = \lg 4 + \frac{2t}{t_{1/2}}\lg\frac{1}{2}$$

$$-\lg 4 = \frac{t}{t_{1/2}}\lg\frac{1}{2}$$

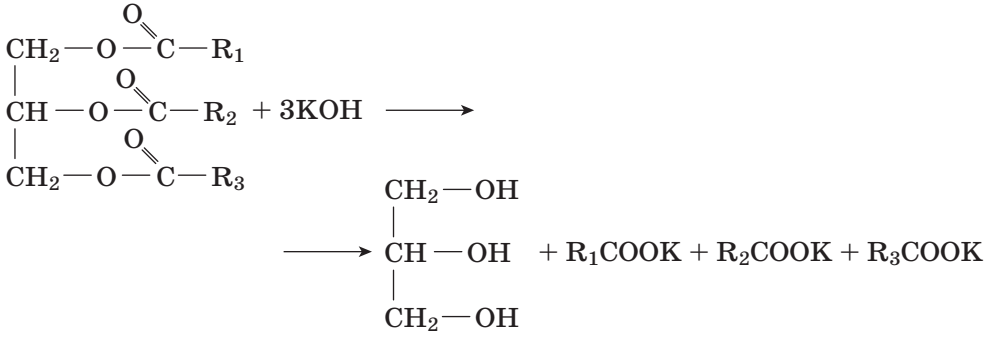
Поскольку $\lg 4 = -2\lg\frac{1}{2}$, получим

$$2\lg\frac{1}{2} = \frac{t}{t_{1/2}}\lg\frac{1}{2}$$

$$t = 2t_{1/2}$$

Ответ. Через время, равное $2t_{1/2}$.

14. При щелочном гидролизе триглицерида образуются глицерин и соли карбоновых кислот:



Рассчитаем количество KOH, необходимое для гидролиза:

$$\nu(KOH) = V \cdot \rho \cdot \omega : M = 3{,}363 : 56 = 0{,}06 \text{ моль}$$

Тогда ν(жира) = 0,06 : 3 = 0,02 моль и его молярная масса:

$$M(\text{жира}) = m(\text{жира}) : \nu(\text{жира}) = 16{,}08 : 0{,}02 = 804 \text{ г/моль}$$

Обозначим молярные массы радикалов R_1, R_2 и R_3 как M_1, M_2 и M_3.

$$M(\text{жира}) = M_1 + M_2 + M_3 + 173 = 804$$

$$M_1 + M_2 + M_3 = 631$$

Продукт гидролиза присоединяет бромную воду, поэтому в жире есть хотя бы один радикал с непредельной связью:

$$R_1 = C_nH_{2n-1},\ R_2 = C_mH_{2m+1},\ R_3 = C_kH_{2k+1}$$

$$12n + 2n - 1 + 12m + 2m + 1 + 12k + 2k + 1 = 631$$

$$n + m + k = 45$$

Дальше действуем подбором.

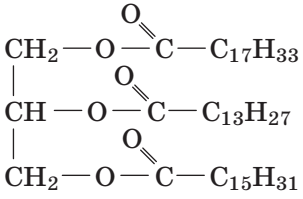
Пусть кислоты — это $C_{15}H_{29}COOH$, $C_{15}H_{31}COOH$, $C_{15}H_{31}COOH$.
Проверяем массовую долю брома в $C_{15}H_{29}Br_2COOH$.

ω(Br) = 160 : 414 = 0,386 — слишком много, не подходит по условию.

Пусть кислоты — это $C_{17}H_{33}COOH$, $C_{13}H_{27}COOH$, $C_{15}H_{31}COOH$
Проверяем массовую долю брома в $C_{17}H_{33}Br_2COOH$.

ω(Br) = 160 : 442 = 0,362 (36,2%) — подходит.

Структурная формула жира:



Напомним, что природные жиры, к которым относится и молочный жир, содержат остатки карбоновых кислот только с четным числом атомов углерода.

При подкислении раствора, полученного при гидролизе такого жира, нерастворимые карбоновые кислоты выпадают в осадок:

$$RCOOK + HCl \rightarrow RCOOH\downarrow + KCl$$

15. В качестве компонентов смеси можно рассматривать следующие вещества: FeO, Fe_2O_3, Fe_3O_4, FeS_2, $FeSO_4$, $Fe_2(SO_4)_3$ и др. Расчет содержания кислорода (в мол. долях) в этих кислородсодержащих

соединениях показывает, что только в сульфате железа(III) мольная доля кислорода >0,7, следовательно, в смеси обязательно должен присутствовать сульфат железа(III). Более того, соотношение серы и кислорода в сульфате 1 : 4. Отсюда вывод: в смеси присутствуют только $Fe_2(SO_4)_3$ и $FeSO_4$. Напишем уравнения термического разложения:

$$\underset{x}{Fe_2(SO_4)_3} \xrightarrow{t} \underset{x}{Fe_2O_3} + \underset{3x}{3SO_2\uparrow} + \underset{1{,}5x}{1{,}5O_2\uparrow}$$

$$\underset{y}{2FeSO_4} \xrightarrow{t} \underset{0{,}5y}{Fe_2O_3} + \underset{y}{2SO_2\uparrow} + \underset{0{,}25y}{0{,}5O_2\uparrow}$$

Твердый остаток — оксид железа(III). Составляем два уравнения:

$$\chi(Fe) = (2x + y)/(2x + 3x + 12x + y + y + 4y) =$$

$$= (2x + y)/(17x + 6y) = 0{,}125$$

$$m(Fe_2O_3) = x \cdot 160 + 0{,}5y \cdot 160 = 100$$

Решаем эту систему уравнений: $x = 0{,}5$ моль, $y = 0{,}25$ моль.
Газовая смесь состоит из оксида серы и кислорода:

$$\nu(SO_2) = 3x + y = 1{,}75 \text{ моль}$$

$$\nu(O_2) = 1{,}5x + 0{,}25y = 0{,}75 + 0{,}0625 = 0{,}8125 \text{ моль}$$

$$\chi(SO_2) = 0{,}683$$

Для проверки рассчитаем среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{смеси}) = 26{,}93 \cdot 2 = 53{,}86 \text{ г/моль}$$

С другой стороны:

$$M(\text{смеси}) = \chi(SO_2) \cdot 64 + (1 - \chi(SO_2)) \cdot 32 = 53{,}86$$

$\chi(SO_2) = 0{,}686$. Итак, предположение подтверждено.

$Fe_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2FeCl_3 + 3H_2O$ (эта реакция идет очень плохо)

$Fe_2O_3 + 6NaOH \not\longrightarrow$ (в водном растворе не реагируют; взаимодействуют только при спекании).

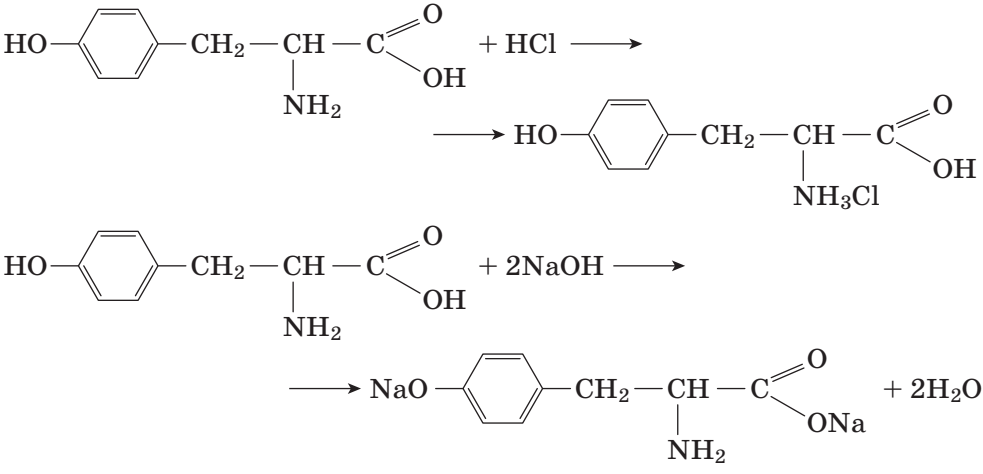
Ответ. 0,5 моль $Fe_2(SO_4)_3$, 0,25 моль $FeSO_4$.

ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. Максимальная степень окисления серы +6. Примеры соединений: SO_3 (оксид), Na_2SO_4 (соль).

2. Формуле $C_9H_{11}NO_3$ соответствует природная аминокислота тирозин (*пара*-гидроксифенилаланин).



3. Двухвалентный металл в составе хлорида обозначим **X**, катион исходного сульфида — **Y**:

$$\mathbf{X}Cl_2 + \mathbf{Y}S \rightarrow \mathbf{X}S\downarrow + \mathbf{Y}Cl_2$$

В исходных растворах:

$$\nu(\mathbf{X}S) = \frac{m(\mathbf{X}S)}{M(\mathbf{X}S)} = \frac{0{,}96}{x + 32}$$

$$\nu(\mathbf{X}Cl_2) = \frac{m(\mathbf{X}Cl_2)}{M(\mathbf{X}Cl_2)} = \frac{1{,}35}{x + 71}$$

$$\nu(\mathbf{X}S) = \nu(\mathbf{X}Cl_2)$$

$$\frac{0{,}96}{x + 32} = \frac{1{,}35}{x + 71}$$

$$x = 64 \text{ г/моль}$$

X — это медь Cu, исходный хлорид металла — $CuCl_2$.

Определим молярную массу **Y**.

$$\nu(\mathbf{Y}S) = \nu(\mathbf{X}S) = \frac{0{,}96}{96} = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$M(\mathbf{Y}S) = \frac{0{,}51}{0{,}01} = 51 \text{ г/моль}$$

Отсюда $M(\mathbf{Y}) = 51 - 32 = 19$ г/моль.

Подбором находим, что исходная соль сероводородной кислоты — гидросульфид аммония NH_4HS.

Ответ. $CuCl_2$, NH_4HS.

4. Состав олеума:

$$m(SO_3) = \omega \cdot m = 0{,}7 \cdot 30 = 21 \text{ г}$$

$$\nu(SO_3) = \frac{21}{80} = 0{,}2625 \text{ моль}$$

$$m(H_2SO_4) = 30 - 21 = 9 \text{ г}$$

$$\nu(H_2SO_4) = \frac{9}{98} = 0{,}092 \text{ моль}$$

При добавлении к водному раствору олеума из SO_3, который присутствует в олеуме, образуется дополнительное количество серной кислоты:

$$\underset{0{,}2625}{SO_3} + H_2O \rightarrow \underset{0{,}2625}{H_2SO_4}$$

Общее количество серной кислоты:

$$\nu(H_2SO_4) = 0{,}2625 + 0{,}092 = 0{,}3545 \text{ моль}$$

Количество NaOH в растворе:

$$\nu(NaOH) = c \cdot V = 1{,}2 \cdot 0{,}4 = 0{,}48 \text{ моль}$$

Протекают следующие реакции:

$$\underset{0{,}48}{2NaOH} + \underset{0{,}24}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{0{,}24}{Na_2SO_4} + 2H_2O$$

Серная кислота взята в избытке:

$$\nu(H_2SO_4) = 0{,}3545 - 0{,}24 = 0{,}1145 \text{ моль}$$

$$\underset{0{,}1145}{Na_2SO_4} + \underset{0{,}1145}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{0{,}229}{2NaHSO_4}$$

Количества и массы солей:

$$\nu(Na_2SO_4) = 0{,}24 - 0{,}1145 = 0{,}1255 \text{ моль}$$

$$m(Na_2SO_4) = 0{,}1255 \cdot 142 = 17{,}8 \text{ г}$$

$$\nu(NaHSO_4) = 0{,}229 \text{ моль}$$

$$m(NaHSO_4) = 0{,}229 \cdot 120 = 27{,}5 \text{ г}$$

Масса раствора и массовые доли солей:

$$m(\text{р-ра}) = 30 + 400 \cdot 1{,}04 = 446 \text{ г}$$

$$\omega(NaHSO_4) = 27{,}5 : 446 = 0{,}062, \text{ или } 6{,}2\%$$

$$\omega(Na_2SO_4) = 17{,}8 : 446 = 0{,}04, \text{ или } 4{,}0\%$$

Ответ. $\omega(NaHSO_4) = 6{,}2\%$; $\omega(Na_2SO_4) = 4{,}0\%$. В растворе находятся ионы Na^+, SO_4^{2-}, HSO_4^-.

5. Напишем термохимические уравнения процессов растворения твердых Na_2SO_3, $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$ и образования кристаллогидрата из твердой безводной соли:

$$Na_2SO_3(т) \rightarrow Na_2SO_3(водн.) + Q_1 \quad (1)$$

$$Na_2SO_3 \cdot 7H_2O(т) \rightarrow Na_2SO_3(водн.) + 7H_2O + Q_2 \quad (2)$$

$$Na_2SO_3(т) + 7H_2O \rightarrow Na_2SO_3 \cdot 7H_2O(т) + Q_3 \quad (3)$$

Если вычесть из уравнения (1) уравнение (2) и привести выражение к привычному виду, получим уравнение (3), где

$$Q_3 = Q_1 - Q_2$$

Рассчитаем Q_1 и Q_2 для 1 моль Na_2SO_3(т) и 1 моль $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$(т).

$$\nu(Na_2SO_3) = \frac{63}{126} = 0{,}5 \text{ моль}$$

$$Q_1 = \frac{5650}{0{,}5} = 11300 \text{ Дж/моль} = 11{,}3 \text{ кДж/моль}$$

$$\nu(Na_2SO_3 \cdot 7H_2O(т)) = \frac{63}{252} = 0{,}25 \text{ моль}$$

$$Q_2 = -\frac{1171}{0{,}25} = -46860 \text{ Дж/моль} = -46{,}86 \text{ кДж/моль}$$

Теплота образования кристаллогидрата:

$$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 11{,}3 + 46{,}86 = 58{,}16 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. 58,16 кДж/моль.

6. Количество исходной соли:

$$\nu(NH_4Cl) = \frac{m}{M} = \frac{3}{53{,}5} = 0{,}056 \text{ моль}$$

В трубке происходит реакция разложения:

$$NH_4Cl \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + HCl\uparrow$$

Образуется аммиак в количестве:

$$\nu(NH_3) = \nu(HCl) = 0{,}056 \text{ моль}$$

Молярные массы аммиака и хлороводорода 17 и 36,5 г/моль соответственно. Средняя молярная масса воздуха M(воздуха) = 29 г/моль, поэтому аммиак (легче воздуха) поступает к верхнему концу трубки, а хлороводород (тяжелее воздуха) к нижнему ее концу.

После пропускания газов через воду получаем два раствора: соляную кислоту, объем которой $V(H_2O) = 250$ мл $= 0{,}25$ л, и раствор аммиака, объем которого $V(H_2O) = 1$ л.

Рассчитаем pH раствора HCl (сильная кислота, диссоциирует полностью):

$$c(H^+) = c(HCl) = \frac{\nu}{V} = \frac{0{,}056}{0{,}25} = 0{,}224 \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg c(H^+) = 0{,}65$$

При растворении NH_3 в воде происходит обратимая реакция:

$$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4OH$$

Исходная концентрация NH_4OH:

$$c_0(NH_4OH) = \frac{0{,}056}{1} = 0{,}056 \text{ моль/л}$$

Но слабое основание NH_4OH частично диссоциирует:

$$\underset{c_0 - x}{NH_4OH} \rightleftarrows \underset{x}{NH_4^+} + \underset{x}{OH^-}$$

$$K_{\text{дисс}} = \frac{x^2}{c_0 - x}$$

Составим квадратное уравнение и решим его:

$$\frac{x^2}{0{,}056 - x} = 2 \cdot 10^{-5}$$

$$x = 1{,}05 \cdot 10^{-3}$$

$$c(OH^-) = 1{,}05 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

$$c(H^+) = 10^{-14} : c(OH^-) = 0{,}95 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л}$$

Рассчитаем pH этого раствора:

$$pH = -\lg(0{,}95 \cdot 10^{-11}) = 11{,}03$$

Ответ. 0,65 (раствор HCl), 11,03 (раствор NH_3).

7. Приведем один вариант решения.

1) $\underset{\mathbf{X_1}}{NH_3} + H_2SO_4 \rightarrow \underset{\mathbf{X_2}}{NH_4HSO_4}$

2) $NH_4HSO_4 + \underset{\mathbf{X_2}}{NH_3} \rightarrow (NH_4)_2SO_4$

3) $2\underset{\mathbf{X_1}}{NH_3} + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4$

4) $(NH_4)_2SO_4 + BaCl_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + \underset{\mathbf{X_3}}{2NH_4Cl}$

5) $\underset{\mathbf{X_3}}{NH_4Cl}(т) + KOH(конц.) \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + KCl + H_2O$

6) $4NH_3 + 3O_2 \xrightarrow{t} \underset{\mathbf{X_4}}{2N_2\uparrow} + 6H_2O$ (некаталитическое сжигание аммиака)

7) $\underset{\mathbf{X_4}}{N_2} + O_2 \xrightarrow{\text{электрич. разряд}} \underset{\mathbf{X_5}}{2NO}$

8) $2NH_3 + 2{,}5O_2 \xrightarrow{\text{катализатор}} \underset{\mathbf{X_5}}{2NO} + 3H_2O$ (каталитическое сжигание аммиака).

8. Приведем один вариант.

1) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{ферменты}} CH_3—CH_2—CH_2—COOH + 2CO_2 + 2H_2$
(маслянокислое брожение глюкозы)

2) $CH_3—CH_2—CH_2—COOH + Cl_2 \xrightarrow{P_{\text{красн}}} \rightarrow CH_3—CH_2—\underset{\mathbf{X}}{CHCl}—COOH + HCl$

3) $CH_3—CH_2—\underset{\mathbf{X}}{CHCl}—COOH + 2KOH(\text{спиртовой раствор}) \rightarrow \rightarrow CH_3—\underset{\mathbf{Y}}{CH{=}CH}—COOK + KCl + 2H_2O$

4) $2\underset{\mathbf{Y}}{CH_3—CH{=}CH—COOK} + H_2SO_4 \rightarrow \rightarrow 2CH_3—CH{=}CH—COOH + K_2SO_4$

5) $CH_3—\underset{\mathbf{Z}}{CH{=}CH}—COOH + 8KMnO_4 + 11KOH \rightarrow \rightarrow CH_3—COOK + KOOC—COOK + 8K_2MnO_4 + 7H_2O$

6) $CH_3—COOK + HCl \rightarrow CH_3—COOH + KCl$

Ответ. $n = 6$, $m = 2$; **X** — $CH_3—CH_2—CH_2—COOH$, бутановая кислота; **Y** — калийная соль бутеновой кислоты $CH_3—CH{=}CH—COOK$; **Z** — ацетат калия $CH_3—COOK$.

9. Определим состав и среднюю молярную массу сплава. С разбавленной кислотой реагирует только цинк:

$$Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2\uparrow$$

Выделилось водорода:

$$\nu(H_2) = \frac{1 \cdot 101{,}3 \cdot 14{,}66}{8{,}31 \cdot 298} = 0{,}6 \text{ моль}$$

Растворилось цинка:

$$\nu(\mathrm{Zn}) = 0{,}6 \text{ моль}, \; m(\mathrm{Zn}) = 39 \text{ г}$$

Меди в образце сплава:

$$m(\mathrm{Cu}) = 96{,}6 - 39 = 57{,}6 \text{ г}$$

$$\nu(\mathrm{Cu}) = \frac{57{,}6}{64} = 0{,}9 \text{ моль}$$

Средняя молярная масса сплава:

$$M_{\text{ср}} = m(\text{сплава}) : (\nu(\mathrm{Cu}) + \nu(\mathrm{Zn})) = \frac{96{,}6}{0{,}6 + 0{,}9} = 64{,}4 \text{ г/моль}$$

Рассчитаем массу сплава, которая подверглась анодной обработке:

$$m(\text{сплава}) = V \cdot \rho = 10 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}3 \cdot 8{,}2 = 12{,}3 \text{ г}$$

По закону Фарадея:

$$m(\text{сплава}) = \frac{t \cdot I \cdot \eta \cdot M_{\text{ср}}}{n \cdot F}$$

где $\eta = 0{,}5$ — выход реакции, $n = 2$ — число электронов, t — время травления (электролиза), $F = 96{,}5 \cdot 10^7$ Кл/моль, постоянная Фарадея, I — сила тока.

Рассчитаем силу тока при электрохимическом травлении.

$$I = \frac{n \cdot F \cdot m(\text{сплава})}{t \cdot \eta \cdot M_{\text{ср}}} = \frac{2 \cdot 96500 \cdot 12{,}3}{600 \cdot 0{,}5 \cdot 64{,}4} = 123 \text{ А}$$

Ответ. 123 А.

10. Количества реагентов:

$$\nu(\mathrm{KOH}) = \frac{560 \cdot 0{,}2}{56} = 2 \text{ моль}$$

$$\nu(\mathrm{CuCl_2}) = \frac{135}{135} = 1 \text{ моль}$$

$$2\mathrm{KOH} + \mathrm{CuCl_2} \rightarrow \mathrm{Cu(OH)_2}\downarrow + 2\mathrm{KCl}$$

Реагенты взяты в эквимолярном соотношении. $\nu(\mathrm{Cu(OH)_2}) = 1$ моль.

По условию, продукты гидролиза сложного эфира реагируют с $\mathrm{Cu(OH)_2}$ с образованием осадка. Предположим, что продукт гидролиза — альдегид, а исходное соединение — эфир непредельного спирта.

$$\underset{x}{\mathrm{R_1—COO—CH{=}CH—R_2}} + \mathrm{H_2O} \rightarrow \underset{x}{\mathrm{R_1—COOH}} + \underset{x}{\mathrm{R_2—CH_2—CHO}}$$

При избытке $Cu(OH)_2$ возможны следующие реакции:

$$\underset{x}{2R_2CH_2CHO} + \underset{2,5x}{5Cu(OH)_2} \rightarrow (R_2CH_2COO)_2Cu + \underset{x}{2Cu_2O}\downarrow + 6H_2O$$

$$\underset{x}{2R_1COOH} + \underset{0,5x}{Cu(OH)_2} \rightarrow (R_1COO)_2Cu + 2H_2O$$

В осадке Cu_2O и непрореагировавший $Cu(OH)_2$.

$$\nu(Cu(OH)_2) = 1 - 2,5x - 0,5x = 1 - 3x$$

$$\nu(Cu_2O) = x$$

При прокаливании гидроксид меди отщепляет воду:

$$\underset{1-3x}{Cu(OH)_2} \xrightarrow{t} \underset{1-3x}{CuO} + H_2O$$

Масса твердого остатка 60,8 г. Составим уравнение:

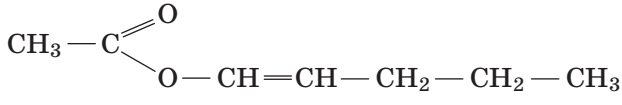
$$144x + 80(1 - 3x) = 60,8$$

$$x = 0,2 \text{ моль}$$

Определим молярную массу эфира:

$$M(\text{эфира}) = \frac{m}{\nu} = \frac{25,6}{0,2} = 128 \text{ г/моль}$$

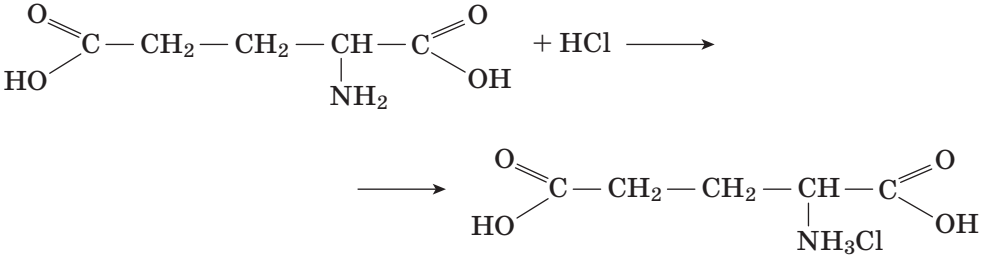
Один из возможных эфиров с этой молярной массой — это $CH_3COOCH{=}CH{-}C_3H_7$:

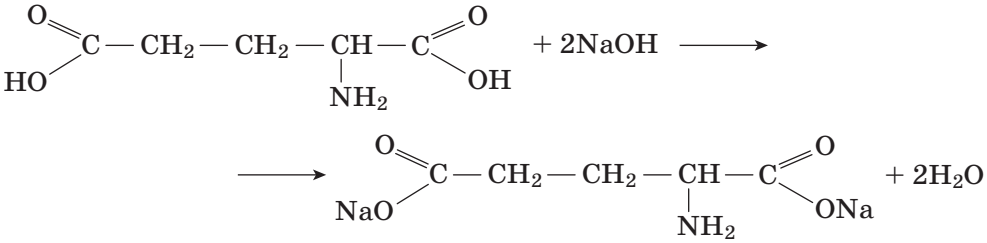


ВАРИАНТ 2

1. Минимальная степень окисления фосфора –3. Примеры соединений: PH_3 (фосфин), K_3P (фосфид калия).

2. Формуле $C_5H_9NO_4$ соответствует природная аминокислота — глутаминовая (2-аминопентандиовая) кислота.





3. Двухвалентный металл в составе ацетата обозначим **X**, катион исходного сульфида — **Y**:

$$\mathbf{X}(CH_3COO)_2 + \mathbf{YS} \rightarrow \mathbf{XS}\downarrow + \mathbf{Y}(CH_3COO)_2$$

$$\nu(XS) = \frac{m(\mathbf{XS})}{M(\mathbf{XS})} = \frac{27{,}96}{x + 32}$$

$$\nu(\mathbf{X}(CH_3COO)_2) = \frac{m}{M} = \frac{38{,}28}{x + 118}$$

$$\nu(\mathbf{XS}) = \nu(\mathbf{X}(CH_3COO)_2).$$

$$\frac{27{,}96}{x + 32} = \frac{38{,}28}{x + 118}$$

$$x = M(\mathbf{X}) = 201 \text{ г/моль}$$

X — это ртуть Hg, исходный ацетат — $Hg(CH_3COO)_2$.

$$\nu(\mathbf{YS}) = \nu(\mathbf{XS}) = \frac{27{,}96}{233} = 0{,}12 \text{ моль}$$

$$M(\mathbf{YS}) = \frac{6{,}12}{0{,}12} = 51 \text{ г/моль}$$

$$M(\mathbf{Y}) = 51 - 32 = 19 \text{ г/моль}$$

Подбором находим, что исходная соль сероводородной кислоты — гидросульфид аммония NH_4HS.

Ответ. $Hg(CH_3COO)_2$, NH_4HS.

4. Состав олеума:

$$m(SO_3) = \omega \cdot m = 0{,}55 \cdot 50 = 27{,}5 \text{ г}$$

$$\nu(SO_3) = \frac{27{,}5}{80} = 0{,}344 \text{ моль}$$

$$m(H_2SO_4) = 50 - 27{,}5 = 22{,}5 \text{ г}$$

$$\nu(H_2SO_4) = \frac{22{,}5}{98} = 0{,}230 \text{ моль}$$

$$\underset{0{,}344}{SO_3} + H_2O \rightarrow \underset{0{,}344}{H_2SO_4}$$

$\nu(H_2SO_4) = 0{,}344 + 0{,}230 = 0{,}574$ моль

$\nu(KOH) = c \cdot V = 1{,}4 \cdot 0{,}35 = 0{,}49$ моль

$$\underset{0{,}49}{2KOH} + \underset{0{,}245}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{0{,}245}{K_2SO_4} + 2H_2O$$

$\nu(H_2SO_4) = 0{,}574 - 0{,}245 = 0{,}329$ моль — серная кислота в избытке.

$$\underset{0{,}245}{K_2SO_4} + \underset{0{,}245}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{0{,}49}{2KHSO_4}$$

В растворе:

$\nu(KHSO_4) = 0{,}49$ моль

$m(KHSO_4) = 0{,}49 \cdot 136 = 66{,}64$ г

$\nu(H_2SO_4) = 0{,}329 - 0{,}245 = 0{,}084$ моль

$m(H_2SO_4) = 0{,}084 \cdot 98 = 8{,}23$ г

$m(\text{р-ра}) = 50 + 350 \cdot 1{,}07 = 424{,}5$ г

$$\omega(KHSO_4) = \frac{66{,}64}{424{,}5} = 0{,}157, \text{ или } 15{,}7\%$$

$$\omega(H_2SO_4) = \frac{8{,}23}{424{,}5} = 0{,}019, \text{ или } 1{,}9\%$$

Ответ. $\omega(KHSO_4) = 15{,}7\%$; $\omega(H_2SO_4) = 1{,}9\%$. В растворе находятся ионы K^+, SO_4^{2-}, HSO_4^-.

5. Напишем термохимические уравнения процессов растворения $CuSO_4$, $CuSO_4 \cdot 3H_2O$ и образования кристаллогидрата из безводной соли:

$$CuSO_4(\text{т}) \rightarrow Cu^{2+} + SO_4^{2-} + Q_1 \quad (1)$$

$$CuSO_4 \cdot 3H_2O(\text{т}) \rightarrow Cu^{2+} + SO_4^{2-} + 3H_2O + Q_2 \quad (2)$$

$$CuSO_4(\text{т}) + 3H_2O \rightarrow CuSO_4 \cdot 3H_2O(\text{т}) + Q_3 \quad (3)$$

$Q_3 = Q_1 - Q_2$

$$\nu(CuSO_4) = \frac{160}{160} = 1 \text{ моль}$$

$Q_1 = 66{,}53$ кДж/моль

$$\nu(CuSO_4 \cdot 3H_2O(\text{т})) = \frac{428}{214} = 2 \text{ моль}$$

$$Q_2 = \frac{30{,}2}{2} = 15{,}1 \text{ кДж/моль}$$

$Q_3 = Q_1 - Q_2 = 66{,}53 - 15{,}1 = 51{,}43$ кДж/моль

Ответ. 51,43 кДж/моль.

6. $NH_4Cl \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + HCl\uparrow$

$M(NH_3) = 17$ г/моль. $M(HCl) = 36{,}5$ г/моль. M(воздуха) $= 29$ г/моль. Аммиак (легче воздуха) выделяется через верхний конец трубки, хлороводород (тяжелее воздуха) — через нижний конец.

После пропускания газов в воду (например, в 1 л воды) образовалось два раствора: раствор HCl (pH = 2), и раствор NH_4OH.

В растворе HCl:

$$c(H^+) = 10^{-pH} = 10^{-2} \text{ моль/л}$$

Соляная кислота — сильная кислота, поэтому

$$c(HCl)_{исх} = 10^{-2} \text{ моль/л}$$

$$\nu(HCl) = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$\nu(HCl) = \nu(NH_3) = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$c_0(NH_4OH) = 0{,}01 \text{ моль/л}.$$

NH_4OH — слабое основание, диссоциация которого обратима:

$$\underset{c_0 - x}{NH_4OH} \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$$

$$K_{дисс} = \frac{x^2}{c_0 - x}$$

$$\frac{x^2}{0{,}01 - x} = 2 \cdot 10^{-5}$$

$$x = 4{,}46 \cdot 10^{-4}$$

$$c(OH^-) = 4{,}46 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

$$c(H^+) = 10^{-14}/c(OH^-) = 2{,}24 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л}$$

pH раствора аммиака:

$$pH = -\lg(2{,}24 \cdot 10^{-11}) = 10{,}65$$

Ответ. 10,65.

7. Приведем один вариант ответа.

1) $KOH + Cr(OH)_3 \rightarrow \underset{X_1}{K[Cr(OH)_4]}$

2) $2\underset{X_2}{K[Cr(OH)_4]} + CO_2 \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + K_2CO_3 + H_2O$

3) $3KOH + CrCl_3 \rightarrow \underset{X_1}{Cr(OH)_3}\downarrow + 3KCl$

4) $2Cr(OH)_3 + 3Cl_2 + 10KOH \rightarrow \underset{\mathbf{X_3}}{2K_2CrO_4} + 6KCl + 8H_2O$

5) $\underset{\mathbf{X_3}}{2K_2CrO_4} + H_2SO_4 \rightarrow K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$

6) $3K_2SO_3 + K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 \rightarrow \underset{\mathbf{X_4}}{Cr(SO_4)_3} + 4K_2SO_4 + 4H_2O$

7) $\underset{\mathbf{X_4}}{2Cr_2(SO_4)_3} \xrightarrow{t} \underset{\mathbf{X_5}}{2Cr_2O_3} + 6SO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

8) $4K_2Cr_2O_7 \xrightarrow{t} 4K_2CrO_4 + 2Cr_2O_3 + 3O_2\uparrow$

8. Приведем один вариант ответа.

1) $\underset{\text{глюкоза}}{C_6H_{12}O_6} \xrightarrow{\text{ферменты}} \underset{\mathbf{X}}{2CH_3—CH_2OH} + 2CO_2\uparrow$

2) $\underset{\mathbf{X}}{CH_3—CH_2OH} \xrightarrow{H_2SO_4,\ t>150\,^\circ C} CH_2{=}CH_2 + H_2O$

3) $3CH_2{=}CH_2 + 2KMnO_4 + 4H_2O \xrightarrow{0\,^\circ C} \rightarrow 3CH_2(OH)—CH_2(OH) + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$

4) $CH_2(OH)—CH_2(OH) + 2CH_3COOH \xrightarrow{H^+} \rightarrow \underset{\mathbf{Y}}{CH_3—COO—CH_2—CH_2—OOC—CH_3} + 2H_2O$

5) $\underset{\mathbf{Y}}{CH_3—COO—CH_2—CH_2—OOC—CH_3} + 2KOH(\text{водн.}) \xrightarrow{t} \rightarrow 2CH_3COOK + CH_2(OH)—CH_2(OH)$

6) $CH_3COOK + HCl \rightarrow CH_3COOH + KCl$

Ответ. $n = 6$; $m = 2$; **X** — этанол $CH_3—CH_2OH$; **Y** — этиленгликоль $CH_2(OH)—CH_2(OH)$; **Z** — ацетат калия CH_3COOK.

9. $Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2\uparrow$

$$\nu(H_2) = \frac{1 \cdot 101{,}3 \cdot 4{,}98}{8{,}31 \cdot 298} = 0{,}2 \text{ моль}$$

$\nu(Zn) = 0{,}2$ моль

$m(Zn) = 13$ г

$m(Cu) = 32{,}2 - 13 = 19{,}2$ г

$$\nu(Cu) = \frac{19{,}2}{64} = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$M_{ср} = \frac{m(\text{сплава})}{\nu(Cu) + \nu(Zn)} = \frac{32{,}2}{0{,}2 + 0{,}3} = 64{,}4 \text{ г/моль}$$

$$m(\text{сплава}) = V \cdot \rho = 8 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}2 \cdot 8{,}2 = 6{,}56 \text{ г}$$

$$m(\text{сплава}) = \frac{t \cdot I \cdot \eta \cdot M_{\text{ср}}}{n \cdot F}$$

$$I = \frac{n \cdot F \cdot m(\text{сплава})}{t \cdot \eta \cdot M_{\text{ср}}} = \frac{2 \cdot 96500 \cdot 6{,}56}{480 \cdot 0{,}6 \cdot 64{,}4} = 68 \text{ А}$$

Ответ. 68 А.

10. $\nu(\text{KOH}) = \dfrac{280 \cdot 0{,}2}{56} = 1$ моль

$\nu(CuSO_4) = \dfrac{80}{160} = 0{,}5$ моль

$2KOH + CuSO_4 \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow + K_2SO_4$

Реагенты взяты в стехиометрическом соотношении:

$$\nu(Cu(OH)_2) = 0{,}5 \text{ моль}$$

По условию, продукты гидролиза сложного эфира реагируют с $Cu(OH)_2$ с образованием осадка. Возможно, что продукт гидролиза — альдегид, а исходное соединение — эфир непредельного спирта.

$$\underset{x}{R_1{-}COO{-}CH{=}CH{-}R_2} + H_2O \rightarrow \underset{x}{R_1COOH} + \underset{x}{R_2{-}CH_2{-}CHO}$$

Если $Cu(OH)_2$ в избытке:

$$\underset{x}{2R_2CH_2CHO} + \underset{2{,}5x}{5Cu(OH)_2} \rightarrow (R_2CH_2COO)_2Cu + \underset{x}{2Cu_2O}\downarrow + 6H_2O$$

$$\underset{x}{2R_1COOH} + \underset{0{,}5x}{Cu(OH)_2} \rightarrow (R_1COO)_2Cu + 2H_2O$$

В осадке Cu_2O и непрореагировавший $Cu(OH)_2$.

$$\nu(Cu(OH)_2) = 0{,}5 - 2{,}5x - 0{,}5x = 0{,}5 - 3x$$

$$\nu(Cu_2O) = x$$

$$\underset{0{,}5 - 3x}{Cu(OH)_2} \xrightarrow{t} \underset{0{,}5 - 3x}{CuO} + H_2O$$

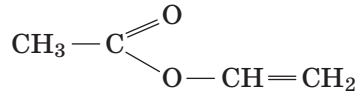
Масса твердого остатка 35,2 г.

$$144 \cdot x + 80(0{,}5 - 3x) = 35{,}2$$

$$x = 0{,}05 \text{ моль}$$

$$M(\text{эфира}) = \frac{m}{\nu} = \frac{4{,}3}{0{,}05} = 86 \text{ г/моль}$$

Один из возможных эфиров с этой молярной массой — виниловый эфир уксусной кислоты:



ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

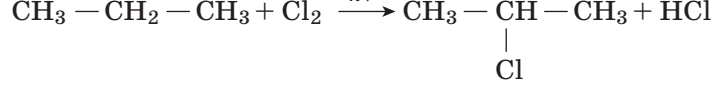
1. Уравнение ядерной реакции: $^{230}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{226}_{88}\mathrm{Ra} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$.

Ответ. Изотоп радия.

2. В молекуле фторида кислорода OF_2 $8 + 2 \cdot 9 = 26$ электронов, в молекуле любого углеводорода C_xH_y $(6x + y)$ электронов.

$$6x + y = 26$$

Подбором находим: $x = 3$, $y = 8$. Это пропан C_3H_8, он вступает в реакцию с хлором:



Возможен другой ответ, если $x = 4$, $y = 2$. Получаем углеводород C_4H_2 (бутадиин $HC{\equiv}C{-}C{\equiv}CH$).

3. По условию:

$$\nu(Al) = \nu(I_2) = \nu(AlI_3) = x \text{ моль}$$

Масса смеси:

$$27x + 254x + 408x = 20{,}67$$

$$689x = 20{,}67$$

$$x = 0{,}03 \text{ моль}$$

При прокаливании смеси образуется иодид алюминия:

Из уравнения реакции следует, что алюминий взят в избытке: $0{,}03 - 0{,}02 = 0{,}01$ моль. Образовалось 0,02 моль иодида алюминия. Количество выделившейся теплоты:

$$Q = \nu \cdot Q_{обр}(AlI_3) = 0{,}02 \cdot 302{,}9 = 6{,}06 \text{ кДж}$$

После прокаливания смесь содержит Al (0,01 моль) и AlI_3 (0,02 + 0,03 = 0,05 моль). В конечной смеси:

$$x(\text{Al}) = \frac{0{,}01}{0{,}01 + 0{,}05} = 0{,}167, \text{ или } 16{,}7\%$$

$$x(AlI_3) = 0{,}833, \text{ или } 83{,}3\%$$

Ответ. 16,7% Al, 83,3% AlI_3; 6,06 кДж.

4. Растворение железа в соляной кислоте:

$$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2\uparrow$$

Поскольку во всех трех опытах масса железа одинаковая, а скорость реакции w обратно пропорциональна времени протекания реакции t, по правилу Вант-Гоффа:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{w_2}{w_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Найдем температурный коэффициент скорости реакции γ при нагревании от 19 до 39 °С.

$$\frac{30}{4{,}8} = \gamma^{\frac{39-19}{10}}$$

$$6{,}25 = \gamma^2$$

$$\gamma = 2{,}5$$

При нагревании от 39 до 54 °С скорость реакции увеличится в $2{,}5^{\frac{54-39}{10}} = 2{,}5^{1{,}5} = 3{,}95$ раза. Время реакции:

$$\frac{4{,}8}{3{,}95} = 1{,}22 \text{ мин} = 72{,}9 \text{ с}$$

Ответ. 72,9 с.

5. С этаналем CH_3CHO реагируют следующие вещества: Br_2, C_2H_5OH, HCN, $C_6H_5NH_2$, CH_3MgBr.

1) $CH_3—CHO + Br_2 \xrightarrow{H^+ \text{ или } OH^-} BrCH_2—CHO + HBr$

2) $CH_3—CHO + Br_2 + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 2HBr$

3) $CH_3—CHO + C_2H_5OH \xrightarrow{H^+ \text{ или } OH^-} \underset{\text{полуацеталь}}{CH_3—CH(OH)—OC_2H_5}$

4) $CH_3—CHO + 2C_2H_5OH \xrightarrow{H^+} \underset{\text{ацеталь}}{CH_3—CH(OC_2H_5)_2} + H_2O$

5) $CH_3—CHO + HCN \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{нитрил молочной кислоты}}{CH_3—CH(OH)—CN}$

6) $CH_3—CHO + C_6H_5NH_2 \rightarrow \underset{\text{основание Шиффа, имин}}{CH_3—CH{=}N—C_6H_5} + H_2O$

7) $CH_3—CHO + CH_3MgBr \xrightarrow{\text{эфир}} CH_3—CH(CH_3)—OMgBr$

Ответ. Любые пять из этих реакций.

6. $\underset{x}{2HCOOK} + H_2SO_4 \xrightarrow{t} K_2SO_4 + \underset{x}{2CO\uparrow} + 2H_2O$

$\underset{y}{Na_2CO_3} + H_2SO_4 \xrightarrow{t} Na_2SO_4 + \underset{y}{CO_2\uparrow} + H_2O$

Количество газов:

$$\nu = \frac{10{,}08}{22{,}4} = 0{,}45 \text{ моль}$$

$$x + y = 0{,}45$$

$$y = 0{,}45 - x$$

Средняя молярная масса смеси газов:

$$M_{ср} = 1{,}23 \cdot 30 = 36{,}9 \text{ г/моль}$$

$$M_{ср} = \frac{28x + 44y}{x + y} = \frac{28x + 44(0{,}45 - x)}{0{,}45} = 36{,}9$$

$$16{,}605 = 28x + 19{,}8 - 44x$$

$$16x = 3{,}195$$

$$x = 0{,}2 \text{ моль}$$

Масса формиата калия в исходной смеси:

$$m(HCOOK) = x \cdot M(HCOOK) = 0{,}2 \cdot 84 = 16{,}8 \text{ г}$$

Ответ. 16,8 г.

7. Приведем один из вариантов ответа.

1) $2Cu(NO_3)_2(т) \xrightarrow{t} 2CuO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

Любой продукт может быть выбран в качестве **X**.

X — CuO:

2) $3CuO + 2NH_3 \xrightarrow{t} 3Cu + N_2 + 3H_2O$

Запишем реакция (2) с каждым продуктом.

X — NO_2:

$4C + 2NO_2 \xrightarrow{t} 4CO + N_2$

X — O_2:

$4NH_3 + 3O_2 \xrightarrow{t} 2N_2 + 6H_2O$

3) $6Li + N_2 \rightarrow 2Li_3N$

4) $Li_3N + 3H_2O \rightarrow 3LiOH + NH_3$

5) $2NH_3 + H_2S \rightarrow (NH_4)_2S$

или

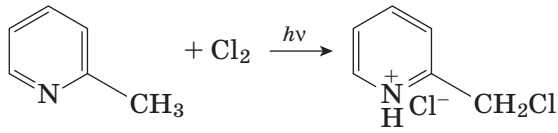
$Ag_2O + 4NH_3 + H_2O \rightarrow 2[Ag(NH_3)_2]OH$

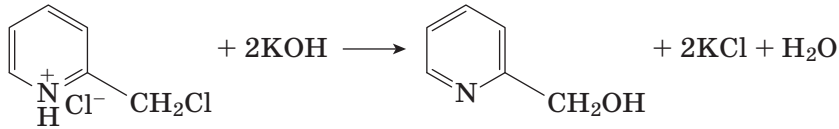
6) $(NH_4)_2S + 2AgNO_3 \rightarrow Ag_2S\downarrow + NH_4NO_3$

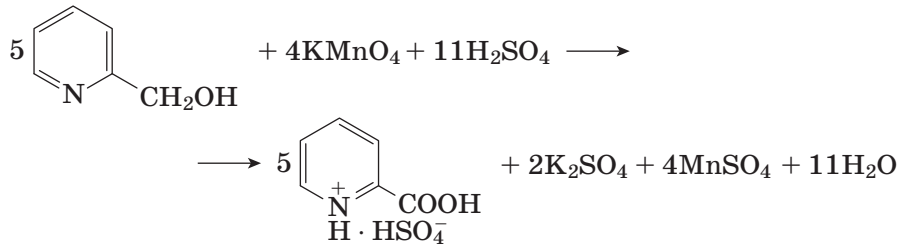
или

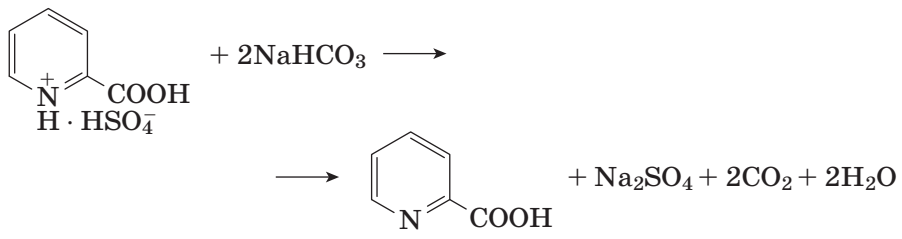
$2[Ag(NH_3)_2]OH + 3H_2S \rightarrow Ag_2S\downarrow + 2(NH_4)_2S + 2H_2O$

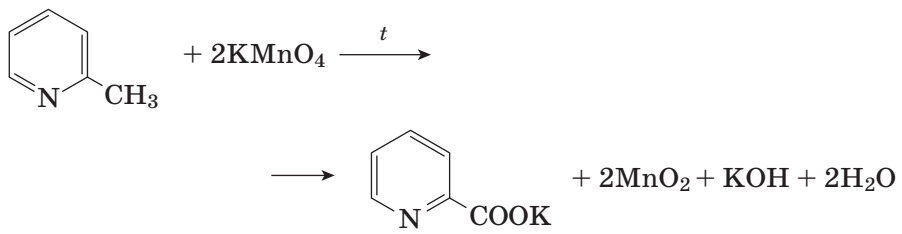
8.

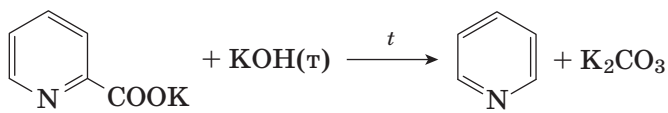
1) 

2) 

3) 

4) 

5) 

6) 

9. Пусть в исходной смеси x моль $Cr(NO_3)_3$, y моль $Mn(NO_3)_2$ и z моль $Al(NO_3)_3$. При добавлении к этой смеси избытка раствора сульфида аммония протекают следующие реакции:

$$\underset{x}{2Cr(NO_3)_3} + 3(NH_4)_2S + 6H_2O \rightarrow \underset{x}{2Cr(OH)_3\downarrow} + \underset{1{,}5x}{3H_2S\uparrow} + 6NH_4NO_3$$

$$\underset{y}{Mn(NO_3)_2} + (NH_4)_2S \rightarrow \underset{y}{MnS\downarrow} + 2NH_4NO_3$$

$$\underset{z}{2Al(NO_3)_3} + 3(NH_4)_2S + 6H_2O \rightarrow \underset{z}{2Al(OH)_3\downarrow} + \underset{1{,}5z}{3H_2S\uparrow} + 6NH_4NO_3$$

При взаимодействии исходной смеси с избытком раствора щёлочи:

$$Cr(NO_3)_3 + 4NaOH \rightarrow Na[Cr(OH)_4] + 3NaNO_3$$

$$\underset{y}{Mn(NO_3)_2} + 2NaOH \rightarrow \underset{y}{Mn(OH)_2\downarrow} + 2NaNO_3$$

$$Al(NO_3)_3 + 4NaOH \rightarrow Na[Al(OH)_4] + 3NaNO_3$$

По условию,

$$238x + 179y + 213z = 51{,}1$$

$$103x + 87y + 78z = 21{,}65$$

$$89y = 8{,}9$$

$$y = 0{,}1$$

Подставим в первое и второе уравнения значение y и решим систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} 238x + 213z = 33{,}2 \\ 103x + 78z = 12{,}95 \end{cases}$$

$x = 0{,}05$, $z = 0{,}1$ моль

$m(Cr(NO_3)_3) = 238 \cdot 0{,}05 = 11{,}9$ г

$m(Mn(NO_3)_2) = 179 \cdot 0{,}1 = 17{,}9$ г

$m(Al(NO_3)_3) = 213 \cdot 0{,}1 = 21{,}3$ г

В реакции с сульфидом аммония выделяется сероводород.

$$\nu(H_2S) = 1{,}5x + 1{,}5z = 0{,}225 \text{ моль}$$

$$V(H_2S) = \frac{\nu \cdot R \cdot T}{p} = \frac{0{,}225 \cdot 8{,}31 \cdot 308}{0{,}95 \cdot 101{,}3} = 5{,}98 \text{ л}$$

Ответ. 11,9 г $Cr(NO_3)_3$; 17,9 г $Mn(NO_3)_2$; 21,3 г $Al(NO_3)_3$; 5,98 л H_2S.

10. $\underset{x}{C_2H_2} + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow \underset{x}{Ag_2C_2}\downarrow + 4NH_3 + 2H_2O$

$$\underset{y}{3C_nH_{2n}} + 2KMnO_4 + 4H_2O \rightarrow 3C_nH_{2n+2}O_2 + \underset{\frac{2}{3}y}{2MnO_2}\downarrow + 2KOH$$

В первом растворе образуется осадок ацетиленида серебра, во втором — осадок оксида марганца.

Количество алкена и ацетилена в исходной смеси найдем по уравнениям реакций с бромом:

$$\underset{x}{C_2H_2} + \underset{2x}{2Br_2} \rightarrow C_2H_2Br_4$$

$$\underset{y}{C_nH_{2n}} + \underset{y}{Br_2} \rightarrow C_nH_{2n}Br_2$$

По условию:

$$\nu(Br_2) = \frac{V \cdot \rho \cdot \omega}{M} = \frac{261{,}5 \cdot 1{,}02 \cdot 0{,}03}{160} = 0{,}05 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 2x + y = 0{,}05 \\ 240x - \frac{2}{3} \cdot 87y = 0{,}66 \end{cases}$$

$x = 0{,}01$ моль, $y = 0{,}03$ моль

Молярную массу неизвестного алкена обозначим z. Масса исходной смеси газов:

$$1{,}1 = 0{,}01 \cdot 26 + 0{,}03z$$

$$z = 28 \text{ г/моль}$$

Это этилен C_2H_4. Масса этилена в смеси:

$$m(C_2H_4) = 28 \cdot 0{,}03 = 0{,}84 \text{ г}$$

Рассчитаем количество водорода, необходимое для полного гидрирования исходной смеси.

$$\underset{0{,}01}{C_2H_2} + \underset{0{,}02}{2H_2} \rightarrow C_2H_6$$

$$\underset{0{,}03}{C_2H_4} + \underset{0{,}03}{H_2} \rightarrow C_2H_6$$

На гидрирование 0,04 моль исходной смеси требуется 0,05 моль водорода (столько же, сколько брома на бромирование), а на гидрирование 1 л смеси:

$$V(H_2) = 1 \cdot \frac{0{,}05}{0{,}04} = 1{,}25 \text{ л}$$

Ответ. 0,84 г этилена; 1,25 л водорода.

ВАРИАНТ 2

1. $^{210}_{82}\mathrm{Pb} \rightarrow {}^{210}_{83}\mathrm{Bi} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

Ответ. Изотоп висмута.

2. В молекуле оксида хлора(I) Cl_2O содержится $2 \cdot 17 + 8 = 42$ электрона, в молекуле любого углеводорода C_xH_y $(6x + y)$ электронов.

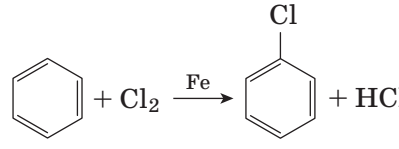
$$6x + y = 42$$

Подбором находим: $x = 5$, $y = 12$. Это пентан C_5H_{12} (или его изомеры 2-метилбутан, диметилпропан).

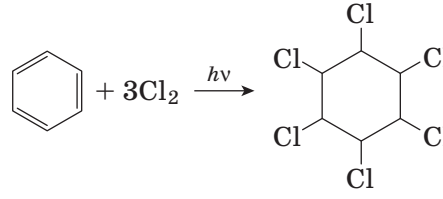
$$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu}$$

$$\longrightarrow CH_3{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}{-}CH_2{-}CH_3 + HCl$$

Возможен *другой ответ*. Если $x = 6$, $y = 6$, то получим C_6H_6 (бензол). Реакции с хлором:



или



3. По условию:

$$\nu(Al) = \nu(S) = \nu(Al_2S_3) = x \text{ моль}$$

$$27x + 32x + 150x = 62{,}7$$

$$209x = 62{,}7$$

$$x = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$\underset{0{,}2}{2Al} + \underset{0{,}3}{3S} \xrightarrow{t} \underset{0{,}1}{Al_2S_3} + Q$$

Алюминий в избытке $(0{,}3 - 0{,}2 = 0{,}1$ моль). Образовалось 0,1 моль сульфида алюминия. Количество выделившейся теплоты:

$$Q = \nu \cdot Q_{обр}(Al_2S_3) = 0{,}1 \cdot 508{,}9 = 50{,}9 \text{ кДж}$$

После прокаливания смесь содержит 0,1 моль Al и (0,1 + 0,3) = = 0,4 моль Al_2S_3.

В конечной смеси:

$$x(\text{Al}) = \frac{0{,}1}{0{,}1 + 0{,}4} = 0{,}2, \text{ или } 20\%$$

$$x(Al_2S_3) = 0{,}8, \text{ или } 80\%$$

Ответ. 20% Al, 80% Al_2S_3; 50,9 кДж.

4. $Zn + 2NaOH + 2H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + H_2\uparrow$

Поскольку во всех трех опытах масса цинка одинаковая, а скорость реакции w обратно пропорциональна времени протекания реакции t, по правилу Вант-Гоффа:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{w_2}{w_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Найдем температурный коэффициент скорости реакции γ при нагревании от 25 до 45 °С:

$$\frac{25}{4} = \gamma^{\frac{45-25}{10}}$$

$$6{,}25 = \gamma^2$$

$$\gamma = 2{,}5$$

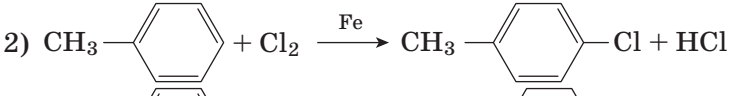
При нагревании от 45 до 60 °С скорость реакции увеличится в $2{,}5^{\frac{60-45}{10}} = 2{,}5^{1{,}5} = 3{,}95$ раза. Время реакции:

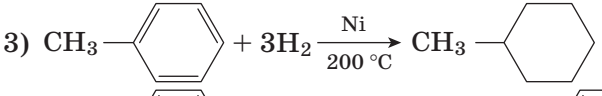
$$\frac{4}{3{,}95} = 1{,}01 \text{ мин} = 60{,}6 \text{ с}.$$

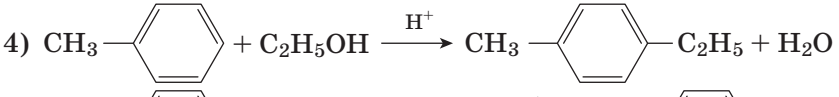
Ответ. 60,6 с.

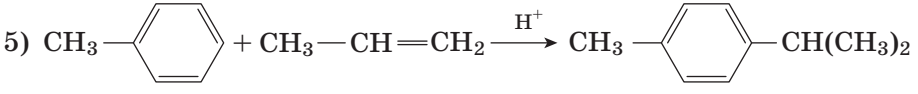
5. С толуолом реагируют следующие вещества: Cl_2, H_2, C_2H_5OH, C_3H_6, $KMnO_4$.

1) $C_6H_5{-}CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} C_6H_5{-}CH_2Cl + HCl$

2) 

3) 

4) 

5) 

6) $5C_6H_5CH_3 + 6KMnO_4 + 9H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5C_6H_5COOH + 3K_2SO_4 + 6MnSO_4 + 14H_2O$

7) $C_6H_5CH_3 + 2KMnO_4 \xrightarrow{t} C_6H_5COOK + 2MnO_2\downarrow + KOH + H_2O$

Ответ. Любые пять из этих реакций.

6. $\underset{x}{2HCOOK} + H_2SO_4 \xrightarrow{t} K_2SO_4 + \underset{x}{2CO\uparrow} + 2H_2O$

$\underset{y}{SrCO_3} + H_2SO_4 \xrightarrow{t} SrSO_4 + \underset{y}{CO_2\uparrow} + H_2O$

$\nu(\text{газов}) = \dfrac{11{,}2}{22{,}4} = 0{,}5$ моль

$x + y = 0{,}5$

$y = 0{,}5 - x$

$M_{ср} = 1{,}56 \cdot 20 = 31{,}2$ г/моль

$M_{ср} = \dfrac{28x + 44y}{x + y} = \dfrac{28x + 44(0{,}5 - x)}{0{,}5} = 31{,}2$

$15{,}6 = 28x + 22{,}0 - 44x$

$16x = 6{,}4$

$x = 0{,}4$ моль

$m(HCOOK) = x \cdot M(HCOOK) = 0{,}4 \cdot 84 = 33{,}6$ г

Ответ. 33,6 г.

7. Приведем один из вариантов ответа.

1) $Na_2SO_4 + 4C \xrightarrow{t} Na_2S + 4CO$

2) $Na_2S + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2S\uparrow$

3) $2H_2S + 3O_2 \xrightarrow{t} SO_2\uparrow + H_2O$

или

$2H_2S + SO_2 \rightarrow 3S\downarrow + 2H_2O$

4) $SO_2 + 2HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow H_2SO_4 + NO_2\uparrow$

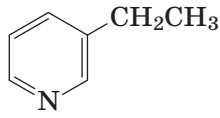
или

$S + 6HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} H_2SO_4 + 6NO_2\uparrow + 2H_2O$

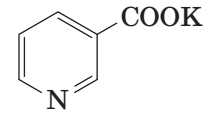
5) $Zn + H_2SO_4(\text{разб.}) \rightarrow ZnSO_4 + H_2\uparrow$

6) $2Li + H_2 \xrightarrow{t} 2LiH$

8.

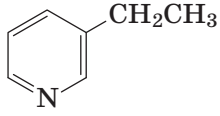
1) 

$$+ 12KMnO_4 + 15KOH \longrightarrow$$

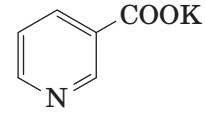


$$+ 2K_2MnO_4 + K_2CO_3 + 10H_2O$$

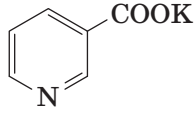
или



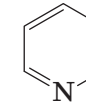
$$+ 4KMnO_4 \xrightarrow{t}$$



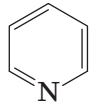
$$+ 4MnO_2 + K_2CO_3 + KOH + 2H_2O$$

2) 

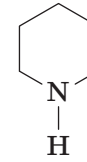
$$+ KOH(т) \xrightarrow{t}$$

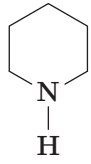


$$+ K_2CO_3$$

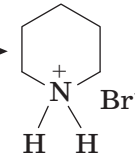
3) 

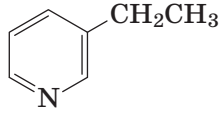
$$+ 3H_2 \xrightarrow[t]{Ni}$$



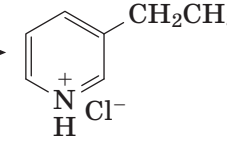
4) 

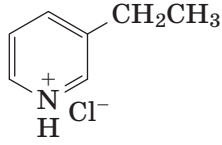
$$+ HBr \longrightarrow$$



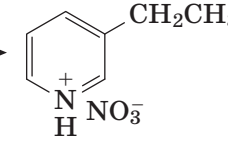
5) 

$$+ HCl \longrightarrow$$



6) 

$$+ AgNO_3 \longrightarrow$$



$$+ AgCl\downarrow$$

9. Пусть в исходной смеси x моль $Al_2(SO_4)_3$, y моль $CuSO_4$ и z моль $NiSO_4$.

$$\underset{x}{Al_2(SO_4)_3} + 3(NH_4)_2S + 6H_2O \rightarrow \underset{2x}{2Al(OH)_3\downarrow} + \underset{3x}{3H_2S\uparrow} + 3(NH_4)_2SO_4$$

$$\underset{y}{CuSO_4} + (NH_4)_2S \rightarrow \underset{y}{CuS\downarrow} + (NH_4)_2SO_4$$

$$\underset{z}{NiSO_4} + (NH_4)_2S \rightarrow \underset{z}{NiS\downarrow} + (NH_4)_2SO_4$$

При добавлении избытка раствора щёлочи в осадок выпадают гидроксиды меди и никеля:

$$Al_2(SO_4)_3 + 8NaOH \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3Na_2SO_4$$

$$\underset{y}{CuSO_4} + 2NaOH \rightarrow \underset{y}{Cu(OH)_2\downarrow} + Na_2SO_4$$

$$\underset{z}{NiSO_4} + 2NaOH \rightarrow \underset{z}{Ni(OH)_2\downarrow} + Na_2SO_4$$

По условию:

$$342x + 160y + 155z = 81{,}2$$

$$156x + 96y + 91z = 43{,}4$$

$$98y + 93z = 28{,}4$$

$x = y = 0{,}1$ моль, $z = 0{,}2$ моль

$m(Al_2(SO_4)_3) = 342 \cdot 0{,}1 = 34{,}2$ г

$m(CuSO_4) = 160 \cdot 0{,}1 = 16{,}0$ г

$m(NiSO_4) = 155 \cdot 0{,}2 = 31$ г

В реакции с сульфидом аммония выделяется сероводород.

$$\nu(H_2S) = 3x = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$V(H_2S) = \frac{\nu \cdot R \cdot T}{p} = \frac{0{,}3 \cdot 8{,}31 \cdot 283}{0{,}95 \cdot 101{,}3} = 7{,}33 \text{ л}$$

Ответ. 34,2 г $Al_2(SO_4)_3$; 16,0 г $CuSO_4$; 31,0 г $NiSO_4$; 7,33 л H_2S.

10. $$\underset{x}{C_4H_6} + [Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow \underset{x}{C_4H_5Ag\downarrow} + 2NH_3 + H_2O$$

$$\underset{y}{3C_nH_{2n}} + 2KMnO_4 + 4H_2O \rightarrow 3C_nH_{2n+2}O_2 + \underset{\frac{2}{3}y}{2MnO_2\downarrow} + 2KOH$$

Реакции исходной смеси с бромом:

$$\underset{x}{C_4H_6} + \underset{2x}{2Br_2} \rightarrow C_4H_6Br_4$$

$$\underset{y}{C_nH_{2n}} + \underset{y}{Br_2} \rightarrow C_nH_{2n}Br_2$$

$$\nu(Br_2) = \frac{V \cdot \rho \cdot \omega}{M} = \frac{523 \cdot 1{,}02 \cdot 0{,}03}{160} = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 2x + y = 0{,}1 \\ \frac{2}{3} \cdot 87y - 161x = 0{,}26 \end{cases}$$

$x = 0{,}02$ моль, $y = 0{,}06$ моль

Молярную массу неизвестного алкена обозначим z. Масса исходной смеси газов:

$$2{,}76 = 0{,}02 \cdot 54 + 0{,}06z$$

$z = 28$ г/моль. Это этилен C_2H_4. Масса этилена в смеси:

$$m(C_2H_4) = 28 \cdot 0{,}06 = 1{,}68 \text{ г}$$

$$\underset{0{,}02}{C_4H_6} + \underset{0{,}04}{2H_2} \rightarrow C_4H_{10}$$

$$\underset{0{,}06}{C_2H_4} + \underset{0{,}06}{H_2} \rightarrow C_2H_6$$

На гидрирование 0,08 моль исходной смеси требуется 0,1 моль водорода (столько же, сколько брома на бромирование), а на гидрирование 3 л смеси:

$$V(H_2) = 3 \cdot \frac{0{,}1}{0{,}08} = 3{,}75 \text{ л}$$

Ответ. 1,68 г этилена; 3,75 л водорода.

ВАРИАНТ 3

1. $^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$

Ответ. Изотоп азота.

2. В молекуле оксида серы(IV) SO_2 $16 + 2 \cdot 8 = 32$ электрона, в молекуле любого углеводорода C_xH_y $(6x + y)$ электронов.

$$6x + y = 32$$

Подбором находим: $x = 4$, $y = 8$. Это бутен C_4H_8 (изомеры бутен-1, бутен-2) или циклобутан.

$$CH_3-CH=CH-CH_3 + Cl_2 \longrightarrow CH_3-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}-CH_3$$

3. $\nu(Zn) = \nu(P) = \nu(Zn_3P_2) = x$ моль

$$65x + 31x + 257x = 52{,}95$$

$$353x = 52{,}95$$

$$x = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$\underset{0{,}15}{3Zn} + \underset{0{,}1}{2P} \xrightarrow{t} \underset{0{,}05}{Zn_3P_2} + Q$$

Фосфор в избытке (0,15 − 0,1 = 0,05 моль). Образовалось 0,05 моль фосфида цинка. Количество выделившейся теплоты:

$$Q = \nu \cdot Q_{обр}(Zn_3P_2) = 0{,}05 \cdot 194{,}9 = 9{,}75 \text{ кДж}$$

После прокаливания смесь содержит 0,05 моль P и (0,05 + 0,15) = = 0,2 моль Zn_3P_2.

В конечной смеси:

$$x(P) = \frac{0{,}05}{0{,}05 + 0{,}2} = 0{,}2, \text{ или } 20\%$$

$$x(Zn_3P_2) = 0{,}8, \text{ или } 80\%$$

Ответ. 20% P, 80% Zn_3P_2; 9,75 кДж.

4. $3Cu + 8HNO_3 \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$

Поскольку во всех трех опытах масса цинка одинаковая, а скорость реакции w обратно пропорциональна времени реакции t, по правилу Вант-Гоффа:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{w_2}{w_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Найдем температурный коэффициент скорости реакции γ при нагревании от 20 до 40 °C:

$$\frac{27}{3} = \gamma^{\frac{40-20}{10}}$$

$$9 = \gamma^2$$

$$\gamma = 3$$

При нагревании от 40 до 60 °C скорость реакции увеличится в $3^{\frac{60-40}{10}} = 3^2 = 9$ раз. Время реакции:

$$3 : 9 = 0{,}33 \text{ мин} = 20 \text{ с}$$

Ответ. 20 с.

5. С пропионовым альдегидом реагируют следующие вещества: H_2, $KMnO_4$, $[Ag(NH_3)_2]OH$, C_2H_5OH, $Cu(OH)_2$, HCN.

1) $CH_3CH_2CHO + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2CH_2OH$

2) $5CH_3CH_2CHO + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5CH_3CH_2COOH + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 3H_2O$

3) $3CH_3CH_2CHO + 2KMnO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 2CH_3CH_2COOK + CH_3CH_2COOH + 2MnO_2\downarrow + H_2O$

4) $CH_3CH_2CHO + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow$
$\rightarrow C_2H_5COONH_4 + 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$

5) $CH_3CH_2CHO + 2C(OH)_2 \xrightarrow{t} CH_3CH_2COOH + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$

6) $CH_3CH_2CHO + HCN \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{нитрил гидроксибутановой кислоты}}{CH_3CH_2CH(OH)—CN}$

7) $CH_3CH_2CHO + C_2H_5OH \xrightarrow{H^+ \text{ или } OH^-} \underset{\text{полуацеталь}}{CH_3CH_2CH(OH)—OC_2H_5}$

8) $CH_3CH_2CHO + 2C_2H_5OH \xrightarrow{H^+} \underset{\text{ацеталь}}{CH_3CH_2CH(OC_2H_5)_2} + H_2O$

Ответ. Любые пять из этих реакций.

6. $\underset{x}{NaOOC—COONa} + H_2SO_4 \xrightarrow{t} Na_2SO_4 + \underset{x}{CO}\uparrow + \underset{x}{CO_2}\uparrow + H_2O$

$\underset{y}{CaCO_3} + H_2SO_4 \xrightarrow{t} CaSO_4 + \underset{y}{CO_2}\uparrow + H_2O$

$\nu = \dfrac{8{,}96}{22{,}4} = 0{,}4$ моль

$2x + y = 0{,}4$

$y = 0{,}4 - 2x$

$M_{ср} = 1{,}0 \cdot 40 = 40$ г/моль

$M_{ср} = \dfrac{28x + 44(x + y)}{2x + y} = \dfrac{28x + 44(0{,}4 - x)}{0{,}4} = 40$

$16 = 28x + 17{,}6 - 44x$

$16x = 1{,}6$

$x = 0{,}1$ моль

$m(C_2O_4Na_2) = x \cdot M(C_2O_4Na_2) = 0{,}1 \cdot 134 = 13{,}4$ г

Ответ. 13,4 г.

7. Приведем один из вариантов ответа.

1) $2Cr_2(SO_4)_3(т) \xrightarrow{t} 2Cr_2O_3 + 6SO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

2) $SO_2 + 2H_2S \rightarrow 3S\downarrow + 2H_2O$

3) $Zn + S \xrightarrow{t} ZnS$

4) $ZnS + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2S\uparrow$

5) $ZnCl_2 + 2AgNO_3 \rightarrow 2AgCl\downarrow + Zn(NO_3)_2$

или

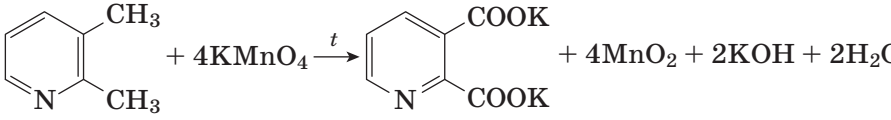
$ZnCl_2 + 4KOH \rightarrow K_2[Zn(OH)_4] + 2KCl$

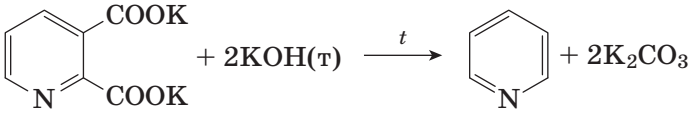
6) $Zn(NO_3)_2 + 2NH_3 + H_2O \rightarrow Zn(OH)_2\downarrow + 2NH_4NO_3$

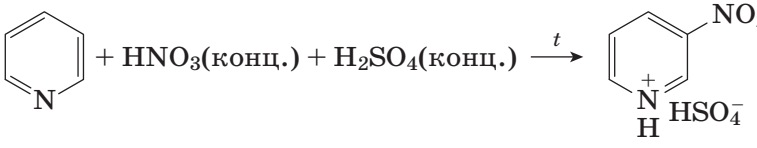
или

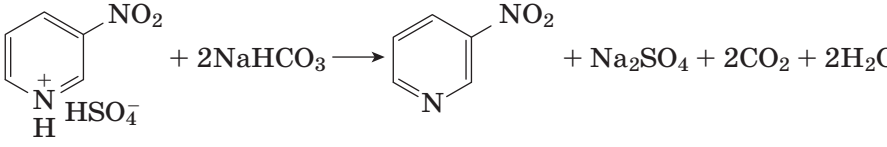
$K_2[Zn(OH)_4] + CO_2 \rightarrow Zn(OH)_2\downarrow + K_2CO_3 + H_2O$

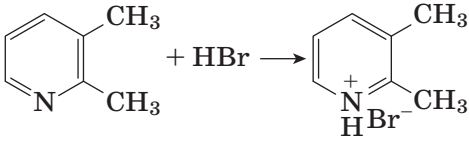
8.

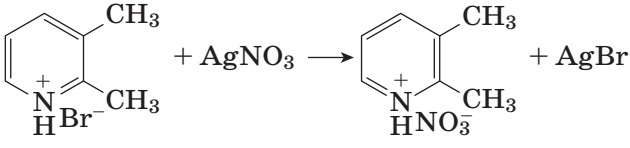
1) 

2) 

3) 

4) 

5) 

6) 

9. Пусть в исходной смеси было x моль $CrCl_3$, y моль $NiCl_2$ и z моль $MnCl_2$.

$$\underset{x}{2CrCl_3} + 3(NH_4)_2S + 6H_2O \rightarrow \underset{x}{2Cr(OH)_3\downarrow} + \underset{1{,}5x}{3H_2S\uparrow} + 6NH_4Cl$$

$$\underset{y}{NiCl_2} + (NH_4)_2S \rightarrow \underset{y}{NiS\downarrow} + 2NH_4Cl$$

$$\underset{z}{MnCl_2} + (NH_4)_2S \rightarrow \underset{z}{MnS\downarrow} + 2NH_4Cl$$

При взаимодействии исходной смеси солей с избытком раствора щёлочи:

$$\underset{x}{CrCl_3} + 4NaOH \rightarrow \underset{x}{Na[Cr(OH)_4]} + 3NaCl$$

$$\underset{y}{NiCl_2} + 2NaOH \rightarrow \underset{y}{Ni(OH)_2}\downarrow + 2NaCl$$

$$\underset{z}{MnCl_2} + 2NaOH \rightarrow \underset{z}{Mn(OH)_2}\downarrow + 2NaCl$$

По условию:

$$158{,}5x + 130y + 126z = 70{,}1$$

$$103x + 91y + 87z = 47{,}3$$

$$93y + 89z = 27{,}3$$

$$x = 0{,}2,\ y = z = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$m(CrCl_3) = 158{,}5 \cdot 0{,}2 = 31{,}7 \text{ г}$$

$$m(NiCl_2) = 130 \cdot 0{,}15 = 19{,}5 \text{ г}$$

$$m(MnCl_2) = 126 \cdot 0{,}15 = 18{,}9 \text{ г}$$

В реакции $CrCl_3$ с сульфидом аммония выделился сероводород.

$$\nu(H_2S) = 1{,}5x = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$V(H_2S) = \frac{\nu \cdot R \cdot T}{p} = \frac{0{,}3 \cdot 8{,}31 \cdot 278}{0{,}95 \cdot 101{,}3} = 7{,}2 \text{ л}$$

Ответ. 31,7 г $CrCl_3$; 19,5 г $NiCl_2$; 18,9 г $MnCl_2$; 7,2 л H_2S.

10. $$\underset{x}{C_3H_4} + [Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow \underset{x}{C_3H_3Ag}\downarrow + 2NH_3 + H_2O$$

$$3\underset{y}{C_nH_{2n}} + 2KMnO_4 + 4H_2O \rightarrow 3C_nH_{2n+2}O_2 + 2\underset{\frac{2}{3}y}{MnO_2}\downarrow + 2KOH$$

Реакции исходной смеси с бромом:

$$\underset{x}{C_3H_4} + \underset{2x}{2Br_2} \rightarrow C_3H_4Br_4$$

$$\underset{y}{C_nH_{2n}} + \underset{y}{Br_2} \rightarrow C_nH_{2n}Br_2$$

$$\nu(Br_2) = \frac{V \cdot \rho \cdot \omega}{M} = \frac{313{,}8 \cdot 1{,}02 \cdot 0{,}03}{160} = 0{,}06 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 2x + y = 0{,}06 \\ 147x - \frac{2}{3} \cdot 87y = 1{,}78 \end{cases}$$

$x = 0{,}02$ моль, $y = 0{,}02$ моль

Молекулярную массу неизвестного алкена обозначим z. Масса исходной смеси газов:

$$1{,}64 = 0{,}02 \cdot 40 + 0{,}02z$$

$$z = 42 \text{ г/моль}$$

Это пропен C_3H_6. Масса пропена в смеси:

$$m(C_3H_6) = 42 \cdot 0{,}06 = 0{,}84 \text{ г}$$

$$\underset{0{,}02}{C_3H_4} + \underset{0{,}04}{2H_2} \rightarrow C_3H_8$$

$$\underset{0{,}02}{C_3H_6} + \underset{0{,}02}{H_2} \rightarrow C_2H_8$$

На гидрирование 0,04 моль исходной смеси требуется 0,06 моль водорода (столько же, сколько брома на бромирование), а на гидрирование 4 л смеси.

$$V(H_2) = 4 \cdot \frac{0.06}{0.04} = 6{,}0 \text{ л}$$

Ответ. 0,84 г пропена; 6 л водорода.

ВАРИАНТ 4

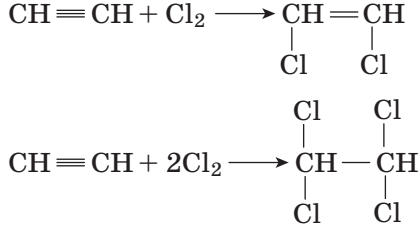
1. $^{97}_{40}Zr \rightarrow {}^{97}_{41}Nb + {}^{0}_{-1}e$

Ответ. Изотоп ниобия.

2. В молекуле оксида углерода(II) CO 6 + 8 = 14 электронов, в молекуле любого углеводорода C_xH_y $(6x + y)$ электронов.

$$6x + y = 14$$

Подбором находим: $x = 2$, $y = 2$. Это ацетилен C_2H_2.



При взаимодействии ацетилена с хлором может также образоваться сажа (аморфный углерод) и хлороводород:

$$C_2H_2 + Cl_2 \rightarrow 2C(\text{аморфн.}) + 2HCl$$

3. По условию:

$$\nu(Mg) = \nu(Si) = \nu(Mg_2Si) = x \text{ моль}$$

$$24x + 28x + 76x = 96$$

$$128x = 96$$

$$x = 0{,}75 \text{ моль}$$

$$\underset{0{,}75}{2Mg} + \underset{0{,}375}{Si} \xrightarrow{t} \underset{0{,}375}{Mg_2Si} + Q$$

Кремний в избытке (0,75 − 0,375 = 0,375 моль). Образовалось 0,375 моль Mg_2Si.

$$Q_{обр}(Mg_2Si) = \frac{Q}{\nu} = \frac{29{,}7}{0{,}375} = 79{,}2 \text{ кДж/моль}$$

После прокаливания в смеси:

0,375 моль Si и 0,75 + 0,375 = 1,125 моль Mg_2Si

$$\chi(Si) = \frac{0{,}375}{0{,}375 + 1{,}125} = 0{,}25, \text{ или } 25\%$$

$$\chi(Mg_2Si) = 0{,}75, \text{ или } 75\%$$

Ответ. 25% Si, 75% Mg_2Si; 79,2 кДж/моль.

4. $Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2\uparrow$

По правилу Вант-Гоффа:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{w_2}{w_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Найдем температурный коэффициент скорости реакции γ при нагревании от 25 до 45 °С:

$$\frac{18}{2} = \gamma^{\frac{45-25}{10}}$$

$$9 = \gamma^2$$

$$\gamma = 3$$

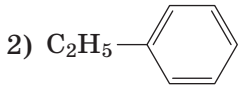
При нагревании от 45 до 60 °С скорость реакции увеличится в $3^{\frac{60-45}{10}} = 3^{1,5} = 5{,}2$ раза. Время реакции:

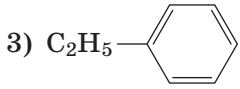
$$2 : 5{,}2 = 0{,}385 \text{ мин} = 23{,}1 \text{ с}$$

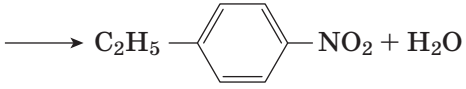
Ответ. 23,1 с.

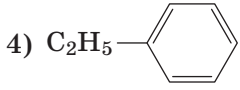
5. С этилбензолом реагируют следующие вещества: Br_2, HNO_3, C_2H_4, C_2H_5Cl, $KMnO_4$.

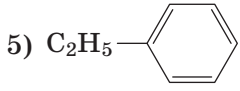
1) $C_6H_5—C_2H_5 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} C_6H_5—CHBr—CH_3 + HBr$

2) 

3) 



4) 

5) 

6) $5C_6H_5C_2H_5 + 12KMnO_4 + 18H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5C_6H_5COOH + 5CO_2\uparrow + 6K_2SO_4 + 12MnSO_4 + 28H_2O$

7) $C_6H_5C_2H_5 + 12KMnO_4 + 15KOH \xrightarrow{t}$
$\xrightarrow{t} C_6H_5COOK + K_2CO_3 + 12K_2MnO_4 + 10H_2O$

Ответ. Любые пять из этих реакций.

6. Протекают реакции:

$$\underset{x}{2HCOONa} + H_2SO_4 \xrightarrow{t} Na_2SO_4 + \underset{x}{2CO\uparrow} + 2H_2O$$

$$\underset{y}{Na_2CO_3} + H_2SO_4 \xrightarrow{t} Na_2SO_4 + \underset{y}{CO_2\uparrow} + H_2O$$

$$\nu = \frac{16{,}8}{22{,}4} = 0{,}75 \text{ моль}$$

$$x + y = 0{,}75$$

$$y = 0{,}75 - x$$

$$M_{ср} = 0{,}47 \cdot 71 = 33{,}37 \text{ г/моль}$$

$$M_{ср} = \frac{28x + 44y}{x + y} = \frac{28x + 44(0{,}75 - x)}{0{,}75} = 33{,}37$$

$$25{,}03 = 28x + 33{,}0 - 44x$$

$$16x = 8$$

$$x = 0{,}5 \text{ моль}$$

$$m(HCOONa) = x \cdot M(HCOONa) = 0{,}5 \cdot 68 = 34 \text{ г}$$

Ответ. 34 г.

7. Приведем один из вариантов ответа.

1) $NaCl + AgNO_3 \rightarrow NaNO_3 + AgCl\downarrow$

2) $2NaNO_3 \xrightarrow{t} 2NaNO_2 + O_2\uparrow$

3) $C + O_2 \xrightarrow{t} CO_2$

или

$K + O_2 \rightarrow KO_2$

4) $2KOH + CO_2 \rightarrow K_2CO_3 + H_2O$

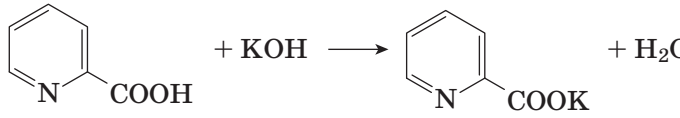
или

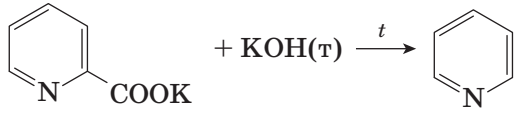
$4KO_2 + 2CO_2 \rightarrow 2K_2CO_3 + 3O_2$

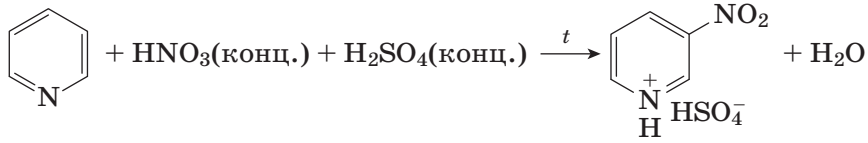
5) $K_2CO_3 + CaCl_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + 2KCl$

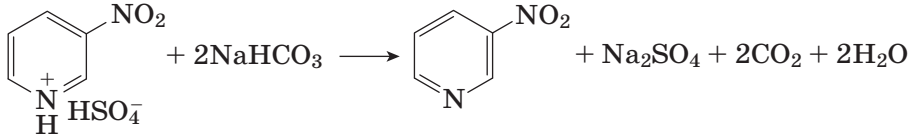
6) $CaCO_3(т) \xrightarrow{t} CaO + CO_2\uparrow$

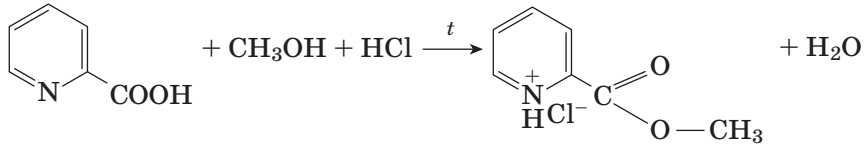
8.

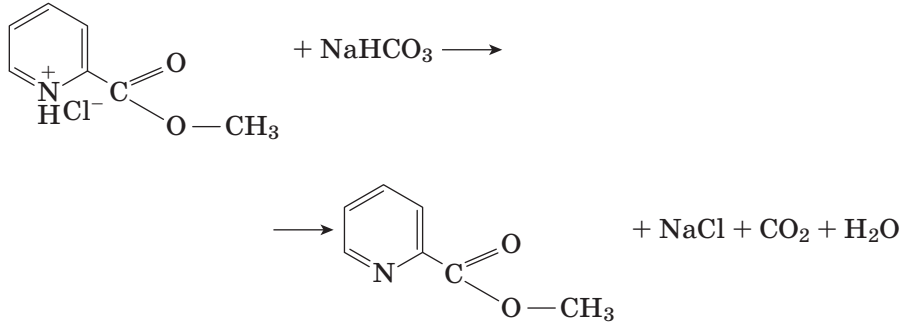
1) 

2) 

3) 

4) 

5) 

6) 

9. Пусть в исходной смеси x моль $Cr(NO_3)_3$, y моль $Mn(NO_3)_2$ и z моль $AgNO_3$.

$$\underset{x}{2Cr(NO_3)_3} + 3(NH_4)_2S + 6H_2O \rightarrow \underset{x}{2Cr(OH)_3\downarrow} + \underset{1{,}5x}{3H_2S\uparrow} + 6NH_4NO_3$$

$$\underset{y}{Mn(NO_3)_2} + (NH_4)_2S \rightarrow \underset{y}{MnS\downarrow} + 2NH_4NO_3$$

$$\underset{z}{2AgNO_3} + (NH_4)_2S \rightarrow \underset{0{,}5z}{Ag_2S\downarrow} + 2NH_4NO_3$$

С избытком раствора щелочи:

$$\underset{x}{Cr(NO_3)_3} + 4KOH \rightarrow \underset{x}{K[Cr(OH)_4]} + 3KNO_3$$

$$\underset{y}{Mn(NO_3)_2} + 2KOH \rightarrow \underset{y}{Mn(OH)_2\downarrow} + 2KNO_3$$

$$\underset{z}{2AgNO_3} + 2KOH \rightarrow \underset{0{,}5z}{Ag_2O\downarrow} + 2KNO_3 + H_2O$$

По условию:

$$\begin{cases} 238x + 179y + 170z = 11{,}15 \\ 103x + 87y + 124z = 6{,}12 \\ 89y + 116z = 4{,}99 \end{cases}$$

$x = 0{,}01$, $y = 0{,}03$, $z = 0{,}02$ моль.

$$m(Cr(NO_3)_3) = 238 \cdot 0{,}01 = 2{,}38 \text{ г}$$

$$m(Mn(NO_3)_2) = 179 \cdot 0{,}03 = 5{,}37 \text{ г}$$

$$m(AgNO_3) = 170 \cdot 0{,}02 = 3{,}4 \text{ г}$$

В реакции с сульфидом аммония выделяется сероводород.

$$\nu(H_2S) = 1{,}5x = 0{,}015 \text{ моль}$$

$$V(H_2S) = \frac{\nu \cdot R \cdot T}{p} = \frac{0{,}015 \cdot 8{,}31 \cdot 290}{0{,}97 \cdot 101{,}3} = 0{,}37 \text{ л}$$

Ответ. 2,38 г $Cr(NO_3)_3$; 5,37 г $Mn(NO_3)_2$; 3,4 г $AgNO_3$; 0,37 л H_2S.

10. $$\underset{x}{C_4H_6} + [Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow \underset{x}{C_4H_5Ag\downarrow} + 2NH_3 + H_2O$$

$$\underset{y}{3C_nH_{2n}} + 2KMnO_4 + 4H_2O \rightarrow 3C_nH_{2n+2}O_2 + \underset{\frac{2}{3}y}{2MnO_2\downarrow} + 2KOH$$

Реакции исходной смеси с водородом:

$$\underset{x}{C_4H_6} + \underset{2x}{2H_2} \rightarrow C_4H_{10}$$

$$\underset{y}{C_nH_{2n}} + \underset{y}{H_2} \rightarrow C_nH_{2n+2}$$

На 5 л смеси требуется 7 л водорода.

$$\frac{2x + y}{x + y} = \frac{7}{5}$$

$$y = 1{,}5x$$

$$\begin{cases} y = 1{,}5x \\ 161x - \dfrac{2}{3} \cdot 87y = 14{,}8 \end{cases}$$

$x = 0{,}2$ моль, $y = 0{,}3$ моль

Обозначим массу неизвестного алкена z.

$$23{,}4 = 0{,}2 \cdot 54 + 0{,}3z$$

$$z = 42 \text{ г/моль}$$

Это пропен C_3H_6. Масса пропена в смеси:

$$m(C_3H_6) = 42 \cdot 0{,}3 = 12{,}6 \text{ г}$$

$$\underset{0{,}2}{C_4H_6} + \underset{0{,}4}{2Br_2} \rightarrow C_4H_6Br_4$$

$$\underset{0{,}3}{C_3H_6} + \underset{0{,}3}{Br_2} \rightarrow C_3H_6Br_2$$

$$\nu(Br_2) = 0{,}7 \text{ моль}$$

$$V(\text{р-ра}) = \frac{\nu \cdot M}{\rho \cdot \omega} = \frac{0{,}7 \cdot 160}{1{,}02 \cdot 0{,}03} = 3660 \text{ мл}$$

Ответ. 12,6 г пропена; 3660 мл раствора брома.

ВАРИАНТ 5 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. $^{212}_{84}Po \rightarrow {}^{208}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$.

2. C_4H_6 — бутин.

$$CH_3—C{\equiv}C—CH_3 + 2Cl_2 \longrightarrow CH_3—CCl_2—CCl_2—CH_3$$

Другой вариант. Бутадиен $CH_2{=}CH—CH{=}CH_2$.

3. 25% Si, 75% SiS_2; 43,5 кДж.

4. 2,09 с.

5. С муравьиной кислотой реагируют H_2SO_4(конц.), $[Ag(NH_3)_2]OH$, $Ca(OH)_2$, NH_3, CH_3OH, Cl_2, NaOH.

6. 40,2 г.

7. 1) $Ca_3P_2 + 6HCl \rightarrow 3CaCl_2 + 2PH_3\uparrow$

2) $PH_3 + 2O_2 \xrightarrow{t} H_3PO_4$

3) $KI(т) + H_3PO_4(конц.) \xrightarrow{t} KH_2PO_4 + HI\uparrow$

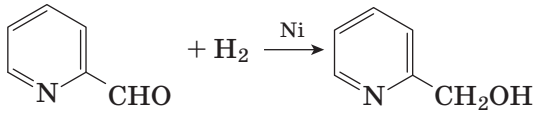
4) $2HI(водн.\ р\text{-}р) + Cl_2 \rightarrow 2HCl + I_2$

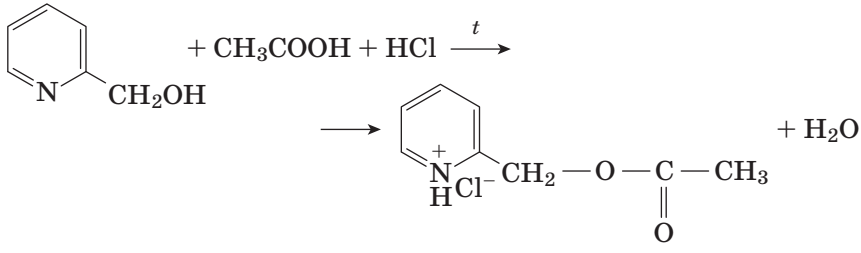
5) $2Al + 3I_2 \rightarrow 2AlI_3$ (катализатором служит капля воды!)

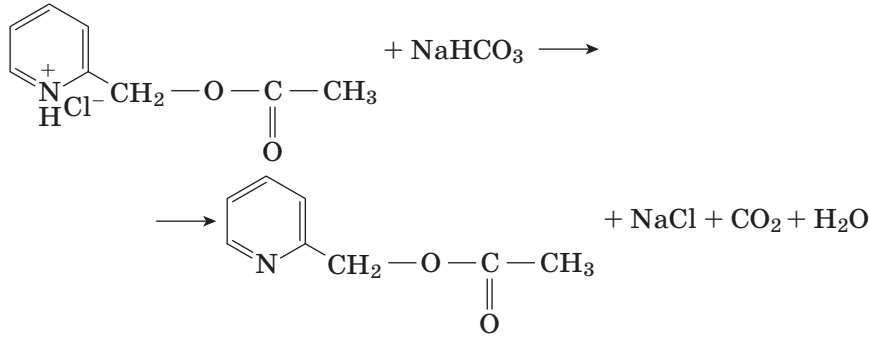
или

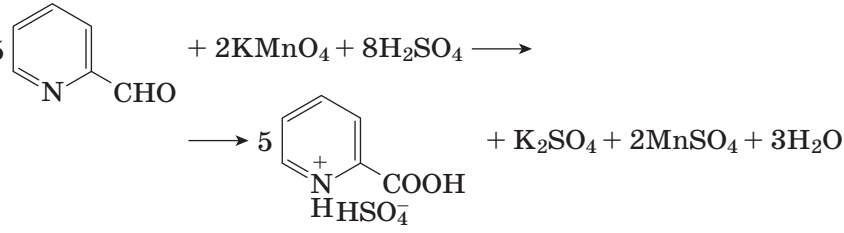
$2Al + 3I_2 \xrightarrow{t} 2AlI_3$

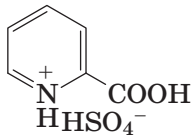
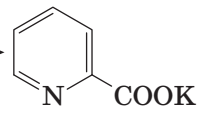
6) $AlI_3 + 4NaOH(изб.) \rightarrow Na[Al(OH)_4] + 3NaI$

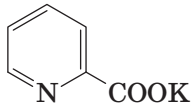
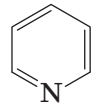
8. 1) 

2) 

3) 

4) 

5)  + 3KOH ⟶  + K_2SO_4 + $3H_2O$

6)  + KOH $\xrightarrow{t}$  + K_2CO_3

9. 26,7 г $AlCl_3$, 26 г $NiCl_2$, 25,2 г $MnCl_2$; 7,46 л H_2S.

10. 2,8 г C_2H_4; 1569 мл.

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

ВАРИАНТ 1

1. N(e) = 18; N(p) = 20.

2. Уравнение реакции электролиза:

$$2KI + 2H_2O \xrightarrow{\text{эл}} H_2\uparrow + I_2\downarrow + 2KOH$$

На катоде выделяется водород, на аноде — иод.

3. В отличие от пропана, пропин реагирует с бромной водой, обесцвечивая ее:

$$CH_3—C{\equiv}CH + 2Br_2(\text{водн. р-р}) \rightarrow CH_3—CBr_2—CHBr_2$$

4. $$2KMnO_4 + 16HCl \rightarrow 5Cl_2\uparrow + 2KCl + 2MnCl_2 + 8H_2O$$

В качестве вещества **X** можно рассматривать хлор.

$$Cl_2 + 2NaOH \rightarrow NaCl + NaClO + H_2O$$

или

$$3Cl_2 + 6NaOH \xrightarrow{t} 5NaCl + NaClO_3 + 3H_2O$$

Если же в качестве вещества **X** выбрать хлорид марганца, то

$$MnCl_2 + 2NaOH \rightarrow Mn(OH)_2\downarrow + 2NaCl$$

5. Выразим молярную массу газа из уравнения Клапейрона—Менделеева:

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M}RT$$

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{8{,}0 \cdot 8{,}314 \cdot 298}{198{,}1 \cdot 5} = 20 \text{ г/моль. Это неон Ne.}$$

Ответ. Неон.

6. По правилу Вант-Гоффа:

$$\frac{w_2}{w_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Согласно условию, температурный коэффициент скорости реакции γ равен 2,5. При понижении температуры скорость реакции уменьшается.

$$\frac{w_2}{w_1} = 2{,}5^{\frac{30-50}{10}} = 2{,}5^{-2} = 0{,}16$$

Скорость реакции уменьшилась в $\frac{w_1}{w_2} = \frac{1}{0{,}16} = 6{,}25$ раза.

Ответ. В 6,25 раза.

7. 1) $2AgNO_3 \xrightarrow{t} 2Ag + 2NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

2) $4NO_2 + O_2 + 2H_2O \xrightarrow{t} 4HNO_3$

3) $HNO_3 + NH_3 \rightarrow NH_4NO_3$

4) $NH_4NO_3 + KOH \rightarrow NH_3\uparrow + KNO_3 + H_2O$

5) $2KNO_3 \xrightarrow{t} 2KNO_2 + O_2\uparrow$

6) $KNO_2 + H_3PO_4 \rightarrow KH_2PO_4 + HNO_2$

8. 1) $CH_2{=}CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl{-}CH_2Cl$

2) $CH_2Cl{-}CH_2Cl + 2KOH(\text{спирт. р-р}) \rightarrow HC{\equiv}CH + 2KCl + 2H_2O$

3) $HC{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{Hg^{2+}} CH_3{-}CHO$ (реакция Кучерова)

4) $CH_3{-}CHO + H_2 \xrightarrow{Ni,\,t} CH_3{-}CH_2OH$

5) $CH_3{-}CH_2OH + HBr \rightarrow CH_3{-}CH_2Br + H_2O$

6) $2CH_3{-}CH_2Br + 2Na \xrightarrow{\text{эфир}} CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 + 2NaBr$

Ответ: **X** — бромэтан $CH_3{-}CH_2Br$.

9.

$$Ba + 2H_2O \rightarrow Ba(OH)_2 + H_2\uparrow$$

$$BaO + H_2O \rightarrow Ba(OH)_2$$

Выделившийся газ — это водород. $\nu(H_2) = \frac{2{,}24}{22{,}4} = 0{,}1$ моль. Значит, и бария в исходной смеси было 0,1 моль.

$$m(Ba) = M \cdot \nu = 137 \cdot 0{,}1 = 13{,}7 \text{ г}$$

$$m(BaO) = 29 - 13{,}7 = 15{,}3 \text{ г}$$

$$\nu(BaO) = \frac{15{,}3}{153} = 0{,}1 \text{ моль}$$

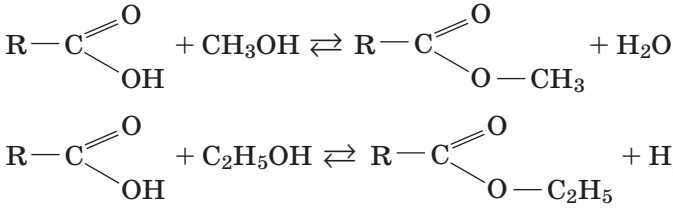
При растворении смеси образовался гидроксид:

$$\nu(Ba(OH)_2) = 0{,}1 + 0{,}1 = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$c(Ba(OH)_2) = \frac{\nu}{V} = \frac{0{,}2}{0{,}4} = 0{,}5 \text{ моль/л}$$

Ответ. 0,5 моль/л.

10.



Рассчитаем массы эфиров, если и первая, и вторая реакции протекают количественно.

$$m_1 = \frac{39{,}96}{0{,}9} = 44{,}4 \text{ г}$$

$$m_2 = \frac{42{,}24}{0{,}8} = 52{,}8 \text{ г}$$

Пусть x — масса неизвестного радикала в молекуле кислоты. Тогда молярные массы эфиров:

$$M_1 = x + 44 + 15 = x + 59$$

$$M_2 = x + 44 + 29 = x + 73$$

Теоретические количества эфиров одинаковы.

$$\frac{44{,}4}{x + 59} = \frac{52{,}8}{x + 73}$$

$$x = 15$$

Радикал в молекуле кислоты — метил, кислота — уксусная. Количество кислоты равно количеству любого из эфиров.

$$\nu = \frac{44{,}4}{15 + 59} = 0{,}6 \text{ моль}$$

$$m(CH_3COOH) = M \cdot \nu = 60 \cdot 0{,}6 = 36 \text{ г}$$

Ответ. Уксусная кислота CH_3COOH, 36 г.

ВАРИАНТ 2

1. $N(\text{e}) = 2$; $N(\text{p}) = 3$.

2. $SrCl_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{эл}} H_2\uparrow + Cl_2\uparrow + Sr(OH)_2$

На катоде выделяется водород, на аноде — хлор.

3. В данном случае реакция с бромной водой не подходит, так как будут реагировать оба вещества. В отличие от пропена, пропин способен реагировать с аммиачным раствором оксида серебра, образуя белый осадок.

$$CH_3—C{\equiv}CH + [Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow CH_3—C{\equiv}CAg\downarrow + 2NH_3 + H_2O$$

4. $2Al + 2NaOH + 6H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$

$$H_2 + CuO \xrightarrow{t} Cu + H_2O$$

Ответ. **X** — H_2.

5. Выразим молярную массу газа из уравнения Клапейрона—Менделеева:

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M}RT$$

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{5{,}6 \cdot 8{,}314 \cdot 298}{247{,}6 \cdot 2} = 28 \text{ г/моль}$$

Неизвестное газообразное простое вещество — это азот N_2.

Ответ. Азот.

6. По правилу Вант-Гоффа:

$$\frac{w_2}{w_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

Согласно условию, температурный коэффициент скорости реакции γ равен 2. При повышении температуры скорость увеличится в

$$\frac{w_2}{w_1} = 2^{\frac{55-20}{10}} = 2^{3,5} = 11{,}3 \text{ раза}$$

Ответ. В 11,3 раза.

7. 1) $4FeS + 7O_2 \xrightarrow{t} 2Fe_2O_3 + 4SO_2\uparrow$

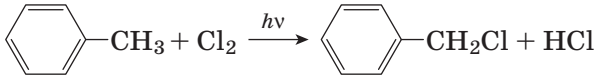
2) $2SO_2 + O_2 \xrightarrow{V_2O_5} 2SO_3$

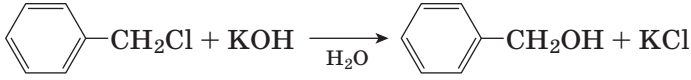
3) $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$

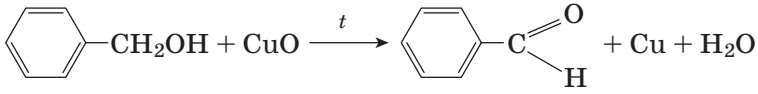
4) $6H_2SO_4(\text{конц.}) + 2Fe \xrightarrow{t} Fe_2(SO_4)_3 + 3SO_2\uparrow + 6H_2O$

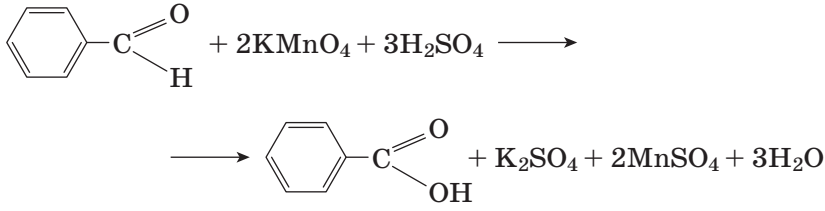
5) $2Fe_2(SO_4)_3 \xrightarrow{t} 2Fe_2O_3 + 6SO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

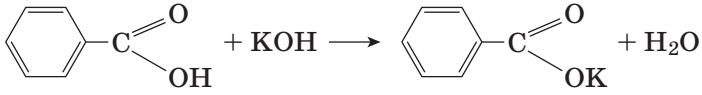
6) $Fe_2O_3 + 2Al \xrightarrow{t} 2Fe + Al_2O_3$

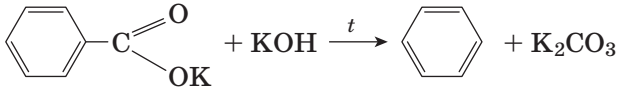
8. 1) 

2) 

3) 

4) 

5) 

6) 

Ответ. **X** — бензоат калия.

9.

$$\underset{x}{Ca} + 2H_2O \rightarrow \underset{x}{Ca(OH)_2} + \underset{x}{H_2}\uparrow$$

$$\underset{y}{CaO} + H_2O \rightarrow \underset{y}{Ca(OH)_2}$$

$c = \dfrac{\nu}{V}$. Количество $Ca(OH)_2$ в растворе:

$$\nu = c \cdot V = 0{,}5 \cdot 0{,}5 = 0{,}25 \text{ моль}$$

Составим и решим систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} 40x + 56y = 13{,}2 \\ x + y = 0{,}25 \end{cases}$$

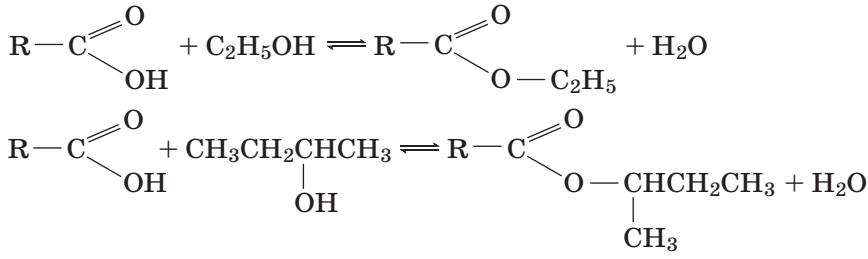
$$x = 0{,}05,\ y = 0{,}2$$

Выделившийся газ — это водород H_2; его количество 0,05 моль.

$$V(H_2) = 0{,}05 \cdot 22{,}4 = 1{,}12 \text{ л (н. у.)}$$

Ответ. 1,12 л водорода.

10.



Рассчитаем массы эфиров, если и первая, и вторая реакции протекают количественно.

$$m_1 = \frac{26{,}64}{0{,}9} = 29{,}6 \text{ г}$$

$$m_2 = \frac{28{,}56}{0{,}7} = 40{,}8 \text{ г}$$

Пусть x — масса неизвестного радикала в молекуле кислоты. Тогда молярные массы эфиров:

$$M_1 = x + 44 + 29 = x + 73$$

$$M_2 = x + 44 + 57 = x + 101$$

Теоретические количества эфиров одинаковы.

$$\frac{29{,}6}{x + 73} = \frac{40{,}8}{x + 101}$$

$$x = 1$$

Радикал в молекуле кислоты — водород, кислота — муравьиная. Количество кислоты равно количеству любого из эфиров.

$$\nu = \frac{29{,}6}{1 + 73} = 0{,}4 \text{ моль}$$

$$m(\text{HCOOH}) = M \cdot \nu = 46 \cdot 0{,}4 = 18{,}4 \text{ г}$$

Ответ. Муравьиная кислота HCOOH, 18,4 г.

2014 ГОД

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

10–11 КЛАССЫ

НОЯБРЬ-1

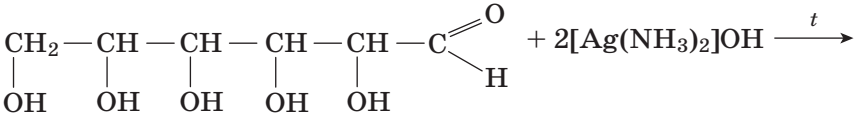
1. Дихромат калия $K_2Cr_2O_7$: степень окисления хрома +6, валентность VI. Хромат калия K_2CrO_4: степень окисления хрома +6, валентность VI.

$$K_2Cr_2O_7 + 2KOH \rightarrow 2K_2CrO_4 + H_2O$$

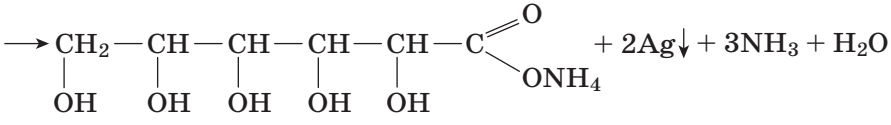
или

$$4K_2Cr_2O_7 \xrightarrow{t} 4K_2CrO_4 + 2Cr_2O_3 + 3O_2\uparrow$$

2. Первым можно определить крахмал, который плохо растворяется в холодной воде (глюкоза и сахароза растворяются хорошо). Для подтверждения обработаем вещество раствором иода (водным или спиртовым) — крахмал даст синее окрашивание. Для идентификации оставшихся двух соединений проводим реакцию «серебряного зеркала» с аммиачным раствором оксида серебра $[Ag(NH_3)_2]OH$. Реакция проходит только с глюкозой, с которой при нагревании на стенке пробирки образуется металлический налет, так называемое «серебряное зеркало»:



глюкоза (альдоза)



С сахарозой (невосстанавливающий дисахарид) никаких изменений не наблюдается — реакция не идет. Подтвердить наличие в пробирке

сахарозы можно реакцией с раствором хлорида кальция — сахароза дает белый осадок сахарата кальция.

3. Задачу можно решить несколькими способами. Приведем один вариант решения.

Добавим по всем растворам соляную кислоту: только в одном случае наблюдаются видимые признаки реакции — выделяется бесцветный газ без запаха:

$$Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O + CO_2\uparrow$$

Определили карбонат натрия. В случае NaOH происходит реакция нейтрализации, но нет видимых изменений:

$$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$$

К трем оставшимся растворам добавим раствор нитрата серебра.

$NaCl + AgNO_3 \rightarrow AgCl\downarrow + NaNO_3$ (белый творожистый осадок)

$2NaOH + 2AgNO_3 \rightarrow Ag_2O\downarrow + 2NaNO_3 + H_2O$ (темно-коричневый осадок)

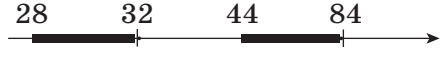
При добавлении $AgNO_3$ к нитрату натрия раствор остается прозрачным. Добавим к нитрату натрия цинк и щёлочь — выделяется аммиак, газ с характерным резким запахом, который окрашивает лакмус в синий цвет:

$$NaNO_3 + 4Zn + 7NaOH(\text{конц.}) + 6H_2O \xrightarrow{t} 4Na_2[Zn(OH)_4] + NH_3\uparrow$$

4. Две газовые смеси, находящиеся в одинаковых условиях, могут иметь одинаковую плотность, если их средние молярные массы M_1 и M_2 равны. При любом составе заданных смесей это не может быть осуществлено, так как для этих смесей интервалы возможных средних молярных масс не перекрываются.

$$28 \text{ г/моль} < M_1 < 32 \text{ г/моль}$$

$$44 \text{ г/моль} < M_2 < 84 \text{ г/моль}$$



5. Оба иона в составе заданного соединения, вероятнее всего, имеют электронные оболочки инертных газов, причем по соотношению числа электронов подходят Ne ($Z = 10$) и Ar ($Z = 18$). Значит, у отрицательного иона 10 электронов (меньше, чем у положительного), и возможные ионы — F^- ($Z = 9$) или O^{2-} ($Z = 8$); у положительного иона — 18 электронов (больше, чем у отрицательного), и возможные

ионы — K^+ ($Z = 19$) и Ca^{2+} ($Z = 20$). Отношение зарядов ядер 2,5 соответствует оксиду кальция CaO:

$$Z(Ca^{2+}) : Z(O^{2-}) = 20 : 8 = 2{,}5$$

Способы получения оксида кальция:

$$2Ca + O_2 \xrightarrow{t} 2CaO$$

$$CaCO_3 \xrightarrow{t} CaO + CO_2$$

$$Ca(OH)_2 \xrightarrow{t} CaO + H_2O$$

Ответ. Оксид кальция CaO.

6. $3C_nH_{2n} + 2KMnO_4 + 4H_2O \xrightarrow{\text{охлаждение}} \rightarrow 3C_nH_{2n}(OH)_2 + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$

$MnO_2 + 4HCl \rightarrow Cl_2\uparrow + MnCl_2 + 2H_2O$

$\nu(HCl) = c \cdot V = 0{,}2 \cdot 4 = 0{,}8$ моль

$\nu(MnO_2) = 0{,}2$ моль

Из уравнения первой реакции:

$\nu(C_nH_{2n}) = 0{,}3$ моль

$M(C_nH_{2n}) = 16{,}8 : 0{,}3 = 56$ г/моль

$14n = 56$

$n = 4$

Алкену с формулой C_4H_8 соответствуют бутен-1, бутен-2 и 2-метилпропен, т. е. условию удовлетворяют три вещества. Реакция окисления бутена-2:

$$3CH_3—CH{=}CH—CH_3 + 4K_2Cr_2O_7 + 16H_2SO_4 \rightarrow \rightarrow 6CH_3COOH + 4Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + 16H_2O$$

При окислении бутена-1 образуется пропановая кислота и CO_2, при окислении изобутена — ацетон и CO_2.

Ответ. Бутен-2, бутен-1, 2-метилпропен.

7. Концентрация ионов H^+:

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-2{,}436} = 3{,}664 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

В растворе кислота обратимо диссоциирует:

$$HA \rightleftarrows H^+ + A^-$$

$$K_{дисс} = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} = \frac{[H^+]^2}{c - [H^+]} = \frac{(3{,}664 \cdot 10^{-3})^2}{c - 3{,}664 \cdot 10^{-3}} = 5{,}1 \cdot 10^{-4}$$

Определим молярную концентрацию c кислоты:

$$c = 0{,}03 \text{ моль/л}$$

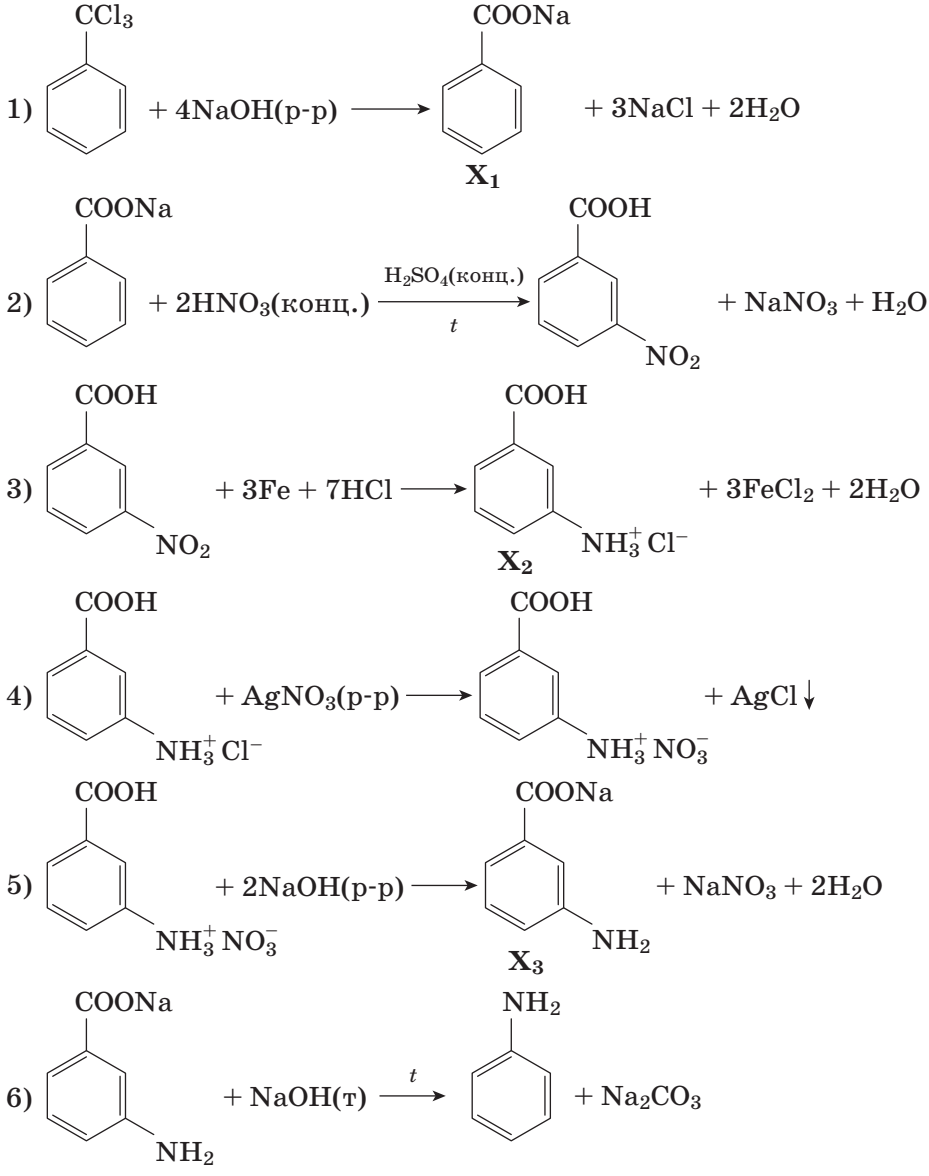
В 1000 мл (1000 г; по условию, плотность раствора 1 г/моль) содержится 1,41 г или 0,03 моль кислоты HA.

$$M(\text{HA}) = 1{,}41 : 0{,}03 = 47 \text{ г/моль}$$

Это азотистая кислота HNO_2.

Ответ. HNO_2.

8.



9. 1) $H_2S + I_2 \xrightarrow[H_2O]{} S\downarrow + 2HI$

2) $S + Na_2SO_3(р\text{-}р) \xrightarrow[\text{кипячение}]{} Na_2S_2O_3$

3) $Na_2S_2O_3 + H_2SO_4(разб.) \rightarrow SO_2\uparrow + S\downarrow + Na_2SO_4 + H_2O$

или

$Na_2S_2O_3 + 2HCl \rightarrow SO_2\uparrow + S\downarrow + 2NaCl + H_2O$

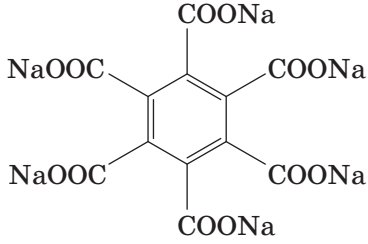
4) $SO_2 + Cl_2 \xrightarrow{t,\text{катализатор}} \underset{\substack{\text{сульфурил-}\\\text{хлорид}}}{SO_2Cl_2}$

5) $SO_2Cl_2 + 4KOH(р\text{-}р) \rightarrow K_2SO_4 + 2KCl + 2H_2O$

6) $SO_2(г) + PCl_5(т) \xrightarrow{t} \underset{\substack{\text{тионил-}\\\text{хлорид}}}{SOCl_2} + POCl_3$

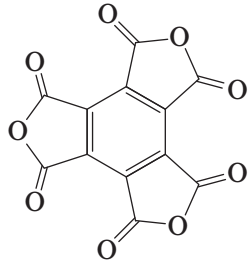
Ответ. $\mathbf{X_1}$ — S; $\mathbf{X_2}$ — SO_2Cl_2; $\mathbf{X_3}$ — K_2SO_4.

10. Соль **Y** образовалась при взаимодействии вещества **X** с горячим раствором гидроксида натрия. Отсюда следует, что **X** — кислота или ангидрид кислоты, но, поскольку, по условию, в составе **X** нет водорода, это ангидрид. При нагревании соли со щёлочью происходит реакция декарбоксилирования, причем декарбоксилированию подверглась натриевая соль **(Y)** бензолгексакарбоновой (меллитовой) кислоты:



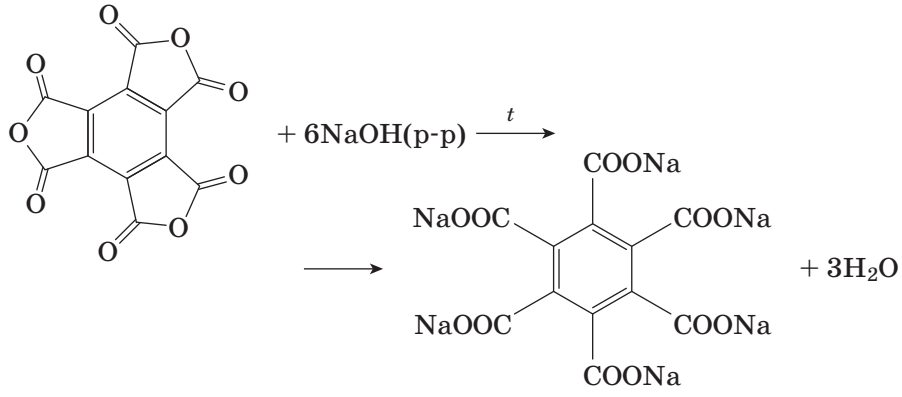
соль **Y**

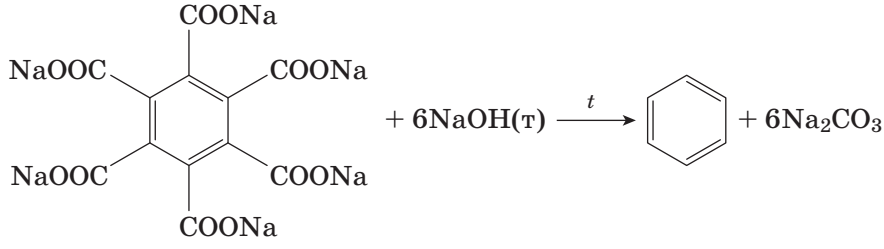
Соль **Y** образовалась из **X** — ангидрида меллитовой кислоты:



X

1) $12C(графит) + 18HNO_3(конц.) \xrightarrow{t} C_{12}O_9 + 18NO_2\uparrow + 9H_2O$

2) 

3) 

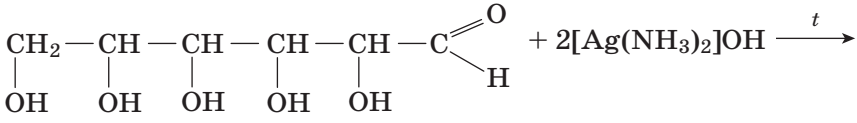
НОЯБРЬ-2

1. Перманганат калия $KMnO_4$: степень окисления марганца +7, валентность VII. Манганат калия K_2MnO_4: степень окисления марганца +6, валентность VI.

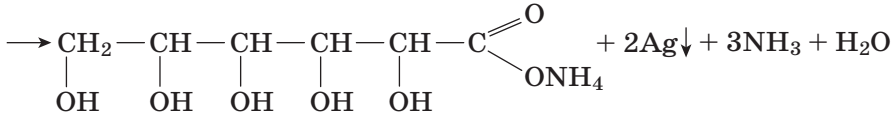
$$2KMnO_4(т) \xrightarrow{t} K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2\uparrow$$

$$2KMnO_4 + K_2SO_3 + 2KOH \rightarrow K_2SO_4 + 2K_2MnO_4 + H_2O$$

2. Первым можно определить глицерин (глицерин — бесцветная жидкость; глюкоза и сахароза — белые кристаллические вещества; кроме того, концентрированная серная кислота обугливает образцы глюкозы и сахарозы). Для идентификации глюкозы и сахарозы проводим реакцию «серебряного зеркала» с аммиачным раствором оксида серебра $[Ag(NH_3)_2]OH$ — с глюкозой при нагревании образуется «серебряное зеркало», металлический налет на стенке пробирки.



глюкоза (альдоза)



С сахарозой (невосстанавливающий дисахарид) никаких изменений не наблюдается — реакция не идет, однако сахароза дает с хлоридом кальция белый осадок сахарата кальция.

3. Приведем один из вариантов решения.

Добавим ко всем растворам соляную кислоту. В случае с Na_2S выделяется бесцветный газ с запахом тухлых яиц:

$$Na_2S + 2HCl \rightarrow H_2S\uparrow + 2NaCl$$

В случае с NaClO выделяется желто-зеленый газ с резким запахом:

$$NaClO + 2HCl \rightarrow NaCl + Cl_2\uparrow + H_2O$$

К двум оставшимся растворам добавим раствор нитрата серебра. С NaOH образуется темно-коричневый осадок:

$$2NaOH + 2AgNO_3 \rightarrow Ag_2O\downarrow + 2NaNO_3$$

Если раствор аммиака в избытке, признаков реакции нет:

$$3NH_3(\text{р-р}) + AgNO_3 + H_2O \rightarrow [Ag(NH_3)_2]OH + NH_4NO_3$$

Вместо раствора нитрата серебра можно воспользоваться раствором сульфата меди — образуется студенистый осадок голубого цвета:

$$2NaOH + CuSO_4(\text{недост.}) \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

В пробирке с аммиаком раствор приобретает ярко-синюю окраску.

$$4NH_3(\text{р-р}) + CuSO_4 \rightarrow [Cu(NH_3)_4]SO_4$$

4. Заданные газовые смеси могут иметь одинаковую плотность, так как интервалы их средних молярных масс M_1 и M_2 перекрываются:

$$28 \text{ г/моль} < M_1 < 44 \text{ г/моль}$$

$$40 \text{ г/моль} < M_2 < 131 \text{ г/моль}$$

5. Мольные доли неметаллов в веществе равны, поэтому простейшая формула XY.

$$m(X) : m(Y) = 93{,}3 : 6{,}7 = 14 : 1 = M(X) : M(Y)$$

Вероятно, это N и H. Катион NH_4^+ содержит четыре атома H, тогда анион должен содержать три атома N — это азид-ион N_3^-. Следовательно, это *азид аммония* NH_4N_3.

Катион NH_4^+ благодаря sp^3-гибридизации атома азота имеет форму правильного тетраэдра. Анион N_3^- имеет линейное строение N═N═N,

где у центрального атома азота *sp*-гибридизация, у крайних атомов — sp^2-гибридизация.

Ответ. Азид аммония NH_4N_3.

6.

$$3C_nH_{2n} + 2KMnO_4 + 4H_2O \xrightarrow{\text{холодный}} 3C_nH_{2n}(OH)_2 + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$$

$$2KOH + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 2H_2O$$

$$\nu(H_2SO_4) = c \cdot V = 2{,}5 \cdot 0{,}08 = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$\nu(KOH) = 0{,}4 \text{ моль}$$

Из уравнения реакции окисления:

$$\nu(C_nH_{2n}) = 0{,}6 \text{ моль}$$

$$M(C_nH_{2n}) = 50{,}4 : 0{,}6 = 84 \text{ г/моль}$$

$$14n = 84$$

$$n = 6$$

Формула алкена C_6H_{12} — изомеры гексена; например, при жестком окислении гексена-3 образуется пропионовая кислота:

$$3C_2H_5—CH{=}CH—C_2H_5 + 4K_2Cr_2O_7 + 16H_2SO_4 \rightarrow$$

$$\rightarrow 6C_2H_5COOH + 4Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + 16H_2O$$

Другие же изомеры дают в этой реакции один органический продукт и углекислый газ: гексен-1 — пентановую кислоту и CO_2, 2-метилпентен-1 и 2-этилбутен-1 — соответствующий кетон и CO_2.

Ответ. Гексен-3, гексен-1, изомерные метилпентены-1, 2-этилбутен-1.

7. $C_6H_5—COOH \rightleftarrows C_6H_5COO^- + H^+$

$$K_{\text{дисс}} = \frac{[H^+][C_6H_5COO^-]}{[C_6H_5COOH]} = \frac{[H^+]^2}{c - [H^+]} = \frac{x^2}{0{,}01 - x} = 6{,}6 \cdot 10^{-5}$$

$$x^2 + 6{,}6 \cdot 10^{-5}x - 6{,}6 \cdot 10^{-7} = 0$$

Выбираем положительный корень квадратного уравнения.

$$x = [H^+] = 7{,}8 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

$$pH_1 = -\lg[H^+] = -\lg(7{,}8 \cdot 10^{-4}) = 3{,}11$$

При добавлении C_6H_5COONa к раствору кислоты концентрация бензоат-иона определяется концентрацией диссоциирующей соли.

$$c(C_6H_5COO^-) = c\ (C_6H_5COONa) = 0{,}2 \text{ моль/л}$$

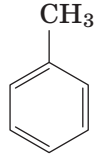
$$K_{\text{дисс}} = \frac{[H^+]\cdot[C_6H_5COO^-]}{[C_6H_5COOH]} = \frac{[H^+]\cdot 0{,}2}{0{,}01 - [H^+]} = \frac{0{,}2x}{0{,}01 - x} = 6{,}6\cdot 10^{-5}$$

$x = [H^+] = 3{,}3\cdot 10^{-6}$ моль/л

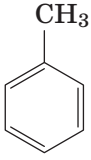
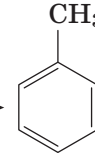
$pH_2 = -\lg[H^+] = -\lg(3{,}3\cdot 10^{-6}) = 5{,}48$

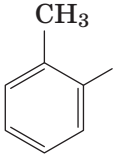
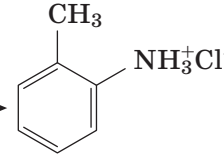
Ответ. $pH_1 = 3{,}11$; $pH_2 = 5{,}48$.

8.

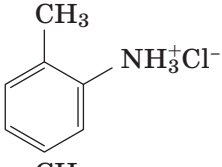
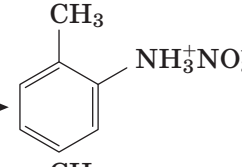
1) $C_7H_{16} \xrightarrow[t]{Cr_2O_3}$  $+ 4H_2$

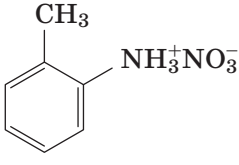
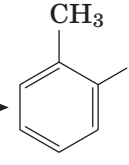
X₁

2)  $+ HNO_3$(конц.) $\xrightarrow[t]{H_2SO_4\ (конц.)}$  $+ H_2O$

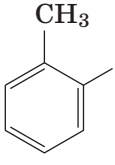
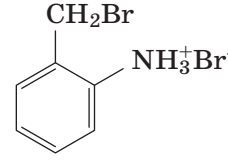
3)  $+ 3Fe + 7HCl \longrightarrow$  $+ 3FeCl_2 + 2H_2O$

X₂

4)  $+ AgNO_3$(р-р) $\longrightarrow$  $+ AgCl\downarrow$

5)  $+ NaOH$(р-р) $\longrightarrow$  $+ NaNO_3 + H_2O$

X₃

6)  $+ Br_2 \xrightarrow{h\nu}$ 

9. 1) $MnO_2 + 4HCl \rightarrow Cl_2\uparrow + MnCl_2 + 2H_2O$

или

$2KMnO_4 + 16HCl \rightarrow 5Cl_2\uparrow + 2MnCl_2 + 2KCl + 8H_2O$

2) $Cl_2 + Ca(OH)_2(р\text{-}р) \xrightarrow{\text{охлаждение}} CaOCl_2 + H_2O$

3) $CaOCl_2 + H_2SO_4(разб.) \rightarrow CaSO_4\downarrow + \underset{\mathbf{X_1}}{Cl_2\uparrow} + H_2O$

4) $3Cl_2 + 6KOH \xrightarrow{t} 5KCl + KClO_3 + 3H_2O$

5) $6KClO_3 + 5\underset{\text{глиоксаль}}{OHC{-}CHO} + 3H_2SO_4 \rightarrow$

$\rightarrow 3K_2SO_4 + 10CO_2\uparrow + 3Cl_2\uparrow + 8H_2O$

Хлор уже используется в качестве вещества $\mathbf{X_1}$, поэтому мы не можем выбрать его в качестве $\mathbf{X_2}$. Пусть $\mathbf{X_2}$ — это углекислый газ.

6) $2KOH(изб.) + \underset{\mathbf{X_2}}{CO_2} \rightarrow K_2CO_3 + \underset{\mathbf{X_4}}{H_2O}$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — Cl_2; $\mathbf{X_2}$ — CO_2; $\mathbf{X_3}$ — K_2CO_3; $\mathbf{X_4}$ — H_2O.

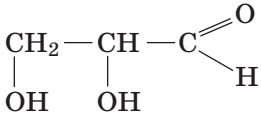
10. См. решение задачи **10** варианта «Ноябрь-1».

НОЯБРЬ-3

1. Тетрагидроксохромат калия $K[Cr(OH)_4]$: степень окисления хрома +3, валентность IV. Гидроксид хрома $Cr(OH)_3$: степень окисления +3, валентность III.

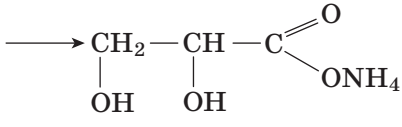
$$2K[Cr(OH)_4] + CO_2 \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + K_2CO_3 + H_2O$$

2. Первым можно определить крахмал, который плохо растворяется в холодной воде (глицериновый альдегид и сахароза растворяются хорошо); крахмал дает синее окрашивание с раствором иода (водным или спиртовым). Для идентификации двух других соединений проводим реакцию «серебряного зеркала» с аммиачным раствором оксида серебра $[Ag(NH_3)_2]OH$ — с глицериновым альдегидом на стенке пробирки образуется налет металла, «серебряное зеркало».



глицериновый альдегид

$+ 2[Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{t}$



$+ 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$

С сахарозой (невосстанавливающий дисахарид) никаких изменений не наблюдается. Сахароза даст белый осадок сахарата кальция в реакции с хлоридом кальция. Глицериновый альдегид с $CaCl_2$ не реагирует.

3. Приведем один из вариантов решения.

Ко всем растворам добавим твердый иодид калия. В случае HNO_3 образуется темно-серый осадок иода и выделяется бурый газ:

$$4HNO_3(\text{конц.}) + 2KI(\text{т}) \rightarrow I_2\downarrow + 2NO_2\uparrow + 2H_2O + 2KNO_3$$

В случае H_2SO_4 выделяется бесцветный газ с запахом тухлых яиц и образуется темно-серый осадок:

$$9H_2SO_4(\text{конц.}) + 8KI(\text{т}) \rightarrow H_2S\uparrow + 4I_2\downarrow + 8KHSO_4 + 4H_2O$$

В случае H_3PO_4 выделяется бесцветный газ:

$$H_3PO_4(\text{конц.}) + KI(\text{т}) \rightarrow KH_2PO_4 + HI\uparrow$$

В четвертой пробирке нет признаков реакции. Если добавить туда раствор нитрата серебра, образуется белый творожистый осадок, нерастворимый в концентрированной кислоте:

$$HCl(\text{конц.}) + AgNO_3 \rightarrow AgCl\downarrow + HNO_3$$

4. У этих газовых смесей плотность не может быть одинаковой.

$$2 \text{ г/моль} < M_1 < 28 \text{ г/моль}$$

$$28 \text{ г/моль} < M_2 < 36{,}5 \text{ г/моль}$$

Эти неравенства строгие: M_1 и $M_2 \neq 28$ г/моль.

5. Возможно, в этом веществе катион имеет сложный состав, например NH_4^+. Общим элементом в составе катиона и аниона может быть H или N. Масса катиона 18 г/моль. В самом простом случае катион и анион однозарядные, тогда масса аниона $18 \cdot 2{,}5 = 45$ г/моль. Из анионов, содержащих водород, подходит формиат. **X** — формиат аммония $HCOONH_4$.

$$HCOONH_4 + KOH \rightarrow HCOOK + NH_3\uparrow + H_2O$$

$$HCOONH_4 + HCl \rightarrow HCOOH + NH_4Cl$$

Рассмотрим вариант, когда катион NH_4^+ и анион имеют общий элемент — азот. Возможно, это нитрит-анион NO_2^-; однако предположение не совсем соответствует условию: масса нитрит-иона 46 г/моль, $46 : 18 = 2{,}556 \approx 2{,}6$.

Ответ. Формиат аммония $HCOONH_4$.

6.

$$3C_nH_{2n} + 2KMnO_4 + 4H_2O \xrightarrow{\text{холодный}} 3C_nH_{2n}(OH)_2 + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$$

$$MnO_2 + 4HCl \rightarrow Cl_2\uparrow + MnCl_2 + 2H_2O$$

$\nu(Cl_2) = 6{,}72 : 22{,}4 = 0{,}3$ моль

$\nu(MnO_2) = 0{,}3$ моль

Из уравнения первой реакции:

$\nu(C_nH_{2n}) = 0{,}45$ моль

$M(C_nH_{2n}) = 25{,}2 : 0{,}45 = 56$ г/моль

$14n = 56$

$n = 4$

Формула алкена C_4H_8: бутен-1, бутен-2 и 2-метилпропен.

$$\underset{\text{бутен-2}}{3CH_3—CH{=}CH—CH_3} + 4K_2Cr_2O_7 + 16H_2SO_4 \rightarrow$$

$$\rightarrow 6CH_3COOH + 4Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + 16H_2O$$

При окислении бутена-1 образуется пропановая кислота и CO_2, при окислении изобутена — ацетон и CO_2.

Ответ. Бутен-2, бутен-1, 2-метилпропен.

7. $CaOCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3\downarrow + NaCl + NaClO$

$(CaOCl_2) = 1{,}27 : 127 = 0{,}01$ моль

$\nu(NaOCl) = 0{,}01$ моль

$c(NaOCl) = 0{,}01$ моль/л

Среда раствора (pH) определяется гидролизом гипохлорита натрия.

$$OCl^- + H_2O \rightleftarrows HClO + OH^-$$

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[OH^-]^2}{c(NaClO) - [OH^-]} = \frac{[OH^-]^2}{c(NaClO) - [OH^-]}$$

Константа гидролиза $K_{\text{гидр}}$ связана с константой диссоциации кислоты и ионным произведением воды.

$$K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_{\text{дисс}}} = \frac{10^{-14}}{2{,}9 \cdot 10^{-8}} = 3{,}45 \cdot 10^{-7}$$

$$3{,}45 \cdot 10^{-7} = \frac{x^2}{0{,}01 - x}$$

$$x^2 + 3{,}45 \cdot 10^{-7}x - 3{,}45 \cdot 10^{-9} = 0$$

$x = [OH^-] = 5{,}85 \cdot 10^{-5}$ моль/л

$[H^+] = 10^{-14} : [OH^-] = 1{,}71 \cdot 10^{-10}$ моль/л

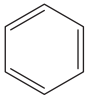
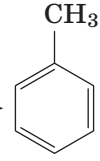
$pH = -\lg[H^+] = -\lg(1{,}71 \cdot 10^{-10}) = 9{,}77$

Ответ. pH = 9,77.

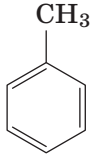
8.

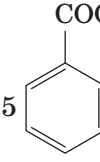
1) $3HC{\equiv}CH \xrightarrow[600\ ^\circ C]{C_{актив}}$

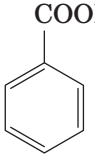
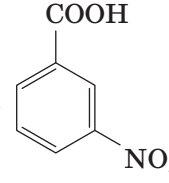
X_1

2)  $+ CH_3Br \xrightarrow{AlBr_3}$  $+ HBr$

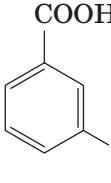
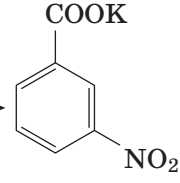
X_2

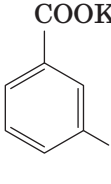
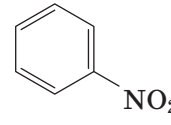
3)  $+ 6KMnO_4 + 9H_2SO_4 \longrightarrow$

 $+ 6MnSO_4 + 3K_2SO_4 + 14H_2O$

4)  $+ HNO_3$(конц.) $\xrightarrow[t]{H_2SO_4\ (конц.)}$  $+ H_2O$

X_3

5)  $+ KOH$(р-р) $\longrightarrow$  $+ H_2O$

6)  $+ KOH$(т) $\xrightarrow{t}$  $+ K_2CO_3$

9. 1) $Mn(NO_3)_2 \xrightarrow{t} MnO_2 + 2NO_2\uparrow$

2) $3MnO_2 + 4Al \xrightarrow{t} 3Mn + 2Al_2O_3$

3) $Mn + H_2SO_4$(разб.) $\rightarrow MnSO_4 + H_2\uparrow$

4) $MnSO_4 + 2NaOH$(р-р) $\rightarrow Mn(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$

5) $Mn(OH)_2 + Br_2 + 2NaOH \rightarrow MnO_2\downarrow + 2NaBr + 2H_2O$

6) $MnSO_4 + (NH_4)_2S \rightarrow MnS\downarrow + (NH_4)_2SO_4$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — $Mn(OH)_2$, $\mathbf{X_2}$ — MnO_2.

10. См. решение задания **10** варианта «Ноябрь-1».

НОЯБРЬ-4

1. Тетрагидроксоцинкат натрия $Na_2[Zn(OH)_4]$: степень окисления цинка +2, валентность IV.

Гидроксид цинка $Zn(OH)_2$: степень окисления цинка +2, валентность II.

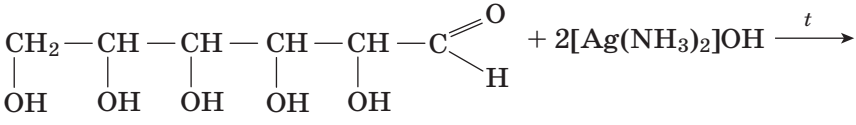
$$Na_2[Zn(OH)_4] + 2HCl(\text{по каплям}) \rightarrow Zn(OH)_2\downarrow + 2NaCl$$

Другой вариант.

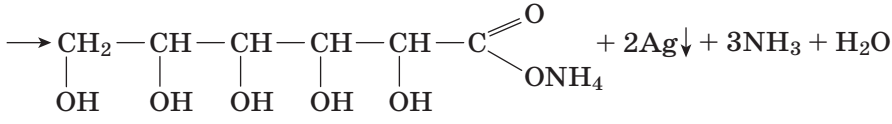
$$Na_2[Zn(OH)_4] + 2NH_4Cl \rightarrow Zn(OH)_2\downarrow + 2NaCl + 2NH_3$$

Гидролиз хлорида аммония создает кислую среду, и комплексный ион разрушается.

2. Первым можно определить крахмал, который плохо растворяется в холодной воде (глюкоза и фруктоза растворяются хорошо); крахмал дает синее окрашивание с раствором иода (водным или спиртовым). Для идентификации двух других соединений проводим реакцию «серебряного зеркала» с аммиачным раствором оксида серебра $[Ag(NH_3)_2]OH$. С глюкозой при нагревании на стенке пробирки образуется металлический налет («серебряное зеркало»).



глюкоза (альдогексоза)



С фруктозой (кетогексозой) никаких изменений не наблюдается — реакция не идет.

3. Задачу можно решить несколькими способами. Приведем один вариант решения.

Добавим ко всем растворам раствор нитрата серебра. В случае H_2S образуется черный осадок:

$$2AgNO_3 + H_2S \rightarrow Ag_2S\downarrow + 2HNO_3$$

В случае HBr образуется желтый осадок:

$$AgNO_3 + HBr \rightarrow AgBr\downarrow + HNO_3$$

Фосфат серебра Ag_3PO_4 в кислой среде не выпадает в осадок; фосфорную кислоту можно определить по реакции с избытком известковой воды — образуется белый осадок:

$$3Ca(OH)_2(\text{изб.}) + 2H_3PO_4 \rightarrow Ca_3(PO_4)_2\downarrow + 6H_2O$$

Другой способ. Добавим к двум оставшимся растворам аммиачный раствор оксида серебра (и нагреем). Цвета осадков различны. Формальдегид вступает в реакцию «серебряного зеркала» — на стенке образуется налет металлического серебра:

$$H_2C{=}O + 4[Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{t} 4Ag\downarrow + (NH_4)_2CO_3 + 6NH_3 + 2H_2O$$

В случае H_3PO_4 образуется желтый осадок:

$$H_3PO_4 + 3[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow Ag_3PO_4\downarrow + 6NH_3 + 3H_2O$$

4. Заданные газовые смеси не могут иметь одинаковую плотность при любом составе. Так как приведенные ниже неравенства строгие, для обеих смесей M_1 и M_2 не равны 20 г/моль.

$$20 \text{ г/моль} < M_1 < 34 \text{ г/моль}$$

$$4 \text{ г/моль} < M_2 < 20 \text{ г/моль}$$

5. Оба иона, вероятно, имеют оболочки инертных газов, и по соотношению числа электронов подходят Ne ($Z = 10$) и Ar ($Z = 18$); у положительного иона 10 электронов, у отрицательного 18. Возможные ионы: Na^+, Mg^{2+}, Al^{3+}, Cl^-, S^{2-}. Отношение зарядов ядер, равное 0,75, соответствует MgS ($Z(Mg) = 12$, $Z(S) = 18$).

$$Mg(\text{т}) + S(\text{т}) \xrightarrow{t} MgS$$

$$MgSO_4(\text{т}) + 4C(\text{т}) \xrightarrow{t} MgS + 4CO\uparrow$$

Ответ. Сульфид магния MgS.

6.

$$3C_nH_{2n} + 2KMnO_4 + 4H_2O \xrightarrow{\text{холодный}} 3C_nH_{2n}(OH)_2 + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$$

$$MnO_2 + 4HCl \rightarrow Cl_2\uparrow + MnCl_2 + 2H_2O$$

$$\nu(HCl) = c \cdot V = 0{,}25 \cdot 1{,}6 = 0{,}4 \text{ моль}$$

$$\nu(MnO_2) = 0{,}1 \text{ моль}$$

Из первого уравнения реакции:

$$\nu(C_nH_{2n}) = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$M(C_nH_{2n}) = 10{,}5 : 0{,}15 = 70 \text{ г/моль}$$

$$14n = 70$$

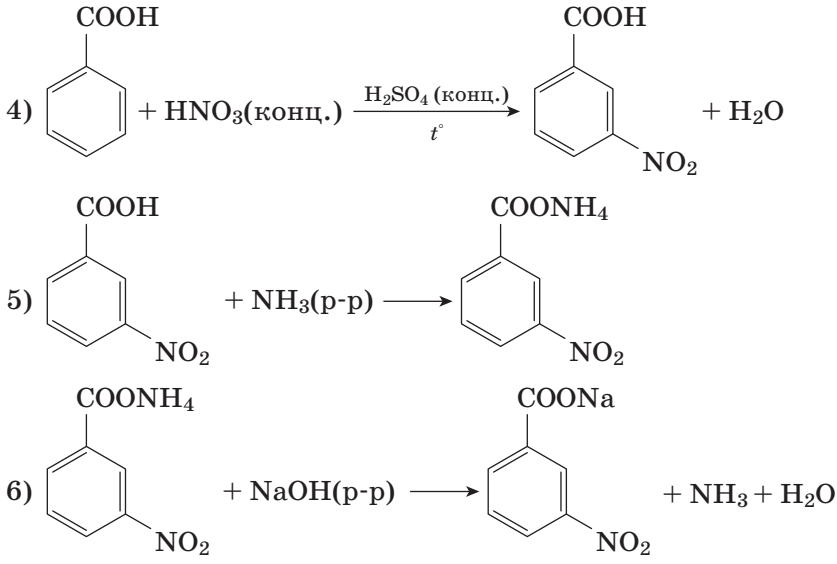
$$n = 5$$

Формула алкена C_5H_{10}. Это пентен-2.

$$5CH_3—CH{=}CH—C_2H_5 + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 5CH_3COOH + 5CH_3CH_2COOH + 8MnSO_4 + 4K_2SO_4 + 12H_2O$$

Ответ. Пентен-2.

7. $2KCl + 2H_2O \xrightarrow{\not\!\!\!



9. 1) $Fe + 6HNO_3(конц.) \xrightarrow{t} Fe(NO_3)_3 + 3NO_2\uparrow + 3H_2O$

2) $2Fe(NO_3)_3 + 3Br_2 + 16KOH \xrightarrow{t} \rightarrow 2K_2FeO_4 + 6KNO_3 + 6KBr + 8H_2O$

3) $2K_2FeO_4 + 16HCl \rightarrow 2FeCl_3 + 3Cl_2 + 4KCl + 4H_2O$

4) $2FeCl_3 + H_2S(р\text{-}р) \rightarrow 2FeCl_2 + S\downarrow + 2HCl$

5) $FeCl_2 + (NH_4)_2S(р\text{-}р) \rightarrow FeS\downarrow + 2NH_4Cl$

6) $4FeS + 7O_2 \xrightarrow{t} 2Fe_2O_3 + 4SO_2\uparrow$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — K_2FeO_4; $\mathbf{X_2}$ — $FeCl_3$; $\mathbf{X_3}$ — $FeCl_2$; $\mathbf{X_4}$ — Fe_2O_3.

10. См. решение задания **10** варианта «Ноябрь-1».

ДЕКАБРЬ-1

1. а) $Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2\uparrow$

б) $MnO_2 + 4HCl \rightarrow MnCl_2 + Cl_2\uparrow + 2H_2O$

2. Из значения молярного объема следует, что толуол — жидкость; плотность толуола:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{M}{V_m} = \frac{92}{106{,}11} = 0{,}867 \text{ г/см}^3$$

Ответ. 0,867 г/см^3.

3. Приведем один из вариантов ответа. Пусть это сульфит аммония $(NH_4)_2SO_3$.

$(NH_4)_2SO_3 + H_2SO_4 \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + SO_2\uparrow + H_2O$

$(NH_4)_2SO_3 + 2KOH \rightarrow K_2SO_3 + 2NH_3 + 2H_2O$

$(NH_4)_2SO_3 + Br_2 + H_2O \rightarrow (NH_4)_2SO_4 + 2HBr$

$3(NH_4)_2SO_3 + 2KMnO_4 + H_2O \rightarrow 2MnO_2\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4 + 2KOH$

Подходят и другие вещества, например HI, $(NH_4)_2S$, Al_2S_3.

4. В молекуле $\mathbf{SXY_2}$ один атом серы.

$M(\mathbf{SXY_2}) = 32 : 0{,}2689 = 119$ г/моль

$M(\mathbf{X}) = 119 \cdot 0{,}1345 = 16$ г/моль. Это кислород.

$M(\mathbf{Y}) = (119 - 32 - 16) : 2 = 35{,}5$ г/моль. Это хлор.

Неизвестные соединения — тионилхлорид $SOCl_2$ и сульфурилхлорид SO_2Cl_2.

$$SOCl_2 + 4NaOH \rightarrow Na_2SO_3 + 2NaCl + 2H_2O$$

$$SO_2Cl_2 + 4NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2NaCl + 2H_2O$$

Ответ. $SOCl_2$ и SO_2Cl_2.

5. Молярную массу (г/моль) первого металла **M1** обозначим x, второго металла **M2** — y.

$$2\mathbf{M1} + 3Br_2 \xrightarrow{t} 2\mathbf{M1}Br_3$$

$$2\mathbf{M2} + 3Br_2 \xrightarrow{t} 2\mathbf{M2}Br_3$$

Смесь металлов эквимолярная, поэтому

$$m(\text{солей}) = (x + 240) + (y + 240)$$

$$m(\text{металлов}) = x + y$$

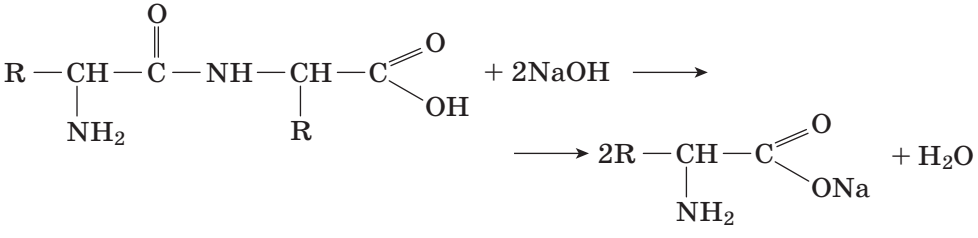
$$\frac{x + y + 480}{x + y} = 4{,}934$$

$$x + y = 122$$

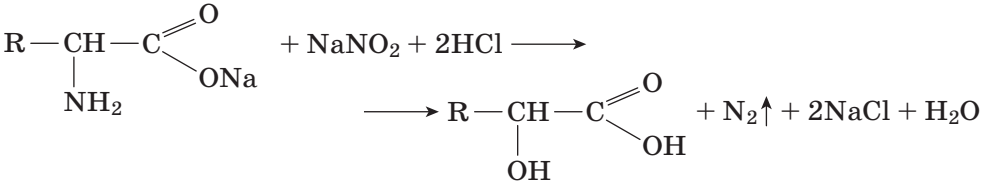
Подбором находим, что смесь металлов состоит из хрома ^{52}Cr и галлия ^{70}Ga.

Ответ. Cr и Ga.

6. Поскольку при гидролизе образуется единственный продукт, дипептид состоит из одинаковых аминокислотных остатков.



Рассмотрим простой случай, когда в радикале аминокислоты нет других аминогрупп:



Переведем сначала давление из мм рт. ст. в кПа и рассчитаем количество выделившегося газа азота.

$$p = \frac{720 \cdot 101{,}3}{760} = 96 \text{ кПа}$$

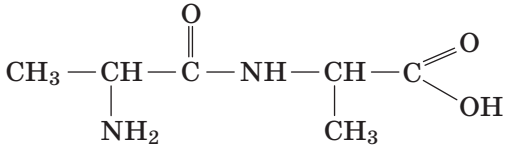
$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{96 \cdot 3{,}76}{8{,}314 \cdot 288} = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{дипептида}) = 0{,}5\nu(N_2) = 0{,}075 \text{ моль}$$

$$M(\text{дипептида}) = \frac{12}{0{,}075} = 160 = 2R + 130$$

$$M(R) = 15 \text{ г/моль}$$

Дипептид — аланилаланин.



Ответ. Аланилаланин.

7. 1) $HC{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{Hg^{2+},H^+} \underset{\mathbf{X_1}}{CH_3{-}CHO}$

2) $CH_3{-}CHO + HCN \xrightarrow{KOH} CH_3{-}CH(OH){-}C{\equiv}N$

3) $CH_3{-}CH(OH){-}C{\equiv}N + KOH + H_2O \xrightarrow{t} \rightarrow \underset{\mathbf{X_2}}{CH_3{-}CH(OH){-}COOK} + NH_3\uparrow$

4) $CH_3{-}CH(OH){-}COOK + HCl \rightarrow CH_3{-}CH(OH){-}COOH + KCl$

5) $CH_3{-}CH(OH){-}COOH + NaOH \rightarrow \underset{\mathbf{X_3}}{\rightarrow CH_3{-}CH(OH){-}COONa} + H_2O$

6) $CH_3{-}CH(OH){-}COONa + CH_3Br \rightarrow \rightarrow CH_3{-}CH(OH){-}COOCH_3 + NaBr$

8. $FeCl_2 + Na_2C_2O_4 \rightarrow FeC_2O_4\downarrow + 2NaCl$

$FeC_2O_4 \xrightarrow{t} FeO + CO\uparrow + CO_2\uparrow$ (реакцию проводят в инертной атмосфере, например в N_2)

$2FeO + 4H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + SO_2\uparrow + 4H_2O$

$Fe_2(SO_4)_3 + 6NaOH \rightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3Na_2SO_4$

$m(FeCl_2) = 250 \cdot 0{,}1 = 25$ г

$\nu(FeCl_2) = m : M = 25 : 127 = 0{,}197$ моль

$\nu(Fe(OH)_3) = \nu(FeCl_2) = 0{,}197$ моль

$m(Fe(OH)_3) = M \cdot \nu = 107 \cdot 0{,}197 = 21{,}08$ г

Ответ. 21,08 г $Fe(OH)_3$.

9. Очевидно, что заданные галогеналканы являются иодпроизводными. Запишем их формулы: $C_nH_{2n+1}I$ и $C_mH_{2m+1}I$. С натрием они вступают в реакцию Вюрца:

$2C_nH_{2n+1}I + 2Na \rightarrow C_{2n}H_{4n+2} + 2NaI$

$C_nH_{2n+1}I + C_mH_{2m+1}I + 2Na \rightarrow C_{n+m}H_{2(m+n)+2} + 2NaI$

$2C_mH_{2m+1}I + 2Na \rightarrow C_{2m}H_{4m+2} + 2NaI$

$\nu(NaI) = 45 : 150 = 0{,}3$ моль

Согласно уравнениям реакций:

$\nu(NaI) = 2\nu$ (алканов)

$\nu(\text{алканов}) = 0{,}15$ моль

Все три алкана образовались в равных количествах и каждого алкана было 0,05 моль.

$(14 \cdot 2n + 2) \cdot 0{,}05 + (14(n + m) + 2) \cdot 0{,}05 + (14 \cdot 2m + 2) \cdot 0{,}05 = 6{,}6$ г

$(14 \cdot 2n + 2) + (14(n + m) + 2) + (14 \cdot 2m + 2) = 6{,}6 : 0{,}05 = 132$

$14 \cdot 3n + 14 \cdot 3m + 6 = 132$

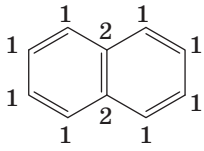
$42(n + m) = 126$

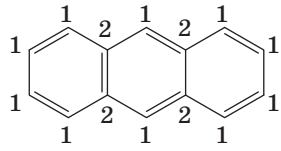
$n + m = 3$

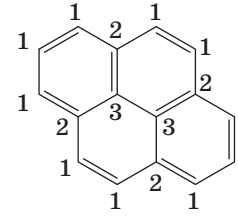
Итак, в реакцию Вюрца вступили иодметан CH_3I и иодэтан C_2H_5I.

Ответ. CH_3I и C_2H_5I.

10. В нафталине есть группы двух типов: группа 1 (восемь групп 1) содержит углерод ароматического шестичленного кольца и связанный с ним атом водорода; группа 2 (две группы 2) — ароматический атом углерода, связанный с атомом С группы 1 и атомом С такой же группы 2. В антрацене 10 групп 1 и четыре группы 2. В пирене 10 групп 1, четыре группы 2 и две группы 3, состоящие из атомов углерода, связанных с двумя атомами С групп 2 и атомом С группы 3.





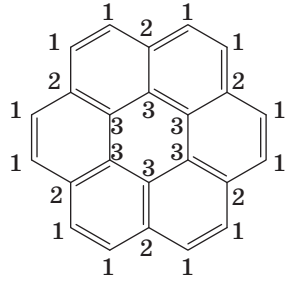


Определим вклады групп в величины теплот образования. Составим систему из трех уравнений с тремя неизвестными: x — вклад группы 1, y — вклад группы 2 и z — вклад группы 3.

$$\begin{cases} 8x + 2y = -78{,}0 \\ 10x + 4y = -127{,}5 \\ 10x + 4y + 2z = -125{,}2 \end{cases}$$

$$x = -4{,}75,\ y = -20{,}0,\ z = 1{,}15\ (\text{кДж/моль})$$

В коронене 12 групп 1, шесть групп 2 и шесть групп 3:



$$Q_{\text{обр}}(C_{24}H_{12}(\text{т})) = 12 \cdot (-4{,}75) + 6 \cdot (-20{,}0) + 6 \cdot 1{,}15 = \\ = -170{,}1\ \text{кДж/моль}$$

Ответ. −170,1 кДж/моль.

ДЕКАБРЬ-2

1. а) $2NH_3(\text{ж}) + 2Na \xrightarrow{\text{охлаждение}} 2NaNH_2 + H_2\uparrow$

б) $4NH_3 + 3O_2 \xrightarrow{t} 2N_2 + 6H_2O$

или

$2NH_3 + 3CuO \xrightarrow{t} 3Cu + N_2 + 3H_2O$

2. Глицерин в рассматриваемых условиях — жидкость, что следует из его плотности.

$$m = \rho V$$

$$V_m = \frac{M}{\rho} = \frac{92}{1{,}261} = 72{,}958 \text{ см}^3/\text{моль}$$

Ответ. 72,958 см^3/моль.

3. Приведем один вариант ответа. Пусть это сульфит аммония $(NH_4)_2SO_3$.

$(NH_4)_2SO_3 + Ba(NO_3)_2 \rightarrow BaSO_3\downarrow + 2NH_4NO_3$

$(NH_4)_2SO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_3 + 2NH_3 + 2H_2O$

$(NH_4)_2SO_3 + 2HCl \rightarrow 2NH_4Cl + SO_2\uparrow + H_2O$

$3(NH_4)_2SO_3 + 2KMnO_4 + H_2O \rightarrow 2MnO_2\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4 + 2KOH$

4. В молекуле PX_3Y_4 один атом фосфора.

$M(PX_3Y_4) = 31 : 0{,}3163 = 98$ г/моль

$M(Y) = 98 \cdot 0{,}6531 : 4 = 16$ г/моль. Это кислород.

$M(X) = (98 - 31 - 64) : 3 = 1$ г/моль. Это водород.

Неизвестные соединения — кислоты фосфорная H_3PO_4 и фосфористая H_3PO_3.

$$H_3PO_4 + 3NaOH \rightarrow Na_3PO_4 + 3H_2O$$

$$H_3PO_3 + 2NaOH \rightarrow Na_2HPO_3 + 2H_2O$$

Ответ. H_3PO_4 и H_3PO_3.

5. Молярную массу (г/моль) первого металла **M1** обозначим x, второго металла **M2** — y.

$$\mathbf{M1} + Cl_2 \xrightarrow{t} \mathbf{M1}Cl_2$$

$$\mathbf{M2} + Cl_2 \xrightarrow{t} \mathbf{M2}Cl_2$$

Смесь металлов эквимолярная, поэтому:

$$m(\text{солей}) = (x + 71) + (y + 71)$$

$$m(\text{металлов}) = x + y$$

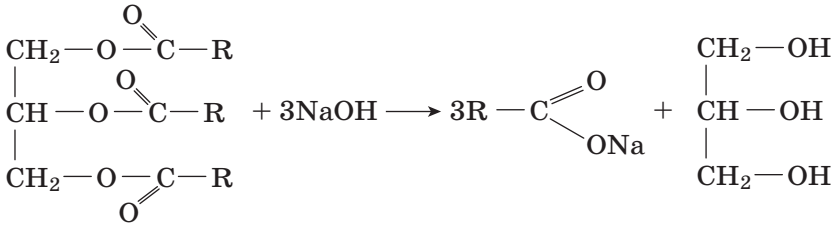
$$\frac{x + y + 142}{x + y} = 1{,}807$$

$$x + y = 176$$

Смесь металлов состоит из меди ^{64}Cu и кадмия ^{112}Cd.

Ответ. Cu и Cd.

6. В молекуле жира три одинаковых остатка жирных кислот (R — радикал кислоты).



Обозначим $M(R) = x$ (г/моль), тогда M(соли) $= x + 67$.

$$\nu(\text{соли}) = \frac{166{,}8}{x + 67}$$

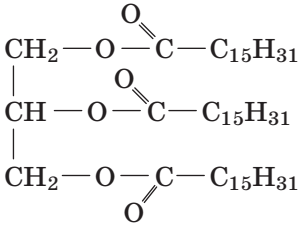
$$\nu(\text{жира}) = \frac{161{,}2}{3x + 173}$$

Согласно уравнению реакции, ν(соли) $= 3\nu$(жира).

$$\frac{166{,}8}{x + 67} = 3 \cdot \frac{161{,}2}{3x + 173}$$

$$x = 211 \text{ г/моль}$$

Радикал R — это $C_{15}H_{31}$. В молекуле жира три остатка пальмитиновой кислоты:



При гидролизе образуется пальмитат натрия $C_{15}H_{31}$—COONa.

Ответ. В молекуле жира три остатка пальмитиновой кислоты; пальмитат натрия.

7. 1) $H_2C{=}CH_2 + HBr \rightarrow CH_3{-}CH_2Br$

2) $CH_3{-}CH_2Br + KCN \rightarrow CH_3{-}CH_2{-}C{\equiv}N + KBr$

3) $CH_3{-}CH_2{-}C{\equiv}N + KOH + H_2O \xrightarrow{t} CH_3{-}CH_2{-}COOK + NH_3\uparrow$

4) $CH_3{-}CH_2{-}COOK + HCl \rightarrow CH_3{-}CH_2{-}COOH + KCl$

5) $CH_3—CH_2—COOH + Br_2 \xrightarrow{P_{красн}} CH_3—CH(Br)—COOH + HBr$

6) $CH_3—CH(Br)—COOH + 2NaOH \xrightarrow{спирт} \rightarrow CH_2{=}CH—COONa + NaBr + 2H_2O$

8. Из условия следует, что **A** — активный металл (щелочной или щелочноземельный), дающий с кислородом оксид и пероксид или пероксид и надпероксид. Каждое из этих кислородных соединений при взаимодействии с водой образуют гидроксид (соединение **D**). Пусть **A** — одновалентный металл, образующий гидроксид AOH. По условию:

$$\omega(\mathbf{A}) = \frac{M}{M + 17} = 0{,}8012$$

$$M = 68{,}5 \text{ г/моль}$$

Одновалентного металла с такой молярной массой не существует.

Пусть **A** — двухвалентный металл; его гидроксид — $\mathbf{A}(OH)_2$.

$$\frac{M}{M + 34} = 0{,}8012$$

$$M = 137 \text{ г/моль}$$

Это барий Ba.

$$2Ba + O_2 \xrightarrow{t} BaO$$

$$Ba + O_2 \xrightarrow{t} BaO_2$$

$$BaO + H_2O \rightarrow Ba(OH)_2$$

$$BaO_2 + 2H_2O \rightarrow Ba(OH)_2 + H_2O_2$$

Ответ. Ba, BaO, BaO_2, $Ba(OH)_2$.

9. Заданные галогеналканы являются бромпроизводными $C_nH_{2n+1}Br$ и $C_mH_{2m+1}Br$. Они вступают в реакции Вюрца:

$$2C_nH_{2n+1}Br + 2Na \rightarrow C_{2n}H_{4n+2} + 2NaBr$$

$$C_nH_{2n+1}Br + C_mH_{2m+1}Br + 2Na \rightarrow C_{n+m}H_{2(m+n)+2} + 2NaBr$$

$$2C_mH_{2m+1}Br + 2Na \rightarrow C_{2m}H_{4m+2} + 2NaBr$$

$$\nu(NaBr) = \frac{61{,}8}{103} = 0{,}6 \text{ моль}$$

$$\nu(NaBr) = 2\nu \text{ (алканов)}$$

Три алкана образовались в равных количествах, поэтому

$$\nu(\text{алканов}) = 0{,}3 \text{ моль}$$

Каждого из алканов было по 0,1 моль. Сумма молярных масс алканов:

$(14 \cdot 2n + 2) + (14(n + m) + 2) + (14 \cdot 2m + 2) = 17{,}4 : 0{,}1 = 174$

$14 \cdot 3n + 14 \cdot 3m + 6 = 174$

$42(n + m) = 168$

$n + m = 4$

В реакции Вюрца выступили бромметан CH_3Br и бромпропан C_3H_7Br.

Ответ. CH_3Br и C_3H_7Br.

10. См. решение задачи **10** варианта «Декабрь-1».

ДЕКАБРЬ-3

1. а) $Mg + H_2S \rightarrow MgS + H_2$

б) $2H_2S + 3O_2(\text{изб.}) \xrightarrow{t} 2SO_2 + 2H_2O$

2. $m = \rho V$

$M = \rho \cdot V_m = 1{,}113 \cdot 55{,}71 = 62$ г/моль

Возможная формула спирта $C_xH_yO_z$, причем минимальное значение $z = 2$. Это этиленгликоль $C_2H_6O_2$.

Ответ. $C_2H_6O_2$.

3. Один из возможных вариантов ответа — $(NH_4)_2S$.

$3(NH_4)_2S + 2KMnO_4 \rightarrow 3S\downarrow + 2MnO_2\downarrow + 2KOH + 6NH_3 + 2H_2O$

$(NH_4)_2S + 2HCl \rightarrow 2NH_4Cl + H_2S\uparrow$

$(NH_4)_2S + 2NaOH \rightarrow Na_2S + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$

$3(NH_4)_2S + 2AlCl_3 \xrightarrow[H_2O]{} 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow + 6NH_4Cl$

4. В молекуле $O_3\mathbf{X}_2\mathbf{Y}_2$ три атома кислорода.

$M(O_3\mathbf{X}_2\mathbf{Y}_2) = 16 \cdot 3 : 0{,}4211 = 114$ г/моль

$M(\mathbf{Y}) = 114 \cdot 0{,}5614 : 2 = 32$ г/моль. Это сера.

$M(\mathbf{X}) = (114 - 48 - 64) : 2 = 1$ г/моль. Это водород.

Неизвестные соединения — тиосерная $H_2S_2O_3$ и сернистая H_2SO_3 кислоты.

$$H_2S_2O_3 + 2KOH \rightarrow K_2S_2O_3 + 2H_2O$$

$$H_2SO_3 + 2KOH \rightarrow K_2SO_3 + 2H_2O$$

Ответ. $H_2S_2O_3$ и H_2SO_3.

5. Молярную массу (г/моль) первого металла **M1** обозначим x; второго металла **M2** — y.

$$2\mathbf{M1} + 3F_2 \xrightarrow{t} 2\mathbf{M1}F_3$$

$$2\mathbf{M2} + 3F_2 \xrightarrow{t} 2\mathbf{M2}F_3$$

Смесь металлов эквимолярная.

$$m(\text{солей}) = (x + 57) + (y + 57)$$

$$m(\text{металлов}) = x + y$$

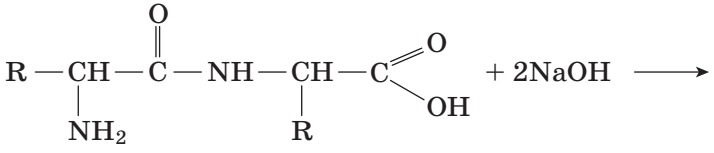
$$\frac{x + y + 114}{x + y} = 1{,}905$$

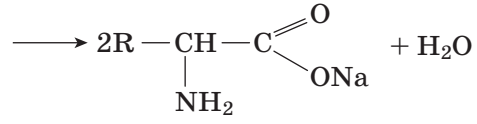
$$x + y = 126$$

Смесь металлов состоит из железа ^{56}Fe и галлия ^{70}Ga.

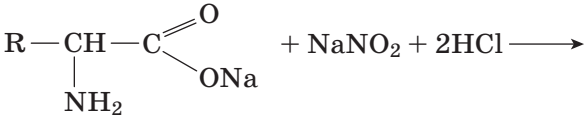
Ответ. Fe и Ga.

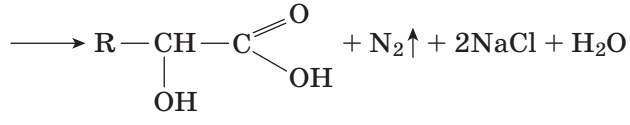
6. При гидролизе образуется единственный продукт, поэтому дипептид состоит из одинаковых аминокислотных остатков:





Самый простой случай, когда в радикале аминокислоты нет других аминогрупп.





Рассчитаем количество выделившегося азота. Переводим давление из мм рт. ст. в кПа.

$$p = \frac{745 \cdot 101{,}3}{760} = 99{,}3 \text{ кПа}$$

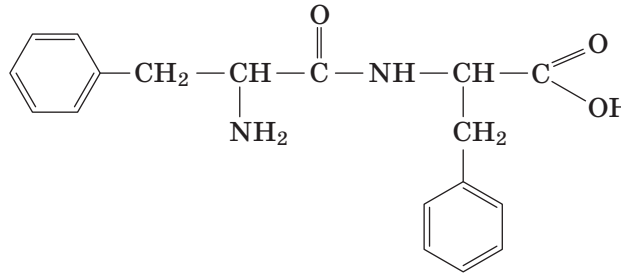
$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{99{,}3 \cdot 0{,}733}{8{,}314 \cdot 292} = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{дипептида}) = 0{,}5\nu(N_2) = 0{,}015 \text{ моль}$$

$$M(\text{дипептида}) = \frac{4{,}68}{0{,}015} = 312 = 2R + 130$$

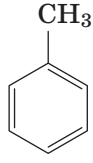
$$M(R) = 91 \text{ г/моль}$$

R = CH_2—C_6H_5. Дипептид — фенилаланил-фенилаланин.

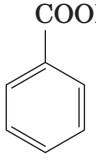
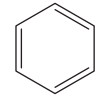


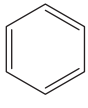
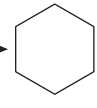
Ответ. Фенилаланил-фенилаланин.

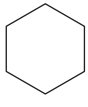
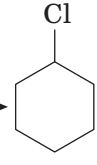
7.

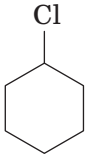
1)  $+ 6KMnO_4 + 9H_2SO_4 \longrightarrow$

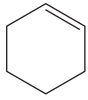
$$\longrightarrow 5 \text{ [C}_6\text{H}_4\text{(COOH)}_2\text{]} + 3K_2SO_4 + 6KMnO_4 + 12H_2O$$

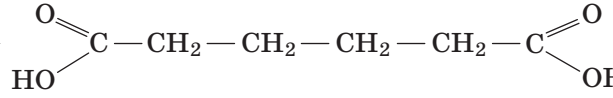
2)  $+ 2NaOH(т) \xrightarrow{t}$  $+ Na_2CO_3 + H_2O$

3)  $+ 3H_2 \xrightarrow{t, Pt}$ 

4)  $+ Cl_2 \xrightarrow{\text{свет}}$  $+ HCl$

5)  $+ NaOH \xrightarrow{\text{спирт}}$ $+ NaCl + H_2O$

6) 5  $+ 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \longrightarrow$

$\longrightarrow$  $+$

$+ 4K_2SO_4 + 8KMnO_4 + 12H_2O$

8. Молярную массу неизвестного металла **M** обозначим x.

$\mathbf{M}(NO_3)_3 + 3NH_3 + 3H_2O \rightarrow \mathbf{M}(OH)_3\downarrow + 3NH_4NO_3$

$2\mathbf{M}(OH)_3 \xrightarrow{t} \mathbf{M}_2O_3 + 3H_2O$

$\nu(\mathbf{M}_2O_3) = \dfrac{0{,}159}{2x + 48}$

$\nu(\mathbf{M}(NO_3)_3 \cdot 6H_2O) = 2\nu(\mathbf{M}_2O_3) = \dfrac{1}{x + 62 \cdot 3 + 6 \cdot 18} = \dfrac{1}{x + 294}$

$\dfrac{2 \cdot 0{,}159}{2x + 48} = \dfrac{1}{x + 294}$

$x = 27$ (г/моль)

Это алюминий Al.

Ответ. Алюминий.

9. Заданные галогеналканы являются хлорпроизводными $C_nH_{2n+1}Cl$ и $C_mH_{2m+1}Cl$, которые вступают в реакцию Вюрца.

$2C_nH_{2n+1}Cl + 2Na \rightarrow C_{2n}H_{4n+2} + 2NaCl$

$C_nH_{2n+1}Cl + C_mH_{2m+1}Cl + 2Na \rightarrow C_{n+m}H_{2(m+n)+2} + 2NaCl$

$2C_mH_{2m+1}Cl + 2Na \rightarrow C_{2m}H_{4m+2} + 2NaCl$

$\nu(NaCl) = \dfrac{35{,}1}{58{,}5} = 0{,}6$ моль

$\nu(NaCl) = 2\nu$ (алканов)

Три алкана образовались в равных количествах.

ν(алканов) $= 0{,}3$ моль

Каждого из алканов по 0,1 моль. Сумма молярных масс трех алканов:

$(14 \cdot 2n + 2) + (14(n + m) + 2) + (14 \cdot 2m + 2) = 25{,}8 : 0{,}1 = 258$

$14 \cdot 3n + 14 \cdot 3m + 6 = 258$

$42(n + m) = 252$

$n + m = 6$

Значения $n = 2$ и $m = 4$ не соответствуют условию: продукты реакции Вюрца жидкие при н. у. (при температуре <0 °С бутан $C_{2n}H_{4n+2}$ — жидкость, т. кип. −1 °С).

Итак, $n = m = 3$, и в реакцию Вюрца вступили 1-хлорпропан C_3H_7Cl и 2-хлорпропан $CH_3—CHCl—CH_3$.

Ответ. 1-Хлорпропан и 2-хлорпропан.

10. См. решение задания **10** варианта «Декабрь-1».

ДЕКАБРЬ-4

1. а) $H_2O_2 + 2KI + H_2SO_4 \rightarrow I_2\downarrow + K_2SO_4 + 2H_2O$

б) $2KMnO_4 + 5H_2O_2 + 3H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5O_2\uparrow + 8H_2O$

2. Этан — газ. Воспользуемся формулой Клапейрона—Менделеева.

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$p = \frac{\rho RT}{M}$$

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{100 \cdot 30}{8{,}314 \cdot 293} = 1{,}232 \text{ г/л}$$

Ответ. 1,232 г/л.

3. Один из вариантов ответа — $(NH_4)_2S$.

$(NH_4)_2S + 2KOH \rightarrow K_2S + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$

$(NH_4)_2S + 2AgNO_3 \rightarrow Ag_2S\downarrow + 2NH_4NO_3$

$(NH_4)_2S + 2HI \rightarrow 2NH_4I + H_2S\uparrow$

$3(NH_4)_2S + 2KMnO_4 \rightarrow 3S\downarrow + 2MnO_2\downarrow + 2KOH + 6NH_3 + 2H_2O$

4. В молекуле $N_2\mathbf{X}_2\mathbf{Y}_4$ два атома азота.

$M(N_2\mathbf{X}_2\mathbf{Y}_4) = 14 \cdot 2 : 0{,}4375 = 64$ г/моль

$M(\mathbf{X}) = 64 \cdot 0{,}50 : 2 = 16$ г/моль. Это кислород.

$M(\mathbf{Y}) = (64 - 28 - 32) : 4 = 1$ г/моль. Это водород.

Неизвестные соединения — нитрит аммония NH_4NO_2 и нитрат аммония NH_4NO_3.

$$NH_4NO_2 + KOH \rightarrow KNO_2 + NH_3\uparrow + H_2O$$

$$NH_4NO_3 + KOH \rightarrow KNO_3 + NH_3\uparrow + H_2O$$

Ответ. NH_4NO_2 и NH_4NO_3.

5. Молярную массу (г/моль) первого металла **M1** обозначим x, второго металла **M2** — y.

$$\mathbf{M1} + I_2 \xrightarrow{t} \mathbf{M1}I_2$$

$$\mathbf{M2} + I_2 \xrightarrow{t} \mathbf{M2}I_2$$

Смесь металлов эквимолярная.

$$m(\text{солей}) = (x + 254) + (y + 254)$$

$$m(\text{металлов}) = x + y$$

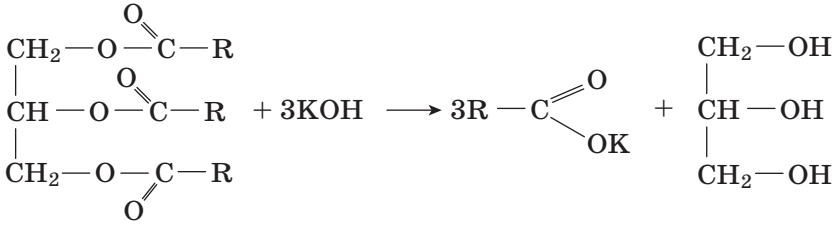
$$\frac{x + y + 508}{x + y} = 6{,}708$$

$$x + y = 89$$

Смесь металлов состоит из магния ^{24}Mg и цинка ^{65}Zn.

Ответ. Mg и Zn.

6. В составе жира три одинаковых остатка жирных кислот.



Обозначим $M(R) = x$ (г/моль), тогда $M(\text{жира}) = 3x + 173$.
По условию, количество глицерина и жира:

$$\nu(C_3H_8O_3) = \frac{9{,}2}{92} = 0{,}1 \text{ моль}$$

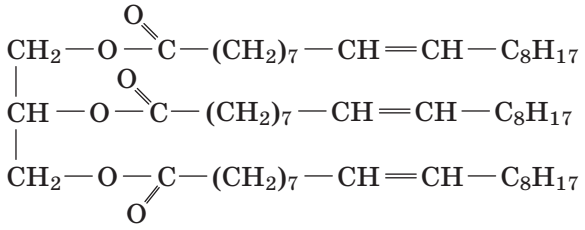
$$\nu(\text{жира}) = \frac{88{,}4}{3x + 173}$$

$$\nu(C_3H_8O_3) = \nu(\text{жира})$$

$$\frac{88{,}4}{3x + 173} = 0{,}1$$

$$x = 237 \text{ г/моль}$$

R = $C_{17}H_{33}$. В составе жира три остатка олеиновой кислоты:



При гидролизе жира образуется соль олеат калия $C_{17}H_{33}$—COOK.

Ответ. В молекуле жира три остатка олеиновой кислоты; олеат калия.

7. 1) $CH_3—CH_2—CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3—CHBr—CH_3 + HBr$

2) $CH_3—\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{CH}}—CH_3 + Mg \xrightarrow{\text{эфир}} CH_3—\underset{\displaystyle MgBr}{\underset{|}{CH}}—CH_3$

3) $CH_3—\underset{\displaystyle MgBr}{\underset{|}{CH}}—CH_3 + CO_2 \longrightarrow CH_3—\underset{\displaystyle COOMgBr}{\underset{|}{CH}}—CH_3$

4) $CH_3—\underset{\displaystyle COOMgBr}{\underset{|}{CH}}—CH_3 + HBr \longrightarrow CH_3—\underset{\displaystyle COOH}{\underset{|}{CH}}—CH_3 + MgBr_2$

5) $CH_3—\underset{\displaystyle COOH}{\underset{|}{CH}}—CH_3 + Br_2 \xrightarrow{P_{красн}} CH_3—\underset{\displaystyle COOH}{\underset{|}{\overset{\displaystyle Br}{\overset{|}{C}}}}—CH_3 + HBr$

6) $CH_3—\underset{\displaystyle COOH}{\underset{|}{\overset{\displaystyle Br}{\overset{|}{C}}}}—CH_3 + 2KOH \xrightarrow{\text{спирт}} CH_2=\underset{\displaystyle COOK}{\underset{|}{C}}—CH_3 + KBr + 2H_2O$

8. Неизвестный щелочной металл обозначим **M**.

$$2MF(т) + H_2SO_4(конц.) \xrightarrow{t} 2HF\uparrow + M_2SO_4$$

$$Ca(OH)_2 + 2HF \rightarrow CaF_2\downarrow + 2H_2O$$

Образуется осадок фторида кальция.

$$\nu(CaF_2) = m : M = 27{,}3 : 78 = 0{,}35 \text{ моль}$$

$$\nu(MF) = 2\nu(CaF_2) = 0{,}35 \cdot 2 = 0{,}7 \text{ моль}$$

$$M(MF) = 18{,}2 : 0{,}7 = 26 \text{ г/моль}$$

$M(M) = 26 - 19 = 8$ г/моль. Это литий.

Ответ. LiF.

9. Заданные галогеналканы — иодпроизводные $C_nH_{2n+1}I$ и $C_mH_{2m+1}I$, которые вступают в реакцию Вюрца.

$$2C_nH_{2n+1}I + 2Na \rightarrow C_{2n}H_{4n+2} + 2NaI$$

$$C_nH_{2n+1}I + C_mH_{2m+1}I + 2Na \rightarrow C_{n+m}H_{2(m+n)+2} + 2NaI$$

$$2C_mH_{2m+1}I + 2Na \rightarrow C_{2m}H_{4m+2} + 2NaI$$

$$\nu(NaI) = \frac{30}{150} = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$\nu(NaI) = 2\nu(\text{алканов})$$

Три алкана образовались в равных количествах.

$$\nu(\text{алканов}) = 0{,}1 \text{ моль}$$

Каждого алкана по 0,033 моль. Сумма молярных масс трех алканов:

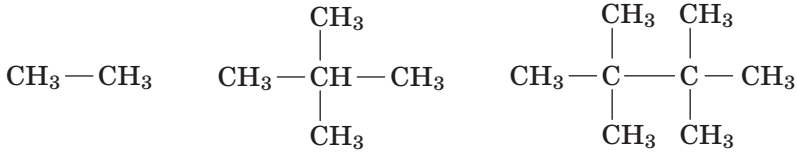
$$(14 \cdot 2n + 2) + (14(n + m) + 2) + (14 \cdot 2m + 2) = 7{,}2 : 0{,}033 = 216$$

$$14 \cdot 3n + 14 \cdot 3m + 6 = 210$$

$$42(n + m) = 126$$

$$n + m = 5$$

В реакции Вюрца вступили иодметан CH_3I и 2-иод-2-метилпропан C_4H_9I, образуются следующие соединения:



этан 2,2-диметилпропан 2,2,3,3-тетраметилбутан

Каждое из этих веществ при хлорировании образует только одно монохлорпроизводное.

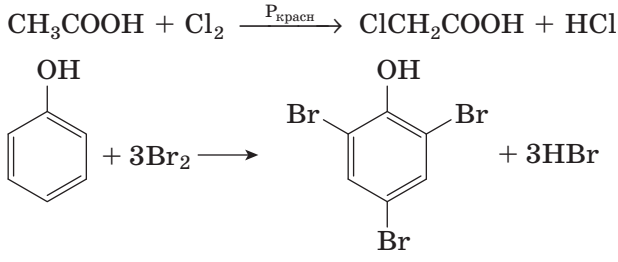
Ответ. Иодметан и 2-иод-2-метилпропан.

10. См. решение задачи **10** варианта «Декабрь-1».

ЯНВАРЬ-1

1. Fe^{2+}: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6$; Fe^{3+}: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$.

2. Например:

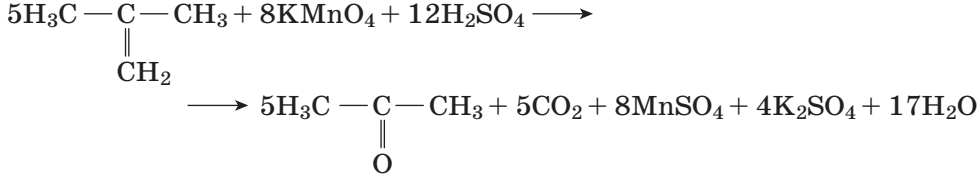


$$CH_3COOH + Cl_2 \xrightarrow{P_{красн}} ClCH_2COOH + HCl$$

$$HNO_2 + Cl_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + 2HCl$$

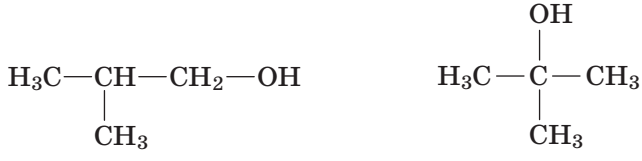
$$H_2SO_3 + Cl_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 2HCl$$

3. При окислении алкена раствором перманганата калия при подкислении образуется ацетон, поэтому можно предположить, что искомое соединение — это 2-метилпропен:



$$5H_3C-C(=CH_2)-CH_3 + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \longrightarrow 5H_3C-C(=O)-CH_3 + 5CO_2 + 8MnSO_4 + 4K_2SO_4 + 17H_2O$$

2-Метилпропен может быть получен дегидратацией (при нагревании >150 °C в присутствии концентрированной серной кислоты) как 2-метилпропанола-1, так и 2-метилпропанола-2:



Ответ. 2-Метилпропанол-1 или 2-метилпропанол-2.

4. Приведем несколько возможных ответов.

а) LiCl и $SiCl_4$; $MgCl_2$ и $TiCl_4$, SO_2Cl_2 и $CuCl_2$; $FeCl_2$ и $CaOCl_2$; $SOCl_2$ и $TiCl_2$.

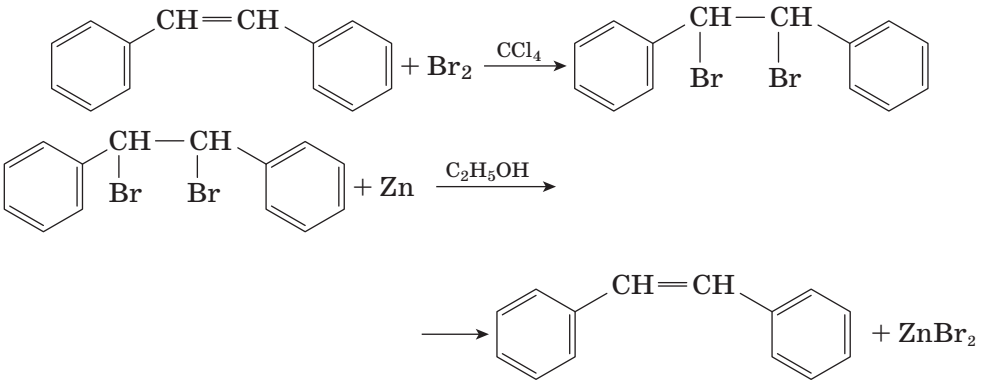
б) $C_2H_2Cl_2$ и $C_3H_3Cl_3$; любое вещество с общей формулой $C_nH_nCl_n$; любая пара органических изомеров.

5. Углеводород **A** содержит двойную связь C═C, простейшая формула C_nH_{2n-16}.

$$\nu(Zn) = \nu(\text{дибромида}) = \nu(\text{алкена}) = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$M(\text{алкена}) = 180 \text{ г/моль}$$

Алкен — дифенилэтилен $C_{14}H_{12}$ (симметричный или несимметричный).



6. Равновесные давления и CO, и H_2 обозначим x (бар). Общее давление 1 бар; равновесное давление H_2O $(1 - 2x)$.

Константа равновесия:

$$K_p = \frac{p_{CO} \cdot p_{H_2}}{p_{H_2O}} = \frac{x \cdot x}{1 - 2x} = 2{,}52$$

$$x = 0{,}458$$

Отбрасываем второй отрицательный корень квадратного уравнения.

Равновесные давления CO и H_2 0,458 бар, а равновесное давление H_2O 0,084 бар.

Ответ. $p(H_2O) = 0{,}084$ бар, $p(CO) = 0{,}458$ бар, $p(H_2) = 0{,}458$ бар.

7. 1) $2HNO_3(\text{разб.}) + 3SO_2 + 2H_2O \rightarrow 3H_2SO_4 + 2NO\uparrow$

или

$2HNO_3(\text{конц.}) + SO_2 \rightarrow H_2SO_4 + 2NO_2\uparrow$

2) $H_2SO_4(\text{разб.}) + FeS \rightarrow FeSO_4 + H_2S\uparrow$

3) $4FeSO_4 + 8NaOH + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3\downarrow + 4Na_2SO_4$

4) $2Fe(OH)_3 + 10KOH + 3Cl_2 \xrightarrow{t} 2K_2FeO_4 + 6KCl + 8H_2O$

5) $3H_2S + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow Ag_2S\downarrow + 2(NH_4)_2S + 2H_2O$

или

$H_2S + 2AgNO_3 \rightarrow Ag_2S\downarrow + 2HNO_3$

6) $Ag_2S + O_2 \xrightarrow{t} 2Ag + SO_2$

Ответ. **X** — H_2SO_4.

8. 1) $Br—CH_2—COOH + 2NH_3 \rightarrow NH_2—CH_2—COOH + NH_4Br$

2) $2NH_2—CH_2—COOH \xrightarrow{t}$
$\rightarrow NH_2—CH_2—C(O)—NH—CH_2—COOH + H_2O$

3) $NH_2—CH_2—C(O)—NH—CH_2—COOH + 2HCl + H_2O \xrightarrow{t} \rightarrow 2Cl^-H_3\overset{+}{N}—CH_2—COOH$

4) $Cl^-H_3N^+—CH_2—COOH + AgNO_3 \rightarrow \rightarrow NO_3^-H_3\overset{+}{N}—CH_2—COOH + AgCl\downarrow$

5) $NO_3^-H_3\overset{+}{N}—CH_2—COOH + NaOH \rightarrow \rightarrow NH_2—CH_2—COOH + NaNO_3 + 2H_2O$

6) $NH_2—CH_2—COOH + NaNO_2 + HCl \rightarrow \rightarrow HO—CH_2—COOH + N_2\uparrow + NaCl + H_2O$

9. Очевидно, что **A** — это O_2, **B** — S.

$S + O_2 \xrightarrow{t} SO_2$ (газ **C** — SO_2)

$SO_2 + 2NaOH(\text{изб.}) \rightarrow Na_2SO_3 + H_2O$ (соль **D** — Na_2SO_3)

$2KMnO_4 + 5Na_2SO_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5Na_2SO_4 + 3H_2O$

$Na_2SO_3 + S \xrightarrow{\text{кипячение}} Na_2S_2O_3$ (соль **E** — $Na_2S_2O_3$)

$Na_2S_2O_3 + 4Br_2 + 5H_2O \rightarrow Na_2SO_4 + 8HBr + H_2SO_4$

или

$$Na_2S_2O_3 + 4Br_2 + 5H_2O \rightarrow 2NaHSO_4 + 8HBr$$

или

$$Na_2S_2O_3 + 4Br_2 + 5H_2O \rightarrow 2H_2SO_4 + 2NaBr + 6HBr$$

Проверим, правильно ли определена соль **E**.

$\nu(Br_2) = 12{,}8 : 160 = 0{,}08$ моль

$\nu(\mathbf{E}) = 0{,}02$ моль; $\nu(\mathbf{E} \cdot 5H_2O) = 0{,}02$ моль.

$M(\mathbf{E} \cdot 5H_2O) = 4{,}96 : 0{,}02 = 248$ г/моль

$M(Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O) = 248$ г/моль

Действительно, **E** — тиосульфат натрия $Na_2S_2O_3$.

10. При окислительном обжиге сульфидов выделяется сернистый ангидрид SO_2.

$$\nu(SO_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{0{,}9 \cdot 101{,}3 \cdot 17}{8{,}31 \cdot 373} = 0{,}5 \text{ моль}$$

Пусть сульфиды образованы металлами **M1** и **M2** с атомными массами x_1 и x_2. Определим первый металл **M1**. Рассмотрим последовательно различные варианты состава его оксида. По условию, массовая доля **M1** в оксиде равна 0,8.

1) Для оксида $\mathbf{M1}_2O$:

$$\omega(\mathbf{M1}) = \frac{2x_1}{2x_1 + 16} = 0{,}8$$

$x_1 = 32$ г/моль. Такого металла нет.

2) Для оксида $\mathbf{M1}O$:

$$\omega(\mathbf{M1}) = \frac{x_1}{x_1 + 16} = 0{,}8$$

$x_1 = 64$ г/моль. Это медь Cu.

3) Для оксида $\mathbf{M1}_2O_3$:

$$\omega(\mathbf{M1}) = \frac{2x_1}{2x_1 + 48} = 0{,}8$$

$x_1 = 96$ г/моль. Это молибден Mo.

Молибден Mo не подходит, так как при сгорании сульфидов молибдена образуется только оксид состава MoO_3. Рассмотрение оксидов, в которых степень окисления металла **M1** равна IV, V или VI, также не приводит к разумному ответу.

Итак, первый металл — медь. Один из сульфидов — сульфид меди(I) Cu_2S или сульфид меди(II) CuS.

Пусть в смеси x моль Cu_2S.

$$\underset{x}{Cu_2S} + 2O_2 \xrightarrow{t} \underset{2x}{2CuO} + \underset{x}{SO_2}$$

После обжига содержание меди в смеси оксидов:

$$\omega(Cu) = 0{,}4 = \frac{2x \cdot 64}{160x + y}$$

где y — масса оксида металла **M2**.

$$y = 160x$$

По условию, масса смеси оксидов 32 г.

$$2x \cdot 80 + y = 32$$

Решив систему последних двух уравнений, находим:

$$x = 0{,}1 \text{ моль} = \nu(Cu_2S) = \nu(SO_2)_1$$

$$y = 16 \text{ г}$$

$$m(Cu_2S) = 0{,}1 \cdot 160 = 16 \text{ г}$$

Масса второго сульфида: $m = 40 - 16 = 24$ г. При его сгорании выделилось

$$\nu(SO_2)_2 = \nu(SO_2) - \nu(SO_2)_1 = 0{,}5 - 0{,}1 = 0{,}4 \text{ моль}$$

Определим второй металл. Рассмотрим последовательно разные варианты состава сульфида. Напишем уравнения реакции обжига.

1) Для сульфида $\mathbf{M2}_2\mathrm{S}$ не имеет значения, меняет ли металл степень окисления при сгорании.

$$2\mathbf{M2}_2\mathrm{S} + 3\mathrm{O}_2 \rightarrow 2\mathbf{M2}_2\mathrm{O} + 2\mathrm{SO}_2$$

$$\nu(\mathbf{M2}_2\mathrm{S}) = \nu(\mathrm{SO}_2)_2 = 0{,}4 \text{ моль}$$

$$M(\mathbf{M2}_2\mathrm{S}) = \frac{24}{0{,}4} = 60 \text{ г/моль}$$

$x_2 = \dfrac{60 - 32}{2} = 14$. Такого металла нет.

2) Для сульфида $\mathbf{M2S}$:

$$2\mathbf{M2S} + 3\mathrm{O}_2 \rightarrow 2\mathbf{M2O} + 2\mathrm{SO}_2$$

$$\nu(\mathbf{M2S}) = \nu(\mathrm{SO}_2)_2 = 0{,}4 \text{ моль}$$

$$M(\mathbf{M2S}) = \frac{24}{0{,}4} = 60 \text{ г/моль}$$

$x_2 = 60 - 32 = 28$. Такого металла нет.

3) При сжигании сульфида состава $\mathbf{M2S}_2$ (по аналогии с предыдущими вариантами):

$$(\mathbf{M2S}_2) = 0{,}5\nu(\mathrm{SO}_2)_2 = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$M(\mathbf{M2S}_2) = \frac{24}{0{,}2} = 120 \text{ г/моль}$$

$x_2 = 120 - 32 \cdot 2 = 56$. Это — железо.

Рассмотрение сульфидов другого состава не приводит к имеющим смысл ответам. Итак, взяты сульфиды $\mathrm{Cu}_2\mathrm{S}$ (0,1 моль) и FeS_2 (0,2 моль).

Теперь рассмотрим альтернативный случай, когда первый сульфид — CuS.

$$\underset{x}{2\mathrm{CuS}} + 3\mathrm{O}_2 \xrightarrow{t} \underset{x}{2\mathrm{CuO}} + \underset{x}{2\mathrm{SO}_2}$$

По условию, в смеси оксидов:

$$\omega(\mathrm{Cu}) = 0{,}4 = \frac{x \cdot 64}{80x + y}$$

где y — масса оксида металла $\mathbf{M2}$.

$$\begin{cases} y = 80x \\ 80x + y = 32 \end{cases}$$

$$x = 0{,}2 \text{ моль}, \; y = 16 \text{ г}$$

$$m(\mathrm{CuS}) = 0{,}2 \cdot 96 = 19{,}2 \text{ г}$$

Масса второго сульфида: $m = 40 - 19{,}2 = 20{,}8$ г и при его сгорании выделилось:

$$\nu(SO_2)_2 = \nu(SO_2) - \nu(SO_2)_1 = 0{,}5 - 0{,}2 = 0{,}3 \text{ моль}$$

Определим второй металл.

1) Для сульфида $\mathbf{M2}_2\mathbf{S}$:

$$2\mathbf{M2}_2\mathbf{S} + 3O_2 \to 2\mathbf{M2}_2\mathbf{O} + 2SO_2$$

$$\nu(\mathbf{M2}_2\mathbf{S}) = \nu(SO_2)_2 = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$M(\mathbf{M2}_2\mathbf{S}) = \frac{20{,}8}{0{,}3} = 69 \text{ г/моль}$$

$x_2 = \dfrac{69 - 32}{2} = 18{,}5$. Такого металла нет.

2) Для сульфида $\mathbf{M2S}$:

$$2\mathbf{M2S} + 3O_2 \to 2\mathbf{M2O} + 2SO_2$$

$$\nu(\mathbf{M2S}) = \nu(SO_2)_2 = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$M(\mathbf{M2S}) = \frac{20{,}8}{0{,}3} = 69 \text{ г/моль}$$

$x_2 = 69 - 32 = 37$. Такого металла нет.

3) При сжигании сульфида состава $\mathbf{M2}_2\mathbf{S}_3$ (по аналогии с рассмотренными сульфидами)

$$\nu(\mathbf{M2}_2\mathbf{S}_3) = \frac{1}{3}\nu(SO_2)_2 = 0{,}3 : 3 = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$M(\mathbf{M2}_2\mathbf{S}_3) = 20{,}8 : 0{,}1 = 208 \text{ г/моль}$$

$x_2 = \dfrac{208 - 3 \cdot 32}{2} = 56$. Это — железо.

Рассмотрение сульфидов другого состава не приводит к имеющим смысл ответам. Итак, были взяты сульфиды CuS (0,2 моль) и Fe_2S_3 (0,1 моль).

Второе решение, приводящее к сульфидам CuS и Fe_2S_3, было найдено участниками олимпиады. Необходимо отметить, что для получения максимального балла за эту задачу достаточно привести один вариант решения.

Ответ. 0,1 моль Cu_2S и 0,2 моль FeS_2 или 0,2 моль CuS и 0,1 моль Fe_2S_3.

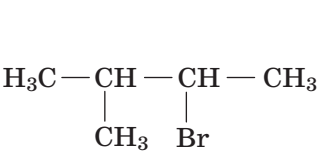
ЯНВАРЬ-2

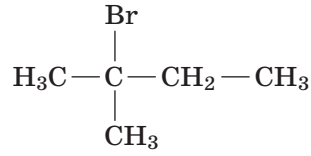
1. S^{2-}: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$; S^{4+}: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$.

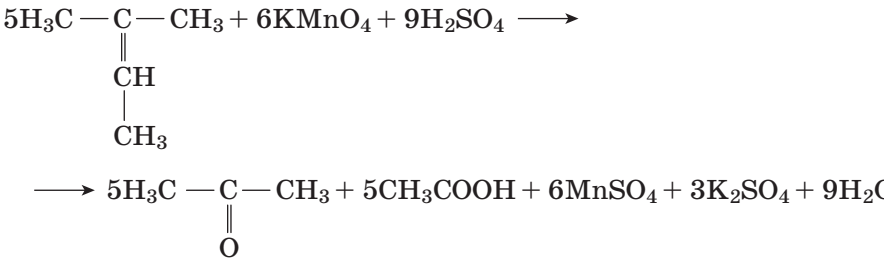
2. $Al_2S_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow$

$2AlCl_3 + 3Na_2S + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow + 6NaCl$

3.







4. Приведем несколько вариантов ответа.

а) $NaHCO_3$ и $MgCO_3$; $KHCO_3$ и $CaCO_3$.

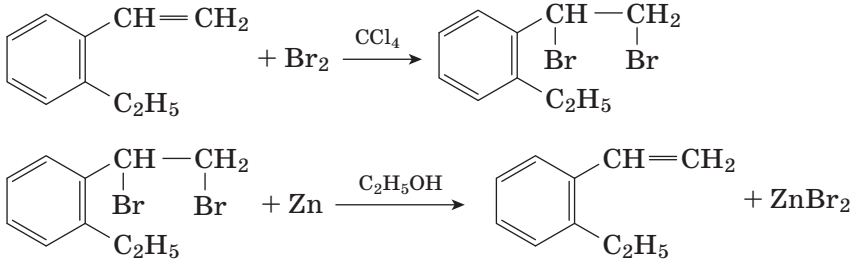
б) Любые два алкена C_nH_{2n}; C_2H_2 и C_6H_6; любые два вещества $C_nH_{2n}O_n$; любая пара органических изомеров.

5. Углеводород **A** содержит двойную связь C═C; простейшая формула C_nH_{2n-8}.

$$\nu(Zn) = \nu(\text{дибромида}) = \nu(\text{алкена}) = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$M(\text{алкена}) = 132 \text{ г/моль}$$

Подходящий алкен — *о*-этилфенилэтилен C_9H_{10} или другие изомеры.



6. $C_2H_6 + 3{,}5O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$

$Q_{\text{р-ции}} = 2Q_{\text{обр}}(CO_2) + 3Q_{\text{обр}}(H_2O) - Q_{\text{обр}}(C_2H_6) =$

$= 2 \cdot 393{,}5 + 3 \cdot 285{,}8 - 84{,}68 = 1559{,}72$ кДж/моль

Теплота, необходимая для нагревания 1000 г воды от 25 до 100 °С:

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T = 1000 \cdot 4{,}184 \cdot 75 = 313800 \text{ Дж} = 313{,}8 \text{ кДж}$$

Количество этана:

$$\nu = Q/Q_{\text{р-ции}} = 313{,}8 : 1559{,}72 = 0{,}201 \text{ моль}$$

Объем этана:

$$V = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0{,}201 \cdot 8{,}314 \cdot 298}{101{,}3} = 4{,}92 \text{ л}$$

Ответ. 4,92 л.

7. 1) $Mn(OH)_2 + H_2O_2 \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$

2) $MnO_2 + NaNO_3 + 2NaOH(т) \xrightarrow{t} Na_2MnO_4 + NaNO_2 + H_2O$

или

$2MnO_2 + O_2 + 2NaOH(т) \xrightarrow{t} Na_2MnO_4 + H_2O$

3) $Na_2MnO_4 + 2H_2SO_4 + 2Na_2SO_3 \rightarrow MnSO_4 + 3Na_2SO_4 + 2H_2O$

4) $MnO_2 + 4HBr \xrightarrow{t} MnBr_2 + Br_2 + 2H_2O$

5) $Br_2 + Cu \xrightarrow{t} CuBr_2$

6) $2CuBr_2 + 4KI \rightarrow 2CuI\downarrow + I_2\downarrow + 4KBr$

8. 1) $C_6H_5CH_2CH(Br)COOH + 2NH_3 \rightarrow$

$\rightarrow \underset{\mathbf{X_1}}{C_6H_5CH_2CH(NH_2)COOH} + NH_4Br$

2) $2C_6H_5CH_2CH(NH_2)COOH \xrightarrow{t} H_2NCHC(O)NHCHCOOH + H_2O$

$\quad\quad\quad

9. **A** — один из галогенов Cl_2, I_2 или Br_2.

$$3Hal_2 + 6KOH \xrightarrow{t} 5KHal + KHalO_3 + 3H_2O$$

Соль **B** — KHal, соль **C** — $KHalO_3$.

$$KHal + 3H_2O \xrightarrow{\text{электролиз}} KHalO_3 + 3H_2\uparrow$$

$\nu(KHal) = \nu(KHalO_3)$. Перебором вариантов доказываем, что Hal — бром, так как

$$M(KBrO_3) : M(KBr) = 167 : 119 = 1{,}4$$

Получили, что масса образовавшейся соли $KBrO_3$ на 40% больше массы исходной соли KBr, что отвечает условию. Вещество **D** — белый фосфор P_4, желто-оранжевые кристаллы **E** — PBr_5.

$$P_4 + 10Br_2 \rightarrow 4PBr_5$$

$$PBr_5 + 8KOH(\text{р-р}) \rightarrow 5KBr + K_3PO_4 + 4H_2O$$

Итак, соль **B** — KBr и соль **F** — K_3PO_4.

$$P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}\ (P_2O_5)$$

Далее: оксид **G** — P_4O_{10}.

$$P_2O_5 + 6KOH \rightarrow 2K_3PO_4 + 3H_2O$$

Соль **F** — K_3PO_4.

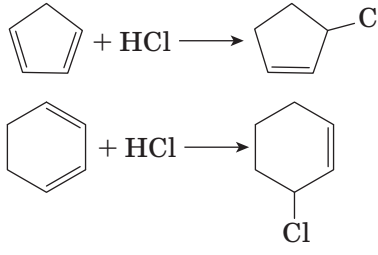
Ответ. **A** — Br_2, **B** — KBr, **C** — $KBrO_3$, **D** — P_4, **E** — PBr_5, **F** — K_3PO_4, **G** — P_4O_{10}.

10. См. решение задания **10** варианта «Январь-1».

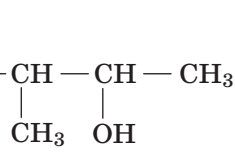
ЯНВАРЬ-3

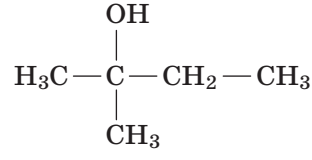
1. Cl^-: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$; Cl^+: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$.

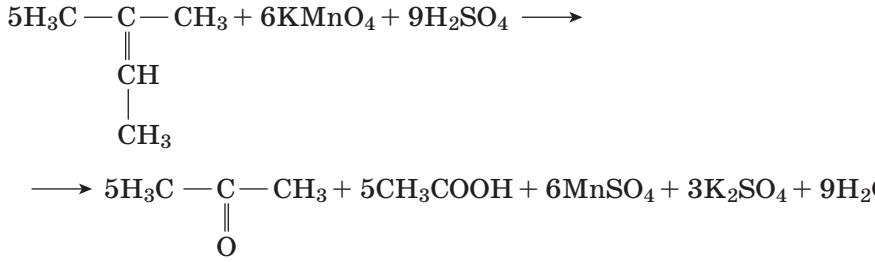
2. Приведем два варианта ответа.



3.







4. Приведем несколько вариантов ответа.

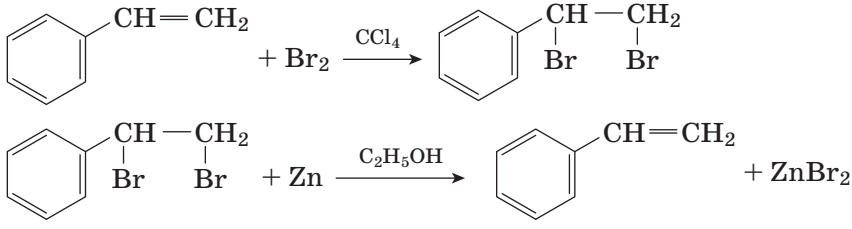
а) H_2S и H_2O_2; LiH, N_2H_4, SiH_4

б) Любые два алкена C_nH_{2n}; C_2H_2 и C_6H_6; любые два вещества $C_nH_{2n}O_n$; любая пара органических изомеров.

5. Углеводород **А** содержит двойную связь C═C; простейшая формула C_nH_n.

$\nu(Zn) = \nu(\text{дибромида}) = \nu(\text{алкена}) = 0{,}03$ моль

$M(\text{алкена}) = 104$ г/моль. Алкен — фенилэтилен C_8H_8.



6. Количество фосфора 1 моль. Пусть количество PCl_3 — x моль, количество PCl_5 $(1 - x)$ моль.

Количество выделившейся теплоты:

$$287x + 375(1 - x) = 353 \text{ (кДж)}$$

$$x = 0{,}25 \text{ моль}$$

Мольный состав смеси 25% PCl_3; 75% PCl_5.

Ответ. Мольный состав: 25% PCl_3, 75% PCl_5.

7. 1) $8NaI + 9H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow 8NaHSO_4 + 4I_2\downarrow + H_2S\uparrow + 4H_2O$

2) $3I_2 + 6KOH(\text{р-р}) \rightarrow 5KI + KIO_3 + 3H_2O$

3) $2H_2S + 2[Cu(NH_3)_2]Br \rightarrow Cu_2S\downarrow + 2NH_4Br + (NH_4)_2S$

4) $Cu_2S + 2O_2 \xrightarrow{t} 2CuO + SO_2\uparrow$

5) $CuO + H_2 \xrightarrow{t} Cu + H_2O$

6) $Cu + Cl_2 \xrightarrow{t} CuCl_2$

8. 1) $CH_3—COOH + Br_2 \xrightarrow{P_{\text{красн}}} Br—CH_2—COOH + HBr$

2) $Br—CH_2—COOH + 2NH_3 \rightarrow NH_2—CH_2—COOH + NH_4Br$

3) $2NH_2—CH_2—COOH \xrightarrow{t} \rightarrow NH_2—CH_2—C(O)—NH—CH_2—COOH + H_2O$

4) $NH_2—CH_2—C(O)—NH—CH_2—COOH + 2HCl + H_2O \xrightarrow{t} \rightarrow 2Cl^-H_3N^+—CH_2—COOH$

5) $Cl^-H_3N^+—CH_2—COOH + AgNO_3 \rightarrow \rightarrow NO_3^-H_3N^+—CH_2—COOH + AgCl\downarrow$

6) $NO_3^-H_3N^+—CH_2—COOH + 2NaOH \rightarrow \rightarrow NH_2—CH_2—COONa + NaNO_3 + 2H_2O.$

9. При сжигании натрия в кислороде в зависимости от условий могут образовываться разные кислородные соединения натрия. Вероятно, образовался Na_2O_2.

$$2Na + O_2 \rightarrow Na_2O_2$$

Если реагирует 1 моль Na, то образуется 0,5 моль Na_2O_2. Молекулярную массу образовавшегося соединения обозначим x.

$$1{,}695 \cdot M(Na) = 0{,}5x$$

$$x = 78 \text{ (г/моль)}$$

Это соответствует молярной массе пероксида натрия Na_2O_2.

$$Na_2O_2 + 2KI + 2H_2SO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + I_2 + K_2SO_4 + 2H_2O$$

$$\nu(Na_2O_2) = \nu(I_2)$$

$$\nu(Na_2O_2) = 1{,}56 : 78 = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(I_2) = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow 2NaI + Na_2S_4O_6$$

$$\nu(Na_2S_2O_3) = 2\nu(I_2) = 0{,}04 \text{ моль}$$

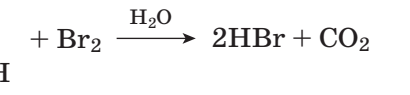
$$V(\text{р-ра}) = \nu(Na_2S_2O_3) : c = 0{,}04 : 0{,}5 = 0{,}08 \text{ (л)} = 80 \text{ (мл)}$$

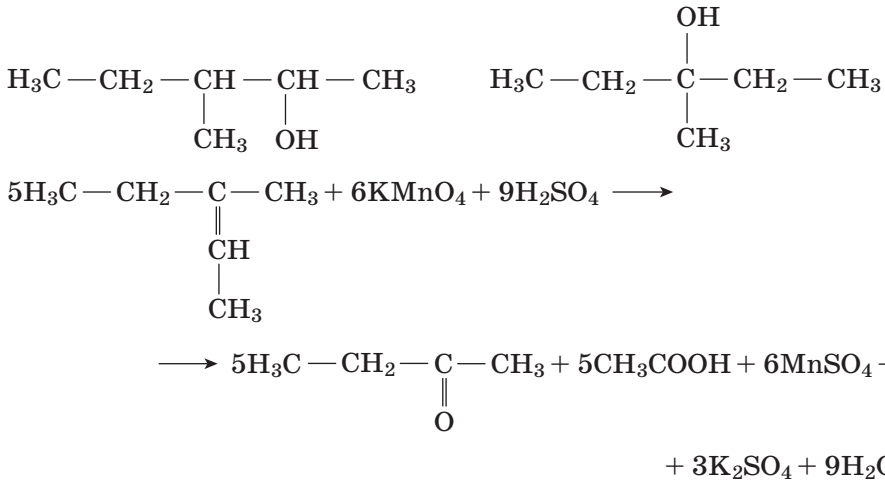
Ответ. 80 мл.

10. См. решение задания **10** варианта «Январь-1».

ЯНВАРЬ-4

1. S^{2-}: $1s^22s^22p^63s^23p^6$; S^{6+}: $1s^22s^22p^6$.

2. 

3. 

4. Приведем несколько вариантов ответа.

а) Li_2O, NO, SiO_2; MgO и TiO_2; $CaCO_3$ и $KHCO_3$.

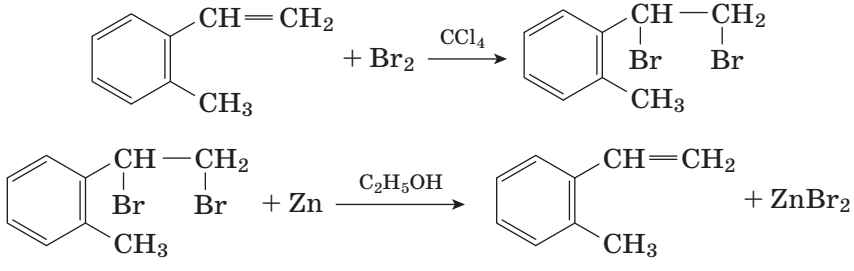
б) CH_2O и $C_2H_4O_2$; $C_nH_{2n}O_n$; любая пара органических изомеров.

5. Углеводород **А** содержит двойную связь C═C; самая простая формула C_nH_{2n-8}.

$$\nu(Zn) = \nu(\text{дибромида}) = \nu(\text{алкена}) = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$M(\text{алкена}) = 118 \text{ г/моль}$$

Алкен — *о*-метилфенилэтилен C_9H_{10} или другие его изомеры.



6.

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO - 180 \text{ кДж}$$

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2 + 114 \text{ кДж}$$

Суммируем эти уравнения.

$$N_2 + 2O_2 \rightarrow 2NO_2 - 66 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{обр}}(NO_2) = -66 : 2 = -33 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. −33 кДж/моль.

7. 1) $Na_2S + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2S\uparrow$

2) $2H_2S + 3O_2(\text{изб.}) \xrightarrow{t} 2H_2O + 2SO_2\uparrow$

3) $5SO_2 + 2KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4 + 2MnSO_4 + K_2SO_4$

4) $H_2SO_4(\text{разб.}) + Fe \rightarrow FeSO_4 + H_2\uparrow$

5) $4FeSO_4 \xrightarrow{t} 2Fe_2O_3 + 4SO_2\uparrow + O_2\uparrow$

6) $SO_2 + 2NaOH(\text{изб.}) \rightarrow Na_2SO_3 + H_2O$

Ответ. **X** — SO_2.

8. 1) $C_6H_5CH_2CH_2COOH + Br_2 \xrightarrow{P_{\text{красн}}} C_6H_5CH(Br)COOH + HBr$

2) $C_6H_5CH_2CH(Br)COOH + 2NH_3 \rightarrow$
$\rightarrow C_6H_5CH_2CH(NH_2)COOH + NH_4Br$

3) $2C_6H_5CH_2CH(NH_2)COOH \xrightarrow{t} H_2NCHC(O)NHCHCOOH + H_2O$
$\quad\quad\quad

$\nu(MnCO_3) = y = 23 : 115 = 0{,}2$ моль

$\nu(CaCO_3) = x + y = 0{,}1 + 0{,}2 = 0{,}3$ моль

$m(CaCO_3) = 0{,}3 \cdot 100 = 30$ г

$\nu(MnO) = x + y = 0{,}3$ моль

$m(MnO) = 0{,}3 \cdot 71 = 21{,}3$ г

$\omega(MnC_2O_4 \cdot 2H_2O) = 17{,}9 : 40{,}9 = 0{,}438$, или 43,8%

$\omega(MnCO_3) = 23 : 40{,}9 = 0{,}562$, или 56,2%

Ответ. 30 г $CaCO_3$, 21,3 г MnO, 43,8% $MnC_2O_4 \cdot 2H_2O$, 56,2% $MnCO_3$.

10. См. решение задания **10** варианта «Январь-1».

5–9 КЛАССЫ

1. $Zn(OH)_2 + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + 2H_2O$

$Zn(OH)_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4]$

2. Число молекул пропорционально количеству вещества. При одинаковых условия в одинаковых объемах разных газов содержатся равные количества вещества, следовательно, одинаковое число молекул. При н. у. (давление 1 атм, температура 0 °C) азот и хлороводород — газы, вода — жидкость.

$$\nu(N_2) = \nu(HCl) << \nu(H_2O)$$

3. Вещества красного цвета: красный фосфор $P_{красн}$, CrO_3, Br_2, $CoSO_4 \cdot 7H_2O$, Fe_2O_3 (красно-коричневый); вещества зеленого цвета: $Ni(OH)_2$, K_2MnO_4, Cr_2O_3, $NiCl_2 \cdot 6H_2O$, $CrCl_3 \cdot 6H_2O$.

4. Ne, F^-, O^{2-}, N^{3-}, Na^+, Mg^{2+}, Al^{3+}.
Примеры соединений: NaF, MgO, AlN, Al_2O_3, Mg_3N_2 и другие.

5. Решаем методом подбора, перебирая возможные валентности элемента.
Элемент одновалентный: оксид $Э_2O$, хлорид ЭCl.

$$\frac{2M(Э) + 16}{M(Э) + 35{,}5} = \frac{6}{17}$$

$28 \cdot M(Э) = -59$. Не подходит.

Элемент двухвалентный: оксид ЭO, хлорид $ЭCl_2$.

$$\frac{M(Э) + 16}{M(Э) + 71} = \frac{6}{17}$$

$$11 \cdot M(\text{Э}) = 154$$

$$M(\text{Э}) = 14 \text{ г/моль}$$

Это азот N, но он не подходит по валентности.
Элемент трехвалентный: оксид $\text{Э}_2\text{O}_3$, хлорид ЭCl_3.

$$\frac{2 \cdot M(\text{Э}) + 48}{M(\text{Э}) + 106{,}5} = \frac{6}{17}$$

$$28 \cdot M(\text{Э}) = -177$$

Отрицательное число не подходит.
Элемент четырехвалентный: оксид ЭO_2, хлорид ЭCl_4.

$$\frac{M(\text{Э}) + 32}{M(\text{Э}) + 142} = \frac{6}{17}$$

$$11 \cdot M(\text{Э}) = 308$$

$$M(\text{Э}) = 28 \text{ г/моль}$$

Это кремний Si.
Искомые соединения: SiO_2 и $SiCl_4$.

Ответ. Si.

6. Объемные доли газов соответствуют мольным долям. Возьмем 1 моль смеси, тогда ν(газа) = 0,2 моль, $\nu(CH_4)$ = 0,8 моль. Так как массы газов равны, то $0{,}2 \cdot M = 0{,}8 \cdot 16$.

$$M = 64 \text{ г/моль}.$$

Газ с такой молярной массой — SO_2.

Ответ. SO_2.

7. Напишем уравнения реакций горения газовой смеси, обозначив количества газов x и y (моль).

$$\underset{x}{C_2H_4} + 3O_2 \rightarrow \underset{2x}{2CO_2} + \underset{2x}{2H_2O}$$

$$\underset{y}{2C_2H_2} + 5O_2 \rightarrow \underset{2y}{4CO_2} + \underset{y}{2H_2O}$$

$$\frac{\nu(CO_2)}{\nu(H_2O)} = \frac{60\%}{40\%} = 1{,}5$$

$$\nu(CO_2) = 2x + 2y$$

$$\nu(H_2O) = 2x + y$$

$$\frac{\nu(CO_2)}{\nu(H_2O)} = \frac{2x + 2y}{2x + y} = 1{,}5$$

$$x = 2y$$

Пусть x = 1 моль C_2H_4, тогда y = 2 моль C_2H_2.

$$m(\text{смеси}) = 28 + 2 \cdot 26 = 80 \text{ г}$$

$$\omega(C_2H_4) = \frac{28 \cdot 100\%}{80} = 35\%$$

$$\omega(C_2H_2) = 65\%$$

Ответ. 35% C_2H_4, 65% C_2H_2.

8. Напишем уравнение реакции горения ацетилена:

$$C_2H_2 + 2{,}5O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O$$

По условию, количество ацетилена:

$$\nu(C_2H_2) = 53{,}76 : 22{,}4 = 2{,}4 \text{ (моль)}$$

При сгорании 1 моль ацетилена выделяется теплота:

$$Q = 3118{,}8 : 2{,}4 = 1299{,}5 \text{ кДж/моль}$$

По закону Гесса:

$$Q = 2 \cdot 393{,}5 + 285{,}8 - x = 1299{,}5 \text{ кДж}$$

где x — теплота образования ацетилена. Отсюда $x = -226{,}7$ кДж/моль.

Ответ. −226,7 кДж/моль.

9. $CaCO_3$ — известняк, карбонат кальция;
$Ca(OH)_2$ — гашеная известь, побелка, гидроксид кальция;
CaO — негашеная известь, оксид кальция;
$CaOCl_2$ — белильная известь, хлорид-гипохлорит кальция;
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$ — гипс, дигидрат сульфата кальция;
CaC_2 — карбид кальция.

$$CaCO_3 \xrightarrow{t} CaO + CO_2$$

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

$$Ca(OH)_2 + Cl_2 \xrightarrow{\text{охлаждение}} CaOCl_2 + H_2O$$

$$CaCO_3 + H_2SO_4 + H_2O \xrightarrow{t} CaSO_4 \cdot 2H_2O\downarrow + CO_2\uparrow$$

$$CaCO_3 + 4C \xrightarrow{t} CaC_2 + 3CO$$

или

$$CaO + 3C \xrightarrow{t} CaC_2 + CO$$

10. Из фосфатов кальция в воде растворяется только дигидрофосфат.

$$Ca_3(PO_4)_2 + 4HNO_3 \rightarrow Ca(H_2PO_4)_2 + Ca(NO_3)_2$$

$$\nu(Ca_3(PO_4)_2) = \frac{50}{310} = 0{,}1613 \text{ моль}$$

$$\nu(HNO_3) = 4\nu(Ca_3(PO_4)_2) = 0{,}645 \text{ моль}$$

$$m(HNO_3) = \nu \cdot M = 0{,}645 \cdot 63 = 40{,}635 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра}) = \frac{40{,}635}{0{,}28} = 145{,}125 \text{ г}$$

$$V(\text{р-ра}) = \frac{m}{\rho} = \frac{145{,}125}{1{,}17} = 124{,}0 \text{ мл}$$

Ответ. 124 мл.

11. Приведем один из вариантов решения цепочки.

1) $4FeSO_4 \xrightarrow{t} 2Fe_2O_3 + 4SO_2\uparrow + O_2\uparrow$
2) $SO_2 + 2H_2S \rightarrow 3S\downarrow + 2H_2O$
3) $S + Fe \xrightarrow{t} FeS$
4) $FeS + 2HCl(\text{р-р}) \rightarrow FeCl_2 + H_2S\uparrow$
5) $H_2S + CuCl_2(\text{р-р}) \rightarrow CuS\downarrow + 2HCl$
6) $CuS + 8HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow CuSO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — SO_2; $\mathbf{X_2}$ — FeS; $\mathbf{X_3}$ — CuS.

12. $MHal + AgNO_3 \rightarrow AgHal\uparrow + MNO_3$

$$m(MHal) = \omega \cdot m(\text{р-ра}) = 0{,}356 \cdot 50 = 17{,}8 \text{ г}$$

Пусть в реакцию вступило x моль галогенида металла MHal. Атомную массу металла M обозначим y, атомную массу галогена Hal — z. Тогда масса MHal в полученном растворе:

$$m(MHal) = 17{,}8 - x(y + z)$$

Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = 50 + 10 - m(AgHal) = 60 - x(108 + z)$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = 1{,}2$$

$$\omega_1 = 0{,}356$$

$$\omega_2 = \frac{17{,}8 - x(y + z)}{60 - x(108 + z)}$$

$$0{,}356 = 1{,}2 \cdot \frac{17{,}8 - x(y + z)}{60 - x(108 + z)}$$

$$1{,}2y + 0{,}844z = 38{,}448$$

Попробуем определить галоген (и затем — металл) методом подбора.

1) Hal = Cl: $z = 35{,}5$, $1{,}2y = 8{,}486$.
   $y = 7$

M — это литий Li, соль — LiCl.

2) Hal = Br: $z = 80$, $1{,}2y = -29{,}032$. Получили $y < 0$. Этот вариант не подходит.

3) Hal = I: $z = 127$, $1{,}2y = -68{,}74$.

$y < 0$, следовательно, этот вариант не подходит.

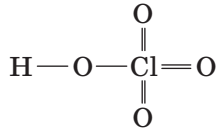
4) AgF не подходит, так как эта соль растворима в воде.

Ответ. LiCl.

ОЧНЫЙ ТУР

ВАРИАНТ 1

1. Рассчитаем заряд ядра элемента **Э**. $Z = 50 - (4 \cdot 8 + 1) = 17$. Элемент **Э** — это хлор, анион — ClO_4^-. В состав хлорной кислоты $HClO_4$ входит хлор в степени окисления +7.



2. $[Zn(OH)]_2CO_3$ — основной карбонат цинка или гидроксокарбонат цинка.

3. $NaClO_4 + KCl \rightarrow KClO_4\downarrow + NaCl$

Исходные количества солей:

$$\nu(NaClO_4) = c \cdot V = 0{,}2 \cdot 0{,}2 = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$\nu(KCl) = 0{,}3 \cdot 0{,}3 = 0{,}09 \text{ моль}$$

Объем полученного раствора: 0,2 + 0,3 = 0,5 л (объем осадка не учитываем).

Пусть количество осадка $KClO_4$ x моль. В насыщенном растворе (над осадком) произведение концентраций ионов K^+ и ClO_4^- равно произведению растворимости $KClO_4$.

$$ПР = [K^+] \cdot [ClO_4^-] = \frac{(0{,}09 - x)}{0{,}5} \cdot \frac{(0{,}04 - x)}{0{,}5} = 1{,}1 \cdot 10^{-2}$$

После преобразований получаем квадратное уравнение.

$$x^2 - 0{,}13x + 0{,}00085 = 0$$

$$x_1 = 0{,}1231;\ x_2 = 0{,}0069$$

Первый корень не подходит, так как 0,1231 > 0,04, а концентрация перхлорат-аниона в растворе не может быть отрицательной. Поэтому $\nu(KClO_4) = 0{,}0069$ моль.

$$m(KClO_4) = \nu \cdot M = 0{,}0069 \cdot 138{,}5 = 0{,}956 \text{ г}$$

Ответ. 0,956 г перхлората калия.

4. По условию, в составе этих органических соединений только углерод, водород и кислород.

$$C_xH_yO_z + \left(\frac{2x+y}{2} - z\right)O_2 \rightarrow xCO_2 + 0{,}5yH_2O$$

В продуктах массовая доля водорода 5%.

$$m(H) = 0{,}05 \cdot 32 = 1{,}6 \text{ г}$$

$$\nu(H) = 1{,}6 \text{ моль}$$

$$m(H_2O) = 0{,}8 \cdot 18 = 14{,}4 \text{ г}$$

$$m(CO_2) = 32 - 14{,}4 = 17{,}6 \text{ г}$$

$$\nu(CO_2) = 17{,}6 : 44 = 0{,}4 \text{ моль}$$

$$\nu(C) = 0{,}4 \text{ моль}$$

Отсюда важный вывод о составе продуктов (и исходной смеси):

$$\nu(C) : \nu(H) = 0{,}4 : 1{,}6 = 1 : 4$$

Такое соотношение возможно только при $x = 1$, $y = 4$. Единственно возможные исходные вещества — это метан CH_4 и метанол CH_3OH.

Обозначим: $\nu(CH_4) = n$, $\nu(CH_3OH) = m$. Поскольку $\nu(C) = 0{,}4$ моль, то $n + m = 0{,}4$.

$$0{,}4 = (12n + 12m) : (16n + 32m)$$

$$7n = m$$

$$n = 0{,}05;\ m = 0{,}35$$

Количества и массы исходных веществ:

$$\nu(CH_4) = 0{,}05 \text{ моль} \qquad \nu(CH_3OH) = 0{,}35 \text{ моль}$$

$$m(CH_4) = 0{,}8 \text{ г} \qquad m(CH_3OH) = 11{,}2 \text{ г}$$

Ответ. 0,8 г CH_4 и 11,2 г CH_3OH.

5.

$$\underset{x}{Hg(NO_3)_2} \xrightarrow{t} Hg + \underset{2x}{2NO_2}\uparrow + \underset{x}{O_2}\uparrow$$

$$\underset{y}{4Al(NO_3)_3} \xrightarrow{t} 2Al_2O_3 + \underset{3y}{12NO_2}\uparrow + \underset{0{,}75y}{3O_2}\uparrow$$

При поглощении газовой смеси раствором щёлочи в присутствии кислорода происходит следующая реакция:

$$4KOH + 4NO_2 + O_2 \rightarrow 4KNO_3 + 2H_2O$$

Через щёлочь проходит избыточное количество O_2, $\nu(O_2)_{изб}$.

$$\nu(O_2)_{изб} = \frac{pV}{RT} = \frac{0{,}366}{0{,}082 \cdot 298} = 0{,}015 \text{ моль } O_2$$

Это количество O_2 не прореагировало.

$$\nu(O_2)_{изб} = (0{,}75y + x) - 0{,}25(3y + 2x) = 0{,}5x$$

$$x = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(Hg(NO_3)_2) = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$m(Hg(NO_3)_2) = 0{,}03 \cdot 325 = 9{,}75 \text{ г}$$

$$\omega(Hg(NO_3)_2) = 9{,}75 : 22{,}53 = 0{,}43, \text{ или } 43\%$$

$$\omega(Al(NO_3)_3) = 1 - 0{,}43 = 0{,}57, \text{ или } 57\%$$

Ответ. 43% $Hg(NO_3)_2$, 57% $Al(NO_3)_3$.

6.

$$\underset{x}{CH_4} + 2O_2 \rightarrow \underset{x}{CO_2} + \underset{2x}{2H_2O}$$

$$\underset{y}{C_2H_6} + 3{,}5O_2 \rightarrow \underset{2y}{2CO_2} + \underset{3y}{3H_2O}$$

Масса хлоркальциевой трубки увеличилась в результате поглощения паров воды.

$$m(H_2O) = 0{,}306 \text{ г}$$

$$\nu(H_2O) = 0{,}306 : 18 = 0{,}017 \text{ моль}$$

Решим систему уравнений:

$$\begin{cases} 891x + 1561y = 8{,}25 \\ 2x + 3y = 0{,}017 \end{cases}$$

$$x = 0{,}004 \text{ моль}; \; y = 0{,}003 \text{ моль}$$

При сгорании образуется CO_2 в количестве:

$$\nu(CO_2) = x + 2y = 0{,}004 + 2 \cdot 0{,}003 = 0{,}01 \text{ моль}$$

Углекислый газ поглощается водой.

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

$$c(H_2CO_3)_{исх} = \nu : V = 0{,}01 \text{ моль/л}$$

Слабая угольная кислота в растворе диссоциирует:

$$\underset{0{,}01 - z}{H_2CO_3} \rightleftarrows \underset{z}{H^+} + \underset{z}{HCO_3^-}$$

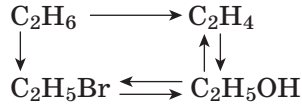
$$K_{\text{дисс}} = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = \frac{z^2}{0{,}01 - z} \approx \frac{z^2}{0{,}01} = 4{,}27 \cdot 10^{-7}$$

$$[H^+] = \sqrt{0{,}01 \cdot 4{,}27 \cdot 10^{-7}} = 6{,}535 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 4{,}2$$

Ответ. pH = 4,2.

7. Приведем один из вариантов ответа.



1) $C_2H_6 \xrightarrow{Ni,\,600\,^\circ C} C_2H_4 + H_2$

2) $C_2H_4 + H_2O \xrightarrow{H^+} C_2H_5OH$

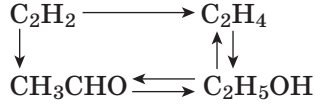
3) $C_2H_5OH \xrightarrow[H_2SO_4(\text{конц.})]{t>170\,^\circ C} C_2H_4 + H_2O$

4) $C_2H_5OH + HBr \rightarrow C_2H_5Br + H_2O$

5) $C_2H_5Br + NaOH \xrightarrow{H_2O} C_2H_5OH + NaBr$

6) $C_2H_6 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} C_2H_5Br + HBr$

Другой вариант.



8. Приведем один из вариантов ответа.

1) $Mn(NO_3)_2 \xrightarrow{t} MnO_2 + 2NO_2\uparrow$

2) $2MnO_2 + O_2 + 4KOH \xrightarrow{\text{сплавление}} 2K_2MnO_4 + 2H_2O$

3) $2K_2MnO_4 + Cl_2 \rightarrow 2KMnO_4 + 2KCl$

4) $2KMnO_4 + 5H_2S + 3H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4 + 5S\downarrow + K_2SO_4 + 8H_2O$

5) $S + Fe \xrightarrow{t} FeS$

6) $4FeS + 7O_2 \xrightarrow{t} 4SO_2\uparrow + 2Fe_2O_3$

Ответ. **X** — K_2MnO_4, **Y** — S.

9. Карбоновая кислота может быть одноосновной или многоосновной. Пусть n — основность кислоты.

$$R(COOH)_n + nC_3H_7OH \rightarrow R(COOC_3H_7)_n + nH_2O$$

$$R(COOH)_n + nKOH \rightarrow R(COOK)_n + nH_2O$$

$$m(\text{эфира})_{\text{теор}} = 28 : 0{,}7 = 40 \text{ г}$$

$$\nu(\text{кислоты}) = \nu(\text{соли}) = \nu(\text{эфира})$$

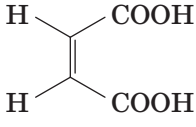
$$m(\text{соли}) : M(\text{соли}) = m(\text{эфира}) : M(\text{эфира})$$

Молярную массу радикала R обозначим x.

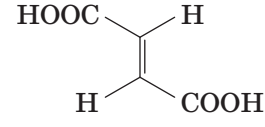
$$\frac{34{,}8}{x + 83n} = \frac{40}{x + 87n}$$

$$x = 13n$$

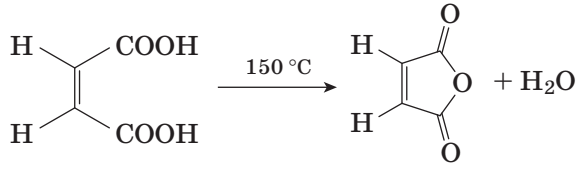
При $n = 1$ $x = 13$ (такого радикала нет). При $n = 2$ $x = 26$; это радикал —CH=CH—. Малеиновая или фумаровая кислота (*цис-* или *транс*-изомер).

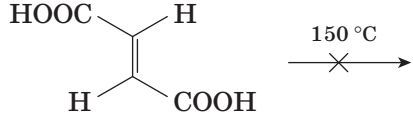


малеиновая кислота



фумаровая кислота





10. Одно из реагирующих веществ определяем по его молярной массе.

$$M = D_{HF} \cdot M(HF) = 1{,}9 \cdot 20 = 38 \text{ г/моль}$$

Это F_2 — светло-желтый газ.

Фтор — самый сильный неорганический окислитель, поэтому вещество, которое вступает с фтором в реакцию, всегда восстановитель. Второе простое вещество-восстановитель обозначим **Z**.

$$Z + {}^{n}/_{2}F_2 \rightarrow ZF_n$$

где $n = 1, 2, 3 \ldots$ — степень окисления элемента **Z**.

Предположим, что в продукте $\mathbf{ZF}_n$ фтор — более легкий элемент.

$$\omega(\mathbf{Z}) = \frac{M_Z}{M_Z + 19n} = 0{,}5839$$

$$M_Z = 26{,}7n$$

Если $n = 1$, то $M_Z = 26{,}7$ г/моль. Элемента с такой молярной массой и степенью окисления +1 нет.

Если $n = 2$, то $M_Z = 53{,}3$ г/моль. Такого элемента нет.

Если $n = 3$, то $M_Z = 80$ г/моль. Это бром Br.

$$Br_2 + 3F_2 \rightarrow 2BrF_3$$

BrF_3 — светло-желтая жидкость.

$$\underset{}{3BrF_3} + 12NaOH \rightarrow 9NaF + \underset{9x}{NaBr} + \underset{x}{2NaBrO_3} + \underset{2x}{6H_2O}$$

Это реакция диспропорционирования, в которой образуется $NaBrO_3$ в количестве:

$$2x = 2 \cdot 0{,}0215 = 0{,}043 \text{ моль}$$

При электролизе полученного раствора на аноде окисляются только бромид-ионы (фторид-ионы не окисляются!).

$$\underset{x}{2NaBr} + 2H_2O \xrightarrow{\text{электролиз}} \underset{0{,}5x}{Br_2}\text{(на аноде)} + 2NaOH + H_2\uparrow\text{(на катоде)}$$

По условию, масса выделившегося на аноде брома:

$$m(Br_2) = 0{,}5x \cdot 160 = 1{,}72$$

$$x = 0{,}0215 \text{ моль}$$

Сульфит натрия окисляется броматом натрия $NaBrO_3$:

$$3Na_2SO_3 + NaBrO_3 \rightarrow 3Na_2SO_4 + NaBr$$

$$\nu(Na_2SO_3) = 3\nu(NaBrO_3) = 3 \cdot 0{,}043 = 0{,}129 \text{ моль}$$

$$m(Na_2SO_3) = 0{,}129 \cdot 126 = 16{,}25 \text{ г}$$

Ответ. 16,25 г.

ВАРИАНТ 2

1. Рассчитаем заряд ядра элемента **Э**: $Z = 34 - (2 \cdot 8 + 1) = 17$. Элемент **Э** — это хлор, анион — ClO_2^-. В состав хлористой кислоты $HClO_2$ входит хлор в степени окисления +3:

$$H—O—Cl{=}O$$

2. $[Cu(NH_3)_4](OH)_2$ — гидроксид тетраамминмеди(II).

3. $NaBrO_3 + RbCl \to RbClO_3\downarrow + NaCl$

Исходные количества солей:

$$\nu(NaBrO_3) = c \cdot V = 0{,}5 \cdot 0{,}2 = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$\nu(RbCl) = 0{,}25 \cdot 0{,}1 = 0{,}025 \text{ моль}$$

Объем полученного раствора: $0{,}2 + 0{,}1 = 0{,}3$ л (объем осадка не учитываем).

Пусть количество осадка $RbBrO_3$ x моль. В насыщенном растворе (над осадком) произведение концентраций ионов Rb^+ и ClO_3^- равно произведению растворимости $RbBrO_3$.

$$ПР = [Rb^+] \cdot [ClO_3^-] = \frac{(0{,}1 - x)}{0{,}3} \cdot \frac{(0{,}025 - x)}{0{,}3} = 2{,}0 \cdot 10^{-2}$$

После преобразований получаем квадратное уравнение.

$$x^2 - 0{,}125x + 0{,}0007 = 0$$

$$x_1 = 0{,}0628,\ x_2 = 0{,}006$$

Первый корень не подходит: так как $0{,}0628 > 0{,}025$, получим отрицательную концентрацию бромат-аниона в конечном растворе.

Выбираем второй корень. $\nu(RbBrO_3) = 0{,}006$ моль.

$$m(RbBrO_3) = \nu \cdot M = 0{,}006 \cdot 213 = 1{,}28 \text{ г}$$

Ответ. 1,28 г бромата рубидия.

4. По условию, в составе заданного органического соединения только углерод, водород и кислород.

$$C_xH_yO_z + (2x + y) : 2 - z)O_2 \to xCO_2 + 0{,}5yH_2O$$

В продуктах сгорания массовая доля углерода 15%.

$$m(C) = 0{,}15 \cdot 24 = 3{,}6 \text{ г}$$

$$\nu(C) = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$m(CO_2) = 13{,}2 \text{ г}$$

$$m(H_2O) = 24 - 13{,}2 = 10{,}8 \text{ г}$$

$$\nu(H_2O) = 10{,}8 : 18 = 0{,}6 \text{ моль}$$

$$\nu(H) = 1{,}2 \text{ моль}$$

Важный вывод о продуктах (и исходных веществах):

$$\nu(C) : \nu(H) = 0{,}3 : 1{,}2 = 1 : 4$$

Такое соотношение возможно только при $x = 1$, $y = 4$. Это метан CH_4 и метанол CH_3OH.

Пусть $\nu(CH_4) = n$, $\nu(CH_3OH) = m$. Тогда $n + m = 0{,}3$, так как $\nu(C) = 0{,}3$ моль.

$$0{,}15 = (4n + 4m) : (16n + 32m)$$

$$2n = m$$

$$n = 0{,}1;\ m = 0{,}2$$

Количество и массы исходных веществ:

$$\nu(CH_4) = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$\nu(CH_3OH) = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$m(CH_4) = 1{,}6 \text{ г}$$

$$m(CH_3OH) = 6{,}4 \text{ г}$$

Ответ. 1,6 г CH_4, 6,4 г CH_3OH.

5.

$$\underset{x}{Hg(NO_3)_2} \xrightarrow{t} Hg + \underset{2x}{2NO_2}\uparrow + \underset{x}{O_2}\uparrow$$

$$\underset{y}{4Fe(NO_3)_3} \xrightarrow{t} 2Fe_2O_3 + \underset{3y}{12NO_2}\uparrow + \underset{0{,}75y}{3O_2}\uparrow$$

$$4LiOH + 4NO_2 + O_2 \rightarrow 4LiNO_3 + 2H_2O$$

Газ, прошедший через щелочь, — это избыток O_2.

$$\nu(O_2)_{изб} = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{0{,}489}{0{,}082 \cdot 298} = 0{,}02 \text{ моль } O_2 \text{ (не прореагировало)}$$

$$\nu(O_2)_{изб} = (0{,}75y + x) - 0{,}25(3y + 2x) = 0{,}5x = 0{,}02$$

$$x = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$\nu(Hg(NO_3)_2) = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$m(Hg(NO_3)_2) = 0{,}04 \cdot 325 = 13 \text{ г}$$

$$\omega(Hg(NO_3)_2) = 13 : 17{,}84 = 0{,}73, \text{ или } 73\%$$

$$\omega(Fe(NO_3)_3) = 1 - 0{,}73 = 0{,}27, \text{ или } 27\%$$

Ответ. 73% $Hg(NO_3)_2$, 27% $Fe(NO_3)_3$.

6.

$$\underset{x}{C_2H_6} + 3{,}5O_2 \rightarrow \underset{2x}{2CO_2} + \underset{3x}{3H_2O}$$

$$\underset{y}{C_3H_8} + 5O_2 \rightarrow \underset{3y}{3CO_2} + \underset{4y}{4H_2O}$$

При поглощении паров воды масса хлоркальциевой трубки увеличилась.

$$m(H_2O) = 0{,}279 \text{ г}$$

$$\nu(H_2O) = 0{,}279 : 18 = 0{,}0155 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 1561x + 2222y = 8{,}56 \\ 3x + 4y = 0{,}0155 \end{cases}$$

$$x = 0{,}0005 \text{ моль}$$

$$y = 0{,}0035 \text{ моль}$$

При сгорании образовалось:

$$\nu(CO_2) = 2x + 3y = 0{,}001 + 3 \cdot 0{,}0035 = 0{,}0115 \text{ моль}$$

Углекислый газ поглощается водой:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

$$c(H_2CO_3)_{\text{исх}} = \nu : V = 0{,}0115 : 5 = 0{,}0023 \text{ моль/л}$$

Слабая угольная кислота обратимо диссоциирует:

$$\underset{0{,}0023 - z}{H_2CO_3} \rightleftarrows \underset{z}{H^+} + \underset{z}{HCO_3^-}$$

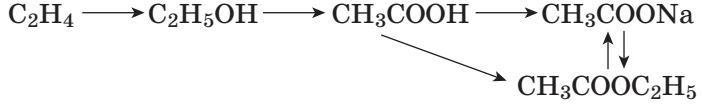
$$K_{\text{дисс}} = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = \frac{z^2}{0{,}0023 - z} \approx \frac{z^2}{0{,}0023} = 4{,}27 \cdot 10^{-7}$$

$$[H^+] = \sqrt{0{,}0023 \cdot 4{,}27 \cdot 10^{-7}} = 3{,}134 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$\text{pH} = -\lg[H^+] = 4{,}5$$

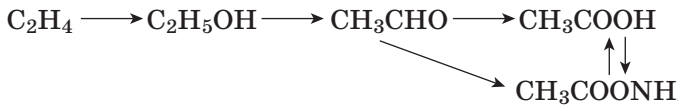
Ответ. pH = 4,5.

7. Приведем возможный вариант решения:



1) $C_2H_4 + H_2O \xrightarrow{H^+} C_2H_5OH$
2) $5C_2H_5OH + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5CH_3COOH + 4MnSO_4 + 2K_2SO_4 + 11H_2O$
3) $CH_3COOH + NaOH(\text{р-р}) \rightarrow CH_3COONa + H_2O$
4) $CH_3COONa + C_2H_5Br \rightarrow CH_3COOC_2H_5 + NaBr$
5) $CH_3COOC_2H_5 + NaOH(\text{водн. р-р}) \rightarrow CH_3COONa + C_2H_5OH$
6) $CH_3COOH + C_2H_5OH \xrightarrow{H^+} CH_3COOC_2H_5 + H_2O$

Другой вариант.



8. Приведем возможный вариант ответа.

1) $2KClO_3 \xrightarrow{t} 2KCl + 3O_2\uparrow$

2) $2KCl + 2H_2O \xrightarrow{\text{электролиз р-ра, диафрагма}} H_2\uparrow + Cl_2\uparrow + 2KOH$

3) $4KOH(р\text{-}р) + Al(NO_3)_3 \rightarrow K[Al(OH)_4] + 3KNO_3$

или

$KOH(р\text{-}р) + Al(OH)_3 \rightarrow K[Al(OH)_4]$

4) $K[Al(OH)_4] + 4HCl \rightarrow KCl + AlCl_3 + 4H_2O$

5) $2AlCl_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O \xrightarrow{t} 2Al(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 6NaCl$

6) $Al(OH)_3(т) + KOH(т) \xrightarrow{t} KAlO_2 + 2H_2O$

Ответ. **X** — KOH, **Y** — $Al(OH)_3$.

9. Карбоновая кислота может быть одноосновной или многоосновной. Пусть n — основность кислоты.

$$R(COOH)_n + nC_4H_9OH \rightarrow R(COOC_4H_9)_n + nH_2O$$

$$R(COOH)_n + 0{,}5nBa(OH)_2 \rightarrow R(COO)_nBa_{0,5n} + nH_2O$$

$$m(\text{эфира})_{\text{теор}} = 6{,}48 : 0{,}75 = 8{,}64 \text{ г}$$

$$\nu(\text{кислоты}) = \nu(\text{соли}) = \nu(\text{эфира})$$

$$m(\text{соли}) : M(\text{соли}) = m(\text{эфира}) : M(\text{эфира})$$

Пусть x — молярная масса радикала R.

$$\frac{9{,}56}{x + 112{,}5n} = \frac{8{,}64}{x + 101n}$$

$$x = 7n$$

При $n = 1$ получаем $x = 7$. Такого радикала нет.

При $n = 2$ $x = 14$. Радикал —CH_2—, т. е. это малоновая кислота:

$$HOOC—CH_2—COOH$$

$$HOOC—CH_2—COOH \xrightarrow{t} CH_3COOH + CO_2$$

10. Одно из реагирующих веществ определяем по его молярной массе:

$$M = D_{N_2} \cdot M(N_2) = 9{,}07 \cdot 28 = 254 \text{ г/моль}$$

Это иод I_2 — блестящие черные кристаллы.

С веществом **Z** иод может реагировать как восстановитель или как окислитель. Если I_2 — восстановитель, то **Z** — окислитель.

$$I_2 + 2n\mathbf{Z} \rightarrow 2I\mathbf{Z}_n$$

Логично, что в этом соединении иод — более тяжелый элемент.

$$\omega(\mathbf{Z}) = \frac{nM_{\mathbf{Z}}}{nM_{\mathbf{Z}} + 127} = 0{,}21846$$

$$0{,}78154nM_{\mathbf{Z}} = 27{,}74442$$

Если $n = 1$, то $M_{\mathbf{Z}} = 35{,}5$ г/моль. Это хлор.

Два простых вещества I_2 и Cl_2 вступают в реакцию с образованием кристаллов красного цвета ICl.

$$I_2 + Cl_2 \rightarrow 2ICl$$

При взаимодействии ICl со щёлочью происходит реакция диспропорционирования I^+ с образованием x моль NaI, $1{,}5x$ моль NaCl и $0{,}5x$ моль $NaIO_3$.

$$\underset{}{3ICl} + 6NaOH \rightarrow \underset{1{,}5x}{3NaCl} + \underset{x}{2NaI} + \underset{0{,}5x}{NaIO_3} + 3H_2O$$

При электролизе полученного раствора в результате окисления иодид- и хлорид-ионов (иодат натрия электролизу не подвергается и по окончании электролиза остается в растворе) на аноде выделяются I_2 и Cl_2:

$$\underset{x}{2NaI} + 2H_2O \xrightarrow{\text{электролиз}} \underset{0{,}5x}{I_2}(\text{на аноде}) + 2NaOH + H_2\uparrow(\text{на катоде})$$

$$\underset{1{,}5x}{2NaCl} + 2H_2O \xrightarrow{\text{электролиз}} \underset{0{,}75x}{Cl_2}(\text{на аноде}) + 2NaOH + H_2\uparrow(\text{на катоде})$$

Масса продуктов, выделившихся на аноде:

$$m = m(I_2) + m(Cl_2) = 0{,}5x \cdot 254 + 0{,}75x \cdot 71 = 7{,}21$$

$$x = 0{,}04 \text{ моль}$$

Сернистый газ окисляется иодатом натрия $NaIO_3$, количество которого в растворе:

$$\nu = 0{,}5x = 0{,}5 \cdot 0{,}04 = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$3SO_2 + NaIO_3 + 6NaOH \rightarrow 3Na_2SO_4 + NaI + 3H_2O$$

$$\nu(SO_2) = 3\nu(NaIO_3) = 3 \cdot 0{,}02 = 0{,}06 \text{ моль}$$

$$V(SO_2) = 0{,}06 \cdot 22{,}4 = 1{,}344 \text{ л}$$

Ответ. 1,344 л.

5–9 КЛАССЫ

1. $M_r(O_2) = 16 \cdot 2 = 32$
$M_r(S_n) = 32 \cdot 8 = 256$
$n = M_r(S_n) : A_r(S) = 256 : 32 = 8$

Ответ. S_8.

2. H_2S или H_2O_2.

3. Таких элементов пять.

Элемент № 44 рутений Ru — в честь латинского названия России Ruthenia.

Элемент № 62 самарий Sm — от минерала самарскит, названного в честь российского горного инженера В.Е. Самарского-Быховца.

Элемент № 101 менделевий Md — в честь Д.И. Менделеева.

Элемент № 105 дубний Db — в честь российского наукограда Дубна, где находится Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ).

Элемент № 114 флеровий Fl — в честь российского физика-ядерщика Г.Н. Флёрова, основателя ОИЯИ.

4. $KNO_3 \rightarrow K^+ + NO_3^-$

$Al(NO_3)_3 \rightarrow Al^{3+} + 3NO_3^-$

$\nu_1(NO_3^-) = \nu(K^+) = 1{,}2$ моль

$\nu_2(NO_3^-) = \nu_{общ}(NO_3^-) - \nu_1(NO_3^-) = 1{,}8 - 1{,}2 = 0{,}6$ моль

$\nu(Al^{3+}) = \nu_2(NO_3^-) : 3 = 0{,}2$ моль

Ответ. 0,2 моль.

5. Нитрат аммония NH_4NO_3. В ионе NH_4^+ степень окисления азота -3, в ионе NO_3^- $+5$.

$NH_4NO_3 \xrightarrow{t} N_2O + 2H_2O$ (разложение при нагревании)

$NH_4NO_3 + KOH \rightarrow KNO_3 + NH_3 + H_2O$

6. **Z** — кислород, **X** — азот, **Y** — сера.

$$NO_2 + SO_2 \rightarrow SO_3 + NO$$

7. а) **X** — SO_2.

$Cu + 2H_2SO_4(конц.) \rightarrow CuSO_4 + SO_2\uparrow + H_2O$

$SO_2 + H_2O_2 \rightarrow H_2SO_4$

б) **Y** — HNO_3.

$4NO_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4HNO_3$

$Cu + 4HNO_3(конц.) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$

в) **Z** — Na_2O_2.

$O_2 + 2Na \rightarrow Na_2O_2$

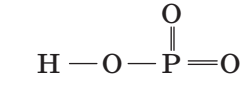
$2Na_2O_2 + 2CO_2 \rightarrow 2Na_2CO_3 + O_2$

г) **Q** — HCl.

$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$

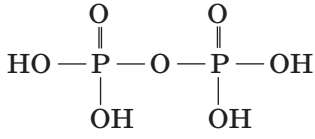
$2HCl + Zn \rightarrow ZnCl_2 + H_2\uparrow$

8. $P_2O_5 + H_2O \rightarrow 2HPO_3$



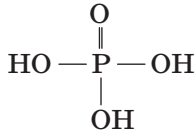
метафосфорная кислота

$P_2O_5 + 2H_2O \rightarrow H_4P_2O_7$



пирофосфорная кислота

$P_2O_5 + 3H_2O \rightarrow 2H_3PO_4$



ортофосфорная кислота

9. Перегонкой сжиженного воздуха получаем N_2 и O_2, электролизом расплава поваренной соли получаем Na и Cl_2. Далее:

а) $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$

б) $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$

в) $N_2 + 3H_2 \xrightleftharpoons{p,\text{ катализатор}} 2NH_3$

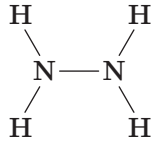
$NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl$

г) $4NH_3 + 5O_2 \xrightarrow{\text{катализатор}} 4NO + 6H_2O$

$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$

д) $2Na + O_2 \rightarrow Na_2O_2$
$Na_2O_2 + 2Na \rightarrow 2Na_2O$

10. **X** — это гидразин N_2H_4:



Реакция получения гидразина:

$$2NH_3 + H_2O_2 \rightarrow N_2H_4 + 2H_2O$$

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

1. Например, $CuSO_4$ (Cu^{2+}) и Cu_2O (Cu^{+}).

$$Cu + 2H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow CuSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$CH_3CHO + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} CH_3COOH + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$$

2. Количество нитрита лития в 200 г 1,06%-го раствора:

$$\nu(LiNO_2) = \frac{200 \cdot 0{,}0106}{53} = 0{,}04 \text{ моль}$$

$\nu(LiNO_2) = \nu(LiNO_2 \cdot H_2O)$. Для приготовления раствора необходимо:

$$m(LiNO_2 \cdot H_2O) = 0{,}04 \cdot 71 = 2{,}84 \text{ г}$$

$$c(LiNO_2) = \frac{\nu}{V(\text{р-ра})}$$

$$V = m : \rho = 200 : 1{,}01 = 198 \text{ мл} = 0{,}198 \text{ л}$$

$$c(LiNO_2) = 0{,}04 : 0{,}198 = 0{,}2 \text{ моль/л}$$

Ответ. 2,84 г. 0,2 моль/л.

3. $\nu(C_nH_{2n+2}) = V : V_m = 1{,}008 : 22{,}4 = 0{,}045$ моль

$\nu(Ba(OH)_2) = \omega \cdot m(\text{р-ра}) : M = 0{,}019 \cdot 540 : 171 = 0{,}06$ моль

$\nu(BaCO_3) = m : M = 5{,}91 : 197 = 0{,}03$ моль

$$C_nH_{2n+2} + \frac{3n+1}{2}O_2 \to nCO_2 + (n+1)H_2O$$

$$\nu(CO_2) = 0{,}045n(\text{моль})$$

Предположим, что при сжигании образовалось недостаточное количество углекислого газа. Тогда в реакции с баритовой водой CO_2 в недостатке.

$$\nu(CO_2) = \nu(BaCO_3)$$

$$\nu(C_nH_{2n+2}) = \nu(CO_2) : n$$

$$n = \nu(CO_2) : \nu(C_nH_{2n+2}) = \nu(BaCO_3) : \nu(C_nH_{2n+2}) = 0{,}03 : 0{,}045 = 0{,}667$$

Но в формуле C_nH_{2n+2} n всегда целое число, поэтому наше предположение неверно.

Исходное количество гидроксида бария 0,06 моль больше количества карбоната бария 0,03 моль, выпавшего в осадок. Отсюда следует, что углекислый газ в избытке и при его прохождении через раствор $Ba(OH)_2$ вначале выпадает осадок $BaCO_3$, который затем частично растворяется.

$$\underset{0{,}06}{Ba(OH)_2} + \underset{0{,}06}{CO_2} \to \underset{0{,}06}{BaCO_3}\downarrow + H_2O$$

$$\underset{x}{BaCO_3} + \underset{x}{CO_2} + H_2O \to \underset{x}{Ba(HCO_3)_2}$$

$$x = 0{,}06 - 0{,}03 = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(CO_2) = 0{,}06 + 0{,}03 = 0{,}09 \text{ моль}$$

$$n = \nu(CO_2) : \nu(C_nH_{2n+2}) = 0{,}09 : 0{,}045 = 2$$

Формула углеводорода C_2H_6; это этан.

Ответ. Этан C_2H_6.

4. Из галогенидов магния не растворяется в воде только MgF_2. Поэтому одна из солей — фторид натрия NaF.

$$\underset{x}{2NaF} + MgSO_4 \to \underset{0{,}5x}{MgF_2}\downarrow + Na_2SO_4$$

$$m(MgF_2) = 62 \cdot 0{,}5x = 31x$$

Второй галогенид NaHal реагирует с нитратом серебра, давая осадок.

$$\underset{x}{NaHal} + AgNO_3 \to \underset{x}{AgHal}\downarrow + NaNO_3$$

Пусть M — атомная масса неизвестного галогена Hal.

$$6{,}065 \cdot 31x = (108 + M)x$$

$M \approx 80$. Это бром Br. Искомые галогениды: NaF и NaBr.

Ответ. NaF и NaBr.

5. Плотность газовой смеси по гелию 2,125.

$$M_{ср} = 2{,}125 \cdot 4 = 8{,}5 \text{ г/моль}$$

Пусть количество газовой смеси 1 моль. После реакции оно уменьшилось на 10%, т. е. 0,9 моль. Если количество N_2 в исходной смеси газов x моль, то количество H_2 $(1 - x)$ моль.

$$8{,}5 = 28\ x + 2(1 - x)$$

$$x = 0{,}25$$

$$\nu(N_2) = 0{,}25 \text{ моль}, \ \nu(H_2) = 0{,}75 \text{ моль}$$

	N_2	+ $3H_2$	$\rightleftarrows$	$2NH_3$
В исходной смеси	0,25	0,75		0
Прореагировало	a	$3a$		
В равновесной смеси	$(0{,}25 - a)$	$(0{,}75 - 3a)$		$2a$

$$0{,}9 = (0{,}25 - a) + (0{,}75 - 3a) + 2a$$

$$a = 0{,}05$$

Итак, в равновесной смеси 0,2 моль N_2, 0,6 моль H_2 и 0,1 моль NH_3.

Степень превращения азота в аммиак:

$$\eta = 0{,}05 : 0{,}25 = 0{,}2, \text{ или } 20\%$$

Аммиака в смеси:

$$\varphi(NH_3) = 0{,}1 : 0{,}9 = 0{,}111, \text{ или } 11{,}1\%$$

Ответ. $\eta = 20\%$; 11,1% NH_3.

6. Пусть по достижении равновесия прореагировало по z моль веществ $\mathbf{A_2}$ и $\mathbf{B_2}$.

	$\mathbf{A_2}$	+ $\mathbf{B_2}$	$\rightleftarrows$	$2\mathbf{AB}$
	$0{,}25 - z$	$0{,}45 - z$		$2z$

Скорость расходования вещества $\mathbf{B_2}$ за 25 минут:

$$\upsilon = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{\Delta \nu}{V \cdot \Delta t} = \frac{z}{8 \cdot 25} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/(л} \cdot \text{мин)}$$

$z = 0{,}2$ моль

$$K_{\text{равн}} = \frac{[\mathbf{AB}]^2}{[\mathbf{A_2}][\mathbf{B_2}]} = \frac{\nu(\mathbf{AB})^2}{\nu(\mathbf{A_2}) \cdot \nu(\mathbf{B_2})} = \frac{(2z)^2}{(0{,}25 - z)(0{,}45 - z)} = \frac{0{,}16}{0{,}05 \cdot 0{,}25} = 12{,}8$$

Мольные (объемные) доли всех веществ в равновесной смеси:

$$\varphi(\mathbf{A_2}) = 0{,}05 : 0{,}7 = 0{,}071, \text{ или } 7{,}1\%$$

$$\varphi(\mathbf{B_2}) = 0{,}25 : 0{,}7 = 0{,}357, \text{ или } 35{,}7\%$$

$$\varphi(\mathbf{AB}) = 0{,}4 : 0{,}7 = 0{,}572, \text{ или } 57{,}2\%$$

Рассчитаем отношение скоростей реакции в начальный момент и по достижении равновесия.

$$\frac{v_{\text{нач}}}{v_{\text{равн}}} = \frac{k \cdot c(\mathbf{A_2})_{\text{нач}} \cdot c(\mathbf{B_2})_{\text{нач}}}{k \cdot c(\mathbf{A_2})_{\text{равн}} \cdot c(\mathbf{B_2})_{\text{равн}}} = \frac{0{,}25 \cdot 0{,}45}{0{,}05 \cdot 0{,}25} = 9$$

Ответ. 7,1% $\mathbf{A_2}$, 35,7% $\mathbf{B_2}$, 57,2% **AB**. $K_{\text{равн}} = 12{,}8$. Скорость реакции уменьшилась в 9 раз.

7. Приведем один варианта ответа.

1) $CH_3COCH_3 + H_2 \xrightarrow{Ni} (CH_3)_2CHOH$

2) $(CH_3)_2CHOH \xrightarrow{H_2SO_4,\,200\,^\circ C} CH_3CH{=}CH_2 + H_2O$

3) $CH_3CH{=}CH_2 + HBr \xrightarrow{H_2O_2} CH_3CH_2CH_2Br$

4) $CH_3CH_2CH_2Br + KOH \xrightarrow{H_2O} CH_3CH_2CH_2OH + KBr$

5) $CH_3CH_2CH_2OH + CuO \xrightarrow{t} CH_3CH_2CHO + H_2O + Cu$

6) $2CH_3CH_2CHO + O_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COOH$

Ответ. **X** — пропанол-2 $(CH_3)_2CHOH$; **Y** — пропаналь CH_3CH_2CHO.

8. 1) $2FeCl_3 + Fe \xrightarrow{t} 3FeCl_2$

или

$2FeCl_3 + H_2 \xrightarrow{t} 2FeCl_2 + 2HCl$

2) $FeCl_2 + (NH_4)_2S(\text{р-р}) \rightarrow FeS\downarrow + 2NH_4Cl$

3) $FeS + H_2SO_4(\text{р-р}) \rightarrow H_2S\uparrow + FeSO_4$

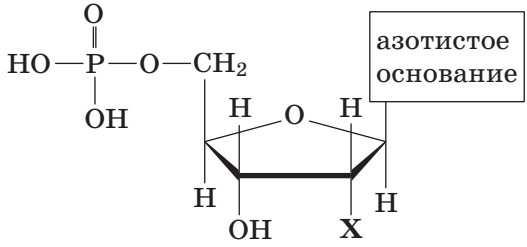
4) $FeSO_4 + 6KCN(\text{конц.}) \rightarrow K_4[Fe(CN)_6] + K_2SO_4$

5) $2H_2S + SO_2 \rightarrow 3S + 2H_2O$

6) $S + 6HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} H_2SO_4 + 6NO_2\uparrow + 2H_2O$

Ответ. **X** — $FeSO_4$, **Y** — S.

9. Формула нуклеотида в общем виде:



Для рибонуклеотидов **X** = OH, для дезоксирибонуклеотидов **X** = H.

Полный гидролиз нуклеотида протекает по схеме:

$$\text{нуклеотид} + 2H_2O \rightarrow H_3PO_4 + \text{углевод} + \text{азотистое основание}$$

В реакцию нейтрализации вступает только фосфорная кислота:

$$3KOH + H_3PO_4 \rightarrow K_3PO_4 + 3H_2O$$

$$\nu(KOH) = 0{,}024 \cdot 0{,}25 = 0{,}006 \text{ моль}$$

$$\nu(H_3PO_4) = \nu(\text{нуклеотида}) = 0{,}002 \text{ моль}$$

$$M(\text{нуклеотида}) = 0{,}726 : 0{,}002 = 363 \text{ г/моль}$$

При сжигании смеси органических продуктов гидролиза образуются CO_2, H_2O и N_2. В сосуде с известковой водой выпадает осадок карбоната кальция:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow$$

$$\nu(CaCO_3) = \nu(CO_2) = 2 : 100 = 0{,}02 \text{ моль} = \nu(C)$$

Концентрированная серная кислота поглощает пары воды, раскаленная медь связывает избыток кислорода.

$$2Cu + O_2 \xrightarrow{t} 2CuO$$

Не поглощается азот N_2.

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}129}{8{,}31 \cdot 315} = 0{,}005 \text{ моль}$$

$$\nu(N) = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$\nu(C) : \nu(N) = 0{,}02 : 0{,}01 = 2$$

Итак, в молекуле нуклеотида на один атом азота приходится два атома углерода. Такое соотношение между азотом и углеродом в нуклеотиде возможно, только если азотистое основание — аденин $C_5H_5N_5$ или гуанин $C_5H_5N_5O$. Если основание — аденин, на остаток

углевода остается 363 − 97 − 134 = 132 г/моль; молярная масса этого углевода:

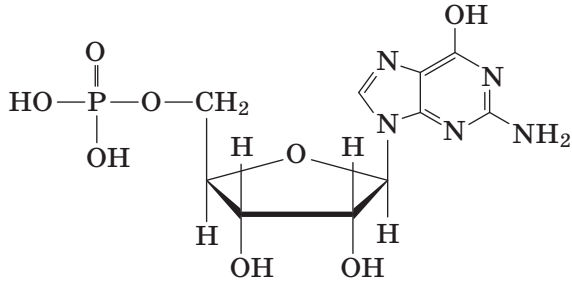
$$132 + 17 \cdot 2 = 166 \text{ г/моль}$$

Это значение не соответствует ни рибозе (150 г/моль), ни дезоксирибозе (134 г/моль).

Если азотистое основание — гуанин, то молярная масса углевода:

$$M = 363 - 97 - 150 + 17 \cdot 2 = 150 \text{ г/моль}$$

Это рибоза. Искомый нуклеотид — гуанозинфосфат:



Реакции сгорания азотистого основания и углевода:

$$2C_5H_5N_5O + 11{,}5O_2 \xrightarrow{t} 10CO_2 + 5H_2O + 5N_2$$

$$C_5H_{10}O_5 + 5O_2 \xrightarrow{t} 5CO_2 + 5H_2O$$

Ответ. Гуанозинфосфат.

10. $MnO_2 + 4HCl(\text{конц.}) \rightarrow MnCl_2 + Cl_2\uparrow + 2H_2O$

$Zn(OH)_2 + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + 2H_2O$

Выделяется газообразный хлор.

$\nu(Cl_2) = V(Cl_2) : V_m = 1{,}12 : 22{,}4 = 0{,}05$ моль

$\nu(MnO_2) = \nu(Cl_2) = 0{,}05$ моль

$m(MnO_2) = 0{,}05 \cdot 87 = 4{,}35$ г

$m(Zn(OH)_2) = 9{,}3 - m(MnO_2) = 9{,}3 - 4{,}35 = 4{,}95$ г

$\nu(Zn(OH)_2) = m : M = 4{,}95 : 99 = 0{,}05$ моль

$$MnCl_2 + (NH_4)_2S \rightarrow MnS\downarrow + 2NH_4Cl$$

$$ZnCl_2 + (NH_4)_2S \rightarrow ZnS\downarrow + 2NH_4Cl$$

Осадок смеси сульфидов подвергли сжиганию.

$$MnS + 2O_2 \xrightarrow{t} MnO_2 + SO_2$$

$$2ZnS + 3O_2 \xrightarrow{t} 2ZnO + 2SO_2$$

$m(ZnO) = \nu(ZnO) \cdot M(ZnO) = \nu(Zn(OH)_2) \cdot M(ZnO) = 0{,}05 \cdot 81 = 4{,}05$ г

$m(MnO_2) = \nu(MnO_2) \cdot M(MnO_2) = 0{,}05 \cdot 87 = 4{,}35$ г

m(оксидов) $= 4{,}05 + 4{,}35 = 8{,}4$ г

Ответ. 8,4 г.

ВАРИАНТ 2

1. Например, Cr_2O_3 (Cr^{+3}) и $K_2Cr_2O_7$ (Cr^{+6}).

$$4Cr(NO_3)_3 \xrightarrow{t} 2Cr_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$$

$$2K_2CrO_4 + H_2SO_4 \rightarrow K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$$

2. В 120 г 2,29%-го раствора содержится:

$$\nu(CdCl_2) = \frac{120 \cdot 0{,}0229}{183} = 0{,}015 \text{ моль}$$

$$\nu(CdCl_2) = \nu(CdCl_2 \cdot 2H_2O)$$

Для приготовления раствора надо взять:

$$m(CdCl_2 \cdot 2H_2O) = 0{,}015 \cdot 219 = 3{,}285 \text{ г}$$

$$c(CdCl_2) = \frac{\nu}{V(\text{р-ра})}$$

$$V = m/\rho = 120 : 1{,}02 = 117{,}6 \text{ мл} = 0{,}1176 \text{ л}$$

$$c(CdCl_2) = 0{,}015 : 0{,}1176 = 0{,}128 \text{ моль/л}$$

Ответ. 3,2854 г; 0,128 моль/л.

3. $\nu(C_nH_{2n}) = V/V_m = 0{,}560 : 22{,}4 = 0{,}025$ моль

$\nu(Ba(OH)_2) = \omega \cdot m(\text{р-ра}) : M = 0{,}019 \cdot 450 : 171 = 0{,}05$ моль

$\nu(BaCO_3) = m/M = 4{,}925 : 197 = 0{,}025$ моль

$$C_nH_{2n} + 1{,}5nO_2 \rightarrow nCO_2 + nH_2O$$

$\nu(CO_2) = 0{,}025n$ (моль)

Если углекислый газ был в недостатке:

$\nu(CO_2) = \nu(BaCO_3)$

$\nu(C_nH_{2n}) = \nu(CO_2)/n$

$n = \nu(CO_2)/\nu(C_nH_{2n}) = \nu(BaCO_3)/\nu(C_nH_{2n}) = 0{,}025 : 0{,}025 = 1$

Такого алкена не существует.

Количество гидроксида бария больше количества выпавшего карбоната бария: 0,05 моль > 0,025 моль. Отсюда следует, что углекислый газ в избытке.

$$\underset{0,05}{Ba(OH)_2} + \underset{0,05}{CO_2} \rightarrow \underset{0,05}{BaCO_3\downarrow} + H_2O$$

$$\underset{x}{BaCO_3} + \underset{x}{CO_2} + H_2O \rightarrow \underset{x}{Ba(HCO_3)_2}$$

$x = 0,05 - 0,025 = 0,025$ моль

$\nu(CO_2) = 0,05 + 0,025 = 0,075$ моль

$n = \nu(CO_2)/\nu(C_nH_{2n}) = 0,075 : 0,025 = 3$

Формула углеводорода C_3H_6; это пропен.

Ответ. Пропен C_3H_6.

4. Из галогенидов магния не растворяется в воде только MgF_2. Поэтому одна из солей — фторид натрия NaF.

$$\underset{x}{2NaF} + MgSO_4 \rightarrow \underset{0,5x}{MgF_2\downarrow} + Na_2SO_4$$

$m(MgF_2) = 62 \cdot 0,5x = 31x$

Второй галогенид реагирует с нитратом серебра:

$$\underset{x}{NaHal} + AgNO_3 \rightarrow \underset{x}{AgHal\downarrow} + NaNO_3$$

Пусть M — атомная масса неизвестного галогена.

$$4,63 \cdot 31x = (108 + M)x$$

$M \approx 35,5$; это хлор Cl. Искомые соли: NaF и NaCl.

Ответ. NaF и NaCl.

5. Плотность газовой смеси по этану равна 0,6.

$$M_{ср} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ г/моль}$$

Пусть количество газовой смеси 1 моль. После реакции оно уменьшилось на 25%, т. е. 0,75 моль. Если начальное количество C_3H_6 x (моль), то количество H_2 $(1 - x)$ (моль).

$18 = 42x + 2(1 - x)$

$x = 0,4$

$\nu(C_3H_6) = 0,4$ моль, $\nu(H_2) = 0,6$ моль

	C_3H_6	+ H_2	$\rightleftarrows$	C_3H_8
В исходной смеси	0,4	0,6		0
Прореагировало	a	a		
В равновесной смеси	$(0{,}4 - a)$	$(0{,}6 - a)$		a

$$0{,}75 = (0{,}4 - a) + (0{,}6 - a) + a$$

$$a = 0{,}25$$

Итак, в равновесной смеси 0,15 моль C_3H_6, 0,35 моль H_2 и 0,25 моль C_3H_8.

Степень превращения пропена в пропан:

$$\eta = 0{,}25 : 0{,}4 = 0{,}625, \text{ или } 62{,}5\%$$

Содержание пропана в смеси:

$$\varphi = 0{,}25 : 0{,}75 = 0{,}3333, \text{ или } 33{,}33\%$$

Ответ. $\eta = 62{,}5\%$; 33,33% C_3H_8.

6. Пусть вступило в реакцию по x моль $\mathbf{A_2}$ и $\mathbf{B_2}$, образовалось $2x$ моль **AB**.

$$K = \frac{[\mathbf{AB}]^2}{[\mathbf{A_2}][\mathbf{B_2}]} = \frac{\nu(\mathbf{AB})^2}{\nu(\mathbf{A_2})\nu(\mathbf{B_2})} = \frac{(2x)^2}{(0{,}3 - x)(0{,}5 - x)} = 4$$

$$x = 0{,}19$$

Мольные доли участников реакции:

$$\varphi(\mathbf{A_2}) = (0{,}3 - 0{,}19) : 0{,}8 = 0{,}14, \text{ или } 14\%$$

$$\varphi(\mathbf{B_2}) = (0{,}5 - 0{,}19) : 0{,}8 = 0{,}39, \text{ или } 39\%$$

$$\varphi(\mathbf{AB}) = 1 - 0{,}14 - 0{,}39 = 0{,}47, \text{ или } 47\%$$

Средняя скорость образования продукта **AB**:

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{\Delta \nu}{V \cdot \Delta t} = \frac{2 \cdot 0{,}19}{5 \cdot 20} = 3{,}8 \cdot 10^{-3} \text{ моль/(л} \cdot \text{мин)}$$

Отношение скоростей:

$$\frac{v_{\text{нач}}}{v_{\text{равн}}} = \frac{k \cdot c(\mathbf{A_2})_{\text{нач}} \cdot c(\mathbf{B_2})_{\text{нач}}}{k \cdot c(\mathbf{A_2})_{\text{равн}} \cdot c(\mathbf{B_2})_{\text{равн}}} = \frac{0{,}3 \cdot 0{,}5}{0{,}11 \cdot 0{,}31} = 4{,}4$$

Ответ. 14% $\mathbf{A_2}$, 39% $\mathbf{B_2}$, 47% **AB**; $3{,}8 \cdot 10^{-3}$ моль/(л · мин); скорость уменьшается в 4,4 раза.

7. Приведем один вариант ответа.

1) $2CH_3COOCH_3 + Ba(OH)_2 \xrightarrow{H_2O,\,t} (CH_3COO)_2Ba + 2CH_3OH$

2) $(CH_3COO)_2Ba \xrightarrow{450\,^\circ C} CH_3COCH_3 + BaCO_3$

3) $CH_3COCH_3 + CH_3MgI \rightarrow (CH_3)_3COMgI$

4) $(CH_3)_3COMgI + H_2O \xrightarrow{H^+} (CH_3)_3COH + Mg(OH)I$

5) $(CH_3)_3COH + HBr \rightarrow (CH_3)_3CBr + H_2O$

6) $2(CH_3)_3CBr + 2Na \rightarrow (CH_3)_3C{-}C(CH_3)_3 + 2NaBr$

Для первой и второй реакций абитуриенты предложили другие реакции:

1) $CH_3CH_2COOH + 3{,}5O_2 \xrightarrow{t} 3CO_2 + 3H_2O$

2) $CH_3{-}C{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{H^+,\,Hg^{2+}} CH_3COCH_3$

Ответ. **X** — ацетат бария $(CH_3COO)_2Ba$;
Y — 2-бром-2-метилпропан $(CH_3)_3CBr$.

8. 1) $HCOOH \xrightarrow{t,\,H_2SO_4(конц.)} CO\uparrow + H_2O$

2) $CuO + CO \xrightarrow{t} Cu + CO_2\uparrow$

3) $2K_3[Cr(OH)_6] + 3CO_2 \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 3K_2CO_3 + 3H_2O$

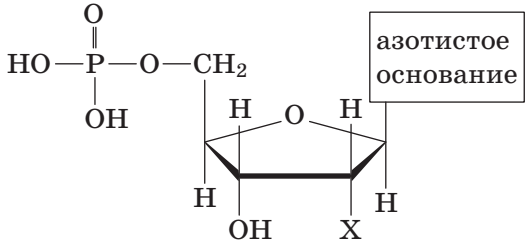
4) $2Cr(OH)_3 + 3Br_2 + 10KOH(р\text{-}р) \xrightarrow{t} 2K_2CrO_4 + 6KBr + 8H_2O$

5) $2K_2CrO_4 + 3SO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 2K_2SO_4 + 2H_2O$

6) $2Cr_2(SO_4)_3 \xrightarrow{t} 2Cr_2O_3 + 6SO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

Ответ. **X** — CO_2, **Y** — $Cr(OH)_3$.

9. Формула нуклеотида в общем виде:



Для рибонуклеотидов **X** = OH; для дезоксирибонуклеотидов **X** = H.

Полный гидролиз нуклеотида протекает по схеме:

нуклеотид + $2H_2O \rightarrow H_3PO_4$ + углевод + азотистое основание

В реакцию нейтрализации вступает только фосфорная кислота.

$$3KOH + H_3PO_4 \rightarrow K_3PO_4 + 3H_2O$$

$$\nu(KOH) = 0{,}36 \cdot 0{,}025 = 0{,}009 \text{ моль}$$

$$\nu(H_3PO_4) = \nu(\text{нуклеотида}) = 0{,}003 \text{ моль}$$

$$M(\text{нуклеотида}) = 0{,}339 : 0{,}003 = 331 \text{ г/моль}$$

При сжигании смеси органических продуктов гидролиза образуется CO_2, H_2O и N_2. Раствор щёлочи (дан в избытке) поглощает углекислый газ:

$$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

$$\nu(CO_2) = m/M = 1{,}32 : 44 = 0{,}03 \text{ моль} = \nu(C)$$

Концентрированная серная кислота поглощает пары воды, раскаленная медь связывает избыток кислорода.

$$2Cu + O_2 \xrightarrow{t} 2CuO$$

Не поглощается азот N_2.

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}183}{8{,}31 \cdot 297} = 0{,}0075 \text{ моль}$$

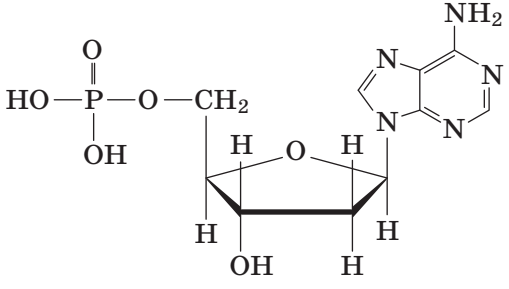
$$\nu(N) = 0{,}015 \text{ моль}$$

$$\nu(C)/\nu(N) = 0{,}03 : 0{,}015 = 2$$

Итак, в молекуле нуклеотида на один атом азота приходится два атома углерода. Такое соотношение возможно, только если азотистое основание — аденин $C_5H_5N_5$ или гуанин $C_5H_5N_5O$. Если основание — аденин, на углеводный остаток остается 331 − 97 − 134 = 100 г/моль; молярная масса углевода:

$$M = 100 + 17 \cdot 2 = 134 \text{ г/моль}$$

Это дезоксирибоза $C_5H_{10}O_4$. Искомый нуклеотид — дезоксиаденозинфосфат:



Реакции сгорания азотистого основания и углевода:

$$2C_5H_5N_5 + 12{,}5O_2 \xrightarrow{t} 10CO_2 + 5H_2O + 5N_2$$

$$C_5H_{10}O_4 + 5{,}5O_2 \xrightarrow{t} 5CO_2 + 5H_2O$$

Ответ. Дезоксиаденозинфосфат.

10. $2Al + 3S \xrightarrow{t} Al_2S_3$

$Zn + S \xrightarrow{t} ZnS$

В воде гидролизуется только сульфид алюминия.

$$Al_2S_3 + 6H_2O \to 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow$$

$ZnS + H_2O \not\longrightarrow$ реакция не идет

Исходное количество серы:

$$\nu(S) = m/M = 9{,}6 : 32 = 0{,}3 \text{ моль}$$

Сера в избытке. В этом можно легко убедиться. Предположим, что смесь металлов массой 5,3 г состоит почти из одного алюминия, более легкого металла, чем цинк; на реакцию образования сульфида алюминия требовалось бы гораздо бóльшее количество серы. Количество алюминия: $5{,}3 : 27 = 0{,}196$ моль. В реакции такого количества алюминия с серой надо в 1,5 раза больше серы, т. е. 0,294 моль (<0,3 моль).

Делаем вывод, что после реакции с металлами остается избыток серы. При обработке водой сера не растворяется. Выразим массу осадка, полученного после реакции сульфидов с водой, обозначив количество алюминия x (моль), количество цинка y (моль):

$$\begin{aligned} m &= m(Al(OH)_3) + m(ZnS) + m(S_{изб}) = \\ &= x \cdot M(Al(OH)_3) + y \cdot M(ZnS) + (0{,}3 - 1{,}5x - y) \cdot M(S) = \\ &= 97y + 78x + 9{,}6 - 32y - 48x = 9{,}6 + 65y + 30x = 15{,}2 \end{aligned}$$

Решим систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} 27x + 65y = 5{,}3 \\ 30x + 65y = 5{,}6 \end{cases}$$

$$x = 0{,}1 \text{ моль}, \; y = 0{,}04 \text{ моль}$$

В нерастворимом осадке количество непрореагировавшей серы:

$$\nu(S_{изб}) = 0{,}3 - 0{,}15 - 0{,}04 = 0{,}11 \text{ моль}$$

$Al(OH)_3 + 3HNO_3 \to Al(NO_3)_3 + 3H_2O$

$ZnS + 10HNO_3(конц.) \to Zn(NO_3)_2 + H_2SO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$

$S + 6HNO_3(конц.) \to H_2SO_4 + 6NO_2\uparrow + 2H_2O$

Бурый газ — это оксид азота(IV); его объем:

$$V(NO_2) = \nu(NO_2) \cdot V_m = (8 \cdot 0{,}04 + 6 \cdot 0{,}11) \cdot 22{,}4 = 21{,}95 \text{ л}$$

Ответ. 21,95 л.

ВАРИАНТ 3

1. Например, H_2O (O^{2-}) и H_2O_2 (O^{1-}).

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

$$BaO_2 + H_2SO_4(\text{разб.}) \rightarrow H_2O_2 + BaSO_4\downarrow$$

2. В 160 г 1,40%-го раствора содержится бромида меди:

$$\nu(CuBr_2) = \frac{160 \cdot 0{,}014}{224} = 0{,}01 \text{ моль}$$

$\nu(CuBr_2) = \nu(CuBr_2 \cdot H_2O)$. Для приготовления раствора надо взять:

$$m(CuBr_2 \cdot H_2O) = 0{,}01 \cdot 242 = 2{,}42 \text{ г}$$

$$c(CuBr_2) = \frac{\nu}{V(\text{р-ра})}$$

$$V = m/\rho = 160 : 1{,}01 = 1584 \text{ мл} = 0{,}1584 \text{ л}$$

$$c(CuBr_2) = 0{,}01 : 0{,}1584 = 0{,}063 \text{ моль/л}$$

Ответ. 2,42 г. 0,063 моль/л.

3. $\nu(C_nH_{2n}) = V/V_m = 0{,}448 : 22{,}4 = 0{,}02$ моль

$\nu(Ba(OH)_2) = \omega \cdot m$ (р-ра)$/M = 0{,}0095 \cdot 540 : 171 = 0{,}03$ моль

$\nu(BaCO_3) = m/M = 3{,}94 : 197 = 0{,}02$ моль

$$C_nH_{2n} + 1{,}5nO_2 \rightarrow nCO_2 + nH_2O$$

$$\nu(CO_2) = 0{,}02\ n \text{ моль}$$

Углекислый газ в недостатке.

$\nu(CO_2) = \nu(BaCO_3)$

$\nu(C_nH_{2n}) = \nu(CO_2)/n$

$n = \nu(CO_2)/\nu(C_nH_{2n}) = \nu(BaCO_3)/\nu(C_nH_{2n}) = 0{,}02 : 0{,}02 = 1$

Такого алкена не существует.

Количество гидроксида бария больше количества выпавшего карбоната бария: 0,03 моль > 0,02 моль. Отсюда следует, что углекислый газ в избытке.

$$\underset{0{,}03}{Ba(OH)_2} + \underset{0{,}03}{CO_2} \rightarrow \underset{0{,}03}{BaCO_3}\downarrow + H_2O$$

$$\underset{x}{BaCO_3} + \underset{x}{CO_2} + H_2O \rightarrow \underset{x}{Ba(HCO_3)_2}$$

$$x = 0{,}03 - 0{,}02 = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$\nu(CO_2) = 0{,}03 + 0{,}01 = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$n = \nu(CO_2)/\nu(C_nH_{2n}) = 0{,}04 : 0{,}02 = 2$$

Формула углеводорода C_2H_4; это этилен.

Ответ. Этилен C_2H_4.

4. Из галогенидов магния не растворяется в воде только MgF_2. Поэтому одна из солей — фторид натрия NaF.

$$\underset{x}{2NaF} + MgSO_4 \rightarrow \underset{0{,}5x}{MgF_2\downarrow} + Na_2SO_4$$

$$m(MgF_2) = 62 \cdot 0{,}5x = 31x$$

Второй галогенид реагирует с нитратом серебра:

$$\underset{x}{NaHal} + AgNO_3 \rightarrow \underset{x}{AgHal\downarrow} + NaNO_3$$

$$7{,}58 \cdot 31x = (108 + M)x$$

где M — атомная масса неизвестного галогена. $M \approx 127$; это иод I. Искомые соли: NaF и NaI.

Ответ. NaF и NaI.

5. Плотность газовой смеси по азоту 0,35.

$$M_{ср} = 0{,}35 \cdot 28 = 9{,}8 \text{ г/моль}$$

Пусть количество исходной газовой смеси 1 моль, после реакции на 6% меньше, т. е. 0,94 моль. Пусть начальное количество CO x (моль), количество H_2 $(1 - x)$ (моль).

$$9{,}8 = 28\ x + 2(1 - x)$$

$$x = 0{,}3$$

$\nu(CO) = 0{,}3$ моль, $\nu(H_2) = 0{,}7$ моль.

	CO	+	$2H_2$	$\rightleftarrows$	CH_3OH
В исходной смеси	0,3		0,7		0
Прореагировало	x		$2x$		
В равновесной смеси	$(0{,}3 - x)$		$(0{,}7 - 2x)$		x

$$0{,}94 = (0{,}3 - x) + (0{,}7 - 2x) + x$$

$$x = 0{,}03$$

Итак, в равновесной смеси: 0,27 моль CO, 0,64 моль H_2 и 0,03 моль CH_3OH.

Степень превращения CO в метанол:

$$\eta = 0{,}03 : 0{,}3 = 0{,}1, \text{ или } 10\%$$

Содержание метанола в смеси:

$$\varphi = 0{,}03 : 0{,}94 = 0{,}0319, \text{ или } 3{,}19\%$$

Ответ. $\eta = 10\%$; 3,19% CH_3OH.

6. По достижении равновесия прореагировало по z моль веществ $\mathbf{A_2}$ и $\mathbf{B_2}$:

$$\underset{0{,}9 - z}{\mathbf{A_2}} + \underset{0{,}6 - z}{\mathbf{B_2}} \rightleftarrows \underset{2z}{2\mathbf{AB}}$$

Скорость расходования вещества $\mathbf{A_2}$ за 15 минут:

$$\upsilon = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{\Delta \nu}{V \cdot \Delta t} = \frac{z}{12 \cdot 15} = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/(л} \cdot \text{мин)}$$

$$z = 0{,}45 \text{ моль}$$

$$K_{\text{равн}} = \frac{[\mathbf{AB}]^2}{[\mathbf{A_2}][\mathbf{B_2}]} = \frac{\nu(\mathbf{AB})^2}{\nu(\mathbf{A_2}) \cdot \nu(\mathbf{B_2})} = \frac{0{,}81}{0{,}45 \cdot 0{,}15} = 12$$

Мольные (объемные) доли всех веществ в равновесной смеси:

$$\varphi(\mathbf{A_2}) = 0{,}45 : 1{,}5 = 0{,}3, \text{ или } 30\%$$

$$\varphi(\mathbf{B_2}) = 0{,}15 : 1{,}5 = 0{,}1, \text{ или } 10\%$$

$$\varphi(\mathbf{AB}) = 0{,}9 : 1{,}5 = 0{,}6, \text{ или } 60\%$$

Рассчитаем отношение скоростей реакции в начальный момент и по достижении равновесия:

$$\frac{\upsilon_{\text{нач}}}{\upsilon_{\text{равн}}} = \frac{k \cdot c(\mathbf{A_2})_{\text{нач}} \cdot c(\mathbf{B_2})_{\text{нач}}}{k \cdot c(\mathbf{A_2})_{\text{равн}} \cdot c(\mathbf{B_2})_{\text{равн}}} = \frac{0{,}9 \cdot 0{,}6}{0{,}45 \cdot 0{,}15} = 8$$

Ответ. 30% $\mathbf{A_2}$, 10% $\mathbf{B_2}$, 60% **AB**. $K = 12$. Скорость реакции уменьшается в 8 раз.

7. Приведем один из вариантов ответа.

1) $HC{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{Hg^{2+}, H^+} CH_3CHO$

2) $2CH_3CHO + O_2 \rightarrow 2CH_3COOH$

3) $CH_3COOH + Cl_2 \xrightarrow{P_{\text{красн}}} ClCH_2COOH + HCl$

4) $ClCH_2COOH + 2NH_3 \rightarrow H_2NCH_2COOH + NH_4Cl$

5) $H_2NCH_2COOH + HNO_2 \rightarrow HOCH_2COOH + N_2\uparrow + H_2O$

6) $HOCH_2COOH + HBr \rightarrow BrCH_2COOH + H_2O$

Ответ. **X** — CH_3CHO, **Y** — $HOCH_2COOH$.

8. Приведем один из вариантов ответа.

1) $2KMnO_4 + 3MnSO_4 + 2H_2O \rightarrow 5MnO_2\downarrow + K_2SO_4 + 2H_2SO_4$

2) $MnO_2 + 4HCl(конц.) \rightarrow MnCl_2 + Cl_2\uparrow + 2H_2O$

3) $2KMnO_4 + 10KI + 8H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4 + 5I_2\downarrow + 6K_2SO_4 + 8H_2O$

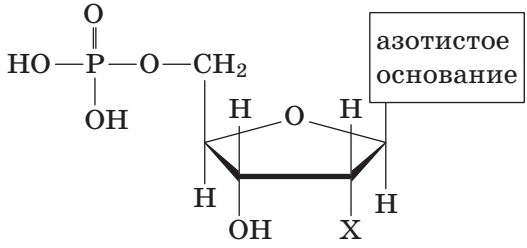
4) $3I_2 + 6KOH(р\text{-}р) \xrightarrow{t} 5KI + KIO_3 + 3H_2O$

5) $2KIO_3(т) \xrightarrow{t} 2KI + 3O_2\uparrow$

6) $KI(т) + H_3PO_4(конц.) \rightarrow HI\uparrow + KH_2PO_4$

Ответ. X — MnO_2, **Y** — I_2.

9. Формула нуклеотида в общем виде:



Для рибонуклеотидов **X** = OH, для дезоксирибонуклеотидов **X** = H.

Полный гидролиз нуклеотида протекает по схеме:

Нуклеотид + $2H_2O \rightarrow H_3PO_4$ + углевод + азотистое основание

В реакцию нейтрализации вступает только фосфорная кислота:

$$3Ba(OH)_2 + 2H_3PO_4 \rightarrow Ba_3(PO_4)_2 + 6H_2O$$

$$\nu(Ba(OH)_2) = 0{,}075 \cdot 0{,}1 = 0{,}0075 \text{ моль}$$

$$\nu(H_3PO_4) = \nu(\text{нуклеотида}) = 0{,}005 \text{ моль}$$

$$M(\text{нуклеотида}) = 1{,}61 : 0{,}05 = 322 \text{ г/моль}$$

При сжигании смеси органических продуктов гидролиза образуются CO_2, H_2O и N_2. В сосуде с гидроксидом натрия поглощается углекислый газ.

$$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

$$\nu(CO_2) = 2{,}2 : 44 = 0{,}05 \text{ моль} = \nu(C)$$

Концентрированная серная кислота поглощает пары воды, раскаленная медь связывает избыток кислорода.

$$2Cu + O_2 \xrightarrow{t} 2CuO$$

Не поглощается азот N_2.

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}124}{8{,}31 \cdot 302} = 0{,}005 \text{ моль}$$

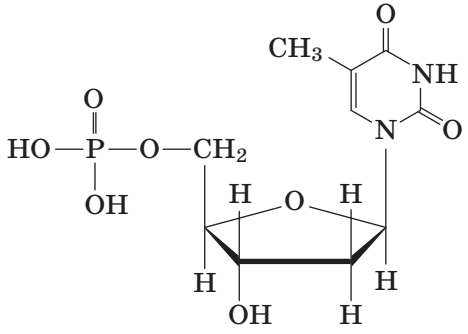
$$\nu(N) = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$\nu(C)/\nu(N) = 0{,}05 : 0{,}01 = 5$$

Итак, в молекуле нуклеотида на один атом азота приходится пять атомов углерода. Такое соотношение возможно, только если азотистое основание — тимин $C_5H_6N_2O_2$. Как известно, тимин входит в состав исключительно дезоксирибонуклеотидов, что можно подтвердить расчетом.

$$M(\text{нуклеотида}) = 97 + (134 - 17 \cdot 2) + 125 = 322 \text{ г/моль}$$

Искомый нуклеотид — дезокситимидинфосфат:



Реакции сгорания азотистого основания и углевода:

$$2C_5H_6N_2O_2 + 11O_2 \xrightarrow{t} 10CO_2 + 6H_2O + 2N_2$$

$$C_5H_{10}O_4 + 5{,}5O_2 \xrightarrow{t} 5CO_2 + 5H_2O$$

Ответ. Дезокситимидинфосфат.

10. $ZnSO_4 + (NH_4)_2S \rightarrow ZnS\downarrow + (NH_4)_2SO_4$

$MnSO_4 + (NH_4)_2S \rightarrow MnS\downarrow + (NH_4)_2SO_4$

Реакции сульфидов с соляной кислотой:

$$ZnS + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2S\uparrow$$

$$MnS + 2HCl \rightarrow MnCl_2 + H_2S\uparrow$$

Выделяется газ сероводород, который реагирует с концентрированной азотной кислотой:

$$H_2S + 8HNO_3 \rightarrow H_2SO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$$

Рассчитаем количество бурого газа NO_2.

$$\nu(NO_2) = V(NO_2)/V_m = 14{,}336 : 22{,}4 = 0{,}64 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2S) = \nu(NO_2) : 8 = 0{,}64 : 8 = 0{,}08 \text{ моль}$$

Обозначим количество сульфата цинка x (моль), количество сульфата марганца — y (моль).

$$\nu(H_2S) = \nu(ZnS) + \nu(MnS) = \nu(ZnSO_4) + \nu(MnSO_4) = x + y = 0{,}08 \text{ моль}$$

Масса сульфидов:

$$m(MS) = m(ZnS) + m(MnS) = \nu(ZnS) \cdot M(ZnS) + \nu(MnS) \cdot M(MnS) = \\ = x \cdot M(ZnS) + y \cdot M(MnS) = x \cdot 97 + y \cdot 87 = 7{,}36 \text{ г}$$

Решим систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} x + y = 0{,}08 \\ 97x + 67y = 7{,}36 \end{cases}$$

$$x = 0{,}04 \text{ моль}, \; y = 0{,}04 \text{ моль}$$

Масса сульфатов:

$$m = m(ZnSO_4) + m(MnSO_4) = 0{,}04 \cdot 161 + 0{,}04 \cdot 151 = 12{,}48 \text{ г}$$

Ответ. 12,48 г.

ВАРИАНТ 4

1. Например, KBr (Br^{-1}) и $KBrO_3$ (Br^{+5}).

$$HBr + KOH \rightarrow KBr + H_2O$$

$$3Br_2 + 6KOH \xrightarrow{t} 5KBr + KBrO_3 + 3H_2O$$

2. В 180 г 1,40%-го раствора содержится хлорида марганца:

$$\nu(MnCl_2) = \frac{180 \cdot 0{,}014}{126} = 0{,}02 \text{ моль}$$

$\nu(MnCl_2) = \nu(MnCl_2 \cdot 4H_2O)$. Для приготовления раствора надо взять:

$$m(MnCl_2 \cdot 4H_2O) = 0{,}025 \cdot 198 = 3{,}96 \text{ г}$$

$$c(MnCl_2) = \frac{\nu}{V(\text{р-ра})},$$

$$V = m/\rho = 180 : 1{,}01 = 178 \text{ мл} = 0{,}178 \text{ л}$$

$$c(MnCl_2) = 0{,}02 : 0{,}178 = 0{,}11 \text{ моль/л}$$

Ответ. 3,96 г; 0,11 моль/л.

3. $\nu(C_nH_{2n+2}) = V/V_m = 0{,}504 : 22{,}4 = 0{,}0225$ моль

$\nu(Ca(OH)_2) = \omega \cdot m(\text{р-ра})/M = 0{,}0074 \cdot 275 : 74 = 0{,}0275$ моль

$\nu(CaCO_3) = m/M = 1 : 100 = 0{,}01$ моль

$$C_nH_{2n+2} + \frac{3n+1}{2}O_2 \rightarrow nCO_2 + (n+1)H_2O$$

$\nu(CO_2) = 0{,}0225n$ (моль)

Образовавшийся углекислый газ в недостатке.

$\nu(CO_2) = \nu(CaCO_3)$

$\nu(C_nH_{2n+2}) = \nu(CO_2)/n$

$n = \nu(CO_2)/\nu(C_nH_{2n+2}) = \nu(CaCO_3)/\nu(C_nH_{2n+2}) = 0{,}01 : 0{,}0225 = 0{,}444$

Такого алкана не существует (n всегда целое число).

Количество гидроксида кальция больше количества выпавшего карбоната кальция: 0,0275 моль > 0,01 моль. Отсюда следует, что углекислый газ в избытке.

$$\underset{0{,}0275}{Ca(OH)_2} + \underset{0{,}0275}{CO_2} \rightarrow \underset{0{,}0275}{CaCO_3\downarrow} + H_2O$$

$$\underset{x}{CaCO_3} + \underset{x}{CO_2} + H_2O \rightarrow \underset{x}{Ca(HCO_3)_2}$$

$x = 0{,}0275 - 0{,}01 = 0{,}0175$ моль

$\nu(CO_2) = 0{,}0275 + 0{,}0175 = 0{,}045$ моль

$n = \nu(CO_2)/\nu(C_nH_{2n+2}) = 0{,}045 : 0{,}0225 = 2$

Формула углеводорода C_2H_6; это этан.

Ответ. Этан C_2H_6.

4. Из галогенидов бария не растворяется в воде только BaF_2. Поэтому одна из солей — фторид натрия NaF.

$$\underset{x}{2NaF} + Ba(NO_3)_2 \rightarrow \underset{0{,}5x}{BaF_2\downarrow} + 2NaNO_3$$

$m(BaF_2) = 175 \cdot 0{,}5x = 87{,}5x$

Второй галогенид NaHal реагирует с нитратом серебра:

$$\underset{x}{NaHal} + AgNO_3 \rightarrow \underset{x}{AgHal\downarrow} + NaNO_3$$

По условию:

$$2{,}15 \cdot 87{,}5x = (108 + M)x$$

где M — атомная масса галогена Hal. $M \approx 80$; это бром. Искомые галогениды: NaF и NaBr.

Ответ. NaF и NaBr.

5. Плотность газовой смеси по аммиаку 0,5.

$$M_{ср} = 0{,}5 \cdot 17 = 8{,}5 \text{ г/моль}$$

Пусть количество исходной газовой смеси 1 моль, после реакции на 10% меньше, т. е. 0,9 моль. Пусть начальное количество CO x (моль), количество H_2 $(1 - x)$ (моль).

$$8{,}5 = 28\,x + 2(1 - x)$$

$$x = 0{,}25$$

$\nu(CO) = 0{,}25$ моль, $\nu(H_2) = 0{,}75$ моль.

	CO	$+$ $2H_2$	$\rightleftarrows$	CH_3OH
В исходной смеси	0,25	0,75		0
Прореагировало	a	$2a$		
В равновесной смеси	$0{,}25 - a$	$0{,}75 - 2a$		a

$$0{,}9 = (0{,}25 - x) + (0{,}75 - 2x) + x$$

$$x = 0{,}05$$

Итак, в равновесной смеси: 0,2 моль CO, 0,65 моль H_2 и 0,05 моль CH_3OH.

Степень превращения CO в метанол:

$$\eta = 0{,}05 : 0{,}25 = 0{,}2, \text{ или } 20\%$$

Содержание метанола в смеси:

$$\varphi = 0{,}05 : 0{,}9 = 0{,}0556, \text{ или } 5{,}56\%$$

Ответ. $\eta = 20\%$, $\varphi(CH_3OH) = 5{,}56\%$.

6. По достижении равновесия прореагировало по z моль веществ $\mathbf{A_2}$ и $\mathbf{B_2}$.

	$\mathbf{A_2}$	$+$ $\mathbf{B_2}$	$\rightleftarrows$	$2\mathbf{AB}$
	$0{,}25 - z$	$0{,}45 - z$		$2z$

$$K_{равн} = \frac{[\mathbf{AB}]^2}{[\mathbf{A_2}][\mathbf{B_2}]} = \frac{\nu(\mathbf{AB})^2}{\nu(\mathbf{A_2}) \cdot \nu(\mathbf{B_2})} = \frac{(2z)^2}{(0{,}8 - z)(0{,}7 - z)} = 2{,}1$$

$$z^2 + 1{,}658z - 0{,}619 = 0$$

$$z = 0{,}314 \text{ моль}$$

Мольные (объемные) доли всех веществ в равновесной смеси:

$$\varphi(\mathbf{A_2}) = 0{,}486 : 1{,}5 = 0{,}324, \text{ или } 32{,}4\%$$

$$\varphi(\mathbf{B_2}) = 0{,}386 : 1{,}5 = 0{,}257, \text{ или } 25{,}7\%$$

$$\varphi(\mathbf{AB}) = 0{,}628 : 1{,}5 = 0{,}419, \text{ или } 41{,}9\%$$

Скорость образования вещества **AB** за 25 минут:

$$v = \frac{\Delta c}{\Delta t} = \frac{\Delta \nu}{V \cdot \Delta t} = \frac{2z}{15 \cdot 30} = 1{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ моль/(л} \cdot \text{мин)}$$

Рассчитаем отношение скоростей реакции в начальный момент и по достижении равновесия:

$$\frac{v_{\text{нач}}}{v_{\text{равн}}} = \frac{k \cdot c(\mathbf{A_2})_{\text{нач}} \cdot c(\mathbf{B_2})_{\text{нач}}}{k \cdot c(\mathbf{A_2})_{\text{равн}} \cdot c(\mathbf{B_2})_{\text{равн}}} = \frac{0{,}8 \cdot 0{,}7}{0{,}486 \cdot 0{,}386} = 3$$

Ответ. 32,3% $\mathbf{A_2}$, 25,7% $\mathbf{B_2}$, 42,0% **AB**. $1{,}4 \cdot 10^{-3}$ моль/(л · мин). Скорость уменьшилась в 3 раза.

7. Приведем один из возможных вариантов ответа.

1) $CH_2O + CH_3MgI \rightarrow CH_3CH_2OMgI$

2) $CH_3CH_2OMgI + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3CH_2OH + Mg(OH)I$

3) $CH_3CH_2OH + CuO \xrightarrow{250\,^\circ C} CH_3CHO + H_2O + Cu$

4) $2CH_3CHO + O_2 \rightarrow 2CH_3COOH$

5) $CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$

6) $2CH_3COONa + 2H_2O \xrightarrow{\text{⚡}} CH_3{-}CH_3 + 2CO_2 + H_2 + 2NaOH$

Ответ. **X** — CH_3CHO; **Y** — CH_3COOH.

8. 1) $NH_4NO_2 \xrightarrow{t} N_2\uparrow + 2H_2O$

2) $N_2 + 3H_2 \underset{\text{катализатор}}{\overset{t,\,p,}{\rightleftarrows}} 2NH_3$

3) $3NH_3\text{(изб.)} + AgNO_3 + H_2O \rightarrow [Ag(NH_3)_2]OH + NH_4NO_3$

4) $2[Ag(NH_3)_2]OH + 3H_2S \rightarrow Ag_2S\downarrow + 2(NH_4)_2S + 2H_2O$

5) $Ag_2S + 10HNO_3\text{(конц.)} \rightarrow 2AgNO_3 + 8NO_2\uparrow + H_2SO_4 + 4H_2O$

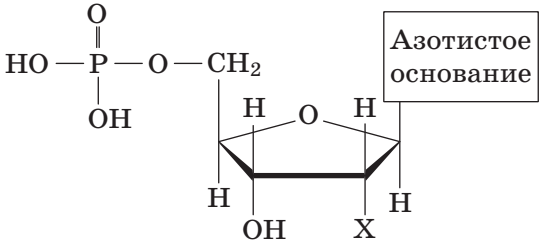
6) $2AgNO_3 + Zn \rightarrow 2Ag + Zn(NO_3)_2$

или

$2AgNO_3 \xrightarrow{t} 2Ag + 2NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

Ответ. **X** — N_2, **Y** — Ag_2S.

9. Формула нуклеотида в общем виде:



Для рибонуклеотидов **X** = OH, для дезоксирибонуклеотидов **X** = H.

Полный гидролиз нуклеотида протекает по схеме:

$$\text{Нуклеотид} + 2H_2O \rightarrow H_3PO_4 + \text{углевод} + \text{азотистое основание}$$

В реакцию нейтрализации вступает только фосфорная кислота:

$$3NaOH + H_3PO_4 \rightarrow Na_3PO_4 + 3H_2O$$

$$\nu(NaOH) = 0{,}06 \cdot 0{,}2 = 0{,}012 \text{ моль}$$

$$\nu(H_3PO_4) = \nu(\text{нуклеотида}) = 0{,}004 \text{ моль}$$

$$M(\text{нуклеотида}) = 1{,}292 : 0{,}004 = 323 \text{ г/моль}$$

При сжигании смеси органических продуктов гидролиза образовались CO_2, H_2O и N_2. Углекислый газ поглощается известковой водой:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O$$

$$\nu(CaCO_3) = \nu(CO_2) = 3{,}6 : 100 = 0{,}036 \text{ моль} = \nu(C)$$

Концентрированная серная кислота поглощает пары воды, раскаленная медь связывает избыток кислорода:

$$2Cu + O_2 \xrightarrow{t} 2CuO$$

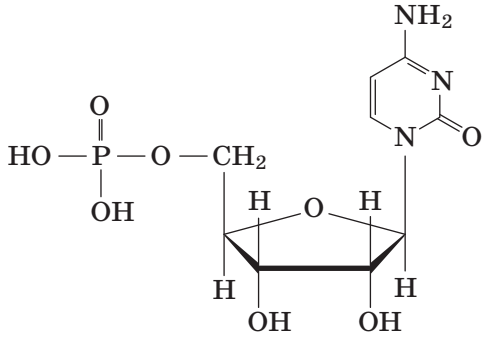
Не поглощается азот N_2.

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}15}{8{,}31 \cdot 305} = 0{,}006 \text{ моль}$$

$$\nu(N) = 0{,}012 \text{ моль}$$

$$\nu(C)/\nu(N) = 0{,}036 : 0{,}012 = 3$$

Итак, в молекуле нуклеотида на один атом азота приходится три атома углерода, поэтому азотистое основание — цитозин $C_4H_5N_3O$. На остаток углевода: 323 − 97 − 110 = 116 г/моль; молярная масса углевода: 116 + 17 · 2 = 150 г/моль. Это рибоза, нуклеотид — цитидинфосфат:



Реакции сгорания азотистого основания и углевода:

$$2C_4H_5N_3O + 9{,}5O_2 \xrightarrow{t} 8CO_2 + 5H_2O + 3N_2$$

$$C_5H_{10}O_5 + 5O_2 \xrightarrow{t} 5CO_2 + 5H_2O$$

Ответ. Цитидинфосфат.

10. $ZnO + H_2SO_4 \to ZnSO_4 + H_2O$

$Fe_2O_3 + H_2SO_4 \to Fe_2(SO_4)_3 + H_2O$

Реакции солей с избытком сульфида аммония:

$$ZnSO_4 + (NH_4)_2S \to ZnS\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3(NH_4)_2S \to 2FeS\downarrow + S\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

В составе осадка — сульфиды цинка и железа(II), а также сера. Обозначим количество оксида цинка в исходной смеси x (моль), количество оксида железа(III) — y.

Масса осадка:

$$m = m(ZnS) + m(FeS) + m(S) = \nu(ZnS) \cdot M(ZnS) + \nu(FeS) \cdot M(FeS) + \nu(S) \cdot M(S) = \nu(ZnO) \cdot M(ZnS) + 2\nu(Fe_2O_3) \cdot M(FeS) + \nu(Fe_2O_3) \cdot M(S) = 97x + 176y + 32y = 97x + 208y = 5{,}13 \text{ г}$$

При дальнейшей обработке осадка соляной кислотой сульфиды растворяются, при этом выделяется газообразный сероводород:

$$ZnS + 2HCl \to ZnCl_2 + H_2S\uparrow$$

$$FeS + 2HCl \to FeCl_2 + H_2S\uparrow$$

$$\nu(H_2S) = \nu(ZnS) + \nu(FeS) = x + 2y = V(H_2S)/V_m = 1{,}12 : 22{,}4 = 0{,}05 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 97x + 208y = 5{,}13 \\ x + 2y = 0{,}05 \end{cases}$$

$x = 0{,}01$ моль, $y = 0{,}02$ моль

$$m(\text{исх. смеси}) = \nu(ZnO) \cdot M(ZnO) + \nu(Fe_2O_3) \cdot M(Fe_2O_3) = \\ = 0{,}01 \cdot 81 + 0{,}02 \cdot 160 = 4{,}01 \text{ г}$$

Ответ. 4,01 г.

ВАРИАНТ 5 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. MnO_2 (Mn^{+4}), $MnSO_4$ (Mn^{+2}).

2. 6,57 г; 0,206 моль/л.

3. C_4H_{10}.

4. NaF и NaI.

5. Степень превращения азота в аммиак: $\eta = 20\%$, $\varphi(NH_3) = 8{,}7\%$.

6. 20% A_2, 40% B_2, 40% AB. $K = 2{,}0$. Скорость реакции уменьшается в 3 раза.

7. 1) $HCOOCH_3 + NaOH(\text{водн.}) \xrightarrow{t} HCOONa + CH_3OH$

2) $CH_3OH + CuO \xrightarrow{250\,^\circ C} CH_2O + H_2O + Cu$

3) $CH_2O + CH_3CH_2MgI \rightarrow CH_3CH_2CH_2OMgI$

4) $CH_3CH_2CH_2OMgI + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3CH_2CH_2OH + Mg(OH)I$

5) $5CH_3CH_2CH_2OH + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5CH_3CH_2COOH + 2K_2SO_4 + 4MnSO_4 + 11H_2O$

6) $CH_3CH_2COOH + CH_3OH \xrightarrow{H^+,\,t} CH_3CH_2COOCH_3 + H_2O$

Ответ. **X** — CH_3OH, **Y** — CH_3CH_2COOH.

8. 1) $2NaBr + 2H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow Br_2 + Na_2SO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$

2) $3Br_2 + 6KOH(\text{р-р}) \xrightarrow{t} 5KBr + KBrO_3 + 3H_2O$

или

$Br_2(\text{недостаток}) + 2KI(\text{р-р}) \rightarrow I_2 + 2KBr$

3) $KBr(\text{т}) + H_3PO_4(\text{конц.}) \rightarrow HBr + KH_2PO_4$

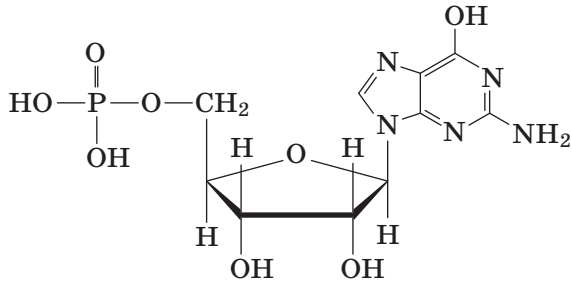
4) $3SO_2 + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + H_2O$

5) $Cr_2(SO_4)_3 + 3Na_2S + 6H_2O \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow + 3Na_2SO_4$

6) $3H_2S + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow Ag_2S\downarrow + 2(NH_4)_2S + 2H_2O$

Ответ. **X** — Br_2, **Y** — Ag_2S.

9. Гуанозинфосфат:



10. 33,6 г.

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

ВАРИАНТ 1

1. В частице $^{16}O^{2-}$ 8 протонов, 8 нейтронов и 10 электронов.

2. $\underset{\text{1-бромпропан}}{CH_3—CH_2—CH_2—Br} + NaOH(\text{водн. р-р}) \rightarrow$

$$\rightarrow \underset{\text{пропанол-1}}{CH_3—CH_2—CH_2—OH} + NaBr$$

3. Примесь сульфата натрия в хлориде натрия можно обнаружить по реакции с хлоридом бария, в которой образуется белый осадок:

$$Na_2SO_4 + BaCl_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2NaCl$$

$$NaCl + BaCl_2 \not\rightarrow \text{ нет признаков реакции}$$

4. Воспользуемся уравнением Клапейрона–Менделеева.

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{1{,}6 \cdot 8{,}314 \cdot 298}{660{,}4 \cdot 3} = 2{,}0 \text{ г/моль}$$

Газ с такой молярной массой — водород H_2.

Ответ. H_2.

5. До понижения давления скорость реакции $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$:

$$v_1 = k \cdot c(NO)^2 \cdot c(O_2)$$

Когда давление уменьшилось в 2 раза, молярные концентрации газов также уменьшаются 2 раза.

$$v_2 = k \cdot \left(\frac{c(\mathrm{NO})}{2}\right)^2 \cdot \frac{c(\mathrm{O_2})}{2} = k \cdot \frac{c(\mathrm{NO})^2 \cdot c(\mathrm{O_2})}{2^3} = \frac{v_1}{8}$$

Ответ. Скорость реакции уменьшается в 8 раз.

6. Пусть нитрата калия и гидрокарбоната магния было по a моль. При прокаливании оба вещества разлагаются с образованием газообразных продуктов:

$$\underset{a}{2\mathrm{KNO_3}} \xrightarrow{t} \underset{0{,}5a}{2\mathrm{KNO_2} + \mathrm{O_2}\uparrow}$$

$$\underset{a}{\mathrm{Mg(HCO_3)_2}} \xrightarrow{t} \mathrm{MgO} + \underset{2a}{2\mathrm{CO_2}\uparrow} + \underset{a}{\mathrm{H_2O}\uparrow}$$

Неохлажденная газовая смесь после прокаливания содержит O_2 и пары H_2O. Средняя молярная масса смеси:

$$M_{\text{ср}} = \frac{32 \cdot 0{,}5a + 44 \cdot 2a + 18a}{0{,}5a + 2a + a} = \frac{122}{3{,}5} = 34{,}86 \text{ г/моль}$$

Относительная плотность этой газовой смеси по хлору:

$$D_{\mathrm{Cl_2}} = \frac{M_{\text{ср}}}{M(\mathrm{Cl_2})} = \frac{34{,}86}{71} = 0{,}49$$

Ответ. 0,49.

7. $\mathrm{NaOH + HI \rightarrow NaI + H_2O}$

Рассчитаем количество гидроксида натрия. Для этого определим молярную концентрацию гидроксид-ионов в растворе щёлочи:

$$\mathrm{pH} = -\lg c(\mathrm{H^+})$$

$$c(\mathrm{H^+}) = 10^{-\mathrm{pH}} = 10^{-12} \text{ моль/л}$$

$$c(\mathrm{OH^-}) = \frac{K_w}{c(\mathrm{H^+})} = \frac{10^{-14}}{10^{-12}} = 0{,}01 \text{ моль/л}$$

$$\nu(\mathrm{NaOH}) = c \cdot V = 0{,}01 \cdot 0{,}25 = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$\nu(\mathrm{HI}) = \nu(\mathrm{NaOH}) = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$m(\mathrm{HI}) = 128 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3} = 0{,}32 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра}) = m(\mathrm{HI})/\omega = 0{,}32 : 0{,}02 = 16 \text{ г}$$

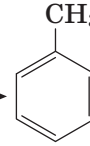
$$V(\text{р-ра}) = m/\rho = 16 : 1{,}01 = 15{,}84 \text{ мл}$$

Ответ. 15,84 мл.

8. 1) $CH_3—CH_2—CH_2—OH + HBr \rightarrow CH_3—CH_2—CH_2—Br + H_2O$

2) $2CH_3—CH_2—CH_2—Br + 2Na \xrightarrow[\text{эфир}]{} \rightarrow CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3 + 2NaBr$

3) $CH_3—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—CH_3 \xrightarrow[t]{Cr_2O_3}$ $+ 4H_2$

4) $+ CH_3Cl \xrightarrow[t]{AlCl_3}$  $+ HCl$

5) $5C_6H_5—CH_3 + 6KMnO_4 + 9H_2SO_4 \rightarrow \rightarrow 5C_6H_5—COOH + 6MnSO_4 + 3K_2SO_4 + 14H_2O$

9. Приведем один из вариантов ответа.

1) Все реакции **не** окислительно-восстановительные:

$$MgCl_2 + 2NaOH \rightarrow Mg(OH)_2 + 2NaCl$$

$$Mg(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow MgSO_4 + 2H_2O$$

$$MgSO_4 + BaCl_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + MgCl_2$$

$\mathbf{X_1}$ — $Mg(OH)_2$; $\mathbf{X_2}$ — $MgSO_4$.

2) Все реакции окислительно-восстановительные:

$$MgCl_2(\text{расплав}) \xrightarrow{\text{электролиз}} Mg + Cl_2\uparrow$$

$$Mg + 2HBr \rightarrow MgBr_2 + H_2\uparrow$$

$$MgBr_2 + Cl_2 \rightarrow MgCl_2 + Br_2$$

$\mathbf{X_1}$ — Mg; $\mathbf{X_2}$ — $MgBr_2$.

10. $C_xH_y + Br_2 \rightarrow C_xH_yBr_2$

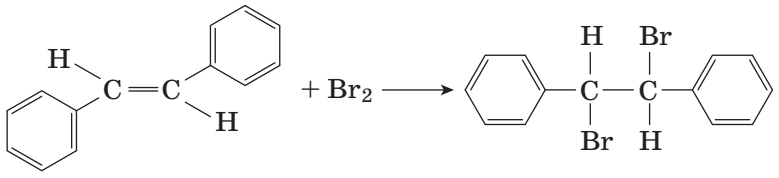
Массовые доли углерода и брома в участниках реакции (по условию):

$$\frac{12x}{12x+y} = 0{,}9333$$

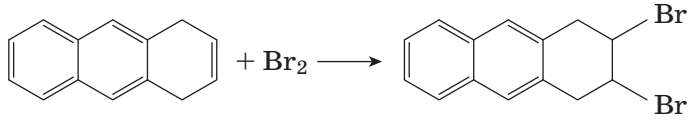
$$\frac{160}{12x+y+160} = 0{,}4706$$

$$x = 14,\ y = 12$$

Формула углеводорода $C_{14}H_{12}$. Этот углеводород должен содержать одну двойную связь, чтобы при взаимодействии с избытком бромной воды давать дибромпроизводное. Это один из изомерных дифенилэтенов, например *транс*-1,2-дифенилэтен:



Абитуриенты предложили еще один изомер углеводорода, отвечающий условию задачи:



Ответ. $C_{14}H_{12}$ (например, дифенилэтан).

ВАРИАНТ 2

1. В частице $^{37}Cl^-$ 17 протонов, 20 нейтронов и 18 электронов.

2. $\underset{\text{2-бромпропан}}{CH_3—CHBr—CH_3} + NaOH(\text{спирт}) \rightarrow$

$$\rightarrow \underset{\text{пропен}}{CH_3—CH{=}CH_2} + NaBr + H_2O$$

3. Примесь карбоната натрия в сульфате натрия можно обнаружить при обработке образца кислотой, например соляной, по выделению пузырьков газа:

$$Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Na_2SO_4 + HCl \not\rightarrow \text{нет признаков реакции}$$

4. Воспользуемся уравнением Клапейрона–Менделеева.

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{11{,}4 \cdot 8{,}314 \cdot 298}{148{,}6 \cdot 5} = 38 \text{ г/моль}$$

Газ с молярной массой 38 — фтор F_2.

Ответ. F_2.

5. Скорость реакции $CO + Cl_2 \rightarrow COCl_2$ до понижения давления:

$$v_1 = k \cdot c(CO) \cdot c(Cl_2)$$

При уменьшении давления в 4 раза молярные концентрации газов также уменьшаются в 4 раза. Скорость этой реакции:

$$\upsilon_2 = k \cdot \frac{c(CO)}{4} \cdot \frac{c(Cl_2)}{4} = k \cdot \frac{c(CO) \cdot c(Cl_2)}{16} = \frac{\upsilon_1}{16}$$

Ответ. Скорость реакции уменьшается в 16 раз.

6. Пусть карбоната магния и гидросульфита кальция было по a моль. При взаимодействии смеси с разбавленной серной кислоты выделяются газы:

$$\underset{a}{MgCO_3} + H_2SO_4(\text{разб.}) \rightarrow MgSO_4 + \underset{a}{CO_2}\uparrow + H_2O$$

$$\underset{a}{Ca(HSO_3)_2} + H_2SO_4(\text{разб.}) \rightarrow CaSO_4 + \underset{2a}{2SO_2}\uparrow + 2H_2O$$

Газовая смесь состоит из углекислого газа и сернистого ангидрида (образовавшаяся вода в газовую фазу не переходит). Средняя молярная масса смеси:

$$M_{ср} = \frac{44 \cdot a + 64 \cdot 2a}{a + 2a} = \frac{172}{3} = 57{,}3 \text{ г/моль}$$

Относительная плотность смеси по азоту:

$$D_{N_2} = \frac{M_{ср}}{M(N_2)} = \frac{57{,}3}{28} = 2{,}05 \approx 2$$

Ответ. 2.

7. $NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$

Рассчитаем количество гидроксида натрия. Для этого определим молярную концентрацию гидроксид-ионов в растворе щёлочи.

$$pH = -\lg c(H^+)$$

$$c(H^+) = 10^{-pH} = 10^{-12} \text{ моль/л}$$

$$c(OH^-) = \frac{K_w}{c(H^+)} = \frac{10^{-14}}{10^{-12}} = 0{,}01 \text{ моль/л}$$

$$\nu(NaOH) = c \cdot V = 0{,}01 \cdot 2 = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(HCl) = \nu(NaOH) = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$m(HCl) = 36{,}5 \cdot 0{,}02 = 0{,}73 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра}) = m(HCl)/\omega = 0{,}73 : 0{,}1 = 7{,}3 \text{ г}$$

$$V(\text{р-ра}) = m/\rho = 7{,}3 : 1{,}05 = 6{,}95 \text{ мл}$$

Ответ. 6,95 мл.

8. 1) $CH_3—CH_2Cl + NaOH(\text{спирт. р-р}) \rightarrow CH_2{=}CH_2 + NaBr + H_2O$

2) $CH_2{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3—CH_2—OH$

3) $5CH_3—CH_2—OH + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5CH_3—COOH + 2K_2SO_4 + 4MnSO_4 + 11H_2O$

4) $CH_3—COOH + Cl_2 \xrightarrow{P_{красн}} CH_2Cl—COOH + HCl$

5) $CH_2Cl—COOH + 2NH_3 \rightarrow CH_2(NH_2)COOH + NH_4Cl$
аминоуксусная кислота (глицин)

9. Приведем один из вариантов ответа.

1) Все реакции **не** окислительно-восстановительные.

$$Fe(NO_3)_3 + 3NaOH(р\text{-}р) \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow + 3NaNO_3$$

$$2Fe(OH)_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 6H_2O$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ba(NO_3)_2 \rightarrow 2Fe(NO_3)_3 + 3BaSO_4\downarrow$$

$\mathbf{X_1}$ — $Fe(OH)_3$; $\mathbf{X_2}$ — $Fe_2(SO_4)_3$.

2) Все реакции окислительно-восстановительные.

$$4Fe(NO_3)_3 \xrightarrow{t} 2Fe_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$$

$$Fe_2O_3 + 2Al \xrightarrow{t} 2Fe + Al_2O_3$$

$$Fe + 6HNO_3(конц.) \xrightarrow{t} Fe(NO_3)_3 + 3NO_2\uparrow + 3H_2O$$

$\mathbf{X_1}$ — Fe_2O_3; $\mathbf{X_2}$ — Fe.

10. Углеводород C_xH_y реагирует с бромной водой:

$$C_xH_y + Br_2 \rightarrow C_xH_yBr_2$$

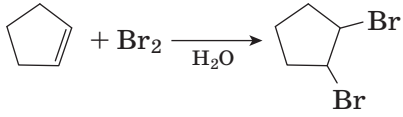
Массовые доли углерода и брома в участниках реакции (по условию):

$$\frac{12x}{12x+y} = 0{,}8823$$

$$\frac{160}{12x+y+160} = 0{,}7017$$

$$x = 5,\ y = 8$$

Формула углеводорода C_5H_8. Это может быть пентин или пентадиен, но и тот, и другой при взаимодействии с избытком бромной воды образуют тетрабромпроизводные. Условиям задачи соответствует циклический углеводород с одной двойной связью, например циклопентен:



циклопентен 1,2-дибромциклопентан

Ответ. C_5H_8 (циклопентен).

ВАРИАНТ 3

1. В частице $^{24}Mg^{2+}$ 12 протонов, 12 нейтронов и 10 электронов.

2. $\underset{\text{1-хлорпропан}}{CH_3—CH_2—CH_2—Cl} + NaOH(\text{водн. р-р}) \rightarrow$

$$\rightarrow \underset{\text{пропанол-1}}{CH_3—CH_2—CH_2—OH} + NaCl$$

3. Примесь сульфата аммония в хлориде аммония можно обнаружить в реакции с хлоридом бария:

$$(NH_4)_2SO_4 + BaCl_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2NH_4Cl$$

Образуется белый осадок.

$$NH_4Cl + BaCl_2 \not\rightarrow \text{нет признаков реакции}$$

4. Воспользуемся уравнением Клапейрона–Менделеева.

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{0{,}8 \cdot 8{,}314 \cdot 298}{495{,}3 \cdot 1} = 4{,}0 \text{ г/моль}$$

Газ с такой молярной массой — гелий He.

Ответ. He.

5. Скорость реакции $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ до повышения давления:

$$v_1 = k \cdot c(N_2) \cdot c(H_2)^3$$

После повышения давления в 2 раза молярные концентрации газов также увеличиваются в 2 раза; скорость реакции:

$$v_2 = k \cdot 2c(N_2) \cdot (2c(H_2))^3 = k \cdot 2^4 \cdot c(N_2) \cdot c(H_2)^3 = 16v_1$$

Ответ. Скорость реакции увеличится в 16 раз.

6. Пусть сульфита магния и гидрокарбоната кальция было по a моль. При взаимодействии смеси с разбавленной серной кислоты выделяются газы.

$$\underset{a}{MgSO_3} + H_2SO_4(\text{разб.}) \rightarrow MgSO_4 + \underset{a}{SO_2\uparrow} + H_2O$$

$$\underset{a}{Ca(HCO_3)_2} + H_2SO_4(\text{разб.}) \rightarrow CaSO_4 + \underset{2a}{2CO_2\uparrow} + 2H_2O$$

Газовая смесь состоит из сернистого ангидрида и углекислого газа (образовавшаяся вода не переходит в газовую фазу). Средняя молярная масса смеси:

$$M_{ср} = \frac{64 \cdot a + 44 \cdot 2a}{a + 2a} = 152 : 3 = 50{,}67 \text{ г/моль}$$

Относительная плотность смеси по неону:

$$D_{Ne} = \frac{M_{ср}}{M(Ne)} = 50{,}67 : 20 = 2{,}53 \approx 2{,}5$$

Ответ. 2,5.

7. $KOH + HNO_3 \rightarrow KNO_3 + H_2O$

Рассчитаем количество гидроксида калия. Для этого определим молярную концентрацию гидроксид-ионов в растворе щёлочи:

$$pH = -\lg c(H^+)$$

$$c(H^+) = 10^{-pH} = 10^{-12} \text{ моль/л}$$

$$c(OH^-) = \frac{K_w}{c(H^+)} = \frac{10^{-14}}{10^{-12}} = 0{,}01 \text{ моль/л}$$

$$\nu(KOH) = c \cdot V = 0{,}01 \cdot 2{,}5 = 2{,}5 \cdot 10^{-2} \text{ моль}$$

$$\nu(HNO_3) = \nu(KOH) = 2{,}5 \cdot 10^{-2} \text{ моль}$$

$$m(HNO_3) = 63 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-2} = 1{,}58 \text{ г}$$

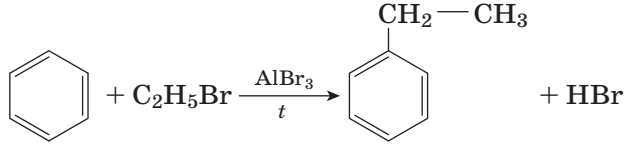
$$m(\text{р-ра}) = m(HNO_3)/\omega = 1{,}58 : 0{,}01 = 158 \text{ г}$$

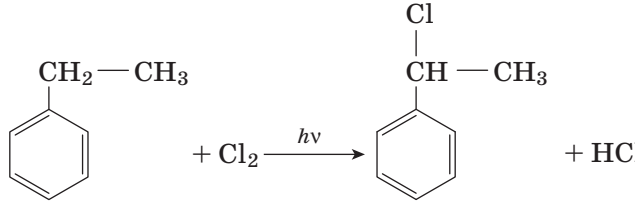
$$V(\text{р-ра}) = m/\rho = 158 : 1{,}06 = 149 \text{ мл}$$

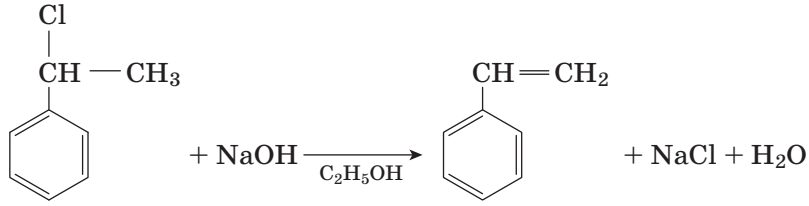
Ответ. 149 мл.

8. 1) $CH_2{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3{-}CH_2{-}OH$

2) $CH_3{-}CH_2{-}OH + HBr \rightarrow CH_3{-}CH_2{-}Br + H_2O$

3) 

4) 

5) 

9. Приведем один вариант ответа.

1) Все реакции **не** окислительно-восстановительные.

$$CuSO_4 + 2NaOH \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} CuO + H_2O$$

$$CuO + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + H_2O$$

$\mathbf{X_1}$ — $Cu(OH)_2$; $\mathbf{X_2}$ — CuO.

2) Все реакции окислительно-восстановительные.

$$CuSO_4 + Zn \xrightarrow{\text{раствор}} Cu + ZnSO_4$$

$$Cu + S \xrightarrow{t} CuS$$

$$CuS + 4H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow CuSO_4 + 4SO_2\uparrow + 4H_2O$$

$\mathbf{X_1}$ — Cu; $\mathbf{X_2}$ — CuS.

10. Углеводород C_xH_y реагирует с бромной водой:

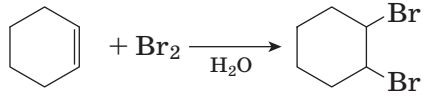
$$C_xH_y + Br_2 \rightarrow C_xH_yBr_2$$

Массовые доли углерода и брома в участниках реакции (по условию):

$$\frac{12x}{12x+y} = 0{,}8780$$

$$\frac{160}{12x+y+160} = 0{,}6611$$

$x = 6$ и $y = 10$. Формула углеводорода C_6H_{10}. Искомым углеводородом может быть гексин или гексадиен, но они с избытком бромной воды образуют тетрабромпроизводные. Условиям задачи соответствует циклический углеводород с одной двойной связью, например циклогексен:



циклогексен 1,2-дибромциклогексан

Ответ. C_6H_{10} (например, циклогексен).

2015 ГОД

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

10–11 КЛАССЫ

НОЯБРЬ-1

1. В уксусной кислоте между молекулами образуются водородные связи, в этиловом эфире уксусной кислоты нет водородных связей. У жидких веществ, между молекулами которых имеются водородные связи, более высокие температуры кипения.

2. Исходный раствор содержит сульфат натрия.

$$m(Na_2SO_4) = 200 \cdot 0{,}05 = 10 \text{ г}$$

$$\nu(Na_2SO_4) = \frac{10}{142} = 0{,}07 \text{ моль}$$

Первая порция нитрата бария, добавляемая к данному раствору, необходима для полного осаждения сульфата бария согласно уравнению:

$$Na_2SO_4 + Ba(NO_3)_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2NaNO_3$$

$$\nu(Ba(NO_3)_2) = \nu(Na_2SO_4) = 0{,}07 \text{ моль}$$

$$m(Ba(NO_3)_2) = 261 \cdot 0{,}07 = 18{,}27 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра } Ba(NO_3)_2) = \frac{18{,}27}{0{,}1} = 182{,}7 \text{ г}$$

$$V_1(\text{р-ра}) = \frac{m}{\rho} = \frac{182{,}7}{1{,}1} = 166{,}1 \text{ мл}$$

После добавления первой порции нитрата бария общая масса раствора:

$$m = 200 + m(\text{р-ра } Ba(NO_3)_2) - m(BaSO_4) =$$
$$= 200 + 182{,}7 - 0{,}07 \cdot 233 = 366{,}4 \text{ г}$$

Чтобы получить 2%-й раствор $Ba(NO_3)_2$, нужно добавить V_2 мл раствора $Ba(NO_3)_2$; масса полученного раствора:

$$m(\text{р-ра } Ba(NO_3)_2) = \rho \cdot V = 1{,}1V_2 \text{ (г)}$$

Масса $Ba(NO_3)_2$ в этом растворе:

$$m(Ba(NO_3)_2) = 0{,}1 \cdot 1{,}1V_2 = 0{,}11V_2 \text{ (г)}$$

$$\omega = m(Ba(NO_3)_2) : m(\text{р-ра}) = \frac{0{,}11V_2}{366{,}4 + 0{,}11V_2} = 0{,}02$$

$$0{,}11V_2 = 7{,}328 + 0{,}0022V_2$$

$$0{,}1078V_2 = 7{,}328$$

$$V_2 = 68{,}0 \text{ мл}$$

Общий объем 10%-го раствора нитрата бария:

$$V = V_1 + V_2 = 166{,}1 + 68{,}0 = 234{,}1 \text{ мл}$$

Ответ. 234,1 мл.

3. $2KNO_3 \xrightarrow{t} 2KNO_2 + O_2\uparrow$

$$2Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O \xrightarrow{t} 2CuO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow + 6H_2O\uparrow$$

Твердый остаток после прокаливания представляет собой смесь KNO_2 и CuO, и при добавлении воды нитрит калия растворяется. Таким образом, **А** — это раствор KNO_2, черный осадок **В** — CuO. В реакции с иодидом калия образуется бесцветный газ NO, буреющий на воздухе:

$$2KNO_2 + 2KI + 2H_2SO_4 \rightarrow 2K_2SO_4 + I_2\downarrow + 2NO\uparrow + 2H_2O$$

Оксид азота NO быстро окисляется кислородом воздуха до бурого оксида азота(IV) NO_2:

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

$$\nu(NO) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}732}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(KNO_2) = \nu(KNO_3) = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$m(KNO_3) = 0{,}03 \cdot 101 = 3{,}03 \text{ г}$$

$$m(Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O) = 7{,}87 - 3{,}03 = 4{,}84 \text{ г}$$

$$\nu(Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O) = \frac{4{,}84}{242} = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(CuO) = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$m(\mathrm{CuO}) = 0{,}02 \cdot 80 = 1{,}6 \text{ г}$$

Ответ. 1,6 г.

4. Хлорсодержащие органические соединения сгорают с образованием газообразного хлороводорода:

$$\mathrm{ClC_xH_y{-}COOH} + (x + 0{,}25y)\mathrm{O_2} \xrightarrow{t} (x+1)\mathrm{CO_2} + \mathrm{HCl} + 0{,}5y\mathrm{H_2O}$$

С раствором нитрата серебра реагирует только хлороводород.

$$\mathrm{AgNO_3} + \mathrm{HCl} \to \mathrm{AgCl}\downarrow + \mathrm{HNO_3}$$

$$\nu(\mathrm{AgNO_3}) = \frac{57{,}75 \cdot 1{,}015 \cdot 0{,}058}{170} = 0{,}02 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции, $\nu(\mathrm{HCl}) = \nu(\mathrm{AgNO_3}) = 0{,}02$ моль. Молярная масса неизвестной кислоты:

$$M = \frac{1{,}89}{0{,}02} = 94{,}5 \text{ г/моль}$$

После вычитания $M(\mathrm{Cl})$ и $M(\mathrm{COOH})$ получим молярную массу радикала $\mathrm{C_xH_y}$.

$$94{,}5 - 35{,}5 - 45 = 14 \text{ г/моль}$$

Это метиленовая группа $\mathrm{CH_2}$. Итак, это хлоруксусная кислота $\mathrm{ClCH_2COOH}$.

Ответ. Хлоруксусная кислота $\mathrm{ClCH_2COOH}$.

5. Определим количество газа в каждом из сосудов после установления равновесия:

$$\begin{cases} \nu_1 + \nu_2 = 4 \\ \nu_2 - \nu_1 = 0{,}62 \end{cases}$$

$$\nu_2 = \nu_1 + 0{,}62$$

$$2\nu_1 + 0{,}62 = 4$$

$$\nu_1 = 1{,}69 \text{ моль}$$

$$\nu_2 = 4 - 1{,}69 = 2{,}31 \text{ моль}$$

В состоянии равновесия давление в обоих сосудах одинаковое, $p_1 = p_2$. Поэтому в соответствии с уравнением Клапейрона–Менделеева,

$$\frac{\nu_1 R T_1}{V} = \frac{\nu_2 R T_2}{V}$$

$$\nu_1 T_1 = \nu_2 T_2$$

$$T_2 = \nu_1 T_1/\nu_2 = \frac{1{,}69 \cdot 373}{2{,}31} = 272{,}9 \text{ К}$$

Ответ. 272,9 К.

6. $RCOOH + R'OH \rightleftarrows RCOOR' + H_2O$

$$K = \frac{[RCOOR'] \cdot [H_2O]}{[RCOOH] \cdot [R'OH]} = \frac{\nu(RCOOR') \cdot \nu(H_2O)}{\nu(RCOOH) \cdot \nu(R'OH)}$$

Возьмем по 1 моль кислоты и спирта, тогда, согласно условию, образуется по b моль эфира и воды.

$$K = \frac{b \cdot b}{(1-b)(1-b)}$$

Если взять 2 моль спирта и 1 моль кислоты, образуется по $1{,}25b$ моль продуктов реакции.

$$K = \frac{1{,}25b \cdot 1{,}25b}{(2-1{,}25b)(1-1{,}25b)}$$

$$\frac{b \cdot b}{(1-b)(1-b)} = \frac{1{,}25b \cdot 1{,}25b}{(2-1{,}25b)(1-1{,}25b)}$$

$$b = 0{,}7$$

$$K = \frac{0{,}7^2}{(1-0{,}7)^2} = 5{,}44$$

При соотношении спирт : кислота = 1 : 2 выход реакции такой же, как и при соотношении 2 : 1, а именно

$$\eta = \frac{1{,}25b}{1} = 1{,}25 \cdot 0{,}7 = 0{,}875, \text{ или } 87{,}5\%$$

Ответ. $b = 0{,}7$; $K = 5{,}44$; выход 87,5%.

7. 1) $2Cr(т) + 3Cl_2(г) \xrightarrow{t} 2CrCl_3(безводн.)$

2) $2CrCl_3(безводн.) + 3H_2S(г) \xrightarrow{t} Cr_2S_3 + 6HCl\uparrow$

3) $Cr_2S_3 + 24HNO_3(конц.) \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 24NO_2\uparrow + 12H_2O$

4) $4Cr + 12HCl(р\text{-}р) + 3O_2 \rightarrow 4CrCl_3(р\text{-}р) + 6H_2O$

5) $2CrCl_3(р\text{-}р) + 3Na_2S(р\text{-}р) + 6H_2O \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 6NaCl + 3H_2S\uparrow$

6) $2Cr(OH)_3 + 3Br_2 + 10KOH \rightarrow 2K_2CrO_4 + 6KBr + 8H_2O$

Ответ. **X1** — Cr_2S_3, **X2** — $Cr_2(SO_4)_3$, **X3** — $Cr(OH)_3$.

8. 1) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{фермент}} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$

(спиртовое брожение глюкозы)

2) $2C_2H_5OH \xrightarrow{Cr_2O_3, Al_2O_3, t} CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2 + 2H_2O + H_2$

(синтез Лебедева)

3) $CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2 + 2HBr \xrightarrow{0\,^\circ C}$

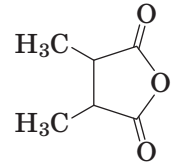
$\rightarrow CH_3{-}CHBr{-}CHBr{-}CH_3$

4) $CH_3{-}CHBr{-}CHBr{-}CH_3 + 2KCN \rightarrow$

$\rightarrow CH_3{-}CH(CN){-}CH(CN){-}CH_3 + 2KBr$

5) $CH_3{-}\underset{\displaystyle CN}{\underset{|}{CH}}{-}\underset{\displaystyle CN}{\underset{|}{CH}}{-}CH_3 + 4H_2O + 2HCl \xrightarrow{t}$

$\longrightarrow CH_3{-}\underset{\displaystyle HOOC}{\underset{|}{CH}}{-}\underset{\displaystyle COOH}{\underset{|}{CH}}{-}CH_3 + 2NH_4Cl$

6) $CH_3{-}\underset{\displaystyle HOOC}{\underset{|}{CH}}{-}\underset{\displaystyle COOH}{\underset{|}{CH}}{-}CH_3 \xrightarrow{t}$  $+ H_2O$

Ответ. **X** — C_2H_5OH, **Y** — $CH_3{-}CHBr{-}CHBr{-}CH_3$,
Z — $HOOC{-}CH(CH_3){-}CH(CH_3){-}COOH$.

9. Цинк реагирует с дихроматом с образованием сульфата хрома(III), который частично восстанавливает сульфат хрома(III) до сульфата хрома(II):

$$K_2Cr_2O_7 + 3Zn + 7H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + 3ZnSO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 7H_2O$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + Zn \rightarrow 2CrSO_4 + ZnSO_4$$

О протекании второй реакции можно судить по образованию осадка $Cr(OH)_2$ и $Zn(OH)_2$ при добавлении раствора NaOH; при последующем взаимодействии с избытком NaOH осадок растворяется и сульфаты хрома(III) и цинка переходят в растворимые гидроксокомплексы.

$$CrSO_4 + 2NaOH \rightarrow Cr(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 12NaOH \rightarrow 2Na_3[Cr(OH)_6] + 3Na_2SO_4$$

$$ZnSO_4 + 4NaOH \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + Na_2SO_4$$

$$\nu(Cr(OH)_2) = \frac{m}{M} = \frac{34{,}4}{86} = 0{,}4 \text{ моль}$$

Это количество гидроксида хрома получено из 0,2 моль $K_2Cr_2O_7$.

Пропускание углекислого газа приводит к образованию осадка, состоящего из гидроксида хрома и карбоната цинка:

$$Na_3[Cr(OH)_6] + 3CO_2(\text{изб.}) \rightarrow 3NaHCO_3 + Cr(OH)_3\downarrow$$

$$Na_2[Zn(OH)_4] + 3CO_2(\text{изб.}) \rightarrow 2NaHCO_3 + ZnCO_3\downarrow + H_2O$$

При прокаливании осадка образуется смесь оксидов:

$$2Cr(OH)_3 \xrightarrow{t} Cr_2O_3 + 3H_2O\uparrow$$

$$ZnCO_3 \xrightarrow{t} ZnO + CO_2\uparrow$$

Твердый остаток после прокаливания состоит из смеси оксида цинка и оксида хрома(III). Пусть из x моль дихромата калия образовалось x моль оксида хрома(III). Цинк в количестве $3x$ моль был израсходован на реакцию с x моль дихромата. Цинк также участвует в реакции восстановления хрома(III) до сульфата хрома(II); количество цинка: $3 \cdot 0{,}2 + 0{,}2 = 0{,}8$ моль. С соединениями хрома реагирует $(3x + 0{,}8)$ моль цинка, и такое же количество оксида цинка получено при прокаливании.

Масса твердого остатка:

$$m(Cr_2O_3) + m(ZnO) = 152x + 81(3x + 0{,}8) = 145 \text{ (г)}$$

$$395x = 80{,}2$$

$$x = 0{,}2 \text{ (моль)}$$

Найдем исходное количество и массу дихромата калия:

$$\nu(K_2Cr_2O_7) = 0{,}2 + x = 0{,}2 + 0{,}2 = 0{,}4 \text{ (моль)}$$

$$m(K_2Cr_2O_7) = 0{,}4 \cdot 294 = 117{,}6 \text{ г}$$

Исходное количество и масса цинка:

$$\nu(Zn) = 3x + 0{,}8 = 1{,}4 \text{ моль}$$

$$\nu(Zn) = 1{,}4 \cdot 65 = 91 \text{ г}$$

Ответ. 117,6 г $K_2Cr_2O_7$, 91 г Zn.

10. Согласно условию, при охлаждении продуктов прокаливания получена жидкость, которая и реагирует с аммиачным раствором оксида серебра. Поэтому наряду с ацетоном, который образуется из ацетата кальция, в продуктах прокаливания присутствует альдегид — жидкость при нормальных условиях; это может быть уксусный альдегид, который образуется при взаимодействии ацетата и формиата кальция. Итак, при прокаливании могут протекать следующие реакции:

$$(CH_3COO)_2Ca \xrightarrow{t} CH_3COCH_3\uparrow + CaCO_3$$

$$(CH_3COO)_2Ca + (HCOO)_2Ca \xrightarrow{t} 2CH_3CHO\uparrow + 2CaCO_3$$

Твердый остаток при прокаливании представляет собой карбонат кальция.

$$\nu(CaCO_3) = \frac{30}{100} = 0{,}3 \text{ моль}$$

Количество образовавшегося ацетона:

$$\nu(C_3H_6O) = 5{,}8 : 58 = 0{,}1 \text{ моль}$$

Итак, в первой реакции образуется 0,1 моль $CaCO_3$, во второй реакции 0,3 – 0,1 = 0,2 моль $CaCO_3$. Отсюда количество уксусного альдегида 0,2 моль. Аммиачный раствор оксида серебра реагирует именно с уксусным альдегидом с образованием осадка серебра:

$$\underset{0{,}2}{CH_3CHO} + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow CH_3COONH_4 + \underset{0{,}4}{2Ag\downarrow} + 3NH_3 + H_2O$$

Масса осадка серебра $0{,}4 \cdot 108 = 43{,}2$ г, что соответствует условию задачи. Во вторую реакцию вступают формиат кальция и ацетат кальция в количестве 0,1 моль. Общее количество ацетата кальция 0,2 моль.

$$\nu((HCOO)_2Ca) = 0{,}1 \text{ моль}, \qquad m = 0{,}1 \cdot 130 = 13 \text{ г}$$

$$\nu((CH_3COO)_2Ca) = 0{,}2 \text{ моль}, \qquad m = 0{,}2 \cdot 158 = 31{,}6 \text{ г}$$

Массовая доля формиата кальция:

$$\omega((HCOO)_2Ca) = \frac{13}{44{,}6} = 0{,}2915, \text{ или } 29{,}15\%$$

Ответ. 29,15%

НОЯБРЬ-2

1. В уксусной кислоте между молекулами образуются водородные связи, в метиловом эфире уксусной кислоты нет водородных связей. У жидких веществ, между молекулами которых образуются водородные связи, более высокие температуры кипения.

2. $Na_2SO_4 + Ba(NO_3)_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2NaNO_3$

Пусть необходимо добавить x моль нитрата бария; в осадке x моль $BaSO_4$, в растворе $2x$ моль нитрата натрия.

$$m(NaNO_3) = \nu \cdot M = 2x \cdot 85 = 170x \text{ (г)}$$

$$m(\text{р-ра}) = 200 + m(\text{р-ра } Ba(NO_3)_2) - m(BaSO_4) =$$
$$= 200 + \frac{261x}{0{,}1} - 233x = 200 + 2377x \text{ (г)}$$

Согласно условию:

$$\omega(NaNO_3) = m(NaNO_3)/m(\text{р-ра}) = \frac{170x}{200 + 2377x} = 0{,}03$$

$$98{,}69x = 6$$

$x = 0{,}06$ моль

$m(Ba(NO_3)_2) = 0{,}06 \cdot 261 = 15{,}66$ г

$$m(\text{р-ра } Ba(NO_3)_2) = \frac{15{,}66}{0{,}1} = 156{,}6 \text{ г}$$

Искомый объем 10%-го раствора нитрата бария:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{156{,}6}{1{,}1} = 142{,}4 \text{ мл}$$

Ответ. 142,4 мл.

Другое решение. Раствор нитрата натрия с концентрацией 3% может быть получен не только при недостатке осадителя $Ba(NO_3)_2$, но и при его избытке относительно сульфата натрия, количество которого в растворе 0,07 моль. Для полного осаждения $BaSO_4$ нужно 182,7 г раствора $Ba(NO_3)_2$; при этом общая масса раствора составит 366,4 г (см. решение задача **2** варианта **Ноябрь-1**).

$$\underset{0{,}07}{Na_2SO_4} + \underset{0{,}07}{Ba(NO_3)_2} \rightarrow \underset{0{,}07}{BaSO_4\downarrow} + \underset{0{,}07}{2NaNO_3}$$

Если добавить еще m (г) раствора $Ba(NO_3)_2$, масса $NaNO_3$ в растворе не изменится:

$$m(NaNO_3) = 2 \cdot 0{,}07 \cdot 85 = 11{,}9 \text{ (г)}$$

а общая масса раствора увеличится до $(366{,}4 + m)$ (г).

$$0{,}03 = \frac{11{,}9}{366{,}4 + m}$$

$$m = 30{,}6 \text{ г}$$

Чтобы получить раствор с концентрацией 3%, нужно еще добавить 30,3 г раствора $Ba(NO_3)_2$. Суммарная масса добавленного раствора $Ba(NO_3)_2$:

$$m(\text{р-ра}) = 182{,}7 + 30{,}3 = 213 \text{ г}$$

Его объем:

$$V = \frac{213}{1{,}1} = 193{,}6 \text{ мл}$$

Ответ. 193,6 мл.

3. При прокаливании смеси нитратов протекают реакции разложения:

$$2NaNO_3 \xrightarrow{t} 2NaNO_2 + O_2\uparrow$$

$$4Cr(NO_3)_3 \cdot 3H_2O \xrightarrow{t} 2Cr_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow + 12H_2O\uparrow$$

Твердый остаток после прокаливания состоит из смеси $NaNO_2$ и Cr_2O_3; при обработке остатка водой нитрит натрия растворяется. Таким образом, **A** — это раствор $NaNO_2$, а темно-зеленый осадок **B** — Cr_2O_3. В реакции с иодидом натрия выделяется бесцветный газ NO, буреющий на воздухе:

$$2NaNO_2 + 2NaI + 2H_2SO_4 \rightarrow 2Na_2SO_4 + I_2\downarrow + 2NO\uparrow + 2H_2O$$

Монооксид азота окисляется кислородом воздуха до бурого оксида азота(IV):

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

$$\nu(NO) = \frac{PV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}976}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$\nu(NaNO_2) = \nu(NaNO_3) = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$m(NaNO_3) = 0{,}04 \cdot 85 = 3{,}4 \text{ г}$$

$$m(Cr(NO_3)_3 \cdot 3H_2O) = 9{,}24 - 3{,}4 = 5{,}84 \text{ г}$$

$$\nu(Cr(NO_3)_3 \cdot 3H_2O) = \frac{5{,}84}{292} = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(Cr_2O_3) = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$m(Cr_2O_3) = 0{,}01 \cdot 152 = 1{,}52 \text{ г}$$

Ответ. 1,52 г.

4. Хлорсодержащие органические соединения сгорают с образованием газообразного хлороводорода.

$$ClC_xH_y\text{—}COOH + (x + 0{,}25y)O_2 \xrightarrow{t} (x + 1)CO_2 + HCl + 0{,}5yH_2O$$

С раствором нитрата серебра реагирует только хлороводород:

$$AgNO_3 + HCl \rightarrow AgCl\downarrow + HNO_3$$

$$\nu(AgNO_3) = \frac{28 \cdot 1{,}05 \cdot 0{,}06}{170} = 0{,}01 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции:

$$\nu(HCl) = \nu(AgNO_3) = 0{,}01 \text{ моль}$$

Молярная масса неизвестной кислоты:

$$M = \frac{1{,}085}{0{,}01} = 108{,}5 \text{ г/моль}$$

Если вычесть M(Cl) и M(COOH) получим молярную массу радикала C_xH_y.

$$108{,}5 - 35{,}5 - 45 = 28 \text{ г/моль}$$

Это соответствует группе C_2H_4. Искомой кислотой может быть один из изомеров — 2-хлорпропановая или 3-хлорпропановая кислота.

Ответ. Хлорпропановая кислота ClC_2H_4COOH.

5. По условию:

$$\nu_1 - \nu_2 = 0{,}5 \text{ моль}$$

$$\nu_1 = \nu_2 + 0{,}5$$

В состоянии равновесия давление в обоих сосудах одинаковое, $p_1 = p_2$. Поэтому по уравнению Клапейрона–Менделеева:

$$\frac{\nu_1 RT_1}{V} = \frac{\nu_2 RT_2}{V}$$

$$\nu_1 T_1 = \nu_2 T_2$$

$$(\nu_2 + 0{,}5) \cdot 273 = \nu_2 \cdot 323$$

$$\nu_2 = 2{,}73 \text{ моль}$$

$$\nu_1 = 3{,}23 \text{ моль}$$

$$\nu_{\text{общ}} = \nu_1 + \nu_2 = 5{,}96 \text{ моль} \approx 6 \text{ моль}$$

В начальный момент времени $\nu_1 = \nu_2 = \dfrac{2{,}73 + 3{,}23}{2} = 2{,}98 \approx 3$ моль.

Ответ. $\nu_1 = \nu_2 = 3$ моль.

6. $\mathrm{RCOOH + R'OH \rightleftarrows RCOOR' + H_2O}$

$$K = \frac{[\mathrm{RCOOR'}] \cdot [\mathrm{H_2O}]}{[\mathrm{RCOOH}] \cdot [\mathrm{R'OH}]} = \frac{\nu(\mathrm{RCOOR'}) \cdot \nu(\mathrm{H_2O})}{\nu(\mathrm{RCOOH}) \cdot \nu(\mathrm{R'OH})}$$

Возьмем a моль спирта и 1 моль кислоты. Пусть $a > 1$, тогда кислота в недостатке, и выход 45% означает, что образовалось по 0,45 моль эфира и воды.

$$K = \frac{0{,}45 \cdot 0{,}45}{(a - 0{,}45)(1 - 0{,}45)} = 0{,}45$$

$$a = 1{,}27$$

В силу симметрии реакции относительно количеств кислоты и спирта при соотношениях спирт — кислота $a : 1$ и $1 : a$ выход реакции одинаковый. Поэтому выход примет экстремальное значение при стехиометрическом соотношении исходных веществ; однако при соотношении кислота — спирт 1 : 1 выход минимальный. А вот при очень большом количестве спирта или кислоты выход стремится к 1 (по принципу Ле Шателье равновесие смещается в сторону эфира).

Рассчитаем выход при стехиометрическом соотношении реагирующих веществ. Возьмем по 1 моль спирта и кислоты, и пусть образуется по x моль эфира и воды:

$$K = \frac{x \cdot x}{(1-x)(1-x)} = 0{,}45$$

После преобразований получим квадратное уравнение:

$$11x^2 + 18x - 9 = 0$$

Из двух корней этого уравнения $x_1 = 0{,}4$ и $x_2 = -2{,}04$ выбираем положительный.

$$x = 0{,}4 \text{ моль}$$

Минимальный выход:

$$\eta = \frac{0{,}4}{1} = 0{,}4, \text{ или } 40\%$$

Ответ. 1,27 : 1. При соотношении 1 : 1 минимальный выход 40%.

7. 1) $2KMnO_4 + 5H_2S + 3H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4 + 5S\downarrow + K_2SO_4 + 8H_2O$

2) $3MnSO_4 + 2KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow 5MnO_2\downarrow + K_2SO_4 + 2H_2SO_4$

или

$MnSO_4 + Cl_2 + 4KOH(\text{р-р}) \rightarrow MnO_2\downarrow + 2KCl + K_2SO_4 + 2H_2O$

3) $MnO_2 + 4HCl(\text{конц.}) \rightarrow MnCl_2(\text{р-р}) + Cl_2\uparrow + 2H_2O$

4) $MnCl_2(\text{р-р}) + 2NaHCO_3(\text{р-р}) \rightarrow MnCO_3\downarrow + 2NaCl + H_2O + CO_2\uparrow$

Для этой реакции не подходит раствор Na_2CO_3, так как в осадок выпадает основной карбонат марганца.

5) $MnCO_3 \xrightarrow{N_2,\,t} MnO + CO_2\uparrow$ (в инертной атмосфере)

6) $2MnO_2(\text{т}) + O_2 + 4KOH(\text{т}) \xrightarrow{t} 2K_2MnO_4 + 2H_2O\uparrow$ (сплавление)

Ответ. **X1** — $MnSO_4$, **X2** — MnO, **X3** — K_2MnO_4.

8. 1) $CO + 2H_2 \xrightarrow{t,\,\text{катализатор}} CH_3OH$

2) $2CH_3OH + HOOC{-}COOH \xrightarrow{t,\,H^+} H_3COOC{-}COOCH_3 + 2H_2O$

3) $H_3COOC{-}COOCH_3 + 2NaOH(\text{р-р}) \xrightarrow{t} \rightarrow 2CH_3OH + NaOOC{-}COONa$

4) $NaOOC{-}COONa + 2HCl \rightarrow HOOC{-}COOH + 2NaCl$

5) $HOOC{-}COOH \xrightarrow{t} HCOOH + CO_2$

6) $HCOOH + CH_3OH \xrightarrow{t,\,H^+} HCOOCH_3 + H_2O$

Ответ. **X** — CH_3OH, **Y** — $NaOOC{-}COONa$, **Z** — $HCOOH$.

9. Никель — менее активный металл по сравнению с железом. Поэтому прежде всего цинк полностью вытесняет никель из его сульфата:

$$NiSO_4 + Zn \rightarrow ZnSO_4 + Ni$$

Далее при взаимодействии цинка с сульфатом трехвалентного железа образуются два продукта — сульфат железа(II) и железо.

$$Fe_2(SO_4)_3 + Zn \rightarrow 2FeSO_4 + ZnSO_4$$

$$FeSO_4 + Zn \rightarrow Fe + ZnSO_4$$

Образование сульфата железа(II) подтверждается последующей реакцией с раствором аммиака:

$$FeSO_4 + 2NH_3 \cdot H_2O \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

В осадок выпадает гидроксид железа(II).

$$\nu(Fe(OH)_2) = \frac{m}{M} = 0{,}9 : 90 = 0{,}01 \text{ моль}$$

Исходные количества солей:

$$\nu(Fe_2(SO_4)_3) = \frac{m}{M} = \frac{50 \cdot 0{,}05}{400} = 0{,}00625 \text{ моль}$$

$$\nu(NiSO_4) = \frac{m}{M} = \frac{50 \cdot 0{,}05}{155} = 0{,}01613 \text{ моль}$$

Из этого количества сульфата железа(III) максимально может образоваться $0{,}00625 \cdot 2 = 0{,}0125$ моль гидроксида железа(II). Но мы нашли, что его получилось меньше (0,01 моль). Остальное количество Fe(II) восстановилось до металла $0{,}0125 - 0{,}01 = 0{,}0025$ моль железа.

Количество восстановившегося никеля составляет 0,01613 моль.

$$\begin{aligned} m(\text{пластины})_{\text{кон}} &= m(\text{пластины})_{\text{исх}} - m(Zn) + m(Ni) + m(Fe) = \\ &= m(\text{пластины})_{\text{исх}} - \nu(Zn) \cdot M(Zn) + \nu(Ni) \cdot M(Ni) + \nu(Fe) \cdot M(Fe) = \\ &= m(\text{пластины})_{\text{исх}} - (0{,}00625 + 0{,}01613 + 0{,}0025) \cdot 65 + \\ &+ 0{,}01613 \cdot 59 + 0{,}0025 \cdot 56 = m(\text{пластины})_{\text{исх}} - 0{,}53 \text{ (г)} \end{aligned}$$

Масса пластины уменьшится на 0,53 г.

Ответ. Уменьшится на 0,53 г.

10. Согласно условию, при охлаждении продуктов прокаливания образуется жидкость, которая реагирует с аммиачным раствором оксида серебра. Поэтому наряду с диэтилкетоном, который образуется из пропионата кальция, присутствует альдегид — жидкость при нормальных условиях; это может быть пропионовый альдегид, который

образуется при взаимодействии пропионата и формиата кальция. Итак, при прокаливании могут протекать следующие реакции:

$$(CH_3CH_2COO)_2Ca \xrightarrow{t} CH_3CH_2COCH_2CH_3\uparrow + CaCO_3$$

$$(CH_3CH_2COO)_2Ca + (HCOO)_2Ca \xrightarrow{t} 2CH_3CH_2CHO\uparrow + 2CaCO_3$$

Количество образовавшегося диэтилкетона:

$$\nu(C_5H_{10}O) = \frac{12{,}9}{86} = 0{,}15 \text{ моль}$$

Твердый остаток после прокаливания представляет собой карбонат кальция.

$$\nu(CaCO_3) = \frac{45}{100} = 0{,}45 \text{ моль}$$

Итак, в первой реакции образовалось 0,15 моль $CaCO_3$, во второй реакции 0,45 − 0,15 = 0,3 моль $CaCO_3$. Отсюда количество пропионового альдегида 0,3 моль. Аммиачный раствор оксида серебра реагирует только с пропионовым альдегидом с образованием осадка серебра.

$$\underset{0{,}3}{CH_3CH_2CHO} + 2[Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow \underset{0{,}6}{\rightarrow CH_3CH_2COONH_4} + 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$$

Масса осадка серебра: $0{,}6 \cdot 108 = 64{,}8$ г, что соответствует условию задачи. Количество формиата кальция и пропионата кальция во второй реакции 0,15 моль, общее количество пропионата кальция 0,3 моль.

$$\nu((HCOO)_2Ca) = 0{,}15 \text{ моль}, \qquad m = 0{,}15 \cdot 130 = 19{,}5 \text{ г}$$

$$\nu((CH_3CH_2COO)_2Ca) = 0{,}3 \text{ моль}, \qquad m = 0{,}3 \cdot 186 = 55{,}8 \text{ г}$$

Массовая доля формиата кальция:

$$\omega((HCOO)_2Ca) = \frac{19{,}5}{75{,}3} = 0{,}259, \text{ или } 25{,}9\%$$

Ответ. 25,9%

НОЯБРЬ-3

1. Между молекулами спирта существуют водородные связи, которые отсутствуют в простом эфире. Жидкие вещества, между молекулами которых возникает водородные связи, имеют более высокие температуры кипения.

2. Исходный раствор содержит карбонат калия.

$$m(K_2CO_3) = 150 \cdot 0{,}0184 = 2{,}76 \text{ г}$$

$$\nu(K_2CO_3) = \frac{2{,}76}{138} = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$2HCl + K_2CO_3 \rightarrow 2KCl + H_2O + CO_2\uparrow$$

Для нейтрализации 0,02 моль карбоната калия необходимо 0,04 моль HCl.

$$m(HCl) = 0{,}04 \cdot 36{,}5 = 1{,}46 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра HCl}) = \frac{1{,}46}{0{,}25} = 5{,}84 \text{ г}$$

Масса полученного раствора:

$$m_1(\text{р-ра}) = 150 + m(\text{р-ра HCl}) - m(CO_2) = \\ = 150 + 5{,}84 - 0{,}02 \cdot 44 = 154{,}96 \text{ г}$$

К этому раствору нужно добавить некоторый объем 25%-й соляной кислоты, содержащий x моль HCl:

$$\omega(HCl) = \frac{m(HCl)}{m_2(\text{р-ра})} = \frac{36{,}5x}{154{,}96 + \dfrac{36{,}5x}{0{,}25}} = 0{,}03$$

$$36{,}5x = 4{,}38x + 4{,}6488$$

$$32{,}12x = 4{,}6488$$

$$x = 0{,}145 \text{ моль}$$

Итак, всего необходимо добавить такой объем 25%-й соляной кислоты, который содержит 0,04 + 0,145 = 0,185 моль HCl.

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0{,}185 \cdot 36{,}5}{0{,}25 \cdot 1{,}1} = 24{,}55 \text{ мл}$$

Ответ. 24,55 мл.

3. При прокаливании смеси нитратов протекают реакции разложения:

$$2AgNO_3 \xrightarrow{t} 2Ag + 2NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O \xrightarrow{t} MnO_2 + 2NO_2\uparrow + 6H_2O\uparrow$$

Твердый остаток после прокаливания представляет собой смесь серебра и MnO_2. При обработке соляной кислотой оксид марганца растворяется:

$$MnO_2 + 4HCl \rightarrow MnCl_2 + Cl_2\uparrow + 2H_2O$$

Итак, **А** — это раствор $MnCl_2$, черный осадок **В** — серебро, которое не реагирует с соляной кислотой. Желто-зеленый газ — это хлор:

$$\nu(Cl_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}732}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(MnO_2) = \nu(Cl_2) = \nu(Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O) = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$m(Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O) = 0{,}03 \cdot 287 = 8{,}61 \text{ г}$$

$$m(AgNO_3) = 12{,}01 - 8{,}61 = 3{,}4 \text{ г}$$

$$\nu(AgNO_3) = \frac{3{,}4}{170} = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(Ag) = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$m(Ag) = 0{,}02 \cdot 108 = 2{,}16 \text{ г}$$

Ответ. 2,16 г.

4. Хлорсодержащие органические соединения сгорают с образованием газообразного хлороводорода:

$$ClC_xH_y—COOH + (x + 0{,}25y)O_2 \xrightarrow{t} (x + 1)CO_2 + HCl + 0{,}5yH_2O$$

С раствором нитрата серебра реагирует только хлороводород.

$$AgNO_3 + HCl \to AgCl\downarrow + HNO_3$$

$$\nu(AgNO_3) = \frac{62{,}96 \cdot 1{,}08 \cdot 0{,}075}{170} = 0{,}03 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции, $\nu(HCl) = \nu(AgNO_3) = 0{,}03$ моль. Молярная масса неизвестной кислоты:

$$M = \frac{4{,}695}{0{,}03} = 156{,}5 \text{ г/моль}$$

После вычитания $M(Cl)$ и $M(COOH)$ определим молярную массу радикала C_xH_y:

$$156{,}5 - 35{,}5 - 45 = 76 \text{ г/моль}$$

Это C_6H_4. Искомой кислотой может быть один из изомеров хлорбензойной кислоты — 2-хлорбензойная, 3-хлорбензойная или 4-хлорбензойная.

Ответ. Хлорбензойная кислота ClC_6H_4COOH.

5. В состоянии равновесия в обоих сосудах давление одинаковое, $p_1 = p_2$. По условию, $p_1 = p_2 = 1{,}05p_0$. В соответствии с уравнением Клапейрона–Менделеева,

$$\frac{\nu_1 RT_1}{V} = \frac{\nu_2 RT_2}{V} = \frac{1{,}05 \cdot \nu_0 \cdot R \cdot T_0}{V}$$

$$273 \cdot \nu_1 = 1{,}05 \cdot 1{,}5 \cdot 298$$

$$\nu_1 = \frac{469{,}35}{273} = 1{,}72 \text{ моль}$$

$$\nu_2 = 3 - 1{,}72 = 1{,}28 \text{ моль}$$

$$T_2 = \frac{1{,}05 \cdot 1{,}5 \cdot 298}{1{,}28} = 366{,}7 \text{ К}$$

Ответ. 366,7 К.

6. Происходят последовательные обратимые реакции этерификации:

$$\text{HOOC—R—COOH} + \text{R′OH} \rightleftarrows \text{HOOC—R—COOR′} + \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{HOOC—R—COOR′} + \text{R′OH} \rightleftarrows \text{R′OOC—R—COOR′} + \text{H}_2\text{O}$$

Введем обозначения: **А** — кислота R(COOH)_2, **В** — спирт R′OH, **МЭ** — моноэфир HOOC—R—COOR′, **ДЭ** — диэфир R′OOC—R—COOR′. Запишем реакции в новых обозначениях:

$$\mathbf{А} + \mathbf{В} \rightleftarrows \mathbf{МЭ} + \text{H}_2\text{O}$$

$$\mathbf{МЭ} + \mathbf{В} \rightleftarrows \mathbf{ДЭ} + \text{H}_2\text{O}$$

Выразим константы равновесия обеих реакций через равновесные концентрации веществ:

$$K = \frac{[\mathbf{МЭ}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\mathbf{А}] \cdot [\mathbf{В}]}, \quad K = \frac{[\mathbf{ДЭ}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\mathbf{МЭ}] \cdot [\mathbf{В}]}$$

Приравняв константы, после преобразований получим

$$[\mathbf{МЭ}]^2 = [\mathbf{А}] \cdot [\mathbf{ДЭ}]$$

По условию, $[\mathbf{МЭ}] = [\mathbf{ДЭ}]$, $[\mathbf{МЭ}] = [\mathbf{А}] = [\mathbf{ДЭ}]$.

$$K = \frac{[\text{H}_2\text{O}]}{[\mathbf{В}]}$$

Пусть в начальный момент в системе было a моль **А** и b моль **В**. К моменту установления равновесия прореагировало x моль **А**, образовалось y моль **ДЭ**.

$$\underset{a-x}{\mathbf{А}} + \underset{b-x-y}{\mathbf{В}} \rightleftarrows \underset{x-y}{\mathbf{МЭ}} + \underset{x}{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\underset{x-y}{\mathbf{МЭ}} + \underset{b-x-y}{\mathbf{В}} \rightleftarrows \underset{y}{\mathbf{ДЭ}} + \underset{y}{\text{H}_2\text{O}}$$

$$\nu(\mathbf{А}) = a - x$$

$$\nu(\mathbf{B}) = b - x - y$$

$$\nu(\mathbf{МЭ}) = x - y$$

$$\nu(\mathbf{ДЭ}) = y$$

$$\nu(H_2O) = x + y$$

Поскольку **[МЭ]** = **[ДЭ]** = **[А]**,

$$\nu(\mathbf{МЭ}) = x - y = \nu(\mathbf{ДЭ}) = y$$

$$x = 2y$$

$$\nu(\mathbf{A}) = a - x = a - 2y \text{ (моль)}$$

$$\nu(\mathbf{B}) = b - x - y = b - 3y \text{ (моль)}$$

$$\nu(\mathbf{МЭ}) = x - y = y \text{ (моль)}$$

$$\nu(\mathbf{ДЭ}) = y \text{ (моль)}$$

$$\nu(H_2O) = x + y = 3y \text{ (моль)}$$

Но **[ДЭ]** = **[А]** = $y = a - 2y$, отсюда $a = 3y$.

Подставим полученные концентрации в выражение для константы равновесия:

$$K = \frac{[H_2O]}{[\mathbf{B}]} = \frac{3y}{b - 3y}$$

$$Kb = 3y + 3Ky = 3y(1 + K)$$

$$b = \frac{3y(1 + K)}{K}$$

$$a : b = 3y : \frac{3y(1 + K)}{K} = K : (1 + K)$$

Ответ. Кислота : спирт = $K : (1 + K)$.

7. 1) $2FeCl_3(р\text{-}р) + 3(NH_4)_2S(р\text{-}р) \rightarrow 2FeS + S\downarrow + 6NH_4Cl$

2) $4FeS + 7O_2 \xrightarrow{t} 2Fe_2O_3 + 4SO_2\uparrow$ (окислительный обжиг)

3) $Fe_2O_3 + 2Al \xrightarrow{t} Al_2O_3 + 2Fe$

или, например,

$Fe_2O_3 + 3CO \xrightarrow{t} 3CO_2 + 2Fe$

4) $2FeCl_3(р\text{-}р) + H_2S \rightarrow 2FeCl_2 + S\downarrow + 2HCl$

5) $4FeCl_2 + O_2 + 8KOH + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3\downarrow + 8KCl$

6) $2Fe(OH)_3 + 3Br_2 + 10KOH \rightarrow 2K_2FeO_4 + 6KBr + H_2O$

Ответ. **X1** — Fe_2O_3, **X2** — $FeCl_2$, **X3** — K_2FeO_4.

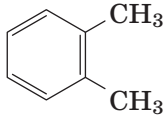
8. 1) $CH_2{=}CH{-}CH{-}CH_2 + 2H_2 \xrightarrow{Ni,\,t} CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$

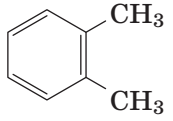
2) $CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu}$

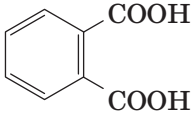
$\rightarrow CH_3{-}CH(Cl){-}CH_2{-}CH_3 + HCl$

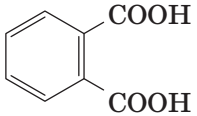
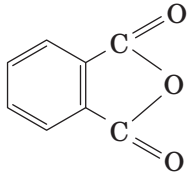
3) $2CH_3{-}CH(Cl){-}CH_2{-}CH_3 + 2Na \xrightarrow{\text{эфир}}$

$\rightarrow CH_3{-}CH_2{-}CH(CH_3){-}CH(CH_3){-}CH_2{-}CH_3 + 2NaCl$ (реакция Вюрца)

4) $CH_3{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}CH_2{-}CH_3 \xrightarrow[t]{Cr_2O_3}$  $+ 4H_2$

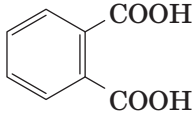
5) 5  $+ 12KMnO_4 + 8H_2SO_4 \longrightarrow$

$\longrightarrow 5$  $+ 6K_2SO_4 + 12MnSO_4 + 28H_2O$

6)  $\xrightarrow{t}$  $+ H_2O$

Ответ. **X** — C_4H_{10}, бутан;

Y — $CH_3{-}CH_2{-}CH(CH_3){-}CH(CH_3){-}CH_2{-}CH_3$,

Z — 

9. Бром в щелочной среде окисляет хром частично до трехвалентного, частично до шестивалентного:

$$2CrCl_2 + Br_2 + 12NaOH \rightarrow 2Na_3[Cr(OH)_6] + 4NaCl + 2NaBr$$

$$2Na_3[Cr(OH)_6] + 3Br_2 + 4NaOH \rightarrow 2Na_2CrO_4 + 6NaBr + 8H_2O$$

Избыток углекислого газа взаимодействует и с гидроксикомплексом хрома(III), и с хроматом натрия:

$$Na_3[Cr(OH)_6] + 3CO_2(\text{изб.}) \rightarrow 3NaHCO_3 + Cr(OH)_3\downarrow$$

$$2Na_2CrO_4 + 2CO_2(\text{изб.}) + H_2O \rightarrow Na_2Cr_2O_7 + 2NaHCO_3$$

$$\nu(Cr(OH)_3) = \frac{m}{M} = \frac{3{,}4}{103} = 0{,}033 \text{ моль}$$

0,033 моль гидроксида хрома(III) образовалось из 0,033 моль $CrCl_2$.

С концентрированной соляной кислотой взаимодействует дихромат натрия, оставшийся в фильтрате:

$$Na_2Cr_2O_7 + 14HCl \rightarrow 2NaCl + 2CrCl_3 + 3Cl_2\uparrow + 7H_2O$$

$$\nu(Cl_2) = \frac{2{,}24}{22{,}4} = 0{,}1 \text{ моль}$$

Дихромат для получения заданного количества хлора образовался из следующего количества $CrCl_2$:

$$\nu(CrCl_2) = \nu(Cl_2) \cdot \frac{2}{3} = 0{,}1 \cdot 0{,}67 = 0{,}067 \text{ моль}$$

Общее количество $CrCl_2$:

$$0{,}067 + 0{,}033 = 0{,}1 \text{ (моль)}$$

Ответ. 0,1 моль.

10. При прокаливании смеси кальциевых солей могут протекать следующие реакции:

$$\underset{x}{(CH_3CH_2COO)_2Ca} \xrightarrow{t} \underset{x}{CH_3CH_2COCH_2CH_3}\uparrow + \underset{x}{CaCO_3}$$

$$\underset{y}{(CH_3COO)_2Ca} \xrightarrow{t} \underset{y}{CH_3COCH_3}\uparrow + \underset{y}{CaCO_3}$$

$$\underset{z}{(CH_3COO)_2Ca} + \underset{z}{(CH_3CH_2COO)_2Ca} \xrightarrow{t} \underset{2z}{2CH_3CH_2COCH_3}\uparrow + \underset{2z}{2CaCO_3}$$

Твердый остаток после прокаливания состоит из карбоната кальция.

$$\nu(CaCO_3) = \frac{40}{100} = 0{,}4 \text{ моль}$$

Поскольку количество $CaCO_3$ соответствует общему количеству исходных солей, а исходная смесь, по условию, содержала их в равных количествах, то $\nu((CH_3COO)_2Ca) = \nu((CH_3CH_2COO)_2Ca) = 0{,}2$ моль.

При прокаливании смеси солей могут образоваться три кетона — ацетон, бутанон (метилэтилкетон) и пентанон-3 (диэтилкетон). Согласно условию, при охлаждении продуктов прокаливания образуется жидкость, которая реагирует с избытком водного раствора иода и щелочи с образованием осадка, т. е. происходит *галоформная реакция*, в которую вступают метилкетоны — кетоны, в которых метильная группа расположена рядом с карбонильной. В эту реакцию могут вступить только ацетон и метилэтикетон.

Не растворившаяся в воде жидкость — это диэтилкетон $(CH_3CH_2)_2CO$, масса которого 8,6 г.

$$\nu((CH_3CH_2)_2CO) = 8{,}6 : 86 = 0{,}1 \text{ моль}$$

Количество карбоната кальция, образовавшегося в первой реакции, также 0,1 моль. Общее количество $CaCO_3$, полученного во второй и третьей реакциях, 0,3 моль ($y + 2z = 0{,}3$), и общее количество ацетона и бутанона тоже составляет 0,3 моль.

Галоформная реакция:

$$RCOCH_3 + 3I_2 + 4KOH \rightarrow CHI_3\downarrow + RCOOK + 3KI + 3H_2O$$

Количество иодоформа (трииодметана) в осадке 0,3 моль.

$$m(CHI_3) = 0{,}3 \cdot 394 = 118{,}2 \text{ г}$$

Ответ. 118,2 г.

НОЯБРЬ-4

1. Между молекулами спирта существуют водородные связи, которые отсутствуют в сложном эфире. У жидких веществ, между молекулами которых возникают водородные связи, более высокие температуры кипения.

2. $2HCl + K_2CO_3 \rightarrow 2KCl + H_2O + CO_2\uparrow$

Необходимо добавить объем соляной кислоты, содержащий x моль HCl; масса этого раствора:

$$m(\text{р-ра HCl}) = \frac{36{,}5x}{0{,}25} = 146x \text{ (г)}$$

Тогда масса полученного раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{р-ра } K_2CO_3) + m(\text{р-ра HCl}) - m(CO_2) = \\ = 150 + 146x - 0{,}5x \cdot 44 = 150 + 124x$$

По условию:

$$\omega(KCl) = m(KCl) : m \text{ (р-ра)} = 0{,}015$$

$$74{,}5x = 2{,}25 + 1{,}86x$$

$$72{,}64x = 2{,}25$$

$$x = 0{,}03 \text{ моль}$$

Следовательно, необходимо добавить такой объем V соляной кислоты, которая содержит 0,03 моль HCl.

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0{,}03 \cdot 36{,}5}{0{,}25 \cdot 1{,}1} = 4 \text{ мл}$$

Ответ. 4 мл.

По аналогии с задачей **2** из варианта «Ноябрь-2», эта задача имеет *второе решение*.

Раствор KCl с концентрацией 1,5% может быть получен и при добавлении избытка HCl. Для полной нейтрализации K_2CO_3 нужно 5,84 г раствора HCl, и общая масса полученного раствора составит 154,96 г.

$$\underset{0{,}04}{2HCl} + \underset{0{,}02}{K_2CO_3} \rightarrow \underset{0{,}04}{2KCl} + H_2O + \underset{0{,}02\ (\text{моль})}{CO_2\uparrow}$$

Если добавить еще m г раствора соляной кислоты, масса KCl в растворе не изменится.

$$m(KCl) = 2 \cdot 74{,}5 \cdot 0{,}04 = 5{,}96 \text{ г}$$

Общая масса раствора увеличится до $(154{,}96 + m)$ г. Чтобы получить раствор KCl с концентрацией 1,5%, нужно еще добавить 242,37 г раствора соляной кислоты:

$$0{,}015 = \frac{5{,}96}{154{,}96 + m}$$

$$m = 242{,}37 \text{ г}$$

Всего нужно добавить

$$m(\text{р-ра}) = 154{,}96 + 242{,}37 = 397{,}3 \text{ г}$$

Объем раствора HCl:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{397{,}3}{1{,}1} = 361{,}2 \text{ мл}$$

Ответ. 361,2 мл.

3. При прокаливании смеси нитратов протекают реакции разложения:

$$2Hg(NO_3)_2 \cdot 0{,}5H_2O \xrightarrow{t} 2Hg + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow + H_2O\uparrow$$

$$Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O \xrightarrow{t} MnO_2 + 2NO_2\uparrow + 6H_2O\uparrow$$

Остаток после прокаливания — это смесь ртути и MnO_2, при обработке соляной кислотой оксид марганца растворяется:

$$MnO_2 + 4HCl \rightarrow MnCl_2 + Cl_2\uparrow + 2H_2O$$

Таким образом, **A** — это раствор $MnCl_2$, а черный осадок **B** — ртуть, которая не реагирует с соляной кислотой. Желто-зеленый газ — это хлор.

$$\nu(Cl_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 1{,}220}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}05 \text{ моль}$$

$$\nu(MnO_2) = \nu(Cl_2) = \nu(Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O) = 0{,}05 \text{ моль}$$

$$m(Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O) = 0{,}05 \cdot 287 = 14{,}32 \text{ г}$$

$$m(Hg(NO_3)_2 \cdot 0{,}5H_2O) = 24{,}34 - 14{,}32 = 10{,}02 \text{ г}$$

$$\nu(Hg(NO_3)_2 \cdot 0{,}5H_2O) = \frac{10{,}2}{334} = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(Hg) = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$m(Hg) = 0{,}03 \cdot 201 = 6 \text{ г}$$

Ответ. 6 г.

4. Галогеноводороды образуются только при сгорании фтор- или хлорсодержащих органических веществ. Однако при взаимодействии с нитратом серебра фтороводород не образует осадка, поэтому можно сделать вывод о том, что сгорает именно хлорсодержащая органическая кислота. Начнем с рассмотрения монохлорпроизводного:

$$ClC_xH_y\text{—}COOH + (x + 0{,}25y)O_2 \xrightarrow{t} (x + 1)CO_2 + HCl + 0{,}5yH_2O$$

С раствором нитрата серебра реагирует только хлороводород.

$$AgNO_3 + HCl \to AgCl\downarrow + HNO_3$$

$$\nu(AgNO_3) = \frac{40{,}48 \cdot 1{,}05 \cdot 0{,}08}{170} = 0{,}02 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции, $\nu(HCl) = \nu(AgNO_3) = 0{,}02$ моль. Тогда молярная масса неизвестной кислоты:

$$M = \frac{9{,}72 \cdot 101{,}3}{8{,}314 \cdot 296} = 170{,}5 \text{ г/моль}$$

После вычитания $M(Cl)$ и $M(COOH)$ определим молярную массу радикала C_xH_y:

$$170{,}5 - 35{,}5 - 45 = 90 \text{ г/моль}$$

Это C_7H_6. Искомая кислота — один из изомеров монохлорметилбензойной кислоты.

Ответ. Монохлорметилбензойная кислота ClC_7H_6COOH.

5. Сначала определим количество газа в каждом из сосудов после установления равновесия:

$$\begin{cases}\nu_1 + \nu_2 = 4\\ \nu_2 - \nu_1 = 0{,}62\end{cases}$$

$$\nu_1 = \nu_2 + 0{,}48$$

$$2\nu_2 + 0{,}48 = 4$$

$$\nu_2 = 1{,}76 \text{ моль}$$

$$\nu_2 = 4 - 1{,}76 = 2{,}24 \text{ моль}$$

В состоянии равновесия в обоих сосудах давление одинаковое, $p_1 = p_2$. По условию, $p_1 = p_2 = 1{,}1p_0$. В соответствии с уравнением Клапейрона–Менделеева,

$$\frac{\nu_1 RT_1}{V} = \frac{\nu_2 RT_2}{V} = \frac{1{,}1 \cdot \nu_0 \cdot R \cdot T_0}{V}$$

$$\nu_1 T_1 = \nu_2 T_2 = 1{,}1 \cdot 2 \cdot 298$$

$$2{,}24 \cdot T_1 = 1{,}1 \cdot 2 \cdot 298, \qquad 1{,}76 \cdot T_2 = 1{,}1 \cdot 2 \cdot 298$$

$$T_1 = \frac{655{,}6}{2{,}24} = 292{,}7 \text{ К}; \qquad T_2 = \frac{655{,}6}{1{,}76} = 372{,}5 \text{ К}$$

Ответ. $T_1 = 292{,}7$ К, $T_2 = 372{,}5$ К.

6. Напишем уравнения последовательных реакций этерификации:

$$\text{HOOC—R—COOH} + \text{R′OH} \rightleftarrows \text{HOOC—R—COOR′} + \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{HOOC—R—COOR′} + \text{R′OH} \rightleftarrows \text{R′OOC—R—COOR′} + \text{H}_2\text{O}$$

Обозначим: R(COOH)_2 — **A**, HOOC—R—COOR′ — моноэфир, R′OOC—R—COOR′ — диэфир.

$$K = \frac{[\text{моноэфир}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{A}] \cdot [\text{R′OH}]} = \frac{\nu(\text{моноэфир}) \cdot \nu(\text{H}_2\text{O})}{\nu(\text{A}) \cdot \nu(\text{R′OH})}$$

$$K = \frac{[\text{диэфир}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{моноэфир}] \cdot [\text{R′OH}]} = \frac{\nu(\text{диэфир}) \cdot \nu(\text{H}_2\text{O})}{\nu(\text{моноэфир}) \cdot \nu(\text{R′OH})}$$

Пусть в первую реакцию вступило x моль спирта, а во вторую — y моль. Определим равновесные количества веществ (в молях).

$\nu(\text{A}) = 1 - x$ (кислота участвует только в первой реакции)

$\nu(\text{R′OH}) = 5 - x - y$

$\nu(\text{моноэфир}) = x - y$

ν(диэфир) = y

$\nu(H_2O) = x + y$

По условию, $y = 2(x - y)$, откуда $x = 1{,}5y$. Подставим количества веществ, выраженные через y, в константы равновесия обеих стадий:

$$K = \frac{\nu(\text{моноэфир}) \cdot \nu(H_2O)}{\nu(\mathbf{A}) \cdot \nu(R'OH)} = \frac{0{,}5y \cdot 2{,}5y}{(1 - 1{,}5y)(5 - 2{,}5y)}$$

$$K = \frac{\nu(\text{диэфир}) \cdot \nu(H_2O)}{\nu(\text{моноэфир}) \cdot \nu(R'OH)} = \frac{y \cdot 2{,}5y}{0{,}5y \cdot (5 - 2{,}5y)}$$

Приравниваем K и находим $y = 0{,}57$. Подставив y в любое выражение для K, получим $K = 0{,}80$. Равновесные количества веществ:

$\nu(\mathbf{A}) = 1 - 1{,}5y = 0{,}14$ моль

$\nu(R'OH) = 5 - 2{,}5y = 3{,}57$ моль

ν(моноэфир) $= 0{,}5y = 0{,}29$ моль

ν(диэфир) $= y = 0{,}57$ моль

$\nu(H_2O) = 2{,}5y = 1{,}43$ моль

Ответ. $K = 0{,}80$, 0,14 моль кислоты, 3,57 моль спирта, 0,29 моль моноэфира, 0,57 моль диэфира, 1,43 моль H_2O.

7. 1) $CuCl_2(\text{р-р}) + Cu \xrightarrow{HCl(\text{конц.}),\, t} 2CuCl$

или

$2CuCl_2 + SO_2 + 2H_2O \xrightarrow{t} 2CuCl\downarrow + H_2SO_4 + 2HCl$

2) $CuCl + 2NH_3 \cdot H_2O(\text{р-р}) \rightarrow [Cu(NH_3)_2]Cl + 2H_2O$

или

$CuCl + 3NH_3 \cdot H_2O(\text{р-р}) \rightarrow [Cu(NH_3)_2]OH + NH_4Cl + 2H_2O$

3) $4[Cu(NH_3)_2]Cl + O_2 + 12NH_3 \cdot H_2O(\text{р-р}) \rightarrow$
$\rightarrow 4[Cu(NH_3)_4](OH)_2 + 2NH_4Cl + 2H_2O$

или

$4[Cu(NH_3)_2]OH + O_2 + 8NH_3 \cdot H_2O(\text{р-р}) \rightarrow$
$\rightarrow 4[Cu(NH_3)_4](OH)_2 + 6H_2O$

4) $CuCl_2(\text{р-р}) + Zn \rightarrow ZnCl_2 + Cu$

5) $Cu + 4HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$

6) $2Cu(NO_3)_2 + 4KI \rightarrow 2CuI\downarrow + I_2\downarrow + 4KNO_3$

Ответ. **X1** — $[Cu(NH_3)_2]Cl$ или $[Cu(NH_3)_2]OH$, **X2** — $[Cu(NH_3)_4](OH)_2$, **X3** — $Cu(NO_3)_2$.

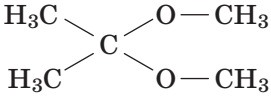
8. 1) $(CH_3)_2CHCOOH + NaOH \rightarrow (CH_3)_2CHCOONa + H_2O$

2) $2(CH_3)_2CHCOONa + 2H_2O \xrightarrow{\text{⚡}}$
$\rightarrow (CH_3)_2CH{-}{-}CH(CH_3)_2 + 2CO_2\uparrow + H_2\uparrow + 2NaOH$ (реакция Кольбе)

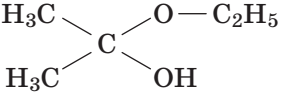
3) $(CH_3)_2CH—CH(CH_3)_2 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} (CH_3)_2CBr—CH(CH_3)_2 + HBr$

4) $(CH_3)_2CBr—CH(CH_3)_2 + KOH \xrightarrow{\text{спирт}}$
$\rightarrow (CH_3)_2C{=}C(CH_3)_2 + KBr + H_2O$

5) $5(CH_3)_2C{=}C(CH_3)_2 + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 10CH_3COCH_3 + 2K_2SO_4 + 4MnSO_4 + 6H_2O$

6) $CH_3—\underset{\underset{O}{\|}}{C}—CH_3 + 2CH_3OH \xrightarrow{H^+}$  $+ H_2O$

или

$CH_3—\underset{\underset{O}{\|}}{C}—CH_3 + C_2H_5OH \xrightarrow{H^+}$ 

Ответ. **X** — $(CH_3)_2CHCOONa$, **Y** — $(CH_3)_2CBr—CH(CH_3)_2$,
Z — CH_3COCH_3.

9. Более активный металл цинк вытесняет медь из соли:

$$CuSO_4 + Zn \rightarrow Cu + ZnSO_4$$

При добавлении избытка раствора гидроксида натрия выпадает осадок гидроксида меди(II), и соль цинка превращается в растворимый гидроксокомплекс.

$$CuSO_4 + 2NaOH \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$ZnSO_4 + 4NaOH \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + Na_2SO_4$$

$$\nu(Cu(OH)_2) = \frac{m}{M} = \frac{9{,}8}{98} = 0{,}1 \text{ моль}$$

После реакции с цинком количество сульфата меди в растворе равно количеству гидроксида меди в осадке, т. е. 0,1 моль.

При взаимодействии с раствором сульфида аммония масса осадка равна сумме масс сульфида меди и сульфида цинка.

$$CuSO_4 + (NH_4)_2S \rightarrow CuS\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$ZnSO_4 + (NH_4)_2S \rightarrow ZnS\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$\nu(CuS) = \nu(CuSO_4) = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$m(CuS) = \nu \cdot M = 0{,}1 \cdot 96 = 9{,}6 \text{ г}$$

$$m(ZnS) = 29 - m(CuS) = 29 - 9{,}6 = 19{,}4 \text{ г}$$

$$\nu(ZnS) = \frac{m}{M} = \frac{19{,}4}{97} = 0{,}2 \text{ моль} = \nu(ZnSO_4)$$

Масса пластинки:

$$\begin{aligned} m(\text{пластинки})_{\text{конечн}} &= m(\text{пластинки})_{\text{исх}} - m(\text{Zn}) + m(\text{Cu}) = \\ &= m(\text{пластинки})_{\text{исх}} - \nu(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}) + \nu(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = \\ &= m(\text{пластинки})_{\text{исх}} - 0{,}2 \cdot 65 + 0{,}2 \cdot 64 = \\ &= m(\text{пластинки})_{\text{исх}} - 0{,}2 \text{ (г)} \end{aligned}$$

Ответ. Масса пластинки уменьшится на 0,2 г.

10. При прокаливании смеси кальциевых солей могут протекать следующие реакции:

$$\underset{x}{(CH_3CH_2CH_2COO)_2Ca} \xrightarrow{t} \underset{x}{CH_3CH_2CH_2COCH_2CH_2CH_3}\uparrow + \underset{x}{CaCO_3}$$

$$\underset{y}{(CH_3COO_2Ca} \xrightarrow{t} \underset{y}{CH_3COCH_3}\uparrow + \underset{y}{CaCO_3}$$

$$\underset{z}{(CH_3COO)_2)Ca} + \underset{z}{(CH_3CH_2CH_2COO)_2Ca} \xrightarrow{t}$$

$$\rightarrow \underset{2z}{2CH_3CH_2CH_2COCH_3} + \underset{2z}{2CaCO_3}$$

Твердый остаток при прокаливании представляет собой карбонат кальция:

$$\nu(CaCO_3) = \frac{m}{M} = 6 : 100 = 0{,}06 \text{ моль}$$

Поскольку количество $CaCO_3$ равно общему количеству исходных солей, а исходная смесь, по условию, содержала их в равных количествах, то $\nu((CH_3COO)_2Ca) = \nu((CH_3CH_2CH_2COO)_2Ca) = 0{,}03$ моль.

В результате протекающих реакций могут образоваться три кетона — ацетон, пентанон-2 (метилпропилкетон) и гептанон-4 (дипропилкетон). Согласно условию, при охлаждении продуктов прокаливания образуется жидкость, которая реагирует с избытком водного раствора иода и щелочи с образованием осадка. Это *галоформная реакция*, в которую вступают метилкетоны, т. е. кетоны, в которых метильная группа расположена рядом с карбонильной. В эту реакцию могут вступить ацетон и метилпропилкетон. Не растворившаяся в воде жидкость — это дипропилкетон, масса которого 2,28 г.

$$\nu(C_7H_{14}O) = \frac{m}{M} = 2{,}28 : 114 = 0{,}02 \text{ моль}$$

Количество карбоната кальция, образовавшегося в первой реакции, 0,02 моль. Тогда во второй и третьей реакциях получено 0,04 моль $CaCO_3$ ($y + 2z = 0{,}04$), и суммарное количество ацетона и бутанона 0,04 моль. Галоформная реакция:

$$RCOCH_3 + 3I_2 + 4KOH \rightarrow CHI_3\downarrow + RCOOK + 3KI + 3H_2O$$

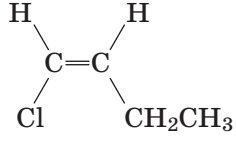
Согласно уравнению реакции, иодоформа (трииодметана) в осадке 0,04 моль.

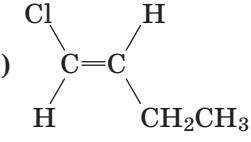
$$m(CHI_3) = 0{,}04 \cdot 394 = 15{,}76 \text{ г}$$

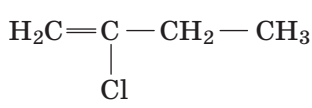
Ответ. 15,76 г.

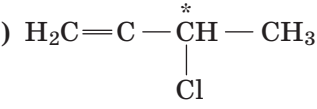
ДЕКАБРЬ-1

1. Структурные формулы изомеров:

1) 

2) 

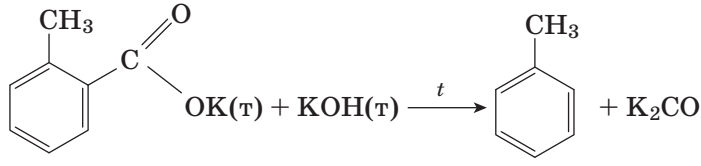
3) 

4) 

5) $H_2C{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}Cl$

Обратите внимание на то, что 1-хлорбутен-1 существует в виде *цис*- и *транс*-изомеров (структуры 1 и 2). Асимметрический атом углерода присутствует в структуре 4 (помечен звездочкой); это означает, что данное соединение может существовать в виде двух оптических изомеров.

2. а) $MnO_2 + 4HBr(р\text{-}р) \rightarrow MnBr_2 + Br_2 + 2H_2O$

б) 

(реакция декарбоксилирования)

в) $2Na_2O_2(т) + 2CO_2 \rightarrow 2Na_2CO_3 + O_2$

3. $2KMnO_4 + 3KNO_2 + H_2O \rightarrow 2KOH + 2MnO_2\downarrow + 3KNO_3$

$2KOH + CuSO_4 \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow + K_2SO_4$

$$\nu(MnO_2) = \frac{m}{M} = \frac{17{,}4}{87} = 0{,}2 \text{ моль}$$

$\nu(KOH) = \nu(MnO_2) = 0{,}2$ моль

$\nu(Cu(OH)_2) = 0{,}5 \cdot \nu(KOH) = 0{,}5 \cdot 0{,}2 = 0{,}1$ моль

$m(Cu(OH)_2) = 0{,}1 \cdot 98 = 9{,}8$ г

Ответ. 9,8 г $Cu(OH)_2$.

4. а) Пусть растворимость $PbBr_2$ в чистой воде x моль/л. Тогда концентрации ионов, образовавшихся при диссоциации этой труднорастворимой соли:

$$PbBr_2 \rightleftarrows Pb^{2+} + 2Br^-$$

$$[Pb^{2+}] = x \text{ и } [Br^-] = 2x$$

$$ПР(PbBr_2) = [Pb^{2+}] \cdot [Br^-]^2 = x \cdot (2x)^2 = 4x^3 = 4{,}5 \cdot 10^{-6}$$

$$x = \sqrt[3]{\frac{ПР}{4}} = 1{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

б) Пусть растворимость $PbBr_2$ в 0,1 М растворе $Pb(NO_3)_2$ y моль/л. Концентрации ионов, образовавшихся при диссоциации труднорастворимой соли:

$$PbBr_2 \rightleftarrows Pb^{2+} + 2Br^-$$

$$[Pb^{2+}] = y \text{ и } [Br^-] = 2y$$

Кроме того, ионы Pb^{2+} образуются при диссоциации нитрата свинца

$$Pb(NO_3)_2 \rightarrow Pb^{2+} + 2NO_3^-$$

в концентрации $[Pb^{2+}] = 0{,}1$ моль/л.

$$ПР(PbBr_2) = [Pb^{2+}][Br^-]^2 = (y + 0{,}1) \cdot (2y)^2 = 4{,}5 \cdot 10^{-6}$$

Если считать, что $y << 0{,}1$, то

$$(y + 0{,}1) \cdot (2y)^2 \approx 0{,}1 \cdot (2y)^2$$

$$0{,}1 \cdot (2y)^2 = 4{,}5 \cdot 10^{-6}$$

$$y = 3{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

Ответ. а) $1{,}0 \cdot 10^{-2}$ моль/л; б) $3{,}4 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

5. Обозначим количества хлорэтана и 2-хлорпропана x и y (моль) соответственно.

$$m(\text{смеси}) = m(C_2H_5Cl) + m(C_3H_7Cl) = x \cdot M(C_2H_5Cl) + y \cdot M(C_3H_7Cl) = x \cdot 64{,}5 + y \cdot 78{,}5 = 36{,}45$$

$$N(H) : N(Cl) = \nu(H) : \nu(Cl) = \frac{5x + 7y}{x + y} = \frac{31}{5}$$

Из второй пропорции:

$$4y = 6x$$

$$y = 1{,}5x$$

Подставляем y в первое уравнение:

$$x \cdot 64{,}5 + 1{,}5x \cdot 78{,}5 = 36{,}45$$

$$x = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$y = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{смеси}) = 0{,}2 + 0{,}3 = 0{,}5 \text{ моль}$$

$$p = \frac{780 \cdot 101{,}3}{760} = 104 \text{ кПа}$$

$$V(\text{смеси}) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0{,}5 \cdot 8{,}31 \cdot 343}{104} = 13{,}7 \text{ л}$$

Ответ. 0,2 моль C_2H_5Cl, 0,3 моль C_3H_7Cl; 13,7 л.

6. $CH_3COOH + KOH \rightarrow CH_3COOK + H_2O$

$C_2H_5COOH + KOH \rightarrow C_2H_5COOK + H_2O$

Пусть в исходной смеси x моль уксусной кислоты и y моль пропионовой. На нейтрализацию было израсходовано щёлочи:

$$\nu(KOH) = \frac{86{,}15 \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}2}{56} = 0{,}4 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{смеси кислот}) = x + y = 0{,}4$$

Реакции декарбоксилирования солей:

$$CH_3COOK(\text{т}) + KOH(\text{т}) \xrightarrow{t} CH_4\uparrow + K_2CO_3$$

$$C_2H_5COOK(\text{т}) + KOH(\text{т}) \xrightarrow{t} C_2H_6\uparrow + K_2CO_3$$

Выделяются газы метан и этан.

$M(\text{газовой смеси}) = M(\text{воздуха}) \cdot D = 0{,}914 \cdot 29 = 26{,}5$ г/моль

$$26{,}5 = \frac{16x + 30y}{x + y}$$

$3x = y$, $x = 0{,}1$, $y = 0{,}4 - 0{,}1 = 0{,}3$ (моль)

В газовой смеси объемные доли газов равны их мольным долям.

$$\varphi(CH_4) = \frac{0{,}1}{0{,}4} = 0{,}25, \text{ или } 25\%$$

$$\varphi(C_2H_6) = 0{,}75, \text{ или } 75\%$$

Масса смеси кислот:

$$m(\text{кислот}) = 0{,}1 \cdot 60 + 0{,}3 \cdot 74 = 28{,}2 \text{ г}$$

$$\omega(CH_3COOH) = \frac{6}{28{,}2} = 0{,}213, \text{ или } 21{,}3\%$$

$$\omega(C_2H_5COOH) = 0{,}787, \text{ или } 78{,}7\%$$

Ответ. 25% CH_4, 75% C_2H_6 по объему; 21,3% CH_3COOH, 78,7% C_2H_5COOH по массе.

7. 1) $KBr + H_3PO_4(\text{конц.}) \rightarrow HBr + KH_2PO_4$

2) $KBr + 3Cl_2 + 6KOH \rightarrow KBrO_3 + 6KCl + 3H_2O$

или

$KBr + 3H_2O \xrightarrow{\text{эл.}} KBrO_3 + 3H_2\uparrow$ (электролизер без диафрагмы)

3) $2KBrO_3 \xrightarrow{t} 2KBr + 3O_2\uparrow$

4) $2KBrO_3 + 12HCl(\text{конц.}) \rightarrow Br_2 + 5Cl_2 + 2KCl + 6H_2O$

5) $Br_2 + Na_2SO_3 + 2NaOH(\text{р-р}) \rightarrow 2NaBr + Na_2SO_4 + H_2O$

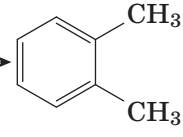
6) $2KBrO_3 + I_2 \xrightarrow{H^+} 2KIO_3 + Br_2$

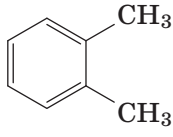
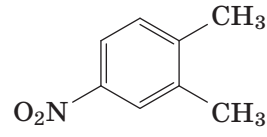
Ответ. **X1** — HBr, **X2** — Br_2, **X3** — NaBr.

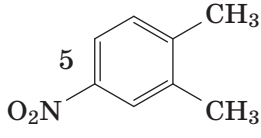
8. 1) $CH_3CH_2CH_2CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3{-}CHBr{-}CH_2{-}CH_3 + HBr$

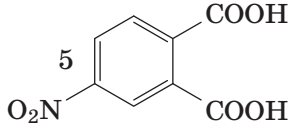
2) $2CH_3{-}CHBr{-}CH_2{-}CH_3 + 2Na \longrightarrow$

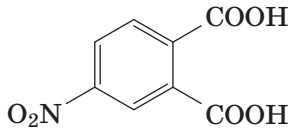
$$\longrightarrow H_3C{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}CH_2{-}CH_3 + 2NaBr$$

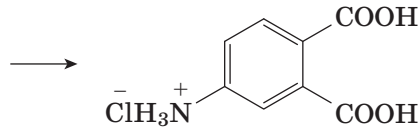
3) $H_3C{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}CH_2{-}CH_3 \xrightarrow[450\ ^\circ C]{Cr_2O_3}$  $+ 4H_2$

4)  $+ HNO_3 \xrightarrow{H_2SO_4}$  $+ H_2O$

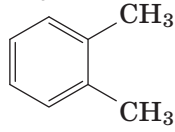
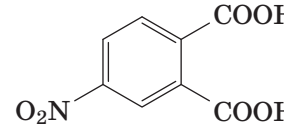
5) 5  $+ 12KMnO_4 + 18H_2SO_4 \longrightarrow$

$\longrightarrow 5$  $+ 12MnSO_4 + 6K_2SO_4 + 28H_2O$

6)  $+ 3Zn + 7HCl \longrightarrow$

 $+ 3ZnCl_2 + 2H_2O$

Ответ. **X** — $CH_3—CHBr—CH_2—CH_3$,

Y —  ; **Z** — 

9. Пусть взято x моль оксида хрома(III).

$$\underset{x}{Cr_2O_3} + \underset{2x}{2Na_2CO_3} + 1{,}5O_2 \xrightarrow{t} 2Na_2CrO_4 + \underset{2x}{2CO_2}$$

Так как при обработке твердого остатка кислотой выделился углекислый газ:

$$\underset{y}{Na_2CO_3} + H_2SO_4 \to Na_2SO_4 + \underset{y}{CO_2\uparrow} + H_2O$$

то можно предположить, что Na_2CO_3 взят в избытке, который составлял y моль.

$$y = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 7{,}34}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}3 \text{ моль}$$

Оксид хрома(III) (был в недостатке) вступил в реакцию полностью. Твердый остаток состоит из Na_2CrO_4 и избытка Na_2CO_3, общая масса остатка 129 г.

$$2x \cdot 162 + 0{,}3 \cdot 106 = 129$$

$$x = 0{,}3 \text{ моль}$$

Таким образом, в исходной смеси было 0,3 моль Cr_2O_3, а также Na_2CO_3 в количестве

$$2x + y = 0{,}6 + 0{,}3 = 0{,}9 \text{ (моль)}$$

Мольное соотношение исходных реагентов 0,3 : 0,9 = 1 : 3.

При обработке твердого остатка разбавленной серной кислотой хромат натрия переходит в дихромат:

$$\underset{0{,}6}{2Na_2CrO_4} + H_2SO_4 \to \underset{0{,}3}{Na_2Cr_2O_7} + Na_2SO_4 + H_2O$$

При пропускании сероводорода через сернокислый раствор дихромата натрия в осадок выпадает аморфная сера.

$$\underset{0,3}{Na_2Cr_2O_7} + 3H_2S + 4H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + Na_2SO_4 + \underset{0,9}{3S\downarrow} + 7H_2O$$

$$m(S) = 0,9 \cdot 32 = 28,8 \text{ г}$$

Раствор после выпадения осадка серы имеет зеленый цвет, обусловленный присутствием $Cr_2(SO_4)_3$.

Ответ. $\nu(Cr_2O_3) : \nu(Na_2CO_3) = 1 : 3$; 28,8 г серы; раствор имеет зеленый цвет.

10. Рассчитаем объем и количество метана.

$$V(CH_4) = v \cdot t = 5,7 \cdot 25 \cdot 60 = 8550 \text{ мл} = 8,55 \text{ л}$$

$$\nu(CH_4) = \frac{pV}{RT} = \frac{8,55}{0,082 \cdot 298} = 0,35 \text{ моль}$$

Количество теплоты, выделившееся при сгорании метана:

$$Q_{\text{сгор}} = 0,35 \cdot 212,7 = 74,422 \text{ ккал} = 74422 \text{ кал}$$

Количество теплоты, необходимое для нагревания m г воды до 100 °С, равно теплоте сгорания метана; $Q(H_2O) = Q_{\text{сгор}}$.

$$Q(H_2O) = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) = m \cdot 1 \cdot (373 - 298)$$

$$m \cdot 1 \cdot (373 - 298) = 74422$$

Масса воды:

$$m = \frac{74422}{75} = 992,3 \text{ г}$$

Чтобы найти конечную температуру T, составим уравнение теплового баланса:

$$-992 \cdot c \cdot (T - 373) = 200 \cdot c \cdot (T - 273) - 200 \cdot Q_{\text{пл}}$$

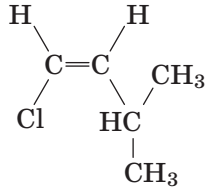
$$-992 \cdot 1 \cdot (T - 373) = 200 \cdot 1 \cdot (T - 273) + 200 \cdot 79,67$$

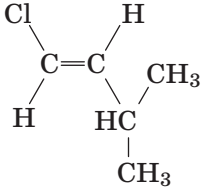
$$T = 343 \text{ К} = 70 \text{ °С}$$

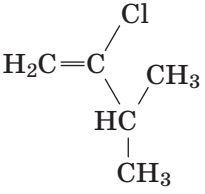
Ответ. 70 °С.

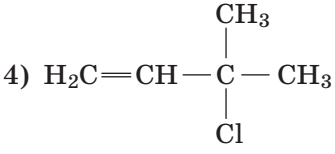
ДЕКАБРЬ-2

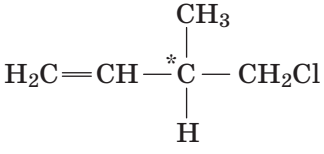
1. Структурные формулы изомеров:

1) 

2) 

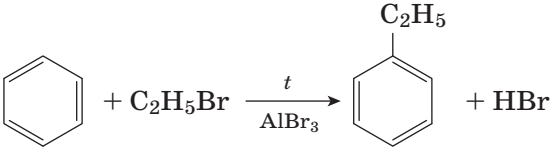
3) 

4) 

5) 

Обратите внимание, что 3-метил-1-хлорбутен-1 существует в виде *цис*- и *транс*-изомеров (структуры 1 и 2). Асимметрический атом углерода присутствует в структуре 5 (помечен звездочкой); это означает, что данное соединение может существовать в виде двух оптических изомеров.

2. а) $Ba(HSO_3)_2 + 2NaOH \rightarrow BaSO_3\downarrow + Na_2SO_3 + 2H_2O$

б) 

в) $Cu + 2FeCl_3 \rightarrow CuCl_2 + 2FeCl_2$

3. $K_2SO_3 + 4H_2S(\text{изб.}) \rightarrow 2KHS + 3S\downarrow + 3H_2O$

$$\nu(S) = \frac{m}{M} = \frac{4{,}8}{32} = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$\nu(K_2SO_3) = \frac{\nu(S)}{3} = \frac{0{,}15}{3} = 0{,}05 \text{ моль}$$

$K_2SO_3 + SrCl_2 \rightarrow SrSO_3\downarrow + 2KCl$

$\nu(SrSO_3) = \nu(K_2SO_3) = 0{,}05$ моль

$m(SrSO_3) = \nu \cdot M = 0{,}05 \cdot 168 = 8{,}4$ г

Ответ. 8,4 г $SrSO_3$.

4. а) Пусть в чистой воде растворимость PbI_2 x моль/л. При диссоциации этой труднорастворимой соли образуются ионы.

$PbI_2 \rightleftarrows Pb^{2+} + 2I^-$

$[Pb^{2+}] = x,$

$[I^-] = 2x$

$$ПР(PbI_2) = [Pb^{2+}][I^-]^2 = x \cdot (2x)^2 = 4x^3 = 8{,}2 \cdot 10^{-9}$$

$$x = \sqrt[3]{\frac{ПР}{4}} = 1{,}3 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

б) Пусть растворимость PbI_2 в 0,1 М растворе $Pb(CH_3COO)_2$ y моль/л. Концентрации ионов в растворе PbI_2:

$$PbI_2 \rightleftarrows Pb^{2+} + 2I^-$$

$$[Pb^{2+}] = y \text{ и } [I^-] = 2y$$

Кроме того, ионы Pb^{2+} образуются при диссоциации ацетата свинца:

$$Pb(CH_3COO)_2 \rightarrow Pb^{2+} + 2CH_3COO^-$$

$$[Pb^{2+}] = 0{,}1 \text{ моль/л}$$

$$ПР(PbI_2) = [Pb^{2+}] \cdot [I^-]^2 = (y + 0{,}1) \cdot (2y)^2 = 8{,}2 \cdot 10^{-9}$$

Если считать, что $y << 0{,}1$, то

$$(y + 0{,}1) \cdot (2y)^2 \approx 0{,}1 \cdot (2y)^2$$

$$0{,}1 \cdot (2y)^2 = 8{,}2 \cdot 10^{-9}$$

$$y = 1{,}4 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

Ответ. а) $1{,}3 \cdot 10^{-3}$ моль/л; б) $1{,}4 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

5. Обозначим количества NO и NO_2 x и y (моль) соответственно. Масса смеси газов:

$$m(\text{смеси}) = m(NO) + m(NO_2) = x \cdot M(NO) + y \cdot M(NO_2) = \\ = x \cdot 30 + y \cdot 46 = 53$$

$$\nu(N) = \frac{N(N)}{N_A} = \frac{9{,}03 \cdot 10^{23}}{6{,}02 \cdot 10^{23}} = 1{,}5 = x + y$$

Получили систему из двух уравнений с двумя неизвестными. $x = 1$, $y = 0{,}5$ (моль). Теперь можно рассчитать среднюю молярную массу:

$$M_{ср} = \frac{1 \cdot 30 + 0{,}5 \cdot 45}{1{,}5} = 35{,}3 \text{ г/моль}$$

К смеси газов добавляется более тяжелый компонент:

$$M(CO_2) = 44 \text{ г/моль}$$

$$M(CO_2) > M_{ср}$$

и молярная масса новой газовой смеси увеличивается. Последнее означает увеличение плотности газовой смеси.

Ответ. 1 моль NO, 0,5 моль NO_2; плотность смеси возрастет.

6. $C_2H_5COOH + KOH \rightarrow C_2H_5COOK + H_2O$

$C_3H_7COOH + KOH \rightarrow C_3H_7COOK + H_2O$

Пусть пропионовой кислоты в исходной смеси было x моль, а масляной — y моль. На нейтрализацию было израсходовано щёлочи:

$$\nu(KOH) = \frac{213 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}12}{56} = 0{,}45 \text{ моль}$$

$$x + y = 0{,}45$$

Реакции декарбоксилирования солей:

$$C_2H_5COOK(т) + KOH(т) \xrightarrow{t} C_2H_6\uparrow + K_2CO_3$$

$$C_3H_7COOK(т) + KOH(т) \xrightarrow{t} C_3H_8\uparrow + K_2CO_3$$

Выделяются газы этан и пропан.

M(газовой смеси) $= M(NO_2) \cdot D = 0{,}855 \cdot 46 = 39{,}33$ г/моль

$$39{,}33 = \frac{30x + 44y}{x + y}$$

$2x = y$, $x = 0{,}15$, $y = 0{,}3$ (моль)

Объемные доли газов в смеси совпадают с мольными.

$$\varphi(C_2H_6) = \frac{0{,}15}{0{,}45} = 0{,}333, \text{ или } 33{,}3\%$$

$$\varphi(C_3H_8) = 0{,}667, \text{ или } 66{,}7\%$$

Масса смеси кислот:

$$m(\text{кислот}) = 0{,}15 \cdot 74 + 0{,}3 \cdot 88 = 37{,}5 \text{ г}$$

$$\omega(CH_3COOH) = \frac{11{,}1}{37{,}5} = 0{,}296, \text{ или } 29{,}6\%$$

$$\omega(C_2H_5COOH) = 0{,}704, \text{ или } 70{,}4\%$$

Ответ. 33,3% C_2H_6, 66,7% C_3H_8 по объему;
29,6% CH_3COOH, 70,4% C_2H_5COOH по массе.

7. 1) $MnSO_4 \xrightarrow{t} MnO_2 + SO_2\uparrow$

или

$3MnSO_4 \xrightarrow{t} Mn_3O_4 + 3SO_2\uparrow + O_2\uparrow$

2) $5SO_2 + 2KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 2H_2SO_4$

3) $SO_2 + Cl_2 \xrightarrow{\text{катализатор}} SO_2Cl_2$

4) $SO_2Cl_2 + 2Ba(OH)_2(р\text{-}р) \rightarrow BaSO_4\downarrow + BaCl_2 + 2H_2O$

5) $BaSO_4 + 4H_2 \xrightarrow{t} BaS + 4H_2O$

или

$BaSO_4 + 4C \xrightarrow{t} BaS + 4CO$

6) $SO_2 + I_2 + 2H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 2HI$.

Ответ. **X1** — SO_2Cl_2; **X2** — $BaSO_4$; **X3** — H_2SO_4.

8. 1) $CH_3—CH_2—CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3—CHBr—CH_3 + HBr$

2) $CH_3—CHBr—CH_3 + KOH(\text{спирт}) \xrightarrow{t} \rightarrow CH_3—CH{=}CH_2 + KBr + H_2O$

3) $CH_3—CH{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{t} CH_3—CH(OH)—CH_3$

4) $CH_3—\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}—CH_3 + CuO \xrightarrow{t} CH_3—\underset{\displaystyle O}{\underset{\|}{C}}—CH_3 + Cu + H_2O$

5) $CH_3—\underset{\displaystyle O}{\underset{\|}{C}}—CH_3 + MgBr—C_2H_5 \longrightarrow CH_3—\underset{\displaystyle OMgBr}{\underset{|}{\overset{\displaystyle C_2H_5}{\overset{|}{C}}}}—CH_3$

6) $CH_3—\underset{\displaystyle OMgBr}{\underset{|}{\overset{\displaystyle C_2H_5}{\overset{|}{C}}}}—CH_3 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3—\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{\overset{\displaystyle C_2H_5}{\overset{|}{C}}}}—CH_3 + Mg(OH)Br$

Ответ. **X** — $CH_3—CHBr—CH_3$, **Y** — $CH_3—CH(OH)—CH_3$,

Z — $CH_3—\underset{\displaystyle OMgBr}{\underset{|}{\overset{\displaystyle C_2H_5}{\overset{|}{C}}}}—CH_3$

9. Пусть взято x моль оксида хрома(III).

$$\underset{x}{Cr_2O_3} + \underset{2x}{2K_2CO_3} + 1{,}5O_2 \xrightarrow{t} \underset{2x}{2K_2CrO_4} + \underset{2x}{2CO_2\uparrow}$$

При сплавлении выделилось $2x$ моль углекислого газа.

$$2x = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 19{,}56}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}8 \text{ моль}$$

$x = 0{,}4$ моль

При обработке кислотой твердого остатка после сплавления выделился углекислый газ.

$$K_2CO_3 + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

Предположим, что K_2CO_3 взят в избытке, который составил y моль, а оксид хрома(III) вступил в реакцию полностью.

Твердый остаток состоит из K_2CrO_4 и избытка K_2CO_3; масса остатка 182,8 г.

$$2x \cdot 194 + 138y = 0{,}8 \cdot 194 + 138y = 182{,}8$$

$$y = 0{,}2 \text{ моль}$$

Таким образом, в исходной смеси было 0,4 моль Cr_2O_3 и

$$2 \cdot 0{,}4 + 0{,}2 = 1 \text{ моль } K_2CO_3$$

Мольное соотношение исходных реагентов 0,4 : 1 = 2 : 5.

При обработке твердого остатка разбавленной серной кислотой хромат калия переходит в дихромат:

$$\underset{0{,}8}{2K_2CrO_4} + H_2SO_4 \rightarrow \underset{0{,}4}{K_2Cr_2O_7} + K_2SO_4 + H_2O$$

При добавлении раствора сульфида калия к сернокислому раствору дихромата калия выпадает осадок аморфной серы.

$$\underset{0{,}4}{K_2Cr_2O_7} + \underset{1{,}2}{3K_2S} + 7H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + \underset{1{,}2}{3S\downarrow} + 7H_2O$$

Максимальное количество осадка серы выпадет, если взять дихромат калия и сульфид калия в стехиометрическом соотношении 1 : 3, т. е. раствор сульфида калия должен содержать 1,2 моль K_2S. Потребуется взять следующий объем раствора сульфида калия:

$$V(\text{р-ра}) = \frac{\nu}{c} = \frac{1{,}2}{1} = 1{,}2 \text{ л}$$

После выпадения осадка серы раствор имеет зеленый цвет, что обусловлено присутствием $Cr_2(SO_4)_3$.

Ответ. $\nu(Cr_2O_3) : \nu(K_2CO_3) = 2 : 5$; 1,2 л; раствор зеленого цвета.

10. Рассчитаем объем и количество метана:

$$V(CH_4) = v \cdot t = 5{,}7 \cdot 50 \cdot 60 = 17100 \text{ мл} = 17{,}1 \text{ л}$$

$$\nu(CH_4) = \frac{pV}{RT} = \frac{17{,}1}{0{,}082 \cdot 298} = 0{,}7 \text{ моль}$$

Тогда количество теплоты, выделившееся при сгорании метана:

$$Q_{\text{сгор}} = 0{,}7 \cdot 212{,}7 = 149 \text{ ккал} = 149000 \text{ кал}$$

Количество теплоты, необходимое для нагревания m г воды до 100 °C, равно теплоте сгорания метана $Q(H_2O) = Q_{сгор}$.

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) = m \cdot 1 \cdot (373 - 298)$$

$$m \cdot 1 \cdot (373 - 298) = 149000$$

Масса воды:

$$m = \frac{149000}{75} = 1987 \text{ г}$$

Чтобы найти массу льда m_2, составим уравнение теплового баланса:

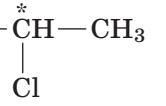
$$-1987(337 - 373) = m_2 \cdot c \cdot (337 - 273) + m_2 \cdot 79{,}67$$

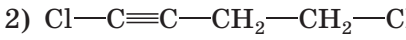
$$m_2 = 497 \approx 500 \text{ г}$$

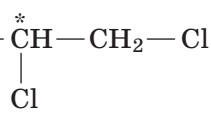
Ответ. 500 г.

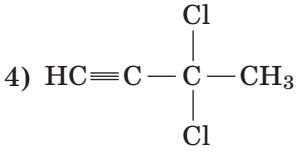
ДЕКАБРЬ-3

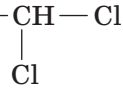
1. Структурные формулы изомеров:

1) 

2) 

3) 

4) 

5) 

Асимметрические атомы углерода (помечены звездочками) присутствуют в структурах 1 и 3. Эти соединения могут существовать в виде двух оптических изомеров.

2. а) $SrH_2 + 2H_2O \rightarrow Sr(OH)_2 + 2H_2\uparrow$

или

$Sr + 2H_2O \rightarrow Sr(OH)_2 + H_2\uparrow$

б) $CH_3CH_2CH(Cl)COOH + 2NH_3(г) \rightarrow$

$\rightarrow CH_3CH_2CH(NH_2)COOH + NH_4Cl$

в) $Ca(OH)_2 + Cl_2 \xrightarrow{0\,^\circ C} CaOCl_2 + H_2O$

3. $2KMnO_4 + 10KI + 8H_2SO_4 \rightarrow 5I_2\downarrow + 2MnSO_4 + 6K_2SO_4 + 8H_2O$

$I_2 + H_2S \rightarrow 2HI + S\downarrow$

$$\nu(I_2) = \frac{m}{M} = \frac{5{,}08}{254} = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(S) = \nu(I_2) = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$m(S) = \nu M = 0{,}02 \cdot 32 = 0{,}64 \text{ г}$$

Ответ. 0,64 г серы.

4. а) Пусть в чистой воде растворимость Ag_2SO_4 x моль/л.

$$Ag_2SO_4 \rightleftarrows 2Ag^+ + SO_4^{2-}$$

$$[Ag^+] = 2x \text{ и } [SO_4^{2-}] = x$$

$$ПР(Ag_2SO_4) = [Ag^+]^2 \cdot [SO_4^{2-}] = (2x)^2 \cdot x = 4x^3 = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$$

$$x = \sqrt[3]{\frac{ПР}{4}} = 1{,}4 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

б) Пусть в 0,1 М растворе Na_2SO_4 растворимость Ag_2SO_4 y моль/л.

$$Ag_2SO_4 \rightleftarrows 2Ag^+ + SO_4^{2-}$$

$$[Ag^+] = 2y \text{ (моль/л) и } [SO_4^{2-}] = y \text{ (моль/л)}$$

Но при диссоциации Na_2SO_4 также образуются ионы SO_4^{2-}.

$$Na_2SO_4 \rightarrow 2Na^+ + SO_4^{2-}$$

$$[SO_4^{2-}] = 0{,}1 \text{ моль/л}$$

$$ПР(Ag_2SO_4) = [Ag^+]^2 \cdot [SO_4^{2-}] = (2y)^2 \cdot (y + 0{,}1) = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$$

Если $y << 0{,}1$, то

$$(2y)^2 \cdot (y + 0{,}1) \approx (2y)^2 \cdot 0{,}1$$

$$(2y)^2 \cdot 0{,}1 = 1{,}2 \cdot 10^{-5}$$

$$y = 5{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ (моль/л)}$$

Ответ. а) $1{,}4 \cdot 10^{-2}$ моль/л; б) $5{,}5 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

5. Обозначим количества этана и бутана x и y соответственно. Масса смеси:

$$m(\text{смеси}) = m(C_2H_6) + m(C_4H_{10}) = x \cdot M(C_2H_6) + y \cdot M(C_4H_{10}) = 30x + 58y = 89$$

$$\nu(p) = N(p) : N_A = \frac{3{,}1906 \cdot 10^{25}}{6{,}02 \cdot 10^{23}} = 53 = 18x + 34y$$

$$\begin{cases} 30x + 58y = 89 \\ 18x + 34y = 53 \end{cases}$$

$x = 2$, $y = 0{,}5$ (моль)

Средняя молярная масса смеси:

$$M(\text{смеси}) = (x \cdot M(C_2H_6) + y \cdot M(C_4H_{10}))/\nu(\text{смеси}) =$$

$$= \frac{2 \cdot 30 + 0{,}5 \cdot 58}{2{,}5} = 35{,}6 \text{ г/моль}$$

Рассчитаем плотность:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} = \frac{0{,}95 \cdot 101{,}3 \cdot 35{,}6}{8{,}314 \cdot 313} = 1{,}317 \text{ г/л}$$

Ответ. 0,5 моль C_4H_{10}, 2 моль C_2H_6; 1,317 г/л.

6. $C_3H_7COOH + NaOH \rightarrow C_3H_7COONa + H_2O$

$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$

Пусть в исходной смеси было x моль масляной кислоты и y моль уксусной кислоты. На нейтрализацию было израсходовано щёлочи:

$$\nu(NaOH) = \frac{155{,}34 \cdot 1{,}03 \cdot 0{,}05}{40} = 0{,}2 \text{ моль}$$

$x + y = 0{,}2$

Декарбоксилирование солей:

$$C_3H_7COONa(\text{т}) + NaOH(\text{т}) \xrightarrow{t} C_3H_8\uparrow + Na_2CO_3$$

$$CH_3COONa(\text{т}) + NaOH(\text{т}) \xrightarrow{t} CH_4\uparrow + Na_2CO_3$$

Выделяются газы пропан и метан.

$M(\text{газовой смеси}) = M(O_2) \cdot D = 0{,}719 \cdot 32 = 23$ г/моль

$$23 = \frac{44x + 16y}{x + y}$$

$3x = y$, $x = 0{,}05$, $y = 0{,}15$

В газовой смеси объемные доли газов равны их мольным долям.

$$\varphi(C_3H_8) = \frac{0{,}05}{0{,}2} = 0{,}25, \text{ или } 25\%$$

$\varphi(CH_4) = 0{,}75$, или 75%

Масса смеси кислот:

$$m(\text{кислот}) = 0{,}05 \cdot 88 + 0{,}15 \cdot 60 = 13{,}4 \text{ г}$$

$$\omega(C_3H_7COOH) = \frac{4{,}4}{13{,}4} = 0{,}328, \text{ или } 32{,}8\%$$

$$\omega(CH_3COOH) = 0{,}672, \text{ или } 67{,}2\%$$

Ответ. 25% C_3H_8, 75% CH_4 по объему; 32,8% C_3H_7COOH, 67,2% CH_3COOH по массе.

7. 1) $2NH_4Cl(т) + Ca(OH)_2(т) \xrightarrow{t} CaCl_2 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O\uparrow$

2) $4NH_3 + 5O_2 \xrightarrow{Pt,\,t} 4NO + 6H_2O$

3) $2NO + Cl_2 \xrightarrow{t,\text{ катализатор}} 2NOCl$

4) $NOCl + 2KOH(р\text{-}р) \rightarrow KNO_2 + KCl + H_2O$

5) $2KNO_2 + 2KI + 2H_2O \rightarrow I_2\downarrow + 2NO\uparrow + 4KOH$

6) $NH_4Cl + NaNO_2 \xrightarrow{t} N_2\uparrow + NaCl + 2H_2O$

Ответ. **X1** — NH_3, **X2** — $NOCl$, **X3** — NO.

8. 1) $CO + 2H_2 \xrightarrow{t,\,P,\text{ катализатор}} CH_3OH$

2) $CH_3OH + CuO \xrightarrow{250\,^\circ C} CH_2O + Cu + H_2O$

3) $CH_2O + C_3H_7MgBr \xrightarrow{\text{эфир}} C_4H_9OMgBr$

4) $C_4H_9OMgBr + H_2O \xrightarrow{H^+} C_4H_9OH + Mg(OH)Br$

5) $C_4H_9OH \xrightarrow{200\,^\circ C,\,H_2SO_4(\text{конц.})} CH_3CH_2CH{=}CH_2 + H_2O$

6) $3CH_3{-}CH_2{-}CH{=}CH_2 + 2KMnO_4 + 4H_2O \longrightarrow$

$$\longrightarrow 3CH_3{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}} + 2MnO_2 + 2KOH$$

Ответ. **X** — CH_3OH, **Y** — C_4H_9OMgBr, **Z** — $CH_3CH_2CH{=}CH_2$.

9. Пусть взято x моль оксида хрома(III).

$$\underset{x}{2Cr_2O_3} + \underset{2x}{4Na_2CO_3} + 3O_2 \xrightarrow{t} \underset{2x}{4Na_2CrO_4} + \underset{2x}{4CO_2}$$

При сплавлении выделилось $2x$ моль углекислого газа.

$$\nu(CO_2) = 2x = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 9{,}78}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}4 \text{ моль}$$

$$x = 0{,}2 \text{ моль}$$

Но при обработке кислотой твердого остатка после сплавления выделился углекислый газ, и можно предположить, что Na_2CO_3 был взят в избытке, который составил y моль.

$$\underset{y}{Na_2CO_3} + H_2SO_4 \rightarrow \underset{y}{Na_2SO_4} + CO_2\uparrow + H_2O$$

Твердый остаток состоит из Na_2CrO_4 и избытка Na_2CO_3; масса остатка 107,2 г.

$$2 \cdot 0{,}2 \cdot 162 + 106y = 107{,}2$$

$$y = 0{,}4 \text{ моль}$$

Таким образом, в исходной смеси было 0,2 моль Cr_2O_3 и

$$2 \cdot 0{,}2 + 0{,}4 = 0{,}8 \text{ моль } Na_2CO_3$$

Мольное соотношение исходных реагентов:

$$\nu(Cr_2O_3) : \nu(Na_2CO_3) = 0{,}2 : 0{,}8 = 1 : 4$$

При обработке твердого остатка разбавленной серной кислотой хромат натрия превращается в дихромат:

$$\underset{0{,}4}{2Na_2CrO_4} + H_2SO_4 \rightarrow \underset{0{,}2}{Na_2Cr_2O_7} + Na_2SO_4 + H_2O$$

При добавлении раствора сульфида натрия к сернокислому раствору дихромата натрия в осадок выпадает аморфная сера.

$$\underset{0{,}2}{Na_2Cr_2O_7} + \underset{0{,}6}{3Na_2S} + 7H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 4Na_2SO_4 + \underset{0{,}6}{3S\downarrow} + 7H_2O$$

Максимальное количество осадка аморфной серы образуется, если взять дихромат натрия и сульфид натрия в стехиометрическом соотношении 1 : 3, т. е. раствор сульфида натрия должен содержать 0,6 моль Na_2S. Объем раствора сульфида натрия:

$$V = \frac{\nu}{c} = \frac{0{,}6}{1{,}5} = 0{,}4 \text{ л}$$

После выпадения осадка серы раствор имеет зеленый цвет, что обусловлено присутствием $Cr_2(SO_4)_3$.

Ответ. $\nu(Cr_2O_3) : \nu(Na_2CO_3) = 1 : 4$; 0,4 л; раствор имеет зеленый цвет.

10. Составим уравнение теплового баланса (m_1 и m_2 — массы воды и льда).

$$-m_1 \cdot c \cdot (343 - 373) = m_2 \cdot c \cdot (343 - 273) - m_2 \cdot Q_{\text{пл}}$$

$$-m_1 \cdot 1 \cdot (343 - 373) = 100 \cdot 1 \cdot (343 - 273) + 100 \cdot 79{,}67$$

$$m_1 = 499 \text{ г}$$

Рассчитаем количество теплоты для нагревания всей воды до 100 °С.

$$Q = (m_1 + m_2) \cdot c \cdot (373 - 343) = (499 + 100) \cdot 1 \cdot 30 = \\ = 17970 \text{ кал} = 17{,}97 \text{ ккал}$$

Количество и объем метана, который нужно сжечь, чтобы нагреть воду:

$$\nu(CH_4) = \frac{17{,}97}{212{,}7} = 0{,}084 \text{ моль}$$

$$V(CH_4) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0{,}084 \cdot 0{,}082 \cdot 298}{1} = 2{,}053 \text{ л} = 2053 \text{ мл}$$

Рассчитаем время, за которое может поступить этот объем газа из горелки.

$$t = \frac{V}{\upsilon} = \frac{2053}{5{,}7} = 360{,}2 \text{ с} \approx 6 \text{ мин}$$

Ответ. 6 мин.

ДЕКАБРЬ-4

1. Структурные формулы изомеров:

1) $ClCH_2-\overset{*}{C}H(CH_3)-CH_2-CH_2-CH_3$ 2) $H_3C-C(Cl)(CH_3)-CH_2-CH_2-CH_3$

3) $H_3C-CH(CH_3)-\overset{*}{C}HCl-CH_2-CH_3$ 4) $H_3C-CH(CH_3)-CH_2-\overset{*}{C}HCl-CH_3$

5) $H_3C-CH(CH_3)-CH_2-CH_2-CH_2Cl$

Асимметрические атомы углерода (помечены звездочками) присутствуют в структурах 1, 3 и 4. Эти соединения могут существовать в виде двух оптических изомеров.

2. а) $Ca(H_2PO_4)_2 + 2K_3PO_4 \rightarrow CaHPO_4\downarrow + 3K_2HPO_4$

б) $CH_3CH_2C{\equiv}CCu + HBr(\text{р-р}) \rightarrow CH_3CH_2C{\equiv}CH\uparrow + CuBr$

в) $4Al(\text{т}) + Fe(NO_3)_2(\text{т}) \xrightarrow{t} Fe + 2Al_2O_3 + N_2\uparrow$

3. $2KMnO_4 + 3K_2SO_3 + H_2O \rightarrow 2MnO_2\downarrow + 3K_2SO_4 + 2KOH$

$3KOH + AlCl_3 \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3KCl$

$$\nu(MnO_2) = \frac{m}{M} = \frac{3{,}48}{87} = 0{,}04 \text{ моль}$$

$\nu(KOH) = \nu(MnO_2) = 0{,}04$ моль

$$\nu(Al(OH)_3) = \frac{\nu(KOH)}{3} = \frac{0{,}04}{3} = 0{,}0133 \text{ моль}$$

$m(Al(OH)_3) = \nu M = 0{,}0133 \cdot 78 = 1{,}04$ г

Ответ. 1,04 г $Al(OH)_3$.

4. а) Пусть в чистой воде растворимость Ag_2CrO_4 равна x моль/л.

$Ag_2CrO_4 \rightleftarrows 2Ag^+ + CrO_4^{2-}$

$[Ag^+] = 2x$ и $[CrO_4^{2-}] = x$

$ПР(Ag_2CrO_4) = [Ag^+]^2 \cdot [CrO_4^{2-}] = (2x)^2 \cdot x = 4x^3 = 4{,}7 \cdot 10^{-12}$

$x = 1{,}1 \cdot 10^{-4}$ моль/л

б) Пусть в 0,1 М растворе K_2CrO_4 растворимость Ag_2CrO_4 y моль/л.

$Ag_2CrO_4 \rightleftarrows 2Ag^+ + CrO_4^{2-}$

$[Ag^+] = 2y$ и $[CrO_4^{2-}] = y$

При полной диссоциации K_2CrO_4:

$K_2CrO_4 \rightarrow 2K^+ + CrO_4^{2-}$

$[CrO_4^{2-}] = 0{,}1$ моль/л

$ПР(Ag_2CrO_4) = [Ag^+]^2 \cdot [CrO_4^{2-}] = (2y)^2 \cdot (y + 0{,}1) = 4{,}7 \cdot 10^{-12}$

Если $y << 0{,}1$, то

$(2y)^2 \cdot (y + 0{,}1) \approx (2y)^2 \cdot 0{,}1$

$(2y)^2 \cdot 0{,}1 = 4{,}7 \cdot 10^{-12}$

$y = 3{,}4 \cdot 10^{-6}$ моль/л

Ответ. а) $1{,}1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; б) $3{,}4 \cdot 10^{-6}$ моль/л.

5. Количества SO_2 и SO_3 обозначим x и y соответственно. Отношение общей массы кислорода к общей массе серы в смеси:

$$\frac{m(O)}{m(S)} = \frac{\nu(O) \cdot M(O)}{\nu(S) \cdot M(S)} = \frac{16 \cdot (2x + 3y)}{32(x + y)} = 1{,}35$$

$2x + 3y = 2{,}7x + 2{,}7y$

$0{,}3y = 0{,}7x$

$y = 2{,}33x$

Мольные доли компонентов смеси:

$$x(SO_3) = y : \nu(\text{смеси}) = \frac{2{,}33x}{2{,}33x + x} = 0{,}7, \text{ или } 70\%$$

$$x(SO_2) = 0{,}3, \text{ или } 30\%$$

Массовые доли:

$$\omega(SO_3) = m(SO_3)/m(\text{смеси}) = \frac{y \cdot M(SO_3)}{y \cdot M(SO_3) + x \cdot M(SO_2)} =$$

$$= \frac{0{,}7 \cdot 80}{0{,}7 \cdot 80 + 0{,}3 \cdot 64} = 0{,}745$$

$$\omega(SO_2) = 0{,}255, \ 25{,}5\%$$

Ответ. По молям: 30% SO_2, 70% SO_3; по массе: 25,5% SO_2, 74,5% SO_3.

6. $C_4H_9COOH + NaOH \rightarrow C_4H_9COONa + H_2O$

$C_2H_5COOH + NaOH \rightarrow C_2H_5COONa + H_2O$

Пусть в исходной смеси было x моль валериановой кислоты и y моль пропионовой. На нейтрализацию смеси кислот израсходовано щёлочи:

$$\nu(NaOH) = \frac{238{,}1 \cdot 1{,}05 \cdot 0{,}08}{40} = 0{,}5 \text{ моль}$$

$$x + y = 0{,}5$$

Декарбоксилирование солей:

$$C_4H_9COONa(\text{т}) + NaOH(\text{т}) \xrightarrow{t} C_4H_{10}\uparrow + Na_2CO_3$$

$$C_2H_5COONa(\text{т}) + NaOH(\text{т}) \xrightarrow{t} C_2H_6\uparrow + Na_2CO_3$$

Выделяются газы бутан и этан.

$$M_{\text{ср}}(\text{газовой смеси}) = M(H_2) \cdot D = 17{,}8 \cdot 2 = 35{,}6 \text{ г/моль}$$

$$35{,}6 = \frac{58x + 30y}{x + y}$$

$$4x = y, \ x = 0{,}1, \ y = 0{,}4$$

Объемные доли газов в смеси:

$$\varphi(C_4H_{10}) = \frac{0{,}1}{0{,}5} = 0{,}20, \text{ или } 20\%$$

$$\varphi(C_2H_6) = 0{,}80, \text{ или } 80\%$$

Масса смеси кислот:

$$m(\text{кислот}) = 0{,}1 \cdot 102 + 0{,}4 \cdot 74 = 39{,}8 \text{ г}$$

$$\omega(C_4H_9COOH) = \frac{10{,}2}{39{,}8} = 0{,}256, \text{ или } 25{,}6\%$$

$$\omega(C_2H_5COOH) = 0{,}744, \text{ или } 74{,}4\%$$

Ответ. 20% C_4H_{10}, 80% C_2H_6 по объему; 25,6% C_4H_9COOH, 74,4% C_2H_5COOH по массе.

7. 1) $P_4 + 6Ca \xrightarrow{t} 2Ca_3P_2$

2) $Ca_3P_2 + 6H_2O \rightarrow 3Ca(OH)_2 + 2PH_3\uparrow$

или

$Ca_3P_2 + 6HCl(р\text{-}р) \rightarrow 3CaCl_2 + 2PH_3\uparrow$

3) $5PH_3 + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \rightarrow 8MnSO_4 + 4K_2SO_4 + 5H_3PO_4 + 12H_2O$

4) $P_4 + 3O_2(недост.) \xrightarrow{t} 2P_2O_3$

5) $P_2O_3 + 4KOH(р\text{-}р) \rightarrow 2K_2HPO_3 + H_2O$

6) $2P_2O_3 + 6H_2O \xrightarrow{t} 3H_3PO_4 + PH_3\uparrow$ (кипячение)

Ответ. **X1** — H_3PO_4, **X2** — K_2HPO_3, **X3** — PH_3.

8. 1) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{фермент} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$

(спиртовое брожение глюкозы)

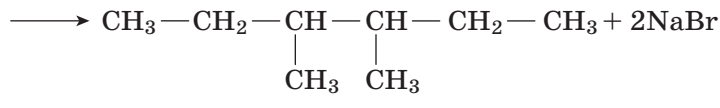
2) $2C_2H_5OH \xrightarrow{Cr_2O_3,\,450\,^\circ C} CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2 + 2H_2O + H_2$

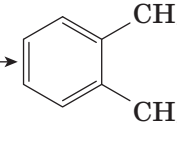
(синтез Лебедева)

3) $CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2 + 2H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$

4) $CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3{-}CHBr{-}CH_2{-}CH_3 + HBr$

5) $2CH_3{-}CHBr{-}CH_2{-}CH_3 + 2Na \longrightarrow$



6) $CH_3{-}CH_2{-}CH(CH_3){-}CH(CH_3){-}CH_2{-}CH_3 \xrightarrow[450\,^\circ C]{Cr_2O_3}$  $+ 4H_2$

Ответ. **X** — C_2H_5OH, **Y** — $CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$,
Z — $CH_3{-}CH_2{-}CH(CH_3){-}CH(CH_3){-}CH_2{-}CH_3$.

9. Пусть было взято x моль оксида хрома(III):

$$\underset{x}{Cr_2O_3} + \underset{2x}{2K_2CO_3} + 1{,}5O_2 \xrightarrow{t} \underset{2x}{2K_2CrO_4} + 2CO_2\uparrow$$

При обработке твердого остатка кислотой выделился углекислый газ, и можно предположить, что K_2CO_3 был взят в избытке.

$$\underset{y}{K_2CO_3} + H_2SO_4 \rightarrow K_2SO_4 + \underset{y}{CO_2\uparrow} + H_2O$$

$$y = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}325 \cdot 7{,}34}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}3 \text{ моль}$$

В исходной смеси избыток карбоната калия; оксид хрома(III) вступил в реакцию полностью. Твердый остаток состоит из K_2CrO_4 и избытка K_2CO_3; масса остатка 80,2 г.

$$2x \cdot 194 + 0{,}3 \cdot 138 = 80{,}2$$

$$x = 0{,}1 \text{ моль}$$

Таким образом, в исходной смеси было 0,1 моль Cr_2O_3 и

$$2x + 0{,}3 = 0{,}5 \text{ моль } K_2CO_3$$

Мольное соотношение исходных реагентов:

$$\nu(Cr_2O_3) : \nu(K_2CO_3) = 0{,}1 : 0{,}5 = 1 : 5$$

При обработке твердого остатка разбавленной серной кислотой хромат калия превращается в дихромат.

$$\underset{0{,}2}{2K_2CrO_4} + H_2SO_4 \rightarrow \underset{0{,}1}{K_2Cr_2O_7} + K_2SO_4 + H_2O$$

При пропускании сероводорода через сернокислый раствор дихромата калия в осадок выпадает аморфная сера.

$$\underset{0{,}1}{K_2Cr_2O_7} + 3H_2S + 4H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + \underset{0{,}3}{3S\downarrow} + 7H_2O$$

Масса выпавшего осадка серы $0{,}3 \cdot 32 = 9{,}6$ г. Раствор после выпадения осадка серы имеет зеленый цвет, обусловленный присутствием $Cr_2(SO_4)_3$.

Ответ. $\nu(Cr_2O_3) : \nu(K_2CO_3) = 1 : 5$; 9,6 г. Раствор имеет зеленый цвет.

10. Составим уравнение теплового баланса (m_1 и m_2 — масса воды и масса льда).

$$-m_1 \cdot c \cdot (313 - 373) = m_2 \cdot c \cdot (313 - 273) - m_2 \cdot Q_{\text{пл}}$$

$$-1000 \cdot 1 \cdot (313 - 373) = m_2 \cdot 1 \cdot (313 - 273) + 79{,}67 \cdot m_2$$

$$m_2 = 501 \text{ г}$$

Количество теплоты для нагревания всей воды до 100 °C:

$$Q = (m_1 + m_2) \cdot c \cdot (373 - 313) = 1501 \cdot 60 = 90060 \text{ кал} = 90{,}06 \text{ ккал}$$

Количество и объем метана, который нужно сжечь, чтобы нагреть всю воду (массой $m_1 + m_2$).

$$\nu(CH_4) = \frac{90{,}06}{212{,}7} = 0{,}423 \text{ моль}$$

$$V(CH_4) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0{,}423 \cdot 0{,}082 \cdot 298}{1} = 10{,}4 \text{ л} = 10400 \text{ мл}$$

Рассчитаем время, за которое из горелки может поступить этот объем газа.

$$t = \frac{V}{v} = \frac{10400}{5{,}7} = 1825 \text{ с} = 30{,}4 \text{ мин}$$

Ответ. 30,4 мин.

5–9 КЛАССЫ

1. Приведем один из вариантов ответа.
Вещество — H_2O.
Реакция разложения:

$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$ (электролиз или действие высоких температур)

Реакция соединения:

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

Реакция обмена:

$$Al_2S_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow$$

Реакция замещения:

$$Ca + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + H_2\uparrow$$

2. Правильные ответы — 2, 3, 4, 10. С именем Дмитрия Ивановича Менделеева связано открытие периодического закона и предсказание на его основе свойств неоткрытых химических элементов, разработка физико-химической теории растворов, а также вывод уравнения состояния идеального газа (уравнение Клапейрона–Менделеева).

3. Масса атома тяжелого элемента больше половины массы молекулы. Из этого следует, что в составе молекулы — только один тяжелый атом и шесть легких. Пусть формула соединения $\mathbf{XY_6}$. Атомная масса тяжелого элемента:

$$A(\mathbf{X}) = 298 \cdot 0{,}617 = 184 \text{ а. е. м. Это вольфрам W.}$$

Тогда масса шести атомов элемента **Y**: 298 − 184 = 114 а. е. м.

$$A(\mathbf{Y}) = \frac{114}{6} = 19 \text{ а. е. м. Это фтор F.}$$

Формула газа — WF_6.

Ответ. WF_6.

4. Рассчитаем массу калия в организме школьника весом 60 кг (60 кг = 60000 г).

$$m(\text{K}) = 60000 \cdot 0{,}002 = 120 \text{ г} = 120000 \text{ мг}$$

Составим и решим пропорцию:

1 л воды — 12 мг калия

x л воды — 120 000 мг калия

$$x = \frac{1 \cdot 120\,000}{12} = 10000 \text{ л}$$

Ответ. 10000 л воды.

5. При захвате нейтрона массовое число увеличивается на 1, заряд ядра не меняется; при β-распаде заряд ядра увеличивается на 1, массовое число не меняется. Поэтому можно найти число нейтронов и число β-распадов:

$$N_{\text{n}} = 204 - 197 = \mathbf{7}$$

$$N_{\beta} = 82 - 79 = 3$$

Ответ. 7 захватов нейтрона и 3 β-распада.

6. Самая тяжелое жидкое при комнатной температуре вещество — ртуть (плотность ртути 13,5 г/см^3).

$$Hg + 4HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow Hg(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2Hg + O_2 \xrightarrow{350\,^\circ\text{C}} 2HgO.$$

Температура кипения ртути 357 °C (630 К). При этой температуре и нормальном давлении 1 моль любого идеального газа занимает объем:

$$V_m(\text{г}) = \frac{RT}{p} = \frac{8{,}314 \cdot 630}{101{,}3} = 51{,}7 \text{ л/моль} = 51700 \text{ см}^3\text{/моль}$$

Молярный объем жидкой ртути:

$$V_m(\text{ж}) = \frac{M}{\rho} = \frac{200{,}16}{13{,}5} = 14{,}9 \text{ см}^3\text{/моль}$$

При испарении объем ртути увеличится в $\dfrac{51700}{14{,}9} = 3470 \approx 3500$ раз.

Ответ. В 3500 раз.

7. Средняя молярная масса продуктов разложения:

$$M_{ср} = 3{,}2 \cdot 22{,}4 = 71{,}68 \text{ г/моль}$$

Один из продуктов разложения — кислород O_2; $M(O_2) < M_{ср}$, следовательно, у второго газа молярная масса больше $M_{ср}$. Если предположить, что второй продукт разложения — простое вещество, то такую большую молярную массу может иметь только инертный газ криптон или ксенон. Для криптона оксиды не известны, остается ксенон.

Пусть формула оксида XeO_n. Напишем уравнение реакции разложения:

$$XeO_n \to Xe + 0{,}5nO_2$$

Образуется смесь с мольным соотношением газов $Xe : O_2 = 1 : 0{,}5n$. Средняя молярная масса:

$$M_{ср} = \frac{131 + 0{,}5n \cdot 32}{1 + 0{,}5n} = 71{,}68$$

$$n = 3$$

Формула оксида XeO_3. Это кислотный оксид, он реагирует с водой и со щелочами:

$$XeO_3 + H_2O \to \underset{\text{ксеноновая кислота}}{H_2XeO_4}$$

$$XeO_3 + 2NaOH \to \underset{\text{ксенат натрия}}{Na_2XeO_4} + H_2O$$

Оксид XeO_3 — сильный окислитель, в кислой среде он способен окислять соли марганца(II) до перманганата:

$$6MnSO_4 + 5XeO_3 + 9H_2O \to 6HMnO_4 + 5Xe\uparrow + 6H_2SO_4$$

В слабощелочной среде образуется оксид марганца(IV):

$$3MnSO_4 + XeO_3 + 6KOH \to 3MnO_2\downarrow + Xe\uparrow + 3K_2SO_4 + 3H_2O$$

Ответ. XeO_3.

8. Катион, в состав которого входят неметаллы, — ион аммония NH_4^+; два элемента-неметалла, из которых состоит вещество **X**, — азот и водород. Условию задачи удовлетворяет азид аммония NH_4N_3.

$$\omega(NH_4^+) = \frac{18}{60} = 0{,}3, \text{ или } 30\%$$

Азид аммония — соль азидоводородной кислоты HN_3. Реакция разложения азида аммония:

$$NH_4N_3 \xrightarrow{t} NH_3 + HN_3$$

или при более сильном нагревании:

$$2NH_4N_3 \xrightarrow{t} 2NH_3 + H_2 + 3N_2$$

Ответ. Азид аммония NH_4N_3.

9. 1) Хлорат бария образуется при пропускании хлора через горячий раствор $Ba(OH)_2$:

$$6Ba(OH)_2 + 6Cl_2 \to 5BaCl_2 + Ba(ClO_3)_2 + 6H_2O$$

2) $Ba(ClO_3)_2 + H_2SO_4(\text{разб.}) \to BaSO_4\downarrow + 2HClO_3$

3) $HClO_3 + KOH \to KClO_3 + H_2O$

4) Сильный окислитель хлорат калия окисляет хлороводород до хлора.

$$KClO_3 + 6HCl \to KCl + 3Cl_2\uparrow + 3H_2O$$

5) Сильный окислитель гипохлорит бария легко восстанавливается до хлорида.

$$Ba(OCl)_2 + 2KNO_2 \to BaCl_2 + 2KNO_3$$

или

$$Ba(OCl)_2 \xrightarrow{t} BaCl_2 + O_2\uparrow$$

6) $2HCl + Ba(OH)_2 \to BaCl_2 + 2H_2O$

7) $KCl + H_2SO_4(\text{конц.}) \to KHSO_4 + HCl\uparrow$

8) Гипохлорит бария можно превратить в хлорид калия путем восстановления до хлорида с одновременным протеканием обменной реакции:

$$Ba(OCl)_2 + 2K_2SO_3 \to BaSO_4\downarrow + K_2SO_4 + 2KCl$$

9) Гипохлорит бария образуется при пропускании хлора через холодный раствор $Ba(OH)_2$:

$$2Ba(OH)_2 + 2Cl_2 \to BaCl_2 + Ba(OCl)_2 + 2H_2O$$

10) Хлорат бария при сильном нагревании разлагается до хлорида:

$$Ba(ClO_3)_2 \xrightarrow{t} BaCl_2 + 3O_2\uparrow$$

11) Хлороводород может образоваться при полном восстановлении хлорноватой кислоты:

$$4HClO_3 + 3H_2S \to 4HCl + 3H_2SO_4$$

Однако при проведении этой реакции следует принимать меры, чтобы избежать сопропорционирования Cl^{+5} и Cl^{-1} с получением молекулярного хлора (как, например, в реакции 4).

12) Хлорат калия при сильном нагревании разлагается до хлорида:

$$2KClO_3 \xrightarrow{t} 2KCl + 3O_2\uparrow$$

10. Из соотношения объемов кислорода, фтора и хлора следует, что в оксиде и фториде металл M пятивалентный, а в хлориде — четырехвалентный.

$$4M + 5O_2 \to 2M_2O_5$$

$$4M + 10F_2 \to 4MF_5$$

$$4M + 8Cl_2 \to 4MCl_4$$

Металл M находим из соотношения молярных масс оксида и хлорида.

$$M(M_2O_5) = 2x + 16 \cdot 5 = 2x + 80$$

$$M(MCl_4) = x + 35{,}5 \cdot 4 = x + 142$$

$$(2x + 80) \cdot 1{,}06 = x + 142$$

$x = 51$ г/моль. Это ванадий V.

$$4V + 5O_2 \to 2V_2O_5$$

$$4V + 10F_2 \to 4VF_5$$

$$4V + 8Cl_2 \to 4VCl_4$$

Ответ. Ванадий.

ОЧНЫЙ ТУР

10—11 КЛАССЫ

ВАРИАНТ 1

1. Например, можно использовать известную качественную реакцию на Fe(III) с гексацианоферратом железа(II):

$$K_4[Fe(CN)_6] + FeCl_3 \to \underset{\text{темно-синий осадок}}{KFe[Fe(CN)_6]\downarrow} + 3KCl$$

2. Найдем количества надпероксида калия и карбоната кальция.

$$\nu(KO_2) = \frac{m}{M} = \frac{1}{71} = 0{,}014 \text{ моль}$$

$$\nu(CaCO_3) = \frac{2}{100} = 0{,}02 \text{ моль}$$

При сплавлении карбоната кальция и надпероксида калия образуются термически более устойчивый карбонат калия и выделяется кислород:

$$\underset{0{,}014}{4KO_2} + \underset{0{,}007}{2CaCO_3} \xrightarrow{t} 2K_2CO_3 + 2CaO + \underset{0{,}0105}{3O_2\uparrow} \qquad (1)$$

Избыток карбоната кальция разлагается.

$$CaCO_3 \xrightarrow{t} CaO + CO_2\uparrow$$

$$\nu(CaCO_3(\text{изб.})) = 0{,}02 - 0{,}007 = 0{,}013 \text{ моль}$$

$$\nu(CO_2) = 0{,}013 \text{ моль}$$

Итак, по завершении этих реакций суммарное количество газов в ампуле:

$$\nu = \nu(O_2) + \nu(CO_2) = 0{,}0105 + 0{,}013 = 0{,}0235 \text{ моль}$$

Если принять, что при охлаждении состав газовой фазы не изменяется, то давление в ампуле составит

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0{,}0235 \cdot 8{,}314 \cdot 298}{0{,}2} = 291{,}1 \text{ кПа}$$

При таком высоком давлении (~3 атм) углекислый газ может связываться с оксидом кальция, и тогда в ампуле при 298 К в газовой фазе присутствует только образовавшийся по реакции (1) кислород в количестве 0,0105 моль, причем давление в ампуле составит

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0{,}0105 \cdot 8{,}314 \cdot 298}{0{,}2} = 130{,}1 \text{ кПа}$$

Ответ. 291,1 кПа или 130,1 кПа (оба ответа принимались как правильные).

3. В результате реакции нитробензола с бромом выделяется бромоводород, который полностью растворяется в воде. Зная pH водного раствора, можно вычислить количество HBr (HBr — сильная кислота, диссоциирует полностью).

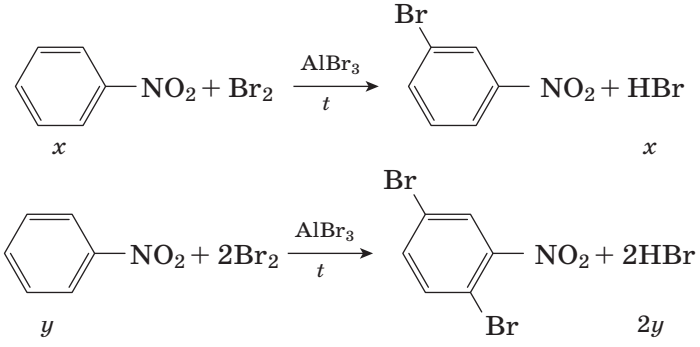
$$[H^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-1{,}7} = 0{,}01995 \approx 0{,}02 \text{ моль/л}$$

$$\nu(HBr) = c \cdot V = 0{,}02 \cdot 1{,}5 = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(C_6H_5NO_2) = \frac{m}{M} = \frac{2{,}46}{123} = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(C_6H_5NO_2) : \nu(HBr) = 0{,}02 : 0{,}03 = 1 : 1{,}5$$

При соотношении $\nu(C_6H_5NO_2) : \nu(HBr) = 1 : 1$ образуется только монобромпроизводное, а при соотношении 1 : 2 — только дибромпроизводное. В нашем случае протекали две реакции:



Другой правильный ответ — образование 1,3-дибром-5-нитробензола. Решим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 0{,}02 \\ x + 2y = 0{,}03 \end{cases}$$

$x = 0{,}01$ (моль), $y = 0{,}01$ (моль). Итак, в реакции получено 0,01 моль 1-бром-3-нитробензола и 0,01 моль 1,4-дибром-2-нитробензола.

Ответ. 0,01 моль 1-бром-3-нитробензола; 0,01 моль 1,4-дибром-2-нитробензола.

4. Можно привести много реакций органических веществ с KOH, например:

1) $CH_3COOH + KOH(р\text{-}р) \rightarrow CH_3COOK + H_2O$

2) $C_6H_5OH + KOH(р\text{-}р) \rightarrow C_6H_5OK + H_2O$

3) $CH_3COOK(т) + KOH(т) \xrightarrow[\text{сплавление}]{t} CH_4\uparrow + K_2CO_3$

4) $C_2H_5Cl + KOH \xrightarrow{H_2O} C_2H_5OH + KCl$

5) $CH_3COOC_2H_5 + KOH \xrightarrow{H_2O} CH_3COOK + C_2H_5OH$

6) $C_6H_5SO_3H(т) + 3KOH(т) \xrightarrow[\text{сплавление}]{t} C_6H_5OK + K_2SO_3 + 2H_2O$

7) $C_6H_5Cl + 2KOH \xrightarrow{350\,^\circ C} C_6H_5OK + H_2O + KCl$

5. Напишем уравнения всех реакций.

1) Получение смеси хлоридов фосфора:

$$2P + 3Cl_2 \rightarrow 2PCl_3 \text{ и } 2P + 5Cl_2 \rightarrow 2PCl_5$$

2) Гидролиз смеси хлоридов фосфора:

$$PCl_3 + 3H_2O \to 3HCl + H_3PO_3$$

$$PCl_5 + 4H_2O \to 5HCl + H_3PO_4$$

3) Нейтрализация всех трех продуктов гидролиза:

$$HCl + KOH \to KCl + H_2O$$

$$H_3PO_3 + 2KOH \to K_2HPO_3 + 2H_2O$$

(фосфористая кислота — двухосновная!)

$$H_3PO_4 + 3KOH \to K_3PO_4 + 3H_2O$$

Пусть образовалось x моль хлорида фосфора(III) и y моль хлорида фосфора(V). При гидролизе смеси хлоридов фосфора получено $(3x + 5y)$ моль хлороводорода, x моль фосфористой кислоты и y моль фосфорной кислоты. При нейтрализации этой смеси кислот израсходовано $3x + 5y + 2x + 3y = 5x + 8y$ (моль) щёлочи. Всего щёлочи израсходовано:

$$\nu(KOH) = \frac{1031{,}6 \cdot 1{,}14 \cdot 0{,}15}{56} = 3{,}15 \text{ моль}$$

Количество атомов фосфора:

$$\nu(P) = \frac{13{,}95}{31} = 0{,}45 = x + y$$

$$\begin{cases} x + y = 0{,}45 \\ 5x + 8y = 3{,}15 \end{cases}$$

$x = 0{,}15$ (моль), $y = 0{,}3$ (моль). В конечном растворе содержатся хлорид калия, фосфит калия и фосфат калия:

$\nu(KCl) = 3x + 5y = 1{,}95$ моль, $m(KCl) = 145{,}3$ г

$\nu(K_2HPO_3) = 0{,}15$ моль, $m(K_2HPO_3) = 23{,}7$ г

$\nu(K_3PO_4) = 0{,}3$ моль, $m(K_3PO_4) = 63{,}6$ г

Ответ. 145,3 г KCl, 23,7 г K_2HPO_3 и 63,6 г K_3PO_4.

6. Введем следующие обозначения: при температуре $T = 500$ К K — константа равновесия, k_1 — константа скорости прямой реакции, k_2 — константа скорости обратной реакции; при другой температуре $T' = 330$ °C = 603 К k_1' — константа скорости прямой реакции, k_2' — константа скорости обратной реакции. Разность энергий активации прямой и обратной реакций:

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

Константа равновесия реакции связана с константами скорости прямой и обратной реакций:

$$K = \frac{k_1}{k_2}$$

Зависимость константы скорости реакции от температуры описывается уравнением Аррениуса:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$$

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{\frac{-E_1+E_2}{RT}} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{\frac{-\Delta E}{RT}} = 3$$

$$\frac{k_1'}{k_2'} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{\frac{-E_1+E_2}{RT'}} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{\frac{-\Delta E}{RT'}} = 5$$

$$-\Delta E = \frac{RTT'}{(T'-T)} \cdot \left(\ln\frac{k_1}{k_2} - \ln\frac{k_1'}{k_2'}\right) = \frac{8{,}314 \cdot 603 \cdot 500}{(603-500)} \cdot \ln\frac{3}{5} = -12\,400 \text{ Дж/моль}$$

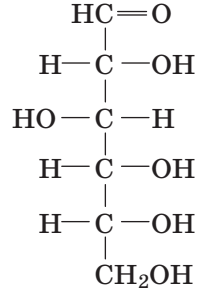
$\Delta E = E_1 - E_2 = 12{,}4$ кДж/моль

Ответ. 12,4 кДж/моль.

7. 1) $ZnS + 2HCl(р\text{-}р) \rightarrow ZnCl_2 + H_2S\uparrow$
2) $H_2S + CuCl_2(р\text{-}р) \rightarrow CuS\downarrow + 2HCl$
3) $CuS + 10HNO_3(конц.) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + H_2SO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$
4) $2ZnS + 3O_2 \xrightarrow{t} 2ZnO + 2SO_2\uparrow$
5) $SO_2 + 2H_2S \rightarrow 3S\downarrow + 2H_2O$
6) $S + 6HNO_3(конц.) \xrightarrow{t} H_2SO_4 + 6NO_2\uparrow + 2H_2O$

Ответ. **X1** — H_2S, **X2** — CuS, **X3** — SO_2.

8. Вещество $C_6H_{12}O_6$ — глюкоза; структурная формула глюкозы:



1) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{фермент}} CH_3—CH_2—CH_2—COOH + 2H_2\uparrow + 2CO_2\uparrow$ (маслянокислое брожение)

или

$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{фермент}} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$ (спиртовое брожение)

2) $CH_3CH_2CH_2COOH + C_4H_9OH \overset{H^+,\,t}{\rightleftarrows} CH_3CH_2CH_2COOC_4H_9 + H_2O$

или (если на первой стадии использовано спиртовое брожение):

$C_2H_5OH + C_5H_{11}COOH \rightleftarrows C_8H_{16}O_2 + H_2O$

3) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{фермент}} 2CH_3—CH(OH)—COOH$ (молочнокислое брожение)

4) $CH_3CH(OH)COOH + CH_3OH \overset{H^+,\,t}{\rightleftarrows} CH_3CH(OH)COOCH_3 + H_2O$

5) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{фермент}} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$ (спиртовое брожение)

6) $HOOC—C\equiv C—COOH + 2C_2H_5OH \overset{H^+,\,t}{\rightleftarrows} \rightleftarrows C_2H_5OOC—C\equiv C—COOC_2H_5 + 2H_2O$

Ответ. **X** — масляная кислота, **Y** — молочная кислота, **Z** — этанол.

9. Общая формула дипептида:

$$NH_2—CHR^1—CO—NH—CHR^2—COOH$$

где радикалы R^1 и R^2 могут быть как одинаковыми, так и разными. При сжигании любых дипептидов образуются CO_2, N_2 и H_2O. Если в состав дипептида входит серосодержащая аминокислота, например цистеин, то в продуктах его сгорания присутствует сернистый газ SO_2.

Газовая смесь, образовавшаяся при сжигании дипептида, обесцвечивает раствор перманганата калия (окислитель), что указывает на присутствие SO_2 (восстановитель):

$$2KMnO_4 + 5SO_2 + 2H_2O \to 2H_2SO_4 + K_2SO_4 + 2MnSO_4$$

По условию:

$$\nu(KMnO_4) = \frac{60 \cdot 0{,}2}{1000} = 0{,}012 \text{ моль}$$

$$\nu(SO_2) = 2{,}5 \cdot 0{,}012 = 0{,}03 \text{ моль}$$

Если радикалы R^1 и R^2 разные:

$$\nu(\text{дипептида}) = \nu(SO_2) = 0{,}03 \text{ моль}$$

Молярная масса этого дипептида:

$$M = \frac{m}{\nu} = \frac{6{,}24}{0{,}03} = 208 \text{ г/моль}$$

Из общей формулы дипептида запишем:

$$16 + 13 + R^1 + 43 + 13 + R^2 + 45 = 208$$

$$R^1 + R^2 = 208 - 130 = 78$$

Серосодержащая кислота в дипептиде — цистеин ($R^1 = CH_2SH$): $M(R^1) = 47$ и $M(R^2) = 78 - 47 = 31$. Вторая аминокислота — серин ($R^2 = CH_2OH$). Брутто-формула дипептида — $C_6H_{12}N_2O_4S$.

$$C_6H_{12}N_2O_4S + 8O_2 \rightarrow 6CO_2 + N_2 + SO_2 + 6H_2O$$

$$\nu(CO_2) = 6 \cdot 0{,}03 = 0{,}18 \text{ моль}$$

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + SO_2 \rightarrow CaSO_3\downarrow + H_2O$$

$$\nu(CaCO_3) = \nu(CO_2) = 0{,}18 \text{ моль}$$

$$m(CaCO_3) = 0{,}18 \cdot 100 = 18 \text{ г}$$

$$\nu(CaSO_3) = \nu(SO_2) = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$m(CaSO_3) = 0{,}03 \cdot 120 = 3{,}6 \text{ г}$$

Суммарная масса осадка: $18 + 3{,}6 = 21{,}6$ г.

Ответ. В составе дипептида цистеин и серин; 21,6 г.

10. При обжиге минерала образовался оксид состава $\mathbf{A}^{+2}O^{-2}$ и сернистый газ:

$$\mathbf{A}_2S_x + (x + 1)O_2 \xrightarrow{t} 2\mathbf{A}O + xSO_2$$

При пропускании сернистого газа в бромную воду произошло его окисление до серной кислоты, бромная вода при этом обесцветилась.

$$SO_2 + Br_2 + 2H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 2HBr$$

Добавление избытка раствора хлорида бария привело к выпадению белого осадка $BaSO_4$.

$$H_2SO_4 + BaCl_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2\ HCl$$

$$\nu(BaSO_4) = \frac{58{,}25}{233} = 0{,}25 \text{ моль}$$

При обжиге осадка $BaSO_4$ выделилось 0,25 моль SO_2. Следовательно,

$$\nu(\mathbf{A}_2S_x) = \frac{0{,}25}{x} \text{ (моль)}$$

$$\nu(\mathbf{A}O) = 2 \cdot \nu(\mathbf{A}_2S_x) = \frac{0{,}5}{x} \text{ (моль)}$$

При растворении твердого остатка после обжига в 40%-й азотной кислоте не наблюдалось выделения газа. Поэтому в составе твердо-

го остатка — только оксид **AO** (присутствие оксида $\mathbf{A_2O}$ привело бы к окислительно-восстановительной реакции и выделению NO).

$$\mathbf{AO} + 2HNO_3 \rightarrow \mathbf{A}(NO_3)_2 + H_2O$$

Рассчитаем массу 40%-го раствора азотной кислоты для полного растворения $\frac{0{,}5}{x}$ моль оксида **AO**.

$$m(\text{р-ра } HNO_3) = \frac{2 \cdot 0{,}5 \cdot 63}{x \cdot 0{,}4} = \frac{157{,}5}{x} \text{ (г)}$$

$$\omega(\mathbf{A}(NO_3)_2) = \frac{m(\mathbf{A}(NO_3)_2)}{m(\mathbf{AO}) + m(\text{р-ра } HNO_3)} = \frac{(M + 124) \cdot \frac{0{,}5}{x}}{(M + 16) \cdot \frac{0{,}5}{x} + \frac{157{,}5}{x}} = 0{,}476$$

где M — молярная масса металла **A**. $M(\text{A}) = 64$ г/моль. Металл **A** — это медь Cu.

$$\nu(Cu_2S_x) = \frac{m(Cu_2S_x)}{M(Cu_2S_x)} = \frac{40}{64 \cdot 2 + 32x} = \frac{0{,}25}{x}$$

$$x = 1$$

Итак, минерал халькозин имеет состав Cu_2S.

При растворении в азотной кислоте 0,5 моль CuO образовалось 0,5 моль нитрата меди $Cu(NO_3)_2$ (в реакции с азотной кислотой газ не выделяется; это подтверждает образование при обжиге именно CuO). Добавление избытка иодида калия к раствору этой соли приводит к окислительно-восстановительной реакции:

$$\underset{0{,}5}{2Cu(NO_3)_2} + 4KI \rightarrow \underset{0{,}5}{2CuI\downarrow} + I_2 + 4KNO_3$$

Раствор имеет бурый цвет, так как образовавшийся I_2 образует с избытком ионов I^- окрашенный комплексный ион $[I_3^-]$. В осадке белый иодид меди(I).

$$m(CuI) = 191 \cdot 0{,}5 = 95{,}5 \text{ г}$$

Ответ. Минерал халькозин Cu_2S, в осадке 95,5 г CuI.

ВАРИАНТ 2

1. Приведем один возможный вариант ответа.

$$AlCl_3 + 3K[Al(OH)_4] \rightarrow 4Al(OH)_3\downarrow + 3KCl$$

2.

$$\nu(K_2O_2) = \frac{m}{M} = \frac{4{,}4}{110} = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$\nu(MgCO_3) = \frac{5{,}04}{84} = 0{,}06 \text{ моль}$$

При сплавлении карбоната магния и пероксида калия образуются термически более устойчивый карбонат калия и кислород.

$$\underset{0{,}04}{2K_2O_2} + 2MgCO_3 \xrightarrow{t} 2K_2CO_3 + 2MgO + \underset{0{,}02}{O_2\uparrow}$$

Избыток карбоната магния разлагается:

$$\nu(MgCO_3(\text{изб.})) = 0{,}06 - 0{,}04 = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\underset{0{,}02}{MgCO_3} \xrightarrow{t} MgO + \underset{0{,}02}{CO_2\uparrow}$$

По завершении реакций суммарное количество газов в ампуле:

$$\nu = 0{,}02 + 0{,}02 = 0{,}04 \text{ моль}$$

Если принять, что при охлаждении состав газовой фазы не изменяется, то давление в ампуле составит

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0{,}04 \cdot 8{,}314 \cdot 298}{0{,}25} = 396{,}4 \text{ кПа}$$

Можно учесть, что при охлаждении ампулы выделившийся углекислый газ может связываться при таком высоком давлении (~4 атм) с оксидом магния, хотя MgO менее активен, чем CaO (см. решение задачи **1** из варианта 1).

3. В результате реакции толуола с бромом выделяется бромоводород, который полностью растворяется в воде. Зная pH водного раствора, можно вычислить количество HBr в растворе.

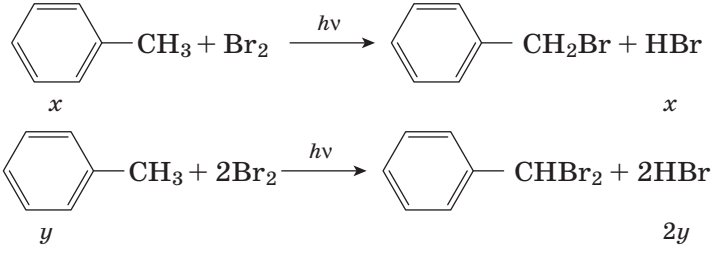
$$[H^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-1{,}7} = 0{,}02 \text{ моль/л}$$

$$\nu(HBr) = c \cdot V = 0{,}02 \cdot 2 = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$\nu(C_7H_8) = \frac{m}{M} = \frac{2{,}76}{92} = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(C_7H_8) : \nu(HBr) = 0{,}03 : 0{,}04 = 1 : 1{,}333$$

При соотношении $\nu(C_7H_8) : \nu(HBr) = 1 : 1$ образуется только монобромпроизводное, а при соотношении 1 : 2 — только дибромпроизводное. Но в нашем случае могут протекать две реакции:



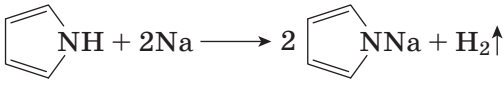
Решим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 0{,}03 \\ x + 2y = 0{,}04 \end{cases}$$

$x = 0{,}02$ (моль), $y = 0{,}01$ (моль). В реакции получено 0,02 моль бромметилбензола и 0,01 моль дибромметилбензола.

Ответ. 0,02 моль бромметилбензола, 0,01 моль дибромметилбензола.

4. Можно привести много реакций органических веществ с натрием, например:

1) $2C_2H_5OH + 2Na \rightarrow 2C_2H_5ONa + H_2\uparrow$
2) $2CH_3COOH + 2Na \rightarrow 2CH_3COONa + H_2\uparrow$
3) $2C_6H_5OH + 2Na \rightarrow 2C_6H_5ONa + H_2\uparrow$
4) $2CH_3Br + 2Na \xrightarrow{\text{эфир}} 2C_2H_6 + 2NaBr$
5) $2CH_3{-}C{\equiv}CH + 2Na \rightarrow 2CH_3{-}C{\equiv}CNa + H_2\uparrow$
6) 

5. Напишем уравнения всех упомянутых реакций.

1) Получение смеси хлоридов:

$$2P + 3Cl_2 \rightarrow 2PCl_3$$

$$2P + 5Cl_2 \rightarrow 2PCl_5$$

2) Гидролиз смеси хлоридов:

$$PCl_3 + 3H_2O \rightarrow 3HCl + H_3PO_3$$

$$PCl_5 + 4H_2O \rightarrow 5HCl + H_3PO_4$$

3) Нейтрализация всех трех продуктов гидролиза:

$$HCl + RbOH \rightarrow RbCl + H_2O$$

$$H_3PO_3 + 2RbOH \rightarrow Rb_2HPO_3 + 2H_2O$$

(фосфористая кислота двухосновная!)

$$H_3PO_4 + 3RbOH \rightarrow Rb_3PO_4 + 3H_2O$$

Пусть получено x моль хлорида фосфора(III) и y моль хлорида фосфора(V). При гидролизе смеси хлоридов фосфора образовалось $(3x + 5y)$ моль соляной кислоты, x моль фосфористой кислоты и y моль фосфорной кислоты. Для нейтрализации смеси кислот щёлочи расходуется $3x + 5y + 2x + 3y = 5x + 8y$ (моль). Всего израсходовано щёлочи:

$$\nu(RbOH) = \frac{150 \cdot 1{,}02 \cdot 0{,}12}{102} = 0{,}18 \text{ моль}$$

Количество фосфора:

$$\nu(\mathrm{P}) = \frac{0{,}93}{31} = 0{,}03 = x + y$$

Решим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 0{,}03 \\ 5x + 8y = 0{,}18 \end{cases}$$

$$x = 0{,}02 \text{ (моль)},\ y = 0{,}01 \text{ (моль)}$$

В конечном растворе содержатся хлорид рубидия, фосфит рубидия и фосфат рубидия.

$$\nu(\mathrm{RbCl}) = 3x + 5y = 0{,}11 \text{ моль}, \qquad m(\mathrm{RbCl}) = 13{,}3 \text{ г}$$

$$\nu(\mathrm{Rb_2HPO_3}) = 0{,}02 \text{ моль}, \quad m(\mathrm{Rb_2HPO_3}) = 5 \text{ г}$$

$$\nu(\mathrm{Rb_3PO_4}) = 0{,}01 \text{ моль}, \qquad m(\mathrm{Rb_3PO_4}) = 3{,}5 \text{ г}$$

Ответ. 13,3 г RbCl, 3,5 г $\mathrm{Rb_3PO_4}$, 5 г $\mathrm{Rb_2HPO_3}$.

6. Введем следующие обозначения: при $T = 350$ °C = 623 К K — константа равновесия, k_1 — константа скорости прямой реакции, k_2 — константа скорости обратной реакции; при $T' = 500$ К k_1' — константа скорости прямой реакции, k_2' — константа скорости обратной реакции. Разность энергий активации прямой и обратной реакций:

$$\Delta E = E_1 - E_2$$

Константа равновесия реакции связана с константами скорости прямой и обратной реакций:

$$K = \frac{k_1}{k_2}$$

Зависимость константы скорости реакции от температуры описывается уравнением Аррениуса:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$$

$$\frac{k_2'}{k_1'} = \frac{A_2}{A_1} \cdot e^{\frac{-E_2+E_1}{RT'}} = \frac{A_2}{A_1} \cdot e^{\frac{\Delta E}{RT'}}$$

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{\frac{-E_1+E_2}{RT}} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{\frac{-\Delta E}{RT}} = 0{,}01$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{k_2}{k_1} \cdot e^{-\frac{\Delta E}{RT}} = \frac{1}{K} \cdot e^{-\frac{\Delta E}{RT}} = 100 \cdot e^{-\frac{21000}{8{,}314 \cdot 623}} = 1{,}73$$

$$\frac{k_2'}{k_1'} = 1{,}73 \cdot e^{\frac{21000}{8{,}314 \cdot 500}} = 270$$

Ответ. В 270 раз.

7. 1) $4Al(NO_3)_3 \xrightarrow{t} 2Al_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

2) $2Al_2O_3 + 9C \xrightarrow{t} Al_4C_3 + 6CO\uparrow$

3) $Al_4C_3 + 12H_2O \rightarrow 4Al(OH)_3\downarrow + 3CH_4\uparrow$

4) $Al(NO_3)_3 + 4KOH(\text{изб.}) \rightarrow K[Al(OH)_4] + 3KNO_3$

6) $K[Al(OH)_4] + 4HCl(\text{изб.}) \rightarrow AlCl_3 + KCl + 4H_2O$

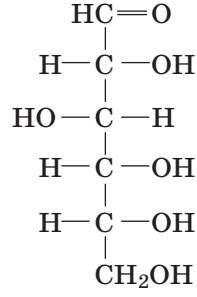
7) $2AlCl_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 6NaCl$

или

$AlCl_3 + 3NaOH(\text{недост.}) \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3NaCl$

Ответ. **X1** — Al_2O_3, **X2** — Al_4C_3, **X3** — $AlCl_3$.

8. Вещество $C_6H_{12}O_6$ — глюкоза; структурная формула глюкозы:



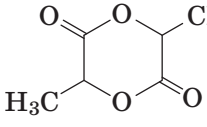
1) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{фермент}} CH_3—CH_2—CH_2—COOH + 2H_2\uparrow + 2CO_2\uparrow$

(маслянокислое брожение)

2) $CH_3CH_2CH_2COOH + C_5H_{11}OH \underset{}{\overset{H^+,\,t}{\rightleftharpoons}} \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOC_5H_{11} + H_2O$

3) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{фермент}} 2CH_3—CH(OH)—COOH$

(молочнокислое брожение)

4) $2CH_3CH(OH)COOH \xrightarrow{t}$  $+ 2H_2O$

5) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{фермент}} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$ (спиртовое брожение)

6) $HOCH_2CH_2CH_2COOH + C_2H_5OH \underset{}{\overset{H^+,\,t}{\rightleftharpoons}} \rightarrow HOCH_2CH_2CH_2COOC_2H_5 + H_2O$

Ответ. **X** — масляная кислота, **Y** — молочная кислота, **Z** — этанол.

9. Формула дипептида $NH_2—CHR^1—CO—NH—CHR^2—COOH$, где R^1 и R^2 могут быть как одинаковыми, так и разными. При сжигании любых дипептидов образуются CO_2, N_2 и H_2O. Если в состав дипептида входит серосодержащая аминокислота, например цистеин, то в продуктах сгорания присутствует сернистый газ SO_2.

По условию, газовая смесь, образовавшаяся при сжигании дипептида, обесцвечивает раствор перманганата калия, что указывает на присутствие SO_2.

$$2KMnO_4 + 5SO_2 + 2H_2O \rightarrow 2H_2SO_4 + K_2SO_4 + 2MnSO_4$$

$$\nu(KMnO_4) = c \cdot V = 0{,}4 \cdot 0{,}125 = 0{,}05 \text{ моль}$$

$$\nu(SO_2) = 2{,}5 \cdot 0{,}05 = 0{,}125 \text{ моль}$$

Если радикалы R^1 и R^2 разные, то ν(дипептида) = $\nu(SO_2)$ = 0,125 моль. Молярная масса дипептида:

$$M = \frac{m}{\nu} = \frac{31{,}25}{0{,}125} = 250 \text{ г/моль}$$

Из общей формулы дипептида:

$$16 + 13 + R^1 + 43 + 13 + R^2 + 45 = 250$$

$$R^1 + R^2 = 250 - 130 = 120 \text{ (г/моль)}$$

Если серосодержащая кислота — цистеин, то

$$R^1 = 47 \text{ и } R^2 = 120 - 47 = 73$$

Итак, R^2 — остаток глутаминовой кислоты.

Брутто-формула дипептида — $C_8H_{14}N_2O_5S$.

$$C_8H_{14}N_2O_5S + 10O_2 \rightarrow 8CO_2 + N_2 + SO_2 + 7H_2O$$

$$\nu(CO_2) = 8 \cdot 0{,}125 = 1{,}0 \text{ моль}$$

Образование осадка:

$$Ba(OH)_2 + CO_2 \rightarrow BaCO_3\downarrow + H_2O$$

$$Ba(OH)_2 + SO_2 \rightarrow BaSO_3\downarrow + H_2O$$

$$\nu(BaCO_3) = \nu(CO_2) = 1 \text{ моль}$$

$$m(BaCO_3) = 1 \cdot 197 = 197{,}0 \text{ г}$$

$$\nu(BaSO_3) = \nu(SO_2) = 0{,}125 \text{ моль}$$

$$m(BaSO_3) = 0{,}125 \cdot 217 = 27{,}13 \text{ г}$$

Масса осадка: 197,0 + 27,13 = 224,13 г.

Другое решение этой задачи, которое нашли участники олимпиады.

Серосодержащая аминокислота в дипептиде — метионин. Тогда радикал $R^1 = (CH_2)_2SCH_3$, $M = 75$ г/моль. Молярная масса второго радикала $120 - 75 = 45$ г/моль; это треонин: $R^2 = CH(OH)CH_3$.

Ответ. Цистеин и глутаминовая кислота (или метионин и треонин), 224,13 г.

10. При обжиге минерала образуются оксид состава $\mathbf{A}^{2+}O^{2-}$ и сернистый газ:

$$\mathbf{A}S_x + \frac{2x+1}{2}O_2 \xrightarrow{t} \mathbf{A}O + xSO_2\uparrow$$

При пропускании сернистого газа в иодную воду произошло его окисление до серной кислоты, иодная вода при этом обесцветилась:

$$SO_2 + I_2 + 2H_2O \to H_2SO_4 + 2HI$$

Добавление избытка раствора хлорида бария привело к выпадению белого осадка $BaSO_4$:

$$H_2SO_4 + BaCl_2 \to BaSO_4\downarrow + 2HCl$$

$$\nu(BaSO_4) = \frac{81{,}55}{233} = 0{,}35 \text{ моль}$$

По количеству осадка $BaSO_4$ можно определить, что при обжиге выделилось 0,35 моль SO_2.

$$\nu(\mathbf{A}S_x) = \nu(\mathbf{A}O) = \frac{0{,}35}{x} \text{ моль}$$

При растворении твердого остатка после обжига в 33%-й азотной кислоте выделения газа не наблюдалось, поэтому в составе твердого остатка был только оксид **AO** (присутствие оксида $\mathbf{A}_2O$ привело бы к окислительно-восстановительной реакции и выделению NO).

$$\mathbf{A}O + 2HNO_3 \to \mathbf{A}(NO_3)_2 + H_2O$$

Рассчитаем, сколько граммов 33%-го раствора азотной кислоты надо для полного растворения $\frac{0{,}35}{x}$ моль оксида **AO**.

$$m(\text{р-ра } HNO_3) = \frac{2 \cdot 0{,}35 \cdot 63}{x \cdot 0{,}33} = \frac{133{,}6}{x} \text{ (г)}$$

$$\omega(\mathbf{A}(NO_3)_2) = 0{,}407 = \frac{m(\mathbf{A}(NO_3)_2)}{m(\mathbf{A}O) + m(\text{р-ра } HNO_3)} = \frac{(M+124) \cdot \frac{0{,}35}{x}}{(M+16) \cdot \frac{0{,}35}{x} + \frac{133{,}6}{x}}$$

где M — молярная масса металла **A**. $M = 64$ г/моль. Металл **A** — это медь Cu.

$$\nu(CuS_x) = m(CuS_x)/M(CuS_x) = \frac{33{,}6}{64 + 32x} = \frac{0{,}35}{x}$$

$x = 1$

Итак, минерал ковеллин имеет состав CuS.

При растворении 0,35 моль CuO в азотной кислоте образовался нитрат меди $Cu(NO_3)_2$ в количестве 0,35 моль (отсутствие выделения газа подтверждает, что в результате обжига образовался именно CuO). Добавление иодида калия к раствору этой соли приводит к окислительно-восстановительной реакции:

$$\underset{0{,}35}{2Cu(NO_3)_2} + 4KI \rightarrow \underset{0{,}35}{2CuI\downarrow} + I_2 + 4KNO_3$$

Раствор имеет бурый цвет, так как образовавшийся I_2 образует с избытком ионов I^- окрашенный комплексный ион $[I_3^-]$. В осадок выпадает белый иодид меди(I).

$$m(CuI) = 191 \cdot 0{,}35 = 66{,}85 \text{ г}$$

Ответ. CuS, в осадке CuI, 66,85 г.

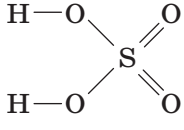
5–9 КЛАССЫ

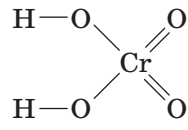
1. Примеры реакций соединения и замещения:

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

$$2Li + 2H_2O \rightarrow 2LiOH + H_2\uparrow$$

2. Например, кислоты — серная H_2SO_4 или хромовая H_2CrO_4.





Ионные соединения типа K_2SO_4 нельзя считать правильным ответом, так как в этих веществах нет молекул (они существуют в виде ионов как в кристаллах, так и в растворах).

3. Искомая частица не может быть нейтральной молекулой, это отрицательно заряженный ион. Подходящий вариант — ион CO_3^{2-}.

Число протонов: $6 + 3 \cdot 8 = 30$.

Число электронов: $6 + 3 \cdot 8 + 2 = 32$.

Ответ. CO_3^{2-}.

4. Газообразные соединения с водородом могут образовывать разные элементы, например галогены, азот, фосфор, углерод, кремний. Найдем молярную массу самого легкого водородного соединения:

$$M = D_{H_2} \cdot M(H_2) = 16 \cdot 2 = 32 \text{ г/моль}.$$ Это силан SiH_4.

Силаны, как и алканы, образуют гомологический ряд. Второе вещество в этом ряду — водородное соединение кремния Si_2H_6; его плотность по водороду:

$$D_{H_2}(Si_2H_6) = \frac{62}{2} = 31$$

Ответ. SiH_4, Si_2H_6, 31.

5. Обе молекулы содержат «тяжелый» изотоп кислорода ^{x}O, где x — массовое число изотопа кислорода.

$$M(C^{x}O_2)/M(H_2{}^{x}O) = \frac{12 + 2x}{2 + x} = 2{,}4$$

$$x = 18$$

Искомый изотоп — ^{18}O.

Ответ. ^{18}O, $C^{18}O_2$, $H_2{}^{18}O$.

6. Запишем три реакции (из учебника Д. И. Менделеева).

$C + O_2 \to CO_2$ $\qquad V(CO_2) = V(O_2)$

$2C + O_2 \to 2CO$ $\qquad V(CO) = 2V(O_2)$

$2CO_2 \xrightarrow{t} 2CO + O_2$ (при сильном нагревании)

7. 1) $SO_2 + Cl_2 + 2H_2O \to H_2SO_4 + 2HCl$

2) $SO_2 + NaOH \to NaHSO_3$

3) $SO_2 + 2NaOH \to Na_2SO_3 + H_2O$

4) $Cl_2 + 2NaOH \xrightarrow{\text{холодный р-р}} NaCl + NaClO + H_2O$

5) $3Cl_2 + 6NaOH \xrightarrow{t} 5NaCl + NaClO_3 + 3H_2O$

8. Пусть $V(H_2O) = 1$ л, тогда $V(NH_3) = 1200$ л.

$$m(H_2O) = 1000 \cdot 1 = 1000 \text{ г}$$

$$\nu(NH_3) = \frac{1200}{22{,}4} = 53{,}6 \text{ моль}$$

$$m(NH_3) = m \cdot \nu = 53{,}6 \cdot 17 = 911 \text{ г}$$

Масса раствора: $m = 911 + 1000 = 1911$ г.

$$\omega(NH_3) = \frac{911}{1911} = 0{,}48, \text{ или } 48\%$$

Ответ. 48%.

9. 1) $2NaBr + Cl_2 \rightarrow 2NaCl + Br_2$

2) $2NaCl + 2H_2O \xrightarrow{\text{эл}} 2NaOH + H_2\uparrow + Cl_2\uparrow$ (электролиз раствора)

3) $2NaOH + 2Al + 6H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$

4) $H_2 + CuO \xrightarrow{t} Cu + H_2O$

5) $Cu + 2AgNO_3(\text{р-р}) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2Ag$

6) $3Ag + 4HNO_3(\text{разб.}) \rightarrow 3AgNO_3 + NO\uparrow + 2H_2O$

10. $$\nu(O_2) = \frac{16{,}8}{22{,}4} = 0{,}75 \text{ моль}$$

$$m(O_2) = 0{,}75 \cdot 32 = 24 \text{ г}$$

$$\underset{100\text{ г}}{\mathbf{Y}} \rightarrow \underset{76\text{ г}}{\mathbf{Z}} + \underset{24\text{ г}}{O_2}$$

$$\underset{100\text{ г}}{\mathbf{Y}} + \underset{52\text{ г}}{\mathbf{X}} \rightarrow \underset{152\text{ г}}{\mathbf{Z}}$$

Вычтя из второй схемы первую с учетом масс участников реакций, получим:

$$\underset{52\text{ г}}{\mathbf{X}} + \underset{24\text{ г}}{\mathbf{O_2}} \rightarrow \underset{76\text{ г}}{\mathbf{Z}}$$

Таким образом, 52 г элемента **X** могут присоединить 24 г O_2 с образованием оксида постоянного состава. Для определения **X** можно далее действовать методом подбора, варьируя предполагаемую валентность элемента **X**.

Пусть у элемента **X** валентность 1.

$$4\mathbf{X} + O_2 \rightarrow 2\mathbf{X}_2O$$

$$\nu(\mathbf{X}) = 2 \cdot \nu(\mathbf{X}_2O)$$

$$\frac{52}{x} = 2 \cdot \frac{76}{2x + 16}$$

$x = 17{,}7$ г/моль. Не подходит.

Пусть у элемента **X** валентность 2.

$$2\mathbf{X} + O_2 \rightarrow 2\mathbf{X}O$$

$$\nu(\mathbf{X}) = \nu(\mathbf{X}O)$$

$$\frac{52}{x} = \frac{76}{x+16}$$

$x = 34{,}6$ г/моль. Не подходит.

Пусть у элемента **X** валентность 3.

$$4\mathbf{X} + 3O_2 \rightarrow 2\mathbf{X}_2O_3$$

$$\nu(\mathbf{X}) = 2 \cdot \nu(\mathbf{X}_2O_3)$$

$$\frac{52}{x} = 2 \cdot \frac{76}{2x+48}$$

$x = 52$ г/моль. Это хром.

Тогда **Z** = Cr_2O_3, **Y** = CrO_3. В условии задачи описаны следующие реакции:

$$4CrO_3 \rightarrow 2Cr_2O_3 + 3O_2\uparrow$$

$$CrO_3 + Cr \rightarrow Cr_2O_3$$

Уравнения реакций со щёлочью:

$$CrO_3 + 2KOH \rightarrow K_2CrO_4 + H_2O$$

$$Cr_2O_3 + 2KOH + 3H_2O \rightarrow 2K[Cr(OH)_4]$$

или

$$Cr_2O_3 + 6KOH + 3H_2O \rightarrow 2K_3[Cr(OH)_6]$$

Ответ. **X** — Cr, **Y** — CrO_3, **Z** — Cr_2O_3.

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

1. $Al(OH)_2Br$ — основная соль; $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ — двойная соль, кристаллогидрат; $KHSO_4$ — кислая соль.

2. Один из вариантов ответа — бромид меди. При электролизе водного раствора этой соли на катоде выделяется медь (в ряду активности металлов правее водорода), а на аноде — бром (при н. у. жидкость), частично растворимая в воде.

$$CuBr_2(\text{р-р}) \xrightarrow{\text{эл}} Cu + Br_2$$

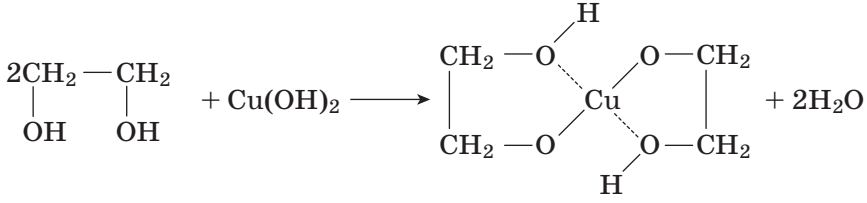
Ответ. $CuBr_2$.

3. а) В отличие от гидроксида магния, гидроксид цинка амфотерный. Поэтому при прибавлении к растворам солей избытка раствора щёлочи осадок образуется только в пробирке с сульфатом магния.

$$ZnSO_4 + 4NaOH \to Na_2[Zn(OH)_4] + Na_2SO_4$$

$$MgSO_4 + 2NaOH \to Mg(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

б) При добавлении свежеосажденного гидроксида меди к этиленгликолю осадок растворяется и образуется ярко-синий (васильковый) раствор комплексного соединения гликолята меди:



Между свежеосажденным гидроксидом меди и этанолом реакция не происходит.

4. При смешении растворов кислоты и щёлочи протекает реакция нейтрализации:

$$HCl + NaOH \to NaCl + H_2O$$

$$\nu(HCl) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{M} = \frac{0{,}02 \cdot 1{,}01 \cdot 100}{36{,}5} = 0{,}0553 \text{ моль}$$

$$\nu(NaOH) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{M} = \frac{0{,}04 \cdot 1{,}05 \cdot 50}{40} = 0{,}0525 \text{ моль}$$

Избыток HCl составляет $0{,}0553 - 0{,}0525 = 0{,}0028$ моль.

Объем полученного раствора:

$$V = 100 + 50 = 150 \text{ мл} = 0{,}15 \text{ л}$$

Сильная соляная кислота в растворе диссоциирует полностью.

$$[H^+] = c(HCl) = \frac{\nu}{V} = \frac{0{,}0028}{0{,}15} = 0{,}0187 \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 1{,}73$$

Ответ. 1,73.

5. Пусть в исходном растворе x моль формальдегида и y моль изомасляного альдегида.

$$\underset{x}{HCHO} + \underset{2x}{2Br_2} + H_2O \to CO_2 + 4HBr$$

$$\underset{y}{(CH_3)_2CHCHO} + \underset{y}{Br_2} + H_2O \rightarrow (CH_3)_2CHCOOH + 2HBr$$

$$\underset{x}{HCHO} + \underset{x}{H_2} \xrightarrow{t,\,Ni} CH_3OH$$

$$\underset{y}{(CH_3)_2CHCHO} + \underset{y}{H_2} \xrightarrow{t,\,Ni} (CH_3)_2CHCH_2OH$$

Найдем количество брома в бромной воде.

$$m(Br_2) = 3200 \cdot 0{,}025 = 80 \text{ г}$$

$$\nu(Br_2) = \frac{m}{M} = \frac{80}{160} = 0{,}5 \text{ моль}$$

Количество водорода для гидрирования:

$$\nu(H_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 7{,}58}{8{,}314 \cdot 308} = 0{,}3 \text{ моль}$$

Решим систему уравнений:

$$\begin{cases} 2x + y = 0{,}5 \\ x + y = 0{,}3 \end{cases}$$

$$x = 0{,}2 \text{ (моль)},\ y = 0{,}1 \text{ (моль)}$$

Массовые доли альдегидов в исходном растворе:

$$\omega(HCHO) = \frac{0{,}2 \cdot 30}{120} = 0{,}05, \text{ или } 5\%$$

$$\omega((CH_3)_2CHCHO) = \frac{0{,}1 \cdot 72}{120} = 0{,}06, \text{ или } 6\%$$

Ответ. В исходном растворе 5% HCHO и 6% $(CH_3)_2CHCHO$.

6. Обозначим: c — исходная молярная концентрация H_2SO_4; x — равновесная концентрация SO_4^{2-}. При необратимой диссоциации серной кислоты по первой ступени образуется по c моль/л ионов H^+ и HSO_4^{2-}.

$$\underset{c}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{c}{H^+} + \underset{c}{HSO_4^-}$$

По второй ступени диссоциация протекает обратимо:

	HSO_4^-	$\rightleftarrows$	H^+	+	SO_4^{2-}
Исходная концентрация	c		c		0
Равновесная концентрация	$c - x$		$c + x$		x

Константа диссоциации по второй ступени:

$$K(HSO_4^-) = \frac{[H^+] \cdot [SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = \frac{(c + x)x}{c - x} = 1{,}0 \cdot 10^{-2}$$

По условию, $[HSO_4^-] = 2[SO_4^{2-}]$.

$$c - x = 2x$$

$$x = \frac{c}{3}$$

$$K(HSO_4^-) = \frac{[H^+]}{2} = \frac{2c}{3}$$

$$c = 1{,}5 \cdot K(HSO_4^-) = 1{,}5 \cdot 1 \cdot 10^{-2} = 0{,}015 \text{ М}$$

Степень диссоциации кислоты по второй ступени: $\alpha = \frac{x}{c} = 0{,}5$; $x = 0{,}5c$.

$$K(HSO_4^-) = \frac{(c + 0{,}5c) \cdot 0{,}5c}{c - 0{,}5c} = 1{,}5c = 1 \cdot 10^{-2}$$

$$c = 6{,}7 \cdot 10^{-3} \text{ М}$$

Ответ. 0,015 М; $6{,}7 \cdot 10^{-3}$ М.

7. 1) $2KMnO_4 + 3K_2SO_3 + H_2O \rightarrow 2MnO_2 + 3K_2SO_4 + 2KOH$

2) $2MnO_2 + 4KOH(т) + O_2 \xrightarrow{t} 2K_2MnO_4 + 2H_2O$

3) $4KMnO_4 + 5C_2H_5OH + 6H_2SO_4 \xrightarrow{t} \rightarrow 4MnSO_4 + 5CH_3COOH + 2K_2SO_4 + 11H_2O$

Окисление первичных спиртов перманганатом калия в кислой среде протекает в две стадии. Если реакцию проводить при нагревании и отгонять образующийся альдегид, можно остановить окисление на первой стадии:

$$2KMnO_4 + 5C_2H_5OH + 3H_2SO_4 \xrightarrow{t} \rightarrow 2MnSO_4 + 5CH_3CHO + K_2SO_4 + 8H_2O$$

Если альдегид не удаляют из реакционной среды, он быстро окисляется до карбоновой кислоты. В том случае, когда окисление проводят при охлаждении и альдегид из реакционной смеси не удаляется, продукт реакции — кислота.

4) $MnSO_4 + (NH_4)_2S \rightarrow MnS\downarrow + (NH_4)_2SO_4$

5) $MnS + 2O_2 \xrightarrow{t} MnO_2 + SO_2$

6) $SO_2 + I_2 + 2H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 2HI$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — MnO_2, $\mathbf{X_2}$ — K_2MnO_4, $\mathbf{X_3}$ — $MnSO_4$, $\mathbf{Y_1}$ — SO_2, $\mathbf{Y_2}$ — H_2SO_4.

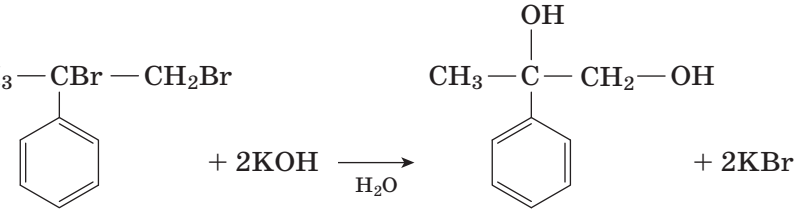
8. 1) $C_6H_6 + CH_2{=}CH{-}CH_3 \xrightarrow{H^+} C_6H_5CH(CH_3)_2$

2) $C_6H_5CH(CH_3)_2 + O_2 \xrightarrow{H^+,\text{катализатор}} C_6H_5OH + CH_3COCH_3$

3) $C_6H_5OH + NaOH(\text{р-р}) \rightarrow C_6H_5ONa + H_2O$

4) $C_6H_5ONa + C_3H_7Br \rightarrow C_6H_5OC_3H_7 + NaBr$

5) $C_6H_5CH(CH_3)_2 + 2Br_2 \xrightarrow{h\nu} C_6H_5CBr(CH_3)CH_2Br + 2HBr$

6) 

Ответ. **X** — кумол (изопропилбензол), **Y** — бензоат натрия C_6H_5ONa, **Z** — $C_6H_5COH(CH_3)CH_2OH$.

9. Поскольку масса продукта окисления меньше массы исходного спирта, можно заключить, что в реакцию вступил вторичный спирт, который окислился до кетона (обратите внимание, что в условии говорится о *полном окислении*, и, если бы был взят первичный спирт, он должен был бы окислиться до кислоты!). Кроме того, исходный вторичный спирт должен иметь неразветвленный углеродный скелет и симметричное строение. Реакция окисления спирта:

$$3R{-}CH(OH){-}R + K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 3R{-}C(O){-}R + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7H_2O$$

$\nu(K_2Cr_2O_7) = c \cdot V = 0{,}15 \cdot 0{,}4 = 0{,}06$ моль

$\nu(\text{спирта}) = \nu(\text{кетона}) = 3\nu(K_2Cr_2O_7) = 3 \cdot 0{,}06 = 0{,}18$ моль

Общая формула предельных спиртов $C_nH_{2n+2}O$, молярная масса $M = 14n + 18$ (г/моль). Формула соответствующего кетона $C_nH_{2n}O$ и $M = 14n + 16$ (г/моль). По условию, масса кетона меньше массы спирта на 1,72%; молярная масса кетона составляет 98,28% молярной массы спирта.

$$0{,}9828(14n + 18) = 14n + 16$$

$$n = 7$$

Искомый спирт — гептанол. По условию, при дегидратации спирта образуется только один неразветвленный алкен, поэтому эта молекула симметрична — гептанол-4. Реакция дегидратации:

$$CH_3CH_2CH_2CH(OH)CH_2CH_2CH_3 \xrightarrow{t>150\,^\circ C,\ H_2SO_4(\text{конц.})}$$
$$\rightarrow CH_3CH_2CH{=}CHCH_2CH_2CH_3 + H_2O$$

Масса спирта: $m = \nu \cdot M = 0{,}18 \cdot 116 = 20{,}88$ г,
С учетом выхода реакции $\eta = 0{,}8$ масса кетона:

$$m = \nu \cdot M \cdot \eta = 0{,}18 \cdot 114 \cdot 0{,}8 = 16{,}42 \text{ г}$$

Ответ. Гептанол-4, 20,88 г. 16,42 г.

10. При нагревании алюминия с серой образуется сульфид алюминия.

$$2Al + 3S \xrightarrow{t} Al_2S_3$$

При обработке продукта избытком раствора гидроксида натрия выделение газа возможно только в том случае, если прореагировал не весь алюминий.

$$2Al + 2NaOH + 6H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$$

В исходной смеси избыток алюминия.

$$\nu(H_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 1{,}467}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}06 \text{ моль}$$

$$\nu(Al(\text{изб.})) = \frac{2}{3}\nu(H_2) = 0{,}04 \text{ моль}$$

При обработке продукта прокаливания избытком соляной кислоты образуются газообразные продукты:

$$Al_2S_3 + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2S\uparrow$$

$$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2\uparrow$$

$$\nu(\text{газов}) = \nu(H_2S) + \nu(H_2) = \frac{101{,}3 \cdot 2{,}200}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}09 \text{ моль}$$

Количество водорода в реакции с кислотой: $\nu(H_2) = 0{,}06$ моль.

$$\nu(H_2S) = 0{,}09 - 0{,}06 = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(Al_2S_3) = \frac{1}{3}\nu(H_2S) = 0{,}01 \text{ моль}$$

Таким образом, в каждой из трех порций продукта содержится 0,01 моль Al_2S_3 и 0,04 моль алюминия.

При нагревании третьей порции продукта с концентрированной HNO_3 происходит выделение оксида азота(IV) в следующих реакциях:

$$\underset{0{,}01}{Al_2S_3} + 30HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} 2Al(NO_3)_3 + 3H_2SO_4 + \underset{0{,}24}{24NO_2\uparrow} + 12H_2O$$

$$\underset{0{,}04}{Al} + 6HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} Al(NO_3)_3 + \underset{0{,}12}{3NO_2\uparrow} + 3H_2O$$

При действии концентрированной азотной кислоты на 0,01 моль Al_2S_3 выделилось $0{,}01 \cdot 24 = 0{,}24$ моль NO_2, а при взаимодействии HNO_3 с 0,04 моль алюминия образуется $0{,}04 \cdot 3 = 0{,}12$ моль NO_2, т. е. всего:

$$\nu(NO_2) = 0{,}24 + 0{,}12 = 0{,}36 \text{ моль}$$

Для поглощения этого количества оксида азота(IV) потребуется 0,36 моль KOH:

$$2KOH + 2NO_2 \rightarrow KNO_3 + KNO_2 + H_2O$$

Такое количество гидроксида калия содержится в следующем объеме 30%-го раствора:

$$V = \frac{\nu \cdot M}{\omega \cdot \rho} = \frac{0{,}36 \cdot 56}{0{,}3 \cdot 1{,}29} = 52{,}1 \text{ мл}$$

Ответ. 52,1 мл.

ВАРИАНТ 2

1. $Al(OH)(NO_3)_2$ — основная соль; $KFe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ — двойная соль, кристаллогидрат; KHS — кислая соль.

2. Один из вариантов ответа — иодид калия. Фиолетовое окрашивание пламени свидетельствует о том, что в соли есть калий (катион). При электролизе водного раствора KI на катоде выделяется водород, на аноде — иод; при нормальных условиях иод — твердое вещество. Уравнение реакции электролиза:

$$2KI + 2H_2O \xrightarrow{\text{эл. ток}} 2KOH + H_2\uparrow + I_2\downarrow$$

Возможны и другие ответы, например KBr или K_2S.

Ответ. KI, KBr, K_2S.

3. а) Один из возможных реагентов — водный раствор аммиака. При прибавлении к сульфату алюминия избытка раствора аммиака из раствора выпадет осадок гидроксида алюминия, а с раствором сульфата цинка осадка не будет, так как ион цинка образует с аммиаком растворимое комплексное соединение.

$$Al_2(SO_4)_3 + 6NH_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

$$ZnSO_4 + 4NH_3(\text{водн. р-р}) \rightarrow [Zn(NH_3)_4]SO_4$$

Другой способ. Можно воспользоваться раствором сульфида натрия.

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Na_2S + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow + 3Na_2SO_4$$

$$ZnSO_4 + Na_2S \rightarrow ZnS\downarrow + Na_2SO_4$$

В обеих реакциях образуется белый осадок, но в реакции с сульфатом алюминия, кроме того, выделяется газ с неприятным запахом.

б) Различить пропен и пропин можно с помощью аммиачного раствора оксида серебра. При пропускании пропина через этот раствор выпадает белый осадок:

$$CH_3C{\equiv}CH + Ag[(NH_3)_2]OH \rightarrow CH_3C{\equiv}CAg\downarrow + 2NH_3 + H_2O$$

Пропен с аммиачным раствором оксида серебра не взаимодействует.

4. При смешении растворов происходит реакция нейтрализации:

$$KOH + HNO_3 \rightarrow KNO_3 + H_2O$$

Найдем количество щёлочи и кислоты в исходных растворах. В растворе щёлочи:

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-13} \text{ моль/л}$$

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = 10^{-14} : 10^{-13} = 0{,}1 \text{ моль/л}$$

Молярная концентрация и количество щёлочи:

$$c(KOH) = [OH^-] = 0{,}1 \text{ моль/л}$$

$$\nu(KOH) = c \cdot V = 0{,}1 \cdot 0{,}25 = 0{,}025 \text{ моль}$$

В растворе азотной кислоты:

$$\nu(HNO_3) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{M} = \frac{0{,}1 \cdot 1{,}06 \cdot 15}{63} = 0{,}02524 \text{ моль}$$

Избыток HNO_3:

$$0{,}02524 - 0{,}02500 = 0{,}00024 \text{ моль}$$

$$[H^+] = c(HNO_3) = \frac{\nu}{V} = \frac{0{,}00024}{0{,}265} = 0{,}00091 \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 3{,}04$$

Ответ. 3,04.

5. Пусть в исходном растворе x моль формальдегида и y моль масляного альдегида. Реакции с аммиачным раствором оксида серебра:

$$\underset{x}{HCHO} + 4[Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{t} \underset{4x}{4Ag\downarrow} + (NH_4)_2CO_3 + 6NH_3\uparrow + 2H_2O$$

$$\underset{y}{(CH_3)_2CHCHO} + 2[Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{t}$$

$$\rightarrow \underset{2y}{2Ag\downarrow} + (CH_3)_2CHCOONH_4 + 3NH_3\uparrow + H_2O$$

В осадке серебро.

$$\nu(Ag) = \frac{m}{M} = \frac{54}{108} = 0{,}5 \text{ моль}$$

Гидрирование альдегидов:

$$\underset{x}{HCHO} + \underset{x}{H_2} \xrightarrow{t,\,Ni} CH_3OH$$

$$\underset{y}{(CH_3)_2CHCHO} + \underset{y}{H_2} \xrightarrow{t,\,Ni} (CH_3)_2CHCH_2OH$$

Количество водорода для гидрирования:

$$\nu(H_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{3{,}68 \cdot 101{,}3}{8{,}314 \cdot 299} = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 4x + 2y = 0{,}5 \\ x + y = 0{,}15 \end{cases}$$

$x = 0{,}1$ (моль), $y = 0{,}05$ (моль)

Массовые доли альдегидов в исходном растворе:

$$\omega(HCHO) = \frac{0{,}1 \cdot 30}{80} = 0{,}0375, \text{ или } 3{,}75\%$$

$$\omega((CH_3)_2CHCHO) = \frac{0{,}05 \cdot 72}{80} = 0{,}045, \text{ или } 4{,}5\%$$

Ответ. 3,75% HCHO, 4,5% $(CH_3)_2CHCHO$.

6. Обозначим: c — исходная молярная концентрация H_2SO_4; x — равновесная концентрация SO_4^{2-}. При необратимой диссоциации серной кислоты по первой ступени образуется по c моль/л ионов H^+ и HSO_4^-:

$$\underset{c}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{c}{H^+} + \underset{c}{HSO_4^-}$$

По второй ступени диссоциация протекает обратимо.

	HSO_4^-	$\rightleftarrows$	H^+	+	SO_4^{2-}
Исходная концентрация	c		c		0
Равновесная концентрация	$c - x$		$c + x$		x

Константа диссоциации серной кислоты по второй ступени:

$$K(HSO_4^-) = \frac{[H^+] \cdot [SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = \frac{(c + x)x}{c - x}$$

По условию, степень диссоциации по второй ступени:

$$\alpha = \frac{x}{c} = \frac{x}{0{,}033} = 0{,}2$$

$$x = 0{,}2 \cdot 0{,}033 = 0{,}0066 \text{ М}$$

Константа диссоциации:

$$K(HSO_4^-) = \frac{[H^+] \cdot [SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = \frac{(0{,}033 + 0{,}0066)0{,}0066}{0{,}033 - 0{,}0066} = 9{,}9 \cdot 10^{-3} \approx 1 \cdot 10^{-2}$$

$[HSO_4^-] = 2[SO_4^{2-}] = 2x$

$c - x = 2x$

$x = 0{,}33c$

$$K(HSO_4^-) = \frac{(c + 0{,}33c) \cdot 0{,}33c}{c - 0{,}33c} = 0{,}655c = 1 \cdot 10^{-2}$$

$c = 1{,}53 \cdot 10^{-2}$ М

Ответ. $1 \cdot 10^{-2}$; $1{,}53 \cdot 10^{-2}$ М.

7. 1) $(NH_4)_2Cr_2O_7 \xrightarrow{t} Cr_2O_3 + N_2 + 4H_2O$

2) $N_2 + 3Mg \xrightarrow{t} Mg_3N_2$

3) $Mg_3N_2 + 6H_2O \rightarrow 3Mg(OH)_2\downarrow + 2NH_3\uparrow$

4) $2(NH_4)_2Cr_2O_7 + 3C_2H_5OH + 8H_2SO_4 \xrightarrow{t}$
$\rightarrow 2Cr_2(SO_4)_3 + 3CH_3COOH + 2(NH_4)_2SO_4 + 11H_2O$

См. комментарий в решении задачи **7** варианта 1 раздела «Вступительный (дополнительный) экзамен».

5) $Cr_2(SO_4)_3 + 8KOH(\text{изб.}) \rightarrow 2K[Cr(OH)_4] + 3K_2SO_4$

6) $K[Cr(OH)_4] + NH_4Cl \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + KCl + NH_3 \cdot H_2O$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — N_2, $\mathbf{X_2}$ — Mg_3N_2, $\mathbf{Y_1}$ — $Cr_2(SO_4)_3$, $\mathbf{Y_2}$ — $K[Cr(OH)_4]$, $\mathbf{Y_3}$ — $Cr(OH)_3$.

8. 1) $HCHO + C_2H_5MgBr \rightarrow CH_3CH_2CH_2OMgBr$

2) $CH_3CH_2CH_2OMgBr + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3CH_2CH_2OH + Mg(OH)Br$

3) $5CH_3CH_2CH_2OH + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5CH_3CH_2COOH + 2K_2SO_4 + 4MnSO_4 + 6H_2O$

4) $CH_3CH_2COOH + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3CHClCOOH + HCl$

5) $CH_3CHClCOOH + 2NH_3 \rightarrow CH_3CH(NH_2)COOH + NH_4Cl$

6) $CH_3CH(NH_2)COOH + HNO_2 \rightarrow CH_3CH(OH)COOH + N_2\uparrow + H_2O$

Ответ. $n = 1$, $m = 3$. **X** — $CH_3CH_2CH_2OMgBr$; **Y** — CH_3CH_2COOH, пропионовая кислота; **Z** — $CH_3CH(NH_2)COOH$, аланин.

9. Поскольку масса продукта окисления больше массы исходного спирта, в реакцию вступил первичный спирт, который окислился до кислоты:

$$5RCH_2OH + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 5RCOOH + 4MnSO_4 + 2K_2SO_4 + 11H_2O$$

$$\nu(KMnO_4) = c \cdot V = 0{,}4 \cdot 0{,}2 = 0{,}08 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции окисления:

$$\nu(\text{спирта}) = \nu(\text{кислоты}) = 1{,}25 \cdot \nu(KMnO_4) = 0{,}1 \text{ моль}$$

Общая формула предельных спиртов $C_nH_{2n+2}O$, формула соответствующей кислоты $C_nH_{2n}O_2$. Так как масса кислоты больше массы спирта на 18,92%, молярная масса кислоты больше молярной массы спирта в 1,1892 раза:

$$1{,}1892\,(14n + 18) = 14n + 32$$
$$n = 4$$

Это спирт $C_4H_{10}O$. По условию, при дегидратации спирта образуется неразветвленный алкен, следовательно, это бутанол-1. Реакция дегидратации:

$$CH_3CH_2CH_2CH_2OH \xrightarrow{t>150\,^\circ C,\ H_2SO_4(\text{конц.})} CH_3CH_2CH{=}CH_2 + H_2O$$

Масса спирта:

$$m = \nu \cdot M = 0{,}1 \cdot 74 = 7{,}4 \text{ г}$$

С учетом выхода реакции $\eta = 0{,}9$ масса кислоты:

$$m = \nu \cdot M \cdot \eta = 0{,}1 \cdot 88 \cdot 0{,}9 = 7{,}92 \text{ г}$$

Ответ. Бутанол-1, 7,4 г; 7,92 г.

10. При нагревании алюминий реагирует с фосфором, образуя фосфид алюминия.

$$Al + P \xrightarrow{t} AlP$$

При обработке продукта водой возможно выделение только одного газа — фосфина.

$$AlP + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + PH_3\uparrow$$

$$\nu(PH_3) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}978}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$\nu(AlP) = 0{,}04 \text{ моль}$$

При обработке продукта соляной кислотой газы могут выделяться в следующих реакциях:

$$\underset{0,04}{AlP} + 3HCl \rightarrow AlCl_3 + \underset{0,04}{PH_3}\uparrow$$

$$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2\uparrow$$

По условию, при обработке продукта соляной кислотой газа выделилось больше, чем при обработке водой, поэтому можно предположить, что в исходной смеси алюминий в избытке, и он остался в продукте после прокаливания. При взаимодействии непрореагировавшего алюминия с соляной кислотой выделился еще один газ — водород.

$$\nu(\text{газов}) = \nu(PH_3) + \nu(H_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 1{,}712}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}07 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = 0{,}07 - 0{,}04 = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(Al) = 0{,}02 \text{ моль}$$

Таким образом, каждая треть продукта взаимодействия алюминия и фосфора содержит 0,04 моль AlP и 0,02 моль алюминия.

При нагревании трети продукта с концентрированной HNO_3 происходит выделение оксида азота(IV) в следующих реакциях:

$$\underset{0,04}{AlP} + 11HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} Al(NO_3)_2 + H_3PO_4 + \underset{0,32}{8NO_2}\uparrow + 4H_2O$$

$$\underset{0,02}{Al} + 6HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} Al(NO_3)_3 + \underset{0,06}{3NO_2}\uparrow + 3H_2O$$

Всего в реакции с азотной кислотой выделилось NO_2:

$$\nu(NO_2) = 0{,}32 + 0{,}06 = 0{,}38 \text{ моль}$$

Для поглощения этого количества оксида азота(IV) потребуется 0,38 моль KOH.

$$2KOH + 2NO_2 \rightarrow KNO_3 + KNO_2 + H_2O$$

Такое количество гидроксида калия содержится в следующем объеме 20%-го раствора:

$$V = \frac{\nu \cdot M}{\omega \cdot \rho} = \frac{0{,}38 \cdot 56}{0{,}2 \cdot 1{,}20} = 88{,}7 \text{ мл}$$

Ответ. 88,7 мл.

ВАРИАНТ 3

1. $Al(OH)(CH_3COO)_2$ — основная соль; $RbAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ — двойная соль, кристаллогидрат; $NaHSO_3$ — кислая соль.

2. Подходящий вариант ответа — хлорид калия. Фиолетовое окрашивание пламени свидетельствует о том, что в соли есть калий (катион). При электролизе водного раствора KCl на катоде выделяется водород, на аноде — хлор, причем газы выделяются в равных объемах. Уравнение реакции электролиза:

$$2KCl + 2H_2O \xrightarrow{\text{эл}} 2KOH + H_2\uparrow + Cl_2\uparrow$$

Ответ. KCl.

3. а) Сернистый газ и углекислый газ можно различить по реакции с водным раствором перманганата калия. Сернистый газ обесцвечивает розовый раствор перманганата, а углекислый газ нет.

$$5SO_2 + 2KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 2H_2SO_4$$

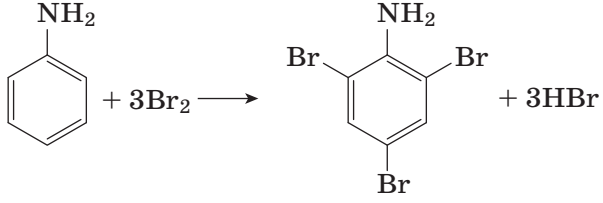
$$CO_2 + KMnO_4 + H_2O \rightarrow \text{реакция не идет}$$

Можно воспользоваться реакцией с иодной водой:

$SO_2 + I_2 + 2H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 2HI$ (иодная вода обесцвечивается)

$CO_2 + I_2 + 2H_2O \rightarrow$ реакция не идет

б) Различить анилин и гексиламин поможет бромная вода. Анилин реагирует с бромом в водном растворе с образованием белого осадка, при этом происходит обесцвечивание бромной воды:



Гексиламин с бромной водой не взаимодействует.

4. При смешении растворов происходит реакция нейтрализации:

$$KOH + HI \rightarrow KI + H_2O$$

Найдем количества щёлочи и кислоты в исходных растворах.

$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-12}$ моль/л

$[OH^-] = 10^{-14} : 10^{-12} = 10^{-2}$ моль/л

$c(KOH) = [OH^-] = 10^{-2} = 0{,}01$ моль/л

$$\nu(KOH) = c \cdot V = 0{,}01 \cdot 0{,}25 = 0{,}0025 \text{ моль}$$

$$\nu(HI) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{M} = \frac{0{,}04 \cdot 1{,}03 \cdot 10}{128} = 0{,}00322 \text{ моль}$$

Избыток HI составляет $0{,}00322 - 0{,}0025 = 0{,}00072$ моль.

$$[H^+] = c(HI) = \frac{\nu}{V} = \frac{0{,}00072}{0{,}26} = 0{,}00279 \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 2{,}55$$

Ответ. 2,55.

5. Пусть в исходном растворе x моль формальдегида и y моль изомасляного альдегида. Уравнения реакций со свежеосажденным гидроксидом меди:

$$\underset{x}{HCHO} + 4Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} \underset{2x}{2Cu_2O\downarrow} + CO_2\uparrow + 5H_2O$$

$$\underset{y}{(CH_3)_2CHCHO} + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} \underset{y}{Cu_2O\downarrow} + (CH_3)_2CHCOOH + 2H_2O$$

$$\nu(Cu_2O) = \frac{m}{M} = \frac{36}{144} = 0{,}25 \text{ моль}$$

$$\underset{x}{HCHO} + \underset{x}{H_2} \xrightarrow{t, Ni} CH_3OH$$

$$\underset{y}{(CH_3)_2CHCHO} + \underset{y}{H_2} \xrightarrow{t, Ni} (CH_3)_2CHCH_2OH$$

Количество водорода для гидрирования:

$$\nu(H_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{3{,}68 \cdot 101{,}3}{8{,}314 \cdot 299} = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 2x + y = 0{,}25 \\ x + y = 0{,}15 \end{cases}$$

$x = 0{,}1$ (моль); $y = 0{,}05$ (моль)

Массовые доли альдегидов в исходном растворе:

$$\omega(HCHO) = \frac{0{,}1 \cdot 30}{80} = 0{,}0375, \text{ или } 3{,}75\%$$

$$\omega((CH_3)_2CHCHO) = \frac{0{,}05 \cdot 72}{80} = 0{,}045, \text{ или } 4{,}5\%$$

Ответ. 3,75% HCHO, 4,5% $(CH_3)_2CHCHO$.

6. Обозначим: c — исходная молярная концентрация H_2SO_4; x — равновесная концентрация SO_4^{2-}.

При необратимой диссоциации серной кислоты по первой ступени образуется по c моль/л ионов H^+ и HSO_4^{2-}.

$$\underset{c}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{c}{H^+} + \underset{c}{HSO_4^-}$$

По второй ступени диссоциация серной кислоты протекает обратимо.

	HSO_4^-	$\rightleftarrows$	H^+	+	SO_4^{2-}
Исходная концентрация	c		c		0
Равновесная концентрация	$c - x$		$c + x$		x

Константа диссоциации по второй ступени:

$$K(HSO_4^-) = \frac{[H^+] \cdot [SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = \frac{(c + x)x}{c - x}$$

Зная pH раствора, можно найти концентрацию ионов H^+:

$$[H^+] = 10^{-pH} = 0{,}01 \text{ моль/л}$$

По условию, $[SO_4^{2-}] = [HSO_4^-]$. Легко находим константу диссоциации:

$$K = \frac{[H^+] \cdot [SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = [H^+] = 0{,}01$$

По условию, $[SO_4^{2-}] = [HSO_4^-]$. $c - x = x$; $c = 2x$. Подставим c в выражение для константы:

$$K(HSO_4^-) = \frac{(c + x)x}{c - x} = \frac{(2x + x) \cdot x}{2x - x} = 3x = 0{,}01$$

$$x = [SO_4^{2-}] = [HSO_4^-] = 0{,}0033 \text{ моль/л}$$

Исходная концентрация H_2SO_4:

$$c = [HSO_4^-] + [SO_4^{2-}] = 0{,}0066 \text{ моль/л}$$

Степень диссоциации: $\alpha = \dfrac{x}{c} = \dfrac{0{,}0033}{0{,}0066} = 0{,}5$, или 50%

Ответ. $K(HSO_4^-) = 0{,}01$; $[SO_4^{2-}] = 0{,}0033$ М, $[HSO_4^-] = 0{,}0033$ М, $c(H_2SO_4) = 0{,}0067$ М, $\alpha = 50\%$.

7. 1) $2Fe(OH)_3 + KBrO_3 + 4KOH \xrightarrow{t} 2K_2FeO_4 + KBr + 5H_2O$

2) $KBr + H_3PO_4(конц.) \xrightarrow{t} HBr + KH_2PO_4$

3) $CH_2{=}CHCOOH + HBr \rightarrow BrCH_2CH_2COOH$

4) $Fe(OH)_3 + 3HCl(р\text{-}р) \rightarrow FeCl_3 + 3H_2O$

5) $2FeCl_3 + H_2S \rightarrow 2FeCl_2 + S\downarrow + 2HCl$

6) $4FeCl_2 + O_2 + 8KOH + 2H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3\downarrow + 8KCl$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — KBr, $\mathbf{X_2}$ — HBr, $\mathbf{X_3}$ — CH_2BrCH_2COOH, $\mathbf{Y_1}$ — $FeCl_2$, $\mathbf{Y_2}$ — $Fe(OH)_3$.

8. 1) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{фермент} 2CH_3{-}CH(OH){-}COOH$ (молочнокислое брожение)

2) $CH_3{-}CH(OH){-}COOH + HBr \rightarrow CH_3{-}CHBr{-}COOH + H_2O$

3) $CH_3{-}CHBr{-}COOH + 2KOH(спирт.\ р\text{-}р) \rightarrow CH_2{=}CH{-}COOK + KBr + 2H_2O$

4) $CH_2{=}CH{-}COOK + H_2SO_4 \rightarrow CH_2{=}CH{-}COOH + KHSO_4$

5) $CH_2{=}CH{-}COOH + 10KMnO_4 + 14KOH \rightarrow KOOC{-}COOK + K_2CO_3 + 10K_2MnO_4 + 9H_2O$

6) $KOOC{-}COOK + 2HCl \rightarrow HOOC{-}COOH + 2KCl$

Ответ. $\mathbf{X}$ — $CH_3{-}CH(OH){-}COOH$, молочная кислота;
$\mathbf{Y}$ — $CH_2{=}CH{-}COOK$, акрилат калия;
$\mathbf{Z}$ — $KOOC{-}COOK$, оксалат калия, $n = 6$, $m = 2$.

9. Поскольку масса продукта окисления меньше массы исходного спирта, в реакцию вступил вторичный спирт, который окислился до кетона:

$$3R_2CHOH + K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 \rightarrow 3R_2CO + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7H_2O$$

$$\nu(K_2Cr_2O_7) = c \cdot V = 0{,}2 \cdot 0{,}2 = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{спирта}) = \nu(\text{кетона}) = 3\nu(K_2Cr_2O_7) = 0{,}12 \text{ моль}$$

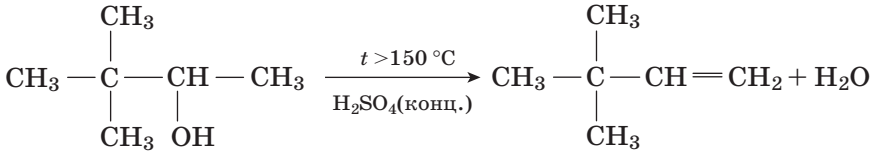
Общая формула предельных спиртов $C_nH_{2n+2}O$, формула соответствующего кетона $C_nH_{2n}O$. Так как масса кетона меньше массы спирта на 1,96%, молярная масса кетона составляет 0,9804 молярной массы спирта:

$$0{,}9804(14n + 18) = 14n + 16$$

$$n = 6$$

Формула спирта $C_6H_{14}O$.

По условию, при дегидратации спирта образуется алкен с кратной связью на конце цепи. Следовательно, искомый спирт — 3,3-диметилбутанол-2.



Масса спирта:

$$m = \nu \cdot M = 0{,}12 \cdot 102 = 12{,}24 \text{ г}$$

С учетом выхода реакции $\eta = 0{,}7$ масса кетона:

$$m = \nu \cdot M \cdot \eta = 0{,}12 \cdot 100 \cdot 0{,}7 = 8{,}4 \text{ г}$$

Ответ. 3,3-Диметилбутанол-2, 12,24 г. 8,4 г.

10. При нагревании магния с фосфором образуется фосфид:

$$3Mg + 2P \xrightarrow{t} Mg_3P_2$$

При обработке водой продукта этой реакции выделяется газ:

$$Mg_3P_2 + 6H_2O \rightarrow 3Mg(OH)_2\downarrow + 2PH_3\uparrow$$

При обработке соляной кислотой также могут образоваться газы:

$$Mg_3P_2 + 6HCl \rightarrow 3MgCl_2 + 2PH_3\uparrow$$

$$Mg + 2HCl \rightarrow MgCl_2 + H_2\uparrow$$

Так как, по условию, при обработке водой и избытком кислоты выделились равные объемы газа, можно заключить, что весь магний при прокаливании вступил в реакцию с фосфором и в обоих случаях выделялся только фосфин.

$$\nu(PH_3) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}978}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$\nu(Mg_3P_2) = 0{,}02 \text{ моль}$$

По условию, для поглощения всего оксида азота(IV), выделившегося при нагревании третьей части продукта с концентрированной HNO_3, потребовалось

$$\nu(KOH) = \frac{136{,}3 \cdot 1{,}15 \cdot 0{,}15}{56} = 0{,}42 \text{ моль}$$

Итак, было поглощено 0,42 моль NO_2:

$$\underset{0{,}42}{2KOH} + \underset{0{,}42}{2NO_2} \rightarrow KNO_3 + KNO_2 + H_2O$$

При обработке 0,02 моль Mg_3P_2 азотной кислотой в соответствии с уравнением реакции:

$$\underset{0,02}{Mg_3P_2} + 22HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} 3Mg(NO_3)_2 + 2H_3PO_4 + \underset{0,32}{16NO_2\uparrow} + 8H_2O$$

выделилось только $0,02 \cdot 16 = 0,32$ моль NO_2. Следовательно, после прокаливания исходной смеси в продукте остался непрореагировавший фосфор, который теперь тоже вступил в реакцию с азотной кислотой:

$$P + 5HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} H_3PO_4 + 5NO_2\uparrow + H_2O$$

При этом выделилось $0,42 - 0,32 = 0,10$ моль NO_2. Фосфор в недостатке; его в 5 раз меньше, т. е. 0,02 моль. Таким образом, в каждой из трех частей продукта после прокаливания содержится 0,02 моль Mg_3P_2 и 0,02 моль фосфора. Мольная доля магния в продукте (и в исходной смеси):

$$x(Mg) = \frac{0,02 \cdot 3}{0,02 \cdot 3 + 0,02 \cdot 2 + 0,02} = \frac{0,06}{0,12} = 0,5, \text{ или } 50\%$$

Ответ. 50%.

ВАРИАНТ 4

1. $(Mg(OH))_2CO_3$ — основная соль; $FeNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ — двойная соль, кристаллогидрат; NH_4HSO_4 — кислая соль.

2. Подходящий вариант ответа — хлорид кальция. Кирпично-красное окрашивание пламени свидетельствует о присутствии ионов кальция. При электролизе раствора $CaCl_2$ на катоде выделяется водород, на аноде — такое же количество хлора:

$$CaCl_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{эл.ток}} Ca(OH)_2 + H_2\uparrow + Cl_2\uparrow$$

Ответ. $CaCl_2$.

3. а) Сульфит калия обесцвечивает водный раствор перманганата калия, а карбонат калия нет:

$$3K_2SO_3 + 2KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow 2MnO_2\downarrow + 3K_2SO_4 + 2KOH$$

$$K_2CO_3 + KMnO_4 + H_2O \rightarrow \text{реакция не идет}$$

б) Муравьиная кислота, в отличие от уксусной, — восстановитель. Она обесцвечивает бромную воду:

$$HCOOH + Br_2(\text{водн.}) \rightarrow 2HBr + CO_2\uparrow$$

$$CH_3COOH + Br_2(\text{водн.}) \rightarrow \text{реакция не идет}$$

4. При смешении растворов протекает реакция нейтрализации:

$$HI + NaOH \rightarrow NaI + H_2O$$

Найдем количества кислоты и щёлочи:

$$\nu(HI) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{M} = \frac{0{,}02 \cdot 1{,}01 \cdot 100}{128} = 0{,}0158 \text{ моль}$$

$$\nu(NaOH) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{M} = \frac{0{,}02 \cdot 1{,}02 \cdot 50}{40} = 0{,}0255 \text{ моль}$$

Избыток NaOH составляет:

$$0{,}0255 - 0{,}0158 = 0{,}0097 \text{ моль}$$

$$[OH^-] = c(NaOH) = \frac{\nu}{V} = \frac{0{,}0097}{0{,}15} = 0{,}0647 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] = 10^{-14}/0{,}0647 = 1{,}545 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 12{,}81$$

Ответ. 12,81.

5. Пусть в исходном растворе x моль формальдегида и y моль масляного альдегида. Свежеосажденный гидроксид меди вступает в следующие реакции:

$$\underset{x}{HCHO} + 4Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} \underset{2x}{2Cu_2O\downarrow} + CO_2\uparrow + 5H_2O$$

$$\underset{y}{C_3H_7CHO} + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} \underset{y}{Cu_2O\downarrow} + C_3H_7COOH + 2H_2O$$

$$\nu(Cu_2O) = \frac{m}{M} = \frac{100{,}8}{144} = 0{,}7 \text{ моль}$$

$$\underset{x}{HCHO} + \underset{x}{H_2} \xrightarrow{t, Ni} CH_3OH$$

$$\underset{y}{C_3H_7CHO} + \underset{y}{H_2} \xrightarrow{t, Ni} C_3H_7CH_2OH$$

Количество водорода для гидрирования:

$$\nu(H_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{9{,}72 \cdot 101{,}3}{8{,}314 \cdot 296} = 0{,}4 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 2x + y = 0{,}7 \\ x + y = 0{,}4 \end{cases}$$

$x = 0{,}3$ (моль), $y = 0{,}1$ (моль)

Массовые доли альдегидов в исходном растворе:

$$\omega(\text{HCHO}) = \frac{0{,}3 \cdot 30}{120} = 0{,}075, \text{ или } 7{,}5\%$$

$$\omega(C_3H_7CHO) = \frac{0{,}1 \cdot 72}{120} = 0{,}06, \text{ или } 6{,}0\%$$

Ответ. 7,5% HCHO, 6,0% C_3H_7CHO.

6. Обозначим: c — исходная молярная концентрация H_2SO_4; x — равновесная концентрация SO_4^{2-}. При необратимой диссоциации серной кислоты по первой ступени образуется по c моль/л ионов H^+ и HSO_4^{2-}:

$$\underset{c}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{c}{H^+} + \underset{c}{HSO_4^-}$$

По второй ступени диссоциация серной кислоты протекает обратимо:

	HSO_4^-	$\rightleftarrows$	H^+	+	SO_4^{2-}
Исходная концентрация	c		c		0
Равновесная концентрация	$c - x$		$c + x$		x

Константа диссоциации по второй ступени:

$$K(HSO_4^-) = \frac{[H^+] \cdot [SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = \frac{(c + x)x}{c - x}$$

Степень диссоциации кислоты по второй ступени:

$$\alpha = \frac{x}{c} = \frac{x}{0{,}05} = 0{,}15$$

$$x = 0{,}15 \cdot 0{,}05 = 0{,}0075 \text{ моль/л}$$

Константа диссоциации:

$$K(HSO_4^-) = \frac{(c + x)x}{c - x} = \frac{(0{,}05 + 0{,}0075) \cdot 0{,}0075}{0{,}05 - 0{,}0075} = 0{,}01$$

По условию, $[SO_4^{2-}] = [HSO_4^-]$.

$$x = c - x \text{ или } x = 0{,}5c$$

Подставим x в выражение константы диссоциации и найдем c:

$$K(HSO_4^-) = \frac{(c+x)x}{c-x} = \frac{(c+0{,}5c)\cdot 0{,}5c}{c-0{,}5c} = 1{,}5c = 0{,}01$$

$$c = 0{,}0067 \text{ моль/л}$$

Ответ. $1{,}0 \cdot 10^{-2}$, $6{,}7 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

7. 1) $Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} CuO + H_2O$

$Cu(OH)_2 + 2HCl \to CuCl_2 + 2H_2O$

2) $NaH + H_2O \to H_2 + NaOH$

3) $2Cr_2O_3 + 3O_2 + 8NaOH(т) \xrightarrow{t} 4Na_2CrO_4 + 4H_2O$

4) $2Cu(OH)_2 + CH_3CHO \xrightarrow{t} Cu_2O + CH_3COOH + 2H_2O$

5) $Cu_2O + 3H_2SO_4(конц.) \xrightarrow{t} 2CuSO_4 + SO_2\uparrow + 3H_2O$

6) $2CuSO_4 + 2H_2O \xrightarrow{э} 2Cu + O_2\uparrow + 2H_2SO_4$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — NaOH, $\mathbf{X_2}$ — Na_2CrO_4, $\mathbf{X_3}$ — Cu_2O, $\mathbf{Y_1}$ — $CuSO_4$, $\mathbf{Y_2}$ — Cu.

8. 1) $C_2H_5COOC_2H_5 + NaOH(водн.\ р\text{-}р) \to C_2H_5COONa + C_2H_5OH$

2) $C_2H_5COONa + NaOH(т) \xrightarrow{t} C_2H_6\uparrow + Na_2CO_3$

3) $C_2H_6 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} C_2H_5Br + HBr$

4) $5C_2H_5OH + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \to$

$\to 5CH_3COOH + 2K_2SO_4 + 4MnSO_4 + 6H_2O$

5) $CH_3COOH + KOH \to CH_3COOK + H_2O$

6) $CH_3COOK + C_2H_5Br \to CH_3COOC_2H_5 + KBr$

Ответ. $\mathbf{X}$ — C_2H_5COONa; $\mathbf{Y}$ — C_2H_5OH; $\mathbf{Z}$ — CH_3COOK.

9. Поскольку масса продукта окисления меньше массы исходного спирта, в реакцию вступил вторичный спирт, который окислился до кетона. Заметим, что полное окисление первичного спирта привело бы к получению соответствующей карбоновой кислоты, масса которой оказалась бы больше массы исходного спирта, что не согласуется с условием.

$$3R_2CHOH + K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 \to 3R_2CO + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7H_2O$$

$$\nu(K_2Cr_2O_7) = c \cdot V = 0{,}2 \cdot 0{,}3 = 0{,}06 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{спирта}) = \nu(\text{кетона}) = 3\nu(K_2Cr_2O_7) = 0{,}18 \text{ моль}$$

Общая формула предельных спиртов $C_nH_{2n+2}O$, формула соответствующего кетона $C_nH_{2n}O$. Так как масса кетона меньше массы спирта на 2,7%, молярная масса кетона составляет 0,973 молярной массы спирта.

$$0{,}973(14n + 18) = 14n + 16$$

$$n = 4$$

Искомый спирт — бутанол-2 $C_4H_{10}O$. Масса спирта:

$$m = \nu \cdot M = 0{,}18 \cdot 74 = 13{,}32 \text{ г}$$

С учетом выхода реакции $\eta = 0{,}9$ масса кетона:

$$m = \nu \cdot M \cdot \eta = 0{,}18 \cdot 72 \cdot 0{,}9 = 11{,}66 \text{ г}$$

Ответ. Бутанол-2, 13,32 г. 11,66 г.

10. При нагревании алюминия с фосфором образуется фосфид алюминия:

$$Al + P \xrightarrow{t} AlP$$

При обработке продукта водой возможно выделение только одного газа — фосфина:

$$AlP + 3H_2O \to Al(OH)_3 + PH_3\uparrow$$

$$\nu(PH_3) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}734}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(AlP) = 0{,}03 \text{ моль}$$

По условию, при обработке продукта раствором гидроксида натрия газа выделилось больше, чем при обработке водой. Поэтому в исходной смеси алюминий в избытке и он остался в продукте прокаливания. При взаимодействии непрореагировавшего алюминия с раствором гидроксида натрия выделился еще один газ — водород:

$$AlP + NaOH + 3H_2O \to Na[Al(OH)_4] + PH_3\uparrow$$

$$2Al + 2NaOH + 6H_2O \to 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$$

Суммарное количество газов:

$$\nu(\text{газов}) = \nu(PH_3) + \nu(H_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 1{,}467}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}06 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = \nu(\text{газов}) - \nu(PH_3) = 0{,}06 - 0{,}03 = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(Al) = 0{,}02 \text{ моль}$$

Таким образом, каждая треть продукта прокаливания содержит 0,03 моль AlP и 0,02 моль алюминия.

При нагревании трети продукта с концентрированной HNO_3 происходят следующие реакции:

$$\underset{0{,}03}{AlP} + 11HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} Al(NO_3)_3 + H_3PO_4 + \underset{0{,}24}{8NO_2\uparrow} + 4H_2O$$

$$\underset{0{,}02}{Al} + 6HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} Al(NO_3)_3 + \underset{0{,}06}{3NO_2\uparrow} + 3H_2O$$

При разложении 0,03 моль AlP азотной кислотой выделилось $0{,}03 \cdot 8 = 0{,}24$ моль NO_2; при взаимодействии HNO_3 с 0,02 моль алюминия образуется $0{,}02 \cdot 3 = 0{,}06$ моль NO_2. Всего выделилось NO_2:

$$\nu(NO_2) = 0{,}24 + 0{,}06 = 0{,}30 \text{ моль}$$

Для поглощения этого количества диоксида азота(IV) потребуется 0,30 моль KOH:

$$\underset{0{,}30}{2KOH} + \underset{0{,}30}{2NO_2} \rightarrow KNO_3 + KNO_2 + H_2O$$

Такое количество гидроксида калия содержится в следующем объеме 20%-го раствора:

$$V = \frac{\nu \cdot M}{\omega \cdot \rho} = \frac{0{,}30 \cdot 56}{0{,}2 \cdot 1{,}20} = 70{,}0 \text{ мл}$$

Ответ. 70 мл.

ВАРИАНТ 5 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. $Fe(OH)NO_3$ — основная соль; KH_2PO_4 — кислая соль; $AlNH_4(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ — двойная соль, кристаллогидрат.

2. Подходящий вариант ответа — ацетат натрия. Желтое окрашивание пламени свидетельствует о присутствии ионов натрия. При электролизе раствора на катоде выделяется водород, на аноде — углекислый газ и этан. Мольное (и объемное) соотношение газообразных продуктов, выделяющихся на катоде и на аноде, 1 : 3.

$$2CH_3COONa + 2H_2O \xrightarrow{\text{ɛ}} H_2\uparrow + 2CO_2\uparrow + C_2H_6\uparrow + 2NaOH$$

Ответ. CH_3COONa.

3. а) Сульфит натрия обесцвечивает водный раствор перманганата калия, сульфат нет:

$$3Na_2SO_3 + 2KMnO_4 + 2H_2O \rightarrow 2MnO_2\downarrow + 3Na_2SO_4 + 2KOH$$

$$Na_2SO_4 + KMnO_4 + H_2O \rightarrow \text{реакция не идет}$$

б) Подходящий реактив — аммиачный раствор оксида серебра, который взаимодействует с бутином-1 с образованием белого осадка:

$$CH_3—CH_2—C{\equiv}CH + [Ag(NH_3)_2]OH \rightarrow CH_3—CH_2—C{\equiv}CAg\downarrow + H_2O$$

Бутин-2 не вступает в реакцию с $[Ag(NH_3)_2]OH$.

4. При смешении растворов протекает реакция нейтрализации:

$$HNO_3 + KOH \rightarrow KNO_3 + H_2O$$

Найдем количества кислоты и щёлочи.

$$\nu(HNO_3) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{M} = \frac{0{,}02 \cdot 1{,}01 \cdot 100}{63} = 0{,}032 \text{ моль}$$

$$\nu(KOH) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{M} = \frac{0{,}023 \cdot 1{,}02 \cdot 75}{56} = 0{,}04 \text{ моль}$$

Избыток щёлочи составляет:

$$0{,}04 - 0{,}032 = 0{,}008 \text{ моль}$$

Объем раствора:

$$V = 100 + 75 = 175 \text{ мл} = 0{,}175 \text{ л}$$

$$[OH^-] = c(KOH) = \frac{\nu}{V} = \frac{0{,}008}{0{,}175} = 0{,}0457 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] = 10^{-14}/0{,}0457 = 2{,}19 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 12{,}66$$

Ответ. 12,66.

5. Пусть в исходном растворе x моль формальдегида и y моль уксусного альдегида.

$$\underset{x}{HCHO} + \underset{2x}{2Br_2} + H_2O \rightarrow CO_2\uparrow + 4HBr$$

$$\underset{y}{CH_3CHO} + \underset{y}{Br_2} + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 2HBr$$

Гидрирование альдегидов:

$$\underset{x}{HCHO} + \underset{x}{H_2} \xrightarrow{t,\,Ni} CH_3OH$$

$$\underset{y}{CH_3CHO} + \underset{y}{H_2} \xrightarrow{t,\,Ni} CH_3CH_2OH$$

Количества брома и водорода для гидрирования:

$$\nu(Br_2) = \frac{2560 \cdot 0{,}025}{160} = 0{,}4 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 7{,}41}{8{,}314 \cdot 301} = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 2x + y = 0{,}4 \\ x + y = 0{,}3 \end{cases}$$

$x = 0{,}1$ (моль), $y = 0{,}2$ (моль)

Массовые доли альдегидов в исходном растворе:

$$\omega(HCHO) = \frac{0{,}1 \cdot 30}{150} = 0{,}020, \text{ или } 2{,}0\%$$

$$\omega(CH_3CHO) = \frac{0{,}2 \cdot 44}{150} = 0{,}059, \text{ или } 5{,}9\%$$

Ответ. 2,0% HCHO, 5,9% CH_3CHO.

6. Обозначим: c — исходная молярная концентрация H_2SO_4; x — равновесная концентрация SO_4^{2-}. При необратимой диссоциации серной кислоты по первой ступени образуется по c моль/л ионов H^+ и HSO_4^-:

$$\underset{c}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{c}{H^+} + \underset{c}{HSO_4^-}$$

По второй ступени диссоциация серной кислоты протекает обратимо.

	HSO_4^-	$\rightleftarrows$	H^+	+	SO_4^{2-}
Исходная концентрация	c		c		0
Равновесная концентрация	$c - x$		$c + x$		x

Константа диссоциации по второй ступени:

$$K(HSO_4^-) = \frac{[H^+] \cdot [SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = \frac{(c + x)x}{c - x} = 1 \cdot 10^{-2}$$

По условию:

$$c - x = x$$

$$x = 0{,}5c$$

$$K(HSO_4^-) = \frac{(c + 0{,}5c) \cdot 0{,}5c}{c - 0{,}5c} = 1{,}5c = 1 \cdot 10^{-2}$$

$$c = 6{,}67 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

Степень диссоциации кислоты по второй ступени:

$$\alpha = \frac{x}{c} = 0{,}1$$

$$x = 0{,}1c$$

Подставим x в выражение для константы диссоциации и найдем c:

$$K(HSO_4^-) = \frac{(c + x)x}{c - x} = \frac{(c + 0{,}1c) \cdot 0{,}1c}{c - 0{,}1c} = 0{,}122c = 0{,}01$$

$$c = 0{,}082 \text{ моль/л}$$

$x = 0{,}1c = 0{,}0082$ моль/л

$\mathrm{pH} = -\lg[\mathrm{H}^+] = -\lg(c + x) = 1{,}045$

Ответ. $6{,}67 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $8{,}2 \cdot 10^{-2}$ моль/л, 1,045.

7. 1) $(\mathrm{Cu(OH)})_2\mathrm{CO}_3 \xrightarrow{t} 2\mathrm{CuO} + \mathrm{CO}_2\uparrow + \mathrm{H}_2\mathrm{O}\uparrow$

2) $\mathrm{CO}_2 + \mathrm{C} \xrightarrow{t} 2\mathrm{CO}$

3) $\mathrm{CO} + 2\mathrm{H}_2 \xrightarrow{t,\,p,\,\text{катализатор}} \mathrm{CH}_3\mathrm{OH}$

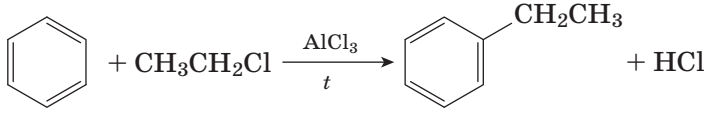
4) $(\mathrm{Cu(OH)})_2\mathrm{CO}_3 + 2\mathrm{H}_2\mathrm{SO}_4 \to 2\mathrm{CuSO}_4 + \mathrm{CO}_2\uparrow + 3\mathrm{H}_2\mathrm{O}$

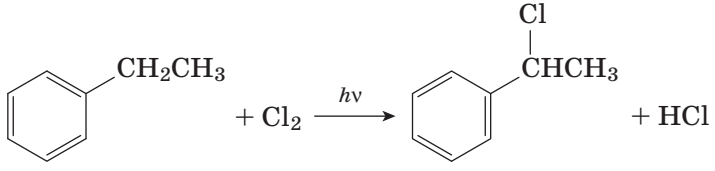
5) $\mathrm{CuSO}_4 + 4\mathrm{NH}_3 \cdot \mathrm{H}_2\mathrm{O} \to [\mathrm{Cu(NH}_3)_4]\mathrm{SO}_4 + 4\mathrm{H}_2\mathrm{O}$

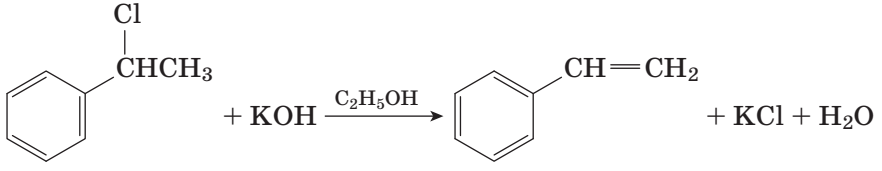
6) $[\mathrm{Cu(NH}_3)_4]\mathrm{SO}_4 + 2\mathrm{H}_2\mathrm{S} \to \mathrm{CuS}\downarrow + (\mathrm{NH}_4)_2\mathrm{SO}_4 + (\mathrm{NH}_4)_2\mathrm{S}$

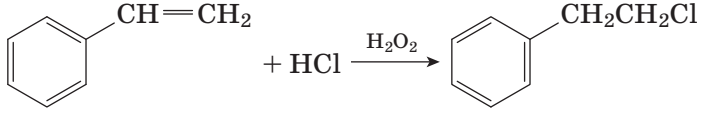
Ответ. $\mathbf{X_1}$ — CO_2, $\mathbf{X_2}$ — $\mathrm{CH}_3\mathrm{OH}$, $\mathbf{Y_1}$ — CuSO_4, $\mathbf{Y_2}$ — $[\mathrm{Cu(NH}_3)_4]\mathrm{SO}_4$, $\mathbf{Y_2}$ — CuS.

8. 1) $3\mathrm{C}_2\mathrm{H}_2 \xrightarrow{t,\,C_{\text{актив}}} \mathrm{C}_6\mathrm{H}_6$ (тримеризация ацетилена)

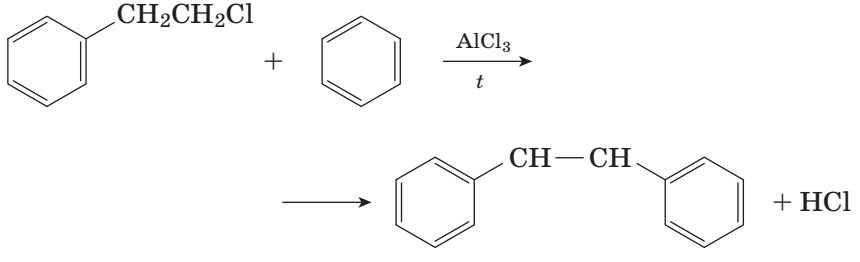
2) 

3) 

4) 

5) 

(присоединение против правила Марковникова)

6) 

Ответ. $n = 2$, $m = 14$. $\mathbf{X}$ — $\mathrm{C}_6\mathrm{H}_6$; $\mathbf{Y}$ — $\mathrm{C}_6\mathrm{H}_5$—CH═CH_2, стирол; $\mathbf{Z}$ — $\mathrm{C}_6\mathrm{H}_5$—CH_2—$\mathrm{CH}_2\mathrm{Cl}$.

9. Поскольку масса продукта окисления меньше массы исходного спирта, в реакцию вступил вторичный спирт, который окислился до кетона. Заметим, что полное окисление первичного спирта привело бы к получению соответствующей карбоновой кислоты, масса которой оказалась бы больше массы исходного спирта, что не согласуется с условием. Кроме того, исходный вторичный спирт должен иметь неразветвленный углеродный скелет и симметричное строение. Реакция окисления спирта:

$$3R_2CHOH + K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_4 \to 3R_2CO + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7H_2O$$

$$\nu(K_2Cr_2O_7) = c \cdot V = 0{,}2 \cdot 0{,}3 = 0{,}06 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{спирта}) = \nu(\text{кетона}) = 3\nu(K_2Cr_2O_7) = 0{,}18 \text{ моль}$$

Общая формула предельных спиртов $C_nH_{2n+2}O$, формула соответствующего кетона $C_nH_{2n}O$. Так как масса кетона меньше массы спирта на 2,27%, молярная масса кетона составляет 0,9773 молярной массы спирта.

$$0{,}9773(14n + 18) = 14n + 16$$

$$n = 5$$

Искомый спирт — симметричный $C_5H_{12}O$, пентанол-3. Реакция дегидратации:

$$CH_3CH_2CH(OH)CH_2CH_3 \xrightarrow{t>150\,^\circ C,\ H_2SO_4(\text{конц.})} CH_3CH_2CH{=}CHCH_3 + H_2O$$

Масса спирта:

$$m = \nu \cdot M = 0{,}18 \cdot 88 = 15{,}84 \text{ г}$$

С учетом выхода реакции $\eta = 0{,}8$ масса кетона:

$$m = \nu \cdot M \cdot \eta = 0{,}18 \cdot 86 \cdot 0{,}8 = 12{,}38 \text{ г}$$

Ответ. Пентанол-3, 15,3284 г; 12,38 г.

10. При нагревании магния с фосфором образуется фосфид:

$$3Mg + 2P \xrightarrow{t} Mg_3P_2$$

При обработке продукта водой возможно выделение только одного газа — фосфина:

$$Mg_3P_2 + 3H_2O \to 3Mg(OH)_2 + 2PH_3\uparrow$$

$$\nu(PH_3) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}489}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$\nu(Mg_3P_2) = 0{,}01 \text{ моль}$$

По условию, при обработке продукта соляной кислотой газа выделилось больше, чем при обработке водой. Поэтому в исходной смеси магний в избытке и остался в продукте после прокаливания. При взаимодействии непрореагировавшего магния с соляной кислотой выделился еще один газ — водород:

$$Mg_3P_2 + 6HCl \to 3MgCl_2 + 2PH_3\uparrow$$

$$Mg + 2HCl \to MgCl_2 + H_2\uparrow$$

Суммарное количество газов:

$$\nu(\text{газов}) = \nu(PH_3) + \nu(H_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}734}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = \nu(\text{газов}) - \nu(PH_3) = 0{,}03 - 0{,}02 = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$\nu(Mg) = 0{,}01 \text{ моль}$$

Таким образом, каждая треть продукта после прокаливания содержит 0,01 моль Mg_3P_2 и 0,01 моль магния.

При нагревании трети продукта с концентрированной HNO_3 оксид азота(IV) выделяется в следующих реакциях:

$$\underset{0{,}01}{Mg_3P_2} + 22HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} 3Mg(NO_3)_2 + 2H_3PO_4 + \underset{0{,}16}{16NO_2\uparrow} + 8H_2O$$

$$\underset{0{,}01}{Mg} + 4HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} Mg(NO_3)_2 + \underset{0{,}02}{2NO_2\uparrow} + 2H_2O$$

При действии азотной кислоты на 0,01 моль Mg_3P_2 выделилось $0{,}01 \cdot 16 = 0{,}16$ моль NO_2, а с 0,01 моль магния только $0{,}01 \cdot 2 = 0{,}02$ моль NO_2. Всего:

$$\nu(NO_2) = 0{,}16 + 0{,}02 = 0{,}18 \text{ моль}$$

Для поглощения этого количества оксида азота(IV) потребуется 0,18 моль KOH.

$$\underset{0{,}18}{2KOH} + \underset{0{,}18}{2NO_2} \to KNO_3 + KNO_2 + H_2O$$

Такое количество гидроксида калия содержится в следующем объеме 20%-го раствора:

$$V = \frac{\nu \cdot M}{\omega \cdot \rho} = \frac{0{,}18 \cdot 56}{0{,}2 \cdot 1{,}20} = 42{,}0 \text{ мл}$$

Ответ. 42 мл.

ВАРИАНТ 6 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. $Mn(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ — кислая соль, кристаллогидрат; $[Cr(NH_3)_6]Cl_3$ — комплексная соль; $(Mg(OH))_2SO_4$ — основная соль.

2. Один из вариантов ответа — нитрат натрия. Желтое окрашивание пламени свидетельствует о присутствии ионов натрия. При электролизе раствора на катоде выделяется водород, на аноде — кислород; газы выделяются в мольном (и объемном) соотношении 2 : 1.

$$2H_2O \xrightarrow{\text{ток}} 2H_2\uparrow + O_2\uparrow$$

Ответ. $NaNO_3$.

3. а) Поместим твердые гидроксиды в избыток раствора KOH. Гидроксид цинка растворится, гидроксид магния нет.

$$Zn(OH)_2 + 2KOH \to K_2[Zn(OH)_4]$$

б) Подходящий реактив — бромная вода, которая взаимодействует с акриловой кислотой и обесцвечивается.

$$CH_2{=}CH{-}COOH + Br_2(\text{водн.}) \to CH_2Br{-}CHBr{-}COOH$$

Уксусная кислота в реакцию с бромной водой не вступает.

4. При смешении растворов протекает реакция нейтрализации:

$$HCl + KOH \to KCl + H_2O$$

Найдем количества кислоты и щёлочи.

$$\nu(HCl) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{M} = \frac{0{,}02 \cdot 1{,}01 \cdot 100}{36{,}5} = 0{,}055 \text{ моль}$$

$$\nu(KOH) = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{M} = \frac{0{,}03 \cdot 1{,}02 \cdot 75}{56} = 0{,}041 \text{ моль}$$

Избыток кислоты составляет:

$$0{,}055 - 0{,}041 = 0{,}014 \text{ моль}$$

Объем раствора:

$$V = 100 + 75 = 175 \text{ мл} = 0{,}175 \text{ л}$$

$$[H^+] = c(HCl) = \frac{\nu}{V} = \frac{0{,}041}{0{,}175} = 0{,}08 \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 1{,}097$$

Ответ. 1,097.

5. Пусть в исходном растворе x моль формальдегида и y моль пропионового альдегида.

$$\underset{x}{HCHO} + \underset{2x}{2Br_2} + H_2O \rightarrow CO_2\uparrow + 4HBr$$

$$\underset{y}{CH_3CH_2CHO} + \underset{y}{Br_2} + H_2O \rightarrow CH_3CH_2COOH + 2HBr$$

Гидрирование альдегидов:

$$\underset{x}{HCHO} + \underset{x}{H_2} \xrightarrow{t,\,Ni} CH_3OH$$

$$\underset{y}{CH_3CH_2CHO} + \underset{y}{H_2} \xrightarrow{t,\,Ni} CH_3CH_2CH_2OH$$

Количества брома и водорода для гидрирования:

$$\nu(Br_2) = \frac{2000 \cdot 0{,}02}{160} = 0{,}25 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 3{,}68}{8{,}314 \cdot 299} = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 2x + y = 0{,}25 \\ x + y = 0{,}15 \end{cases}$$

$x = 0{,}1$ (моль), $y = 0{,}05$ (моль)

Массовые доли альдегидов в исходном растворе:

$$\omega(HCHO) = \frac{0{,}1 \cdot 30}{130} = 0{,}023, \text{ или } 2{,}3\%$$

$$\omega(CH_3CH_2CHO) = \frac{0{,}05 \cdot 58}{130} = 0{,}022, \text{ или } 2{,}2\%$$

Ответ. 2,3% HCHO, 2,2% CH_3CH_2CHO.

6. Исходную молярную концентрацию H_2SO_4 обозначим c, а равновесную концентрацию SO_4^{2-} — x. При необратимой диссоциации серной кислоты по первой ступени образуется по c моль/л ионов H^+ и HSO_4^{2-}:

$$\underset{c}{H_2SO_4} \rightarrow \underset{c}{H^+} + \underset{c}{HSO_4^-}$$

По второй ступени диссоциация серной кислоты протекает обратимо:

	HSO_4^-	$\rightleftarrows$	H^+	+	SO_4^{2-}
Исходная концентрация	c		c		0
Равновесная концентрация	$c - x$		$c + x$		x

$$K(HSO_4^-) = \frac{[H^+] \cdot [SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = \frac{(c + x)x}{c - x}$$

По условию, степень диссоциации по второй ступени:

$$\alpha = \frac{x}{c} = \frac{x}{0{,}1} = 0{,}084$$

$x = 0{,}1 \cdot 0{,}084 = 0{,}0084$ моль/л

$$K(HSO_4^-) = \frac{[H^+] \cdot [SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = \frac{(0{,}1 + 0{,}0084) \cdot 0{,}0084}{0{,}1 - 0{,}0084} = 9{,}9 \cdot 10^{-3} \approx 1 \cdot 10^{-2}$$

$[SO_4^{2-}] = 2[HSO_4^-] = x$

$2(c - x) = x$; $x = 0{,}667c$

$$K(HSO_4^-) = \frac{(c + 0{,}667c) \cdot 0{,}667c}{c - 0{,}667c} = 3{,}34c = 1 \cdot 10^{-2}$$

$c = 3{,}0 \cdot 10^{-3}$ моль/л

Ответ. $1 \cdot 10^{-2}$; $3{,}0 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

7. 1) $4MnO_2 \xrightarrow{t} 2Mn_2O_3 + O_2\uparrow$

или

$2MnO_2 + 2H_2SO_4(\text{конц.}) \xrightarrow{t} 2MnSO_4 + O_2\uparrow + 2H_2O$

2) $4Cr + 3O_2 \xrightarrow{t} 2Cr_2O_3$

3) $Cr_2O_3 + 2KOH(\text{т}) \xrightarrow{t} 2KCrO_2 + H_2O\uparrow$

4) $2MnO_2 + 4KOH(\text{т}) + O_2 \xrightarrow{t} 2K_2MnO_4 + 2H_2O\uparrow$

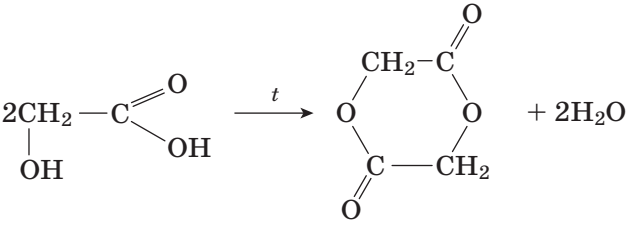
5) $2K_2MnO_4 + Cl_2 \rightarrow 2KMnO_4 + 2KCl$

6) $5C_6H_5{-}CH_3 + 6KMnO_4 + 9H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5C_6H_5{-}COOH + 6MnSO_4 + 3K_2SO_4 + 14H_2O$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — Cr_2O_3, $\mathbf{X_2}$ — $KCrO_2$, $\mathbf{Y_1}$ — K_2MnO_4, $\mathbf{Y_2}$ — $KMnO_4$, $\mathbf{Y_2}$ — $MnSO_4$.

8. 1) $CH_2O + HCN \rightarrow HO{-}CH_2{-}C{\equiv}N$

2) $HO{-}CH_2{-}C{\equiv}N + 2H_2O + HCl \xrightarrow{t}$
$\rightarrow HO{-}CH_2{-}COOH + NH_4Cl$

3) 

4) $CH_2O + CH_3MgBr \rightarrow CH_3CH_2OMgBr$

5) $CH_3CH_2OMgBr + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3CH_2OH + Mg(OH)Br$

6) $HO{-}CH_2{-}COOH + CH_3CH_2OH \xrightarrow{H^+} \rightarrow HO{-}CH_2{-}COOC_2H_5 + H_2O$

Ответ. **X** — $HO{-}CH_2{-}C{\equiv}N$; **Y** — CH_3CH_2OMgBr;
Z — $HO{-}CH_2{-}COOC_2H_5$.

9. Масса продукта окисления больше массы исходного первичного спирта, отсюда следует, что в реакцию вступил первичный спирт, который окислился до кислоты:

$$3RCH_2OH + 2K_2Cr_2O_7 + 8H_2SO_4 \rightarrow \rightarrow 3RCOOH + 2Cr_2(SO_4)_3 + 2K_2SO_4 + 11H_2O$$

$\nu(K_2Cr_2O_7) = c \cdot V = 0{,}4 \cdot 0{,}15 = 0{,}06$ моль

Согласно уравнению реакции окисления:

$$\nu(\text{спирта}) = \nu(\text{кислоты}) = 1{,}5 \cdot \nu(K_2Cr_2O_7) = 0{,}09 \text{ моль}$$

Общая формула предельных спиртов $C_nH_{2n+2}O$, формула соответствующей кислоты $C_nH_{2n}O_2$. Так как масса кислоты больше массы спирта на 15,91%, молярная масса кислоты больше молярной массы спирта в 1,1591 раза.

$$1{,}1591(14n + 18) = 14n + 32$$

$$n = 5$$

Это спирт $C_5H_{12}O$. По условию, при дегидратации спирта образуется неразветвленный алкен. Это пентанол-1. Реакция дегидратации пентанола-1:

$$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2OH \xrightarrow{t > 150\,^\circ C,\ H_2SO_4(\text{конц.})} \rightarrow CH_3CH_2CH_2CH{=}CH_2 + H_2O$$

Масса спирта:

$$m = \nu \cdot M = 0{,}09 \cdot 88 = 7{,}29 \text{ г}$$

С учетом выхода реакции $\eta = 0{,}85$ масса кислоты:

$$m = \nu \cdot M \cdot \eta = 0{,}09 \cdot 102 \cdot 0{,}85 = 7{,}80 \text{ г}$$

Ответ. Пентанол-1, 7,429 г. 7,80 г.

10. При нагревании алюминия с фосфором образуется фосфид алюминия:

$$Al + P \xrightarrow{t} AlP$$

При обработке продукта водой возможно выделение только одного газа — фосфина:

$$AlP + 3H_2O \to Al(OH)_3\downarrow + PH_3\uparrow$$

При обработке продукта раствором гидроксида натрия выделение газа возможно в следующих реакциях:

$$AlP + NaOH + 3H_2O \to Na[Al(OH)_4] + PH_3\uparrow$$

$$2Al + 2NaOH + 6H_2O \to 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$$

Однако, по условию, при обработке продукта раствором щёлочи газа выделилось ровно столько же, сколько и при обработке водой. Следовательно, можно заключить, что в исходной смеси алюминий присутствовал в недостатке и полностью вступил в реакцию с фосфором. Найдем количество фосфина:

$$\nu(PH_3) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}734}{8{,}314 \cdot 298} = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$\nu(AlP) = 0{,}03 \text{ моль}$$

При нагревании трети продукта с концентрированной азотной кислотой выделение оксида азота(IV) происходит в следующих реакциях:

$$AlP + 11HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} Al(NO_3)_2 + H_3PO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$$

$$P + 6HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} H_3PO_4 + 5NO_2\uparrow + H_2O$$

Оксид азота(IV) был поглощен раствором щёлочи:

$$2KOH + 2NO_2 \to KNO_3 + KNO_2 + H_2O$$

$$\nu(KOH) = \frac{V \cdot \rho \cdot \omega}{M} = \frac{110{,}4 \cdot 1{,}15 \cdot 0{,}15}{56} = 0{,}34 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции, раствор щёлочи поглощает также 0,34 моль NO_2. Однако при разложении фосфида алюминия азотной кислотой выделилось только $0{,}03 \cdot 8 = 0{,}24$ моль диоксида азота, а образовались в реакции азотной кислоты с избытком фосфора $0{,}34 - 0{,}24 = 0{,}1$ моль NO_2. По уравнению реакции количество фосфора:

$$\nu(P) = \frac{0{,}1}{5} = 0{,}02 \text{ моль}$$

Таким образом, в каждой из трех порций продукта прокаливания содержалось 0,03 моль AlP и 0,02 моль фосфора. Содержание алюминия в продукте (и в исходной смеси) в мольных долях:

$$x(Al) = \frac{\nu(Al)}{\nu(Al) + \nu(P)} = \frac{0{,}03}{0{,}03 + 0{,}03 + 0{,}02} = 0{,}375, \text{ или } 37{,}5\%$$

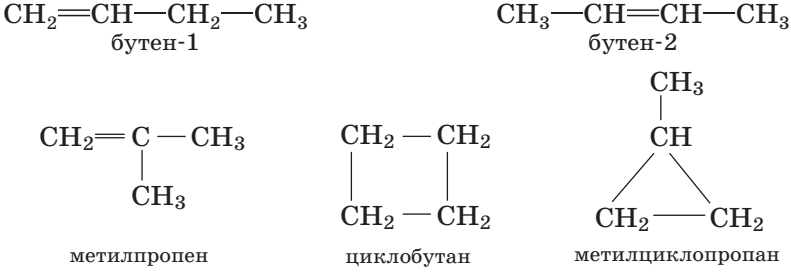
Ответ. 37,5%.

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

ВАРИАНТ 1

1. В аммиаке NH_3 степень окисления азота -3, а его валентность III.

2. Формула C_4H_8 соответствует алкену или циклоалкану (общая формула C_nH_{2n}). Ниже приведены структурные формулы возможных изомеров. У бутена-2 два геометрических изомера — *цис*- и *транс*-бутена-2.



Ответ. Структурные формулы любых двух изомеров.

3. Определим количество молекулярного кислорода $\nu(O_2)$ и атомов кислорода $\nu(O)$ в данной порции простого вещества.

$$\nu(O_2) = \frac{m}{M} = \frac{4}{32} = 0{,}125 \text{ моль}$$

$$\nu(O) = 2 \cdot 0{,}125 = 0{,}25 \text{ моль}$$

Число атомов кислорода:

$$N(O) = N_A \cdot \nu(O) = 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 0{,}25 = 1{,}505 \cdot 10^{23}$$

Атом кислорода содержит 8 электронов. Общее число электронов в 4 г кислорода:

$$N(e) = 8 \cdot N(O) = 8 \cdot 1{,}505 \cdot 10^{23} = 1{,}204 \cdot 10^{24} \text{ электронов}$$

Ответ. $1{,}204 \cdot 10^{24}$ электронов.

4. а) KCl — соль сильного основания и сильной кислоты; эта соль не подвергается гидролизу. Раствор KCl нейтральный, pH ≈ 7, и при добавлении лакмуса окрашивается в фиолетовый цвет.

б) LiOH — щёлочь; при добавлении лакмуса раствор приобретает синюю окраску.

в) CH_3COOH — кислота; при добавлении лакмуса раствор становится красным.

г) Соль сильного основания и слабой кислоты Na_2CO_3 при растворении в воде гидролиз по аниону, давая щелочной раствор.

$$Na_2CO_3 + H_2O \rightleftarrows NaHCO_3 + NaOH$$

При добавлении лакмуса водный раствор Na_2CO_3 приобретает синюю окраску.

5. Зависимость скорости реакции от температуры можно приближенно описать правилом Вант-Гоффа.

$$\frac{w_2}{w_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

где γ — температурный коэффициент скорости реакции.

В нашем случае $\Delta T = T_2 - T_1 = -50$ градусов.

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{32} = \gamma^{\frac{-50}{10}}$$

$$\frac{1}{32} = \left(\frac{1}{2}\right)^5 = \gamma^{-5}$$

$$\gamma = 2$$

При повышении температуры на 30 градусов скорость реакции возрастет в $\frac{w_4}{w_3} = \gamma^{\frac{\Delta T}{10}} = 2^{\frac{30}{10}} = 8$ раз

Ответ. Температурный коэффициент скорости реакции $\gamma = 2$; скорость реакции возрастет в 8 раз.

6. Порция раствора содержит x моль HNO_3 и y моль H_2O. Выразим количества атомов водорода и кислорода в растворе:

$$\nu(H) = x + 2y$$

$$\nu(O) = 3x + y$$

По условию:

$$\frac{\nu(H)}{\nu(O)} = \frac{x + 2y}{3x + y} = 1{,}5$$

$$y = 7x$$

Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(HNO_3) + m(H_2O) = 63x + 18y = 63x + 18 \cdot 7x = 189x$$

$$\omega(HNO_3) = \frac{m(HNO_3)}{m(\text{р-ра})} = \frac{63x}{189x} = 0{,}333, \text{ или } 33{,}3\%$$

Ответ. 33,3%.

7. $FeBr_3 + 3KOH(р\text{-}р) \rightarrow Fe(OH)_3\downarrow + 3KBr$

$2ZnS + 3O_2 \xrightarrow{t} 2ZnO + 2SO_2\uparrow$ (обжиг сульфида)

$Cu + 2H_2SO_4(конц.) \xrightarrow{t} CuSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$

$2AlCl_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 6NaCl$

(взаимный необратимый гидролиз двух солей)

8. 1) $CH_3—CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3—CH_2Cl + HCl$

2) $CH_3—CH_2Cl + KOH(водн.) \rightarrow CH_3—CH_2OH + KCl$

3) $CH_3—CH_2OH + CuO \xrightarrow{t} CH_3—CHO + Cu + H_2O$

4) $CH_3—CHO + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} CH_3—COOH + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$

5) $CH_3—COOH + NaOH(водн.) \rightarrow CH_3—COONa + H_2O$

6) $CH_3—COONa + NaOH(т) \xrightarrow{t} CH_4\uparrow + Na_2CO_3$ (сплавление)

9. Навеска сплава содержала x моль серебра и y моль цинка. При растворении сплава в концентрированной серной кислоте происходят следующие реакции:

$$\underset{x}{2Ag} + \underset{x}{2H_2SO_4(конц.)} \rightarrow Ag_2SO_4 + \underset{0{,}5x}{SO_2\uparrow} + 2H_2O$$

$$\underset{y}{Zn} + \underset{2y}{2H_2SO_4(конц.)} \rightarrow ZnSO_4 + \underset{y}{SO_2\uparrow} + 2H_2O$$

При обработке сплава избытком раствора щёлочи растворяется только цинк, серебро в реакцию со щёлочью не вступает.

$$\underset{y}{Zn} + \underset{2y}{2NaOH} + 2H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + H_2\uparrow$$

$$\nu(H_2SO_4) = \frac{32{,}75 \cdot 1{,}7 \cdot 0{,}88}{98} = 0{,}5 \text{ моль}$$

$$\nu(NaOH) = c \cdot V = 2 \cdot 0{,}2 = 0{,}4 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} x + 2y = 0{,}5 \\ 2y = 0{,}4 \end{cases}$$

$x = 0{,}1$ (моль), $y = 0{,}2$ (моль)

Проверим найденные количества кислоты и щёлочи, рассчитав массу сплава:

$$m(\text{сплава}) = 0{,}1 \cdot 108 + 0{,}2 \cdot 65 = 23{,}8 \text{ г}$$

Это совпадает с условием. Массовые доли металлов в сплаве:

$$\omega(Ag) = \frac{10{,}8}{23{,}8} = 0{,}454, \text{ или } 45{,}4\%$$

$$\omega(Zn) = 0{,}546, \text{ или } 54{,}6\%$$

Рассчитаем объем (н. у.) SO_2, выделившегося в реакциях металлов с кислотой:

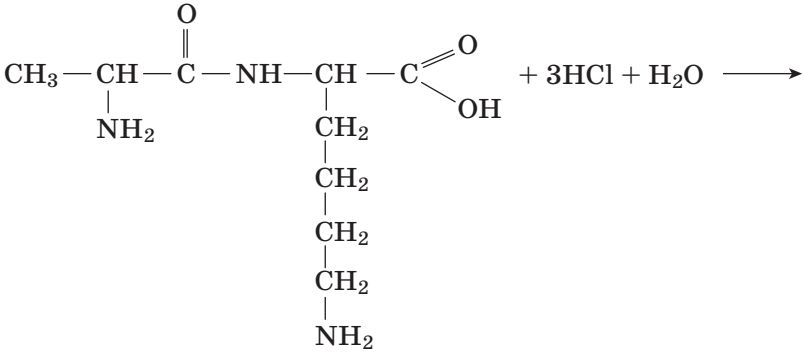
$$\nu(SO_2) = 0{,}5x + y = 0{,}25 \text{ (моль)}$$

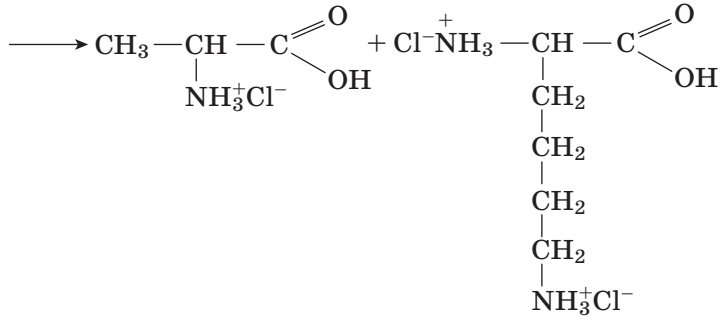
$$V(SO_2) = 0{,}25 \cdot 22{,}4 = 5{,}6 \text{ (л)}$$

Ответ. 45,4% Ag, 54,6% Zn; 5,6 л.

10. Известно два изомерных дипептида: Ala-Lys и Lys-Ala, и неважно, какой именно изомер подвергался гидролизу.

Кислотный гидролиз дипептида Ala-Lys





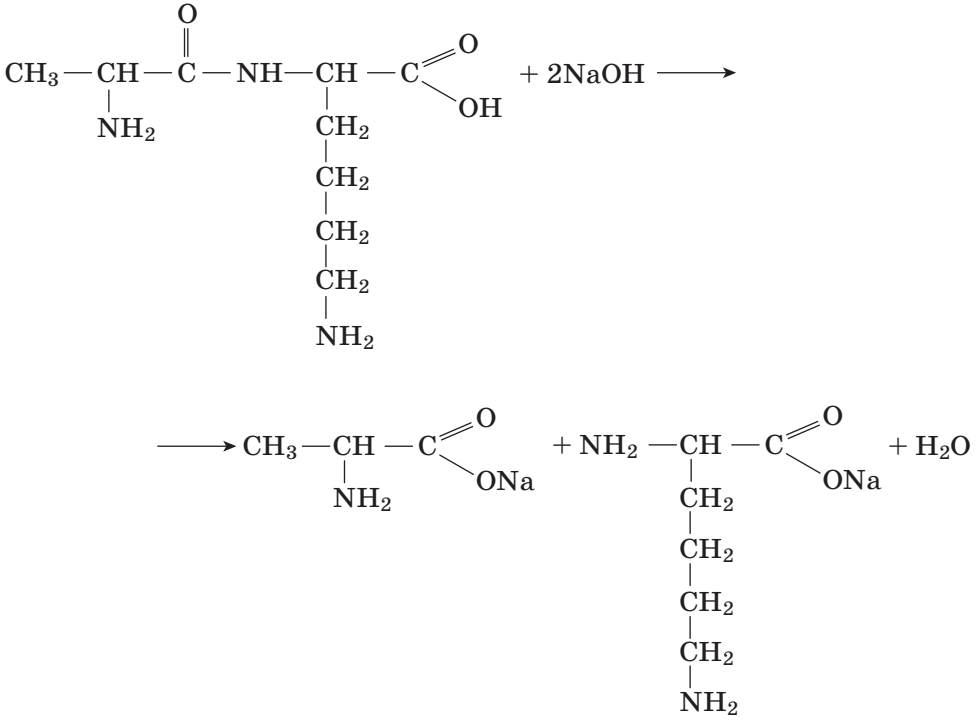
Рассчитаем количество израсходованного HCl.

$$\nu(HCl) = \frac{49{,}8 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}2}{36{,}5} = 0{,}3 \text{ моль}$$

Согласно уравнению гидролиза:

$$\nu(\text{дипептида}) = \frac{1}{3}\nu(HCl) = 0{,}1 \text{ моль}$$

Щелочной гидролиз дипептида Ala-Lys



Согласно уравнению щелочного гидролиза дипептида количество щёлочи в 2 раза больше количества дипептида, подвергаемого гидролизу; ν(NaOH) = 0,2 моль. Найдем объем раствора, содержащего данное количество щёлочи.

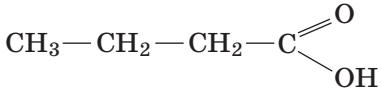
$$V(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{р-ра})}{\rho} = \frac{0{,}2 \cdot 40}{0{,}2 \cdot 1{,}22} = 32{,}8 \text{ мл}$$

Ответ. 32,8 мл.

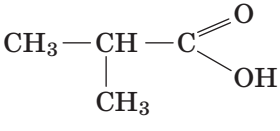
ВАРИАНТ 2

1. В H_2O степень окисления водорода +1, валентность водорода I.

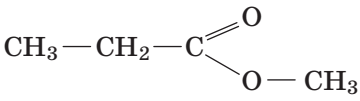
2. Формула $C_4H_8O_2$ соответствует предельной одноосновной карбоновой кислоте или сложному эфиру (общая формула $C_nH_{2n}O_2$). Возможные изомеры:



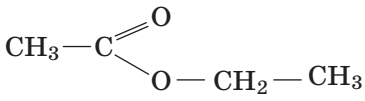
бутановая (масляная) кислота



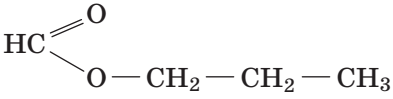
метилпропановая (изомасляная) кислота



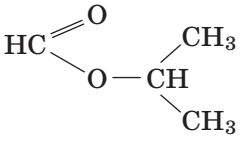
метилпропионат



этилацетат

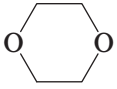


пропилформиат



изопропилформиат

Формуле $C_4H_8O_2$ отвечают также циклические простые эфиры, например 1,4-диоксан:



Ответ. Формулы любых двух изомеров.

3. $\nu(N_2) = \dfrac{m}{M} = \dfrac{7}{28} = 0{,}25$ моль

$\nu(N) = 2 \cdot 0{,}25 = 0{,}5$ моль

$N(N) = N_A \cdot \nu(N) = 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 0{,}5 = 3{,}01 \cdot 10^{23}$ атомов

Атом азота содержит 7 электронов. Общее число электронов в 7 г азота:

$$N(e) = 7 \cdot N(N) = 7 \cdot 3{,}01 \cdot 10^{23} = 2{,}107 \cdot 10^{24} \text{ электронов}$$

Ответ. $2{,}107 \cdot 10^{24}$ электронов.

4. а) Соль сильного основания и сильной кислоты K_2SO_4 гидролизу не подвергается. Раствор K_2SO_4 нейтральный, pH ≈ 7 и при добавлении лакмуса окрашивается в фиолетовый цвет.

б) NaOH — щёлочь; при добавлении лакмуса щелочной раствор приобретает синюю окраску.

в) H_3PO_4 — кислота; при добавлении лакмуса кислотный раствор окрашивается в красный цвет.

г) NH_4Cl — соль слабого основания и сильной кислоты. При водном растворе NH_4Cl происходит гидролиз по катиону, поэтому этот раствор кислый (кислотный).

$$NH_4Cl + H_2O \rightleftarrows NH_3 \cdot H_2O + HCl$$

Водный раствор NH_4Cl при добавлении лакмуса приобретает красную окраску.

5. Зависимость скорости реакции от температуры можно приближенно описать правилом Вант-Гоффа.

$$\frac{w_2}{w_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

где γ — температурный коэффициент скорости реакции.

В нашем случае $\Delta T = T_2 - T_1 = -30$ градусов.

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{27} = \gamma^{\frac{-30}{10}}$$

$$\frac{1}{27} = \left(\frac{1}{3}\right)^3 = \gamma^{-3}$$

$$\gamma = 3$$

При повышении температуры на 20 градусов скорость реакции возрастет в $\frac{w_4}{w_3} = \gamma^{\frac{\Delta T}{10}} = 3^{\frac{20}{10}} = 9$ раз

Ответ. Температурный коэффициент скорости реакции $\gamma = 3$; скорость реакции возрастет в 9 раз.

6. Порция раствора содержит x моль фосфорной кислоты и y моль воды. Выразим количества атомов водорода и кислорода в растворе:

$$\nu(H) = 3x + 2y$$

$$\nu(O) = 4x + y$$

По условию:

$$3x + 2y = 4x + y$$

$$x = y$$

Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(H_3PO_4) + m(H_2O) = 98x + 18y = 116x$$

$$\omega(H_3PO_4) = \frac{m(H_3PO_4)}{m(\text{р-ра})} = \frac{98x}{116x} = 0{,}845, \text{ или } 84{,}5\%$$

Ответ. 84,5%.

7. $Mg(NO_3)_2 + Ba(OH)_2(\text{р-р}) \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow + Ba(NO_3)_2$

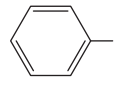
$2CuS + 3O_2 \xrightarrow{t} 2CuO + 2SO_2\uparrow$ (обжиг сульфида)

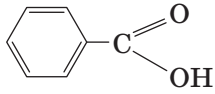
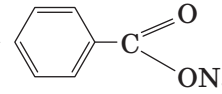
$Fe + H_2SO_4(\text{разб.}) \rightarrow FeSO_4 + H_2\uparrow$

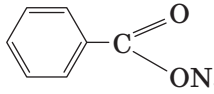
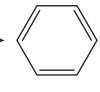
$Cr_2(SO_4)_3 + 3(NH_4)_2S + 6H_2O \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow + 3(NH_4)_2SO_4$

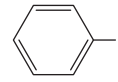
(взаимный необратимый гидролиз двух солей)

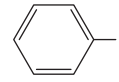
8. 1) 5 $+ 6KMnO_4 + 9H_2SO_4 \longrightarrow$

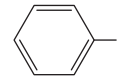
$$\longrightarrow 5$$  $+ 3K_2SO_4 + 6MnSO_4 + 14H_2O$

2)  $+ NaOH \longrightarrow$  $+ H_2O$

3)  $+ NaOH \xrightarrow{t}$  $+ Na_2CO_3$

4) $+ HNO_3 \xrightarrow[H_2SO_4]{t}$  $NO_2 + H_2O$

5) $NO_2 + 3H_2 \xrightarrow[Ni]{t}$  $NH_2 + 2H_2O$

6) $NH_2 + HCl \longrightarrow$  $NH_3^+Cl^-$

9. Навеска сплава содержала x моль меди и y моль алюминия. При растворении сплава в концентрированной азотной кислоте происходят следующие реакции:

$$\underset{x}{Cu} + \underset{4x}{4HNO_3(конц.)} \rightarrow Cu(NO_3)_2 + \underset{2x}{2NO_2\uparrow} + 2H_2O$$

$$\underset{y}{Al} + \underset{6y}{6HNO_3(конц.)} \rightarrow Al(NO_3)_3 + \underset{3y}{3NO_2\uparrow} + 3H_2O$$

При обработке сплава раствором щёлочи растворяется только алюминий.

$$\underset{y}{2Al} + \underset{y}{2KOH} + 6H_2O \rightarrow 2K[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$$

$$\nu(HNO_3) = \frac{96{,}93 \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}65}{63} = 1{,}4 \text{ моль}$$

$$\nu(KOH) = c \cdot V = 0{,}2 \cdot 0{,}5 = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 4x + 6y = 1{,}4 \\ y = 0{,}1 \end{cases}$$

$x = 0{,}2$ (моль), $y = 0{,}1$ (моль)

Проверим найденные количества кислоты и щёлочи, рассчитав массу сплава:

$$m(\text{сплава}) = 0{,}2 \cdot 64 + 0{,}1 \cdot 27 = 15{,}5 \text{ г}$$

Это совпадает с условием. Массовые доли металлов в сплаве:

$$\omega(\mathrm{Cu}) = \frac{12{,}8}{15{,}5} = 0{,}826, \text{ или } 82{,}6\%$$

$$\omega(\mathrm{Al}) = 0{,}174, \text{ или } 17{,}4\%$$

Рассчитаем объем NO_2 (н. у.), выделившегося в реакциях металлов с кислотой.

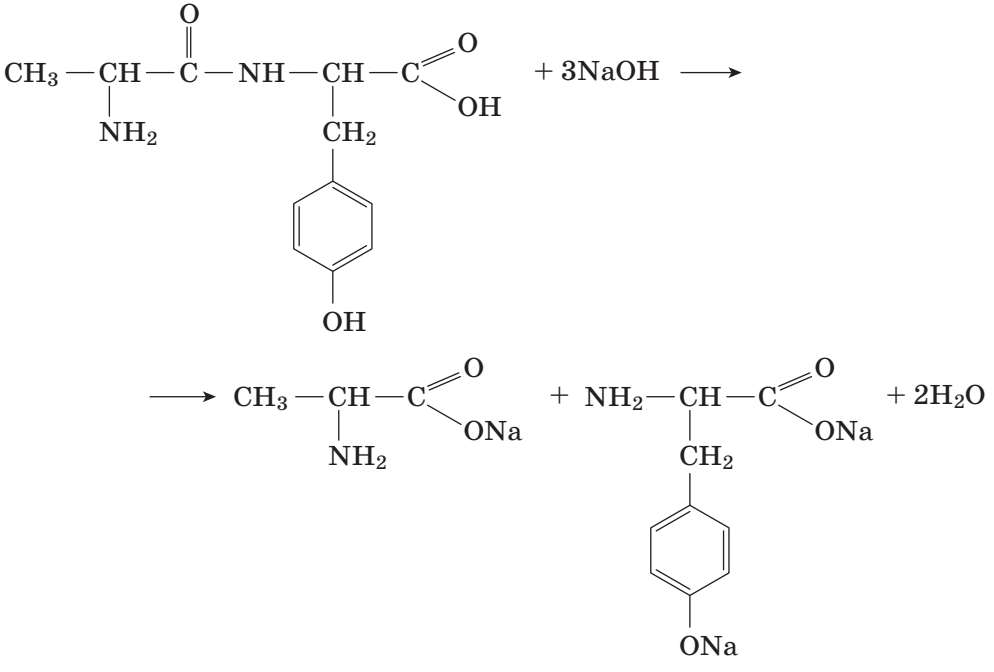
$$\nu(\mathrm{NO_2}) = 2x + 3y = 0{,}7 \text{ моль}$$

$$V(\mathrm{NO_2}) = 0{,}7 \cdot 22{,}4 = 15{,}68 \text{ л}$$

Ответ. 82,6% Cu, 17,4% Al; 15,68 л.

10. Известны два изомерных дипептида Ala-Tyr и Tyr-Ala, и неважно, какой именно изомер подвергался гидролизу.

Щелочной гидролиз дипептида Ala-Tyr

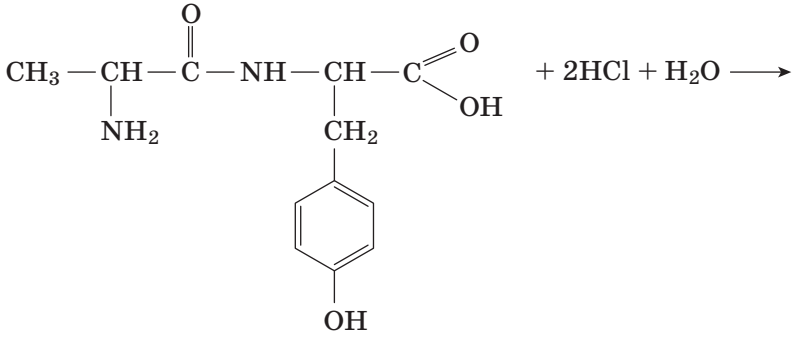


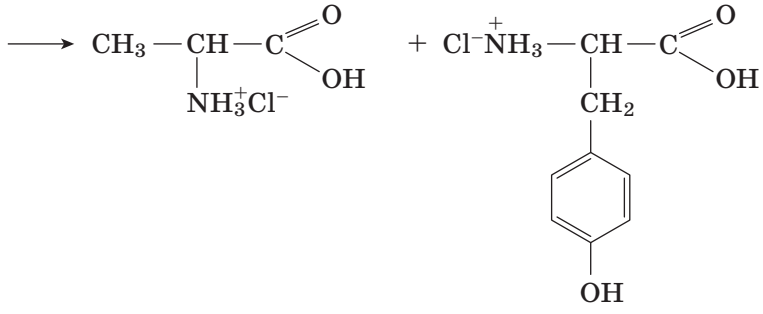
$$\nu(\mathrm{NaOH}) = \frac{12{,}3 \cdot 1{,}22 \cdot 0{,}2}{40} = 0{,}075 \text{ моль}$$

Согласно уравнению щелочного гидролиза Ala-Tyr:

$$\nu(\text{дипептида}) = \frac{1}{3}\nu(\mathrm{NaOH}) = 0{,}025 \text{ моль}$$

Кислотный гидролиз дипептида Ala-Tyr





Количество кислоты в 2 раза больше количества дипептида, подвергаемого гидролизу; ν(HCl) = 0,05 моль. Найдем объем раствора, содержащего данное количество кислоты.

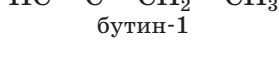
$$V(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{р-ра})}{\rho} = \frac{0{,}05 \cdot 36{,}5}{0{,}2 \cdot 1{,}1} = 8{,}3 \text{ мл}$$

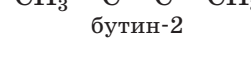
Ответ. 8,3 мл.

ВАРИАНТ 3

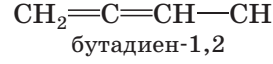
1. В метане CH_4 степень окисления водорода +1, валентность водорода I.

2. Формула C_4H_6 соответствует алкину или алкадиену (общая формула C_nH_{2n-2}). Возможные изомеры:

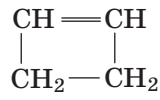

бутин-1


бутин-2

бутадиен-1,3


бутадиен-1,2

Формуле C_nH_{2n-2} отвечают также циклоалкены, например циклобутен:



Ответ. Структурные формулы любых двух изомеров.

3. $\nu(Cl_2) = \dfrac{m}{M} = \dfrac{7{,}1}{71} = 0{,}1$ моль

$\nu(Cl) = 2 \cdot 0{,}1 = 0{,}2$ моль

$N(Cl) = N_A \cdot \nu(Cl) = 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 0{,}2 = 1{,}204 \cdot 10^{23}$ атомов

Атом хлора содержит 17 электронов. Общее число электронов в 7,1 г хлора:

$$N(e) = 17 \cdot N(Cl) = 17 \cdot 1{,}204 \cdot 10^{23} = 2{,}047 \cdot 10^{24} \text{ электронов}$$

Ответ. $2{,}047 \cdot 10^{24}$ электронов.

4. а) Соль сильного основания и сильной кислоты NaI не подвергается гидролизу. Раствор NaI нейтральный, pH ≈ 7, и раствор при добавлении лакмуса окрашивается в фиолетовый цвет.

б) $Ba(OH)_2$ — щёлочь; при добавлении лакмуса щелочной раствор приобретает синюю окраску.

в) HCl — кислота; при добавлении лакмуса кислотный раствор окрашивается в красный цвет.

г) NH_4Br — соль слабого основания и сильной кислоты. При растворении NH_4Br в воде происходит гидролиз по катиону; этот раствор кислый (кислотный).

$$NH_4Br + H_2O \rightleftarrows NH_3 \cdot H_2O + HBr$$

Водный раствор NaBr при добавлении лакмуса приобретает красную окраску.

5. Зависимость скорости реакции от температуры можно приближенно описать правилом Вант-Гоффа.

$$\frac{w_2}{w_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

где γ — температурный коэффициент скорости реакции.

В нашем случае $\Delta T = T_2 - T_1 = -30$ градусов.

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{27} = \gamma^{\frac{-30}{10}}$$

$$\frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3 = \gamma^{-3}$$

$$\gamma = 2$$

При повышении температуры на 20 градусов скорость реакции возрастет в $\frac{w_4}{w_3} = \gamma^{\frac{\Delta T}{10}} = 2^{\frac{20}{10}} = 4$ раза

Ответ. Температурный коэффициент скорости реакции $\gamma = 2$; скорость реакции возрастет в 4 раза.

6. Пусть в растворе содержится x моль фосфорной кислоты и y моль воды. Количество атомов водорода и атомов кислорода в растворе:

$$\nu(H) = 3x + 2y$$

$$\nu(O) = 4x + y$$

По условию:

$$\frac{3x + 2y}{4x + y} = 1{,}5$$

$$y = 6x$$

Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(H_3PO_4) + m(H_2O) = 98x + 18 \cdot 6x = 206x$$

$$\omega(H_3PO_4) = \frac{m(H_3PO_4)}{m(\text{р-ра})} = \frac{98x}{206x} = 0{,}476, \text{ или } 47{,}6\%$$

Ответ. 47,6%.

7. $CrCl_3 + 4NaOH(\text{избыток, р-р}) \rightarrow Na[Cr(OH)_4] + 3NaCl$

$2MgS + 3O_2 \xrightarrow{t} 2MgO + 2SO_2\uparrow$ (обжиг сульфида)

$Br_2 + 2KOH \xrightarrow{0\,^\circ C} KBr + KBrO + H_2O$

или

$3Br_2 + 6KOH \xrightarrow{t} 5KBr + KBrO_3 + 3H_2O$

$2CrCl_3 + 3K_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 6KCl$

(взаимный необратимый гидролиз двух солей)

8. 1) $CH_3—CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3—CH_2Br + HBr$

2) $2CH_3—CH_2Br + 2Na \xrightarrow{\text{эфир}} CH_3—CH_2—CH_2—CH_3 + 2NaBr$

3) $2CH_3—CH_2—CH_2—CH_3 + 5O_2 \xrightarrow{t,\text{катализатор}} \rightarrow 4CH_3—COOH + 2H_2O$

4) $CH_3—COOH + NaOH(водн.) \rightarrow CH_3—COONa + H_2O$

5) $CH_3—COONa + NaOH(т) \xrightarrow{t} CH_4\uparrow + Na_2CO_3$ (сплавление)

6) $CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3Cl + HCl$

9. Навеска сплава содержала x моль меди и y моль цинка. При растворении сплава в концентрированной азотной кислоте происходят следующие реакции:

$$\underset{x}{Cu} + \underset{4x}{4HNO_3(конц.)} \rightarrow Cu(NO_3)_2 + \underset{2x}{2NO_2\uparrow} + 2H_2O$$

$$\underset{y}{Zn} + \underset{4y}{4HNO_3(конц.)} \rightarrow Al(NO_3)_2 + \underset{2y}{2NO_2\uparrow} + 2H_2O$$

При обработке сплава раствором щёлочи растворяется только цинк.

$$\underset{y}{Zn} + \underset{2y}{2NaOH} + 2H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + H_2\uparrow$$

$$\nu(HNO_3) = \frac{45{,}65 \cdot 1{,}38 \cdot 0{,}60}{63} = 0{,}6 \text{ моль}$$

$$\nu(NaOH) = c \cdot V = 1 \cdot 0{,}2 = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 4x + 4y = 0{,}6 \\ 2y = 0{,}2 \end{cases}$$

$x = 0{,}05$ (моль), $y = 0{,}1$ (моль)

Проверим найденные количества кислоты и щёлочи, рассчитав массу сплава:

$$m(\text{сплава}) = 0{,}05 \cdot 64 + 0{,}1 \cdot 65 = 9{,}7 \text{ г}$$

Это совпадает с условием. Массовые доли металлов в сплаве:

$$\omega(Cu) = \frac{3{,}2}{9{,}7} = 0{,}333, \text{ или } 33{,}3\%$$

$$\omega(Zn) = 0{,}667, \text{ или } 66{,}7\%$$

Рассчитаем объем NO_2 (н. у.), выделившегося в реакциях металлов с кислотой.

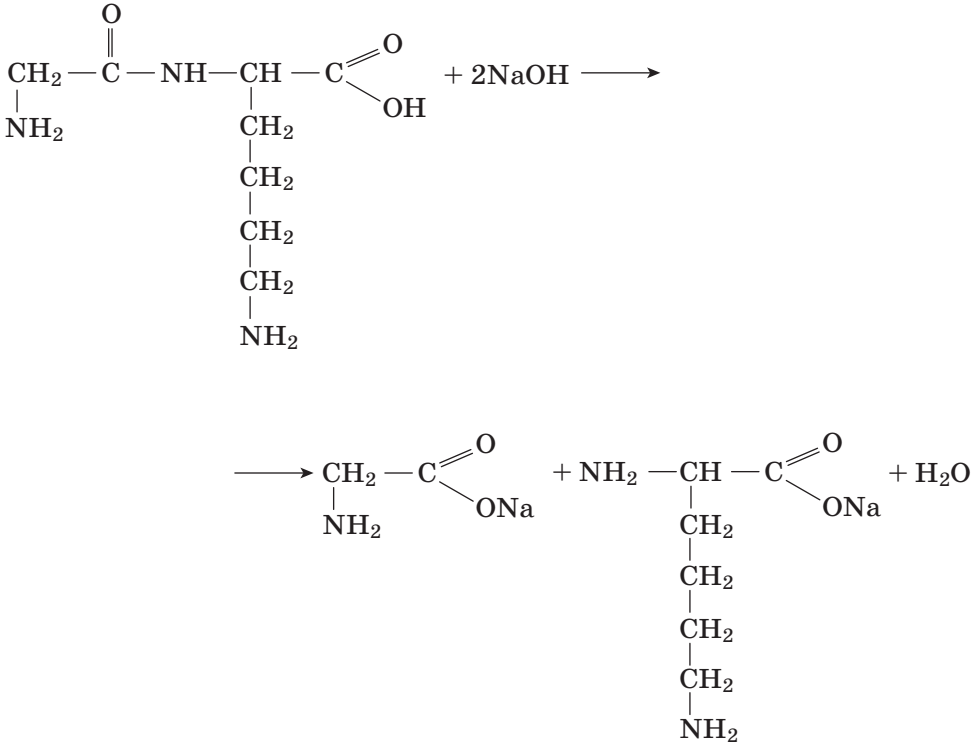
$$\nu(NO_2) = 2x + 2y = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$V(NO_2) = 0{,}3 \cdot 22{,}4 = 6{,}72 \text{ л}$$

Ответ. 33,3% Cu, 66,7% Al; 6,72 л.

10. Известно два изомерных дипептида: Gly-Lys и Lys-Gly, и неважно, какой именно изомер подвергался гидролизу.

Щелочной гидролиз дипептида Gly-Lys



$$\nu(\text{NaOH}) = \frac{16{,}4 \cdot 1{,}22 \cdot 0{,}2}{40} = 0{,}1 \text{ моль}$$

Согласно уравнению щелочного гидролиза:

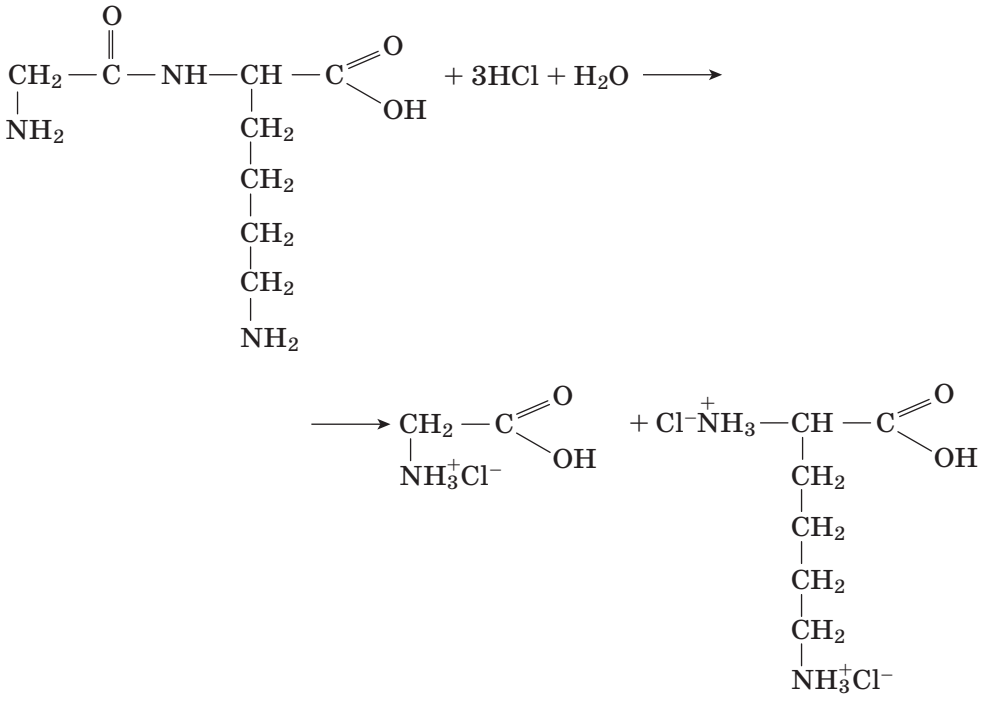
$$\nu(\text{дипептида}) = \frac{1}{2}\nu(\text{NaOH}) = 0{,}05 \text{ моль}$$

Согласно уравнению кислотного гидролиза (с. 567), количество кислоты в 3 раза больше количества дипептида, подвергаемого гидролизу; $\nu(\text{HCl}) = 0{,}15$ моль. Найдем объем раствора, содержащего данное количество кислоты:

$$V(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{р-ра})}{\rho} = \frac{0{,}15 \cdot 36{,}5}{0{,}2 \cdot 1{,}1} = 24{,}89 \text{ мл}$$

Ответ. 24,89 мл.

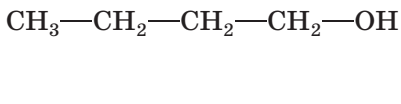
Кислотный гидролиз дипептида Gly-Lys



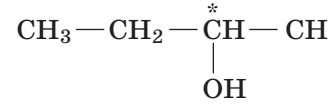
ВАРИАНТ 4

1. В хлороводороде HCl степень окисления хлора −1, валентность хлора I.

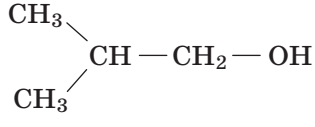
2. Формула $C_4H_{10}O$ соответствует предельным одноосновным спиртам и простым эфирам (общая формула $C_nH_{2n+2}O$). Ниже приведены возможные изомеры:



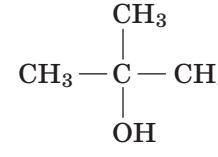
бутанол-1



бутанол-2

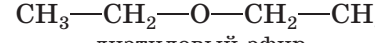


изобутанол

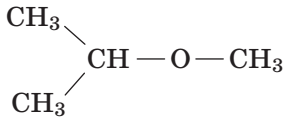


трет-бутанол

метилпропиловый эфир



диэтиловый эфир



метилизопропиловый эфир

Отметим, что бутанол-2 — оптически активное соединение (асимметрический атом углерода отмечен звездочкой), существует в виде двух оптических изомеров.

Ответ. Структурные формулы любых двух изомеров.

3. $\nu(O_3) = \dfrac{m}{M} = \dfrac{24}{48} = 0{,}5$ моль

$\nu(O) = 3 \cdot 0{,}5 = 1{,}5$ моль

$N(O) = N_A \cdot \nu(O) = 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 1{,}5 = 9{,}03 \cdot 10^{23}$ атомов

Атом кислорода содержит 8 электронов. Общее число электронов в 24 г озона:

$$N(e) = 8 \cdot N(O) = 8 \cdot 9{,}03 \cdot 10^{23} = 7{,}224 \cdot 10^{24} \text{ электронов}$$

Ответ. $7{,}224 \cdot 10^{24}$ электронов.

4. а) Соль сильного основания и сильной кислоты NaCl не подвергается гидролизу. Раствор NaCl нейтральный, pH ≈ 7, лакмус окрашивается в фиолетовый цвет.

б) KOH — щёлочь; при добавлении лакмуса щелочной раствор приобретает синюю окраску.

в) H_2SO_4 — кислота; при добавлении лакмуса кислый (кислотный) раствор окрашивается в красный цвет.

г) Соль сильного основания и слабой кислоты K_2CO_3 при растворении в воде гидролизуется по аниону; этот раствор щелочной.

$$K_2CO_3 + H_2O \rightleftarrows KOH + KHCO_3$$

Раствор K_2CO_3 при добавлении лакмуса приобретает синюю окраску.

5. Зависимость скорости реакции от температуры можно приближенно описать правилом Вант-Гоффа:

$$\frac{w_2}{w_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

где γ — температурный коэффициент скорости реакции.

В нашем случае $\Delta T = T_2 - T_1 = -20$ градусов.

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{9} = \gamma^{\frac{-20}{10}}$$

$$\frac{1}{9} = \left(\frac{1}{3}\right)^2 = \gamma^{-2}$$

$$\gamma = 3$$

При повышении температуры на 30 град. скорость реакции возрастет в $\frac{w_4}{w_3} = \gamma^{\frac{\Delta T}{10}} = 3^{\frac{30}{10}} = 27$ раз.

Ответ. Температурный коэффициент скорости реакции $\gamma = 3$; скорость реакции возрастет в 27 раз.

6. Пусть в растворе содержится x моль хлорной кислоты и y моль воды. Количество атомов водорода и атомов кислорода в растворе:

$$\nu(H) = x + 2y$$

$$\nu(O) = 4x + y$$

По условию:

$$\frac{x + 2y}{4x + y} = 1{,}5$$

$$y = 10x$$

Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(HClO_4) + m(H_2O) = 100{,}5x + 18 \cdot 10x = 280{,}5x$$

$$\omega(HClO_4) = \frac{m(HClO_4)}{m(\text{р-ра})} = \frac{100{,}5x}{280{,}5x} = 0{,}358, \text{ или } 35{,}8\%$$

Ответ. 35,8%.

7. $FeCl_2 + 2KOH(\text{р-р}) \rightarrow Fe(OH)_2\downarrow + 2KCl$

$2H_2S + 3O_2 \xrightarrow{t} 2SO_2 + 2H_2O$ (избыток кислорода)

или

$2H_2S + O_2 \xrightarrow{t} 2S\downarrow + 2H_2O$ (недостаток кислорода)

$3P + 5HNO_3(\text{разб.}) + 2H_2O \rightarrow 3H_3PO_4 + 5NO\uparrow$

$Fe_2(SO_4)_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 3Na_2SO_4$

(взаимный необратимый гидролиз двух солей)

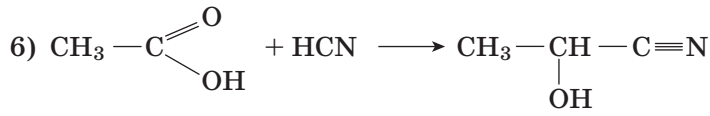
8. 1) $CH_4 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3Br + HBr$

2) $2CH_3Br + 2Na \xrightarrow{\text{эфир}} CH_3—CH_3 + 2NaBr$

3) $CH_3—CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3—CH_2Cl + HCl$

4) $CH_3—CH_2Cl + NaOH(\text{водн.}) \rightarrow CH_3—CH_2OH + NaCl$

5) $CH_3—CH_2OH + CuO \xrightarrow{t} CH_3—CHO + Cu + H_2O$

6) 

9. Навеска сплава содержала x моль железа и y моль меди. При растворении сплава в концентрированной азотной кислоте происходят следующие реакции:

$$\underset{x}{Fe} + \underset{6x}{6HNO_3}(\text{конц.}) \rightarrow Fe(NO_3)_3 + \underset{3x}{3NO_2}\uparrow + 3H_2O$$

$$\underset{y}{Cu} + \underset{4y}{4HNO_3}(\text{конц.}) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + \underset{2y}{2NO_2}\uparrow + 2H_2O$$

При обработке сплава соляной кислотой растворяется только железо.

$$\underset{x}{Fe} + \underset{2x}{2HCl} \rightarrow FeCl_2 + H_2\uparrow$$

$$\nu(HNO_3) = \frac{113 \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}60}{63} = 1{,}4 \text{ моль}$$

$$\nu(HCl) = \frac{25{,}4 \cdot 1{,}15 \cdot 0{,}25}{36{,}5} = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 6x + 4y = 1{,}4 \\ 2x = 0{,}2 \end{cases}$$

$x = 0{,}1$ (моль), $y = 0{,}2$ (моль)

Проверим найденные количества кислот, рассчитав массу сплава:

$$m(\text{сплава}) = 0{,}1 \cdot 56 + 0{,}2 \cdot 64 = 18{,}4 \text{ г}$$

Это совпадает с условием. Массовые доли металлов в сплаве:

$$\omega(Fe) = \frac{5{,}6}{18{,}4} = 0{,}304, \text{ или } 30{,}4\%$$

$$\omega(Cu) = 0{,}696, \text{ или } 69{,}76\%$$

Рассчитаем объем NO_2 (н. у.), выделившегося в реакциях металлов с кислотой.

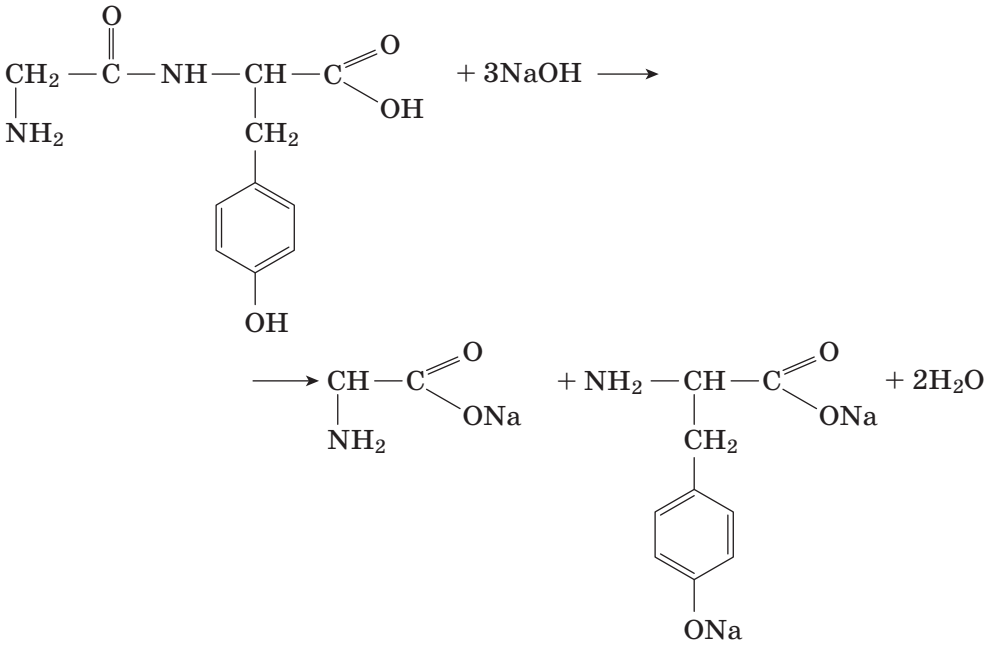
$$\nu(NO_2) = 3x + 2y = 0{,}7 \text{ моль}$$

$$V(NO_2) = 0{,}7 \cdot 22{,}4 = 15{,}68 \text{ л}$$

Ответ. 30,4% Fe, 69,6% Cu; 15,68 л.

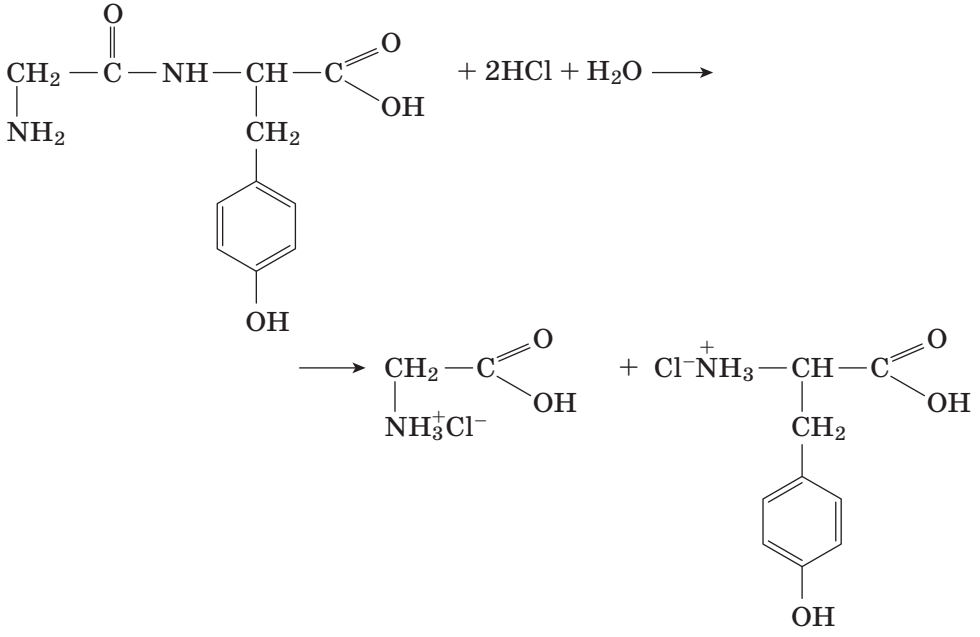
10. Известно два изомерных дипептида: Gly-Tyr и Tyr-Gly, и неважно, какой именно изомер подвергался гидролизу.

Щелочной гидролиз дипептида Gly-Tyr



$$\nu(NaOH) = \frac{49{,}2 \cdot 1{,}22 \cdot 0{,}2}{40} = 0{,}3 \text{ моль}$$

Кислотный гидролиз дипептида Gly-Tyr



Согласно уравнению реакции:

$$\nu(\text{дипептида}) = \frac{1}{3}\nu(\text{NaOH}) = 0{,}1 \text{ моль}$$

Количество кислоты в 2 раза больше количества дипептида (с. 568), подвергаемого гидролизу, $\nu(\text{HCl}) = 0{,}2$ моль. Найдем объем раствора, содержащего данное количество кислоты:

$$V(\text{р-ра}) = \frac{m(\text{р-ра})}{\rho} = \frac{0{,}2 \cdot 36{,}5}{0{,}2 \cdot 1{,}1} = 33{,}18 \text{ мл}$$

Ответ. 33,18 мл.

2016 ГОД

ОЛИМПИАДА «ЛОМОНОСОВ»

ЗАОЧНЫЙ ТУР

10–11 КЛАССЫ

ВАРИАНТ «НОЯБРЬ-1»

1. Примеры:
HNO_3, степень окисления азота +5;
NH_3, степень окисления азота −3.

2. Варианты ответов:

$$PCl_5 + 4H_2O \rightarrow 5HCl + H_3PO_4$$

$$POCl_3 + 3H_2O \rightarrow 3HCl + H_3PO_4$$

3. Плотность газа прямо пропорциональна молярной массе:

$$\rho = \frac{pM}{RT}$$

Первый член гомологического ряда алканов — метан CH_4 (молярная масса 16 г/моль), первый член гомологического ряда алкинов — ацетилен C_2H_2 (молярная масса 26 г/моль). Подходящее простое вещество — неон Ne (молярная масса 20 г/моль).

Ответ. Ne.

4. Пусть элемент **A** содержит $2x$ протонов, тогда элемент **B** содержит x протонов. В результате реакции образуется соединение $\mathbf{A}_m\mathbf{B}_n$, для которого, по условию, $2xm = xn$; $n = 2m$. Формула соединения $\mathbf{AB}_2$. Подходят сера S (16 протонов) и кислород O (8 протонов). В результате реакции серы и кислорода образуется сернистый газ SO_2:

$$S + O_2 \xrightarrow{t} SO_2$$

Ответ. SO_2.

5. Рассчитаем количество углеводорода C_xH_y.

$$\nu = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 735 \cdot 21{,}2}{760 \cdot 8{,}314 \cdot 333} = 0{,}75 \text{ моль}$$

Количество атомов:

$$\nu \text{ (атомов)} = N/N_A = 5{,}8695 \cdot 10^{24} : 6{,}02 \cdot 10^{23} = 9{,}75 \text{ моль}$$

Таким образом, в 0,75 моль C_xH_y содержится 9,75 моль атомов C и H; в 1 моль — 9,75 : 0,75 = 13 моль атомов. Значит, в молекуле C_xH_y 13 атомов, $x + y = 13$.

Перебором всех возможных значений x находим при $x = 5$ формулу C_5H_8 (например, пентин, пентадиен или циклопентен). При $x = 7$: C_7H_6; при $x = 9$: C_9H_4.

Ответ. C_5H_8, C_7H_6 или C_9H_4.

6. Выразим константу равновесия реакции через парциальные давления веществ **A**, **B** и **C**:

$$K_p = \frac{p(\mathbf{C})}{p(\mathbf{A}) \cdot p(\mathbf{B})}$$

Далее выразим парциальные давления веществ (p — общее давление) и мольные доли веществ $\chi(\mathbf{A})$, $\chi(\mathbf{B})$ и $\chi(\mathbf{C})$ (ν — общее число молей веществ **A**, **B** и **C**).

$$p(\mathbf{A}) = \chi(\mathbf{A}) \cdot p$$

$$p(\mathbf{B}) = \chi(\mathbf{B}) \cdot p$$

$$p(\mathbf{C}) = \chi(\mathbf{C}) \cdot p$$

$$\chi(\mathbf{A}) = \frac{\nu(\mathbf{A})}{\nu}$$

$$\chi(\mathbf{B}) = \frac{\nu(\mathbf{B})}{\nu}$$

$$\chi(\mathbf{C}) = \frac{\nu(\mathbf{C})}{\nu}$$

$$K_p = \frac{0{,}1}{0{,}175} = \frac{\chi(\mathbf{C}) \cdot p}{\chi(\mathbf{B}) \cdot p \cdot \chi(\mathbf{B}) \cdot p} = \frac{\frac{\nu(\mathbf{C})}{\nu} \cdot p}{\frac{\nu(\mathbf{A})}{\nu} \cdot p \cdot \frac{\nu(\mathbf{B})}{\nu} \cdot p} = \frac{\nu(\mathbf{C}) \cdot \nu}{\nu(\mathbf{A}) \cdot \nu(\mathbf{B}) \cdot p}$$

Общее число молей веществ:

$$\nu = \nu(\mathbf{A}) + \nu(\mathbf{B}) + \nu(\mathbf{C}) = 1 + 2 + 3 = 6 \text{ моль}$$

$$K_p = \frac{\nu(\mathbf{C}) \cdot \nu}{\nu(\mathbf{A}) \cdot \nu(\mathbf{B}) \cdot p} = \frac{2 \cdot 6}{1 \cdot 3 \cdot 1} = 4 \text{ атм}^{-1}$$

Пусть при изменении давления прореагировало y моль. Равновесные количества (число молей) веществ в новых условиях:

$$\nu(\mathbf{A}) = 1 - y,\ \nu(\mathbf{B}) = 3 - y,\ \nu(\mathbf{C}) = 2 + y$$

Общее число молей веществ в этих условиях:

$$\nu = \nu(\mathbf{A}) + \nu(\mathbf{B}) + \nu(\mathbf{C}) = 6 - y$$

Подставим эти выражения в формулу константы равновесия:

$$K_p = \frac{\nu(\mathbf{C}) \cdot \nu}{\nu(\mathbf{A}) \cdot \nu(\mathbf{B}) \cdot p} = \frac{(2 + y)(6 - y)}{(1 - y)(3 - y) \cdot 2} = 4$$

Раскрывая скобки, получаем квадратное уравнение, решение которого дает $y = 0{,}367$ моль. Равновесные количества веществ **A**, **B** и **C**:

$$\nu(\mathbf{A}) = 0{,}633 \text{ моль},\ \nu(\mathbf{B}) = 2{,}633 \text{ моль},\ \nu(\mathbf{C}) = 2{,}367 \text{ моль}$$

Ответ. 0,633 моль **A**, 2,633 моль **B**, 2,367 моль **C**.

7. Приведем один из вариантов ответа.

1) $CH_3COOC_2H_5 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3COOH + C_2H_5OH$

2) $CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$

3) $CH_3COONa + NaOH \xrightarrow{t} CH_4\uparrow + Na_2CO_3$

4) $CH_4 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3Br + HBr$

5) $2CH_3Br + 2Na \rightarrow C_2H_6 + 2NaBr$

6) $2CH_3COONa + 2H_2O \xrightarrow{\text{эл.}} C_2H_6 + 2NaOH + 2CO_2 + H_2$

Ответ. **X** — CH_3COONa, **Y** — CH_3Br.

8. 1) Сплавление:

$$Al_2O_3 + 2NaOH(\text{т}) \xrightarrow{t} 2NaAlO_2 + H_2O$$

$$ZnO + 2NaOH(\text{т}) \xrightarrow{t} Na_2ZnO_2 + H_2O$$

2) Растворение в воде (в присутствии щёлочи) и последующая обработка 20%-м раствором H_2SO_4:

$$NaAlO_2 + 2H_2O \rightarrow Na[Al(OH)_4]$$

$$Na_2ZnO_2 + 2H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4]$$

$$2Na[Al(OH)_4] + 4H_2SO_4 \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + Na_2SO_4 + 8H_2O$$

$$Na_2[Zn(OH)_4] + 2H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + Na_2SO_4 + 4H_2O$$

3) Добавление избытка $NH_3 \cdot H_2O$:

$$\underset{\text{осадок } \mathbf{X}}{Al_2(SO_4)_3 + 6NH_3 \cdot H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow} + 3(NH_4)_2SO_4$$

$$ZnSO_4 + 4NH_3 \cdot H_2O \rightarrow [Zn(NH_3)_4]SO_4 + 4H_2O$$

4) Пропускание сероводорода:

$$[Zn(NH_3)_4]SO_4 + 2H_2S \rightarrow \underset{\text{осадок } \mathbf{Y}}{ZnS\downarrow} + (NH_4)_2SO_4 + (NH_4)_2S$$

Получение безводного $AlCl_3$:

$$2Al(OH)_3 \xrightarrow{t} Al_2O_3 + 3H_2O$$

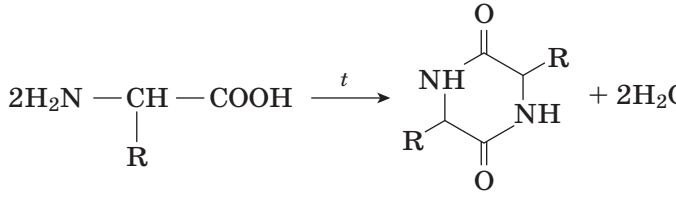
$$Al_2O_3 + 3C + 3Cl_2 \xrightarrow{t} 2AlCl_3 + 3CO\uparrow$$

Получение металлического цинка:

$$2ZnS + 3O_2 \xrightarrow{t} 2ZnO + 2SO_2\uparrow$$

$$ZnO + C \xrightarrow{t} Zn + CO\uparrow$$

9. При нагревании аминокислоты протекает следующая реакция:



При нагревании выделился водяной пар.

$$\nu(H_2O) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 5{,}58}{8{,}31 \cdot 453} = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(H_2O) = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = 13{,}35 : 0{,}15 = 89 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{R}) = 89 - 74 = 15 \text{ г/моль}$$

M(R) соответствует радикалу CH_3. Неизвестная аминокислота — аланин.

Ответ. Аланин.

10. Напишем уравнение реакции концентрированной азотной кислоты с сульфидом серебра.

$$Ag_2S + 10HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow 2AgNO_3 + H_2SO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$$

$$\nu(Ag_2S) = 24{,}8 : 248 = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$\nu(HNO_3) = \frac{79{,}7 \cdot 1{,}38 \cdot 0{,}63}{63} = 1{,}1 \text{ моль}$$

Азотная кислота в избытке, и после реакции в растворе остается 0,1 моль HNO_3. Еще в полученном растворе присутствуют 0,2 моль нитрата серебра и 0,1 моль серной кислоты, которые образовались в результате реакции.

$$m(\text{р-ра}) = 79{,}7 \cdot 1{,}38 + 24{,}8 - 0{,}8 \cdot 46 = 98 \text{ г}$$

Электролизу подвергался раствор массой 98 + 500 = 598 г.

$$\underset{\text{на катоде}}{4AgNO_3 + 2H_2O \rightarrow 4Ag\downarrow} + \underset{\text{на аноде}}{4HNO_3 + O_2\uparrow}$$

При полном электролитическом разложении 0,2 моль нитрата серебра на катоде выделяется серебро, масса которого:

$$m(Ag) = 0{,}2 \cdot 108 = 21{,}6 \text{ г}$$

а на аноде выделяется кислород, объем которого:

$$V(O_2) = \frac{0{,}05 \cdot 8{,}31 \cdot 293}{101{,}3} = 1{,}2 \text{ л}$$

По условию, на аноде выделилось на (1,68 − 1,2) = 0,48 л кислорода больше. Значит, после полного разложения соли при дальнейшем электролизе происходило разложение воды по реакции:

$$\underset{\text{на катоде}}{H_2O \rightarrow H_2} + \underset{\text{на аноде}}{0{,}5O_2}$$

$$\nu(O_2) = \frac{0{,}48 \cdot 101{,}3}{8{,}314 \cdot 293} = 0{,}02 \text{ моль}$$

Согласно уравнению реакции, разложению подверглось 0,04 моль воды. Масса раствора после электролиза:

$$m(\text{р-ра}) = 598 - 21{,}6 - 0{,}05 \cdot 32 - 0{,}04 \cdot 18 = 574{,}1 \text{ г}$$

После электролиза в растворе содержится (0,1 + 0,2) = 0,3 моль азотной кислоты и 0,1 моль серной кислоты.

$$\omega(HNO_3) = \frac{0{,}3 \cdot 63}{574{,}1} = 0{,}0329, \text{ или } 3{,}29\%$$

$$\omega(H_2SO_4) = \frac{0{,}1 \cdot 98}{574{,}1} = 0{,}0171, \text{ или } 1{,}71\%$$

Сильная азотная кислота диссоциирована полностью, серная кислота полностью диссоциирована по первой ступени (в кислом растворе ее диссоциацией по второй ступени можно пренебречь).

$$\nu(H^+) = 0{,}3 + 0{,}1 = 0{,}4 \text{ моль}$$

$$c(H^+) = \frac{0{,}4 \cdot 1{,}01 \cdot 1000}{574{,}1} = 0{,}70 \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg(H^+) = 0{,}15$$

Ответ. pH = 0,15.

НОЯБРЬ-2

1. Приведем один из возможных вариантов ответа:
H_2SO_4, степень окисления серы +6,
H_2S, степень окисления серы −2.

2. Приведем один из возможных вариантов ответа:

$$PCl_3 + 3H_2O \rightarrow 3HCl + H_3PO_3$$

3. Плотность газа прямо пропорциональна молярной массе:

$$\rho = \frac{pM}{RT}$$

Второй член гомологического ряда предельных аминов — этиламин $C_2H_5NH_2$ (молярная масса 45 г/моль), четвертый член гомологического ряда алканов — бутан C_4H_{10} (молярная масса 58 г/моль). Подходит простое вещество озон O_3 (48 г/моль).

Ответ. O_3.

4. Пусть элемент **A** содержит $1{,}5x$ протонов, тогда элемент **B** содержит x протонов. В результате реакции образуется соединение $\mathbf{A}_m\mathbf{B}_n$, в котором, по условию: $1{,}5xm = xn$, $n = 1{,}5m$. Формула соединения $\mathbf{A}_2\mathbf{B}_3$. Подходит Cr_2S_3: Cr — 24 протона, S — 16 протонов.

$$2Cr + 3S \xrightarrow{t} Cr_2S_3$$

Ответ. Cr_2S_3.

5. Количество углеводорода C_xH_y:

$$\nu(C_xH_y) = \frac{pV}{RT} = 0{,}35 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{атомов}) = N/N_A = \frac{2{,}5284 \cdot 10^{24}}{6{,}02 \cdot 10^{23}} = 4{,}2 \text{ моль}$$

Таким образом, в 0,35 моль C_xH_y содержится 4,2 моль атомов C и H; в 1 моль C_xH_y 12 моль атомов. Значит, в молекуле углеводорода C_xH_y 12 атомов; $x + y = 12$.

Подбор дает следующие варианты: C_4H_8 (бутен, циклобутан) или C_6H_6 (бензол).

Ответ. C_4H_8 или C_6H_6.

6. Выразим константу равновесия реакции через парциальные давления веществ **A**, **B** и **C**.

$$K_p = \frac{p(\mathbf{B}) \cdot p(\mathbf{C})}{p(\mathbf{A})}$$

Далее выразим парциальные давления веществ (p — общее давление) и мольные доли веществ $\chi(\mathbf{A})$, $\chi(\mathbf{B})$ и $\chi(\mathbf{C})$ (ν — общее число молей веществ):

$$p(\mathbf{A}) = \chi(\mathbf{A}) \cdot p$$

$$p(\mathbf{B}) = \chi(\mathbf{B}) \cdot p$$

$$p(\mathbf{C}) = \chi(\mathbf{C}) \cdot p$$

$$\chi(\mathbf{A}) = \frac{\nu(\mathbf{A})}{\nu}$$

$$\chi(\mathbf{B}) = \frac{\nu(\mathbf{B})}{\nu}$$

$$\chi(\mathbf{C}) = \frac{\nu(\mathbf{C})}{\nu}$$

$$K_p = \frac{p(\mathbf{B}) \cdot p(\mathbf{C})}{p(\mathbf{A})} = \frac{\chi(\mathbf{B}) \cdot p \cdot \chi(\mathbf{C}) \cdot p}{\chi(\mathbf{A}) \cdot p} = \frac{\frac{\nu(\mathbf{B})}{\nu} \cdot p \cdot \frac{\nu(\mathbf{C})}{\nu} \cdot p}{\frac{\nu(\mathbf{A})}{\nu} \cdot p} = \frac{\nu(\mathbf{B}) \cdot \nu(\mathbf{C}) \cdot p}{\nu(\mathbf{A}) \cdot \nu}$$

Общее число молей веществ:

$$\nu = \nu(\mathbf{A}) + \nu(\mathbf{B}) + \nu(\mathbf{C}) = 1 + 2 + 3 = 6 \text{ моль}$$

$$K_p = \frac{\nu(\mathbf{B}) \cdot \nu(\mathbf{C}) \cdot p}{\nu(\mathbf{A}) \cdot \nu} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 2}{1 \cdot 6} = 2 \text{ атм}$$

Пусть при изменении давления прореагировало y моль. Равновесное число молей веществ в новых условиях:

$$\nu(\mathbf{A}) = 1 + y,\ \nu(\mathbf{B}) = 2 - y,\ \nu(\mathbf{C}) = 3 - y$$

Общее число молей веществ в этих условиях:

$$\nu = \nu(\mathbf{A}) + \nu(\mathbf{B}) + \nu(\mathbf{C}) = 6 - y$$

$$K_p = \frac{\nu(\mathbf{B}) \cdot \nu(\mathbf{C}) \cdot p}{\nu(\mathbf{A}) \cdot \nu} = \frac{(2 - y)(3 - y) \cdot 3}{(1 + y)(6 - y)} = 2$$

Решаем квадратное уравнение.

$$y = 0{,}253 \text{ моль}$$

Равновесные количества веществ **A**, **B** и **C**:

$$\nu(\mathbf{A}) = 1{,}253 \text{ моль},\ \nu(\mathbf{B}) = 1{,}747 \text{ моль},\ \nu(\mathbf{C}) = 2{,}747 \text{ моль}$$

Ответ. 1,253 моль **A**, 1,747 моль **B**, 2,747 моль **C**.

7. Приведем один из вариантов ответа.

1) $5CH_3CH_2CH_2OH + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 5CH_3CH_2COOH + 4MnSO_4 + 2K_2SO_4 + 11H_2O$

2) $CH_3CH_2COOH + NaOH \rightarrow CH_3CH_2COONa + H_2O$

3) $CH_3CH_2COONa + NaOH \xrightarrow{t} C_2H_6\uparrow + Na_2CO_3$

4) $C_2H_6 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3CH_2Br + HBr$

5) $2CH_3CH_2Br + 2Na \rightarrow CH_3CH_2CH_2CH_3 + 2NaBr$

6) $2CH_3CH_2COONa + 2H_2O \xrightarrow{\text{эл.ток}}$
$\rightarrow CH_3CH_2CH_2CH_3 + 2NaOH + 2CO_2 + H_2$

Ответ. **X** — C_2H_5COONa, **Y** — C_2H_5Br.

8. 1) Сплавление:

$$2Cr_2O_3 + 8KOH(т) + 3O_2 \xrightarrow{t} 4K_2CrO_4 + 4H_2O$$

$$SiO_2 + 2KOH(т) \xrightarrow{t} K_2SiO_3 + H_2O$$

2) При растворении в воде хром и кремний в щелочном растворе присутствуют в виде K_2CrO_4 и K_2SiO_3; при последующей обработке 20%-м раствором H_2SO_4:

$$2K_2CrO_4 + H_2SO_4 \rightarrow K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$$

$$\underset{\text{осадок } \mathbf{X}}{K_2SiO_3 + H_2SO_4 \rightarrow SiO_2 \cdot H_2O\downarrow} + K_2SO_4$$

3) Пропускание SO_2:

$$K_2Cr_2O_7 + 3SO_2 + H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + H_2O$$

4) Добавление раствора K_2CO_3:

$$\underset{\text{осадок } \mathbf{Y}}{Cr_2(SO_4)_3 + 3K_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow} + 3CO_2\uparrow + 3K_2SO_4$$

Получение SiH_4:

$$SiO_2 \cdot H_2O \xrightarrow{t} SiO_2 + H_2O\uparrow$$

$$SiO_2 + 2C + 2Cl_2 \xrightarrow{t} SiCl_4 + 2CO\uparrow$$

$$SiCl_4 + LiAlH_4 \xrightarrow{\text{эфир}} SiH_4 + LiCl + AlCl_3$$

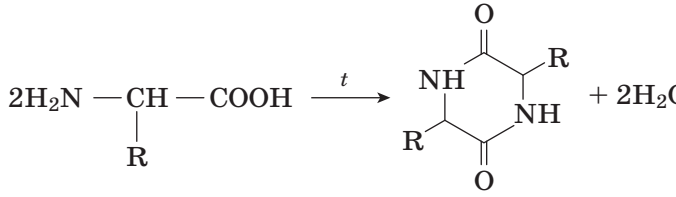
Получение безводного $CrCl_3$:

$$2Cr(OH)_3 \xrightarrow{t} Cr_2O_3 + 3H_2O$$

$$Cr_2O_3 + 2Al \xrightarrow{t} Al_2O_3 + 2Cr$$

$$2Cr + 3Cl_2 \xrightarrow{t} CrCl_3$$

9. При нагревании аминокислоты протекает следующая реакция:



При нагревании выделился водяной пар.

$$\nu(H_2O) = \frac{101{,}3 \cdot 1{,}86}{8{,}314 \cdot 453} = 0{,}05 \text{ моль}$$

Количество воды (в молях) равно количеству аминокислоты:

$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(H_2O) = 0{,}05 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{8{,}25}{0{,}05} = 165 \text{ г/моль}$$

$$M(R) = 165 - 74 = 91 \text{ г/моль}$$

$M(R)$ соответствует радикалу $C_6H_5—CH_2$. Неизвестная аминокислота — фенилаланин.

Ответ. Фенилаланин.

10. Напишем уравнение реакции концентрированной азотной кислоты с сульфидом меди.

$$CuS + 10HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + H_2SO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$$

$$\nu(CuS) = \frac{14{,}4}{96} = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$\nu(HNO_3) = \frac{123{,}2 \cdot 1{,}38 \cdot 0{,}63}{63} = 1{,}7 \text{ моль}$$

Азотная кислота в избытке, и после реакции $(1{,}7 - 1{,}5) = 0{,}2$ моль HNO_3 остается в растворе. Еще в этом растворе содержатся 0,15 моль нитрата меди и 0,15 моль серной кислоты.

$$m(\text{р-ра}) = 123{,}2 \cdot 1{,}38 + 14{,}4 - 1{,}2 \cdot 46 = 129{,}2 \text{ г}$$

Электролизу подвергается раствор массой $129{,}2 + 550 = 679{,}2$ г. Газы на катоде и аноде выделяются в результате следующих процессов:

1) $2Cu(NO_3)_2 + 2H_2O \rightarrow 2Cu + 4HNO_3 + O_2\uparrow$

		на катоде		на аноде
0,15 моль				0,075

2) $H_2O \rightarrow H_2 + 0{,}5O_2$

		на катоде		на аноде
x моль		x		$0{,}5x$

По условию, $\nu(O_2) = \nu(H_2)$.

$$0{,}075 + 0{,}5x = x$$

$$x = 0{,}15 \text{ моль}$$

При полном электролитическом разложении 0,15 моль нитрата меди на катоде выделяется $0{,}15 \cdot 64 = 9{,}6$ г меди. На аноде при этом выделяется 0,075 моль O_2. Далее разлагается 0,15 моль воды. Масса раствора после электролиза:

$$m(\text{р-ра}) = 679{,}2 - 9{,}6 - 0{,}075 \cdot 32 - 0{,}15 \cdot 18 = 664{,}5 \text{ г}$$

После электролиза в растворе содержится $(0{,}2 + 0{,}3) = 0{,}5$ моль азотной кислоты и 0,15 моль серной кислоты.

$$\omega(HNO_3) = \frac{0{,}5 \cdot 63}{664{,}5} = 0{,}0474, \text{ или } 4{,}74\%$$

$$\omega(H_2SO_4) = \frac{0{,}15 \cdot 98}{664{,}5} = 0{,}0221, \text{ или } 2{,}21\%$$

Сильная азотная кислота диссоциирована полностью, серная кислота полностью диссоциирована по первой ступени (в кислом растворе ее диссоциацией по второй ступени можно пренебречь).

$$\nu(H^+) = 0{,}5 + 0{,}15 = 0{,}65 \text{ моль}$$

$$c(H^+) = \frac{0{,}65 \cdot 1{,}01 \cdot 1000}{664{,}5} = 0{,}99 \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg c(H^+) = 0{,}005$$

Ответ. pH = 0,005.

НОЯБРЬ-3

1. $O^{+2}F_2$, H_2O^{-2}.

2. Например:

$$SO_2Cl_2 + 2H_2O \rightarrow 2HCl + H_2SO_4$$

$$SO_2 + Cl_2 + 2H_2O \rightarrow 2HCl + H_2SO_4$$

3. O_2 и F_2.

4. Cr_2O_3.

5. C_5H_{10} или C_7H_8.

6. 1,517 моль **D**, 2,517 моль **E**, 4,483 моль **F**.

7. **X** — $(CH_3)_2CHBr$, **Y** — $(CH_3)_2CHCOOMgBr$.

8. **X** — смесь CuS и S, **Y** — $Fe(OH)_3$.

9. Глицин.

10. pH = 0,04.

НОЯБРЬ-4

1. $Na_2Cr_2^{+6}O_7$, Cr^0.

2. Например:

$$PBr_5 + 4H_2O \rightarrow 5HBr + H_3PO_4$$

$$POBr_3 + 3H_2O \rightarrow 3HBr + H_3PO_4$$

3. O_3, F_2 или Ar.

4. SO_3.

5. C_4H_6 или C_6H_4.

6. 2,421 моль **D**, 2,579 моль **E**, 3,579 моль **F**.

7. **X** — CH_3Br, **Y** — $CH_3COOMgBr$.

8. **X** — $Al(OH)_3$, **Y** — MnO_2.

9. Лейцин или изолейцин.

10. pH = 0.

ДЕКАБРЬ-1

1. Ацетилен C_2H_2 — неполярная молекула: при неполярной связи C≡≡C дипольные моменты малополярных связей C—H компенсируют друг друга, атомы углерода находятся в *sp*-гибридизации.

HBr — полярная молекула: связь H—Br образуется между атомами элементов с различной электроотрицательностью.

BCl_3 — неполярная молекула: атом бора находится в sp^2-гибридизации, дипольные моменты полярных связей B—Cl компенсируют друг друга. CH_3NH_2 — полярная молекула: полярность обусловлена дипольным моментом связи C—N.

2. Пусть x — число протонов в атоме, число электронов также x (атом электронейтрален). По условию, число нейтронов (x + 11).

$$x + x + x + 11 = 134$$

$$3x = 123$$

$$x = 41$$

Это атом элемента ниобия $^{93}_{41}Nb$.

Ответ. Ниобий $^{93}_{41}Nb$.

3. Исходные количества веществ:

$$m(H_2O) = V \cdot \rho = 500 \cdot 1 = 500 \text{ г}$$

$$\nu(NaOH) = \frac{m}{M} = \frac{10}{40} = 0{,}25 \text{ моль}$$

$$\nu(NaHSO_4) = \frac{6}{120} = 0{,}05 \text{ моль}$$

$$\nu(Na_2SO_4) = \frac{5}{142} = 0{,}035 \text{ моль}$$

$$NaOH + NaHSO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$$

По окончании реакции в растворе отсутствует гидросульфат.

$$\nu(NaOH) = 0{,}25 - 0{,}05 = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$\nu(Na_2SO_4) = 0{,}035 + 0{,}05 = 0{,}085 \text{ моль}$$

$$m(NaOH) = 0{,}2 \cdot 40 = 8 \text{ г}$$

$$m(Na_2SO_4) = 0{,}085 \cdot 142 = 12{,}07 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра}) = 500 + 10 + 5 + 6 = 521 \text{ г}$$

$$\omega(NaOH) = \frac{8}{521} = 0{,}015, \text{ или } 1{,}5\%$$

$$\omega(Na_2SO_4) = \frac{12{,}07}{521} = 0{,}023, \text{ или } 2{,}3\%$$

Ответ. 5% NaOH, 2,3% Na_2SO_4.

4. Определим среднюю молярную массу газовой смеси.

$$M = D \cdot M(CH_4) = 1{,}875 \cdot 16 = 30 \text{ г/моль}$$

При пропускании смеси через раствор перманганата калия меняется объем газа и образуется осадок; это указывает на реакцию с перманганатом калия, в которой восстановительные свойства проявляет один из компонентов газовой смеси. То, что молярная масса газа остается той же, указывает на тот факт, что молярные массы компонентов газовой смеси равны. Молярную массу 30 г/моль имеют газы C_2H_6 (не реагирует с перманганатом калия) и HCHO (восстановитель).

$$3HCHO + 4KMnO_4 \rightarrow 4MnO_2\downarrow + 2KHCO_3 + K_2CO_3 + 2H_2O$$

По условию, при пропускании в раствор перманганата объем газа уменьшается в 2 раза. Это означает, что объем C_2H_6 такой же, как объем HCHO, т. е. в исходной смеси объемные и мольные доли каждого газа 50%.

Итак, если изначально было $\frac{44,8}{22,4} = 2$ моль газовой смеси, каждого газа в ней по 1 моль. При взаимодействии 1 моль формальдегида образуется $\frac{4 \cdot 1}{3} = 1,33$ моль оксида марганца(IV):

$$m(MnO_2) = 1,33 \cdot 87 = 116 \text{ г}$$

Ответ. 50% C_2H_6, 50% HCHO, 116 г.

5. Напишем уравнения реакций сгорания компонентов смеси и реакцию поглощения углекислого газа известковой водой.

$$CH_4 + 2O_2 \to CO_2 + 2H_2O$$

$$C_2H_6 + 3,5O_2 \to 2CO_2 + 3H_2O$$

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \to CaCO_3\downarrow + H_2O$$

Пусть x моль — количество метана, y моль — количество этана; общее количество газовой смеси:

$$\nu(\text{смеси}) = x + y = \frac{pV}{RT} = \frac{101,3 \cdot 7,33}{8,314 \cdot 298} = 0,3 \text{ моль}$$

Количество $CaCO_3$:

$$\nu(CaCO_3) = \nu(CO_2) = x + 2y = \frac{50}{100} = 0,5 \text{ моль}$$

$$x = 0,1 \text{ (моль)}, \; y = 0,2 \text{ (моль)}$$

Теплота сгорания метана:

$$Q_{\text{сгор}}(CH_4) = Q_{\text{обр}}(CO_2) + 2Q_{\text{обр}}(H_2O) - Q_{\text{обр}}(CH_4) =$$

$$= 393,50 + 2 \cdot 241,83 - 74,85 = 802,31 \text{ кДж/моль}$$

Теплота сгорания этана:

$$Q_{\text{сгор}}(C_2H_6) = 2Q_{\text{обр}}(CO_2) + 3Q_{\text{обр}}(H_2O) - Q_{\text{обр}}(C_2H_6) =$$

$$= 2 \cdot 393,50 + 3 \cdot 241,83 - 84,67 = 1427,82 \text{ кДж/моль}$$

Тогда при сгорании смеси:

$$Q = 0,1 \cdot Q_{\text{сгор}}(CH_4) + 0,2 \cdot Q_{\text{сгор}}(C_2H_6) =$$

$$= 0,1 \cdot 802,31 + 0,2 \cdot 1427,82 = 365,80 \text{ кДж}$$

Ответ. 365,8 кДж.

6. При нагревании аммиака протекает реакция:

$$2NH_3 \rightleftarrows N_2 + 3H_2$$

В результате реакции общая масса не изменилась, а число молей увеличилось. По условию, $\rho_1 = \rho_2 \cdot 1{,}2$. После реакции температура и давление такие же, как и до реакции, поэтому количества веществ до (ν_1) и после (ν_2) реакции связаны следующим образом:

$$\nu_2 = 1{,}2\nu_1$$

Пусть до реакции был 1 моль аммиака, x моль разложилось.

$$\nu_{ост}(NH_3) = 1 - x,\ \nu(N_2) = 0{,}5x,\ \nu(H_2) = 1{,}5x$$

$$\nu_2 = 1 - x + 0{,}5x + 1{,}5x = 1 + x = 1{,}2$$

$$x = 0{,}2$$

Итак, степень разложения 20%. Мольные доли газов в полученной смеси:

$$\chi(NH_3) = (1 - 0{,}2) : 1{,}2 = 0{,}667$$

$$\chi(N_2) = 0{,}1 : 1{,}2 = 0{,}083$$

$$\chi(H_2) = 0{,}3 : 1{,}2 = 0{,}25$$

Ответ. Степень разложения 20%; 66,7% NH_3, 8,3% N_2, 25% H_2.

7. 1) $MnO_2 + 4HCl \rightarrow MnCl_2 + Cl_2 + 2H_2O$

или

$2KMnO_4 + 16HCl \rightarrow 2MnCl_2 + 5Cl_2\uparrow + 2KCl + 8H_2O$

2) $Cl_2 + Ca(OH)_2 \xrightarrow{\text{охлаждение}} CaOCl_2 + H_2O$

3) $CaOCl_2 + H_2SO_4(\text{р-р}) \rightarrow CaSO_4 + Cl_2\uparrow + H_2O$

4) $3Cl_2 + 2Fe \xrightarrow{t} 2FeCl_3$

5) $2FeCl_3 + 3Na_2S + 6H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow + 6NaCl$

6) $NaCl + 3H_2O \xrightarrow{\text{электролиз (без диафрагмы)}} NaClO_3 + 3H_2$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — Cl_2, $\mathbf{X_2}$ — $FeCl_3$, $\mathbf{X_3}$ — NaCl.

8. Схема реакции хлорирования пропана:

$$CH_3CH_2CH_3 \xrightarrow{Cl_2} \underset{40\%}{ClCH_2CH_2CH_3} + \underset{60\%}{CH_3CHClCH_3}$$

Относительную скорость замещения атомов водорода при первичном и вторичном атомах углерода можно вычислить, разделив количество продукта на число атомов водорода в этом продукте:

$$r_{перв} = 40\% : 6H = 6{,}67\%$$

$$r_{втор} = 60\% : 2H = 30\%$$

$$r_{втор}/r_{перв} = 30 : 6{,}67 = 4{,}5$$

Схема реакции хлорирования метилпропана:

$$(CH_3)_2CHCH_3 \xrightarrow{Cl_2} \underset{60\%}{ClCH_2CH(CH_3)_2} + \underset{40\%}{CH_3CCl(CH_3)_2}$$

$$r_{перв} = 60\% : 9\text{H} = 6{,}67\%$$

$$r_{трет} = 40\% : 1\text{H} = 40\%$$

$$r_{трет}/r_{перв} = 40 : 6{,}67 = 6{,}0$$

При хлорировании 2-метилбутана образуются четыре монохлорпроизводных: 2-метил-2-хлорбутан (продукт замещения у третичного атома углерода), 2-метил-3-хлорбутан (продукт замещения у вторичного атома углерода), 2-метил-1-хлорбутан и 3-метил-1-хлорбутан (два продукта замещения у первичного атома углерода). В следующей схеме реакции хлорирования продукты указаны в этом же порядке их перечисления.

$$(CH_3)_2CHCH_2CH_3 \xrightarrow{Cl_2} (CH_3)_2CClCH_2CH_3 + (CH_3)_2CHCHClCH_3 + \\ + ClCH_2CH(CH_3)CH_2CH_3 + (CH_3)_2CHCH_2CH_2Cl$$

Молекула 2-метилбутана содержит один атом H при третичном углероде, два атома H при вторичном углероде и девять атомов H при первичных атомах углерода. Пусть скорость замещения у первичного атома углерода 1, тогда скорость замещения у вторичного атома углерода 4,5, скорость замещения у третичного атома углерода 6.

9 первичных атомов H × 1 = 9 (относительное количество продуктов замещения у первичных атомов C: две группы CH_3 связаны с CH-группой и одна группа CH_3 связана с CH_2-группой).

2 вторичных атома H × 4,5 = 9 (относительное количество продукта замещения у вторичного атома C).

1 третичный атом H × 6 = 6 (относительное количество продукта замещения у третичного атома C).

Доля 2-метил-2-хлорбутана: 6 : 24 = 0,25, или 25%; доля 2-метил-3-хлорбутана: 9 : 24 = 0,375, или 37,5%. На 2-метил-1-хлорбутан и 3-метил-1-хлорбутан приходится в сумме 37,5%. Следовательно, доля 2-метил-1-хлорбутана 25%, доля 3-метил-1-хлорбутана 12,5%.

Ответ. 25% 2-метил-2-хлорбутана, 37,5% 2-метил-3-хлорбутана, 25% 2-метил-1-хлорбутана, 12,5% 3-метил-1-хлорбутана.

9. Из качественного описания понятно, что исходный сульфид — это сульфид меди; необходимо определить, какой это сульфид — CuS или Cu_2S. Реакции обжига:

$$2CuS + 3O_2 \xrightarrow{t} 2CuO + 2SO_2\uparrow$$

$$Cu_2S + 2O_2 \xrightarrow{t} 2CuO + SO_2\uparrow$$

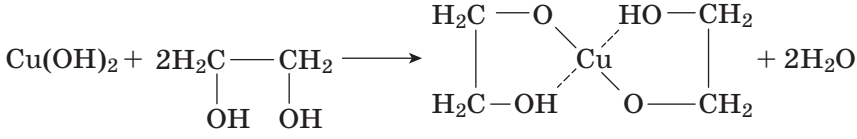
$$\nu(CuO) = \frac{4}{80} = 0{,}05 \text{ моль}$$

В случае CuS, масса сульфида $0{,}05 \cdot 96 = 4{,}8$ г, что отвечает условию. Уравнения реакций:

$$2CuS + 3O_2 \xrightarrow{t} 2CuO + 2SO_2\uparrow$$

$$CuO + 2HCl \rightarrow CuCl_2 + H_2O$$

$$CuCl_2 + 2NaOH \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow + 2NaCl$$



Ответ. CuO.

10. Пусть $C_nH_{2n}O_3$ — первый гомолог и $C_{n+1}H_{2n+2}O_3$ — второй гомолог. Поскольку в смеси массовая доля кислорода 0,5, то в первом гомологе содержание кислорода >0,5, во втором <0,5.

$$\frac{48}{14n + 48} > 0{,}5$$

$$\frac{48}{14n + 62} < 0{,}5$$

$$3{,}43 > n > 2{,}43$$

n — целое число, $n = 3$.

Первый гомолог — $HO(CH_2)_2COOH$, 3-гидроксипропионовая кислота, второй гомолог — $HO(CH_2)_3COOH$, 4-гидроксибутановая кислота. Пусть количества этих двух гомологов x и y моль. Тогда доля кислорода в смеси:

$$\frac{48x + 48y}{90x + 104y} = 0{,}5$$

$$y = 0{,}75x$$

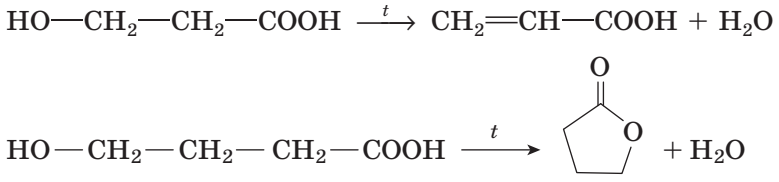
$$\begin{cases} 90x + 104y = 16{,}8 \\ y = 0{,}75x \end{cases}$$

$$x = 0{,}1 \text{ моль}, \; y = 0{,}075 \text{ моль}$$

$$\chi_1 = \frac{0{,}1}{0{,}175} = 0{,}5714, \text{ или } 57{,}14\%$$

$$\chi_2 = 0{,}4286, \text{ или } 42{,}86\%$$

При нагревании 3-гидроксипропионовой кислоты в результате дегидратации образуются акриловая кислота и вода, при нагревании 4-гидроксибутановой кислоты — циклический эфир γ-бутиролактон.



$$\nu(C_3H_4O_2) = 0{,}1 \text{ моль}; \qquad m(C_3H_4O_2) = 7{,}2 \text{ г}$$

$$\nu(C_4H_6O_2) = 0{,}075 \text{ моль}; \qquad m(C_4H_6O_2) = 6{,}45 \text{ г}$$

$$\nu(H_2O) = 0{,}175 \text{ моль}; \qquad m(H_2O) = 3{,}15 \text{ г}$$

Ответ. 57,14% $HO(CH_2)_2COOH$, 42,86% $HO(CH_2)_3COOH$, 7,2 г $C_3H_4O_2$, 6,45 г $C_4H_6O_2$, 3,15 г H_2O.

ДЕКАБРЬ-2

1. Этилен C_2H_4 — неполярная молекула: при неполярной связи C═C дипольные моменты малополярных связей C—H компенсируют друг друга (атомы углерода находятся в sp^2-гибридизации).

H_2O — полярная молекула: полярность обусловлена дипольным моментом связей O—H, которые расположены под углом, близким к 109° (атом кислорода находится в sp^3-гибридизации).

BF_3 — неполярная молекула: атом бора находится в sp^2-гибридизации, дипольные моменты полярных связей B—F компенсируют друг друга.

$(CH_3)_2NH$ — полярная молекула: полярность обусловлена дипольным моментом связей C—N, которые расположены под углом, близким к 109° (атом азота находится в sp^3-гибридизации).

2. Пусть x — число протонов в атоме, число электронов также x (атом электронейтрален). По условию, число нейтронов равно $(x + 11)$.

$$x + x + x + 11 = 128$$

$$3x = 117$$

$$x = 39$$

Это атом элемента иттрия $^{89}_{39}\mathrm{Y}$.

Ответ. Иттрий $^{89}_{39}\mathrm{Y}$.

3. Исходные количества веществ:

$$m(\mathrm{H_2O}) = V \cdot \rho = 200 \cdot 1 = 200 \text{ г}$$

$$\nu(\mathrm{Na_3PO_4}) = \frac{m}{M} = \frac{3}{164} = 0{,}018 \text{ моль}$$

$$\nu(\mathrm{Na_2HPO_4}) = \frac{5}{142} = 0{,}035 \text{ моль}$$

$$\nu(\mathrm{NaH_2PO_4}) = \frac{7}{120} = 0{,}058 \text{ моль}$$

$$\mathrm{Na_3PO_4 + NaH_2PO_4 \rightarrow 2Na_2HPO_4}$$

По окончании реакции фосфат натрия полностью израсходован.

$$\nu(\mathrm{NaH_2PO_4}) = 0{,}058 - 0{,}018 = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$\nu(\mathrm{Na_2HPO_4}) = 0{,}035 + 0{,}018 \cdot 2 = 0{,}071 \text{ моль}$$

$$m(\mathrm{NaH_2PO_4}) = 0{,}04 \cdot 120 = 4{,}8 \text{ г}$$

$$m(\mathrm{Na_2HPO_4}) = 0{,}071 \cdot 142 = 10{,}08 \text{ г}$$

$$m(\text{р-ра}) = 200 + 3 + 5 + 7 = 215 \text{ г}$$

$$\omega(\mathrm{NaH_2PO_4}) = \frac{4{,}8}{215} = 0{,}022, \text{ или } 2{,}2\%$$

$$\omega(\mathrm{Na_2HPO_4}) = \frac{10{,}08}{215} = 0{,}047, \text{ или } 4{,}7\%$$

Ответ. 2,2% $\mathrm{NaH_2PO_4}$, 4,7% $\mathrm{Na_2HPO_4}$.

4. Определим среднюю молярную массу газовой смеси.

$$M = D_{\mathrm{H_2}} \cdot M(\mathrm{H_2}) = 22 \cdot 2 = 44 \text{ г/моль}$$

При пропускании газовой смеси через раствор манганата(VI) калия меняется объем газа и образуется осадок; это указывает на реакцию газа с манганатом. Возможна этот газ—восстановитель или он создает в растворе кислую среду, что приводит к диспропорционированию манганата(VI). То, что плотность газа не меняется, указывает на равенство молярных масс компонентов газовой смеси. Молярную массу 44 г/моль имеют $\mathrm{CO_2}$ и $\mathrm{C_3H_8}$. Углекислый газ вызывает диспропорционирование манганата(VI) калия, а пропан $\mathrm{C_3H_8}$ с водным раствором манганата не реагирует.

$$\mathrm{2CO_2 + 3K_2MnO_4 \rightarrow MnO_2\downarrow + 2KMnO_4 + 2K_2CO_3}$$

По условию, при пропускании в раствор манганита объем газа уменьшается в 3 раза. Это означает, что исходный объем был в 3 раза больше объема C_3H_8, а объем пропана в 2 раза меньше объема CO_2, т. е. в исходной смеси объемные и мольные доли C_3H_8 и CO_2 33,3 и 66,7% соответственно.

По условию, образовалось 10 г осадка. Отсюда

$$\frac{10 \cdot 1}{87} = 0{,}115 \text{ моль } MnO_2$$

$$2 \cdot 0{,}115 = 0{,}23 \text{ моль } CO_2$$

Количество пропана в 2 раза меньше количества диоксида углерода, т. е. 0,115 моль.

Общее количество исходных газов 0,115 + 0,23 = 0,345 моль, которые занимают объем (н. у.):

$$V = 0{,}345 \cdot 22{,}4 = 7{,}73 \text{ л}$$

Ответ. 33,3% C_3H_8, 66,7% CO_2, 7,73 л.

5. $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

$C_2H_6 + 3{,}5O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$

$$Q_{\text{сгор}}(CH_4) = Q_{\text{обр}}(CO_2) + 2Q_{\text{обр}}(H_2O) - Q_{\text{обр}}(CH_4) =$$

$$= 393{,}50 + 2 \cdot 241{,}83 - 74{,}85 = 802{,}31 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_{\text{сгор}}(C_2H_6) = 2Q_{\text{обр}}(CO_2) + 3Q_{\text{обр}}(H_2O) - Q_{\text{обр}}(C_2H_6) =$$

$$= 2 \cdot 393{,}50 + 3 \cdot 241{,}83 - 84{,}67 = 1427{,}82 \text{ кДж/моль}$$

Пусть x моль — количество метана, y моль — количество этана. При сгорании смеси выделяется теплота.

$$Q = x \cdot Q_{\text{сгор}}(CH_4) + y \cdot Q_{\text{сгор}}(C_2H_6) = 802{,}31x + 1427{,}82y = 446{,}03 \text{ кДж}$$

Масса хлоркальциевой трубки увеличилась из-за поглощения воды. Количество поглощенной воды:

$$\nu(H_2O) = 2x + 3y = 18 : 18 = 1 \text{ моль}$$

$x = 0{,}2$ моль, $y = 0{,}2$ моль. Объем смеси:

$$V = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0{,}4 \cdot 8{,}314 \cdot 298}{101{,}3} = 9{,}77 \text{ л}$$

Ответ. 0,2 моль метана и 0,2 моль этана; 9,77 л.

6. При нагревании сероводорода идет реакция:

$$H_2S \rightleftarrows H_2 + S\downarrow$$

В результате реакции число молей не изменилось, но масса газовой смеси после охлаждения стала меньше — произошла конденсация серы. После реакции температура и давление такие же, как и до реакции. По условию, $\rho_1 = 3{,}4\rho_2$.

$$m_1 = 3{,}4m_2$$

Пусть до реакции был 1 моль сероводорода, масса которого $m_1 = 34$ г. После реакции масса газов $m_2 = 10$ г. $\Delta m = 34 - 10 = 24$ г — это масса осажденной серы.

$$\nu(S) = \frac{24}{32} = 0{,}75 \text{ моль}$$

Итак, разложилось 0,75 моль H_2S. В конечной газовой смеси: 0,75 моль (75%) H_2 и 0,25 моль (25%) H_2S.

Ответ. Степень разложения — 75%, состав конечной смеси: 75% H_2, 25% H_2S.

7. 1) $2H_2S + O_2(\text{недост.}) \xrightarrow{t} 2S + 2H_2O$

2) $S + Na_2SO_3(\text{р-р}) \xrightarrow{\text{кипячение}} Na_2S_2O_3$

3) $Na_2S_2O_3 + 2HCl(\text{р-р}) \to 2NaCl + SO_2 + S + H_2O$

4) $5SO_2 + 2KMnO_4 + 2H_2O \to 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 2H_2SO_4$

5) $K_2SO_4(\text{т}) + 4C \xrightarrow{t} K_2S + 4CO\uparrow$

или

$K_2SO_4(\text{т}) + 4H_2 \xrightarrow{t} K_2S + 4H_2O\uparrow$

или

$K_2SO_4 + BaS(\text{р-р}) \to BaSO_4\downarrow + K_2S$

6) $3K_2S + Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \to 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow + 3K_2SO_4$

Ответ. $\mathbf{X_1}$ — S, $\mathbf{X_2}$ — $Na_2S_2O_3$, $\mathbf{X_3}$ — K_2SO_4.

8. Схема реакции хлорирования пропана:

$$CH_3CH_2CH_3 \xrightarrow{Cl_2} \underset{40\%}{ClCH_2CH_2CH_3} + \underset{60\%}{CH_3CHClCH_3}$$

Относительную скорость замещения атомов водорода при первичном и вторичном атомах углерода можно вычислить, разделив количество продукта на число атомов водорода в этом продукте:

$$r_{\text{перв}} = 40\% : 6\text{H} = 6{,}67\%$$

$$r_{\text{втор}} = 60\% : 2\text{H} = 30\%$$

$$r_{\text{втор}}/r_{\text{перв}} = 30 : 6{,}67 = 4{,}5$$

Схема реакции хлорирования метилпропана:

$$(CH_3)_2CHCH_3 \xrightarrow{Cl_2} \underset{60\%}{ClCH_2CH(CH_3)_2} + \underset{40\%}{CH_3CCl(CH_3)_2}$$

$$r_{перв} = 60\% : 9H = 6{,}67\%$$

$$r_{трет} = 40\% : 1H = 40\%$$

$$r_{трет}/r_{перв} = 40 : 6{,}67 = 6{,}0$$

При хлорировании 3-метилпентана образуются четыре монохлорпроизводных: 3-метил-3-хлорпентан (замещение у третичного атома углерода), 3-метил-2-хлорпентан (продукт замещения у вторичного атома углерода), 3-метил-1-хлорпентан и 3-хлорметил-пентан (два продукта замещения у первичного атома углерода). На следующей схеме реакции хлорирования продукты указаны в том же порядке, как они перечислены выше:

$$CH_3CH_2CH(CH_3)CH_2CH_3 \xrightarrow{Cl_2}$$

$$\rightarrow CH_3CH_2CCl(CH_3)CH_2CH_3 + CH_3CHClCH(CH_3)CH_2CH_3 +$$

$$+ ClCH_2CH_2CH(CH_3)CH_2CH_3 + CH_3CH_2CH(CH_2Cl)CH_2CH_3$$

Молекула 3-метилпентана содержит один атом H при третичном углероде, четыре атома H при вторичном углероде и девять атомов H при первичных атомах углерода. Пусть скорость замещения у первичного атома углерода 1, тогда скорость замещения у вторичного атома углерода 4,5, скорость замещения у третичного атома углерода 6.

9 первичных атомов H × 1 = 9 (относительное количество продуктов замещения у первичных атомов C: две группы CH_3 связаны с CH_2-группами и одна группа CH_3 связана с CH-группой).

4 вторичных атома H × 4,5 = 18 (относительное количество продукта замещения у вторичного атома C).

1 третичный атом H × 6 = 6 (относительное количество продукта замещения у третичного атома C).

Доля 3-метил-3-хлорпентана: 6 : 33 = 0,1818, или 18,18%; доля 3-метил-2-хлорпентана: 18 : 33 = 0,5455, или 54,55%. На 3-метил-1-хлорпентан и 3-хлорметилпентан приходится в сумме 27,27%. Следовательно, доля 3-метил-1-хлорпентана 18,18%, доля 3-хлорметилпентана 9,09%.

Ответ. 18,18% 3-метил-3-хлорпентана,
54,55% 3-метил-2-хлорпентана,
18,18% 3-метил-1-хлорпентана,
9,09% 3-хлорметилпентана.

9. Из качественного описания понятно, что исходный сульфид — это сульфид серебра. Реакция обжига:

$$Ag_2S + O_2 \xrightarrow{t} 2Ag + SO_2\uparrow$$

Подтвердим предположение расчетом:

$$\nu(Ag) = 32{,}4 : 108 = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$m(Ag_2S) = 0{,}3 \cdot 248 : 2 = 37{,}2 \text{ г}$$

Этот результат совпадает с условием. Уравнения реакций:

$$Ag + 2HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow AgNO_3 + NO_2 + H_2O$$

$$2AgNO_3 + 2NaOH \rightarrow Ag_2O + 2NaNO_3 + H_2O$$

$$Ag_2O + 4NH_3 \cdot H_2O \rightarrow 2[Ag(NH_3)_2](OH) + 3H_2O$$

$$2[Ag(NH_3)_2]OH + CH_3CHO \rightarrow 2Ag + CH_3COONH_4 + 3NH_3 + H_2O$$

10. Пусть $C_nH_{2n}O_3$ — первый гомолог и $C_{n+1}H_{2n+2}O_3$ — второй гомолог. Поскольку в смеси массовая доля кислорода 0,45, то в первом гомологе содержание кислорода $>0{,}45$, во втором $<0{,}45$:

$$\frac{48}{14n + 48} > 0{,}45$$

$$\frac{48}{14n + 62} < 0{,}45$$

$$4{,}19 > n > 3{,}19$$

n — целое число, $n = 4$.

Первый гомолог — 4-гидроксибутановая кислота $HO(CH_2)_3COOH$, второй гомолог — 5-гидроксипентановая кислота $HO(CH_2)_4COOH$. Пусть количества гомологов x и y моль. Доля кислорода в смеси:

$$\frac{48x + 48y}{90x + 104y} = 0{,}45$$

$$x = 4{,}25y$$

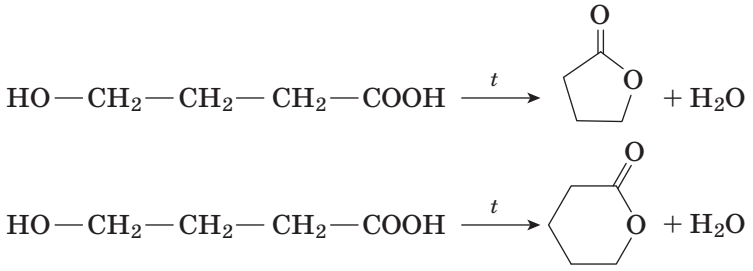
$$\begin{cases} 104x + 118y = 5{,}6 \\ x = 4{,}25y \end{cases}$$

$x = 0{,}0425$ (моль), $y = 0{,}01$ (моль)

$$\chi_1 = \frac{0{,}0425}{0{,}0525} = 0{,}8095, \text{ или } 80{,}95\%$$

$$\chi_2 = 0{,}1905, \text{ или } 19{,}05\%$$

При нагревании 4-гидроксибутановой и 5-гидроксипентановой кислот в результате дегидратации образуются циклические эфиры γ-бутиролактон и δ-валеролактон.



$\nu(C_4H_6O_2) = 0{,}425$ моль, $m(C_4H_6O_2) = 3{,}655$ г

$\nu(C_5H_8O_2) = 0{,}01$ моль, $m(C_5H_8O_2) = 1{,}0$ г

$\nu(H_2O) = 0{,}0525$ моль, $m(H_2O) = 0{,}945$ г

Ответ. 80,95% $HO(CH_2)_3COOH$, 19,05% $HO(CH_2)_4COOH$; 1,0 г $C_5H_8O_2$, 3,655 г $C_4H_6O_2$ и 0,945 г H_2O.

ДЕКАБРЬ-3

1. C_2H_6 — неполярная молекула. PH_3 — полярная молекула. BBr_3 — неполярная молекула. CH_3COCH_3 — полярная молекула.

2. Рутений $^{101}_{44}Ru$.

3. 0,56% KOH, 30,28% K_2SO_3.

4. 75% C_2H_4 и 25% N_2; 8,24 л.

5. 641,27 кДж.

6. Степень разложения 75%, конечная смесь: $^6/_7H_2$, $^1/_7CH_4$.

7. $\mathbf{X_1}$ — KI, $\mathbf{X_2}$ — I_2, $\mathbf{X_3}$ — HIO_3.

1) $2KIO_3(т) \xrightarrow{t} 2KI + 3O_2\uparrow$

2) $2KI + Cl_2(недост.) \rightarrow I_2 + 2KCl$

или

$2KI + MnO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow MnSO_4 + K_2SO_4 + I_2 + 2H_2O$

или

$8KI + 9H_2SO_4(конц.) \rightarrow 4I_2 + 8KHSO_4 + H_2S + 4H_2O$

3) $I_2 + H_2S(р\text{-}р) \rightarrow 2HI + S$

или

$I_2 + SO_2 + 2H_2O \rightarrow 2HI + H_2SO_4$

или

$3I_2 + 2P + 6H_2O \rightarrow 6HI + 2H_3PO_3$

4) $5HI + KIO_3 + H_2SO_4(р\text{-}р) \rightarrow 3I_2 + KHSO_4 + 3H_2O$

5) $I_2 + 10HNO_3(конц.) \xrightarrow{t} 2HIO_3 + 10NO_2\uparrow + 4H_2O$

6) $HIO_3 + AgNO_3(р\text{-}р) \rightarrow AgIO_3\downarrow + HNO_3$

8. 18,18% 2-метил-2-хлорпентана, 27,27% 2-метил-3-хлорпентана, 27,27% 2-метил-4-хлорпентана, 18,18% 2-метил-1-хлорпентана, 9,09% 4-метил-1-хлорпентана.

9. FeS_2.

$$4FeS_2 + 11O_2 \xrightarrow{t} 2Fe_2O_3 + 8SO_2\uparrow$$

$$Fe_2O_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 3H_2O$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 2K_4[Fe(CN)_6] \rightarrow 2KFe[Fe(CN)_6] + 3K_2SO_4$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6NaOH \rightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3Na_2SO_4$$

10. 80,95% $HOOCCH_2COOH$, 19,05% $HOOC(CH_2)_2COOH$, 25,5 г CH_3COOH, 10,0 г $C_4H_4O_3$, 18,7 г CO_2, 1,8 г H_2O.

ДЕКАБРЬ-4

1. CS_2 — неполярная молекула; PBr_3 — полярная молекула; CCl_4 — неполярная молекула; CH_2O — полярная молекула.

2. Криптон $^{84}_{36}Kr$.

3. 0,38% NaOH и 4,2% Na_2CO_3.

4. 66,7% C_3H_4, 33,3% Ar, 703 г $KMnO_4$.

5. 9,77 л, 0,1 моль ацетилена и 0,3 моль этилена.

6. Степень разложения 50%; состав конечной смеси: 40% N_2O, 40% N_2 и 20% O_2.

7. $\mathbf{X_1}$ — HBr, $\mathbf{X_2}$ — Br_2, $\mathbf{X_3}$ — KBr.

1) $NaBr(т) + H_3PO_4(конц.) \xrightarrow{t} HBr + NaH_2PO_4$

2) $2HBr + H_2SO_4(конц.) \rightarrow Br_2 + SO_2 + 2H_2O$

3) $3Br_2 + 2Al \xrightarrow{\text{комнатная температура}} 2AlBr_3$

4) $2AlBr_3 + 3K_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 6KBr$

5) $6KBr + K_2Cr_2O_7 + 7H_2SO_4 \rightarrow 3Br_2 + Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + 7H_2O$

6) $3Br_2 + 6NaOH(р\text{-}р) \xrightarrow{t} 5NaBr + NaBrO_3 + 3H_2O$

8. 36,36% 2,4-диметил-2-хлорпентана, 27,27% 2,4-диметил-3-хлорпентана, 36,36% 2,4-диметил-1-хлорпентана.

9. Cu_2S.

$$Cu_2S + 2O_2 \xrightarrow{t} 2CuO + SO_2$$

$CuO + H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + H_2O$

$2CuSO_4 + 5NaOH + CH_3CHO \rightarrow$

$\rightarrow CH_3COONa + Cu_2O\downarrow + 2Na_2SO_4 + 3H_2O$

$CuSO_4 + 6NH_3 \cdot H_2O \rightarrow [Cu(NH_3)_4](OH)_2 + (NH_4)_2SO_4 + 4H_2O$

10. 28,57% $HOOC(CH_2)_2COOH$, 71,43% $HOOC(CH_2)_3COOH$; 10,0 г $C_4H_4O_3$, 28,5 г $C_5H_6O_3$, 6,3 г H_2O.

5–9 КЛАССЫ

1. В каждом случае есть несколько правильных ответов. Приведем по одному из возможному варианту ответа.

1) $2H_2O \xrightarrow{\text{эл.ток}} 2H_2 + O_2$
2) $CH_4 + H_2O \xrightarrow{t, Ni} CO + 3H_2$
3) $2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$
4) $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$
5) $2SO_3 + H_2O \rightarrow H_2S_2O_7$
6) $Cl_2O_7 + H_2O \rightarrow 2HClO_4$

2. Правильные ответы: 3, 4, 7, 9, 10. Периодический закон был открыт Д. И. Менделеевым, закон сохранения массы — М. В. Ломоносовым. Герман Иванович Гесс, автор известного закона Гесса, — академик Петербургской академии наук, российский ученый немецкого происхождения. Элемент рутений $_{44}Ru$ был открыт в Казани К. К. Клаусом и назван в честь России (*лат.* Ruthenia). Синтез элемента 118 оганесона Og был осуществлен в г. Дубна в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) в 2005 г.

3. Соль — нитрит аммония NH_4NO_2; здесь из восьми атомов четыре — атомы водорода.

$$NH_4NO_2 + KOH \rightarrow KNO_2 + NH_3\uparrow + H_2O$$

$$NH_4NO_2 + HCl \rightarrow NH_4Cl + HNO_2$$

4. Кислота — HPO_3. Массовая и мольная доли кислорода в ней равны и составляют 60%.

5. Чтобы масса раствора уменьшилась, в результате реакции с HCl должен образоваться осадок или газ, причем масса этого продукта должна быть больше массы добавляемого вещества. Возможные ответы: AgF, $KMnO_4$ и др.

$$AgF + HCl \rightarrow AgCl\downarrow + HF$$

где $m(AgCl) > m(AgF)$

$$2KMnO_4 + 16HCl \rightarrow 5Cl_2\uparrow + 2KCl + 2MnCl_2 + 8H_2O$$

где $m(Cl_2) > m(KMnO_4)$

6. В каждом случае есть несколько правильных ответов. Приведем возможные варианты.

1) $2KMnO_4 + 16HCl \rightarrow 5Cl_2 + 2KCl + 2MnCl_2 + 8H_2O$
   $Mn^{+7} + 5e \rightarrow Mn^{+2}$
   $Cl^- - 1e \rightarrow Cl^0$
2) $4Mg + 10HNO_3 \rightarrow 4Mg(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$
   $N^{+5} + 8e \rightarrow N^{-3}$
   $Mg - 2e \rightarrow Mg^{+2}$
3) $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$
   $O^0 + 2e \rightarrow O^{-2}$
   $C^{-4} - 8e \rightarrow C^{+4}$
4) $Cu + 2H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$
   $S^{+6} + 2e \rightarrow S^{+4}$
   $Cu - 2e \rightarrow Cu^{+2}$
5) $H_2O_2 + SO_2 \rightarrow H_2SO_4$
   $O^{-1} + e \rightarrow O^{-2}$
   $S^{+4} - 2e \rightarrow S^{+6}$

7. Соль — хлорит натрия $NaClO_2$.

$$NaClO_2 + 4HCl \rightarrow NaCl + 2Cl_2\uparrow + 2H_2O$$

Из 1 моль $NaClO_2$ образуется 2 моль хлора.

$$m(Cl_2)/m(NaClO_2) = \frac{2 \cdot 71}{90{,}5} = 1{,}57$$

На самом деле, при отбеливании с использованием $NaClO_2$ действующее начало не хлор, а его диоксид ClO_2. Его преимущество перед хлором состоит в том, что при отбеливании не образуется вредных хлорорганических веществ.

8. Предположим, что при добавлении нитрата серебра в осадок выпадает только хлорид серебра ($\nu(AgCl) = 8{,}1795 : 143{,}5 = 0{,}057$ моль), во втором случае к AgCl добавляется нерастворимый фторид металла массой $8{,}9355 - 8{,}1795 = 0{,}756$ г. Только фториды двух- и трехвалентных металлов не растворимы в воде.

Пусть исходная смесь содержала x моль KCl и y моль $\mathbf{X}Cl_n$ ($n = 2$ или 3, $M(\mathbf{X}) = z$). Выразим массу смеси, количество AgCl, и массу $\mathbf{X}F_n$ с учетом того, что раствор был разделен на две порции.

$$\begin{cases} 74{,}5x + (z + 35{,}5n)y = 6{,}837 \\ 0{,}5x + 0{,}5ny = 0{,}057 \\ 0{,}5(z + 19n)y = 0{,}756 \end{cases}$$

При $n = 2$ система не имеет решений, при $n = 3$ получаем $x = 0{,}06$, $y = 0{,}018$, $z = 27$ (г/моль). Неизвестный элемент — алюминий Al.

Ответ. 0,06 моль KCl и 0,018 моль $AlCl_3$.

9. 1) $H_2S + Br_2(р\text{-}р) \rightarrow S\downarrow + 2HBr$
2) $FeS + 2HCl(р\text{-}р) \rightarrow FeCl_2 + H_2S\uparrow$
3) $Na_2S + FeCl_2(р\text{-}р) \rightarrow FeS\downarrow + 2NaCl$
4) $2Na + S \xrightarrow{t} Na_2S$
5) $Na_2S_2O_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + SO_2\uparrow + S\downarrow + H_2O$
6) $2Fe_2(SO_4)_3 \xrightarrow{t} 2Fe_2O_3 + 6SO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$
7) $Fe_2(SO_4)_3 + 6NaOH \rightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3Na_2SO_4$
8) $Na_2S_2O_3 + H_2SO_4(разб.) \rightarrow Na_2SO_4 + SO_2\uparrow + S\downarrow + H_2O$
9) $S + Na_2SO_3(конц.) \xrightarrow{t} Na_2S_2O_3$
10) $2H_2S + 3O_2 \xrightarrow{t} 2SO_2 + 2H_2O$
11) $2FeS + 10H_2SO_4(конц.) \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 9SO_2\uparrow + 10H_2O$
12) $Na_2S + H_2SO_4(разб.) \rightarrow Na_2SO_4 + H_2S\uparrow$

10. Реакция синтеза аммиака:

$$2NH_3 \rightleftarrows N_2 + 3H_2$$

В результате реакции общая масса реакционной смеси не изменяется, а число молей увеличивается. По окончании реакции температура и давление такие же, как и до реакции, поэтому можно применить закон Авогадро. Итак, масса смеси не изменяется, поэтому $\rho_1 = 1{,}2\rho_2$. Отсюда $V_2 = 1{,}2V_1$, а это, в свою очередь, приводит к $\nu_2 = 1{,}2\nu_1$ — суммарное количество веществ увеличилось в 1,2 раза.

Пусть до реакции аммиака было 1 моль, x моль аммиака разложилось, тогда количества веществ после установления равновесия:

$$\nu(NH_3) = 1 - x$$

$$\nu(N_2) = 0{,}5x$$

$$\nu(H_2) = 1{,}5x$$

Суммарное количество веществ:

$$\nu_2 = 1 - x + 0{,}5x + 1{,}5x = 1 + x = 1{,}2 \text{ (моль)}$$

$$x = 0{,}2 \text{ моль}$$

Степень разложения аммиака:

$$\eta = \frac{0{,}2}{1} = 0{,}2, \text{ или } 20\%$$

Ответ. Разложилось 20% NH_3.

ОЧНЫЙ ТУР

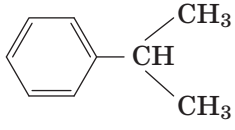
10–11 КЛАССЫ

ВАРИАНТ 1

1. N_2O: оксид азота(I) или оксид диазота;

$(CuOH)_2CO_3$ или $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$: основной карбонат меди(II) или гидроксокарбонат меди(II);

FeS_2: дисульфид железа(II);



изопропилбензол

2. Запишем формулу соединения в общем виде: $Zn_xH_yC_zO_k$. Определим содержание кислорода в этом соединении:

$$100 - 58{,}04 - 0{,}89 - 5{,}36 = 35{,}71\%$$

$$x : y : z : k = \frac{58{,}04}{65} : \frac{0{,}89}{1} : \frac{5{,}36}{12} : \frac{35{,}71}{16} =$$
$$= 0{,}89 : 0{,}89 : 0{,}45 : 2{,}23 = 2 : 2 : 1 : 5$$

Итак, получили самую простую формулу $Zn_2H_2CO_5$; этой формуле отвечает основной карбонат цинка $(ZnOH)_2CO_3$.

$$(ZnOH)_2CO_3 + 4HCl \rightarrow 2ZnCl_2 + CO_2\uparrow + 3H_2O$$

Ответ. $(ZnOH)_2CO_3$.

3. Вещество **I** — Na_2S.

$$Na_2S + I_2(\text{р-р}) \rightarrow S\downarrow + 2NaI$$

$$Na_2S + BaCl_2(\text{р-р}) \rightarrow \text{нет признаков реакции}$$

Если участник олимпиады указывал, что идет гидролиз, ответ принимался как правильный.

Вещество **II** — Na_2SO_3.

$Na_2SO_3 + I_2 + H_2O \rightarrow Na_2SO_4 + 2HI$ (обесцвечивание иодной воды)

$Na_2SO_3 + BaCl_2(\text{р-р}) \rightarrow BaSO_3\downarrow + 2NaCl$

Вещество **III** — Na_2SO_4.

$$Na_2SO_4 + I_2(\text{р-р}) \rightarrow \text{реакция не протекает}$$

$$Na_2SO_4 + BaCl_2(\text{р-р}) \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2NaCl$$

4. Масса сгоревшего октана:

$$m(C_8H_{18}) = V \cdot \rho = 20{,}0 \text{ л} \cdot 0{,}700 \text{ кг/л} = 14{,}0 \text{ кг} = 14000 \text{ г}$$

Пусть x моль октана сгорело с образованием CO_2, y моль — с образованием CO.

$$\underset{x}{2C_8H_{18}} + \underset{12{,}5x}{25O_2} \rightarrow \underset{8x}{16CO_2} + \underset{9x}{18H_2O}$$

$$\underset{y}{2C_8H_{18}} + \underset{8{,}5y}{17O_2} \rightarrow \underset{8y}{16CO} + \underset{9y}{18H_2O}$$

$$m(C_8H_{18}) = 114(x + y)$$

$$m(CO_2) = 44 \cdot 8x = 352x$$

$$m(H_2O) = 18 \cdot 9(x + y) = 162(x + y)$$

$$m(CO) = 28 \cdot 8y = 224y$$

Общая масса продуктов: $514x + 386y$.

$$\begin{cases} 114(x + y) = 14000 \\ 514x + 386y = 60000 \end{cases}$$

$x = 98{,}4$ (моль), $y = 24{,}4$ (моль).

$$m(CO_2) = 352x = 34600 \text{ г} = 34{,}6 \text{ кг}$$

$$m(H_2O) = 162(x + y) = 19900 \text{ г} = 19{,}9 \text{ кг}$$

$$m(CO) = 224y = 5{,}5 \text{ кг}$$

Масса кислорода:

$$m(O_2) = m(\text{продуктов}) - m(C_8H_{18}) = 60 - 14 = 46 \text{ кг}$$

Ответ. $m(CO_2) = 34{,}6$ кг, $m(H_2O) = 19{,}9$ кг, $m(CO) = 5{,}5$ кг, $m(O_2) = 46$ кг.

5. Средняя молярная масса первой смеси:

$$M_{ср(1)} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1{,}6244 \cdot 8{,}314 \cdot 424}{101{,}3} = 56{,}53 \text{ г/моль}$$

В первой смеси обязательно присутствует диметиловый эфир: $M(CH_3OCH_3) = 46$ г/моль, $M(C_2H_5OCH_3) = 60$ г/моль, $46 < M_{ср(1)} < 60$.

Средняя молярная масса второй смеси:

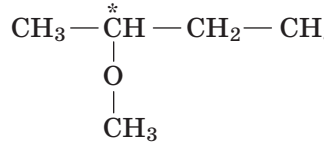
$$M_{ср(2)} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{2{,}2282 \cdot 8{,}314 \cdot 424}{101{,}3} = 77{,}54 \text{ г/моль}$$

Введем обозначения: $\varphi(CH_3OCH_3)_{\text{смесь1}} = x$, $\varphi(C_nH_{2n+2}O)_{\text{смесь1}} = 1 - x$. По условию, $\varphi(CH_3OCH_3)_{\text{смесь2}} = 1 - x$, $\varphi(C_nH_{2n+2}O)_{\text{смесь2}} = x$. Запишем выражения для средних масс первой и второй смеси $M_{\text{ср(1)}}$ и $M_{\text{ср(2)}}$:

$$\begin{cases} 46x + (14n + 18)(1 - x) = 56{,}53 \\ 46(1 - x) + (14n + 18)x = 77{,}54 \end{cases}$$

$$n = 5,\ x = 0{,}75$$

Во втором эфире пять атомов углерода, и именно это соединение содержит асимметрический атом углерода, а диметиловый эфир не обладает оптической активностью. Это 2-метоксибутан:



Ответ. В первой смеси 75% диметилового эфира и 25% 2-метоксибутана (*втор*-бутилметилового эфира); во второй смеси 25% диметилового эфира и 75% 2-метоксибутана.

6. Пусть c_1 — молярная концентрация NO_2 в начальный момент, тогда после увеличения объема в x раз концентрация уменьшилась в x раз: $c_2 = c_1/x$. Запишем выражения для начальной скорости реакций до (r_1) и после (r_2) изменения объема:

$$r_1 = k_1c_1^2,\ \ r_2 = k_2\left(\frac{c_1}{x}\right)^2$$

По условию, $r_1 = r_2$ или

$$k_1c_1^2 = k_2\left(\frac{c_1}{x}\right)^2$$

$$x = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}}$$

Отношение констант скорости можно выразить, применив уравнение Аррениуса:

$$\ln\left(\frac{k_2}{k_1}\right) = \frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}$$

$$\frac{k_2}{k_1} = \exp\left(\frac{E_a(T_2 - T_1)}{RT_1T_2}\right) = \exp\left(\frac{112\,600 \cdot (308 - 293)}{8{,}314 \cdot 308 \cdot 293}\right) = 9{,}5$$

$$x = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \approx 3$$

Ответ. В 3 раза.

7. Приведем один из возможных вариантов ответа.

1) $(NH_4)_2Cr_2O_7 \xrightarrow{t} Cr_2O_3 + N_2\uparrow + 4H_2O$

2) $Cr_2O_3 + 2KOH \xrightarrow{t} 2KCrO_2 + H_2O$ (сплавление)

3) $KCrO_2 + 2H_2O \rightarrow K[Cr(OH)_4]$

4) $(NH_4)_2Cr_2O_7 + 2NH_3 \cdot H_2O \rightarrow 2(NH_4)_2CrO_4 + H_2O$

5) $2(NH_4)_2CrO_4 + 3SO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 2(NH_4)_2SO_4 + 2H_2O$

6) $Cr_2(SO_4)_3 + 8KOH(р\text{-}р, изб.) \rightarrow 2K[Cr(OH)_4] + 3K_2SO_4$

Ответ. **X** — Cr_2O_3, **Y** — $KCrO_2$, **Z** — $Cr_2(SO_4)_3$.

8. 1) $C_2H_5C{\equiv}CH + 2HBr \rightarrow CH_3CH_2CBr_2CH_3$

2) $CH_3CH_2CBr_2CH_3 + 2KOH(спирт.\ р\text{-}р) \rightarrow$
$\rightarrow CH_3C{\equiv}CCH_3 + 2KBr + 2H_2O$

3) $5CH_3C{\equiv}CCH_3 + 6KMnO_4 + 9H_2SO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 10CH_3COOH + 3K_2SO_4 + 6MnSO_4 + 4H_2O$

4) $CH_3COOH + KOH \rightarrow CH_3COOK + H_2O$

5) $CH_3CH_2CBr_2CH_3 + 2KOH(водн.) \rightarrow$
$\rightarrow CH_3CH_2COCH_3 + 2KBr + H_2O$

6) $CH_3CH_2COCH_3 + 3I_2 + 4KOH \rightarrow$
$\rightarrow CH_3CH_2COOK + CHI_3\downarrow + 3KI + 3H_2O$

9. При прокаливании первой порции исходной смеси протекает реакция:

$$\underset{x\ \text{моль}}{KNO_2} + \underset{x}{NH_4Cl} \xrightarrow{t} KCl + \underset{x}{N_2}\uparrow + \underset{2x}{2H_2O}\uparrow$$

Газообразные продукты — азот и пары воды. Вода в количестве $2x$ моль поглощается безводным хлоридом кальция, а x моль азота взаимодействует с литием:

$$\underset{x}{6Li} + N_2 \xrightarrow{t} \underset{2x}{2Li_3N}$$

Вещество **A** — нитрид лития Li_3N, который образуется в количестве:

$$\nu(Li_3N) = \frac{2{,}1}{35} = 0{,}06 \text{ моль}$$

$$x = 0{,}03 \text{ моль}$$

При прокаливании выделилось 0,03 моль азота и 0,06 моль воды. Масса хлоркальциевой трубки при поглощении воды увеличивается на

$$m(H_2O) = 0{,}06 \cdot 18 = 1{,}08 \text{ г}$$

С иодидом калия взаимодействует только один компонент смеси — KNO_2.

$$\underset{0,03}{2KNO_2} + 2KI + 2H_2SO_4 \rightarrow 2K_2SO_4 + 2NO\uparrow + \underset{0,015}{I_2\downarrow} + 2H_2O$$

Раствор **В** окрашен в бурый цвет, так как с избытком ионов I^- образует окрашенный комплексный ион $[I_3]^-$:

$$KI + I_2 \rightarrow K[I_3]$$

При обесцвечивании раствора происходит реакция:

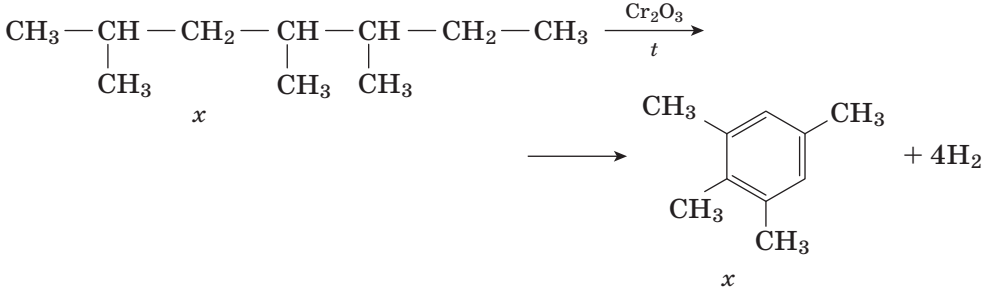
$$\underset{0,015}{I_2} + \underset{0,015}{K_2SO_3} + H_2O \rightarrow 2KI + H_2SO_4$$

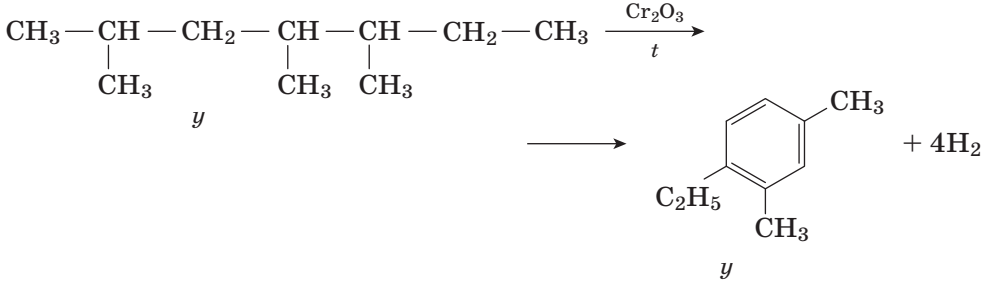
Для полного обесцвечивания раствора **В** потребуется следующий объем 0,25 М раствора сульфита калия:

$$V = \frac{\nu}{c} = \frac{0,015}{0,25} = 0,06 \text{ л} = 60 \text{ мл}$$

Ответ. 1,08 г, 60 мл.

10. Найдем количество ароматических углеводородов при дегидроциклизации исходного вещества.

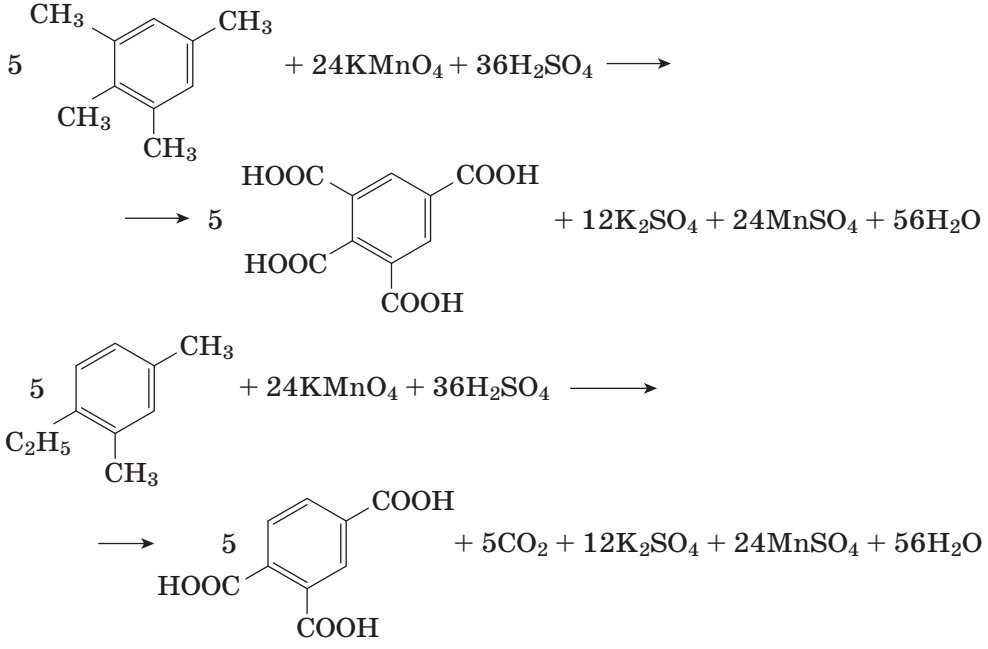




$$\nu(C_{10}H_{14}) = \frac{20,1}{134} = 0,15 \text{ (моль)}$$

$$x + y = 0,15$$

Запишем реакции окисления соответствующих ароматических углеводородов.



Во второй реакции выделяется углекислый газ.

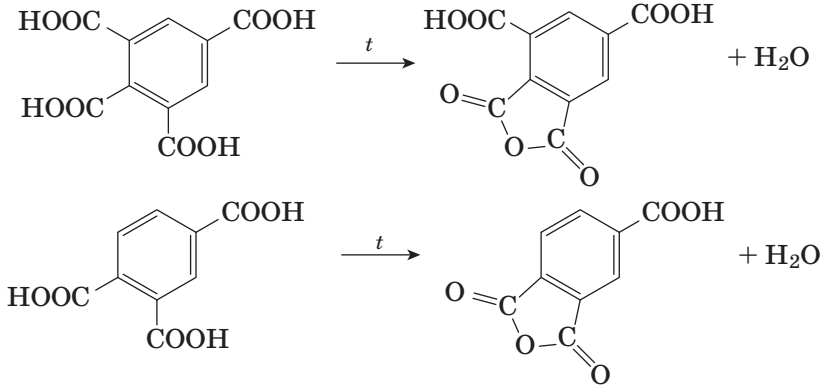
$$\nu(CO_2) = \frac{1{,}12}{22{,}4} = 0{,}05 \text{ моль}$$

$y = 0{,}05$ (моль), $x = 0{,}15 - 0{,}05 = 0{,}1$ (моль.) Массы кислот:

$$m(C_{10}H_6O_8) = 0{,}1 \cdot 254 = 25{,}4 \text{ г}$$

$$m(C_9H_6O_6) = 0{,}05 \cdot 210 = 10{,}5 \text{ г}$$

При нагревании смеси кислот происходит образование ангидридов:



$$\nu(H_2O) = 0{,}1 + 0{,}05 = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$m(H_2O) = 0{,}15 \cdot 18 = 2{,}7 \text{ г}$$

Ответ. Бензол-1,2,3,5-тетракарбоновой кислоты 0,1 моль (25,4 г), бензол-1,2,4-трикарбоновой кислоты 0,05 моль (10,5 г); 2,7 г.

ВАРИАНТ 2

1. SiO_2: оксид кремния(IV) или диоксид кремния;
$K_3[Fe(CN)_6]$: гексацианоферрат(III) калия;
K_2CO_3: карбонат калия;
HOOC—COOH: этандиовая кислота.

2. Запишем формулу соединения: $Mn_xH_yC_zO_k$. Определим содержание кислорода в этом соединении:

$$100 - 53{,}92 - 0{,}98 - 5{,}88 = 39{,}22\%$$

$$x : y : z : k = \frac{53{,}92}{55} : \frac{0{,}98}{1} : \frac{5{,}88}{12} : \frac{39{,}22}{16} =$$
$$= 0{,}98 : 0{,}98 : 0{,}49 : 2{,}45 = 2 : 2 : 1 : 5$$

Простейшая формула — $Mn_2H_2CO_5$. Такой формуле отвечает соединение $(MnOH)_2CO_3$ — основной карбонат марганца; реакция с раствором серной кислоты:

$$(MnOH)_2CO_3 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2MnSO_4 + CO_2\uparrow + 3H_2O$$

Ответ. $(MnOH)_2CO_3$.

3. Вещество **I** — Na_3PO_4.

$$2Na_3PO_4 + 3H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow 3Na_2SO_4 + 2H_3PO_4$$
(видимые изменения отсутствуют)

$$2Na_3PO_4 + 3CaCl_2(\text{р-р}) \rightarrow Ca_3(PO_4)_2\downarrow + 6NaCl$$

Вещество **II** — NaBr.

$$2NaBr + 3H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow Br_2 + SO_2\uparrow + 2NaHSO_4 + 2H_2O$$
(оранжевое окрашивание из-за выделения брома)

$NaBr + CaCl_2(\text{р-р}) \rightarrow$ реакция не протекает

Вещество **III** — Na_2SO_3.

$$Na_2SO_3 + 2H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow SO_2\uparrow + 2NaHSO_4 + H_2O$$

$$Na_2SO_3 + CaCl_2(\text{р-р}) \rightarrow CaSO_3\downarrow + 2NaCl$$

4. $m(C_8H_{18}) = V \cdot \rho = 16{,}0 \cdot 0{,}700 = 11{,}2$ кг $= 11200$ г

Пусть x моль октана сгорело с образованием CO_2, y моль — с образованием CO.

$$\underset{x}{2C_8H_{18}} + \underset{12{,}5x}{25O_2} \rightarrow \underset{8x}{16CO_2} + \underset{9x}{18H_2O}$$

$$\underset{y}{2C_8H_{18}} + \underset{8{,}5y}{17O_2} \rightarrow \underset{8y}{16CO} + \underset{9y}{18H_2O}$$

$$m(C_8H_{18}) = 114(x + y)$$

$$m(CO_2) = 44 \cdot 8x = 352x$$

$$m(H_2O) = 18 \cdot 9(x + y) = 162(x + y)$$

$$m(CO) = 28 \cdot 8y = 224y$$

Общая масса продуктов: $514x + 386y$.

$$\begin{cases} 114(x + y) = 11\,200 \\ 514x + 386y = 49\,000 \end{cases}$$

$x = 86{,}5$ (моль), $y = 11{,}7$ (моль)

$$m(CO_2) = 352x = 30{,}5 \text{ кг}$$

$$m(H_2O) = 162(x + y) = 15{,}9 \text{ кг}$$

$$m(CO) = 224y = 2{,}6 \text{ кг}$$

Расход кислорода на горение октана:

$$m(O_2) = m(\text{продуктов}) - m(C_8H_{18}) = 49 - 11{,}2 = 37{,}8 \text{ кг}$$

Ответ. $m(CO_2) = 30{,}5$ кг, $m(H_2O) = 15{,}9$ кг, $m(CO) = 2{,}6$ кг, $m(O_2) = 37{,}8$ кг.

5. Определим среднюю молярную массу первой смеси:

$$M_{ср(1)} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1{,}0993 \cdot 8{,}314 \cdot 448}{101{,}3} = 40{,}42 \text{ г/моль}$$

В смеси обязательно присутствует метанол; $M(CH_3OH) = 32$ г/моль, $M(C_2H_5OH) = 46$ г/моль, $32 < M_{ср(1)} < 46$.

Средняя молярная масса второй смеси:

$$M_{ср(2)} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1{,}7850 \cdot 8{,}314 \cdot 448}{101{,}3} = 65{,}63 \text{ г/моль}$$

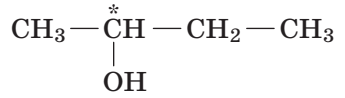
$\varphi(CH_3OH)_{смесь1} = x$, $\varphi(C_nH_{2n+2}O)_{смесь1} = 1 - x$.

По условию, $\varphi(CH_3OH)_{смесь2} = 1 - x$, $\varphi(C_nH_{2n+2}O)_{смесь2} = x$. Запишем выражения для средних масс:

$$\begin{cases} 32x + (14n + 18)(1 - x) = 40{,}42 \\ 32(1 - x) + (14n + 18)x = 65{,}63 \end{cases}$$

$$n = 4,\ x = 0{,}8$$

Во втором спирте четыре атома углерода, и именно это соединение содержит асимметрический атом углерода; метанол не обладает оптической активностью. Это бутанол-2:



Ответ. В первой смеси 80% метанола и 20% бутанола-2;
во второй смеси 20% метанола и 80% бутанола-2.

6. Начальные молярные концентрации реагентов обозначим $c(\mathrm{NO})_1$ и $c(\mathrm{Br_2})_1$. При увеличении объема вдвое эти концентрации уменьшаются также 2 раза.

$$c(\mathrm{NO})_2 = \frac{1}{2}c(\mathrm{NO})_1$$

$$c(\mathrm{Br_2})_2 = \frac{1}{2}c(\mathrm{Br_2})_1$$

Начальные скорости реакции:

$$r_1 = k_1(c(\mathrm{NO})_1)^2 c(\mathrm{Br_2})_1$$

$$r_2 = k_2(c(\mathrm{NO})_2)^2 c(\mathrm{Br_2})_2 = k_2(\frac{1}{2}c(\mathrm{NO})_1)^2 \cdot \frac{1}{2}c(\mathrm{Br_2})_1 = \frac{1}{8}k_2(c(\mathrm{NO})_1)^2 c(\mathrm{Br_2})_1$$

По условию:

$$\frac{r_1}{r_2} = 7 = 8\frac{k_1}{k_2}$$

Константы скорости k_1 и k_2 можно выразить, используя уравнение Аррениуса.

$$k_1 = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot 293}}$$

$$k_2 = A \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T_2}}$$

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{7}{8} = \frac{e^{-\frac{E_a}{R \cdot 293}}}{e^{-\frac{E_a}{RT_2}}} = e^{\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{293}\right)} \quad \frac{k_1}{k_2} = \frac{7}{8} = \frac{e^{-\frac{E_a}{R \cdot 293}}}{e^{-\frac{E_a}{RT_2}}} = e^{\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{293}\right)}$$

$$\ln\left(\frac{7}{8}\right) = -0{,}134 = \frac{5440}{8{,}314}\left(\frac{293 - T_2}{293T_2}\right)$$

$T_2 = 311{,}7$ К

Ответ. 311,7 К.

7. Приведем один из возможных вариантов ответа.

1) $Zn_3P_2 + 3H_2SO_4(\text{разб.}) \rightarrow 3ZnSO_4 + 2PH_3\uparrow$

2) $PH_3 + 2O_2 \xrightarrow{t} HPO_3 + H_2O$

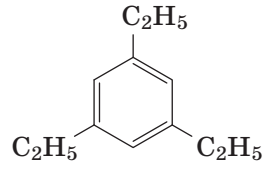
3) $2HPO_3 + 6C \xrightarrow{t} 2P + H_2 + 6CO$

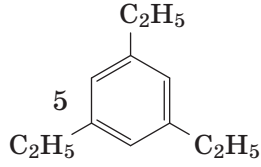
4) $Zn_3P_2 + 22HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow 3Zn(NO_3)_2 + 2H_3PO_4 + 16NO_2\uparrow + 8H_2O$

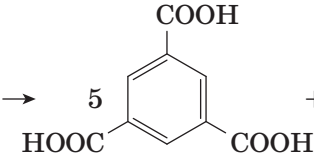
5) $2H_3PO_4 + 3CaCl_2(\text{изб.}) \rightarrow Ca_3(PO_4)_2\downarrow + 6HCl$

6) $Ca_3(PO_4)_2 + 5C + 3SiO_2 \xrightarrow{t} 2P + 3CaSiO_3 + 5CO\uparrow$

Ответ. **X** — PH_3, **Y** — H_3PO_4, **Z** — $Ca_3(PO_4)_2$.

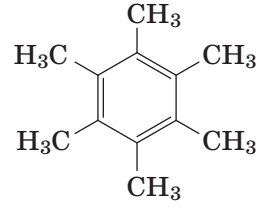
8. 1) $3C_2H_5C{\equiv}CH \xrightarrow[600\ ^\circ C]{C_{\text{актив}}}$ 

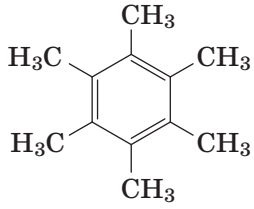
2)  $+ 36KMnO_4 + 54H_2SO_4 \longrightarrow$

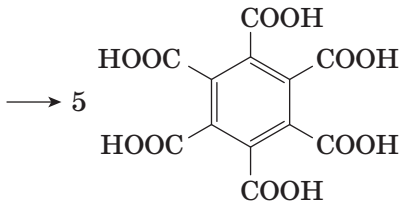
 $+ 15CO_2 + 18K_2SO_4 + 36MnSO_4 + 84H_2O$

3) $C_2H_5C{\equiv}CH + 2HBr \rightarrow CH_3CH_2CBr_2CH_3$

4) $CH_3CH_2CBr_2CH_3 + 2KOH(\text{спирт. р-р}) \rightarrow$
$\rightarrow CH_3C{\equiv}CCH_3 + 2KBr + 2H_2O$

5) $3H_3CC{\equiv}CCH_3 \xrightarrow[600\ ^\circ C]{C_{\text{актив}}}$ 

6) 5  $+ 36KMnO_4 + 54H_2SO_4 \longrightarrow$

 $+ 18K_2SO_4 + 36MnSO_4 + 84H_2O$

9. При прокаливании первой порции смеси протекает реакция:

$$\underset{x\ \text{(моль)}}{KNO_2} + \underset{x}{NH_4Cl} \xrightarrow{t} KCl + \underset{x}{N_2}\uparrow + \underset{2x}{2H_2O}\uparrow$$

Образуются газы азот и водяной пар. Вода поглощается безводным хлоридом кальция. Количество поглощенной воды:

$$\nu(H_2O) = 2x = \frac{m}{M} = \frac{4{,}32}{18} = 0{,}24 \text{ моль}$$

$$x = 0{,}12 \text{ моль}$$

Азот N_2 взаимодействует с литием.

$$\underset{0{,}12}{6Li} + N_2 \xrightarrow{t} \underset{0{,}24\ \text{(моль)}}{2Li_3N}$$

Вещество **A** — нитрид лития Li_3N; его масса:

$$m(Li_3N) = 0{,}24 \cdot 35 = 8{,}4 \text{ г}$$

С иодидом калия взаимодействует только один компонент смеси — KNO_2. В каждой порции смеси содержится $0{,}12 \cdot 1{,}5 = 0{,}18$ моль нитрита калия.

$$\underset{0{,}18}{2KNO_2} + 2KI + 2H_2SO_4 \rightarrow 2K_2SO_4 + \underset{0{,}09\ \text{(моль)}}{2NO} + I_2 + H_2O$$

Бурый цвет полученного раствора **B** обусловлен тем, что с избытком ионов I^- образуется окрашенный комплексный ион $[I_3]^-$.

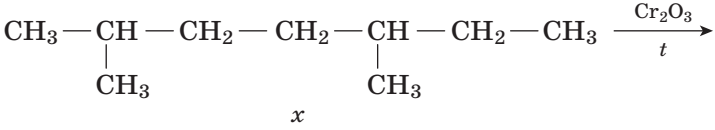
$$\underset{0{,}09}{I_2} + \underset{0{,}09}{K_2S(\text{р-р})} \rightarrow 2KI + S$$

Для полного обесцвечивания раствора **B** потребуется следующий объем раствора сульфида калия:

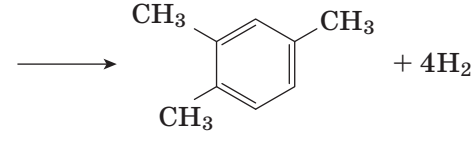
$$V = \frac{\nu}{c} = \frac{0{,}09}{0{,}25} = 0{,}36 \text{ л} = 360 \text{ мл}$$

Ответ. 8,4 г Li_3N, 360 мл.

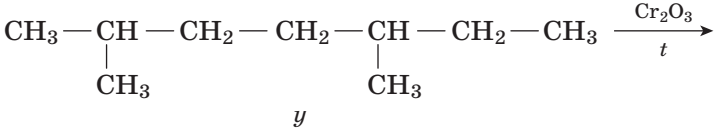
10. Найдем количества ароматических углеводородов при дегидроциклизации исходного вещества.



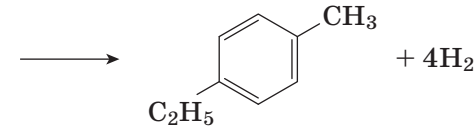
x



x



y

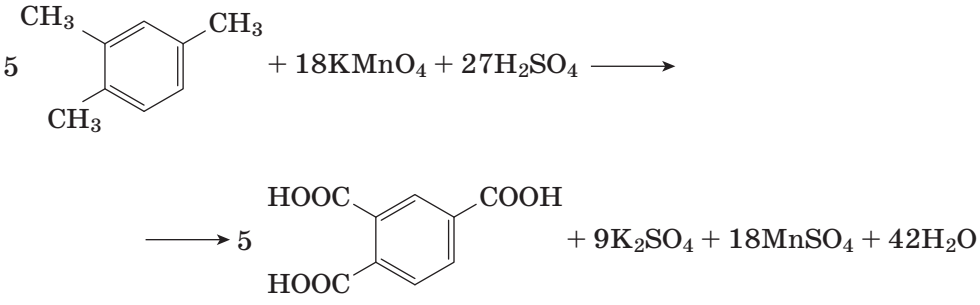


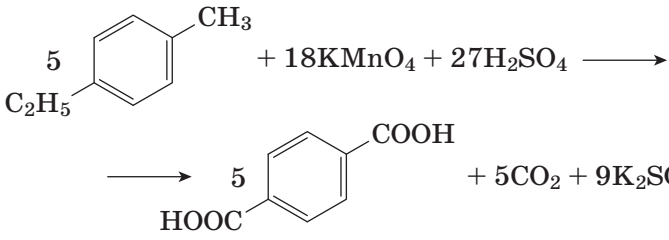
y

$$\nu(C_9H_{12}) = \frac{24}{120} = 0{,}2 \text{ моль}$$

$$x + y = 0{,}2$$

Реакции окисления:





Во второй реакции образуется углекислый газ.

$$\nu(CO_2) = \frac{1{,}12}{22{,}4} = 0{,}05 \text{ моль}$$

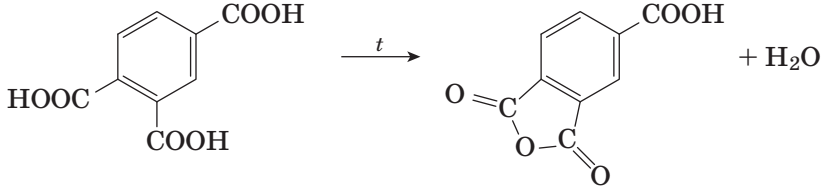
$y = 0{,}05$ (моль), $x = 0{,}2 - 0{,}05 = 0{,}15$ (моль)

Массы кислот:

$$m(C_9H_6O_6) = 0{,}15 \cdot 210 = 31{,}5 \text{ г}$$

$$m(C_8H_6O_4) = 0{,}05 \cdot 166 = 8{,}3 \text{ г}$$

При нагревании смеси кислот образуется только один ангидрид.



$$\nu(H_2O) = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$m(H_2O) = 0{,}15 \cdot 18 = 2{,}7 \text{ г}$$

Ответ. Бензол-1,2,4-трикарбоновой кислоты 0,15 моль (31,5 г), бензол-1,4-дикарбоновой (терефталевой) кислоты 0,05 моль (8,3 г); 2,7 г.

7–9 КЛАССЫ

1. Возможно много вариантов решения, например:

$$4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2(г) + 6H_2O(ж)$$

2. Бериллий Be ($Z = 4$, II группа). Атом бериллия содержит 4 электрона.

3. Можно привести несколько подходящих веществ, например SO_2, P_2O_3, BaO.

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$$

$$2SO_2 + O_2 \xrightarrow{\text{катализатор}} 2SO_3$$

4. Масса 16 моль воды $16 \cdot 18 = 288$ г, что составляет 90%. Пусть 1 моль неизвестного жидкого вещества имеет массу (молекулярная масса) M г и это составляет 10%. Решение пропорции дает молекулярную массу M этой жидкости.

$$M = \frac{288}{9} = 32 \text{ г/моль}$$

Ответ. 32 г/моль.

5. Возьмем 1 м^3 воздуха и рассчитаем количество вещества в этом объеме для воздуха и озона.

$$\nu(\text{возд.}) = 1000 : 22{,}4 = 44{,}6 \text{ моль}$$

$$\nu(O_3) = 0{,}03 \cdot 10^{-3} : 48 = 6{,}25 \cdot 10^{-7} \text{ моль}$$

Найдем соотношение атомов в этом объеме.

$$N(O_3) : N(\text{возд.}) = \nu(O_3) : \nu(\text{возд.})$$

$$N(O_3) : N(\text{возд.}) = 1{,}4 \cdot 10^{-8}$$

Ответ. 14 молекул озона приходится на 1 млрд ($1 \cdot 10^6$) молекул воздуха.

6. Формула белильной извести $CaOCl_2$, или $CaCl_2 \cdot Ca(OCl)_2$ (хлорид-гипохлорит кальция).

$$Ca(OCl)_2 \xrightarrow{t} CaCl_2 + O_2$$

$$Ca(OCl)_2 + 4HCl \rightarrow CaCl_2 + 2Cl_2 + 2H_2O$$

$$Ca(OCl)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + Cl_2O + H_2O$$

Если участник олимпиады записал правильные уравнения реакций с $CaOCl_2$ вместо $Ca(OCl)_2$, ему ставился полный балл.

7. Возможно много вариантов ответа. Например:

а) $H_2S + H_2O_2 \rightarrow S + 2H_2O$

$1 \cdot S^{-2} - 2e \rightarrow S^0$

$1 \cdot 2O^{-1} + 2e \rightarrow 2O^{-2}$

б) $2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$

или

$2NO_2 + 2KOH \rightarrow KNO_2 + KNO_3 + H_2O$

$1 \cdot N^{+4} - e \rightarrow N^{+5}$

$1 \cdot N^{+4} + e \rightarrow N^{+3}$

в) $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

$1 \cdot C^{-4} - 8e \rightarrow C^{+4}$

$4 \cdot O^0 + 2e \rightarrow O^{-2}$

8. Свинец намного тяжелее остальных элементов, поэтому его массовая доля должна быть большой, а в условии указано всего 20%, следовательно, речь идет о мольных (атомных) долях. В неорганической соли кислорода должно быть больше, чем углерода (в 4 раза). Найдем мольные доли кислорода и углерода:

$$\chi(O) = {}^{4}/_{5} \cdot (100\% - 20\% - 13{,}3\%) = 53{,}3\%$$

$$\chi(C) = {}^{1}/_{5} \cdot (100\% - 20\% - 13{,}3\%) = 13{,}3\%$$

$$Pb : C : O : H = 20 : 13{,}3 : 53{,}3 : 13{,}3 = 3 : 2 : 8 : 2$$

Формула соли $Pb_3C_2O_8H_2$ или $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$.

$$2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2 \rightarrow 3PbO + 2CO_2\uparrow + H_2O\uparrow$$

$$2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2 + 6HNO_3 \rightarrow 3Pb(NO_3)_2 + 2CO_2\uparrow + 4H_2O\uparrow$$

9. 1) $SiO_2 + Na_2CO_3 \xrightarrow{t} CO_2\uparrow + Na_2SiO_3$

2) $2CO_2 + 2Na_2O_2 \rightarrow 2Na_2CO_3 + O_2\uparrow$

3) $O_2 + 2H_2 \xrightarrow{t} 2H_2O$

4) $Ca + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + H_2\uparrow$

5) $3H_2 + N_2 \xrightleftharpoons{t,\ p,\ \text{катализатор}} 2NH_3$

6) $4NH_3 + 5O_2 \xrightarrow{t,\ \text{катализатор}} 4NO + 6H_2O$

Ответ. **X** — H_2O, **Y** — NH_3.

10. Определим молярную массу самого легкого соединения элемента **X** с фтором.

$$M(\mathbf{A}) = 2 \cdot 44 = 88 \text{ г/моль}$$

Такую молярную массу имеют CF_4 и PF_3, однако CF_4 не реагирует с водой. Значит, **X** — это фосфор, а соединение **A** — PF_3. По шесть атомов содержат PF_5 и P_2F_4, из них только PF_5 дает две кислоты при реакции с водой. Итак, **B** — P_2F_4, **C** — PF_5.

$$PF_3 + 3H_2O \rightarrow H_3PO_3 + 3HF$$

$$PF_5 + 4H_2O \rightarrow H_3PO_4 + 5HF$$

$$PF_5 \rightarrow PF_3 + F_2$$

Установим состав легколетучего жидкого соединения никеля с PF_3.

$$M(Ni(PF_3)_n) = 4{,}67 \cdot 88 = 411$$

$$n = 4$$

$$Ni + 4PF_3 \rightarrow Ni(PF_3)_4$$

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ) ПИСЬМЕННЫЙ ЭКЗАМЕН

ВАРИАНТ 1

1. Элемент **X** содержит $24 - 2 \cdot 8 - 1 = 7$ электронов. Это атом азота. Уравнение реакции азота с литием:

$$N_2 + 6Li \rightarrow 2Li_3N$$

2. Напишем уравнение реакции образования бромоводорода.

$$H_2 + Br_2 \rightarrow 2HBr$$

$$\nu(H_2) = \frac{16}{2} = 8 \text{ моль}$$

$$\nu(Br_2) = \frac{480}{160} = 3 \text{ моль}$$

Бром взят в недостатке. Согласно уравнению реакции, из 3 моль брома образуется 6 моль бромоводорода. Теплота образования бромоводорода всегда рассчитывается на 1 моль.

$$Q_{\text{обр}}(HBr) = \frac{217{,}8}{6} = 36{,}3 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. 36,3 кДж/моль.

3. Безводный хлорид кальция можно использовать для осушения всех четырех указанных газов. Концентрированной фосфорной кислотой нельзя сушить C_2H_4 и NH_3. Оксидом кальция нельзя обезвоживать HCl и SO_2.

$$C_2H_4 + H_2O \xrightarrow{H^+} C_2H_5OH$$

$$NH_3 + H_3PO_4 \rightarrow NH_4H_2PO_4$$

$$2HCl + CaO \rightarrow CaCl_2 + H_2O$$

$$SO_2 + CaO \rightarrow CaSO_3$$

4. Рассчитаем среднюю молярную массу смеси. Воспользуемся уравнением Клапейрона–Менделеева:

$$pV = \nu RT$$

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1{,}571 \cdot 8{,}31 \cdot 298}{101{,}3} = 38{,}4 \text{ г/моль}$$

Объем газовой смеси увеличился в 1,25 раза. Вывод: добавлен 1 л газа; объем новой газовой смеси 5 л. Средняя молярная масса смеси:

$$M_{ср} = \frac{M_1V_1 + M_2V_2}{V_1 + V_2} = \frac{16 \cdot 4 + M_2 \cdot 1}{5} = 38{,}4$$

$M_2 = 128$ г/моль. Это иодоводород HI. При добавлении к смеси 1 л метиламина (стехиометрическое количество) образуется твердая соль:

$$CH_3NH_2 + HI \rightarrow CH_3NH_3I\downarrow$$

Оставшийся газ — метан, плотность которого:

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 16}{8{,}31 \cdot 298} = 0{,}655 \text{ г/л}$$

Ответ. HI, 0,655 г/л.

5. Задачу решаем методом подбора. Пусть металл M имеет степень окисления +1. По условию:

$$\nu(M_2SO_4) : \nu(MNO_3) : \nu(M_2O) = 1 : 2 : 2{,}5$$

$$\omega(M) = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{9M}{9M + (96 + 62 \cdot 2 + 2{,}5 \cdot 16)} = \frac{9M}{9M + 260} = 0{,}7889$$

$M = 108$ г/моль, что соответствует M = Ag.

Пусть в исходной смеси x моль Ag_2SO_4, $2x$ моль $AgNO_3$ и $2{,}5x$ моль Ag_2O. При прокаливании смеси протекают следующие реакции:

$$\underset{x}{Ag_2SO_4} \xrightarrow{t} \underset{2x}{2Ag} + SO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$\underset{2x}{2AgNO_3} \xrightarrow{t} \underset{2x}{2Ag} + 2NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$\underset{2{,}5}{2Ag_2O} \xrightarrow{t} \underset{x}{4Ag} + \underset{5x}{O_2}\uparrow$$

После прокаливания в твердом остатке серебро.

$$m(\text{исх. смеси}) = (312 + 2 \cdot 170 + 2{,}5 \cdot 232) \cdot x = 1232x$$

$$m(Ag) = 108 \cdot 9x = 972x$$

$$\frac{m(\text{исх. смеси})}{m(Ag)} = \frac{1232x}{972x} = 1{,}27$$

Ответ. В 1,27 раза.

6. Аммиак — слабое основание.

$$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$$

Рассчитаем равновесную концентрацию гидроксид-ионов.

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-11,7} \text{ моль/л}$$

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-11,7}} = 10^{-2,3} = 0,005 \text{ моль/л}$$

Используем ионное произведение воды. $K_w = [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$. Пусть c моль/л — концентрация аммиака.

$$K_b = \frac{[NH_4^+] \cdot [OH^-]}{[NH_3]} = \frac{[OH^-]^2}{c - [OH^-]}$$

$$c = \frac{[OH^-]^2}{K_b} + [OH^-] = 1,4 \text{ моль/л}$$

Сильное основание гидроксид натрия в растворе диссоциирует полностью.

$$NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$$

$$[OH^-] = c(NaOH) = 1,4 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{1,4} = 0,714 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 14,15$$

При смешении равных объемов растворов концентрация каждого из оснований уменьшится в 2 раза; при этом концентрация гидроксид-ионов OH^- в растворе определяется диссоциацией только сильного основания NaOH, поскольку диссоциация слабого основания NH_3 в присутствии сильного основания NaOH заметно подавляется.

$$c(NaOH) = 1,4 : 2 = 0,7 \text{ моль/л}$$

$$[OH^-] \approx c(NaOH) = 0,7 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{0,7} = 1,43 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 13,85$$

Ответ. 1,4 моль/л, 14,15, 13,85.

7. Приведем один из возможных вариантов ответа.

1) $Cu + 4HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$

2) $2NO_2 + 2KOH \rightarrow KNO_3 + KNO_2 + H_2O$

3) $KNO_2 + NH_4Cl \xrightarrow{t} N_2\uparrow + KCl + 2H_2O$

4) $N_2 + 3H_2 \xrightarrow{p,t} 2NH_3$

5) $Ag_2O + 4NH_3 + H_2O \rightarrow 2[Ag(NH_3)_2]\,OH$

или

$AgNO_3 + 3NH_3 + H_2O \rightarrow [Ag(NH_3)_2]\,OH + NH_4NO_3$

6) $4NO_2 + O_2 + 2H_2O \xrightarrow{t} 4HNO_3$

Ответ. **X1** — NO_2; **X2** — N_2; **X3** — NH_3.

8. Приведем один вариант ответа.

1) $CH_4 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3Br + HBr$

2) $CH_3Br + C_6H_6 \xrightarrow{AlCl_3} C_6H_5—CH_3 + HBr$

3) $2CH_4 \xrightarrow{1500\,^\circ C} HC{\equiv}CH + 3H_2$

4) $HC{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{H^+,\,Hg^{2+}} CH_3—CHO$

5) $CH_3—CHO + C_2H_5MgBr \rightarrow CH_3—CH(C_2H_5)—OMgBr$

6) $CH_3—CH(C_2H_5)—OMgBr + HBr(\text{водн.}) \rightarrow$
$\rightarrow CH_3—CH(OH)—C_2H_5 + MgBr_2$

Другой вариант двух последних реакций:

5) $CH_3CHO + H_2 \xrightarrow{t,\,\text{кат.}} CH_3CH_2OH$

6) $2CH_3CH_2OH \xrightarrow{H_2SO_4(\text{конц.}),\,t>150\,^\circ C} CH_3CH_2OCH_2CH_3 + H_2O$

9.
$$2K + 2H_2O \rightarrow 2KOH + H_2\uparrow$$
$$Zn + 2KOH + 2H_2O \rightarrow K_2[Zn(OH)_4] + H_2\uparrow$$

Количество калия обозначим x (моль), количество цинка — y (моль).

$$m(\text{смеси}) = m(K) + m(Zn) = xM(K) + yM(Zn) = 39x + 65y$$

Содержание калия в смеси металлов:

$$\omega(K) = \frac{m(K)}{m(\text{смеси})} = \frac{39x}{39x + 65y} = 0{,}9231$$

$$x = 20y$$

Количество выделившегося водорода:

$$\nu(H_2) = V(H_2)/V_m = \frac{9{,}856}{22{,}4} = 0{,}44 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = 0{,}5x + y = 0{,}44$$

$$\begin{cases} x = 20y \\ 0{,}5x + y = 0{,}44 \end{cases}$$

$x = 0{,}8$ (моль), $y = 0{,}04$ (моль)

Масса смеси:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{K}) + m(\text{Zn}) = 39 \cdot 0{,}8 + 65 \cdot 0{,}04 = 33{,}8 \text{ г}$$

При добавлении к полученному раствору соляной кислоты происходят следующие реакции:

$$\text{KOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{K}_2[\text{Zn(OH)}_4] + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{KCl} + \text{Zn(OH)}_2\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$$

Чтобы масса осадка Zn(OH)_2 была максимальной, необходимо полное разрушение комплекса при подкислении раствора, при этом гидроксид цинка не вступает в реакцию с соляной кислотой.

$$\nu(\text{HCl}) = \nu(\text{KOH}) + 2\nu(\text{K}_2[\text{Zn(OH)}_4]) = 0{,}72 + 0{,}08 = 0{,}8 \text{ (моль)}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{\nu}{V} = \frac{0{,}8}{1} = 0{,}8 \text{ моль/л}$$

Определим массу осадка:

$$\nu(\text{Zn(OH)}_2) = \nu(\text{Zn}) = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$m(\text{Zn(OH)}_2) = \nu \cdot M = 0{,}04 \cdot 99 = 3{,}96 \text{ г}$$

Ответ. 33,8 г, 0,8 моль/л, 3,96 г.

10. Установим строение аминокислот. Одна аминокислота реагирует с азотистой кислотой:

$$\text{H}_2\text{N}-\underset{\displaystyle \text{R}_1}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{COOH} + \text{HNO}_2 \longrightarrow \text{N}_2 + \text{HO}-\underset{\displaystyle \text{R}_1}{\underset{|}{\text{CH}}}-\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$$

$$\nu(\text{N}_2) = \frac{2{,}24}{22{,}4} = 0{,}1 \text{ моль}$$

Если в этой аминокислоте только одна аминогруппа, то

$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(\text{N}_2) = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{\nu} = \frac{7{,}3}{0{,}1} = 73 \text{ г/моль}$$

$M(\text{R}_1) = 73 - 74 < 0$, что невозможно

Радикал R_1 содержит группу, способную вступать в реакцию с азотистой кислотой.

$$\nu(\text{аминокислоты}) = 0{,}5\nu(\text{N}_2) = 0{,}05 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{\nu} = \frac{7{,}3}{0{,}05} = 146 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{R}_1) = 146 - 74 = 72 \text{ г/моль}$$

Итак, одна из аминокислот — лизин:

$$H_2N-\underset{\displaystyle CH_2CH_2CH_2CH_2NH_2}{\overset{\displaystyle |}{CH}}-COOH$$

Другая аминокислота вступает в реакцию нейтрализации:

$$H_2N-\underset{\displaystyle R_2}{\overset{\displaystyle |}{CH}}-COOH + NaOH \longrightarrow H_2N-\underset{\displaystyle R_2}{\overset{\displaystyle |}{CH}}-COONa + H_2O$$

$$\nu(NaOH) = \frac{10 \cdot 0{,}24}{40} = 0{,}06 \text{ моль}$$

Если в составе этой аминокислоты только одна группа, способная вступать в реакцию нейтрализации, то

$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(NaOH) = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{6{,}3}{0{,}06} = 105 \text{ г/моль}$$

$$M(R_2) = 105 - 74 = 31 \text{ г/моль}$$

Эта молекулярная масса соответствует радикалу —CH_2—OH. Аминокислота — серин:

$$H_2N-\underset{\displaystyle CH_2OH}{\overset{\displaystyle |}{CH}}-COOH$$

Напишем уравнения реакций горения исходной смеси аминокислот, считая, что в ней содержится x моль серина и y моль лизина.

$$\underset{x}{4C_3H_7NO_3} + \underset{3{,}25x}{13O_2} \rightarrow 2N_2 + 12CO_2 + 14H_2O$$

$$\underset{y}{2C_6H_{14}N_2O_2} + \underset{8{,}5y}{17O_2} \rightarrow 2N_2 + 12CO_2 + 14H_2O$$

$$\nu(O_2) = \frac{13{,}888}{22{,}4} = 0{,}62 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 105x + 146y = 13{,}6 \\ 3{,}25x + 8{,}5y = 0{,}62 \end{cases}$$

$x = 0{,}06$ (моль), $y = 0{,}05$ (моль)

Массы аминокислот в смеси:

$$m(C_3H_7NO_3) = 0{,}06 \cdot 105 = 6{,}3 \text{ г}$$

$$m(C_6H_{14}N_2O_2) = 0{,}05 \cdot 146 = 7{,}3 \text{ г}$$

$$\omega(\text{серина}) = \frac{6{,}3}{13{,}6} = 0{,}463, \text{ или } 46{,}3\%$$

$$\omega(\text{лизина}) = \frac{7{,}3}{13{,}6} = 0{,}537, \text{ или } 53{,}7\%$$

Ответ. 46,3% серина и 53,7% лизина.

ВАРИАНТ 2

1. Элемент **X** содержит $50 - 4 \cdot 8 - 1 = 17$ электронов. Это атом хлор. Уравнение реакции хлора с холодным раствором NaOH:

$$Cl_2 + 2NaOH \rightarrow NaCl + NaClO + H_2O$$

2.

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$\nu(C) = 2 \text{ моль}$$

$$\nu(O_2) = 2{,}5 \text{ моль}$$

Углерод взят в недостатке. Согласно уравнению реакции из 2 моль углерода образуется 2 моль CO_2. Теплота образования CO_2 всегда рассчитывается на 1 моль.

$$Q_{\text{обр}}(CO_2) = \frac{787}{2} = 393{,}5 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. 393,5 кДж/моль.

3. Безводный хлорид кальция можно использовать для осушения всех указанных газов. Концентрированной серной кислотой нельзя сушить C_3H_6, H_2S и CH_3NH_2. Оксидом кальция нельзя обезвоживать H_2S.

$$C_3H_6 + H_2O \xrightarrow{H^+} C_3H_7OH$$

$$H_2S + H_2SO_4 \rightarrow S + SO_2 + 2H_2O$$

$$CH_3NH_2 + H_2SO_4 \rightarrow CH_3NH_3 + HSO_4^-$$

$$H_2S + CaO \rightarrow CaS + H_2O$$

4.

$$pV = \nu RT$$

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{2{,}732 \cdot 8{,}31 \cdot 293}{101{,}3} = 65{,}666 \text{ г/моль}$$

Объем газовой смеси увеличился в 1,5 раза. Вывод: добавлено 0,5 л газа; объем новой газовой смеси 1,5 л.

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_1V_1 + M_2V_2}{V_1 + V_2} = \frac{58 \cdot 1 + M_2 \cdot 0{,}5}{1{,}5} = 65{,}666$$

M_2 = 81 г/моль; это бромоводород HBr. При добавлении к смеси 0,5 л диметиламина (стехиометрическое количество) происходит реакция:

$$(CH_3)_2NH + HBr \to (CH_3)_2NH_2Br\downarrow$$

Остается газ бутан; его плотность:

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 58}{8{,}31 \cdot 293} = 2{,}413 \text{ г/л}$$

Ответ. HBr, 2,413 г/л.

5. Задачу решаем методом подбора. Надо учесть, что для металлов, находящихся в степени окисления +1, образование основных карбонатов маловероятно. Начнем рассмотрение со степени окисления +2. По условию:

$$\nu(MSO_4) : \nu(M(NO_3)_2) : \nu((MOH)_2CO_3) = 2 : 2 : 3$$

$$\omega(M) = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{10M}{10M + (34 \cdot 2 + 62 \cdot 4 + 17 \cdot 6 + 60 \cdot 3)} =$$

$$= \frac{10M}{10M + 598} = 0{,}2864$$

M = 24 г/моль. Это Mg.

Пусть в исходной смеси $2x$ моль $Mg(OH)_2$, $2x$ моль $Mg(NO_3)_2$ и $3x$ моль $(MgOH)_2CO_3$. При прокаливании смеси протекают реакции:

$$\underset{2x}{Mg(OH)_2} \xrightarrow{t} \underset{2x}{MgO} + H_2O\uparrow$$

$$\underset{2x}{2Mg(NO_3)_2} \xrightarrow{t} \underset{2x}{2MgO} + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$\underset{3x}{(MgOH)_2CO_3} \xrightarrow{t} \underset{6x}{2MgO} + CO_2\uparrow + H_2O\uparrow$$

Твердый остаток после прокаливания — это оксид магния:

$$m(\text{исх. смеси}) = (2 \cdot 58 + 2 \cdot 148 + 3 \cdot 142) \cdot x = 838x$$

$$m(MgO) = 40 \cdot 10x = 400x$$

$$\frac{m(\text{исх. смеси})}{m(MgO)} = \frac{838x}{400x} = 2{,}095$$

Ответ. в 2,095 раза.

6. Этиламин — слабое основание.

$$C_2H_5NH_2 + H_2O \rightleftarrows C_2H_5NH_3^+ + OH^-$$

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-12} \text{ моль/л}$$

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-12}} = 10^{-2} = 0{,}01 \text{ моль/л}$$

$K_w = [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$.

Пусть c моль/л — концентрация этиламина.

$$K_b = \frac{[C_2H_5NH_3^+] \cdot [OH^-]}{[C_2H_5NH_2]} = \frac{[OH^-]^2}{c - [OH^-]}$$

$$c = \frac{[OH^-]^2}{K_b} + [OH^-] = 0{,}166 \text{ моль/л}$$

По условию, $c(NaOH) = c(C_2H_5NH_2) = 0{,}166$ моль/л. Сильное основание гидроксид натрия в растворе диссоциирует полностью.

$$NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$$

$$[OH^-] = c(NaOH) = 0{,}166 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{0{,}166} = 6{,}024 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 13{,}2$$

При смешении равных объемов растворов оснований концентрация каждого основания уменьшится в 2 раза. В присутствии сильного основания NaOH диссоциация слабого основания $C_2H_5NH_2$ заметно подавляется.

$$c(NaOH) = 0{,}166 : 2 = 0{,}083 \text{ моль/л}$$

$$[OH^-] \approx c(NaOH) = 0{,}083 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{0{,}083} = 1{,}2 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 12{,}92$$

Ответ. 0,166 моль/л, 13,2, 12,92.

7. Приведем один вариант ответа.

1) $4Cr + 12HCl + 3O_2 \rightarrow 4CrCl_3 + 6H_2O$

2) $2CrCl_3 + 3Na_2S + 6H_2O \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + 3H_2S + 6NaCl$

или

$CrCl_3 + 3KOH(\text{р-р, недост.}) \rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + 3KCl$

3) $2Cr(OH)_3 + 3Br_2 + 10KOH(\text{р-р}) \xrightarrow{t} 2K_2CrO_4 + 6KBr + 8H_2O$

4) $2K_2CrO_4 + 3K_2SO_3 + 5H_2SO_4 \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + 5K_2SO_4 + 5H_2O$

5) $Cr_2(SO_4)_3 + 8KOH(\text{р-р, изб.}) \rightarrow 2K[Cr(OH)_4] + 3K_2SO_4$

6) $K[Cr(OH)_4] + CO_2$(изб.) $\rightarrow Cr(OH)_3\downarrow + KHCO_3$

или

$2K[Cr(OH)_4] + CO_2 \rightarrow 2Cr(OH)_3\downarrow + K_2CO_3 + H_2O$

Ответ. **X1** — $CrCl_3$; **X2** — $Cr(OH)_3$; **X3** — K_2CrO_4.

8. Приведем один вариант ответа.

1) $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$

2) $C_2H_6 + HNO_3$(разб.) $\xrightarrow{t} CH_3CH_2NO_2 + H_2O$

3) $C_2H_4 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3CH_2OH$

4) $5CH_3CH_2OH + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$

$\rightarrow 5CH_3COOH + 4MnSO_4 + 2K_2SO_4 + 11H_2O$

5) $CH_3COOH + Br_2 \xrightarrow{P_{кр}} BrCH_2COOH + HBr$

6) $BrCH_2COOH + 2NH_3 \rightarrow H_2NCH_2COOH + NH_4Br$

Примечание. В качестве вещества C_xH_y можно выбрать C_2H_2.

9. $2K + 2H_2O \rightarrow 2KOH + H_2\uparrow$

$Zn + 2KOH + 2H_2O \rightarrow K_2[Zn(OH)_4] + H_2\uparrow$

Количество калия обозначим x (моль), количество цинка — y (моль).

$$m(\text{смеси}) = m(K) + m(Zn) = x \cdot M(K) + y \cdot M(Zn) = 39x + 65y$$

По условию в исходной смеси

$$\nu(K) : \nu(Zn) = x : y = 20$$

$$\begin{cases} 39x + 65y = 8{,}45 \\ x = 20y \end{cases}$$

$x = 0{,}2$ (моль), $y = 0{,}01$ (моль)

$m(K) = 0{,}2 \cdot 39 = 7{,}8$ г

$m(Zn) = 0{,}01 \cdot 65 = 0{,}65$ г

$$\omega(K) = \frac{m(K)}{m(\text{смеси})} = \frac{7{,}8}{8{,}45} = 0{,}923, \text{ или } 92{,}3\%$$

$\omega(Zn) = 0{,}077$, или $7{,}7\%$

$V(H_2) = (0{,}5x + y) \cdot V_m = 0{,}11 \cdot 22{,}4 = 2{,}464$ л

При добавлении соляной кислоты происходят следующие реакции:

$KOH + HCl \rightarrow KCl + H_2O$

$K_2[Zn(OH)_4] + 2HCl \rightarrow 2KCl + Zn(OH)_2\downarrow + 2H_2O$

Чтобы масса осадка $Zn(OH)_2$ была максимальной, необходимо полное разрушение комплекса при подкислении раствора, но гидроксид цинка не вступал в реакцию с соляной кислотой.

$$\nu(HCl) = \nu(KOH) + 2\nu(K_2[Zn(OH)_4]) = 0{,}18 + 0{,}02 = 0{,}2 \text{ моль}$$

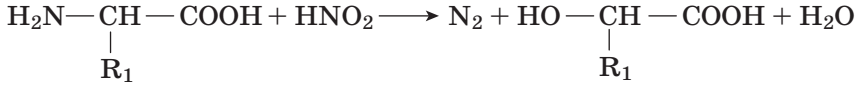
$$V(\text{р-ра HCl}) = \frac{\nu}{c} = \frac{0{,}2}{0{,}8} = 0{,}25 \text{ л}$$

$$\nu(Zn(OH)_2) = \nu(Zn) = 0{,}01 \text{ моль}$$

$$m(Zn(OH)_2) = \nu \cdot M = 0{,}01 \cdot 99 = 0{,}99 \text{ г}$$

Ответ. 92,3% K, 7,7% Zn, 2,464 л водорода, 0,25 л, 0,99 г.

10. Установим строение аминокислот. Одна аминокислота реагирует с азотистой кислотой:



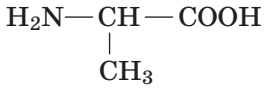
$$\nu(N_2) = \frac{1{,}344}{22{,}4} = 0{,}06 \text{ моль}$$

Если в этой аминокислоте только одна аминогруппа, то

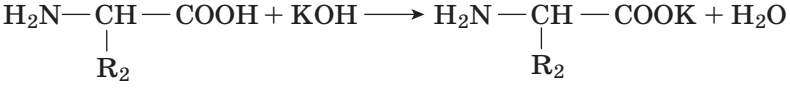
$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(N_2) = 0{,}06 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{\nu} = \frac{5{,}34}{0{,}06} = 89 \text{ г/моль}$$

$M(R_1) = 89 - 74 = 15$ г/моль, что соответствует радикалу $—CH_3$. Эта аминокислота — аланин:



Другая аминокислота вступает в реакцию нейтрализации:



$$\nu(KOH) = \frac{16{,}8 \cdot 0{,}2}{56} = 0{,}06 \text{ моль}$$

Если в этой аминокислоте только одна группа, способная вступать в реакцию нейтрализации, то $\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(KOH) = 0{,}06$ моль.

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{4{,}41}{0{,}06} = 73{,}5 \text{ г/моль}$$

$M(R_2) = 73{,}5 - 74 < 0$, что невозможно.

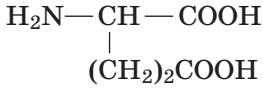
Радикал R_2 содержит группу, способную вступать в реакцию со щёлочью.

$$\nu(\text{аминокислоты}) = 0{,}5\nu(KOH) = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{4{,}41}{0{,}03} = 147 \text{ г/моль}$$

$$M(R_2) = 147 - 74 = 73$$

Это глутаминовая аминокислота:



Напишем уравнения реакций сгорания исходной смеси аминокислот, считая, что в ней содержится x моль аланина и y моль глутаминовой кислоты:

$$\underset{x}{4C_3H_7NO_2} + \underset{3{,}75x}{15O_2} \rightarrow 2N_2 + 12CO_2 + 14H_2O$$

$$\underset{y}{4C_5H_9NO_4} + \underset{5{,}25y}{21O_2} \rightarrow 2N_2 + 20CO_2 + 18H_2$$

$$\nu(O_2) = \frac{8{,}904}{22{,}4} = 0{,}3975 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 89x + 147y = 10{,}33 \\ 3{,}75x + 5{,}25y = 0{,}3975 \end{cases}$$

$x = 0{,}05$ (моль), $y = 0{,}04$ (моль)

$$m(\text{аланина}) = 0{,}05 \cdot 89 = 4{,}45 \text{ г}$$

$$m(\text{глутаминовой к-ты}) = 0{,}04 \cdot 147 = 5{,}88 \text{ г}$$

$$\omega(\text{аланина}) = \frac{4{,}45}{10{,}33} = 0{,}43, \text{ или } 43{,}0\%$$

$$\omega(\text{глутаминовой к-ты}) = \frac{5{,}88}{10{,}33} = 0{,}57, \text{ или } 57{,}0\%$$

Ответ. 43% аланина и 57% глутаминовой кислоты.

ВАРИАНТ 3

1. Элемент **X** содержит $50 - 4 \cdot 8 - 2 = 16$ электронов. Это атом серы. Уравнение реакции серы с горячей концентрированной азотной кислотой:

$$S + 6HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow H_2SO_4 + 6NO_2\uparrow + 2H_2O$$

2.

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$$

$$\nu(N_2) = 3 \text{ моль}$$

$$\nu(O_2) = 2 \text{ моль}$$

Кислород в недостатке.

$$Q_{обр}(NO) = \frac{-360{,}8}{4} = -90{,}2 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. −90,2 кДж/моль.

3. Безводный хлорид кальция может использоваться для осушения всех указанных газов. Концентрированной фосфорной кислотой нельзя сушить C_2H_4 и NH_3. Щёлочью нельзя обезвоживать HCl и Cl_2.

$$C_2H_4 + H_2O \xrightarrow{H^+} C_2H_5OH$$

$$NH_3 + H_3PO_4 \rightarrow NH_4H_2PO_4$$

$$HCl + KOH \rightarrow KCl + H_2O$$

$$Cl_2 + 2KOH \rightarrow KCl + KClO + H_2O$$

4. Рассчитаем среднюю молярную массу смеси:

$$pV = \nu RT$$

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1{,}786 \cdot 8{,}31 \cdot 298}{101{,}3} = 43{,}66 \text{ г/моль}$$

Объем газовой смеси увеличился в 3 раза. Вывод: добавлен 1 л газа; объем новой газовой смеси 1,5 л.

$$M_{ср} = \frac{M_1V_1 + M_2V_2}{V_1 + V_2} = \frac{58 \cdot 0{,}5 + M_2 \cdot 1}{1{,}5} = 43{,}66$$

$M_2 = 36{,}5$ г/моль. Это хлороводород HCl. При добавлении к смеси 1 л аммиака (стехиометрическое количество) образуется твердая соль:

$$NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl\downarrow$$

После реакции остается газ бутан, плотность которого:

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 58}{8{,}31 \cdot 298} = 2{,}373 \text{ г/л}$$

Ответ. HCl, 2,373 г/л.

5. Задачу решим методом подбора. С учетом того, что для металлов, находящихся в степени окисления +1, образование основных карбонатов маловероятно, начнем рассмотрение со степени окисления +2.

$$\nu(M(NO_3)_2) : \nu((MOH)_2CO_3) : \nu(MO) = 1 : 3 : 2$$

$$\omega(M) = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{9M}{9M + (62 \cdot 2 + 17 \cdot 6 + 60 \cdot 3 + 16 \cdot 2)} =$$

$$= \frac{9M}{9M + 438} = 0{,}5680$$

$M = 64$ г/моль. Это медь Cu.

Пусть в исходной смеси x моль $Cu(NO_3)_2$, $3x$ моль $(CuOH)_2CO_3$ и $2x$ моль CuO. При прокаливании смеси протекают реакции:

$$\underset{x}{2Cu(NO_3)_2} \xrightarrow{t} \underset{x}{2CuO} + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$\underset{3x}{(CuOH)_2CO_3} \xrightarrow{t} \underset{6x}{2CuO} + CO_2\uparrow + H_2O\uparrow$$

Оксид меди CuO не разлагается; после прокаливания в твердом остатке оксид меди CuO.

$$m(\text{исх. смеси}) = (188 + 3 \cdot 223 + 2 \cdot 80) \cdot x = 1014x$$

$$m(CuO) = 80 \cdot 9x = 720x$$

$$\frac{m(\text{исх. смеси})}{m(CuO)} = \frac{1014x}{720x} = 1{,}41$$

Ответ. В 1,41 раза.

6. Плавиковая кислота — слабая сислота.

$$HF \rightleftarrows H^+ + F^-$$

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-1{,}9} = 0{,}0126 \text{ моль/л}$$

$$K_a = \frac{[F^-] \cdot [H^+]}{[HF]} = \frac{[H^+]^2}{c - [H^+]}$$

$$c = \frac{[H^+]^2}{K_a} + [H^+] = 0{,}253 \text{ моль/л}$$

Сильная азотная кислота в растворе диссоциирует полностью.

$$HNO_3 \rightarrow H^+ + NO_3^-$$

$$[H^+] = c(HNO_3) = 0{,}253 \text{ М}$$

$$pH = -\lg(0{,}253) = 0{,}60$$

При смешении равных объемов растворов этих кислот концентрация каждой кислоты уменьшится в 2 раза. При этом концентрация ионов H^+ определяется диссоциацией только сильной кислоты HNO_3, поскольку диссоциация слабой кислоты HF в присутствии сильной заметно подавляется.

$$c(HNO_3) = 0{,}253 : 2 = 0{,}126 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] \approx c(HNO_3) = 0{,}126 \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg(0{,}126) = 0{,}90$$

Ответ. 0,253 моль/л, 0,6, 0,9.

7. Приведем один из вариантов ответа.

1) $2Zn + O_2 \xrightarrow{t} 2ZnO$

2) $ZnO + 2HCl(р\text{-}р) \to ZnCl_2 + H_2O$

3) $ZnCl_2 + 4NH_3(р\text{-}р, изб.) \to [Zn(NH_3)_4]Cl_2$

4) $[Zn(NH_3)_4]Cl_2 + H_2S \to ZnS\downarrow + 2NH_4Cl + 2NH_3$

5) $ZnS + 10HNO_3(конц.) \xrightarrow{t} Zn(NO_3)_2 + H_2SO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$

6) $2ZnS + 3O_2 \xrightarrow{t} 2ZnO + 2SO_2\uparrow$

Ответ. **X1** — ZnO; **X2** — $[Zn(NH_3)_4]Cl_2$; **X3** — ZnS.

8. Приведем один из вариантов ответа.

1) $HC_3C{\equiv}CH + NaNH_2 \to CH_3C{\equiv}CNa + NH_3$

2) $CH_3C{\equiv}CNa + CH_3Br \to CH_3C{\equiv}CCH_3 + NaBr$

3) $CH_3C{\equiv}CCH_3 + H_2O \xrightarrow[Hg^{2+}]{H^+} CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}C_2H_5$

4) $CH_3C{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow[Hg^{2+}]{H^+} CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_3$

5) $CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}CH_3 + CH_3MgBr \longrightarrow CH_3\overset{\overset{OMgBr}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}CH_3$

6) $CH_3\overset{\overset{OMgBr}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}CH_3 + H_2O \longrightarrow CH_3\overset{\overset{OH}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}CH_3 + Mg(OH)Br$

9. $2Na + 2H_2O \to 2NaOH + H_2\uparrow$

$2Al + 2NaOH + 6H_2O \to 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$

Количество натрия обозначим x моль, количество алюминия — y моль.

$$m(\text{смеси}) = m(\text{Na}) + m(\text{Al}) = xM(\text{Na}) + yM(\text{Al}) = 23x + 27y = 21{,}1$$

Согласно условию, металлы полностью прореагировали. Найдем количество выделившегося водорода.

$$\nu(\text{H}_2) = \frac{12{,}32}{22{,}4} = 0{,}55 \text{ моль}$$

С другой стороны:

$$\nu(\text{H}_2) = 0{,}5x + 1{,}5y = 0{,}55$$

$$\begin{cases} 23x + 27y = 21{,}1 \\ 0{,}5x + 1{,}5y = 0{,}55 \end{cases}$$

$x = 0{,}8$ (моль), $y = 0{,}1$ (моль)

$$m(\text{Na}) = 0{,}8 \cdot 23 = 18{,}4 \text{ г}$$

$$m(\text{Al}) = 0{,}1 \cdot 27 = 2{,}7 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}) = \frac{m(\text{Na})}{m(\text{смеси})} = 18{,}4 : 21{,}1 = 0{,}872, \text{ или } 87{,}2\%$$

$$\omega(\text{Al}) = 0{,}128, \text{ или } 12{,}8\%$$

$$\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$$

$$\text{Na[Al(OH)}_4\text{]} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{Al(OH)}_3\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$$

Чтобы масса осадка Al(OH)_3 была максимальной, необходимо полное разрушение комплекса при подкислении раствора, но при этом гидроксид алюминия не вступает в реакцию с соляной кислотой.

$$\nu(\text{HCl}) = \nu(\text{NaOH}) + \nu(\text{Na[Al(OH)}_4\text{]}) = 0{,}7 + 0{,}1 = 0{,}8 \text{ моль}$$

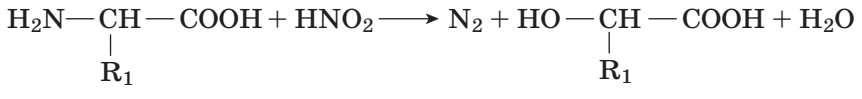
$$V(\text{р-ра HCl}) = \frac{\nu}{c} = \frac{0{,}8}{0{,}5} = 1{,}6 \text{ л}$$

$$\nu(\text{Al(OH)}_3) = \nu(\text{Al}) = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$m(\text{Al(OH)}_3) = \nu \cdot M = 0{,}1 \cdot 78 = 7{,}8 \text{ г}$$

Ответ. 87,2% Na, 12,8% Al, 1,6 л, 7,8 г.

10. Одна аминокислота реагирует с азотистой кислотой:



$$\nu(\text{N}_2) = \frac{2{,}24}{22{,}4} = 0{,}1 \text{ моль}$$

Если в этой аминокислоте только одна аминогруппа, то

$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(N_2) = 0{,}1 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{\nu} = \frac{7{,}3}{0{,}1} = 73 \text{ г/моль}$$

$$M(R_1) = 73 - 74 < 0, \text{ что невозможно.}$$

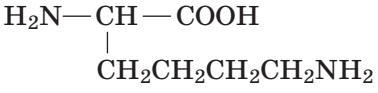
Радикал R_1 содержит группу, способную вступать в реакцию с азотистой кислотой.

$$\nu(\text{аминокислоты}) = 0{,}5\nu(N_2) = 0{,}05 \text{ моль}$$

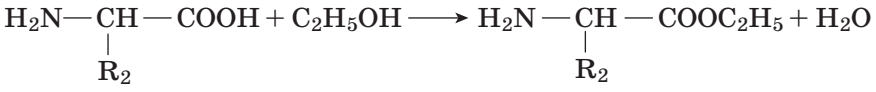
$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{\nu} = 7{,}3 : 0{,}05 = 146 \text{ г/моль}$$

$$M(R_1) = 146 - 74 = 72 \text{ г/моль}$$

Эта аминокислота — лизин:



Другая аминокислота вступает в реакцию этерификации:



$$\nu(C_2H_5OH) = \frac{4{,}6 \cdot 0{,}8}{46} = 0{,}08 \text{ моль}$$

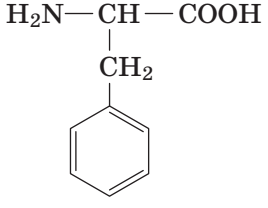
Если в составе этой аминокислоты только одна группа, способная вступать в реакцию этерификации, то

$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(C_2H_5OH) = 0{,}08 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = 13{,}2 : 0{,}08 = 165 \text{ г/моль}$$

$$M(R_2) = 165 - 74 = 91 \text{ г/моль}$$

Эта аминокислота — фенилаланин:



Напишем уравнения реакций горения исходной смеси аминокислот, считая, что в ней x моль лизина и y моль фенилаланина.

$$\underset{x}{2C_6H_{14}N_2O_2} + \underset{8{,}5x}{17O_2} \rightarrow 2N_2 + 12CO_2 + 14H_2O$$

$$\underset{y}{4C_9H_{11}NO_2} + \underset{10{,}75y}{43O_2} \rightarrow 2N_2 + 36CO_2 + 22H_2O$$

$\nu(O_2) = 21{,}56 : 22{,}4 = 0{,}9625$ моль

$$\begin{cases} 146x + 165y = 15{,}55 \\ 8{,}5x + 10{,}75y = 0{,}9625 \end{cases}$$

$x = y = 0{,}05$ (моль)

m(лизина) $= 0{,}05 \cdot 146 = 7{,}3$ г

m(фенилаланина) $= 0{,}05 \cdot 165 = 8{,}25$ г

ω(лизина) $= 7{,}3 : 15{,}55 = 0{,}469$, или 46,9%

ω(фенилаланина) $= 8{,}25 : 15{,}55 = 0{,}531$, или 53,1%

Ответ. 46,9% лизина и 53,1% фенилаланина.

ВАРИАНТ 4

1. Элемент **X** содержит $42 - 3 \cdot 8 - 1 = 17$ электронов. Это атом хлора. Реакция хлора с горячим раствором гидроксида калия:

$$3Cl_2 + 6KOH \xrightarrow{t} 5KCl + KClO_3 + 3H_2O$$

2.
$$2C + 3H_2 \rightarrow C_2H_6$$

$\nu(C) = 8$ моль, $\nu(H_2) = 15$ моль. Итак, углерод в недостатке. Из 8 моль углерода образуются 4 моль этана.

$$Q_{обр}(C_2H_6) = 333{,}8 : 4 = 83{,}45 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. 83,45 кДж/моль.

3. Безводный сульфат магния может использоваться для осушения всех указанных газов. Концентрированной серной кислотой нельзя сушить C_3H_6, HI и NH_3. Щёлочью нельзя обезвоживать HI.

$$C_3H_6 + H_2O \xrightarrow{H^+} C_3H_7OH$$

$$8HI + H_2SO_4(\text{конц.}) \rightarrow 4I_2 + H_2S\uparrow + 4H_2O$$

$$NH_3 + H_2SO_4 \rightarrow NH_4HSO_4$$

$$HI + NaOH \rightarrow NaI + H_2O$$

4. Рассчитаем среднюю молярную массу смеси.

$$pV = \nu RT$$

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1{,}241 \cdot 8{,}31 \cdot 298}{101{,}3} = 30{,}34 \text{ г/моль}$$

Объем газовой смеси увеличился в 1,5 раза. Вывод: добавлен 1 л газа; объем новой смеси 3 л.

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_1V_1 + M_2V_2}{V_1 + V_2}$$

$$\frac{16 \cdot 2 + M_2 \cdot 1}{3} = 30{,}34$$

$M_2 = 59$ г/моль. Это триметиламин C_3H_9N. При добавлении к смеси 1 л хлороводорода (стехиометрическое количество) образуется твердая соль.

$$C_3H_9N + HCl \rightarrow C_3H_{10}NCl\downarrow$$

После реакции остается газ метан, плотность которого:

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 16}{8{,}31 \cdot 298} = 0{,}655 \text{ г/л}$$

Ответ. Триметиламин C_3H_9N, 0,655 г/л.

5. Задачу решаем методом подбора. Пусть металл M имеет степень окисления +1. По условию:

$$\nu(MNO_3) : \nu(M_2O) : \nu(M_2SO_4) = 2 : 1 : 1$$

$$\omega(M) = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{6M}{6M + (62 \cdot 2 + 16 + 96)} = \frac{6M}{6M + 236} = 0{,}6903$$

$M \approx 88$ (г/моль)

Это стронций Sr. Однако Sr не может проявлять в соединениях степень окисления +1.

Пусть металл имеет степень окисления +2.

$$\nu(M(NO_3)_2) : \nu(MO) : \nu(MSO_4) = 2 : 1 : 1$$

$$\omega(M) = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{4M}{4M + (62 \cdot 4 + 16 + 96)} = \frac{4M}{4M + 360} = 0{,}6903$$

$M = 201$ (г/моль). Металл — ртуть Hg.

Пусть в исходной смеси $2x$ моль $Hg(NO_3)_2$, x моль HgO и x моль $HgSO_4$. При прокаливании смеси протекают реакции:

$$\underset{2x \text{ моль}}{Hg(NO_3)_2} \xrightarrow{t} \underset{2x}{Hg} + 2NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$\underset{x}{2HgO} \xrightarrow{t} \underset{x}{2Hg} + O_2\uparrow$$

$$\underset{x}{HgSO_4} \xrightarrow{t} \underset{x}{Hg} + SO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

Остаток после прокаливания — это ртуть.

$$m(\text{исх. смеси}) = (325 \cdot 2 + 217 + 297) \cdot x = 1164x$$

$$m(Hg) = 201 \cdot 4x = 804x$$

$$\frac{m(\text{исх. смеси})}{m(Hg)} = \frac{1164x}{804x} = 1{,}45$$

Ответ. В 1,45 раза.

6. Уксусная кислота — слабая кислота.

$$CH_3COOH \rightleftarrows H^+ + CH_3COO^-$$

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-2{,}3} = 0{,}005 \text{ моль/л}$$

$$K_a = \frac{[CH_3COO^-] \cdot [H^+]}{[CH_3COOH]} = \frac{[H^+]^2}{c - [H^+]}$$

$$c = \frac{[H^+]^2}{K_a} + [H^+] = 1{,}4 \text{ моль/л}$$

Сильная соляная кислота в растворе диссоциирует полностью.

$$HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$$

$$[H^+] = c(HCl) = 1{,}4 \text{ М}$$

$$pH = -\lg(1{,}4) = -0{,}15$$

При смешении равных объемов растворов этих кислот концентрация каждой уменьшится в 2 раза; при этом концентрация ионов H^+ определяется диссоциацией только сильной кислоты HCl.

$$c(HCl) = 1{,}4 : 2 = 0{,}7 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] \approx c(HCl) = 0{,}7 \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg(0{,}7) = 0{,}16$$

Ответ. 1,4 моль/л, −0,15, 0,16.

7. Приведем один вариант ответа.

1) $2CuS + 3O_2 \xrightarrow{t} 2CuO + 2SO_2\uparrow$

2) $SO_2 + 2H_2S \rightarrow 3S + 2H_2O$

3) $S + 6HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} H_2SO_4 + 6NO_2\uparrow + 2H_2O$

4) $H_2SO_4 + BaCl_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + 2HCl$

5) $BaSO_4 + 4H_2 \xrightarrow{t} BaS + 4H_2O$

6) $CuS + 10HNO_3(\text{конц.}) \xrightarrow{t} Cu(NO_3)_2 + H_2SO_4 + 8NO_2\uparrow + 4H_2O$

Ответ. **X1** — SO_2; **X2** — S; **X3** — H_2SO_4.

8. Приведем один вариант ответа.

1) $CH_3CH_2CH_2CH_3 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3CH(Br)CH_2CH_3 + HBr$

2) $CH_3CH(Br)CH_2CH_3 + NaOH(\text{спирт}) \rightarrow$
$\rightarrow CH_3CH{=}CHCH_3 + NaBr + H_2O$

3) $3CH_3CH{=}CHCH_3 + 2KMnO_4 + 4H_2O \xrightarrow{0\,^\circ C}$
$\rightarrow 3CH_3CH(OH)CH(OH)CH_3 + 2MnO_2\downarrow + 2KOH$

4) $2CH_3CH_2CH_2CH_3 + 5O_2 \xrightarrow{\text{катализатор}} 4CH_3COOH + 2H_2O$

5) $CH_3COOH + Br_2 \xrightarrow{P_{кр}} BrCH_2COOH + HBr$

6) $BrCH_2COOH + 2NH_3 \rightarrow H_2NCH_2COOH + NH_4Br$

9. $2K + 2H_2O \rightarrow 2KOH + H_2\uparrow$

$2Al + 2KOH + 6H_2O \rightarrow 2K[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$

Пусть калия — x моль, алюминия — y моль.

$m(\text{смеси}) = m(K) + m(Al) = xM(K) + yM(Al) = 39x + 27y = 8{,}34$

По условию, металлы полностью прореагировали.

$$\nu(H_2) = \frac{2{,}912}{22{,}4} = 0{,}13 \text{ моль}$$

$$\nu(H_2) = 0{,}5x + 1{,}5y = 0{,}13$$

$$\begin{cases} 39x + 27y = 8{,}34 \\ 0{,}5x + 1{,}5y = 0{,}13 \end{cases}$$

$x = 0{,}2$ (моль), $y = 0{,}02$ (моль)

$m(K) = 0{,}2 \cdot 39 = 7{,}8$ г

$m(Al) = 0{,}02 \cdot 27 = 0{,}54$ г

$$\omega(K) = \frac{m(K)}{m(\text{смеси})} = \frac{7{,}8}{8{,}34} = 0{,}935, \text{ или } 93{,}5\%$$

$\omega(Al) = 0{,}065$, или 6,5%

$KOH + HCl \rightarrow KCl + H_2O$

$K[Al(OH)_4] + HCl \rightarrow KCl + Al(OH)_3\downarrow + 2H_2O$

Чтобы масса осадка $Al(OH)_3$ была максимальной, необходимо полное разрушение комплекса при подкислении раствора, но при этом гидроксид алюминия не вступает в реакцию с соляной кислотой.

$$\nu(HCl) = \nu(KOH) + \nu(K[Al(OH)_4]) = 0{,}18 + 0{,}02 = 0{,}2 \text{ моль}$$

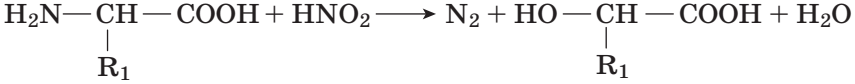
$$c(HCl) = \frac{\nu}{V} = \frac{0{,}2}{0{,}5} = 0{,}4 \text{ моль/л}$$

$$\nu(Al(OH)_3) = \nu(Al) = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$m(Al(OH)_3) = \nu \cdot M = 0{,}02 \cdot 78 = 1{,}56 \text{ г}$$

Ответ. 93,25% K, 6,5% Al, 0,4 моль/л, 1,56 г.

10. Одна аминокислота реагирует с азотистой кислотой:



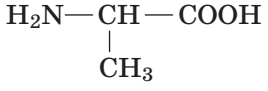
$$\nu(N_2) = \frac{0{,}672}{22{,}4} = 0{,}03 \text{ моль}$$

Если в этой аминокислоте только одна аминогруппа, то

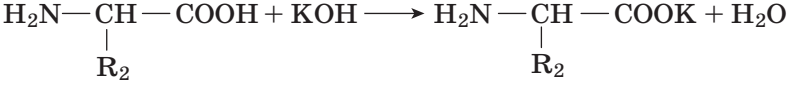
$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(N_2) = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{\nu} = \frac{2{,}67}{0{,}03} = 89 \text{ г/моль}$$

$M(R_1) = 89 - 74 = 15$ г/моль, что соответствует радикалу $—CH_3$. Эта аминокислота — аланин:



Другая аминокислота вступает в реакцию нейтрализации:



$$\nu(KOH) = \frac{20 \cdot 0{,}112}{56} = 0{,}04 \text{ моль}$$

Если в составе этой аминокислоты есть только одна группа, способная вступать в реакцию нейтрализации, то

$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(KOH) = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{3{,}62}{0{,}04} = 90{,}5 \text{ г/моль}$$

$$M(R_2) = 90{,}5 - 74 = 16{,}5 \text{ г/моль}$$

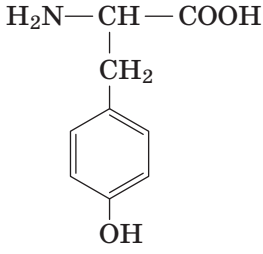
Природной аминокислоты с радикалом такой массы нет. Радикал R_2 содержит группу, способную вступать в реакцию со щёлочью.

$$\nu(\text{аминокислоты}) = 0{,}5\nu(KOH) = 0{,}02 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{3{,}62}{0{,}02} = 181 \text{ г/моль}$$

$$M(R_2) = 181 - 74 = 107 \text{ г/моль}$$

Итак, другая аминокислота — тирозин:



Напишем уравнения реакций горения исходной смеси аминокислот, считая, что в ней содержится x моль аланина и y моль тирозина.

$$\underset{x}{4C_3H_7NO_2} + \underset{3{,}75x}{15O_2} \to 2N_2 + 12CO_2 + 14H_2O$$

$$\underset{y}{4C_9H_{11}NO_3} + \underset{10{,}25y}{41O_2} \to 2N_2 + 36CO_2 + 22H_2O$$

$$\nu(O_2) = \frac{7{,}112}{22{,}4} = 0{,}3175 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 89x + 181y = 6{,}29 \\ 3{,}75x + 10{,}25y = 0{,}3175 \end{cases}$$

$x = 0{,}03$ (моль), $y = 0{,}02$ (моль)

$m(\text{аланина}) = 0{,}03 \cdot 89 = 2{,}67$ г

$m(\text{тирозина}) = 0{,}02 \cdot 181 = 3{,}62$ г

$\omega(\text{аланина}) = 2{,}67 : 6{,}29 = 0{,}424$, или 42,4%

$\omega(\text{тирозина}) = 3{,}62 : 6{,}29 = 0{,}576$, или 57,6%

Ответ. 42,4% аланина и 57,6% тирозина.

ВАРИАНТ 5 (РЕЗЕРВНЫЙ)

1. Элемент **X** содержит $42 - 3 \cdot 8 - 2 = 16$ электронов. Это атом серы. Реакция серы с горячей концентрированной азотной кислотой:

$$S + 6HNO_3(\text{конц.}) \to H_2SO_4 + 6NO_2\uparrow + 2H_2O$$

2. $H_2 + F_2 \rightarrow 2HF$

$$\nu(H_2) = \frac{8}{2} = 4 \text{ моль}$$

$$\nu(F_2) = \frac{76}{38} = 2 \text{ моль}$$

Фтор взят в недостатке. Из 2 моль фтора образуется 4 моль фтороводорода.

$$Q_{обр}(HF) = \frac{1093{,}28}{4} = 273{,}32 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. 273,32 кДж/моль.

3. Безводный сульфат магния можно использовать для осушения всех указанных газов. Концентрированной серной кислотой нельзя сушить C_2H_4 и CH_3NH_2. Гидроксидом калия нельзя обезвоживать HCl и SO_2.

$$C_2H_4 + H_2O \xrightarrow{H^+} C_2H_5OH$$

$$CH_3NH_2 + H_2SO_4 \rightarrow CH_3NH_3HSO_4$$

$$HCl + KOH \rightarrow KCl + H_2O$$

$$SO_2 + KOH \rightarrow KHSO_3$$

4. $pV = \nu RT$

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1{,}276 \cdot 8{,}31 \cdot 293}{101{,}3} = 30{,}67 \text{ г/моль}$$

Объем газовой смеси увеличился в 3 раза. Вывод: добавлено 2 л газа; объем новой смеси 3 л.

$$M_{ср} = \frac{M_1V_1 + M_2V_2}{V_1 + V_2} = \frac{58 \cdot 1 + M_2 \cdot 2}{3} = 30{,}67$$

$M_2 = 17$ г/моль. Это аммиак NH_3.

При добавлении к смеси 2 л хлороводорода (стехиометрическое количество) происходит реакция с образованием твердой соли:

$$NH_3 + HCl \rightarrow NH_4Cl\downarrow$$

Остается газ бутан, плотность которого:

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 58}{8{,}31 \cdot 293} = 2{,}413 \text{ г/л}$$

Ответ. NH_3, 2,413 г/л.

5. Задачу решаем методом подбора. Пусть металл M имеет степень окисления +1. По условию:

$$\nu(M_2SO_4) : \nu(MNO_3) : \nu(MOH) = 1 : 1 : 1$$

$$\omega(M) = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{4M}{4M + (96 + 62 + 17)} = \frac{4M}{4M + 175} = 0{,}1706$$

$M = 9$ г/моль. Это соответствует бериллию Be, но Be не может проявлять степень окисления +1.

Пусть металл M имеет степень окисления +2.

$$\nu(MSO_4) : \nu(M(NO_3)_2) : \nu(M(OH)_2) = 1 : 1 : 1$$

$$\omega(M) = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{3M}{3M + (96 + 62 \cdot 2 + 17 \cdot 2)} = \frac{3M}{3M + 254} = 0{,}1706$$

$M = 17{,}5$ г/моль. Такого металла нет.

Пусть металл M имеет степень окисления +3.

$$\nu(M_2(SO_4)_3) : \nu(M(NO_3)_3) : \nu(M(OH)_3) = 1 : 1 : 1$$

$$\omega(M) = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{4M}{4M + (96 \cdot 3 + 62 \cdot 3 + 17 \cdot 3)} = \frac{3M}{3M + 525} = 0{,}1706$$

$M = 27$ г/моль. Это алюминий Al.

Пусть в исходной смеси по x моль каждого соединения. При прокаливании смеси протекают реакции:

$$\underset{x \text{ моль}}{2Al_2(SO_4)_3} \xrightarrow{t} \underset{x}{2Al_2O_3} + 6SO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$$

$$\underset{x}{4Al(NO_3)_3} \xrightarrow{t} \underset{0{,}5x}{2Al_2O_3} + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$$

$$\underset{x}{2Al(OH)_3} \xrightarrow{t} \underset{0{,}5x}{Al_2O_3} + 3H_2O\uparrow$$

После прокаливания в твердом остатке оксид алюминия Al_2O_3.

$$m(\text{исх. смеси}) = (392 + 213 + 78) \cdot x = 683x$$

$$m(Al_2O_3) = 102 \cdot 2x = 204x$$

$$\frac{m(\text{исх. смеси})}{m(Al_2O_3)} = \frac{683x}{204x} = 3{,}35$$

Ответ. В 3,35 раза.

6. Метиламин — слабое основание.

$$CH_3NH_2 + H_2O \rightleftarrows CH_3NH_3^+ + OH^-$$

Рассчитаем равновесную концентрацию гидроксид-ионов.

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-12,1} \text{ моль/л},$$

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-12,1}} = 10^{-1,9} = 0,0126 \text{ моль/л}$$

Пусть концентрация метиламина c моль/л.

$$K_b = \frac{[CH_3NH_3^+][OH^-]}{[CH_3NH_2]} = \frac{[OH^-]^2}{c - [OH^-]}$$

$$c = \frac{[OH^-]^2}{K_b} + [OH^-] = 0,44 \text{ моль/л}$$

Сильное основание гидроксид калия в растворе диссоциирует полностью.

$$KOH \rightarrow K^+ + OH^-$$

$$[OH^-] = c(KOH) = 0,44 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{0,44} = 2,27 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 13,64$$

При смешении равных объемов растворов этих оснований концентрация каждого основания уменьшится в 2 раза, и концентрация ионов OH^- в этом растворе определяется диссоциацией только сильного основания KOH.

$$c(KOH) = 0,44 : 2 = 0,22 \text{ моль/л}$$

$$[OH^-] \approx c(KOH) = 0,22 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{0,22} = 4,55 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 13,34$$

Ответ. 0,44 моль/л, 13,64, 13,34.

7. Приведем один вариант ответа.

1) $3Fe_3O_4 + 8Al \xrightarrow{t} 9Fe + 4Al_2O_3$

2) $2Fe + 3Cl_2 \xrightarrow{t} 2FeCl_3$

3) $2FeCl_3 + H_2S \rightarrow 2FeCl_2 + S\downarrow + 2HCl$

4) $FeCl_2 + (NH_4)_2S(р\text{-}р) \rightarrow FeS\downarrow + 2NH_4Cl$

5) $FeS + 12HNO_3(конц.) \rightarrow Fe(NO_3)_3 + 9NO_2\uparrow + H_2SO_4 + 5H_2O$

6) $Fe + 2HCl(р\text{-}р) \rightarrow FeCl_2 + H_2\uparrow$

Ответ. **X1** — $FeCl_3$; **X2** — $FeCl_2$; **X3** — FeS.

8. Приведем один вариант ответа.

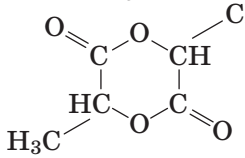
1) $3HC{\equiv}CH \xrightarrow{C_{актив},\,t} C_6H_6$

2) $C_6H_6 + H_2C{=}CH_2 \xrightarrow{H^+} C_6H_5{-}C_2H_5$

3) $HC{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{H^+,\,Hg^{2+}} CH_3{-}CHO$

4) $CH_3{-}CHO + H{-}C{\equiv}N \rightarrow CH_3{-}CH(OH){-}C{\equiv}N$

5) $CH_3{-}CH(OH){-}C{\equiv}N + 2H_2O + HCl \xrightarrow{t}$
$\rightarrow CH_3{-}CH(OH){-}COOH + NH_4Cl$

6) $2CH_3{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}{-}COOH \xrightarrow{t}$  $+ 2H_2O$

9. $2K + 2H_2O \rightarrow 2KOH + H_2\uparrow$

$2Al + 2KOH + 6H_2O \rightarrow 2K[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$

Количество алюминия обозначим x моль, количество калия — $40x$ моль.

$m(\text{смеси}) = 40x \cdot M(K) + x \cdot M(Al) = 40x \cdot 39 + 27x = 1587x = 15{,}87$

$x = \nu(Al) = 0{,}01$ (моль), $\nu(K) = 0{,}4$ (моль)

$$\omega(Al) = \frac{m(Al)}{m(\text{смеси})} = \frac{27 \cdot 0{,}01}{15{,}87} = 0{,}017, \text{ или } 1{,}7\%$$

$\omega(K) = 0{,}983$, или $98{,}3\%$

$\nu(H_2) = 0{,}5 \cdot 40x + 1{,}5 \cdot x \cdot = 0{,}215$ моль

$V(H_2) = 0{,}215 \cdot 22{,}4 = 4{,}816$ л

$KOH + HCl \rightarrow KCl + H_2O$

$K[Al(OH)_4] + HCl \rightarrow KCl + Al(OH)_3\downarrow + H_2O$

Чтобы масса осадка $Al(OH)_3$ была максимальной, необходимо полное разрушение комплекса при подкислении раствора, но при этом гидроксид алюминия не вступает в реакцию с соляной кислотой.

$$\nu(HCl) = \nu(KOH) + \nu(K[Al(OH)_4]) = 0{,}39 + 0{,}01 = 0{,}4 \text{ моль}$$

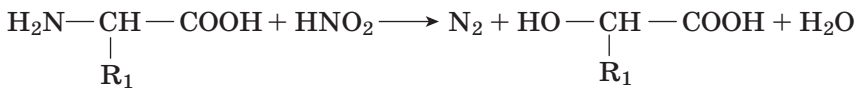
$$V(HCl) = \frac{\nu}{c} = \frac{0{,}4}{0{,}6} = 0{,}667 \text{ л}$$

$\nu(Al(OH)_3) = \nu(Al) = 0{,}01$ моль

$m(Al(OH)_3) = \nu \cdot M = 0{,}01 \cdot 78 = 0{,}78$ г

Ответ. 1,7% Al, 98,3% K; 4,816 л; 0,667 л; 0,78 г.

10. Одна аминокислота реагирует с азотистой кислотой.



$$\nu(N_2) = 1{,}792 : 22{,}4 = 0{,}08 \text{ моль}$$

Если в первой аминокислоте только одна аминогруппа, то

$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(N_2) = 0{,}08 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{\nu} = \frac{5{,}84}{0{,}08} = 73 \text{ г/моль}$$

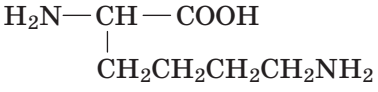
$M(R_1) = 73 - 74 < 0$, что невозможно.

Итак, радикал R_1 содержит группу, способную вступать в реакцию с азотистой кислотой.

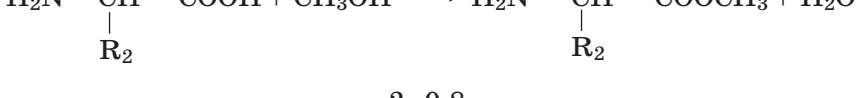
$$\nu(\text{аминокислоты}) = 0{,}5\nu(N_2) = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{\nu} = \frac{5{,}384}{0{,}04} = 146 \text{ г/моль}$$

$M(R_1) = 146 - 74 = 72$ г/моль. Эта аминокислота — лизин:



Другая аминокислота вступает в реакцию этерификации:



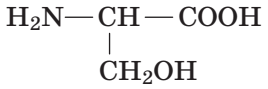
$$\nu(CH_3OH) = \frac{2 \cdot 0{,}8}{32} = 0{,}05 \text{ моль}$$

Если в второй аминокислоте только одна группа, способная вступать в реакцию нейтрализации, то

$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(CH_3OH) = 0{,}05 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{4{,}45}{0{,}05} = 89 \text{ г/моль}$$

$M(R_2) = 89 - 74 = 15$ г/моль. Эта аминокислота — аланин:



Напишем уравнения сжигания исходной смеси аминокислот, считая, что в ней содержится x моль лизина и y моль аланина.

$$\underset{x}{2C_6H_{14}N_2O_2} + \underset{8{,}5x}{17O_2} \rightarrow 2N_2 + 12CO_2 + 14H_2O$$

$$\underset{y}{4C_3H_7NO_2} + \underset{3{,}75y}{15O_2} \rightarrow 2N_2 + 12CO_2 + 14H_2O$$

$\nu(O_2) = 11{,}816 : 22{,}4 = 0{,}5275$ моль

$$\begin{cases} 146x + 89y = 10{,}29 \\ 8{,}5x + 3{,}75y = 0{,}5275 \end{cases}$$

$x = 0{,}04$ (моль), $y = 0{,}05$ (моль)

m(лизина) $= 0{,}04 \cdot 146 = 5{,}84$ г

ω(лизина) $= 5{,}84 : 10{,}29 = 0{,}5675$, или 56,75%

ω(аланина) $= 0{,}4325$, или 43,25%

Ответ. 56,75% лизина и 43,25% аланина.

ВАРИАНТ 6 («КРЫМ»)

1. Элемент **X** содержит $58 - 4 \cdot 8 - 2 = 24$ электрона. Это атом хрома. Реакция хрома с соляной кислотой:

$$Cr + 2HCl \rightarrow CrCl_2 + H_2\uparrow$$

2.

$$H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$$

$$\nu(H_2) = \frac{12}{2} = 6 \text{ моль}$$

$$\nu(I_2) = \frac{254}{254} = 1 \text{ моль}$$

Иод в недостатке. Из 1 моль иода образуется 2 моль иодоводорода.

$$Q_{обр}(HI) = \frac{-53{,}2}{2} = -26{,}6 \text{ кДж/моль}$$

Ответ. −26,6 кДж/моль.

3. Безводный сульфат магния можно использовать для осушения всех указанных газов. Концентрированной серной кислотой нельзя

сушить HI, NH_3 и C_2H_4. Оксидом кальция нельзя обезвоживать HI. Уравнения возможных реакций:

$$6HI + H_2SO_4(\text{конц.}) \to 3I_2\downarrow + S\downarrow + 4H_2O$$

$$NH_3 + H_2SO_4 \to NH_4HSO_4$$

$$C_2H_4 + H_2O \xrightarrow{H^+} C_2H_5OH$$

$$2HI + CaO \to CaI_2 + H_2O$$

4. Рассчитаем среднюю молярную массу смеси:

$$pV = \nu RT$$

$$\nu = \frac{m}{M}$$

$$M = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1{,}390 \cdot 8{,}31 \cdot 293}{101{,}3} = 33{,}41 \text{ г/моль}$$

Объем газовой смеси увеличился в 2,5 раза. Вывод: добавлено 3 л газообразного амина; объем новой смеси 5 л.

$$M_{\text{ср}} = \frac{M_1V_1 + M_2V_2}{V_1 + V_2} = \frac{16 \cdot 2 + M_2 \cdot 3}{5} = 33{,}41$$

$M_2 = 45$ г/моль. Это диметиламин $(CH_3)_2NH$. При добавлении к смеси 3 л хлороводорода с образуется твердая соль:

$$(CH_3)_2NH + HCl \to (CH_3)_2NH_2Cl\downarrow$$

Остается газ — метан, плотность которого:

$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 16}{8{,}31 \cdot 293} = 0{,}667 \text{ г/л}$$

Ответ. $(CH_3)_2NH$, 0,667 г/л.

5. Задачу решим методом подбора. Пусть металл M имеет степень окисления +1. По условию:

$$\nu(MNO_3) : \nu(M_2CO_3) : \nu(MOH) = 1 : 2 : 3$$

$$\omega(M) = \frac{m(\text{металла})}{m(\text{смеси})} = \frac{8M}{8M + (62 + 60 \cdot 2 + 17 \cdot 3)} = \frac{8M}{8M + 233} = 0{,}1938$$

$M = 7$ г/моль. Металл — это литий Li.

Пусть в исходной смеси x моль $LiNO_3$, $2x$ моль Li_2CO_3 и $3x$ моль LiOH. При прокаливании смеси протекают реакции (напомним, что в ряду щелочных металлов литий — исключение, его соединения разлагаются до оксида):

$$\underset{x\text{ моль}}{4LiNO_3} \xrightarrow{t} \underset{0{,}5x}{2Li_2O} + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$\underset{2x}{Li_2CO_3} \xrightarrow{t} \underset{2x}{Li_2O} + CO_2\uparrow$$

$$\underset{3x}{2LiOH} \xrightarrow{t} \underset{1{,}5x}{Li_2O} + H_2O\uparrow$$

После прокаливания в твердом остатке оксид лития Li_2O.

$$m(\text{исх. смеси}) = (69 + 2 \cdot 74 + 3 \cdot 24) \cdot x = 289x$$

$$m(Li_2O) = 30 \cdot 4x = 120x$$

$$\frac{m(\text{исх. смеси})}{m(Li_2O)} = \frac{289x}{120x} = 2{,}4$$

Ответ. в 2,4 раза.

6. Метиламин — слабое основание.

$$CH_3NH_2 + H_2O \rightleftarrows CH_3NH_3^+ + OH^-$$

Рассчитаем равновесную концентрацию гидроксид-ионов:

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-11{,}9} \text{ моль/л}$$

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{10^{-11{,}9}} = 10^{-2{,}1} = 0{,}008 \text{ моль/л}$$

Пусть концентрация метиламина c (моль/л).

$$K_b = \frac{[CH_3NH_3^+][OH^-]}{[CH_3NH_2]} = \frac{[OH^-]^2}{c - [OH^-]}$$

$$c = \frac{[OH^-]^2}{K_b} + [OH^-] = 0{,}179 \text{ моль/л}$$

Сильное основание гидроксид натрия в растворе диссоциирует полностью.

$$NaOH \to Na^+ + OH^-$$

$$[OH^-] = c(NaOH) = 0{,}179 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{0{,}179} = 5{,}59 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 13{,}25$$

При смешении равных объемов растворов этих оснований концентрация каждого основания уменьшится в 2 раза; при этом кон-

центрация ионов OH^- в растворе определяется диссоциацией только сильного основания NaOH, поскольку диссоциация слабого основания CH_3NH_2 в присутствии сильного заметно подавляется.

$$c(NaOH) = 0{,}008 : 2 = 0{,}004 \text{ моль/л}$$

$$[OH^-] \approx c(NaOH) = 0{,}004 \text{ моль/л}$$

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{0{,}004} = 4{,}55 \cdot 10^{-14} \text{ моль/л}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 11{,}34$$

Ответ. 0,44 моль/л, 13,64, 13,34.

7. Приведем один вариант ответа.

1) $Ag + 2HNO_3(конц.) \to AgNO_3 + NO_2\uparrow + H_2O$
2) $2AgNO_3 + 2KOH \to Ag_2O\downarrow + 2KNO_3 + H_2O$
3) $Ag_2O + 4NH_3 + H_2O \to 2[Ag(NH_3)_2]OH$
4) $HCHO + 4[Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{t} 4Ag\downarrow + (NH_4)_2CO_3 + 6NH_3 + 2H_2O$
5) $4Ag + 2H_2S + O_2 \to 2Ag_2S + 2H_2O$
6) $Ag_2S + 10HNO_3(конц.) \to 2AgNO_3 + 8NO_2\uparrow + H_2SO_4 + 4H_2O$

Ответ. **X1** — $[Ag(NH_3)_2]OH$; **X2** — Ag; **X3** — Ag_2S.

8. Приведем один вариант ответа.

1) $2CH_4 \xrightarrow{1500\,^\circ C} HC{\equiv}CH + 3H_2$
2) $HC{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{H^+, Hg^{2+}} CH_3{-}CHO$
3) $CH_3{-}CHO + 2[Ag(NH_3)_2]OH \xrightarrow{t} \to CH_3COONH_4 + 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$
4) $CH_4 + Br_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3Br + HBr$
5) $CH_3Br + HC{\equiv}CNa \to HC{\equiv}C{-}CH_3 + NaBr$
6) $HC{\equiv}C{-}CH_3 + H_2O \xrightarrow{H^+, Hg^{2+}} CH_3{-}C(O){-}CH_3$

9.

$$2Na + 2H_2O \to 2NaOH + H_2\uparrow$$

$$2Al + 2NaOH + 62H_2O \to 2[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$$

Обозначим количество алюминия x моль, количество натрия — $15x$ моль. Масса смеси

$$m = 15x \cdot M(Na) + x \cdot M(Al) = 345x + 27x = 372x = 14{,}88$$

$$x = 0{,}04 \text{ (моль)}$$

$$\omega(Na) = \frac{m(Na)}{m(\text{смеси})} = \frac{345 \cdot 0{,}04}{14{,}88} = 0{,}9274, \text{ или } 92{,}74\%$$

$\omega(Al) = 0{,}0726$, или 7,26%

$\nu(H_2) = 7{,}5x + 1{,}5x = 9x = 0{,}36$ моль

$V(H_2) = 0{,}36 \cdot 22{,}4 = 8{,}064$ л (при н. у.)

$NaOH + HCl \rightarrow NaCl + H_2O$

$Na[Al(OH)_4] + HCl \rightarrow NaCl + Al(OH)_3\downarrow + H_2O$

Чтобы масса осадка $Al(OH)_3$ была максимальной, необходимо полное разрушение комплекса при подкислении раствора, но при этом гидроксид алюминия не вступает в реакцию с соляной кислотой.

$$\nu(HCl) = \nu(NaOH) + \nu(Na[Al(OH)_4]) = 0{,}56 + 0{,}04 = 0{,}6 \text{ моль}$$

$$V(HCl) = \frac{\nu}{c} = \frac{0{,}6}{0{,}7} = 0{,}857 \text{ л} = 857 \text{ мл}$$

$$\nu(Al(OH)_3) = \nu(Al) = 0{,}04 \text{ моль}$$

$$m(Al(OH)_3) = \nu \cdot M = 0{,}04 \cdot 78 = 3{,}12 \text{ г}$$

Ответ. 92,74% Na и 7,26% Al, 8,064 л, 857 мл, 3,12 г.

10. Одна аминокислота реагирует с азотистой кислотой:

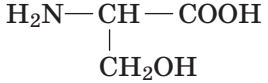
$$\nu(N_2) = 1{,}792 : 22{,}4 = 0{,}08 \text{ моль}$$

Если в этой аминокислоте только одна аминогруппа, то

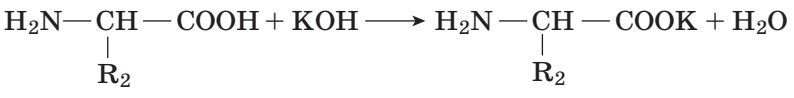
$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(N_2) = 0{,}08 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{m}{\nu} = \frac{8{,}4}{0{,}08} = 105 \text{ г/моль}$$

$M(R_1) = 105 - 74 = 31$ г/моль, что соответствует радикалу CH_2OH. Эта аминокислота — серин:



Другая аминокислота вступает в реакцию нейтрализации:



$$\nu(KOH) = \frac{16{,}8 \cdot 0{,}2}{56} = 0{,}06 \text{ моль}$$

Если в составе второй аминокислоты только одна группа, способная реагировать со щёлочью, то

$$\nu(\text{аминокислоты}) = \nu(KOH) = 0{,}06 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{5{,}43}{0{,}06} = 90{,}5 \text{ г/моль}$$

$$M(R_2) = 90{,}5 - 74 = 16{,}5 \text{ г/моль}$$

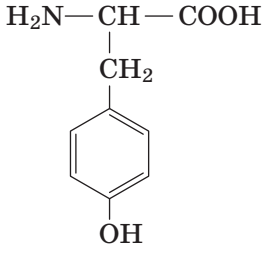
Природной аминокислоты с таким радикалом нет. Радикал R_2 содержит группу, способную вступать в реакцию нейтрализации со щёлочью.

$$\nu(\text{аминокислоты}) = 0{,}5\nu(KOH) = 0{,}03 \text{ моль}$$

$$M(\text{аминокислоты}) = \frac{5{,}43}{0{,}03} = 181 \text{ г/моль}$$

$$M(R_2) = 181 - 74 = 107 \text{ г/моль}$$

Итак, вторая аминокислота — тирозин:



Далее напишем уравнения реакции горения исходной смеси аминокислот, считая, что в ней содержится x моль серина и y моль тирозина.

$$\underset{x}{4C_3H_7NO_3} + \underset{3{,}25x}{13O_2} \rightarrow 2N_2 + 12CO_2 + 14H_2O$$

$$\underset{y}{4C_9H_{11}NO_3} + \underset{10{,}25y}{41O_2} \rightarrow 2N_2 + 36CO_2 + 22H_2O$$

$$\nu(O_2) = \frac{12{,}096}{22{,}4} = 0{,}54 \text{ моль}$$

$$\begin{cases} 105x + 181y = 11{,}44 \\ 3{,}25x + 10{,}25y = 0{,}54 \end{cases}$$

$$x = y = 0{,}04 \text{ моль}$$

Масса серина в смеси $0{,}04 \cdot 105 = 4{,}2$ г. Масса тирозина $0{,}04 \cdot 181 = 7{,}24$ г.

$$\omega(\text{серина}) = \frac{4{,}2}{11{,}44} = 0{,}367, \text{ или } 36{,}7\%$$

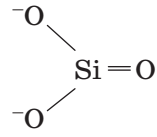
$$\omega(\text{тирозина}) = 0{,}633, \text{ или } 63{,}3\%$$

Ответ. 36,7% серина и 63,3% тирозина.

ЗАМЕСТИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН (ВМЕСТО ЕГЭ)

ВАРИАНТ 1

1. Структурная формула силикат-иона SiO_3^{2-}:



Здесь центральный атом — кремний Si, степень окисления которого в силикат-ионе +4, электронная конфигурация: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$.

2. Электролиз водного раствора гидроксида лития сопровождается выделением водорода и кислорода на катоде и аноде соответственно. По сути, идет разложение воды, гидроксид лития остается в растворе в неизменном количестве:

$$2H_2O \xrightarrow{\text{эл}} 2H_2\uparrow + O_2\uparrow.$$

3. Плотность газа **X** по водороду — это отношение молярных масс газов:

$$D_{H_2}(\mathbf{X}) = \frac{M(\mathrm{X})}{M(H_2)} = \frac{M(\mathrm{X})}{2} = 17$$

$$M(\mathbf{X}) = 17 \cdot 2 = 34 \text{ г/моль}$$

Газ с такой молярной массой — сероводород H_2S или фосфин PH_3.

Ответ. H_2S или PH_3.

4. Термическое разложение нитрата меди(II):

$$2Cu(NO_3)_2 \xrightarrow{t} 2CuO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

Пусть разложению подвергли x моль соли, оксида образовалось также x моль.

$$m(Cu(NO_3)_2) = M \cdot \nu = 188x$$

$$m(CuO) = 80x$$

Масса твердого вещества уменьшилась в $\frac{188x}{80x} = 2{,}35$ раза.

Ответ. В 2,35 раза.

5. Напишем выражение для скорости (r) реакции через исходные концентрации реагентов:

$$r = k \cdot c(NO)^2 \cdot c(O_2)$$

Измененные концентрации веществ:

$$c_1(NO) = 2c(NO)$$

$$c_1(O_2) = {}^1/_3 c(O_2)$$

Новое значение скорости r_1 (константа скорости реакции k не зависит от концентраций участников реакции!):

$$r_1 = k \cdot c_1(NO)^2 \cdot c_1(O_2) = k \cdot 2^2 \cdot c(NO)^2 \cdot {}^1/_3 c(O_2) =$$
$$= \frac{4}{3}\ k \cdot c(NO)^2 \cdot c(O_2) = 1{,}33\ r$$

Ответ. Скорость реакции увеличится в 1,33 раза.

6. Неизвестный безводный средний фосфат железа образован железом(II) или железом(III): $Fe_3(PO_4)_2$ или $FePO_4$. Действуем методом подбора. Рассчитаем массовую долю кислорода в фосфате железа(II).

$$\omega(O) = \frac{16 \cdot 8}{358} = 0{,}3575$$

Это значение не соответствует условиям задачи. Проверим фосфат железа(III):

$$\omega(O) = \frac{16 \cdot 4}{151} = 0{,}4238$$

Получили значение, совпадающее с условием задачи, следовательно, неизвестный фосфат железа — это $FePO_4$, его кристаллогидрат — $FePO_4 \cdot nH_2O$. Выразим массовую долю кислорода в кристаллогидрате:

$$\omega(O) = \frac{16 \cdot (4 + n)}{151 + 18n} = 0{,}5133$$

$n = 2$. Искомый кристаллогидрат — это дигидрат фосфата железа(III).

Ответ. $FePO_4 \cdot 2H_2O$.

7. Приведем один вариант ответа.

1) $ZnSO_4 + Ba(NO_3)_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + Zn(NO_3)_2$
2) $Zn(NO_3)_2 + 2NaOH(\text{недост.}) \rightarrow Zn(OH)_2\downarrow + 2NaNO_3$
3) $Zn(OH)_2 \xrightarrow{t} ZnO + H_2O\uparrow$
4) $ZnO + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2O$

8. Приведем один вариант ответа.

1) $2CH_4 \xrightarrow{t} HC{\equiv}CH + 3H_2$ (крекинг метана)
2) $3C_2H_2 \xrightarrow{C_{акт},\,t} C_6H_6$ (тримеризация ацетилена)
3) $C_6H_6 + CH_3Cl \xrightarrow{AlCl_3,\,t} C_6H_5{-}CH_3 + HCl$

4) $C_6H_5—CH_3 + 2KMnO_4$(водн. р-р) $\rightarrow$
$\rightarrow C_6H_5—COOK + 2MnO_2\downarrow + KOH + H_2O$

5) $C_6H_5—COOK + HCl \rightarrow C_6H_5—COOH + KCl$

9. $M + HNO_3$(разб.) $\rightarrow M(NO_3)_x + NO\uparrow + H_2O$

Воспользуемся тем, что вне зависимости от валентности x металла количество полученной соли равно количеству взятого металла:

$$\nu(M) = \nu(M(NO_3)_x)$$

$$\nu(M(NO_3)_x) = c \cdot V = 1{,}2 \cdot 0{,}125 = 0{,}15 \text{ моль}$$

$$M(M) = \frac{m}{\nu} = \frac{8{,}4}{0{,}15} = 56 \text{ г/моль. Это железо.}$$

В реакции с азотной кислотой железо окислится до железа(III):

$$Fe + 4HNO_3\text{(разб.)} \rightarrow Fe(NO_3)_3 + NO\uparrow + 2H_2O$$

Реакция с разбавленной серной кислотой:

$$Fe + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + H_2\uparrow$$

Ответ. Fe.

10. Определим неизвестный предельный амин из реакции сгорания.

$$C_nH_{2n+3}N + (n + \frac{2n+3}{4})O_2 \rightarrow nCO_2 + \frac{2n+3}{2}H_2O + 0{,}5N_2$$

Объемы газов, участвующих в реакции, относятся так же, как стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции:

$$V(CO_2) : V(N_2) = n : 0{,}5 = 2$$

$$n = 1$$

Неизвестный амин — это метиламин.

$$CH_3NH_2 + KNO_2 + HCl \rightarrow CH_3OH + N_2\uparrow + KCl + H_2O$$

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}736}{8{,}31 \cdot 299} = 0{,}03 \text{ моль}$$

Количество метиламина также 0,03 моль; его масса в растворе:

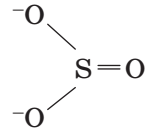
$$m(CH_3NH_2) = \nu \cdot M = 0{,}03 \cdot 31 = 0{,}93 \text{ г}$$

$$\omega(CH_3NH_2) = \frac{0{,}93}{31} = 0{,}03, \text{ или } 3\%$$

Ответ. CH_3NH_2, 3%.

ВАРИАНТ 2

1. Структурная формула сульфит-иона SO_3^{2-}:



Здесь центральный атом — сера S, степень окисления серы в сульфит-ионе +4, электронная конфигурация: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$.

2. Электролиз водного раствора сульфата натрия сопровождается выделением водорода и кислорода на катоде и аноде соответственно. По сути, идет разложение воды, а соль остается в растворе в неизменном количестве:

$$2H_2O \xrightarrow{\text{эл}} 2H_2\uparrow + O_2\uparrow$$

3. Плотность газа **X** по кислороду равна отношению молярных масс газов:

$$D_{O_2}(\mathbf{X}) = \frac{M(\mathrm{X})}{M(O_2)} = \frac{M(\mathrm{X})}{32} = 2$$

$$M(\mathbf{X}) = 32 \cdot 2 = 64 \text{ г/моль}$$

Газ с такой молярной массой — оксид серы(IV) SO_2 или C_5H_4.

Ответ. PH_3 или C_5H_4.

4. Термическое разложение нитрата цинка:

$$2Zn(NO_3)_2 \xrightarrow{t} 2ZnO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

Пусть разложению подвергли x моль соли, оксида также образовалось x моль.

$$m(Zn(NO_3)_2) = M \cdot \nu = 189x$$

$$m(ZnO) = 81x$$

Масса твердого вещества уменьшилась в $\dfrac{189x}{81x} = 2{,}33$ раза.

Ответ. В 2,33 раза.

5. Выразим скорость реакции (r) через исходные концентрации реагентов:

$$r = k \cdot c(SO_2)^2 \cdot c(O_2)$$

Измененные концентрации веществ:

$$c_1(SO_2) = 3c(SO_2)$$

$$c_1(O_2) = {}^1/_2 c(O_2)$$

Новое значение скорости r_1 (константа скорости реакции k не зависит от концентраций участников реакции!):

$$r_1 = k \cdot c_1(SO_2)^2 \cdot c_1(O_2) = k \cdot 3^2 \cdot c(SO_2)^2 \cdot {}^1/_2 c(O_2) =$$

$$= {}^9/_2 k \cdot c(SO_2)^2 \cdot c(O_2) = 4{,}5r$$

Ответ. Скорость реакции увеличится в 4,5 раза.

6. Неизвестный безводный средний фосфат железа образован железом(II) или железом(III): $Fe_3(PO_4)_2$ или $FePO_4$. Действуем методом подбора. Рассчитаем массовую долю кислорода в фосфате железа(II).

$$\omega(O) = \frac{16 \cdot 8}{358} = 0{,}3575$$

Получили значение, совпадающее с условием. Следовательно, это фосфат железа $Fe_3(PO_4)_2$; его кристаллогидрат $Fe_3(PO_4)_2 \cdot nH_2O$. Выразим массовую долю кислорода в кристаллогидрате:

$$\omega(O) = \frac{16 \cdot (8 + n)}{358 + 18n} = 0{,}1674$$

$$n = 4$$

Искомый кристаллогидрат — это тетрагидрат фосфата железа(II). *Ответ.* $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$.

7. Приведем один вариант ответа.

1) $ZnSO_4 + BaCl_2 \rightarrow BaSO_4\downarrow + ZnCl_2$

2) $ZnCl_2 + 2NaOH(\text{недост.}) \rightarrow Zn(OH)_2\downarrow + 2NaCl$

3) $Zn(OH)_2 + 2HNO_3 \rightarrow Zn(NO_3)_2 + 2H_2O$

4) $2Zn(NO_3)_2 \xrightarrow{t} 2ZnO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

8. Приведем один вариант ответа.

1) $CH_3CH_2CH_2Cl + KOH(\text{водн.}) \rightarrow CH_3CH_2CH_2OH + KCl$

2) $CH_3CH_2CH_2OH + CuO \xrightarrow{t} CH_3CH_2CHO + Cu + H_2O$

3) $CH_3CH_2CHO + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} CH_3CH_2COOH + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$

4) $CH_3CH_2COOH + Br_2 \xrightarrow{P_{\text{красн}}} CH_3CHBrCOOH + HBr$

5) $CH_3CHBrCOOH + 2NH_3 \rightarrow CH_3CH(NH_2)COOH + NH_4Br$

9. $M + HNO_3(\text{конц.}) \rightarrow M(NO_3)_x + NO_2\uparrow + H_2O$

Воспользуемся тем, что вне зависимости от валентности x металла M количество полученной соли равно количеству взятого металла.

$$\nu(M) = \nu(M(NO_3)_x)$$

$$\nu(M(NO_3)_x) = c \cdot V = 1{,}5 \cdot 0{,}3 = 0{,}45 \text{ моль}$$

$$M(M) = \frac{m}{\nu} = \frac{10{,}8}{0{,}45} = 24 \text{ г/моль. Это магний Mg.}$$

Реакции с концентрированными азотной и серной кислотами:

$$Mg + 4HNO_3(\text{конц.}) \to Mg(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$Mg + 2H_2SO_4(\text{конц.}) \to MgSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

Ответ. Магний Mg.

10. $C_nH_{2n+3}N + (n + \frac{2n+3}{4})O_2 \to nCO_2 + \frac{2n+3}{2}H_2O + 0{,}5N_2$

Объемы газов относятся, как стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции:

$$V(CO_2) : V(N_2) = n : 0{,}5 = 6$$

$$n = 3$$

Это пропиламин (первичный амин).

$$C_3H_7NH_2 + KNO_2 + HCl \to C_3H_7OH + N_2\uparrow + KCl + H_2O$$

$$\nu(N_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 0{,}768}{8{,}31 \cdot 312} = 0{,}03 \text{ моль}$$

Количество пропиламина также 0,03 моль; его масса в растворе:

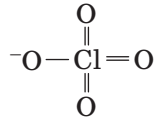
$$m(C_3H_7NH_2) = \nu \cdot M = 0{,}03 \cdot 59 = 1{,}77 \text{ г}$$

$$\omega(C_3H_7NH_2) = \frac{1{,}77}{59} = 0{,}03, \text{ или } 3\%$$

Ответ. $C_3H_7NH_2$, 3%.

ВАРИАНТ 3

1. Структурная формула перхлорат-иона ClO_4^-:



Здесь центральный атом — хлор Cl, степень окисления хлора в перхлорат-ионе +7, электронная конфигурация $1s^22s^22p^63s^23p^5$.

2. Электролиз водного раствора бромида калия сопровождается выделением водорода и брома на катоде и аноде соответственно:

$$2KBr + 2H_2O \xrightarrow{\text{эл}} H_2\uparrow + Br_2 + 2KOH$$

3. Плотность газа **X** по водороду — это отношение молярных масс газов:

$$D_{H_2}(\mathbf{X}) = \frac{M(X)}{M(H_2)} = \frac{M(X)}{2} = 14$$

$$M(\mathbf{X}) = 14 \cdot 2 = 28 \text{ г/моль}$$

Газ с такой молярной массой — азот N_2 или оксид углерода(II) CO.

Ответ. N_2 или CO.

4. Термическое разложение нитрата магния:

$$2Mg(NO_3)_2 \xrightarrow{t} 2MgO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

Пусть разложению подвергли x моль соли, оксида образовалось также x моль.

$$m(Mg(NO_3)_2) = M \cdot \nu = 148x$$

$$m(MgO) = 40x$$

Масса твердого вещества уменьшилась в $\frac{148x}{40x} = 3{,}7$ раза.

Ответ. В 3,7 раза.

5. Выразим скорость реакции (r) через исходные концентрации реагентов:

$$r = k \cdot c(N_2) \cdot c(H_2)^3$$

Измененные концентрации веществ:

$$c_1(N_2) = 3c(N_2)$$

$$c_1(H_2) = {}^1/_2 c(H_2)$$

Новое значение скорости r_1 составит (константа скорости реакции k не зависит от концентраций участников реакции!):

$$r_1 = k \cdot c_1(N_2) \cdot c_1(H_2)^3 = k \cdot 3 \cdot c(N_2) \cdot ({}^1/_2 c(H_2))^3 =$$

$$= {}^3/_8 k \cdot c(N_2) \cdot c(H_2)^3 = 0{,}375\ r$$

$$\frac{r}{r_1} = 2{,}67$$

Ответ. Скорость реакции уменьшится в 2,67 раза.

6. Неизвестный безводный средний сульфат хрома образован хромом(II) или хромом(III): $CrSO_4$ или $Cr_2(SO_4)_3$. Действуем методом подбора. Рассчитаем массовую долю кислорода в сульфате хрома(II).

$$\omega(O) = \frac{16 \cdot 4}{148} = 0{,}4324$$

Это значение не соответствует условию. Проверим сульфат хрома(III).

$$\omega(O) = \frac{16 \cdot 12}{392} = 0{,}4898$$

Получили значение, совпадающее с условиями. Следовательно, это сульфат хрома $Cr_2(SO_4)_3$ и кристаллогидрат $Cr_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$. Выразим массовую долю кислорода в кристаллогидрате:

$$\omega(O) = \frac{16 \cdot (12 + n)}{151392 + 18n} = 0{,}5381$$

$$n = 3$$

Искомый кристаллогидрат — это тригидрат сульфата хрома(III).

Ответ. $Cr_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$.

7. Приведем один вариант ответа.

1) $ZnCl_2 + 2AgNO_3 \rightarrow 2AgCl\downarrow + Zn(NO_3)_2$

2) $Zn(NO_3)_2 + 2KOH(\text{недост.}) \rightarrow Zn(OH)_2\downarrow + 2KNO_3$

3) $Zn(OH)_2 \xrightarrow{t} ZnO + H_2O\uparrow$

4) $ZnO + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2O$

8. Приведем один вариант ответа.

1) $2CH_4 \xrightarrow{t} HC{\equiv}CH + 3H_2$

(это реакция происходит при крекинге метана)

2) $C_2H_2 + 2HCl \rightarrow CH_3{-}CHCl_2$

3) $CH_3{-}CHCl_2 + 2NaOH(\text{водн.}) \rightarrow CH_3{-}CHO + 2NaCl + H_2O$

4) $CH_3{-}CHO + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} CH_3{-}COOH + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$

5) $CH_3COOH + CH_3OH \xrightarrow{H^+} CH_3COOCH_3 + H_2O$

9. $M + HNO_3(\text{разб.}) \rightarrow M(NO_3)_x + NO\uparrow + H_2O$

Воспользуемся тем, что вне зависимости от валентности x металла M количество соли равно количеству взятого металла.

$$\nu(M) = \nu(M(NO_3)_x)$$

$$\nu(M(NO_3)_x) = c \cdot V = 1{,}2 \cdot 0{,}250 = 0{,}3 \text{ моль}$$

$$M(\text{M}) = \frac{m}{\nu} = \frac{19{,}5}{0{,}3} = 65 \text{ г/моль. Это цинк.}$$

Реакции с концентрированными азотной и серной кислотами:

$$\text{Zn} + 4\text{HNO}_3(\text{конц.}) \rightarrow \text{Zn(NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$$

$$\text{Zn} + 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц.}) \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{SO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$$

Ответ. Zn.

10. $\text{C}_n\text{H}_{2n+3}\text{N} + (n + \frac{2n+3}{4})\text{O}_2 \rightarrow n\text{CO}_2 + \frac{2n+3}{2}\text{H}_2\text{O} + 0{,}5\text{N}_2$

Объемы газов относятся, как стехиометрические коэффициенты:

$$V(\text{CO}_2) : V(\text{N}_2) = n : 0{,}5 = 2$$

$$n = 1$$

Это метиламин.

$$\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{KNO}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{N}_2\uparrow + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$$

$$\nu(\text{N}_2) = \frac{pV}{RT} = \frac{101{,}3 \cdot 1{,}22}{8{,}31 \cdot 298} = 0{,}05 \text{ моль}$$

Количество метиламина также 1,55 моль; его масса в растворе:

$$m(\text{CH}_3\text{NH}_2) = \nu \cdot M = 0{,}05 \cdot 31 = 0{,}93 \text{ г}$$

$$\omega(\text{CH}_3\text{NH}_2) = \frac{1{,}55}{38{,}75} = 0{,}04, \text{ или } 4\%$$

Ответ. CH_3NH_2, 4%.

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ЭКЗАМЕНОВ ПО ХИМИИ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

Программа по химии для поступающих в Московский государственный университет состоит из двух частей. В первой части представлены основные теоретические понятия химии, которыми должен владеть абитуриент с тем, чтобы уметь обосновать химические и физические свойства веществ, которые включены во вторую часть, посвященную элементам и их соединениям.

Экзаменационный билет содержит 10 заданий, охватывающих все разделы программы, с дифференцированной оценкой. Продолжительность письменного экзамена 4 часа. На экзамене можно пользоваться своим микрокалькулятором. Справочные таблицы (Периодическая система элементов; Растворимость оснований, кислот и солей в воде; Ряд стандартных электродных потенциалов) всем абитуриентам раздают перед началом экзамена.

ЧАСТЬ I. ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Предмет химии. Место химии в естествознании. Масса и энергия. Основные понятия химии. Вещество. Молекула. Атом. Электрон. Ион. Химический элемент. Химическая формула. Относительные атомная и молекулярная массы. Моль. Молярная масса.

Химические превращения. Закон сохранения массы и энергии. Закон постоянства состава. Стехиометрия.

Строение атома. Атомное ядро. Изотопы. Стабильные и нестабильные ядра. Радиоактивные превращения, деление ядер и ядерный синтез. Уравнение радиоактивного распада. Период полураспада.

Двойственная природа электрона. Строение электронных оболочек атомов. Квантовые числа. Атомные орбитали. Электронные конфигурации атомов в основном и возбужденном состояниях. Принцип Паули. Правило Хунда.

Периодический закон Д. И. Менделеева и его обоснование с учетом теории электронного строения атомов. Периодическая система элементов.

Химическая связь. Типы химических связей: ковалентная, ионная, металлическая, водородная. Механизмы образования ковалентной связи: обменный и донорно-акцепторный. Энергия связи. Потенциал ионизации, сродство к электрону, электроотрицательность. Полярность связи, индуктивный эффект. Кратные связи. Модель гибридизации орбиталей. Связь электронной структуры молекул с геометрическим строением (на примере соединений элементов второго периода). Делокализация электронов в сопряженных системах. Мезомерный эффект. Понятие о молекулярных орбиталях.

Валентность и степень окисления. Структурные формулы. Изомерия. Виды изомерии. Структурная и пространственная изомерия.

Агрегатные состояния вещества. Превращения вещества из одного агрегатного осстояния в другое в зависимости от температуры и давления. Газы. Газовые законы. Уравнение Клапейрона–Менделеева. Закон Авогадро. Молярный объем. Жидкости. Ассоциация молекул в жидкостях. Твердые тела. Основные типы кристаллических решеток: кубические и гексагональные.

Классификация веществ. Простые вещества. Смеси и растворы. Аллотропия. Металлы и неметаллы. Химические соединения. Номенклатура химических соединений. Основные классы неорганических веществ: оксиды, основания, кислоты, соли. Комплексные соединения. Основные классы органических веществ: углеводороды, галоген-, кислород- и азотсодержащие вещества. Карбо- и гетероциклы. Полимеры и макромолекулы.

Химические реакции и их классификация. Типы разрыва химических связей. Гомо- и гетеролитические реакции. Окислительно-восстановительные реакции.

Тепловые эффекты химических реакций. Термохимические уравнения. Теплота (энтальпия) образования химических соединений. Закон Гесса и его следствия.

Скорость химической реакции. Представление о механизмах химических реакций. Элементарная стадия реакции. Гомогенные и гетерогенные реакции. Зависимость скорости гомогенных реакций от концентрации (закон действующих масс). Константа скорости химической реакции, ее зависимость от температуры. Энергия активации.

Явление катализа. Катализаторы. Примеры каталитических процессов. Представление о механизмах гомогенного и гетерогенного катализа.

Обратимые реакции. Химическое равновесие. Константа равновесия, степень превращения. Смещение химического равновесия при изменении температуры и давления (концентрации). Принцип Ле Шателье.

Дисперсные системы. Коллоидные системы. Растворы. Механизм образования растворов. Растворимость веществ и ее зависимость от температуры и природы растворителя. Способы выражения концентрации растворов: массовая доля, мольная доля, объемная доля, молярная концентрация. Отличие физических свойств раствора от свойств растворителя. Твердые растворы. Сплавы.

Электролиты. Растворы электролитов. Электролитическая диссоциация кислот, оснований и солей. Кислотно-основные взаимодействия в растворах. Протонные кислоты. Кислоты Льюиса. Амфотерность. Константа диссоциации. Степень диссоциации. Ионное произведение воды. Водородный показатель. Гидролиз солей. Равновесие между ионами в растворе и твердой фазой. Произведение растворимости. Образование простейших комплексов в растворах. Координационное число. Константа устойчивости комплексов. Ионные уравнения реакций.

Окислительно-восстановительные реакции в растворах. Определение стехиометрических коэффициентов в уравнениях окислительно-восстановительных реакций. Стандартные потенциалы окислительно-восстановительных реакций. Ряд стандартных электродных потенциалов. Электролиз растворов и расплавов. Законы электролиза Фарадея.

ЧАСТЬ II. ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ СОЕДИНЕНИЯ

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Требования к абитуриенту

Давать сравнительную характеристику элементов в группах и периодах на основании периодического закона.

Уметь составить характеристику элемента, которая включает электронную конфигурацию атома; возможные валентности и степени окисления элемента в соединениях; формы простых веществ и основные типы соединений, их физические и химические свойства, лабораторные и промышленные способы получения; распространенность элемента и его соединений в природе, практическое значение и области применения соединений.

При описании химических свойств вещества надо привести реакции с участием неорганических и органических соединений (кислот-

но-основные и окислительно-восстановительные превращения), а также качественные реакции.

Водород. Изотопы водорода. Соединения водорода с металлами и неметаллами. Вода. Пероксид водорода.

Галогены. Галогеноводороды. Галогениды. Кислородсодержащие соединения хлора.

Кислород. Оксиды и пероксиды. Озон.

Сера. Сероводород, сульфиды, полисульфиды. Оксиды серы(IV) и (VI). Сернистая и серная кислоты и их соли. Эфиры серной кислоты. Тиосульфат натрия.

Азот. Аммиак, соли аммония, амиды металлов, нитриды. Оксиды азота. Азотистая и азотная кислоты и их соли. Эфиры азотной кислоты.

Фосфор. Фосфин, фосфиды. Оксиды фосфора(III) и (V). Галогениды фосфора. Орто-, мета- и дифосфорная (пирофосфорная) кислоты. Ортофосфаты. Эфиры фосфорной кислоты.

Углерод и его аллотропные формы. Изотопы углерода. Простейшие углеводороды: метан, этилен, ацетилен. Карбиды кальция, алюминия и железа. Оксиды углерода(II) и (IV). Карбонилы переходных металлов. Угольная кислота и ее соли.

Кремний. Силан. Силицид магния. Оксид кремния(IV). Кремниевые кислоты, силикаты.

Бор. Трифторид бора. Орто- и тетраборная кислоты. Тетраборат натрия.

Благородные газы. Примеры соединений криптона и ксенона.

Щелочные металлы. Оксиды, пероксиды, гидроксиды и соли щелочных металлов.

Щелочноземельные металлы, бериллий, магний: их оксиды, гидроксиды и соли. Представление о магнийорганических соединениях (реактив Гриньяра).

Алюминий. Оксид, гидроксид и соли алюминия. Комплексные соединения алюминия. Представление об алюмосиликатах.

Медь, серебро. Оксиды меди(I) и (II), оксид серебра(I). Гидроксид меди(II). Соли серебра и меди. Комплексные соединения серебра и меди.

Цинк, ртуть. Оксиды цинка и ртути. Гидроксид и соли цинка.

Хром. Оксиды хрома(II), (III) и (VI). Гидроксиды и соли хрома(II) и (III). Хроматы и дихроматы(VI). Комплексные соединения хрома(III).

Марганец. Оксиды марганца(II) и (IV). Гидроксид и соли марганца(II). Манганат и перманганат калия.

Железо, кобальт, никель. Оксиды железа(II), (II)–(III) и (III). Гидроксиды и соли железа(II) и (III). Ферраты(III) и (VI). Комплексные соединения железа. Соли и комплексные соединения кобальта(II) и никеля(II).

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Требования к абитуриенту

Характеристика каждого класса органических соединений включает особенности электронного и пространственного строения соединений данного класса, закономерности изменения физических и химических свойств в гомологическом ряду, номенклатуру, виды изомерии, основные типы химических реакций и их механизмы. Характеристика конкретного соединения включает физические и химические свойства, лабораторные и промышленные способы получения, области применения.

При описании химических свойств необходимо привести примеры реакций с участием как углеводородного радикала, так и функциональной группы.

Теория строения органических соединений. Углеродный скелет. Функциональная группа. Гомологические ряды. Изомерия: структурная и пространственная. Представление об оптической изомерии. Взаимное влияние атомов в молекуле. Классификация органических реакций по механизму и заряду активных частиц.

Алканы и циклоалканы. Конформеры.

Алкены и циклоалкены. Сопряженные диены.

Алкины. Кислотные свойства алкинов.

Ароматические углеводороды (арены). Бензол и его гомологи. Стирол. Реакции ароматической системы и углеводородного радикала. Ориентирующее действие заместителей в бензольном кольце (ориентанты I и II рода). Понятие о конденсированных ароматических углеводородах.

Галогенопроизводные углеводородов: алкил-, арил- и винилгалогениды. Реакции замещения и отщепления.

Спирты одно- и многоатомные. Первичные, вторичные и третичные спирты. Фенолы. Простые эфиры.

Карбонильные соединения: альдегиды и кетоны. Предельные, непредельные и ароматические альдегиды. Понятие о кето-енольной таутомерии.

Карбоновые кислоты. Предельные, непредельные и ароматические кислоты. Моно- и дикарбоновые кислоты. Производные карбоновых кислот: соли, ангидриды, галогенангидриды, сложные эфиры, амиды. Жиры.

Нитросоединения: нитрометан, нитробензол.

Амины. Алифатические и ароматические амины. Первичные, вторичные и третичные амины. Основность аминов. Четвертичные аммониевые соли и основания.

Галогензамещенные кислоты. Гидроксикислоты: молочная, винная и салициловая кислоты. Аминокислоты: глицин, аланин, цисте-

ин, серин, фенилаланин, тирозин, лизин, глутаминовая кислота. Пептиды. Представление о строении белков.

Углеводы. Моносахариды: рибоза, дезоксирибоза, глюкоза, фруктоза. Циклические формы моносахаридов. Понятие о пространственных изомерах углеводов. Дисахариды: целлобиоза, мальтоза, сахароза. Полисахариды: крахмал, целлюлоза.

Пиррол. Пиридин. Пиримидиновые и пуриновые основания, входящие в состав нуклеиновых кислот. Представление о строении нуклеиновых кислот.

Реакции полимеризации и поликонденсации. Примеры высокомолекулярных соединений: полиэтилен, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, политетрафторэтилен, каучуки, сополимеры, фенолформальдегидные смолы, искусственные и синтетические волокна.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Кузьменко Н.Е.*, *Еремин В.В.*, *Попков В.А.* Начала химии. Для поступающих в вузы. — Изд. доп. и перераб. — М.: Лаборатория знаний — М.: Лаборатория знаний, 2018.

Современное универсальное отечественное пособие по химии для поступающих в вузы, выдержавшее многие переиздания. Его содержание основано на учете требований программ вступительных экзаменов по химии ведущих российских вузов (химических, медицинских, биологических, биоинженерных и т. п.).

2. *Кузьменко Н.Е.*, *Еремин В.В.* 2500 задач по химии с решениями для поступающих в вузы. — М.: Мир и образование, 2002–2004: Экзамен, 2005–2007.

В книге представлены экзаменационные и олимпиадные задачи по химии для старшей школы с ответами и необходимыми указаниями. Для типовых задач предложены решения, которые можно использовать как эталонные.

3. *Кузьменко Н.Е.*, *Еремин В.В.*, *Попков В.А.* Химия: для школьников старших классов и поступающих в вузы: учебное пособие. — М.: Изд-во МГУ, 2008–2015.

В пособии изложены теоретический материал по всем разделам школьного курса химии. Приведено около 1500 экзаменационных задач, вопросов и упражнений с подробными решениями и ответами. Диапазон сложности задач достаточно широк — от самых простых до очень сложных.

4. *Еремина Е.А.*, *Рыжова О.Н.* Химия: справочник школьника. — М.: Изд-во МГУ, 2014, 2017. — (Программа МГУ — школе).

В справочнике приведены уравнения всех реакций, предлагаемых на экзаменах по химии в школах и на вступительных экзаменах в вузах. Незаменимое справочное пособие для школьников и абитуриентов.

5. *Кузьменко Н.Е., Теренин В.И., Рыжова О.Н. и др.* Вступительные экзамены и олимпиады по химии: опыт Московского университета / под ред. Н.Е. Кузьменко, О.Н. Рыжовой и В.И. Теренина. — М.: Изд-во МГУ, 2011, 2012, 2018.

В книгу включены все варианты заданий, предлагавшихся в 2006–2010 гг. на университетских олимпиадах и вступительных экзаменах по химии в МГУ имени М.В. Ломоносова с подробными решениями или ответами, а также при необходимости с разъясняющими указаниями.

6. *Кузьменко Н.Е., Теренин В.И., Рыжова О.Н. и др.* Химия: формулы успеха на вступительных экзаменах / под ред. Н.Е. Кузьменко и В.И. Теренина. — М.: Изд-во МГУ, 2006.

В книгу включены все варианты заданий, предлагавшихся в 2003–2005 г. на вступительных экзаменах по химии на все факультеты МГУ имени М.В. Ломоносова, с подробными решениями заданий или ответами, а также при необходимости с разъясняющими указаниями.

7. *Еремин В.В., Кузьменко Н.Е., Дроздов А.А., Лунин В.В., Теренин В.И.* Химия: учебники для 8–11 классов общеобразовательных учреждений. — М.: Дрофа, 2007–2010.

Серия современных школьных учебников по химии, написанных авторским коллективом МГУ. Отличительные особенности этих учебников — простота изложения материала при соблюдении высокого научного уровеня, большое количество иллюстраций, экспериментов и занимательных опытов.

СОДЕРЖАНИЕ

Уважаемый читатель! . . . 3

Несколько полезных советов . . . 5

Часть I. Задания . . . 9

2011 год . . . 10

Олимпиада «Покори Воробьёвы горы!» . . . 10

Заочный тур . . . 10

Очный тур . . . 11

Олимпиада «Ломоносов» . . . 16

Заочный тур . . . 16

Очный тур . . . 17

Вступительный (дополнительный) письменный экзамен . . . 20

Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) . . . 27

Филиал химического факультета МГУ в Баку . . . 28

2012 год . . . 29

Олимпиада «Покори Воробьёвы горы!» . . . 29

Заочный тур . . . 29

Очный тур . . . 30

Олимпиада «Ломоносов» . . . 38

Заочный тур . . . 38

Очный тур . . . 39

Вступительный (дополнительный) письменный экзамен . . . 42

Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) . . . 48

2013 год . . . 49

Олимпиада «Покори Воробьёвы горы!» . . . 49

Заочный тур . . . 49

Очный тур . . . 51

Олимпиада «Ломоносов» . . . 57

Заочный тур . . . 57

Очный тур . . . 59

Вступительный (дополнительный) письменный экзамен . . . 62

Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) . . . 68

2014 год 70
Олимпиада «Ломоносов» 70
Заочный тур 70
Очный тур 86
Вступительный (дополнительный) письменный экзамен 90
Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) 97

2015 год 101
Олимпиада «Ломоносов» 101
Заочный тур 101
Очный тур 113
Вступительный (дополнительный) письменный экзамен 117
Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) 125

2016 год 129
Олимпиада «Ломоносов» 129
Заочный тур 129
Очный тур 141
Вступительный (дополнительный) письменный экзамен 146
Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) 153

Часть II. Решения и ответы 157

2011 год 158
Олимпиада «Покори Воробьёвы горы!» 158
Заочный тур 158
Очный тур 164
Олимпиада «Ломоносов» 178
Заочный тур 178
Очный тур 186
Вступительный (дополнительный) письменный экзамен 197
Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) 227
Филиал химического факультета МГУ в Баку 229

2012 год 232
Олимпиада «Покори Воробьёвы горы!» 232
Заочный тур 232
Очный тур 243
Олимпиада «Ломоносов» 254
Заочный тур 254
Очный тур 262
Вступительный (дополнительный) письменный экзамен 271
Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) 280

2013 год 284
Олимпиада «Покори Воробьёвы горы!» 284

Заочный тур . . . 284
Очный тур . . . 291
Олимпиада «Ломоносов» . . . 305
Заочный тур . . . 305
Очный тур . . . 313
Вступительный (дополнительный) письменный экзамен . . . 326
Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) . . . 349

2014 год . . . 355
Олимпиада «Ломоносов» . . . 355
Заочный тур . . . 355
Очный тур . . . 404
Вступительный (дополнительный) письменный экзамен . . . 417
Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) . . . 441

2015 год . . . 450
Олимпиада «Ломоносов» . . . 450
Заочный тур . . . 450
Очный тур . . . 501
Вступительный (дополнительный) письменный экзамен . . . 518
Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) . . . 551

2016 год . . . 571
Олимпиада «Ломоносов» . . . 571
Заочный тур . . . 571
Очный тур . . . 598
Вступительный (дополнительный) письменный экзамен . . . 613
Заместительный экзамен (вместо ЕГЭ) . . . 647

Программа вступительных экзаменов по химии для поступающих в Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова . . . 657
Часть I. Основы теоретической химии . . . 657
Часть II. Элементы и их соединения . . . 659
Неорганическая химия . . . 659
Органическая химия . . . 661

Рекомендуемая литература . . . 663

Минимальные системные требования определяются соответствующими требованиями программ Adobe Reader версии не ниже 11-й либо Adobe Digital Editions версии не ниже 4.5 для платформ Windows, Mac OS, Android и iOS; экран 10"

Учебное электронное издание

Кузьменко Николай Егорович, **Рыжова** Оксана Николаевна,
Теренин Владимир Ильич и др.

ОЛИМПИАДЫ И КОНКУРСНЫЕ ЭКЗАМЕНЫ ПО ХИМИИ В МГУ

Под редакцией Н. Е. Кузьменко

Ведущий редактор канд. хим. наук *Т. И. Почкаева*
Художник *В. А. Прокудин*. Технический редактор *Т. Ю. Федорова*
Корректор *И. Н. Панкова*. Компьютерная верстка: *В. И. Савельев*

Подписано к использованию 06.12.22.
Формат 145×225 мм

Издательство «Лаборатория знаний»
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3
Телефон: (499) 157-5272
e-mail: info@pilotLZ.ru, http://www.pilotLZ.ru

Это уникальное издание подготовлено авторским коллективом профессоров и преподавателей химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Все авторы входят в экзаменационную комиссию по химии и принимают самое непосредственное участие в проведении вступительных экзаменов и химических олимпиад.

В пособии две части. В первой части представлены все варианты заданий, использованных на вступительных экзаменах и федеральных химических олимпиадах, проводимых Московским университетом, за шесть лет. Во второй части для всех заданий приведены подробные решения, указания к решению и ответы.

Для учащихся старших классов общеобразовательных школ, лицеев и гимназий, студентов колледжей и слушателей подготовительных курсов, преподавателей химии.

Пособие можно рекомендовать поступающим в вузы для углубленной подготовки к ЕГЭ, вступительным экзаменам по химии, а также к участию в химических олимпиадах.