

ББК 24.1  
С65  
УДК 546+547

Рецензенты:

кандидат химических наук С. С. Чуранов,  
кандидат химических наук Э. Г. Злотников

*Печатается по постановлению  
Редакционно-издательского совета  
Московского университета*

3 4 5 6 6 7

Сорокин В. В., Загорский В. В., Свитанько И. В.

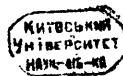
С65 Задачи химических олимпиад/Под ред. Е. М. Соколовской. — М.: Изд-во МГУ, 1989. — 256 с.: ил. 16.

ISBN 5—211—00410—8.

Книга представляет собой сборник задач, которые разрабатывались и предлагались на различных этапах химической олимпиады, в основном на Московской городской и областной олимпиадах школьников. Цель настоящего пособия — помочь учащимся, интересующимся химией, научиться решать любые задачи, от самых простых до самых сложных, в рамках школьного курса химии и программы факультативов на основе четкой систематизации задач и их структурирования по общим типам и способам решения.

Для учащихся старших классов средней общеобразовательной школы и учителей химии, учащаяся системы профессионально-технического образования.

С  $\frac{4306020150-073}{077(02)-89}$  162—89



ББК 24.1

ISBN 5—211—00410—8

© Издательство Московского университета, 1989

**В. В. СОРОКИН, В. В. ЗАГОРСКИЙ,  
И. В. СВИТАНЬКО**

# **ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ОЛИМПИАД**

**(ПРИНЦИПЫ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЙ)**

**Под редакцией профессора  
Е. М. СОКОЛОВСКОЙ**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
1989**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	4
Введение . . . . .	9
<b>§ 1. Расчеты с использованием данных о составе и состоянии вещества</b>	11
1.1. Вещества и смеси	11
1.2. Газовые законы	15
1.3. Растворы	22
1.4. Определение химической формулы вещества	29
<b>§ 2. Решение задач с составлением одной пропорции</b>	34
2.1. Простейшая пропорция: количественные данные заданы в явном виде	35
2.2. Усложненная пропорция	42
2.2.1. Количественные данные заданы в неявном виде	42
2.2.2. Расчеты с учетом избытка одного из реагентов	48
2.2.3. Расчеты с использованием разности масс реагентов и продуктов реакции	54
<b>§ 3. Решение задач с составлением двух и более пропорций</b>	58
3.1. Расчеты по уравнениям нескольких последовательных реакций	58
3.2. Сравнение количественных данных нескольких процессов	66
3.3. Расчеты по уравнениям одновременно протекающих реакций	73
<b>§ 4. Определение формулы неизвестного вещества с использованием количественных данных</b>	91
<b>§ 5. Задачи на знание химических свойств веществ и химическую эрудицию</b>	126
<b>§ 6. Задачи на распознавание веществ</b>	147
6.1. Определение одного или нескольких веществ в цепочках превращений	147
6.2. Определение одного или нескольких веществ на основании качественных реакций	170
<b>§ 7. Задачи на получение и синтез новых веществ</b>	184
<b>§ 8. Задачи на проведение расчетов и качественный анализ</b>	206
<b>§ 9. Программа для решения расчетных задач по химии с помощью компьютера</b>	215
<b>§ 10. Примеры заданий международных химических олимпиад</b>	229
Литература . . . . .	254

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Одна из задач школьной реформы — обеспечение высокого научного уровня преподавания каждого предмета, в том числе химии, при непрерывном устранении перегрузки учащихся и чрезмерного усложнения учебного материала — может быть решена только путем углубления знаний, с одной стороны, и их обобщения — с другой. При этом учащимся должна предоставляться возможность углубленного изучения по выбору отдельных предметов, в частности химико-биологического цикла, с помощью факультативных занятий.

В настоящее время в центр внимания поставлена задача выявления и развития с ранних лет способностей детей, поиск талантливой молодежи. В этой связи усиленно ведется работа по совершенствованию профориентационной работы в школе, созданию системы профессиональной ориентации и переходу к углубленной подготовке старшеклассников по отдельным циклам наук в соответствии с их способностями и интересами.

Современные психолого-педагогические требования к процессу усвоения химических знаний отводят важную роль формированию практических навыков активного использования получаемых теоретических знаний к решению различного типа задач, включая расчетные и качественные (на превращения различных классов химических соединений). Их решение как на уроках, так и во внеаудиторное время (на факультативах и химических олимпиадах, в кружках и клубах юных химиков, при подготовке к вступительным экзаменам в вузы) развивает творческую самостоятельность учащихся, ориентирует их на более глубокое освоение учебного предмета, оказывает профориентационное воздействие. Именно через ре-



шение задач различных типов и уровней сложности может быть эффективно освоен курс химии.

Задача предлагаемой вниманию читателя книги — помочь учащимся, интересующимся химией, научиться свободно решать любые задачи, от легких до самых сложных в рамках школьного курса химии и программы факультатива на основе четкой систематизации задач и их структурирования по общим типам и способам решения. Речь идет фактически о том, чтобы дать в руки школьника и учителя химии средство, позволяющее развить самостоятельность учащегося в овладении навыками решения расчетных и качественных задач по химии, в овладении самим курсом химии, дать учителю конкретное руководство для активизации познавательной деятельности учащихся в аудиторное и внеаудиторное время, для подготовки школьников к различным этапам популярнейших в нашей стране соревнований по химии — химических олимпиад.

Одной из отличительных особенностей методической работы в настоящее время является разработка различных типов расчетных и качественных задач для учащихся всех классов. Другая тенденция, которая стала характерной для комплектов заданий, используемых на различных этапах химических олимпиад в последние несколько лет, — это увеличение доли чисто качественных химических задач, построенных на теоретическом материале курса химии. Речь идет в данном случае не об описании химических свойств химических элементов и их соединений, а о самостоятельных формулировке и обобщении закономерностей, выводов, специфических особенностей отдельных химических процессов и превращений веществ. Это возможно на базе теоретических знаний учащихся, использования средств материализации — моделей строения атомов, химических соединений, схем, графиков и опоре на периодический закон и периодическую систему элементов Д. И. Менделеева.

Важно отметить также, что постепенно возрастает теоретический уровень содержания заданий, что согласуется с общей тенденцией формирования творческого мышления у учащихся, которая находит отражение в задачах практически всех этапов химических олимпиад. «Всякое вещество — от самого про-

стого до самого сложного — имеет три различные, но взаимосвязанные стороны: свойство, состав, строение», — указывал академик Б. М. Кедров<sup>1</sup>. (Три стороны вещества им рассматриваются как три ступени познания.) «Связывая последовательно все три основные стороны вещества, выражаемые тремя рассмотренными категориями, получим некоторый познавательный треугольник. Этот треугольник вместе с тем выражает и три основные проблемы, каждая из которых попарно связывает отдельные стороны вещества между собой в целях объяснения менее глубокой его стороны более глубокой его стороной». Именно изучению характеристик *состав — строение — свойство* и их взаимосвязям *состав — свойство, структура — свойство* и *состав — структура* посвящены комплекты качественных задач.

Все указанные выше тенденции нашли свое отражение в настоящем сборнике задач по химии с решениями. Так, специально выделены задачи на проведение расчетов (сконструированные по типам и способам решения) и качественные, которые объединены в соответствующие разделы: задачи, требующие объяснения экспериментальных фактов и проявления химической эрудиции, задачи на распознавание веществ, на получение и синтез новых соединений.

По каждому типу задач даются обобщенные способы решения с методическим разбором конкретных примеров (от наиболее простых к сложным), приводятся комплекты заданий для самостоятельной работы, даются решения всех предложенных задач. Книга может быть использована, таким образом, как для работы учителя с учащимися, так и для самостоятельной работы учащихся.

Важным моментом в предлагаемой вниманию читателя книге выступает выведение общих алгоритмов решения задач, которые могут стать основой применения программируемых калькуляторов при проведении расчетов, обеспечить использование знаний математики, основ информатики и вычислительной техники для решения конкретных расчетных химических задач. В этой связи в книге приводится программа

<sup>1</sup> Кедров Б. М. Общий ход познания вещества // Вопросы философии. 1965. № 4. С. 92—103.

для решения расчетных задач по химии с помощью компьютера, написанная на языке Бейсик.

В заключительном разделе книги (§ 10) приводятся примеры заданий международных химических олимпиад для ознакомления учащихся с уровнем этих соревнований. При подготовке материалов этого раздела использована книга «Сборник заданий I—XV Международных химических олимпиад» (под общей редакцией В. В. Сорокина), выпущенная Издательством Московского университета на основании договора с ЮНЕСКО.

Приведенные в настоящем сборнике задачи являются оригинальными по форме и содержанию, подавляющее большинство из них авторы разрабатывали и предлагали школьникам на различных этапах Московской городской и областной химических олимпиад, использовали в работе с учителями средних школ СССР на курсах повышения научной квалификации учителей при Московском университете.

Подготовка задач, включенных в настоящий сборник, осуществлялась на базе разрабатываемых на кафедре общей химии химического факультета МГУ научно-методических принципов обучения химии на основе деятельностной теории учения.

Авторы глубоко признательны рецензентам книги кандидатам химических наук С. С. Чуранову и Э. Г. Злотникову, сделавшим целый ряд полезных и ценных замечаний, позволивших улучшить книгу. Хочется также выразить большую благодарность всем членам методической комиссии по химии Московской городской и областной химической олимпиады за обсуждение задач и конкретные замечания, высказанные при подготовке к публикации отдельных комплектов заданий профессору Л. С. Гузею, кандидатам химических наук С. В. Петрову, А. Н. Жирову, Н. М. Клименко, В. В. Дикополовой, Г. Н. Беспалову, зав. кабинетом химии МГИУУ кандидату педагогических наук Р. П. Суровцевой, зав. кабинетом химии МОИУУ Н. Н. Веденяпиной, учителям химии московских школ Н. С. Шелковинной и А. В. Дроздовой, а также кандидатам химических наук О. В. Архангельской и О. К. Лебедевой за помощь при публикации заданий отдельных этапов химических олимпиад.

Авторы будут признательны всем, кто выскажет свои пожелания по дальнейшему улучшению содержания книги.

Председатель секции «Юный химик»  
Московского правления ВХО им. Д. И. Менделеева  
В. В. Сорокин

## ВВЕДЕНИЕ

Современная химия универсальна. Границы ее трудно определить — от химии плазмы до биологического действия алкалоидов и теории запахов.

Химики оперируют понятиями «электрон», «орбиталь», «концентрация», теорией строения атома; умеют синтезировать неорганические и органические вещества и анализировать их с применением новейших физических методов. Для решения своих задач химики все более активно используют компьютеры.

Со всеми перечисленными, а также со многими другими вещами необходимо познакомиться молодому читателю, интересующемуся химией.

Задачи в предлагаемом пособии делятся на те же классы, что и проблемы в реальной химической науке. Расчетные задачи сгруппированы по методам их решения: задачи с составлением одной пропорции, нескольких пропорций, задачи на смеси (в них надо составить уравнение или систему двух уравнений). Такое разбиение, на наш взгляд, более оправданно, чем по предметному признаку — задачи по общей химии, неорганической, органической — и позволяет провести более четкую классификацию.

Никакие специальные знания математики для решения расчетных задач этой книги не нужны — достаточно того объема математики, который изучается в школе, причем раньше, чем химия.

Качественные задачи делятся на синтетические и аналитические. При этом они отражают уровень проблем, которыми занимается современная химия. Само собой разумеется, что эти проблемы не всегда укладываются в рамки школьной программы, поэтому в книге приведены только те из них, с которыми можно справиться на основе школьного или факультативного курса химии, а также умения логически мыслить. Эти задачи — промежуточный этап между школьными задачами по химии и расчетными

задачами, с которыми Вы столкнетесь, если химия станет Вашей профессией.

Любые расчетные задачи по химии могут быть решены с помощью ЭВМ. Однако, чтобы поставить компьютеру вопрос правильно, нужно знать по меньшей мере половину ответа. Компьютер — лишь помощник, он не способен заменить интуицию, нетрадиционную логику, ему, наконец, нужно задать алгоритм расчета. В книге выводятся алгоритмы решения всех типов школьных задач по химии. Для расчета простейших задач с составлением одной пропорции приводится программа на языке Бейсик. При этом не следует считать, что достаточно подставить цифры, и задача решена. Необходимо прежде всего уяснить химическую сущность задачи, написать уравнения упомянутых в условии химических реакций — без этого Вы просто не поймете, какие данные и куда надо вводить.

Предлагаем Вам работать с пособием следующим образом: начав читать раздел, изучите введение к нему, разберитесь, как выводится алгоритм решения, осмыслите все приведенные в примерах расчеты.

Прочитав задачу, напишите уравнения всех упомянутых в ней реакций. Если в задаче требуется определить качественный или количественный состав вещества или смеси веществ, постарайтесь представить общую схему превращений этого неизвестного вещества и сопоставить эту схему с известными Вам из литературы и личного опыта.

Уясните, что требуется определить в задаче, обозначьте неизвестные (основные и промежуточные), наметьте ход решения с минимумом промежуточных определений.

Ответ должен быть представлен с той же точностью, что и данные условия задачи. В большинстве случаев для облегчения расчетов в результирующей формуле цифры хорошо сокращаются.

Задачи внутри каждого раздела расположены по возрастанию сложности — от простых к трудным.

Желаем Вам успеха!

## § 1. РАСЧЕТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ О СОСТАВЕ И СОСТОЯНИИ ВЕЩЕСТВА

### 1.1. ВЕЩЕСТВА И СМЕСИ

Химическое вещество имеет вполне определенный качественный и количественный состав. Смеси состоят из различных веществ. В задачах обычно требуется определить состав или предложить способ разделения смеси на отдельные вещества, что можно сделать на основании различия свойств индивидуальных веществ. Сюда же мы отнесем задачи на определение содержания элемента в веществе или смеси веществ.

Разберем несколько примеров.

**Пример 1.** В руде содержится 58% оксида марганца (IV). Каково содержание марганца в руде, если в  $MnO_2$  оно составляет 63,2%.

**Решение.** Массовая доля марганца в руде равна  $0,58 \cdot 0,632 = 0,366$ , т. е. 36,6%.

**Пример 2.** Чему равны массовые доли (%) изотопов неона  $^{20}Ne$  и  $^{22}Ne$  в природном газе, имеющем среднюю относительную атомную массу 20,2?

**Решение.** Примем за  $x$  число атомов  $^{20}Ne$  в каждом 100 атомах природного неона, тогда число атомов  $^{22}Ne$  будет  $(100 - x)$ . Масса атомов  $^{20}Ne$  равна  $20x$ , а масса атомов  $^{22}Ne = 22 \cdot (100 - x)$

$$20x + 22(100 - x) = 20,2 \cdot 100.$$

Из уравнения находим  $x = 90$  (атомов  $^{20}Ne$ ) и  $100 - 90 = 10$  (атомов  $^{22}Ne$ ). Таким образом, массовая доля  $^{20}Ne$  составляет 90%, а массовая доля  $^{22}Ne$  — 10%.

**Пример 3.** Смесь медного купороса  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  и кристаллов соды  $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$  содержит 38% связанной воды. Рассчитайте, чему равны массовые доли (%) каждого из веществ смеси.

**Решение.** Обозначим через  $x$  массовую долю медного купороса в смеси. Тогда в смеси массой  $m$

имеется  $mx$  г медного купороса и  $(m-mx)$  г соды.  
 $M(\text{H}_2\text{O}) = 18$ ;  $M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250$ ;  $M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \times 10\text{H}_2\text{O}) = 286$ . Масса воды в  $m$  г смеси составляет  $(0,38 m)$  г. Масса воды в  $mx$  г  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  равна  $mx \frac{5 \cdot 18}{250}$ , а масса воды в  $(m-mx)$  г  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \times 10\text{H}_2\text{O}$  равна  $(m-mx) \frac{10 \cdot 18}{286}$ . Исходя из того, что масса воды в смеси равна сумме масс воды, входящей в состав медного купороса и соды, запишем уравнение

$$0,38m = \frac{5 \cdot 18}{250} mx + \frac{10 \cdot 18}{286} (m - mx);$$

$$0,38m = 0,36mx + 0,63m - 0,63mx;$$

$$0,63mx - 0,36mx = 0,63m - 0,38m;$$

$$0,27mx = 0,25m;$$

$$x = \frac{0,25m}{0,27m} = 0,925.$$

Состав смеси в процентах: 92,5%  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и 100—92,5=7,5%  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

#### Задачи

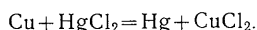
1. Имеются смеси следующих составов: сера, медь, хлорид цинка (смесь № 1); сера, медь, хлорид ртути(II) (смесь № 2). Какую из них можно разделить физическими методами, а какую нет и почему? Предложите метод разделения.
2. Предложите метод разделения смеси порошков оксида меди(II), оксида ртути(II), хлорида калия, древесного угля.
3. Может ли быть одинаковой массовая доля элемента в разных по составу веществах? Ответ подтвердите примерами.
4. Каково процентное содержание изотопов  $^{35}\text{Cl}$  и  $^{37}\text{Cl}$  в природном хлоре, имеющем относительную молекулярную массу 70,90? Предложите способы выделения чистых веществ  $^{35}\text{Cl}_2$  и  $^{37}\text{Cl}_2$  из природного хлора и его соединений.



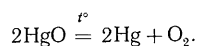
5. В смеси газообразных CO и CO<sub>2</sub> массовое отношение C : O равно 1 : 2.
- Рассчитайте массовые доли газов в процентах.
  - Рассчитайте состав смеси по объему в процентах.
  - Укажите соотношения C : O, при которых оба газа одновременно не могут присутствовать.
6. Кристаллогидрат сульфата марганца(II) содержит 24,66% марганца. Какую формулу имеет кристаллогидрат?

#### Решения

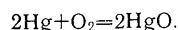
1. Метод разделения: смесь высыпается в воду. Для смеси № 1: сера всплывает, поскольку она не смачивается водой, медь останется на дне, хлорид цинка растворится; смесь № 2 разделить нельзя, так как медь прореагирует с раствором хлорида ртути(II):



2. Помещаем смесь в стакан с водой. Древесный уголь находится на поверхности воды, с которой его можно собрать. Хлорид калия полностью растворяется. Раствор KCl отделяем от нерастворившегося остатка фильтрованием. Фильтрат выпариваем и выделяем KCl. Нерастворившийся остаток (HgO и CuO) прокаливаем:



При сильном нагревании ртуть улетучивается и может быть собрана конденсацией на холодном предмете. Затем ртуть нагреваем на воздухе (или используем выделившийся ранее кислород):



3. Пригодно любое логическое обоснование, например: это возможно, если отношение относительных атомных масс различных элементов равно целому числу и равно отношению их валентностей

Вещества	NO Li <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub> NO	Na <sub>2</sub> S Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> MgO	SiH <sub>4</sub> LiH	TiCl <sub>4</sub> MgCl <sub>2</sub>
$A_r(A)/A_r(B)$	14/7=2	28/14=2	32/16=2	32/16=2	48/24=2	28/7=4	48/24=2
$B(A)/B(B)$	2/1=2	4/2=2	2/1=2	2/1=2	4/2=2	4/1=4	4/2=2

Выпадает из этого правила Cu<sub>2</sub>S и CuO.

4. Примем за  $x$  процентное содержание изотопа <sup>35</sup>Cl:

$$35x + 37(100 - x) = 35,45;$$

$$x = 77,5.$$

Тогда 77,5% <sup>35</sup>Cl и 22,5% <sup>37</sup>Cl.

Способы разделения изотопов:

- основанные на различии в массе (центрифугирование и т. п.);
- основанные на различном отношении массы к заряду (для ионов, по типу масс-спектрометрии и т. п.);
- основанные на изотопном эффекте в химических процессах (кинетические).

5. Пусть  $x$  — число молей CO,  $y$  — число молей CO<sub>2</sub> в 100 г смеси;

$$28x + 44y = 100;$$

$$\frac{12(x+y)}{16(x+2y)} = \frac{1}{2};$$

$$x = 1,389, \quad y = 1,389.$$

а)  $\frac{1,389 \cdot 44}{100} 100 = 61,11\% \text{ CO}_2$ ;  $\frac{1,389 \cdot 28}{100} 100 = 38,89\% \text{ CO}$ ;

б)  $x = y$ , 50% CO<sub>2</sub> + 50% CO (по объему);

в) два газа не могут присутствовать в смеси, если  $\frac{\text{масса C}}{\text{масса O}} = \frac{12}{16}$ , что соответствует чистому CO;  $\frac{12}{31}$ , что соответствует чистому CO<sub>2</sub>, т. е.  $\frac{12}{31} < \frac{m(C)}{m(O)} < \frac{12}{16}$ .

6.  $M(\text{MnSO}_4) = 151$ ;  $M(\text{Mn}) = 55$ ;  
 $x$  — число молей  $\text{H}_2\text{O}$  в одном моле кристаллогидрата  $\text{MnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

24,66% соответствует 55 г,  
 100% »  $(151 + 18x)$  г,  
 $x = 4$ .  
 Формула вещества  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

## 1.2. ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ

Зависимость между давлением и объемом идеального газа при постоянной температуре показана на рис. 1. Давление и объем образца газа обратно пропорциональны, т. е. их произведения являются постоянной величиной:  $pV = \text{const}$ . Это соотношение может быть записано в более удобном для решения задач виде:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

(закон Бойля–Мариотта).

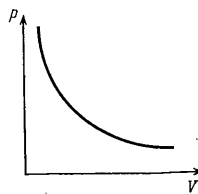


Рис. 1

Представим себе, что 50 л газа ( $V_1$ ), находящегося под давлением 2 атм ( $p_1$ ), сжали до объема 25 л ( $V_2$ ), тогда его новое давление будет равно:

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{2 \cdot 50}{25} = 4 \text{ (атм)}.$$

Зависимость свойств идеальных газов от температуры определяется законом Гей-Люссака: объем газа прямо пропорционален его абсолютной температуре (при постоянной массе:  $V = kT$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности). Это соотношение записывается обычно в более удобной форме для решения задач:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (p = \text{const}).$$

Например, если 100 л газа, находящегося при температуре 300К, нагревают до 400К, не меняя дав-

ления, то при более высокой температуре новый объем газа будет равен

$$V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{100 \cdot 400}{300} = 133,3 \text{ (л)}.$$

Запись объединенного газового закона  $pV/T = \text{const}$  может быть преобразована в уравнение Менделеева—Клапейрона:

$$pV = \nu RT,$$

где  $R$  — универсальная газовая постоянная, а  $\nu$  — число молей газа.

Уравнение Менделеева—Клапейрона позволяет проводить самые разнообразные вычисления. Например, можно определить число молей газа при давлении 3 атм и температуре 400К, занимающих объем 70 л:

$$\nu = \frac{pV}{RT} = \frac{3 \cdot 70}{0,082 \cdot 400} = 6,4 \text{ (моль)}.$$

Одно из следствий объединенного газового закона: в равных объемах различных газов при одинаковой температуре и давлении содержится одинаковое число молекул. Это закон Авогадро.

Из закона Авогадро в свою очередь вытекает также важное следствие: массы двух одинаковых объемов различных газов (естественно, при одинаковых давлении и температуре) относятся как их молекулярные массы:

$$m_1/m_2 = M_1/M_2 \text{ (} m_1 \text{ и } m_2 \text{ — массы двух газов);}$$

$M_1/M_2$  представляет собой относительную плотность.

Закон Авогадро применим только к идеальным газам. При нормальных условиях трудно сжимаемые газы (водород, гелий, азот, неон, аргон) можно считать идеальными. У оксида углерода (IV), аммиака, оксида серы (IV) отклонения от идеальности наблюдаются уже при нормальных условиях и возрастают с ростом давления и понижением температуры.

**Пример 1.** Углекислый газ объемом 1 л при нормальных условиях имеет массу 1,977 г. Какой реальный объем занимает моль этого газа (при н. у.)? Ответ поясните.

**Решение.** Молярная масса  $M(\text{CO}_2) = 44$  г/моль, тогда объем моля  $44/1,977 = 22,12$  (л). Эта величина меньше принятой для идеальных газов (22,4 л). Уменьшение объема связано с возрастанием взаимодействия между молекулами  $\text{CO}_2$ , т. е. отклонением от идеальности.

**Пример 2.** Газообразный хлор массой 0,01 г, находящийся в запаянной ампуле объемом 10 см<sup>3</sup>, нагревают от 0 до 273°C. Чему равно начальное давление хлора при 0°C и при 273°C?

**Решение.**  $M_r(\text{Cl}_2) = 70,9$ ; отсюда 0,01 г хлора соответствует  $1,4 \cdot 10^{-4}$  моль. Объем ампулы равен 0,01 л. Используя уравнение Менделеева—Клапейрона  $pV = \nu RT$ , находим начальное давление хлора ( $p_1$ ) при 0°C:

$$p_1 = \frac{1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,082 \cdot 273}{0,01} = 0,31 \text{ (атм);}$$

аналогично находим давление хлора ( $p_2$ ) при 273°C:  $p_2 = 0,62$  атм.

**Пример 3.** Чему равен объем, который занимают 10 г оксида углерода(II) при температуре 15°C и давлении 790 мм рт. ст.?

**Решение.**

$$M_r(\text{CO}) = 28; pV = \frac{m}{M} RT;$$

$$V = \frac{mRT}{Mp} = \frac{10 \cdot 0,082}{28 \cdot 790/760} 288 \cong 8,1 \text{ (л).}$$

#### Задачи

1. Какой объем (при н. у.) занимает 0,5 моль кислорода?
2. Какой объем занимает водород, содержащий  $18 \cdot 10^{23}$  молекул (при н. у.)?
3. Чему равна молярная масса оксида серы(IV), если плотность этого газа по водороду равна 32?
4. Какой объем занимают 68 г аммиака при давлении 2 атм и температуре 100°C?
5. В замкнутом сосуде емкостью 1,5 л находится смесь сероводорода с избытком кислорода при температуре 27°C и давлении 623,2 мм рт. ст. Найдите суммарное количество веществ в сосуде.

6. В большом помещении температура может измеряться с помощью «газового» термометра. Для этой цели стеклянную трубку, имеющую внутренний объем 80 мл, заполнили азотом при температуре 20°C и давлении 101,325 кПа. После этого трубку медленно и осторожно вынесли из комнаты в более теплое помещение. Благодаря термическому расширению, газ вышел из трубки и был собран над жидкостью, давление пара которой незначительно. Общий объем газа, вышедшего из трубки (измерен при 20°C и 101,325 кПа), равен 3,5 мл. Сколько молей азота потребовалось для заполнения стеклянной трубки и какова температура более теплого помещения?

7. Химик, определявший атомную массу нового элемента X в середине XIX в., воспользовался следующим методом: он получал четыре соединения, содержащие элемент X (А, Б, В и Г), и определял массовую долю элемента (%) в каждом из них. В сосуд, из которого предварительно был откачан воздух, он помещал каждое соединение, переведенное в газообразное состояние при 250°C, и устанавливал при этом давление паров вещества  $1,013 \times 10^5$  Па. По разности масс пустого и полного сосудов определялась масса газообразного вещества. Аналогичная процедура проводилась с азотом. В результате можно было составить такую таблицу:

Газ	Общая масса, г	Массовая доля (α) элемента X в веществе, %
N <sub>2</sub>	0,652	—
А	0,849	97,3
Б	2,398	68,9
В	4,851	85,1
Г	3,583	92,2

Определите вероятную атомную массу элемента X.

8. В 1826 г. французский химик Дюма предложил метод определения плотности паров, применимый ко многим веществам. По этому методу можно было находить молекулярные массы соединений, используя гипотезу Авогадро о том, что в равных объемах газов и паров при равном давлении и температуре

содержатся одинаковые количества молекул. Однако эксперименты с некоторыми веществами, сделанные по способу Дюма, противоречили гипотезе Авогадро и ставили под сомнение саму возможность определения молекулярной массы данным способом.

Вот описание одного из таких экспериментов (рис. 2).

а. В горлышке сосуда *a* известного объема поместили навеску нашатыря *b* и нагрели в печи *в* до такой температуры  $t^\circ$ , при которой весь нашатырь испарился. Получившиеся пары вытеснили воздух из сосуда, часть их выделилась наружу в виде тумана. Нагретый до  $t^\circ$  сосуд, давление в котором равнялось атмосферному, запаяли по перетяжке *г*, затем охладили и взвесили.

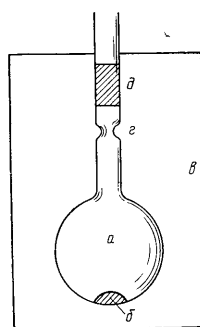


Рис. 2

Затем сосуд вскрыли, отмыли от сконденсированного нашатыря, высушили и снова взвесили. По разности определили массу  $m$  нашатыря.

Эта масса при нагревании до  $t^\circ$  имела давление  $p$ , равное атмосферному, в сосуде объемом  $V$ . Для сосуда *a* заранее были определены давление и объем известной массы водорода при комнатной температуре. Отношение молекулярной массы нашатыря к молекулярной массе водорода определяли по формуле

$$\frac{M}{M(\text{H}_2)} = \frac{m}{m(\text{H}_2)} \frac{273 + t}{273 + t(\text{H}_2)} \frac{pV(\text{H}_2)}{pV}$$

Получили величину  $M/M(\text{H}_2) = 13,4$ . Отношение, вычисленное по формуле  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , составило 26,8.

б. Опыт повторили, но горлышко сосуда закрыли пористой асбестовой пробкой *д*, пропущенной для газов и паров. При этом получили отношение  $M/M(\text{H}_2) = 14,2$ .

в. Повторили опыт б, но увеличили начальную навеску нашатыря в 3 раза. Отношение стало равным  $M/M(\text{H}_2) = 16,5$ .

Объясните результаты описанного эксперимента и докажите, что закон Авогадро в данном случае соблюдался.

### Решения

1. Моль любого газа занимает объем (при н. у.) 22,4 л; 0,5 моль  $O_2$  занимает объем  $22,4 \cdot 0,5 = 11,2$  (л).

2. Число молекул водорода, равное  $6,02 \cdot 10^{23}$  (число Авогадро), при н. у. занимает объем 22,4 л (1 моль); тогда  $\frac{18 \cdot 10^{23}}{x} = \frac{6 \cdot 10^{23}}{22,4}$ ;

$$x = \frac{18 \cdot 10^{23} \cdot 22,4}{6 \cdot 10^{23}} = 67,2 \text{ (л) при н. у.}$$

3. Молярная масса оксида серы(IV):  $M(SO_2) = 32 \cdot 2 = 64$  (г/моль).

4. При н. у. 1 моль  $NH_3$ , равный 17 г, занимает объем 22,4 л, 68 г занимает объем  $x$  л,

$$x = \frac{68 \cdot 22,4 \text{ л}}{17} = 89,6 \text{ (л) при н. у.}$$

Из уравнения газового состояния  $p_0 V_0 / T_0 = p_1 V_1 / T_1$  находим

$$V_1 = \frac{p_0 V_0 T_1}{p_1 T_0} = \frac{1 \cdot 89,6 \cdot 373}{2 \cdot 273} = 61,2 \text{ (л)}.$$

5.  $pV = \nu RT$ ;  $\nu = \frac{pV}{RT} = \frac{623,2 / 760 \cdot 1,5}{0,082 \cdot 300} = 0,05$  (моль) смеси  $H_2S$  и  $O_2$ .

6. При заполнении трубки азотом

$$\nu(N_2) = \frac{pV_0}{RT} = \frac{101,325 \cdot 0,080}{8,314 \cdot 293,15} = 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ (моль)}.$$

В трубке осталось (при начальных условиях)  $V_1: 80 - 3,5 = 76,5$  (мл). При повышении температуры азот, занимавший объем 76,5 мл ( $V_1$ ) при  $20^\circ C$ , стал занимать объем  $V_2 = 80$  мл. Тогда, согласно  $T_1 / T_2 = V_1 / V_2$  имеем



$$T_2 = \frac{T_1 V_2}{V_1} = \frac{293,15 \cdot 80}{76,5} = 306,56 \text{ (K)}, \text{ или } 33,41 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$7. \nu_2 = \frac{m(\text{N}_2)}{M(\text{N}_2)} = \frac{0,652}{28} = 0,0233 \text{ (моль)}.$$

Предположим, что при температуре  $250^\circ\text{C}$  вещества А, Б, В и Г являются идеальными газами. Тогда по закону Авогадро

$$\nu(\text{N}_2) = \nu(\text{А}) = \nu(\text{Б}) = \nu(\text{В}) = \nu(\text{Г});$$

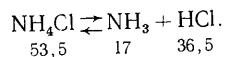
$$M(\text{А}) = \frac{m(\text{А})}{\nu(\text{А})}; M(\text{Б}) = \frac{m(\text{Б})}{\nu(\text{Б})} \text{ и т. д.}$$

Масса элемента X в 1 моль вещества А, Б, В и Г (г/моль):

$$M(\text{А}) \cdot 0,973 = 35,45; M(\text{Б}) \cdot 0,689 = 70,91; M(\text{В}) \cdot 0,851 = 177,17; M(\text{Г}) \cdot 0,922 = 141,78$$

Поскольку в молекуле вещества должно быть целое число атомов элемента X, нужно найти наибольший общий делитель полученных величин. Он составляет 35,44 г/моль, и это число можно считать вероятной атомной массой элемента X.

8. Объяснить результаты эксперимента легко сумеет любой современный химик. Хорошо известно, что возгонка нашатыря — хлорида аммония — представляет собой обратимый процесс термического разложения этой соли:



В газовой фазе находятся аммиак и хлороводород, их средняя относительная молекулярная масса  $\bar{M}_r$  равна  $\frac{17 + 36,5}{2} \approx 26,8$ ;

$$\bar{M}_r / M_r(\text{H}_2) = \frac{26,8}{2} = 13,4.$$

Менее понятно изменение результата при наличии асбестовой пробки. Однако в середине прошлого века именно опыты с пористыми («скважистыми») перегородками показали, что в парах нашатыря содер-

жаты два газа. Более легкий аммиак проходит сквозь поры быстрее, и его легко заметить либо по запаху, либо с помощью влажной индикаторной бумаги.

Строгое выражение для оценки относительной проницаемости газов сквозь пористые перегородки дает молекулярно-кинетическая теория газов. Средняя скорость молекул газа  $\bar{U} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ , где  $R$  — газовая постоянная;  $T$  — абсолютная температура;  $M$  — молярная масса. По этой формуле аммиак должен диффундировать быстрее хлороводорода:

$$\frac{U(\text{NH}_3)}{U(\text{HCl})} = \sqrt{\frac{M(\text{HCl})}{M(\text{NH}_3)}} \Rightarrow \sqrt{\frac{36,5}{17}} \approx 1,5 \text{ раза.}$$

Следовательно, при введении в горло колбы асбестовой пробки газ в колбе успеет несколько обогатиться тяжелым HCl за время, пока происходит выравнивание давления с атмосферным. Относительная плотность газа при этом возрастает. При увеличении массы  $\text{NH}_4\text{Cl}$  давление, равное атмосферному, установится позже (асбестовая пробка препятствует быстрому вытеканию паров из колбы), газ в колбе будет содержать хлороводорода больше, чем в предыдущем случае; плотность газа увеличится.

### 1.3. РАСТВОРЫ

При решении задач, связанных с определением концентрации растворов, используется понятие о массовой или мольной доле растворенного вещества в растворе.

Массовая доля растворенного вещества — это безразмерная физическая величина, равная отношению массы растворенного вещества к общей массе раствора, т. е.  $\omega(A) = \frac{m(A)}{m}$ , где  $\omega(A)$  — массовая доля растворенного вещества  $A$ ,  $m(A)$  — масса растворенного вещества  $A$  и  $m$  — общая масса раствора.

Массовую долю  $\omega(A)$  можно выражать в долях единицы или в процентах (проценты — это не размерность!). Если массовая доля соляной кислоты равна 0,08 (8%), это означает, что в растворе соля-

ной кислоты массой 100 г содержится HCl массой 8 г и вода массой  $100 - 8 = 92$  (г).

Важнейшей концентрацией, используемой в химической практике, является молярная концентрация раствора. Молярная концентрация, или молярность, — это величина, равная отношению количества растворенного вещества (моль) к объему раствора, выраженному в литрах. Основной единицей молярной концентрации является моль/л. Раствор, в 1 л которого содержится 1 моль растворенного вещества, называется одномолярным.

**Пример 1.** 500 мл раствора содержат 20 г NaOH. Найдите молярную концентрацию раствора.

**Решение.**  $M(\text{NaOH}) = 40$  г/моль; 20 г NaOH составляет  $20/40 = 0,5$  (моль) NaOH. Далее составляем пропорцию:

в 500 мл раствора содержится 0,5 моль NaOH,  
в 1000 мл —»— —»—  $x$  моль NaOH,

$$x = \frac{1000 \cdot 0,5}{500} = 1 \text{ (моль),}$$

т. е. концентрация раствора 1 моль/л (или 1М).

**Пример 2.** Кристаллогидрат  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  массой 476 г растворили в воде, при этом массовая доля хлорида кобальта (II) в растворе оказалась равной 13,15%. Рассчитайте массу воды, взятую для растворения кристаллогидрата.

**Решение.**  $M(\text{CoCl}_2) = 130$ ;  $M(\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 238$ , т. е. 476 г  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  составляют 2 моль, в растворе, соответственно, будет находиться 2 моль  $\text{CoCl}_2$  ( $2 \cdot 130 = 260$  г).

В растворе массой 100 г содержится 13,15 г  $\text{CoCl}_2$ ,  
—»—»— —»—  $x$  г —»— 260 г  $\text{CoCl}_2$ ,

$$x = \frac{260 \cdot 100}{13,15} = 1976 \text{ (г) — масса раствора;}$$

следовательно, масса воды, взятая для растворения кристаллогидрата, равна  $1976 - 476$  (масса кристаллогидрата) = 1500 (г).

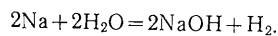
**Пример 3.** Для приготовления раствора взяли навеску вещества массой  $m$  г и воду. После растворе-

ния получен раствор объемом  $V$  см<sup>3</sup>, плотностью  $\rho$  г/см<sup>3</sup>. Предложите формулу для расчета в общем виде массовой доли исходного вещества в полученном растворе  $\omega$  %. Во всех ли случаях пригодна такая формула? Приведите примеры веществ, при растворении которых в воде можно использовать эту формулу, и примеры веществ, для которых этой формулой пользоваться нельзя.

**Решение.** Формула для расчета массовой доли вещества в растворе имеет вид

$$\omega = \frac{m \text{ (в-ва)}}{\rho V \text{ (р-ра)}} 100 (\%).$$

Эту формулу можно использовать для расчета массовой доли в растворе, например, таких веществ, как NaCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и др. Формула не пригодна для веществ, которые при растворении в воде с ней химически взаимодействуют. Так, при растворении натрия в воде происходит реакция



Масса раствора при этом уменьшается за счет выделения водорода; в растворе находится не исходный металл, а его гидроксид — NaOH.

#### Задачи

1. Сколько (г) необходимо взять CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O и воды для приготовления 180 г раствора хлорида кобальта с массовой долей 5%?
2. Растворимость Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> при температуре 20°C равна 21,8 г в 100 г. воды. Чему равна массовая доля вещества (%) в насыщенном растворе?
3. В воде растворили 5 г медного купороса CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O и довели объем раствора до 500 см<sup>3</sup>. Какое количество сульфата меди содержится в полученном растворе?
4. При растворении 5,38 г кристаллогидрата сульфата цинка ZnSO<sub>4</sub>· $x$ H<sub>2</sub>O в 92 см<sup>3</sup> воды получен раствор с массовой долей сульфата цинка 0,0331. Установите состав кристаллогидрата (величину  $x$ ).

5. Химическим анализом было установлено, что в кристаллогидрате, полученном кристаллизацией хлорида лития из раствора, содержится 7,19% лития. Какова формула этого кристаллогидрата?

6. Сколько граммов кристаллогидрата  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  необходимо взять для приготовления 10 кг раствора сульфата железа (II) с массовой долей вещества 5%?

7. Сколько граммов хлорида натрия нужно растворить в 100 г 15,5% раствора  $\text{NaCl}$ , чтобы его концентрация стала равной 17,5%?

8. Определить, сколько граммов 10%-го раствора оксида серы(VI) в чистой серной кислоте и 60%-го раствора серной кислоты необходимо для приготовления 480 г 90%-го раствора кислоты.

9. Водный раствор объемом  $V$  см<sup>3</sup> и плотностью  $\rho$  г/см<sup>3</sup> с массовой долей растворенного вещества  $\omega$  (%) упарили до выделения всего растворенного вещества в безводной форме. Предложите формулу для расчета в общем виде массы выделившегося вещества  $m$  г. Подтвердите правильность формулы расчетами.

10. Смешали 1 л воды с 250 см<sup>3</sup> раствора азотной кислоты (массовая доля 50%, плотность 1,3 г/см<sup>3</sup>). Какова массовая доля кислоты (%) в полученном таким образом растворе?

11. Какую навеску твердого гидроксида натрия необходимо взять для приготовления 50 см<sup>3</sup> раствора с концентрацией 0,15 моль/л?

12. Чему равна молярная концентрация раствора, содержащего 4,0 г гидроксида натрия в 2 л раствора?

13. Чему равна масса воды, которую необходимо прилить к 200 г раствора гидроксида натрия с массовой долей 30% для приготовления раствора гидроксида натрия с массовой долей 6%?

14. Какая масса (г) алюмокалиевых квасцов  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  выкристаллизуется из 320 г насыщенного при 20°C раствора  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ , если испарить 160 г воды из этого раствора при 20°C? (Насыщенный при 20°C раствор содержит 5,50%  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$  по массе.)

### Решения

1. Масса безводной соли в 180 г 5%-го раствора равна:  $m = 180 \cdot 0,05 = 9$  (г);  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ :  $M(\text{CoCl}_2) = 129$  г/моль;  $6 \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 6 \cdot 18$  г/моль.

$$9 \text{ г} - 129 \text{ г/моль},$$

$$x \text{ г} - 6 \cdot 18 \text{ г/моль},$$

$$x = \frac{6 \cdot 18 \cdot 9}{129} = 7,6 \text{ (г)}$$

(где  $x$  — масса воды в кристаллогидрате).

Отсюда требуемая масса кристаллогидрата соли равна  $9 + 7,6 = 16,6$  (г), а требуемая масса воды равна  $180 - 16,6 = 163,4$  (г).

2. В насыщенном растворе на 100 г воды приходится 21,8 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , таким образом,

$$121,8 \text{ г раствора содержит } 21,8 \text{ г } \text{Na}_2\text{CO}_3,$$

$$100 \text{ г} \quad \text{—} \text{—} \quad \text{—} \text{—} \quad x \text{ г } \text{Na}_2\text{CO}_3,$$

$$x = \frac{100 \cdot 21,8}{121,8} = 17,8 \text{ (г)},$$

т. е.  $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3)$  в растворе равна 17,8%.

3.  $M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 249,7$  г/моль; в полученном растворе содержится:  $5/249,7 = 0,02$  (моль) соли.

4. Масса раствора, полученного при растворении кристаллогидрата, составляет  $92 + 5,38 = 97,38$  (г).

Масса  $\text{ZnSO}_4$  равна  $97,38/0,0331 = 3,23$  (г);  $M(\text{ZnSO}_4) = 161,4$  г/моль.

Находим молярную массу  $\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ :

$$3,23 \text{ г} - 161,4 \text{ г/моль}$$

$$5,38 \text{ г} - x \text{ г/моль}$$

$$x = 269,4 \text{ г/моль}.$$

$M(\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 269,4$  г/моль; масса « $x$ » моль  $\text{H}_2\text{O}$  равна  $269,4 - 161,4 = 108$  (г).

Количество воды в кристаллогидрате равно  $108/18 = 6$  (моль), следовательно, состав кристаллогидрата  $\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

5.  $M_r(\text{LiCl}) = 42,4$ ;  $A_r(\text{Li}) = 6,9$ ;  $x$  — число молей  $\text{H}_2\text{O}$  в моле кристаллогидрата.

$$\begin{array}{l} 7,19\% \text{ соответствуют } 6,9 \text{ г,} \\ 100\% \quad \text{—} \text{—} \quad (4,24 + 18x) \text{ г,} \\ x = 3. \end{array}$$

Формула вещества  $\text{LiCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

6.  $M_r(\text{FeSO}_4) = 152$ ;  $M_r(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 278$ .

5 г  $\text{FeSO}_4$  должно содержаться в 100 г раствора,  
 $x$  г  $\text{FeSO}_4$  —»— —»— в 10 000 г —»— ,

$$x = \frac{5 \cdot 10\,000}{100} = 500 \text{ (г) } \text{FeSO}_4.$$

В 278 г кристаллогидрата содержится 152 г  $\text{FeSO}_4$ ,  
 в  $x$  г —»— —»— 500 г  $\text{FeSO}_4$ ,

$$x = \frac{278 \cdot 500}{152} = 914 \text{ (г) } \text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}.$$

7. В 100 г 15,5%-го раствора содержится 15,5 г соли и 84,5 г воды. Пусть растворили  $x$  г соли, тогда ее масса в растворе станет  $(15,5 + x)$  г, а концентрация

$$\frac{15,5 + x}{(15,5 + x) + 84,5} = \frac{15,5 + x}{100 + x} = \frac{17,5}{100};$$

$$x = 2,42 \text{ (г) } \text{NaCl}.$$

8. В 100 г 10%-го олеума содержится 10 г  $\text{SO}_3$  и 90 г 100%-й серной кислоты. Если пересчитать содержание  $\text{SO}_3$ , то в 90 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$  условно содержится всего  $(18/98) \cdot 90 = 16,53$  (г) воды, остальные  $100 - 16,53 = 83,47$  (г) в олеуме составляет  $\text{SO}_3$ . Аналогично в случае 60%-й серной кислоты:  $40 + 60 \times (18/98) = 11,02 + 40 = 51,02$  (г) воды и 48,98 (г)  $\text{SO}_3$ . В 480 г 90%-й кислоты содержится  $0,9 \cdot 480 = 432$  (г)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , или  $(80/98) \cdot 432 = 352,65$  (г)  $\text{SO}_3$  и  $(480 - 352,65) = 127,35$  (г) воды. Пусть надо взять  $x$  г олеума, тогда 60%-й кислоты —  $(480 - x)$  г.

В олеуме содержится  $(x/100) \cdot 83,47$  (г)  $\text{SO}_3$ , а в кислоте

$\frac{480-x}{100} \cdot 48,98$  (г)  $\text{SO}_3$ , что в сумме составляет  $352,65$  г  $\text{SO}_3$ .

Отсюда  $\frac{x}{100} \cdot 83,47 + \frac{480-x}{100} \cdot 48,98 = 352,65$ ,

решая уравнение, получим  $x = 340,8$  (г) олеума, а 60%-й кислоты соответственно  $480 - 340,8 = 139,2$  (г).

$$9. m = \rho V \frac{\omega}{100}.$$

10. 50 г  $\text{HNO}_3$  содержится в растворе массой

$x$  г  $\text{HNO}_3$  —»— —»— —»— —»—  $\frac{100 \text{ г}}$   
 $250 \text{ см}^3 \cdot 1,3 \text{ г/см}^3$ ,

$$x = \frac{50 \cdot 250 \cdot 1,3}{100} = 162,5 \text{ (г)};$$

$x$  г  $\text{HNO}_3$  содержит раствор массой 100 г,

162,5 г  $\text{HNO}_3$  —»— —»— —»—  
 $(1000 + 325)$  г,

$$x = \frac{162,5 \cdot 100}{1325} = 12,2 \text{ (г)},$$

т. е. массовая доля  $\text{HNO}_3$  в растворе 12,2%.

11. 0,15 моль содержится в 1 л раствора,

$x$  —»— —»— в 0,050 л —»— ,

$x = 0,0075$  моль  $\text{NaOH}$ ,  $M(\text{NaOH}) = 40$  г/моль,

следовательно, масса навески равна  $0,0075 \cdot 40 = 0,30$  (г).

12. 4,0 г  $\text{NaOH}$  содержится в 2 л раствора,

$x$  г  $\text{NaOH}$  —»— в 1 л —»— ,

$$x = 2,0 \text{ г.}$$

40 г  $\text{NaOH}$  соответствует 1 моль,

2 г  $\text{NaOH}$  —»—  $x$  моль,

$x = 2 \cdot 1/40 = 0,05$  моль в 1 л раствора.



13. В растворе массой 100 г содержится NaOH  
 массой 30 г,  
 в —»— —»— 200 г —»— NaOH  
 —»— x г,  
 $x = 60$  г NaOH.

NaOH массой 6 г содержится в растворе массой  
 100 г,  
 —»— —»— 60 г —»— —»— —»— —»—  
 —»— x г,  
 $x = 1000$  г.

К исходному раствору необходимо добавить  $1000 - 200 = 800$  (г) воды.

14. Относительные атомные массы:

$A_r(K) = 39$ ;  $A_r(O) = 16$ ;  $A_r(Al) = 27$ ;  $A_r(H) = 1$ .

а. 5,5 г  $KAl(SO_4)_2$  соответствует 10,10 г  $KAl(SO_4)_2 \times 12H_2O$  (так как 258 г  $KAl(SO_4)_2$  соответствует 474 г  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ).

В насыщенном растворе содержится:

$(100 - 10,10)$  г  $H_2O - 10,10$  г  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ,  
 $160$  г  $H_2O - x$  г —»— ,  
 $x = 17,98$  г  $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ .

б. Возможный вариант решения. Пусть  $x$  — масса выкристаллизовавшихся квасцов, а  $y$  — масса насыщенного раствора  $KAl(SO_4)_2$ , которая останется после кристаллизации. Массовая доля  $KAl(SO_4)_2$  в кристаллогидрате составляет 0,544. Тогда:

$$\begin{aligned} 320 &= x + y + 160, & y &= 160 - x; \\ 320 \cdot 0,055 &= x \cdot 0,544 + (160 - x) \cdot 0,055; \\ x &= 17,99 \text{ г.} \end{aligned}$$

#### 1.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ФОРМУЛЫ ВЕЩЕСТВА

Если мы знаем химическую формулу вещества, то достаточно просто рассчитать относительные массы каждого элемента в нем.

По-видимому, можно выделить два основных типа расчетных задач на основе формул химических ве-

ществ. Во-первых, зная атомные массы каждого элемента, можно вычислить их суммарную массу, приходящуюся на моль вещества, и определить процентное содержание каждого элемента. Во-вторых, можно решить обратную задачу: найти химическую формулу по заданному процентному содержанию элементов в веществе (на основании данных химического анализа)

Рассмотрим несколько примеров.

**Пример 1.** Рассчитайте массовые доли в процентах каждого элемента в фосфорной кислоте.

**Решение.** Зная относительные атомные массы каждого элемента, вычислим их сумму для  $\text{H}_3\text{PO}_4$ :

$$M_r(\text{H}_3\text{PO}_4) = 3A_r(\text{H}) + A_r(\text{P}) + 4A_r(\text{O}) = \\ = 3 \cdot 1 + 31 + 16 \cdot 4 = 98.$$

Тогда, например, содержание водорода равно

$$\frac{3}{98} 100 = 3,06 (\%).$$

**Пример 2.** Железо образует с кислородом три оксида. Один из них содержит 77,8% железа, другой — 70,0 и третий — 72,4%. Определите формулы оксидов.

**Решение.** Запишем формулу оксида железа в общем случае:  $\text{Fe}_x\text{O}_y$ . Найдем отношение  $x:y$  и, приводя к целочисленному отношению, определим формулы оксидов.

$$x:y = \frac{77,8}{56} : \frac{22,2}{16} = 1,39 : 1,39 = 1 : 1; \text{ оксид } \text{FeO};$$

$$x:y = \frac{70}{56} : \frac{30}{16} = 1,25 : 1,875 = 1 : 1,5; \text{ оксид } \text{FeO}_{1,5} \text{ или } \text{Fe}_2\text{O}_3;$$

$$x:y = \frac{72,4}{56} : \frac{27,6}{16} = 1,29 : 1,725 = 1 : 1,34 = \\ = 3 : 4; \text{ оксид } \text{Fe}_3\text{O}_4.$$

#### Задачи

1. Экспериментально найдено, что некоторое вещество, имеющее молярную массу 116 г/моль, содержит  $23 \pm 2\%$  азота. Требуется уточнить процентное содержание азота.

2. Химический анализ соединения азота с водородом, имеющего относительную молекулярную массу 32, показал, что массовая доля азота в соединении равна 66%. Докажите, что результаты анализа неверны.

3. Определить формулу вещества, содержащего 1,22 массов. части калия, 1,11 массов. части хлора и 2,00 массов. части кислорода. Существуют ли еще вещества того же качественного состава? Что вы можете сказать (на языке формул) об их количественном составе?

4. Хлорид некоторого металла содержит 74,7% хлора; определите неизвестный металл.

5. Соль, содержащая некоторый элемент X, имеет следующее массовое соотношение элементов X:H: :N:O=12:5:14:48. Какова формула этой соли?

6. В середине XIX в. урану приписывали следующие значения атомной массы: 240 (Менделеев), 180 (Армстронг), 120 (Берцелиус). Эти значения получены по результатам химического анализа урановой смолки (одного из оксидов урана), который показал, что она содержит 84,8% урана и 15,2% кислорода. Какую формулу приписывали этому оксиду Менделеев, Армстронг и Берцелиус?

7. Некоторые квасцы (кристаллогидраты состава  $A^{1+}B^{3+}(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ) содержат 51,76% кислорода и 4,53% водорода. Определите формулу квасцов.

8. Соединение содержит водород (массовая доля — 6,33%), углерод (массовая доля — 15,19%), кислород (массовая доля — 60,76%) и еще один элемент, число атомов которого в молекуле равно числу атомов углерода. Определите, что это за соединение, к какому классу оно относится и как ведет себя при нагревании.

#### Решения

1. 23% азота составляют  $\frac{23}{100} 116 = 26,7$  г. В состав вещества может входить только целое число атомов азота (относительная масса 14). Значит, величина массы азота в одном моле вещества должна быть кратна 14. Таким образом, в 116 г вещества должно содержаться 14л (г) азота (14, 28, 42, 56

и т. д.). Наиболее близко к 26,7 число (кратное 14)  
 28. Массовая доля азота в веществе равна

$$\frac{28}{116} \cdot 100 = 24,14\%$$

2. Если химический анализ проведен верно, то молекула данного соединения азота с водородом должна содержать

$$\frac{32 \cdot 66\%}{A_r(\text{N}) \cdot 100\%}, \text{ или } \frac{0,66 \cdot 32}{14} = 1,51 \text{ атомов азота.}$$

Число атомов в молекуле не может быть дробным, поэтому анализ проведен неверно.

3. Для нахождения количественного состава разделим массовые части элементов на их относительные атомные массы

$$\text{K} : \text{Cl} : \text{O} = \frac{1,22}{39} : \frac{1,11}{35,5} : \frac{2,00}{16} = 1 : 1 : 4,$$

т. е. формула искомого вещества  $\text{KClO}_4$  (перхлорат калия).

Эти же элементы содержатся в гипохлорите калия  $\text{KClO}$ , хлорите калия  $\text{KClO}_2$ , хлорате калия  $\text{KClO}_3$ .

$n$	(Me)	Me
1	12	—
2	24	Mg
3	36	—
4	48	Ti
5	60	—

4. Формула хлорида в общем виде  $\text{MeCl}_n$ , где  $n$  — целое; тогда

$$74,7\% = \frac{35,5n}{A_r(\text{Me}) + 35,5n} \times 100\%, \text{ откуда } A_r(\text{Me}) = 12n.$$

Титан или магний.

5. Пусть формула соли  $\text{H}_a\text{N}_b\text{O}_c\text{X}_d$ . Тогда можно записать соотношение

$$a : b : c : d = \frac{5}{1} : \frac{14}{14} : \frac{48}{16} : \frac{12}{A_r(\text{X})},$$

где  $A_r(\text{X})$  — относительная атомная масса неизвестного элемента.

$$a : b : c = 5 : 1 : 3, \quad b : d = 1 : \frac{12}{A_r(X)}, \quad \text{если } b = 1;$$

$$d = \frac{A_r(X)}{12}, \quad A_r(X) = 12, \quad d = 1;$$

X — углерод. Формула соли  $\text{NH}_5\text{CO}_3$ , или  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  — гидрокарбонат аммония.

6. Формулы урановой смолки:

1) современная  $\text{U} : \text{O} = 84,8/238 : 15,2/16 = 0,356 : 0,950 = 3 : 8 (\text{U}_3\text{O}_8)$ ;

2) по Менделееву  $\text{U} : \text{O} = 84,8/240 : 15,2/16 = 0,353 : 0,950 = 3 : 8 (\text{U}_3\text{O}_8)$ ;

3) по Армстронгу  $\text{U} : \text{O} = 84,8/180 : 15,2/16 = 0,471 : 0,950 = 1 : 2 (\text{UO}_2)$ ;

4) по Берцелиусу  $\text{U} : \text{O} = 84,8/120 : 15,2/16 = 0,707 : 0,950 = 3 : 4 (\text{U}_3\text{O}_4)$ .

7. Пусть  $a$  — атомная масса А, а  $b$  — атомная масса В. Предположим, что водород содержится только в воде. Тогда массовая доля водорода равна

$$\frac{24}{a + b + 192 + 216} = 0,0453,$$

откуда  $a + b = 121,80$ . Массовая доля кислорода равна

$$\frac{320}{a + b + 408} = 0,5176,$$

откуда  $a + b = 210,23$ .

Различные суммы ( $a + b$ ) получились из-за того, что водород содержится, по-видимому, не только в воде, но и в катионе. Таким катионом может быть только аммоний  $\text{NH}_4^+$ . Следовательно, квасцы аммонийные. Если  $a = 18$ , то  $b = 210 - 18 = 192$  — это иридий Ir. Формула квасцов  $\text{NH}_4\text{Ir}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ .

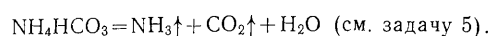
8. Массовая доля неизвестного элемента  $100 - 6,33 - 15,19 - 60,76 = 17,72$ . Для нахождения отношения мольных долей разделим массовые доли элементов на их относительные атомные массы:

$$\text{H} : \text{C} : \text{O} = \frac{6,33}{1} : \frac{15,19}{12} : \frac{60,76}{16} = 5 : 1 : 3.$$

Пусть атомная масса неизвестного элемента  $A_r(X)$ , тогда  $17,72/A_r(X) = 15,19/12$  (так как по условию чис-

ло атомов неизвестного элемента равно числу атомов углерода), отсюда  $A_r(X) = 14$  — азот.

Простейшая формула вещества  $\text{NH}_5\text{CO}_3$ , или гидрокарбонат аммония  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ , относящийся к классу кислых солей и разлагающийся при нагревании по уравнению



## § 2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ С СОСТАВЛЕНИЕМ ОДНОЙ ПРОПОРЦИИ

Прежде всего, прочитав условие задачи, следует составить схемы уравнений всех химических реакций, о которых идет речь в условии. Затем схемы реакций надо превратить в уравнения, найдя стехиометрические коэффициенты. Прделав эти предварительные операции, можно искать подход к решению задачи.

В условии задачи, как правило, указывают на необходимость нахождения массы (или количества молей) известного вещества, получаемого либо расходуемого в результате химических реакций. Рекомендуется вне зависимости от сложности предлагаемой задачи неизвестную величину (масса, количество молей) обозначать как  $x$ .

Следует по мере возможности воздерживаться от введения любых дополнительных или промежуточных неизвестных, вычисление которых не требуется в условии задачи. Необходимо стараться свести решение задачи к составлению *одного* пропорционального соотношения, даже если по условию задачи существует целая «цепочка» превращений. В этом помогает так называемый метод стехиометрических схем, суть которого становится ясной из приводимых ниже примеров.

В общем случае условие задачи, тип которой рассматривается в настоящем параграфе, формулируется следующим образом:

«Имеется химическое превращение заданных известных веществ (или несколько химических превращений). Дана масса (количество) одного из исходных веществ, причем обязательно указывается или

подразумевается, что второе вещество находится в избытке. Требуется определить массу (количество) одного из продуктов».

Перечислим последовательность операций, которые необходимо проделать для решения сформулированной подобным образом задачи.

1. Составить уравнение *всех* упомянутых в условии задачи реакций.

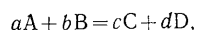
2. Обозначить через неизвестное  $x$  параметр, который подлежит определению.

3. Провести анализ на достаточность данных, т. е. установить, достаточно ли данных для нахождения неизвестного параметра, а также на предмет определения тех данных задачи, по которым находится (вычисляется) неизвестное.

4. Использовать алгоритм вычисления неизвестного  $x$ , который заключается в: а) расчете молярных масс соединений  $M$  (г/моль); б) составлении пропорций; в) решении составленной пропорции относительно неизвестного  $x$ ; г) анализе и записи ответа, проверке его качественного и количественного соответствия вопросу задачи.

#### 2.1. ПРОСТЕЙШАЯ ПРОПОРЦИЯ: КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ ЗАДАНЫ В ЯВНОМ ВИДЕ

Приведенный выше алгоритм представляет собой задачу на простейшую пропорцию. Составим уравнение реакции:



где  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  — коэффициенты в уравнении реакции;  $A$  и  $B$  — известные исходные вещества;  $C$  и  $D$  — продукты, которые либо могут быть известными, либо их формулы необходимо написать самостоятельно.

Пусть задано количество вещества  $A$  ( $v$  моль); вещество  $B$  — в избытке. Требуется найти количество  $C$ . Решается такая задача просто:

из  $a$  моль  $A$  получается  $c$  моль  $C$ ,

из  $v$  моль  $A$  —»—  $x$  моль  $C$ ,

$$x = \frac{vc}{a}$$

Расчет в молях проще расчета в граммах, в чем легко убедиться, решив задачу следующего содержания.

Задана масса вещества А —  $m(A)$ , а вещество В в избытке. Требуется найти массу продукта реакции — вещества С, т. е.  $m(C)$ .

Составим пропорцию:

из  $a M(A)$  образуется  $c M(C)$ ,  
из  $m(A)$  —»—  $m(C)$ ,

$$m(C) = \frac{m(A) c M(C)}{a M(A)} \text{ (г)}.$$

Далее рассмотрим два возможных варианта приведенной задачи.

**В а р и а н т I.** Известен объем  $V(A)$  газообразного А, необходимо определить  $m(C)$  — массу С.

Из  $a \cdot 22,4$  л А получается  $c M(C)$  г С,

из  $V(A)$  л А —»—  $m(C)$  г С,

$$m(C) = \frac{V(A) c M(C)}{a \cdot 22,4} \text{ (г)}.$$

**В а р и а н т II.** Известен объем  $V(A)$  газообразного А, необходимо определить объем  $V(C)$  газообразного С.

Из  $a \cdot 22,4$  л А получается  $c \cdot 22,4$  л С,

из  $V(A)$  л А —»— —»—  $V(C)$  л С,

$$V(C) = \frac{V(A) c \cdot 22,4}{a \cdot 22,4} = \frac{c}{a} V(A) \text{ (л)}.$$

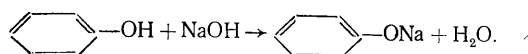
Естественно, все приведенные пропорции пригодны для решения задач, в которых известно количество продукта, а нужно определить количество исходного реагента (можно по тем же формулам), представив в качестве неизвестного  $v(A)$ ,  $m(A)$  или  $V(A)$  (вместо  $v(C)$ ,  $m(C)$  и  $V(C)$  соответственно). При решении любой задачи следует также помнить, что везде, где только это возможно, решать задачу нужно в молях. В большинстве задач, и Вы в этом неоднократно убеждались и сможете убедиться в буду-



щем, заданные значения массы веществ кратны их молярным массам. Решение в молях упрощает расчеты и уберегает от многих арифметических ошибок.

**Пример 1.** Определить массу гидроксида натрия, необходимого для реакции с 9,4 г фенола.

**Решение.** Уравнение реакции:



$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 94 \text{ г/моль}; M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}.$$

С 94 г фенола реагирует 40 г NaOH,

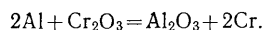
с 9,4 г ————— ————— x г NaOH,

$$x = \frac{9,4 \cdot 40}{94} = 4 \text{ (г) NaOH}.$$

**Решение** (в молях). 9,4 г фенола соответствует 0,1 моль. С 1 моль фенола реагирует 1 моль щелочи, а с 0,1 соответственно 0,1 моль щелочи, т. е.  $0,1 \times 40 = 4$  (г). В данном конкретном случае практически не имеет значения, решать задачу в граммах или в молях.

**Пример 2.** Какую массу (г) алюминия нужно ввести в реакцию с 7,6 г оксида хрома (III), чтобы получить чистый хром?

**Решение.** Уравнение реакции:



Для реакции с 152 г  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  требуется 2·27 г Al,

для ————— ————— 7,6 г  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ————— x г Al,

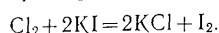
$$x = \frac{7,6 \cdot 27 \cdot 2}{152} = 2,7 \text{ (г) Al}.$$

**Решение** (в молях). 7,6 г  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  — это 0,05 (7,6/152) моль; на 1 моль  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  требуется 2 моль Al; на 0,05 моль  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  —  $2 \cdot 0,05 = 0,1$  моль Al (или 2,7 г).

**Пример 3.** Воздух (объемом 1 л) с примесью хлора пропустили через избыток раствора йодида калия, при этом выделилось 0,127 г йода. Определить объемную долю хлора в данной газовой смеси.

**Решение.** Уравнение реакций:

$O_2 + KI \rightarrow$  не реагирует в данных условиях,



254 г йода выделяется при реакции с 22,4 л  $Cl_2$ ,  
0,127 г —»— —»— x л  $Cl_2$ ,

$$x = \frac{0,127 \cdot 22,4}{254} = 0,0112 \text{ (л)}, \text{ или } 1,12 \text{ (\%)}.$$

Вот конкретный пример пользы от решения в молях: 0,127 г  $I_2$  — это 0,0005 моль  $I_2$ . Такое же количество  $Cl_2$  (0,0005 моль) занимает объем  $0,0005 \cdot 22,4 = 0,0112$  (л). Объемная доля хлора в данном образце воздуха равна  $0,0112/1 = 0,0112$ , или 1,12 (%).

#### Задачи

1. Какое количество натрия необходимо добавить к 1 л воды, чтобы образовался раствор гидроксида натрия с массовой долей вещества 1%? Плотность воды принять равной 1 г/см<sup>3</sup>.
2. Сколько выпадает осадка при прибавлении раствора, содержащего 16,4 г нитрата кальция, к избытку раствора соды (карбоната натрия)?
3. Над раскаленным оксидом меди пропустили избыток водорода. Затем образец охладили и взвесили. Во сколько раз изменилась его масса?
4. 1 г оксида кальция внесли в V мл воды и получили прозрачный раствор. Вычислите массовую долю вещества в полученном растворе.
5. Смесь водорода и хлора в закрытом сосуде при постоянной температуре облучали рассеянным светом. Через некоторое время содержание хлора уменьшилось на 20% по сравнению с исходным, а объемные доли компонента смеси в этот момент стали следующими: 60% хлора, 10% водорода и 30% хлороводорода. Каким был количественный состав исходной смеси газов? Как получают хлор, водород, хлороводород?
6. Какой объем воздуха (объемная доля кислорода 21%) необходим для полного сгорания 1 л сероводорода? Какая масса 4%-го раствора гидрокси-

да натрия потребуются для поглощения продуктов сгорания? Объемы газов измерены при нормальных условиях.

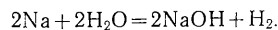
7. Сульфат калия массой 20 г растворили в 150 мл воды и провели электролиз раствора. После электролиза массовая доля сульфата калия составила 15%. Какие объемы водорода и кислорода были получены при температуре 20°C и давлении 101325 Па?

8. Как изменится давление к моменту наступления равновесия реакции синтеза аммиака, протекающей в закрытом сосуде при постоянной температуре, если начальные концентрации азота и водорода в смеси равны соответственно 2 и 6 моль/л и равновесие наступает, когда прореагировало 10% азота.

9. Какую массу (г) металлического цезия можно получить из 14,2 г цезиевых квасцов (они по составу подобны калиевым) по приводимому способу: Н. Бекетов (1894 г.) приготовил цезий из его алюмината накаливанием с порошком магния, и весь цезий получился в металлическом виде ... Алюминат цезия был приготовлен через осаждение цезиевых квасцов едким баритом через выпаривание полученного раствора (Д. И. Менделеев «Основы химии»).

#### Решения

1. Составим уравнение реакции:



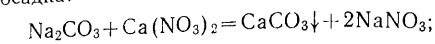
Обозначим искомую массу натрия через  $x$ . Масса 1 л (1000 см<sup>3</sup>) воды равна 1000 см<sup>3</sup> · 1 г/см<sup>3</sup> = 1000 г. Из  $x$  г натрия образуется  $(80/46)x$  г гидроксида натрия и  $(2/46)x$  г водорода. В результате масса раствора гидроксида натрия равна:

$$x + 1000 - \frac{2x}{46}.$$

Связывая массы раствора и растворенного вещества, получаем соотношение

$$\left(x + 1000 - \frac{2}{46}x\right) \cdot 0,01 = \frac{80}{46}x, \text{ откуда } x = 5,78 \text{ (г)}.$$

2. Уравнение реакции, приводящей к образованию осадка:

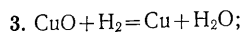


$$M_r \quad \quad \quad 164 \quad \quad \quad 100$$

$$164 - 100,$$

$$16,4 \text{ (г)} - x \text{ (г)},$$

$$x = 10 \text{ (г)} \text{ осадка карбоната кальция.}$$

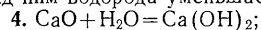


$$1 \text{ моль} - 1 \text{ моль},$$

$$80 \text{ г/моль} - 64 \text{ г/моль},$$

$$80 \text{ г CuO} \text{ дают } 64 \text{ г Cu.}$$

Значит, масса взятого образца после пропускания над ним водорода уменьшается в  $80/64 = 1,25$  раз.



56 г CaO взаимодействует с водой с образованием

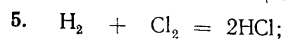
$$74 \text{ г Ca}(\text{OH})_2,$$

$$A \text{ г CaO} \quad \text{—»—}$$

$$74/56 A \text{ г Ca}(\text{OH})_2.$$

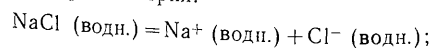
Таким образом, в растворе будет содержаться  $1,32 A$  г  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Так как масса раствора (исходя из уравнения реакции) равна сумме масс исходных веществ и составляет  $(A+B)$  г, то, считая вещество полностью растворившимся (нет осадка), имеем

$$\omega = 132 \frac{A}{A+B} (\%).$$



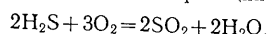
$$1 \text{ моль} \quad 1 \text{ моль} \quad 2 \text{ моль}$$

30 объемных частей HCl получаются при взаимодействии 15 объемных частей  $\text{H}_2$  и 15 объемных частей  $\text{Cl}_2$ ; следовательно, состав исходной газовой смеси:  $\text{Cl}_2: 60 + 15 = 75\%$ ,  $\text{H}_2: 10 + 15 = 25\%$ . Хлор и водород можно получить, например, электролизом водного раствора хлорида натрия:



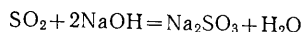
на аноде:  $2\text{Cl} - 2\bar{e} = \text{Cl}_2$ ; на катоде:  $2\text{H}^+ + 2\bar{e} = \text{H}_2$  (из  $\text{H}_2\text{O}$ ). Хлороводород можно получить взаимодействием водорода с хлором.

6. Уравнение происходящей реакции:



Для сгорания 1 л  $\text{H}_2\text{S}$  требуется 1,5 л  $\text{O}_2$  или  $1,5/0,21 = 7,15$  л воздуха. Выделится 1 л  $\text{SO}_2$ , или  $1/22,4 = 0,0447$  моль  $\text{SO}_2$ .

Для поглощения  $\text{SO}_2$  по реакции



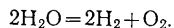
потребуется  $2 \cdot 0,0447 = 0,0894$  моль, или  $0,0894 \cdot 40 = 3,58$  г  $\text{NaOH}$ . При этом 4%-го раствора  $\text{NaOH}$  потребуется  $3,58/0,04 = 89,4$  г.

Для поглощения  $\text{SO}_2$  по реакции



необходимо взять 44,7 г 4%-го раствора  $\text{NaOH}$ .

7. При электролизе разлагается только вода, т. е. количество сульфата калия в растворе не меняется. Соль служит электролитом:



Масса воды в растворе: а) до электролиза  $m(\text{H}_2\text{O}) = 150$  г; б) после электролиза  $m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ра}) - m(\text{K}_2\text{SO}_4) = (20/0,15) - 20 = 113,3$  г.

Масса воды, разложившейся при электролизе:  $m(\text{H}_2\text{O}) = 150 - 113,3 = 36,7$  г, т. е.  $\nu(\text{H}_2\text{O}) = 2,04$  моль,  $\nu(\text{H}_2) = 2,04$  моль,  $\nu(\text{O}_2) = 1,02$  моль.

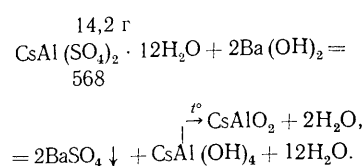
$$V(\text{H}_2) = \frac{\nu(\text{H}_2) RT}{P} = \frac{2,04 \cdot 8,314 \cdot 293,15}{101325} = 0,049 \text{ (м}^3\text{)} = 49 \text{ (л)},$$

$$V(\text{O}_2) = \frac{1}{2} V(\text{H}_2) = 0,0245 \text{ (м}^3\text{)} = 24,5 \text{ (л)}.$$

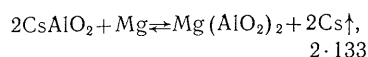
8.  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ .

К моменту наступления равновесия прореагировало 10%  $\text{N}_2$  или  $2 \cdot 0,1 = 0,2$  моль/л  $\text{N}_2$  и 0,6 моль/л  $\text{H}_2$ , всего 0,8 моль/л газов. По уравнению реакции 4 объема газа дают 2 объема: 0,8 моль/л  $\rightarrow$  0,4 моль/л.

В смеси осталось:  $2+6-0,4=7,6$  (моль/л) газов.  
 Из уравнения Менделеева—Клапейрона  $p=\nu RT/V=$   
 $=cRT$ . Давление уменьшится в  $(7,6/8,0)=0,95$  раза.  
 9. Гидроксид бария (едкий барит) позволяет легко превратить цезиевые квасцы в гидроксоалюминат:



Реакция с магнием приводит к образованию летучего продукта — металлического цезия, и равновесие смещается вправо:



$$x = 14,2 \frac{133}{568} = 3,33 \text{ (г) Cs.}$$

## 2.2. УСЛОЖНЕННАЯ ПРОПОРЦИЯ

Массы реагирующих или образующихся химических соединений на практике определить не всегда просто. Так, исходные вещества задаются далеко не всегда при нормальных условиях (т. е. 273 К и 1 атм), они могут вводиться в виде растворов; продукты реакции необходимо выделить количественно в достаточно чистом виде для взвешивания или определения объема. У аккуратно работающего экспериментатора потери при выделении продукта реакции составляют всего несколько процентов от выхода, приведенного в методике. А неаккуратно работать экспериментатору просто нельзя!

### 2.2.1. Количественные данные заданы в неявном виде

Рассмотрим случай, когда исходные данные задаются в неявном виде, т. е. перед использованием этих данных для решения задачи и подстановки их

в основную пропорцию необходимо провести дополнительные преобразования.

Напомним еще раз формулировку задачи, которая представлена в начале второго параграфа.

При реакции вещества А с избытком вещества В образуются вещества С и D. Относительные молекулярные массы даны. Требуется определить массу вещества С, если известно, что А находилось в виде:

а.  $m_1$  г раствора (или смеси) с массовой долей компонента  $\omega(A)$  в %.

Предварительно преобразуем массу вещества А к явно заданному виду:

в 100 г раствора А содержится  $\omega(A)$  г,

в  $m_1$  г —»— —»—  $m(A)$  г,

$$m(A) = \frac{m_1 \omega}{100}.$$

Запишем уравнение реакции:

$aA + bB = cC + dD$ , далее (см. 2.1) имеем

$$m(C) = \frac{m(A) cM(C)}{aM(A)} = \frac{m_1 \omega cM(C)}{100 aM(A)}.$$

б.  $V_1$  (л) газа, измеренного при давлении  $p_1$  и температуре  $T_1$ . Приведем объем  $V(A)$  вещества А к явно заданному виду (норм. условиям):

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_0 V(A)}{T_0},$$

где  $p_0$  и  $T_0$  — давление и температура при н. у. Отсюда:  $V(A) = \frac{p_1 V_1 T_0}{p_0 T_1}$ ; затем составим пропорцию:

из  $a \cdot 22,4$  л А образуется  $c M(C)$  г вещества С,

из  $V(A)$  л —»—  $m(C)$  г —»— С.

$$m(C) = \frac{cM(C) V(A)}{a \cdot 22,4} = \frac{cM(C) p_1 V_1 T_0}{p_0 T_1 a \cdot 22,4}.$$

**Пример 1.** В запаянной колбе объемом 1 л, содержащей воздух (давление 1000 Па при  $0^\circ \text{C}$ ), несколько суток прокаливали при  $900^\circ \text{C}$  10 г медных

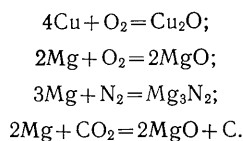
опилок. Какое давление будет в колбе после охлаждения до 0°C? Что можно сказать о составе газовой и твердой фаз, содержащихся в колбе? Объемом твердых веществ пренебречь. Как изменится решение, если вместо меди взять 10 г магния?

**Решение.** Определяем исходные количества вещества газов и металлов:

$$\begin{aligned} \nu(\text{O}_2) &= \frac{pV}{RT} \cdot 0,21 = \frac{1 \cdot 1000}{8,31 \cdot 10^3 \cdot 273} \cdot 0,21 = \\ &= 9,25 \cdot 10^{-5} \text{ (моль) O}_2; \\ \nu(\text{Cu}) &= 10/64 = 0,156 \text{ (моль);} \\ \nu(\text{Mg}) &= 10/24 = 0,417 \text{ (моль).} \end{aligned}$$

Все металлы взяты в избытке.

Реакции, происходящие при прокаливании:



Состав воздуха в процентах по объему: N<sub>2</sub> — 78%; O<sub>2</sub> — 21%; CO<sub>2</sub> — 0,03%; благородные газы ~0,93%.

При прокаливании меди состав содержимого колбы: газы — CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, благородные газы; твердые вещества — оксид меди(I) Cu<sub>2</sub>O; давление в колбе ~790 Па.

При прокаливании магния — благородные газы, оксид магния MgO, нитрид магния Mg<sub>3</sub>N<sub>2</sub>, сажа (C); давление в колбе 9,3 Па.

**Пример 2.** Какой станет массовая доля вещества в растворе, если к 100 г раствора гидроксида лития с массовой долей 10% добавить 10 г металлического лития? Ответ подтвердите расчетами и уравнениями реакций.

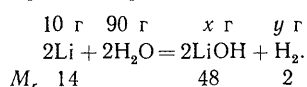
Общее указание ко всем задачам на определение свойств смеси компонентов.

Массу смеси нужно определять сложением масс всех компонентов независимо от происходящих реак-



ций, вычитая массу выделившегося газа или осадка, если таковые образуются в результате реакции. Об этом следует помнить всегда и когда при смешении компонентов реакции не происходят, и когда компоненты реагируют друг с другом.

**Решение.** Уравнение реакции:



В 100 г раствора содержится 10 (г) LiOH и 90 (г) воды, при прибавлении 10 г лития выделится в виде газа

$$y = \frac{2 \cdot 10}{14} = 1,43 \text{ (г) водорода.}$$

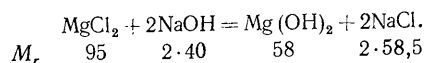
Масса раствора составит  $110 - 1,43 = 108,57$  (г).  
В этом растворе

$$10 + x = 10 + \frac{48 \cdot 10}{14} = 44,30 \text{ (г) LiOH,}$$

$$\omega(\text{LiOH}) = \frac{44,30 \cdot 100\%}{108,57} = 40,80 \text{ (\%)}.$$

**Пример 3.** К  $a$  граммам  $c$  %-го раствора хлорида магния прибавлено эквивалентное (т. е. до окончания реакции, без избытка) количество  $n$  %-го раствора гидроксида натрия. Выпавший осадок отфильтрован и промыт  $b$  миллилитрами воды. Определить концентрацию хлорида натрия в растворе, полученном смешением фильтрата и промывных вод.

**Решение.** Уравнение реакции:



Определим массу образовавшегося осадка:

$$95 \text{ г MgCl}_2 \text{ дают } 58 \text{ г Mg}(\text{OH})_2,$$

$$0,01 \text{ с а г MgCl}_2 \text{ --- } x \text{ г Mg}(\text{OH})_2,$$

$$x = 58/95 \cdot 0,01 \text{ с а} = 0,0061 \text{ с а (г) Mg}(\text{OH})_2.$$

Массу образовавшегося NaCl находим аналогично:

$$\begin{aligned}95 \text{ г} &= 2 \cdot 58,5 \text{ г}, \\0,01 \text{ с а г} &= y \text{ г}, \\y &= 0,0123 \text{ с а (г) NaCl}.\end{aligned}$$

Определим массу раствора гидроксида натрия, взятого для реакции:

$$\begin{aligned}\text{на } 95 \text{ г MgCl}_2 &\text{ требуется } 80 \text{ г NaOH}, \\ \text{на } 0,01 \text{ с а г} &\text{ —»— } z \text{ г NaOH}, \\ z &= \frac{0,01 \text{ с а} \cdot 80}{95} = 0,0084 \text{ с а (г)}.\end{aligned}$$

Масса взятого  $n\%$ -го раствора NaOH составляет

$$\begin{aligned}0,0084 \text{ с а г} &= n\%, \\ \alpha &= 100\%, \\ \alpha &= \frac{0,84 \text{ с а}}{n} \text{ (г)}.\end{aligned}$$

Тогда масса всего раствора после реакции и промывки составит

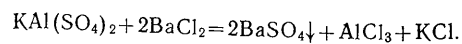
$$a + 0,84 \frac{ca}{n} + b - 0,0061 ca \text{ (г)}.$$

Массовая доля NaCl в растворе составит (%):

$$\begin{aligned}\frac{0,0123 ca}{a + b + 0,84 ca/n - 0,0061 ca} \cdot 100 &= \\ &= \frac{1,23 ca}{a + b + 0,84 ca/n - 0,0061 ca}.\end{aligned}$$

**Пример 4.** Жженые квасцы  $KAl(SO_4)_2$  массой  $a$  г растворили в  $b$  мл воды. С каким объемом  $c\%$ -го раствора хлорида бария (плотность  $\rho$ ) может прореагировать  $m$  г раствора квасцов?

**Решение.**

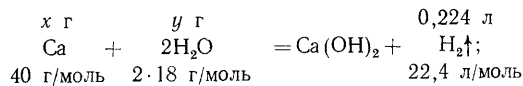


В  $m$  г раствора квасцов содержится  $m \frac{a}{a+b}$  г, или  $\frac{m}{258} \frac{a}{a+b}$  молей квасцов. С таким количеством квасцов может прореагировать  $\frac{2m}{258} \frac{a}{a+b}$  молей или  $\frac{2m}{258} \times \frac{a}{a+b} \cdot 208$  г хлорида бария, которые содержатся в  $\frac{2m}{258} \frac{a}{a+b} \cdot 208 \frac{100}{c} = 161 \frac{ma}{(a+b)c}$  г  $c$  %-раствора, или  $b \frac{161ma}{(a+b)c}$  мл этого раствора.

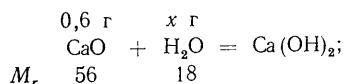
Вариант косвенного задания массы: масса одного из компонентов определяется в виде разности между массой смеси двух веществ и массой второго компонента.

**Пример 5.** Имеется 5 г смеси кальция и оксида кальция. Какова масса кальция (г) в смеси, если при реакции 1 г смеси с водой выделилось 224 мл водорода (н. у.)? Какова масса (г) воды, прореагировавшей с 1 г смеси?

**Решение.** Пусть в 1 г смеси было  $x$  г Ca и  $(1-x)$  г CaO.



$$x = 0,4 \text{ г Ca}, \quad y = 0,36 \text{ г H}_2\text{O};$$

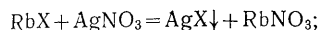


$$x = 0,193 \text{ (г) H}_2\text{O}.$$

Следовательно, в 5 г смеси содержится 2 г Ca и 3 г CaO, с 1 г смеси прореагировала вода массой  $0,36 + 0,193 = 0,553$  (г).

**Пример 6.** Эквимольную смесь двух галогенидов рубидия массой 4,51 г обработали избытком нитрата серебра. При этом образовался осадок массой 2,87 г. Определить, какие галогениды присутствовали в смеси.

**Решение.** Так как масса осадка меньше массы смеси, то осадок образует только один из галогенидов. Значит, одна из солей, не образующая осадок, — фторид рубидия RbF (AgF растворим в воде). Пусть RbF было  $a$  моль, его масса  $a(85,5+19)$  г, тогда другого галогенида также было  $a$  моль и его масса  $a(85,5+x)$  г, где  $x$  — молярная масса галогенида X.



$(x+85,5)$  г галогенида образуют  $(108+x)$  г осадка,  
 $a(x+85,5)$  г —»— —»— 2,87 г —»— ,

$$a = \frac{2,87}{108+x}.$$

Масса смеси:  $a(85,5+x) + a(85,5+19) = 4,51$ . Подставляя  $a$ , находим  $x=35,5$ . Значит, другая соль — хлорид рубидия RbCl.

### 2.2.2. Расчеты с учетом избытка одного из реагентов

Во всех предыдущих задачах неизменным являлось одно из условий: либо одно из веществ (A или B), реагирующих по уравнению  $aA + bB = cC + dD$ , находилось в избытке, либо вещества были взяты в эквивалентных количествах.

Как быть, если одновременно даны массы веществ A и B:  $m(A)$  и  $m(B)$ ? По какому из веществ вести расчет? Совершенно очевидно, что расчет необходимо вести по тому веществу, которое израсходуется полностью, т. е. находится в недостатке; второе вещество прореагирует частично и избыток его останется.

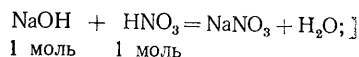
Условие задачи можно сформулировать следующим образом. «Смешали вещество A массой  $m(A)$  с веществом B массой  $m(B)$ ; произошла реакция, образовались вещества C и D. Требуется для вещества C найти массу  $m(C)$ ».

В общем виде предполагается следующее решение. Количество вещества A:  $\nu(A) = m(A)/M(A)$  моль, а количество вещества B:  $\nu(B) = m(B)/M(B)$  моль. Согласно уравнению реакции  $a$  моль вещества A реагирует с  $b$  моль вещества B, т. е. если  $\nu(A)/\nu(B) >$

$>a/b$ , то В — в недостатке, а если  $v(A)/v(B) < a/b$ , то А — в недостатке.

**Пример 1.** К раствору, содержащему 20 г гидроксида натрия, прибавили 70 г 30%-го раствора азотной кислоты. Какой цвет будет иметь лакмус в полученном растворе?

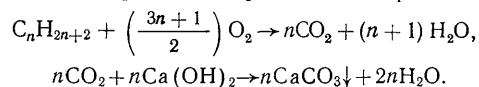
**Решение.**



20 г NaOH составляют 0,5 моль; 70 г 30%-го раствора HNO<sub>3</sub> содержит  $70 \cdot 0,3 = 21$  (г) кислоты, что составляет 0,33 моль. Таким образом, гидроксид натрия содержится в избытке ( $0,5 > 0,33$ ). Полученный раствор будет иметь щелочную реакцию и лакмус окрасится в синий цвет.

**Пример 2.** Газообразный предельный нециклический углеводород объемом 224 мл (н. у.) сожгли и продукты растворили в 1 л 0,148 %-й известковой воды (плотность 1,0 г/мл). При этом было получено 1,0 г осадка. Определите молекулярную формулу углеводорода.

**Решение.** Уравнения происходящих реакций:



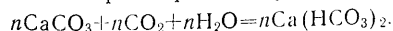
Раствор известковой воды содержал  $\frac{0,148 \cdot 1000}{100} = 1,48$  (г), или  $\frac{1,48}{74} = 0,02$  моль Ca(OH)<sub>2</sub>.

Осадок—1,0 г CaCO<sub>3</sub> составляет  $1,0/100 = 0,01$  (моль) CaCO<sub>3</sub>.

Предполагаем два варианта решения задачи:

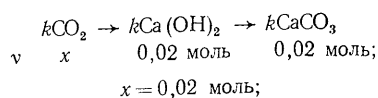
1) Ca(OH)<sub>2</sub> — в избытке, тогда на осаждение CaCO<sub>3</sub> потребовалось 0,01 моль CO<sub>2</sub>, т. е.  $v(\text{CO}_2) = 0,01$  моль, а C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> также взято  $0,224/22,4 = 0,01$  моль, следовательно,  $n=1$ ; C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> — метан: CH<sub>4</sub>;

2) Ca(OH)<sub>2</sub> — в недостатке, когда осадок массой 0,1 г является результатом двух реакций — осаждения и частичного растворения по уравнению

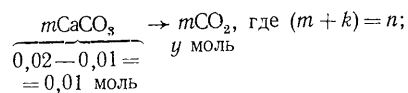


При осаждении получается 0,02 моль  $\text{CaCO}_3$ , остается 0,01 моль  $\text{CaCO}_3$ , т. е. 0,01 моль  $\text{CaCO}_3$  вступило в последнюю реакцию. Рассчитаем количество  $\text{CO}_2$ :

а) для осаждения:

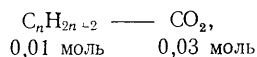


б) для растворения:



$$y = 0,01 \text{ моль.}$$

Всего  $n\text{CO}_2$  — 0,03 моль,



$n = 3$ , т. е. пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ).

#### Задачи

1. Какая минимальная масса (г) кислорода необходима для полного сгорания 32 г серы? Выберите правильный ответ: а) 16; б) 22; в) 28; г) 32.

2. В качестве азотных удобрений можно применять нитрат аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и карбамид  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ . 1 кг карбамида стоит  $a$  рублей, а 1 кг нитрата аммония —  $b$  рублей, причем  $a > b$ . Считая, что растения усваивают азот полностью, определите, при каком соотношении  $a : b$  применение нитрата аммония станет более выгодным.

3. Оксид меди(II) массой 8 г обработали 20 мл 4,9%-го раствора серной кислоты (плотность 1,03 г/см<sup>3</sup>). Полученный раствор отфильтровали, фильтрат упарили при 100° С. Какое вещество было получено? Какова его масса?

4. Какой объем (л) оксида углерода(IV), измеренный при н. у., выделится при взаимодействии

1,8 г гидрокарбоната калия с 65 г 10%-й серной кислоты?

5. Смесь аммиака и кислорода объемом 28 л прореагировала в присутствии катализатора. После реакции осталось 6 л кислорода. Определите состав исходной смеси. Измерения проводились при одинаковых условиях.

6. Определите массовую долю (в процентах) вещества в растворе, полученном при сливании  $m_1$  г раствора гидроксида бария с массовой долей  $c_1$  (%) и  $m_2$  г раствора серной кислоты с массовой долей  $c_2$  (%).

7. Какую массу (г) бертолетовой соли надо разложить термически, чтобы полученного кислорода хватило для полного сгорания 18 г глюкозы. Какой объем будет занимать газообразный продукт сгорания глюкозы при нормальных условиях?

8. Гексен-1 массой 8,4 г смешали со 120 г 10%-го раствора брома в тетрахлориде углерода. Определите количественный состав полученного раствора.

9. В однолитровую склянку, содержащую 100 мл 10%-й соляной кислоты, при  $t=21^\circ\text{C}$  было помещено 3,25 г цинка, после чего склянка была тотчас закупорена. Какое давление установится в склянке после окончания реакции, если температура не меняется (плотность кислоты принять равной  $1\text{ г/см}^3$ , начальное давление  $p_0=1\text{ атм}$ , а изменением объема жидкости и твердого вещества можно пренебречь).

### Решения

1.  $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$ . Ответ: г) 32 г.

$M_r$  32 32

2. Применение нитрата аммония будет экономически оправданным тогда, когда часть стоимости, приходящейся на содержащийся в нем 1 кг азота, меньше стоимости 1 кг азота из  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ . Стоимость 1 кг азота из нитрата аммония равна

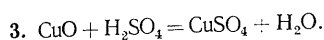
$$b = \frac{M_r(\text{NH}_4\text{NO}_3)}{2A_r(\text{N})} = \frac{80}{28}.$$

Стоимость 1 кг азота, содержащегося в карбамиде, равна

$$a \frac{M_r((\text{NH}_2)_2\text{CO})}{2A_r(\text{N})} = \frac{60}{28} a.$$

Применение нитрата аммония становится более выгодным при соотношении

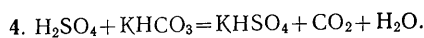
$$20/7 \quad b < \frac{15}{7} a, \text{ или } a/b > 4/3.$$



8 г CuO составляют  $8/80 = 0,1$  моль,

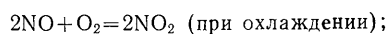
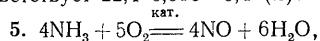
$$\frac{20 \cdot 1,03 \cdot 4,9}{100} = 1,01 \text{ г } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ составляют } 0,0103 \text{ моль.}$$

Таким образом, серная кислота содержится в недостатке. Было получено 0,0103 моль  $\text{CuSO}_4$ . При упаривании образовался медный купорос:  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  массой  $0,0103 \cdot (160 + 90) = 2,575$  (г).



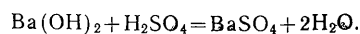
1,8 г  $\text{KHCO}_3$  составляют  $1,8/100 = 0,018$  моль,

65 г 10%-й  $\text{H}_2\text{SO}_4$  содержат 6,5 г кислоты, что составляет 0,066 моль. Таким образом, гидрокарбонат калия находится в недостатке. Из 0,018 моль  $\text{KHCO}_3$  получится 0,018 моль  $\text{CO}_2$ , что при н. у. соответствует  $22,4 \cdot 0,018 = 0,4$  (л).



суммарное уравнение реакции:  $4\text{NH}_3 + 7\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ . Осталось 6 л, значит в реакцию вступило  $28 - 6 = 22$  л смеси, причем объемы прореагировавших  $\text{NH}_3$  и  $\text{O}_2$  относятся как 4 : 7. Таким образом, в реакцию вступило 8 л  $\text{NH}_3$  и 14 л  $\text{O}_2$ . Исходная смесь содержит 8 л аммиака и 20 л кислорода.

6. Уравнение реакции:





В  $m_1$  г раствора  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  находится  $m_1 \frac{c_1}{100}$  г, или  $\frac{m_1 c_1}{17100}$  моль основания. В растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4$  находится  $m_2 \frac{c_2}{100}$  г, или  $\frac{m_2 c_2}{9800}$  моль кислоты. Если  $\frac{m_1 c_1}{17100} < \frac{m_2 c_2}{9800}$ , то в растворе останется

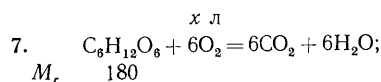
$$\frac{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \left( \frac{m_2 c_2}{9800} - \frac{m_1 c_1}{17100} \right) 100}{m_1 + m_2 - m(\text{BaSO}_4)} =$$

$$= \frac{m_2 c_2 - \frac{98}{171} m_1 c_1}{m_1 + m_2 - \frac{233 m_1 c_1}{17100}} (\%) \text{H}_2\text{SO}_4.$$

Если  $\frac{m_1 c_1}{17100} > \frac{m_2 c_2}{9800}$ , то в растворе останется  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ :

$$\frac{M(\text{Ba}(\text{OH})_2) (m_1 c_1 / 17100 - m_2 c_2 / 9800) 100}{m_1 + m_2 - m(\text{BaSO}_4)} =$$

$$= \frac{m_1 c_1 - 171/98 m_2 c_2}{m_1 + m_2 - (233 m_2 c_2 / 9800)} (\%) \text{Ba}(\text{OH})_2.$$

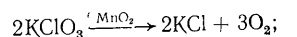


$$180 \text{ г} - 6 \cdot 22,4 \text{ л},$$

$$18 \text{ г} - x \text{ л},$$

$$x = 6 \cdot 22,4 = 13,44 \text{ л } \text{O}_2.$$

Газообразным продуктом при н. у. будет только оксид углерода (IV), объем его равен объему прореагировавшего кислорода — 13,44 л.



$$2 \cdot 122,5 \text{ г} - 3 \cdot 22,4 \text{ л},$$

$$x \text{ г} - 13,44 \text{ л},$$

$$x = 49 \text{ г}.$$



веществ А и С:  $m(A)$  и  $m(C)$  ( $\Delta m(AC)$ ). Требуется определить, сколько вещества А вступило в реакцию с веществом В, т. е. найти  $m(A)$ . Как уже отмечено, пропорция содержит одну строку с мольными соотношениями и другую — с массовыми. При этом одна из указанных в пропорции строк отражает разницу в молярных массах, другая — в массах:

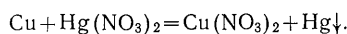
вступает в реакцию  $aM(A)$  (г) вещества А — получается разность  $aM(A) - cM(C)$ ;

вступает в реакцию  $m(A)$  г вещества А — получается разность  $\Delta m(AC)$ ; отсюда

$$m(A) = \frac{\Delta m(AC) aM(A)}{aM(A) - cM(C)}.$$

**Пример.** Медную пластинку массой 20 г опустили в раствор нитрата ртути(II). Масса пластинки увеличилась на 2,73 г. После этого пластинку прокалили и она приобрела первоначальный вид. Как изменилась при этом масса пластинки?

**Решение.** Уравнение реакции:



Изменение массы пластинки на 1 моль прореагировавшей меди равно  $200,5 - 63,5 = 137$  (г). Поэтому в реакцию вступило  $2,73/137 = 0,02$  моль меди. При прокаливании вся ртуть испарится и масса пластинки по сравнению с первоначальной уменьшится на  $0,02 \cdot 63,5 = 1,27$  (г).

#### Задачи

1. Металлическая пластинка массой 50 г после пребывания в растворе соляной кислоты уменьшилась в массе на 1,68%, при этом выделилось 0,366 л газа. Из какого металла может быть изготовлена пластинка?

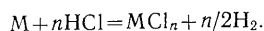
2. Две пластинки одинаковой массы изготовлены из одного металла, степень окисления которого в соединениях равна двум. Пластинки опустили в растворы солей меди и серебра одинаковой концентрации; через некоторое время вынули, высушили и взвесили (при этом весь выделенный металл осел на пластинках). Масса первой пластинки увеличи-

лась на 0,8%, второй — на 16%. Из какого металла изготовлены пластинки?

3. При обжиге навески пирита ее масса уменьшилась на 20%. Определите состав (в массовых долях) образовавшейся смеси твердых веществ.

### Решения

1. Уравнение реакции:



Потеря массы составила  $50 \cdot 0,0168 = 0,84$  (г).

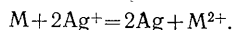
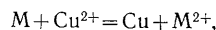
$x$  г металла выделяют  $n/2 \cdot 22,4$  л  $H_2$ ,

0,84 г           —»—           0,336 л  $H_2$ ,

$$x = \frac{0,84 \cdot n \cdot 22,4}{2 \cdot 0,336} = 28n \text{ (г)}.$$

Если металл одновалентный, т. е.  $n=1$ , его относительная атомная масса равна 28 (кремний). Но кремний не растворяется в соляной кислоте и не может быть одновалентным. При  $n=2$  относительная атомная масса равна 56, т. е. металл — железо. Можно проверить и варианты с  $n=3, 4$  и убедиться в том, что правильный ответ — только железо.

2. Уравнения происходящих реакций:



Обозначим через  $A$  атомную массу металла. Составим пропорцию по первому уравнению: если растворилось  $A$  г металла (моль), на пластинке осело бы 64 г меди и разница в массе составила  $(64-A)$  г, по условию в случае меди молярная разница  $(64-A)$  г соответствует реальной разнице в 0,8%. Аналогично в случае серебра молярная разница  $(216-A)$  г соответствует реальной разнице в 16%. Имеем суммарную пропорцию:

$(64-A)$  г соответствует 0,8%,

$(216-A)$  г           —»—           16%,

$$0,8(216-A) = 16(64-A), \text{ отсюда } A_r = 56.$$

Эту задачу можно решить и более строгим математическим способом. Обозначим массу пластинки через  $m$  (г). Пусть прореагировало  $x$  моль, или  $Mx$  г металла. Тогда выделилось  $x$  моль меди и  $2x$  моль серебра или  $64x$  г меди и  $216x$  г серебра. Увеличение массы первой пластинки  $(64x - Ax)$  г, второй —  $(216x - Ax)$  г. По первому уравнению имеем:

$$\begin{aligned} m \text{ г (масса всей пластинки)} &= 100\%, \\ (64x - Ax) \text{ г (увеличение массы)} &= 0,8\%, \\ 0,8m &= 100(64x - Ax). \end{aligned}$$

По второму уравнению:

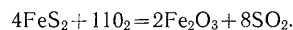
$$\begin{aligned} m \text{ г} &= 100\%, \\ (216x - Ax) \text{ г} &= 16\%, \\ 16m &= 100(216x - Ax). \end{aligned}$$

Разделим уравнение из первой пропорции на уравнение из второй:

$$\frac{0,8m}{16m} = \frac{64x - Ax}{216x - Ax}, \text{ или } \frac{0,8}{16} = \frac{64 - A}{216 - A},$$

отсюда  $A = 56$  (железо).

3. Уравнение реакции:



Пусть было  $(x + y)$  моль дисульфида железа, из которых  $y$  моль разложилось. Тогда

$$\begin{aligned} \frac{y(M(\text{FeS}_2) - 1/2 M(\text{Fe}_2\text{O}_3))}{(x + y)M(\text{FeS}_2)} \cdot 100 &= 20(\%), \\ 80y &= 120x. \end{aligned}$$

Масса  $x$  моль пирита равна  $120x$ , а  $y/2$  моль оксида железа (III) равна  $80y = 120x$ . Состав смеси:  $\frac{120x}{120x + 120x} \cdot 100\% = 50\%$  дисульфида железа и  $50\%$  оксида железа (III).

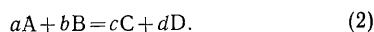
### § 3. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ С СОСТАВЛЕНИЕМ ДВУХ И БОЛЕЕ ПРОПОРЦИЙ

#### 3.1. РАСЧЕТЫ ПО УРАВНЕНИЯМ НЕСКОЛЬКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ

В задачах, представленных в настоящем параграфе, требуется составить не одну, а две или более пропорций. Обычно учащиеся хорошо справляются с задачами, в которых требуется составить одну пропорцию, они могут преобразовывать данные условия в явный вид, но часто теряются и испытывают трудности, когда исходное вещество или продукт реакции задаются так, что предварительно надо просчитать еще одну или несколько пропорций.

Рассмотрим пример, когда условие задачи сформулировано в общем виде. «Из вещества Е получают А, которое реагирует с веществом В с образованием продуктов С и D. Дается  $m(E)$  — масса вещества Е. Требуется определить  $m(C)$  — массу вещества С».

Следует отметить, что, как и ранее, все вещества А—Е известны. Составим схемы превращений и напишем уравнения реакций:



По уравнению (1) составим пропорцию:

из $eM(E)$ г вещества Е	образуется	$kM(A)$ г	вещества А,
из $m(E)$ г	—»—	—»—	$m(A)$ г
			—»— А,

$$m(A) = \frac{m(E) kM(A)}{eM(E)}.$$

Из уравнения (2) имеем пропорцию:

из $aM(A)$ г вещества А	образуется	$cM(C)$ г	вещества С,
из $m(A)$ г	—»—»—»—»—	$m(C)$ г	—»— С,

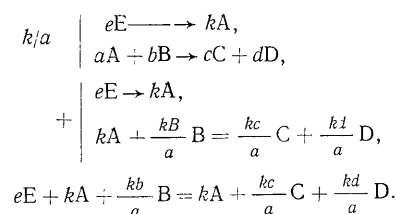
$$m(C) = \frac{m(A) cM(C)}{aM(A)}.$$

Именно так практически каждый второй учащийся подойдет к решению подобных задач — сначала по первой реакции, затем по второй. Мы не будем останавливаться на этом способе, поскольку на основе элементарной математики, которую изучали в младших классах, можем пойти дальше.

Подставляя значение  $m(A)$ , полученное из первой пропорции, в выражение для  $m(C)$  из второй, приходим к выражению

$$\begin{aligned} m(C) &= \frac{(m(E) kM(A) / eM(E)) cM(C)}{aM(A)} = \frac{m(E) kM(A) cM(C)}{eM(E) aM(A)} = \\ &= \frac{kc m(E) M(C)}{eaM(E)} = \frac{k}{e} \frac{c}{a} \frac{m(E)}{M(E)} M(C). \end{aligned}$$

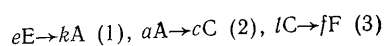
Таким образом, исключив  $m(A)$  и  $M(A)$  из суммарного уравнения, мы выяснили, что рассчитывать  $m(A)$  совершенно нет необходимости. Это и есть то самое дополнительное неизвестное, которого следует избегать. Из последнего соотношения видно, что его можно было получить, приведя в соответствие коэффициенты обоих уравнений реакций и сложив их левые и правые части, как это всегда делают при уравнивании окислительно-восстановительных реакций:



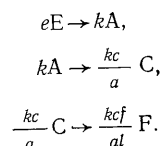
Необходимо отметить, что суммирование уравнений является чисто формальной математической операцией. Исключив  $A$  и члены, по которым не ведется расчет ( $B, D$ ), получим стехиометрическую схему  $eE \rightarrow \frac{kc}{a} C$ , из которой легко получается выражение для  $m(C)$ :

$$m(C) = \frac{kc m(E) M(C)}{eaM(E)}.$$

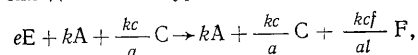
Можно показать, что задача с цепочкой из трех уравнений решается аналогично. Рассмотрим пример. «Определить  $m(F)$ , если имеется цепочка превращений:



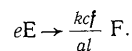
и известна  $m(E)$ . Решение этой задачи сводится к следующему. Домножим уравнение (2) на  $k/a$ , чтобы исключить  $A$ , и уравнение (3) на  $(k/a)(c/l)$ ; получаем



Далее складываем все уравнения:



или



Эту стехиометрическую схему можно распространить на какое угодно число стадий цепочки. В общем виде это выглядит так:

$$\begin{aligned} m(\text{продукта}) &= \\ &= \frac{\text{произведение коэффициентов в правых частях уравнений}}{\text{произведение коэффициентов в левых частях уравнений}} \times \\ &\times \frac{m(\text{исходного}) M(\text{продукта})}{M(\text{исходного})}. \end{aligned}$$

Обратное соотношение имеет вид:

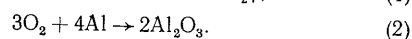
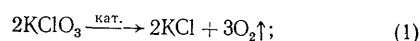
$$\begin{aligned} m(\text{исходного}) &= \\ &= \frac{\text{произведение коэффициентов в левых частях уравнений}}{\text{произведение коэффициентов в правых частях уравнений}} \times \\ &\times \frac{m(\text{продукта}) M(\text{исходного})}{M(\text{продукта})}. \end{aligned}$$



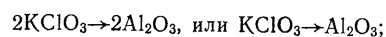
Естественно, что в формуле участвуют только коэффициенты при веществах, которые составляют саму цепочку.

**Пример.** Определить массу бертолетовой соли, которую нужно разложить для выделения кислорода, необходимого для получения 10,2 г оксида алюминия из чистого металла.

**Решение.** Уравнения реакций:



По выведенным соотношениям стехиометрическая схема имеет вид



$$\begin{aligned} m(\text{KClO}_3) &= \frac{m(\text{Al}_2\text{O}_3) M(\text{KClO}_3)}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} = \\ &= \frac{10,2 \cdot 122,5}{102} = 12,25 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

#### Задачи

1. Оксид натрия массой 6,2 г растворили в 100 мл воды (раствор 1). Затем к раствору 1 приливали соляную кислоту с массовой долей 10% до тех пор, пока реакция среды не стала нейтральной (получен раствор 2). Определите массовые доли веществ в растворах 1 и 2 и массу раствора соляной кислоты, пошедшей на нейтрализацию.

2. Сернистый газ, получившийся при сжигании 179,2 л сероводорода (н. у.), пропущен через 2 л 25%-го раствора гидроксида натрия ( $\rho = 1,28$ ). Каков состав образующейся соли и какова ее массовая доля в растворе в процентах?

3. Колонна синтеза аммиака дает 1500 т продукта в сутки. Сколько азотной кислоты 50%-й концентрации можно теоретически получить из этого количества аммиака?

4. Для восстановления 3,2 г оксида металла требуется 1,344 л водорода. При растворении полученного металла в избытке соляной кислоты выделяется 0,896 л водорода. Определите, какой это металл.

Напишите уравнения всех упомянутых реакций. (Объемы газов измерены при н. у.)

5. Для получения уксусной кислоты в качестве исходного вещества был использован технический карбид кальция, содержащий 4% примесей. Какое количество карбида было израсходовано, если известно, что на нейтрализацию полученной уксусной кислоты потребовалось 240 г раствора гидроксида кальция, содержащего 5,5 моль КОН в 1 л (плотность 1,20 г/см<sup>3</sup>). Считать, что уксусная кислота образуется с выходом 100%.

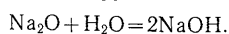
6. Глицерин обработали концентрированной азотной кислотой в присутствии водоотнимающего вещества. 100 г полученного вещества взорвали, а продукт реакции пропустили последовательно через растворы щелочи, концентрированной серной кислоты и над нагретой медной спиралью. Оставшийся газ собрали в мерный цилиндр над водой. Какой это газ? Какова его масса и объем (н. у.)? Приведите необходимые уравнения реакций.

7. Пары пропилового спирта пропустили над оксидом алюминия при 300° С. На полученный продукт действовали бромидом водорода, затем на образовавшееся вещество — металлическим натрием. Напишите уравнения происходящих реакций и рассчитайте, из какого количества пропилового спирта получится 43 г конечного продукта.

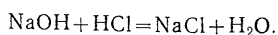
8. Незвестный газообразный углеводород объемом 10 мл смешали с 70 мл кислорода и смесь сожгли. По окончании реакции после конденсации водяных паров объем газовой смеси составил 65 мл. При пропускании газа в раствор гидроксида калия объем его уменьшился до 45 мл. Рассчитайте молекулярную формулу неизвестного углеводорода, считая, что объемы газов измерены при н. у.

#### Решения

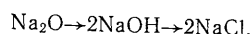
1. Оксид натрия реагирует с водой:



При нейтрализации гидроксида натрия соляной кислотой идет реакция:

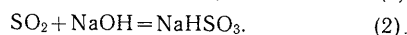
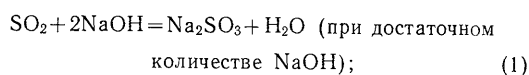
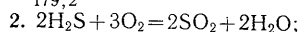


Стехиометрическая схема:



Из  $6,2/62=0,1$  моль оксида натрия образуется 0,2 моль, или  $0,2 \cdot 40=8,0$  г щелочи. Масса раствора равна  $100 \cdot 1 + 6,2=106,2$  г, и, следовательно, массовая доля в нем NaOH равна:  $\omega(\text{NaOH}) = \frac{8,0}{106,2} \cdot 100 = 7,53\%$ .

На нейтрализацию потребуется 0,2 моль, или  $0,2 \cdot 36,5=7,3$  г кислоты, которая содержится в  $(100/10)7,3=73$  г ее раствора. Масса раствора 2 равна  $106,2+73=179,2$  г. В нем растворено 0,2 моль, или  $0,2 \cdot 58,5=11,7$  г поваренной соли с массовой долей  $\frac{11,7}{179,2} \cdot 100 = 6,53\%$ .

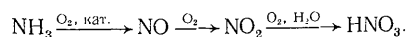


Из 179,2 л  $\text{H}_2\text{S}$  получается 179,2 л  $\text{SO}_2$ , т. е.  $179,2/22,4=8$  моль; раствор NaOH содержит

$$\frac{2000 \cdot 1,28 \cdot 25}{100} = 640 \text{ г NaOH, т. е. } 640/40 = 16 \text{ моль.}$$

Следовательно, протекает реакция (1), и образуется соль  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  в количестве 8 моль; ее масса  $126 \cdot 8 = 1008$  г. Масса раствора равна сумме массы раствора щелочи и массы добавленного сернистого газа:  $2560 + 8 \cdot 64 = 3072$  г. Массовая доля соли равна  $(1008/3072)100 = 32,8\%$ .

3. Напишем общую схему превращения аммиака в азотную кислоту:

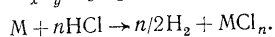
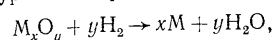


Из схемы видно, что одна молекула  $\text{NH}_3$  дает одну молекулу  $\text{HNO}_3$ . Поэтому нам не надо даже писать уравнений, а можно сразу определить массу 100%-й азотной кислоты:



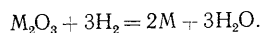
$$x = \frac{1500 \cdot 63}{17} = 5553 \text{ (т)}.$$

50%-й  $\text{HNO}_3$  можно получить вдвое больше: 11106 т.  
 4. Общие уравнения реакций:



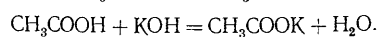
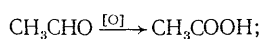
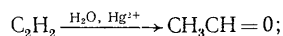
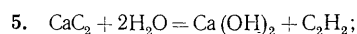
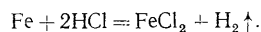
По условию  $y \neq n/2$ , т. е. степени окисления в оксиде и хлориде не одинаковы.

Соотношение объемов водорода равно  $1,344/0,896 = 3/2$ . Отсюда металл в оксиде имеет валентность 3, а при растворении в кислоте отдает 2 электрона (соотношение валентностей  $6/4$  маловероятно). Уравнение реакции:



Было  $1,344/22,4 = 0,06$  моль водорода, восстановившего  $0,02$  моль оксида молярной массы  $3,2/0,02 = 160$  г/моль. Решаем уравнение

$2A_r(\text{M}) + 3 \cdot 16 = 160$ , откуда  $A_r(\text{M}) = 56$ . Искомый металл — железо.



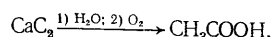
Объем раствора  $240/1,2 = 200$  мл.

1 л — 5,5 моль,

0,2 л —  $x$  моль,

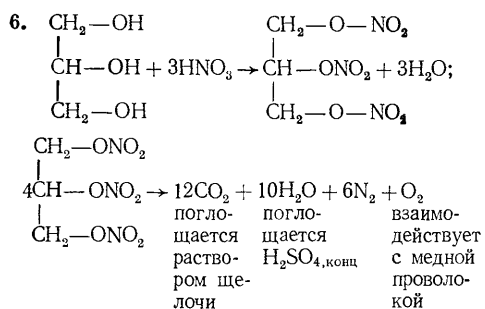
$x = 1,1$  моль КОН.

1,1 моль KOH нейтрализует 1,1 моль уксусной кислоты. Суммарная схема получения кислоты:



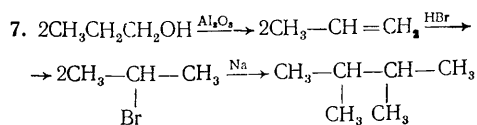
Из 1 моль  $\text{CaC}_2$  получается 1 моль  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ; 1,1 моль кислоты — из 1,1 моль  $\text{CaC}_2$ , что составляет  $64 \cdot 1,1 = 70,4$  г чистого вещества. Масса израсходованного технического карбида кальция равна

$$\begin{aligned} 70,4 \text{ г} &= 96 \%, \\ x \text{ г} &= 100 \%, \\ x &= \frac{70,4 \cdot 100}{96} = 73,33 \text{ (г)}. \end{aligned}$$



В мерный цилиндр собирают азот. Из 4 моль нитроглицерина образуется 6 моль азота;

$$\begin{aligned} 227 \cdot 4 \text{ г} &= 6 \cdot 28 \text{ г, или } 6 \cdot 22,4 \text{ л N}_2, \\ 100 \text{ г} &= x \text{ г, или } y \text{ л N}_2, \\ x &= 18,5 \text{ г N}_2, y = 14,8 \text{ л N}_2. \end{aligned}$$



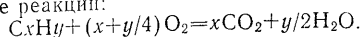
Из 2 моль  $C_3H_7OH$  образуется 1 моль  $C_6H_{14}$ ;

$$2 \cdot 60 \text{ г} \text{ — } 86 \text{ г,}$$

$$x \text{ г} \text{ — } 43 \text{ г.}$$

$$x = 60 \text{ г.}$$

8. Неизвестный углеводород имеет формулу  $C_xH_y$ .  
Уравнение реакции:



$$v(C_xH_y) = 0,010/22,4 \text{ (моль)}.$$

Баланс  $O_2$ : до реакции 70 мл, или  $0,070/22,4$  моль;  
после реакции и поглощения  $CO_2$  — 45 мл, или  
 $0,045/22,4$  моль; следовательно, в реакцию вступило  
 $0,025/22,4$  моль  $O_2$ .

Для образования  $0,020/22,4$  моль  $CO_2$  в реакцию  
с углеродом углеводорода вступило  $0,020/22,4$  моль  
 $O_2$ . Оставшиеся  $0,005/22,4$  моль  $O_2$  прореагировали  
с водородом углеводорода, при этом было получено  
 $0,010/22,4$  моль воды.

$$v(C) = v(CO_2) = 0,020/22,4;$$

$$v(H) = 2v(H_2O) = 0,020/22,4;$$

$$x : y = v(C) : v(H) = 0,020 : 0,020 = 1 : 1.$$

Из всех возможных ответов:  $C_2H_2$ ,  $(C_3H_3)$ ,  $C_4H_4$ ,  
 $(C_5H_5)$  и т. д. — условию задачи удовлетворяет только  
 $C_2H_2$ ; таким образом, неизвестный углеводород —  
ацетилен.

### 3.2. СРАВНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ НЕСКОЛЬКИХ ПРОЦЕССОВ

«Сообщение такого-то химика о такой-то реакции  
не подтвердилось в проверочных экспериментах». Эта  
фраза встречается в научной периодической литерату-  
ре. Не следует сразу подозревать в недобросовест-  
ности такого-то химика. Химик такой-то воспроизво-  
дит свои результаты несчетное количество раз и  
удивляется, почему у других это не выходит. Все  
происходит потому, что химический эксперимент име-  
ет множество нюансов, которые автоматически пов-  
торяет его автор и о которых не догадываются ос-

тальные. Малейшее изменение в условиях — и реакция идет по другому пути, особенно в органической химии.

В предлагаемых в этом параграфе задачах сравниваются качественные и количественные результаты на первый взгляд одинаковых реакций, которые вовсе не одинаковы...

Сравнивать результаты нескольких реакций приходится и тогда, когда к одному продукту приходят разными путями, и расчет по каждому в отдельности дает данные необходимые, но не достаточные; учитывая все вместе, можно решить задачу.

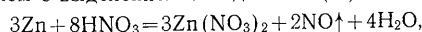
**Пример 1.** В две пробирки положили по одинаковому кусочку цинка, а затем прилили некоторое количество 30%-й азотной кислоты и такое же количество воды. В первую пробирку сначала налили воду, а затем медленно приливали кислоту, во вторую — сначала налили кислоту, а затем медленно приливали воду. Какие вещества образовались? Как доказать различие содержимого пробирок после окончания реакций?

**Решение.** В первой пробирке сначала образуется разбавленная азотная кислота, реагирующая с цинком с образованием нитрата аммония:



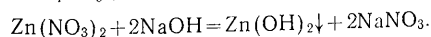
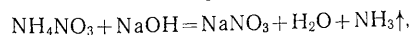
и по мере добавления кислоты ее концентрация растет, что приводит к протеканию других реакций и образованию других продуктов (например, азота и оксида азота (II)).

Во второй пробирке сначала присутствует довольно концентрированная азотная кислота, реагирующая с цинком с выделением оксида азота (II):



и по мере добавления воды ее концентрация падает, но не настолько, чтобы шло образование ионов аммония.

Таким образом, ионы аммония присутствуют только в первой пробирке и могут быть обнаружены по выделению аммиака при действии щелочи:







Различие в объемах полученных газов, таким образом, объясняется различием в условиях проведения реакций.

#### Задачи

1. Выходящий из доменной печи газ имеет следующий состав (объемные доли  $\varphi$  в %):  $\varphi(\text{CO})_2$  — 12,0;  $\varphi(\text{CO})$  — 28,0;  $\varphi(\text{H}_2)$  — 3,0;  $\varphi(\text{CH}_4)$  — 0,6;  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_4)$  — 0,2;  $\varphi(\text{N}_2)$  — 56,2.

Рассчитайте, сколько потребуется воздуха (в  $\text{м}^3$ ) для полного сжигания  $200 \text{ м}^3$  этого газа (объемы измерены при одной температуре). Считать, что содержание кислорода в воздухе около 20% по объему. Определите количественный состав продуктов сжигания доменного газа в 20%-м избытке воздуха.

2. Какой объем 8%-го раствора гидроксида натрия (плотность =  $1,09 \text{ г/см}^3$ ) потребуется для полной нейтрализации 100 мл раствора серной кислоты, если известно, что из 10 мл данного раствора серной кислоты при добавлении избытка хлорида бария можно получить 0,233 г осадка.

3. При нагревании 98 г бертолетовой соли ( $\text{KClO}_3$ ) часть ее разложилась с выделением кислорода, а часть — с образованием хлорида калия и перхлората калия ( $\text{KClO}_4$ ). Определите состав твердого остатка, если выделилось 19,2 г кислорода.

4. Соль одновалентного металла массой 74,4 г нагрели в закрытом сосуде, при этом получилось 26,8 мл бесцветной жидкости с концентрацией вещества 11,2 моль/л. Определите формулу соли, если известно, что она содержит металл, водород, 25,8% серы и 51,61% кислорода.

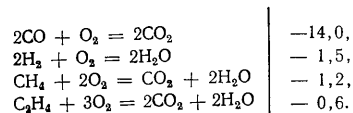
5. При образовании 1 моль воды из простых веществ выделяется 284 кДж теплоты; при образовании 1 моль оксида углерода (IV) — 395 кДж. Сгорая, 1 моль метана выделяет 893 кДж, а 1 моль ацетилена 1310 кДж. Рассчитайте, сколько теплоты выделится при образовании 1 моль ацетилена при термическом разложении метана, учитывая, что тепловой эффект реакции образования простых веществ равен нулю.

6. Ток последовательно проходит через ряд электролизеров с водными растворами: а)  $\text{CuSO}_4$ ; б)  $\text{NiSO}_4$ ; в)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ; г)  $\text{FeCl}_2$ . Какие массы ме-

таллов выделились на катодах, если известно, что у анода последнего электролизера выделилось 1,4 л хлора (н. у.). (Анодные и катодные пространства, а также сами электролизеры разделены диафрагмами.)

### Решения

1. По первому вопросу задачи — приходится объемных частей  $O_2$  на объемные доли газов (из условия):



Всего  $17,3/0,2=86,5$  частей воздуха на 100 частей газа;  $200 \text{ м}^3$  газа соответствуют  $2 \cdot 86,5=173 \text{ м}^3 + 20\%$  ( $34,6 \text{ м}^3$ ) воздуха; всего  $207,6 \text{ м}^3$  воздуха. По второму вопросу задачи —  $207,6 \cdot 0,2=41,52 \text{ м}^3 O_2$  на  $200 \text{ м}^3$  газа; тогда получится  $20,76 \text{ м}^3 O_2$  или  $103,8 \text{ м}^3$  воздуха и соответственно  $83,04 \text{ м}^3$  азота на  $100 \text{ м}^3$  доменного газа.

Баланс по уравнениям реакций:

CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
12,00	3,00	56,20	20,76
+	+	+	—
28,00	1,20	83,04	17,30
+	+	+	—
0,60	0,40	139,24	3,46
+	+	—	—
0,40	4,60	—	—
41,00	—	—	—

Всего:  $41,00+4,60+139,24+3,46=188,30$  объемных частей газа.

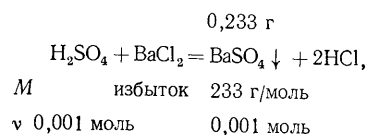
$$\varphi(CO_2) = \frac{41,00}{188,30} 100 = 21,77 \%,$$

$$\varphi(H_2O) = \frac{4,60}{188,30} 100 = 2,44 \%,$$

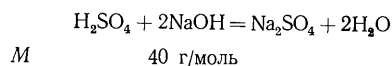
$$\varphi(\text{N}_2) = \frac{139,24}{188,30} 100 = 73,95 \%,$$

$$\varphi(\text{O}_2) = \frac{3,46}{188,30} 100 = 1,84 \%.$$

2. Уравнение реакции образования осадка сульфата бария:



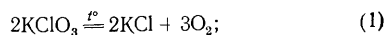
так как 0,233 г  $\text{BaSO}_4$  составляет 0,001 моль вещества. Нейтрализация серной кислоты гидроксидом натрия:



В 10 мл серной кислоты — 0,001 моль  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  
в 100 мл —»— —»— —  $x$  моль  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  
 $x = 0,01$  моль  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Таким образом, на нейтрализацию 0,01 моль  $\text{H}_2\text{SO}_4$  требуется согласно уравнению реакции нейтрализации 0,02 моль  $\text{NaOH}$ , что составляет  $40 \cdot 0,02 = 0,8$  (г). Масса раствора гидроксида натрия ( $\omega = 8\%$ ), пошедшего на нейтрализацию, равна  $0,8 \cdot 100/8 = 10$  (г) раствора, а объем раствора составляет  $10/1,09 = 9,17$  мл  $\text{NaOH}$ .

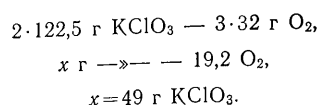
3. Составляем уравнения реакций, происходящих при нагревании бертолетовой соли:



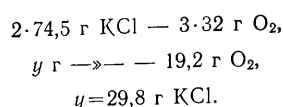
$M(\text{KClO}_3) = 122,5$  г/моль;  $M(\text{KCl}) = 74,5$  г/моль;

$M(\text{O}_2) = 32$  г/моль;  $M(\text{KClO}_4) = 138,5$  г/моль.

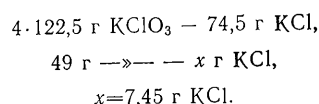
Находим массу  $\text{KClO}_3$ , разложившегося по уравнению (1):



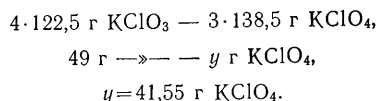
При этом образовалось  $\text{KCl}$ :



По уравнению (2) разложилось  $98 - 49 = 49 \text{ г}$   $\text{KClO}_3$ . Находим массу образовавшегося  $\text{KCl}$ :



Масса образовавшегося  $\text{KClO}_4$ :

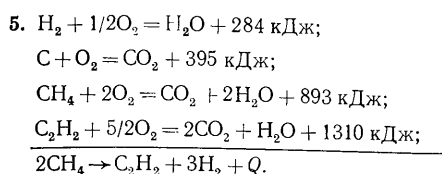


Состав твердого остатка:  $29,8 + 7,45 = 37,25 \text{ г}$   $\text{KCl}$ ,  $41,55 \text{ г}$   $\text{KClO}_4$ .

4. В растворе содержалось  $0,0268 \cdot 11,2 = 0,3$  моль соли с относительной молекулярной массой  $74,4/0,3 = 248$ . Один моль соли содержит  $\frac{248 \cdot 25,8}{32 \cdot 100} = 2$  моль ато-

мов S и  $\frac{248 \cdot 51,61}{16 \cdot 100} = 8$  моль атомов  $\text{O}_2$ . На металл и во-

дород от величины 248 приходится 56. Из одновалентных металлов, соли которых устойчивы в водных растворах, подходят Li, Na, K (другие отпадают, так как тогда получающиеся брутто-формулы не соответствуют реальным соединениям). Если металл Na, тогда соль —  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — тиосульфат натрия.



Для определения неизвестной теплоты реакции надо провести алгебраическое сложение термохимических уравнений образования входящих в нее сложных веществ:

$$\begin{aligned}
Q &= 2Q(\text{CH}_4) - Q(\text{C}_2\text{H}_2) - 3Q(\text{H}_2) = 2 \cdot 893 - 1310 - \\
&\quad - 3 \cdot 284 = -376 \text{ кДж}.
\end{aligned}$$

Реакция идет с поглощением тепла.

6.  $\text{FeCl}_2 \xrightarrow{\text{эл. ток}} \text{Fe} + \text{Cl}_2 \uparrow$  (анод — побочное образование  $\text{Fe}^{3+}$ ). 1,4 л хлора составляют 0,0625 моль вещества. Таким образом, на катоде выделилось 0,0625 г/моль железа, или 3,5 г.

Количество электричества, прошедшее через все электролизеры, одинаково. Согласно закону Фарадея в этом случае выделилось одинаковое количество эквивалентов всех металлов (1 г-эквивалент соответствует молярной массе на единицу степени окисления), причем в последнем электролизере (с водным раствором  $\text{FeCl}_2$ )  $\mathcal{E}(\text{Fe}) = 56/2 = 28$ , т. е. 3,5 г составляют 0,125 г-эquiv. Тогда

$$\begin{array}{ll}
\text{Fe}_4(\text{SO}_4)_3: \mathcal{E}(\text{Fe}) = 56/3 = 18,67, & m(\text{Fe}) = 0,125 \cdot 18,67 = 2,33(\text{г}). \\
\text{NiSO}_4: \mathcal{E}(\text{Ni}) = 58,7/2 = 29,35, & m(\text{Ni}) = 0,125 \cdot 29,35 = 3,67(\text{г}). \\
\text{CuSO}_4: \mathcal{E}(\text{Cu}) = 64/2 = 32, & m(\text{Cu}) = 0,125 \cdot 32 = 4(\text{г}).
\end{array}$$

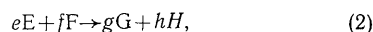
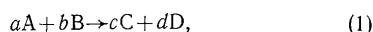
### 3.3. РАСЧЕТЫ ПО УРАВНЕНИЯМ ОДНОВРЕМЕННО ПРОТЕКАЮЩИХ РЕАКЦИЙ

В практических работах достаточно редко расчеты приходится вести только по одной конкретной химической реакции и по одному исходному веществу, масса которого известна. Значительно чаще в производственных процессах (и реальной лабораторной практике) в реакции участвует смесь исходных веществ, каждое из которых вступает в свою химичес-

кую реакцию. Возникает задача — на основе суммарной массы образующихся продуктов определить массу какого-либо компонента смеси. Поэтому следующий параграф посвящен расчетам на основе химических процессов, включающих в себя несколько параллельных (одновременно протекающих) химических реакций.

Подавляющее большинство задач, которые обычно принято называть «задачи на смеси», включают две параллельные реакции двух исходных веществ (точнее, смеси из двух веществ), идущих с образованием двух продуктов реакции.

Представим эти две химические реакции в виде следующих общих схем:



где A, B, C, D, E, F, G и H — формулы химических веществ;  $a, b, c, d, e, f, g, h$  — соответствующие стехиометрические коэффициенты в уравнениях (1) и (2).

В условии задачи задаются масса исходной смеси веществ A и E (обозначим ее  $m_1$ ) и масса продуктов реакции — веществ C и G (обозначим ее  $m_2$ ). Требуется определить массу одного из компонентов исходной смеси (например, вещества A).

При решении задачи массу можно выражать либо в граммах, либо в молях.

Разберем общее решение задачи, когда масса выражена в граммах. Запишем относительные молекулярные массы всех необходимых для решения задачи веществ:  $M(A)$ ,  $M(E)$ ,  $M(C)$  и  $M(G)$ . Далее выразим одну из масс смесей, например  $m_2$ , через  $m_1$  и массу искомого компонента  $m(A)$ , т. е. составим уравнение  $m_2 = f(m_1, m(A))$ .

Получим значение  $m(C)$  через  $m(A)$  согласно уравнению (1) из пропорции

$$\begin{aligned} m(A) &\rightarrow m(C), \\ aM(A) &\rightarrow cM(C), \\ m(C) &= \frac{cM(C)m(A)}{aM(A)}, \end{aligned}$$

аналогично из уравнения (2) получим выражение для  $m(G) = \frac{gM(G)m(E)}{eM(E)}$ , причем по условиям задачи  $m(E) = m_1 - m(A)$ .

Таким образом,  $m_2$  можно выразить через  $m_1$  и  $m(A)$ :

$$m(C) + m(G) = m_2, \text{ или} \\ \frac{cM(C)m(A)}{aM(A)} + \frac{gM(G)m(E)}{eM(E)} = m_2. \quad (3)$$

Получим уравнение (3) с одним неизвестным —  $m(A)$ . Это уравнение решить в принципе уже не трудно, однако все необходимые арифметические выкладки весьма громоздки.

Значительно проще вычисления, когда масса выражается в молях; рассмотрим решение такой задачи также в общем виде. Суть решения сводится к тому, что, обозначив количества веществ А и Е через « $x$ » и « $y$ » моль соответственно, необходимо составить два уравнения с двумя неизвестными, выразив  $m_1 = f(x, y)$  из условия, а  $m_2 = f(x, y)$  по уравнениям реакций.

В первом уравнении отражается условие задачи: масса А есть  $xM(A)$ , масса Е —  $yM(E)$ , их сумма —  $m_1$ , т. е.

$$xM(A) + yM(E) = m_1. \quad (4)$$

Во втором уравнении необходимо выразить количества С и соответственно через « $x$ » и « $y$ » по уравнению (1):

из  $a$  моль А образуется  $c$  моль С,  
из  $x$  моль —»—  $cx/a$  моль С.

По уравнению (2):

из  $e$  моль Е образуется  $g$  моль G,  
из  $y$  моль Е —»—  $gy/e$  моль G.

Таким образом, из выведенных соотношений имеем, что вещества С получено  $cx/a$  моль, или  $cxM(C)/a$  г, а вещества G получено  $gy/e$  моль, или  $gyM(G)/e$  г. В сумме получим массу  $m_2$ :

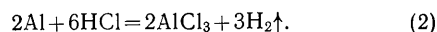
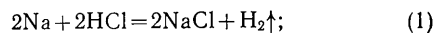
$$\frac{cxM(C)}{a} + \frac{gyM(G)}{e} = m_2. \quad (5)$$

Выведенные уравнения (4) и (5) представляют собой систему, которая обычно решается значительно быстрее, чем ранее выведенное уравнение (3). Следует отметить, что в любом случае решение задачи в молях предпочтительнее решения задачи в граммах. Кроме того, на практике чаще всего встречаются задачи, когда вещества С и G (см. уравнения (1) и (2)) представляют собой одно и то же вещество (например, газ либо осадок).

Рассмотрим теперь примеры конкретных химических задач и их решения в граммах и молях.

**Пример 1.** Амальгаму натрия и алюминия массой 5,48 г обработали избытком соляной кислоты. При этом выделилось 1,12 л водорода (н. у.). Нерастворенное вещество отделили от раствора и взвесили. Его масса составила 4,02 г. Определить массовый состав амальгамы (в процентах).

**а. Решение (в граммах).**



Остаток — ртуть (4,02 г).  
 Масса натрия и алюминия составляет  $5,48 - 4,02 = 1,46$  г. Пусть амальгама содержит  $x$  г натрия,  $(1,46 - x)$  г алюминия. Тогда в реакции (1) выделяется:  $\frac{22,4}{2 \cdot 23} x$  л  $\text{H}_2$ , а в реакции (2)

$$\frac{3 \cdot 22,4}{2 \cdot 27} (1,46 - x) \text{ л } \text{H}_2.$$

Всего 1,12 л  $\text{H}_2$ . Запишем общее уравнение

$$\frac{22,4}{46} x + \frac{3 \cdot 22,4}{54} (1,46 - x) = 1,12,$$

или

$$\frac{x}{46} + \frac{3}{54} (1,46 - x) = 0,05,$$

отсюда  $x = 0,92$  г Na,  $1,46 - x = 0,54$  г Al.

Состав амальгамы:  $\frac{0,92 \cdot 100}{5,48} = 16,8\%$  Na;  $\frac{0,54 \cdot 100}{5,48} = 9,85\%$  Al; остальное — Hg.



**б. Решение (в молях).** Пусть было  $x$  моль Na,  $y$  моль Al, или  $23x$  г Na,  $27y$  г Al. Учитывая, что масса натрия и алюминия равна 1,46 г (5,48 г амальгамы — 4,02 г Hg), запишем общее уравнение:

$$23x + 27y = 1,46 \text{ (г)}.$$

По уравнению (1) 2 моль натрия дают 1 моль водорода,  $x$  моль дают  $x/2$  моль  $H_2$ , или  $11,2x$  л  $H_2$ . По уравнению (2) 2 моль Al дают 3 моль  $H_2$ ,  $y$  моль Al — 1,5 моль  $H_2$ , или  $33,6y$  л  $H_2$ .

Суммарно водорода выделилось 1,12 л, таким образом,

$$11,2x + 33,6y = 1,12 \text{ (л)}.$$

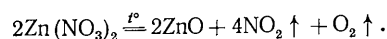
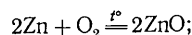
Теперь имеем систему двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} 23x + 27y = 1,46, \\ 11,2x + 33,6y = 1,12, \end{cases} \text{ или } \begin{cases} 23x + 27y = 1,46, \\ x + 3y = 0,1, \end{cases}$$

отсюда  $x = 0,04$ , или 0,92 г Na;  $y = 0,02$ , или 0,54 г Al; далее как в решении (а) находим массовый состав амальгамы.

**Пример 2.** Смесь цинка и безводного нитрата цинка прокалили на воздухе, ее масса при этом не изменилась. Определите массовые доли компонентов смеси.

**Решение.** При прокаливании происходят реакции:



$$M_r(Zn) = 65; M_r(ZnO) = 81; M_r(Zn(NO_3)_2) = 189.$$

Пусть масса цинка в смеси —  $m_1$ , а масса нитрата цинка —  $m_2$ . При окислении Zn образуется  $(81/65)m_1$  г ZnO. При разложении нитрата получается  $(81/189)m_2$  г ZnO. По условию задачи масса смеси после прокаливании не изменяется, следовательно:

$$1,24m_1 + 0,43m_2 = m_1 + m_2, \text{ откуда } m_1 = 2,37m_2.$$

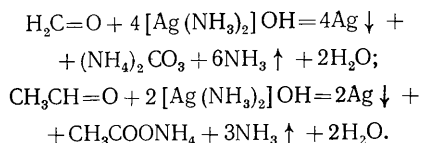
Таким образом, массовая доля нитрата цинка в смеси равна:  $\frac{m_2}{m_2 + 2,37m_2} = 0,296$ , или 29,6 %. Массовая доля цинка 70,4 %.

**Пример 3.** Водный раствор 3,88 г смеси муравьиного и уксусного альдегидов обработали избытком аммиачного раствора оксида серебра. Выпавший при этом осадок отфильтровали, промыли водой и полностью растворили в концентрированной азотной кислоте. При этом получилось 9,856 л газа (н. у.). Определить процентный состав исходной смеси.

**Решение.**



Газа выделилось  $9,856/22,4 = 0,44$  моль. Значит, серебра выделилось также 0,44 моль. Пусть было  $x$  г  $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$  и  $(3,88-x)$  г  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}$ , или  $x/30$  моль  $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$  и  $(3,88-x)/44$  моль  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}$ . Реакции окисления этих альдегидов отличаются друг от друга; промежуточно образующаяся муравьиная кислота окисляется дальше — до  $\text{CO}_2$ , который с  $\text{NH}_3$  образует соль:



Рассчитаем количество серебра по каждой из реакций и просуммируем:

$$\frac{x}{30} \cdot 2 + \frac{3,88-x}{44} = \frac{0,44}{2},$$

$$x = 3,00 \text{ г } \text{H}_2\text{C}=\text{O},$$

тогда  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{O}$  — 0,88 г. Так образом, количество муравьиного и уксусного альдегида в смеси — 0,1 и 0,02 моль соответственно, что составляет 77,3 и 22,7% по массе, или 83,3 и 16,7 мольных %.

**Задачи**

1. При сжигании образца каменного угля массой 1 г получилось 0,25 г золы, 0,18 г воды и 2,62 г смеси углекислого и сернистого газов. Сколько процен-

тов серы содержал образец? Сколько сернистого газа в год выделяется при работе тепловой электростанции, потребляющей 1 млн т такого угля в год?

2. При взаимодействии 6,05 г смеси порошков железа и цинка с избытком раствора хлорида меди (II) образуется 6,4 г металлической меди. Определите состав смеси.

3. Смесь ацетилена и водорода массой 27 г сожгли в кислороде. После охлаждения продуктов сгорания до комнатной температуры сконденсировалось 27 мл воды. Определите состав газовой смеси.

4. Смесь равных по массе количеств цинка и карбоната кальция обработали избытком раствора соляной кислоты. Рассчитайте среднюю плотность  $\rho$  образующейся смеси газов (г/л).

5. Для полного восстановления 200 мл смеси оксида азота (I) и оксида азота (IV) до азота было использовано 300 мл водорода. После окончания реакции, конденсации паров воды и приведения смеси к начальным условиям общий объем составил 225 мл. Определите состав взятой смеси.

6. К смеси азота, водорода и метана объемом 130 мл добавили 200 мл кислорода, а затем смесь подожгли. После окончания горения и конденсации паров воды общий объем полученной смеси газов составил 114 мл при тех же условиях, а после пропускания продуктов сгорания через избыток раствора щелочи объем уменьшился до 72 мл. Найдите исходные объемы азота, водорода и метана.

7. Сплав состоит из рубидия и еще одного щелочного металла. При взаимодействии 4,6 г сплава с водой получено 2,241 л водорода (н. у.). Какой металл является вторым компонентом сплава? Каковы массовые доли (%) компонентов сплава?

8. Смесь нитратов натрия и серебра прокалили, а выделившиеся газы пропустили в воду. При этом объем газов уменьшился в 3 раза. Определите массовый состав исходной смеси.

9. Предполагают, что смесь металлических опилок содержит магний, алюминий и олово. При растворении 0,75 г опилок в соляной кислоте выделилось 0,784 л водорода (н. у.). При сжигании такой же навески в токе кислорода образовалось 1,31 г оксидов. Установите процентный состав исходной смеси.

10. Магний массой 19,2 г сожгли на воздухе. Для растворения полученного вещества понадобилось 320,7 г 20,5%-го раствора HCl. Раствор выпарили и остаток прокалили, конденсируя летучие вещества. Определите качественный состав конденсата.

11. Через 22,4 л смеси водорода, кислорода и хлора (н. у.) пропустили электрический разряд. После охлаждения продуктов реакции в сосуде обнаружили газ и жидкость. На нейтрализацию жидкости пошло 1,6 г гидроксида натрия. Оставшийся в сосуде после реакции газ полностью прореагировал с нагретым оксидом меди(II), причем масса последнего уменьшилась на 0,96 г. Определите объемные доли составляющих смесь газов.

12. Смесь газообразных хлора и хлороводорода объемом 22,4 л пропустили над нагретыми железными опилками. Масса опилок увеличилась при этом на 42,6 г. Определите состав исходной смеси.

13. Смесь хлоридов магния, железа(III) и меди(II) растворили в воде. Масса осадка, образовавшегося при добавлении избытка сульфида натрия к этому раствору, в 2,51 раза больше, чем при пропускании избытка сероводорода. Если в растворе заменить хлорид железа(III) на одинаковое по массе количество хлорида железа(II), отношение масс осадков станет равно 3,36. Определите состав смеси хлоридов в массовых долях. Напишите уравнения химических реакций, протекающих в растворах хлоридов при действии на них сульфидом натрия и сероводородом.

14. Смесь кальция и алюминия массой 18,8 г прокалили без доступа воздуха с избытком порошка графита; продукт реакции обработали разбавленной соляной кислотой, при этом выделилось 11,2 л газа. Определите состав смеси.

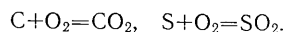
15. Смесь порошков магния и железа массой 6,24 г разделили на две равные части. Одну часть сожгли в кислороде и получили 4,72 г продуктов сгорания. Вторую сожгли на воздухе и к продуктам сгорания (их масса оказалась равной 4,52 г) прилили раствор гидроксида натрия. Какой газ и в каком объеме выделился при этом? Приведите уравнения химических реакций.

16. Смесь метана и ацетилена объемом 20 мл сожгли в избытке кислорода, при этом образовалось 32 мл  $\text{CO}_2$ . Определите состав исходной смеси в объемных долях.

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

#### Решения.

1. Негорючих примесей и водорода в 1 г угля содержится:  $0,25 + 0,02 = 0,27$  г; серы и углерода  $1 - 0,27 = 0,73$  г. Если углерода  $x$  г, то серы  $(0,73 - x)$  г.

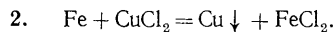


Составим уравнение:

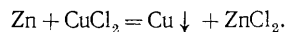
$$\frac{44}{12}x + \frac{64}{32}(0,73 - x) = 2,62;$$

$x = 0,70$  г углерода и 0,03 г (3%) серы.

При сжигании 1 млн т угля сгорает  $1\,000\,000 \cdot 0,03 = 30\,000$  т серы и образуется  $(64/32) \times 30\,000 = 60\,000$  т сернистого газа в год.



$v$   $x$  моль                       $x$  моль



$v$   $y$  моль                       $y$  моль

$$A_r(\text{Fe}) = 56; \quad A_r(\text{Zn}) = 65; \quad A_r(\text{Cu}) = 64.$$

Из уравнений реакций имеем:

$x$  моль Fe образует  $x$  моль Cu,

$y$  моль Zn —»—  $y$  моль Cu.

Поскольку масса смеси порошков железа и цинка, вступивших в реакцию, равна 6,05 г, то можно записать первое уравнение:

$$56x + 65y = 6,05.$$

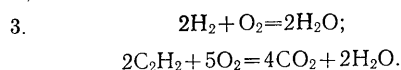
В результате двух реакций образуется  $(x+y)$  моль меди, или  $64(x+y)$  г. На основании этого запишем второе уравнение:

$$64(x+y)=6,4.$$

Имеем систему уравнений:

$$\begin{cases} 56x + 65y = 6,05, \\ 64(x + y) = 6,4, \end{cases}$$

решая которую получаем  $x=0,05$  моль и  $y=0,05$  моль, или 2,8 г Fe и 3,25 г Zn.



Пусть в смеси было  $x$  моль водорода и  $y$  моль ацетилена. Тогда масса исходной смеси:

$$2x + 26y = 27 \text{ (первое уравнение системы).}$$

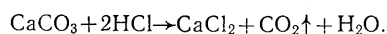
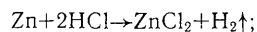
По уравнениям реакций: из  $x$  моль  $\text{H}_2$  получается  $x$  моль  $\text{H}_2\text{O}$ , из  $y$  моль  $\text{C}_2\text{H}_2$  —  $y$  моль  $\text{H}_2\text{O}$ . Суммируя, получаем второе уравнение системы:

$$18(x+y)=27.$$

$$\begin{cases} 2x + 26y = 27, \\ 18x + 18y = 27, \end{cases} \text{ или } \begin{cases} 2x + 26y = 27, \\ 2x + 2y = 3, \end{cases}$$

$$x=0,5 \text{ моль } \text{H}_2, \quad y=1,0 \text{ моль } \text{C}_2\text{H}_2.$$

4. Пусть цинка было  $x$  моль, карбоната кальция —  $y$  моль, массы соответственно равны  $65x$  и  $100y$ . По условию  $65x=100y$ ,  $y=0,65x$ . Получается водорода  $x$  моль, или  $2x$  г;  $\text{CO}_2$  —  $y$  моль, или  $44y$  г.

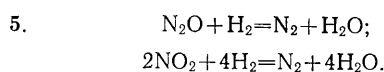


Масса полученной смеси газов:  $(2x+44y)$  г; объем:  $22,4(x+y)$  л; Средняя плотность:

$$\rho = \frac{2x + 44y}{22,4(x + y)} \text{ г/л.}$$

Подставляя  $y = 0,65x$ , получим

$$\rho = \frac{2x + 44 \cdot 0,65x}{22,4(x + 0,65x)} = \frac{2 + 44 \cdot 0,65}{22,4 \cdot 1,65} = 0,83 \text{ (г/л)}.$$

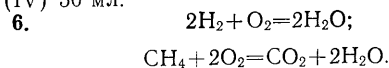


Как видно из уравнений реакций, объем образовавшегося азота не может быть больше начального объема смеси оксидов азота, если количество водорода соответствует этим уравнениям. Но по условиям задачи конечный объем (225 мл) больше начального (200 мл), что указывает на избыток водорода и полное протекание реакции.

Пусть в исходной смеси было  $x$  мл оксида азота (I) и  $y$  мл оксида азота (IV). Начальный объем смеси  $x + y = 200$  мл. Для выражения конечного объема смеси запишем следующие уравнения. Конечная смесь состоит из избыточного водорода и азота. Объем азота равен  $x + 0,5y$ , что следует из уравнений реакций. Объем прореагировавшего водорода равен  $x + 2y$ , а его избыток  $300 - x - 2y$ , отсюда конечный объем смеси равен

$$225 = x + 0,5y + 300 - x - 2y;$$
$$y = 50 \text{ мл}, x = 200 - y = 150 \text{ мл}.$$

Объем оксида азота (I) 150 мл, объем оксида азота (IV) 50 мл.



Согласно уравнениям реакций в результате горения первоначальный объем смеси водорода и метана уменьшается. По условию задачи начальный объем смеси равен 130 мл, а общий объем после сгорания — 144 мл. Так как азот не вступает в реакцию и его объем не меняется, прирост объема достигается за счет избыточного кислорода. Следовательно, кислород был в избытке и реакции горения прошли до конца.

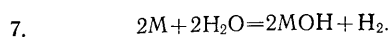
$$V(\text{CO}_2) = V(\text{CH}_4) = 144 - 72 = 72 \text{ мл}.$$

Объем смеси после горения:

$$144 = 130 + 200 - V(\text{H}_2) - 1/2V(\text{H}_2) - 2 \cdot 72.$$

объем до горения	объем O <sub>2</sub> , соединив- шегося с H <sub>2</sub>	объем O <sub>2</sub> , соединив- шегося с CH <sub>4</sub>
---------------------	---	--

Отсюда  $V(\text{H}_2) = 28$  мл,  $V(\text{N}_2) = 130 - 72 - 28 = 30$  мл.



$M$  — щелочной металл;  $\nu(\text{H}_2) = 0,1$  моль;  $\nu(M) = 0,2$  моль; средняя молярная масса:  $\bar{M} = m/\nu = 4,6/0,2 = 23$  г/моль (соответствует атомной массе натрия). Вторым компонентом сплава может быть только щелочной металл с относительной массой меньше 23, это — литий; сплав состоит из рубидия и лития.

$$\nu(\text{Rb}) + \nu(\text{Li}) = 0,2 \text{ (моль);}$$

$$m(\text{Rb}) + m(\text{Li}) = 4,6 \text{ (г);}$$

$$\nu(\text{Rb})M(\text{Rb}) + \nu(\text{Li})M(\text{Li}) = 4,6;$$

$$\nu(\text{Rb})M(\text{Rb}) + (0,2 - \nu(\text{Rb}))M(\text{Li}) = 4,6;$$

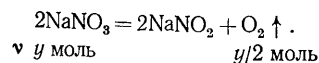
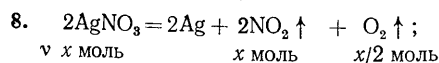
$$\nu(\text{Rb})85,5 + (0,2 - \nu(\text{Rb}))7 = 4,6;$$

$$\nu(\text{Rb}) = 0,0408 \text{ (моль); } \nu(\text{Li}) = 0,1592 \text{ (моль).}$$

Таким образом, состав смеси:

$$\omega(\text{Rb}) = \frac{0,0408 \cdot 85,5}{4,6} 100 \approx 76 \%,$$

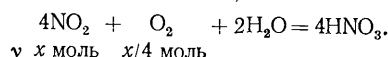
$$\omega(\text{Li}) = \frac{0,1592 \cdot 7}{4,6} 100 \approx 24 \%.$$



При пропускании  $\text{NO}_2$  и  $\text{O}_2$  в воду оксид азота(IV)

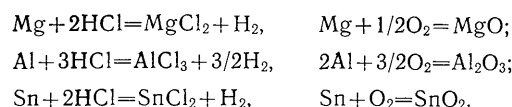


поглощается полностью (так как кислород, согласно уравнениям реакции в избытке):



Первоначально было  $(x+x/2+y/2)$  моль газа, а затем  $(x+x/4)$  моль поглотилось. Отсюда  $x+x/4=2/3(x+x/2+y/2)$ , или  $y=3/4x$ . Итак, в смеси было  $170x$  г  $\text{AgNO}_3$  и  $85 \cdot 3/4x=63,75x$  г  $\text{NaNO}_3$ , что составляет 72,72%  $\text{AgNO}_3$  и 27,28%  $\text{NaNO}_3$ .

9. Пусть в смеси  $x$  г магния,  $y$  г алюминия и  $z$  г олова (или, соответственно  $x/24$ ,  $y/27$  и  $z/118,7$  моль каждого металла).



Из уравнений реакций следует:

1 моль магния вытесняет 22,4 л водорода,  
 $x/24$  моль  $\rightarrow$   $x/24 \cdot 22,4/1$  л  $\rightarrow$ .

Аналогично для алюминия и олова, а также для реакций окисления:

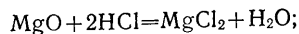
1 моль магния образует 40 г оксида,  
 $x/24$  моль  $\rightarrow$   $x/24 \cdot 40/1$  г  $\rightarrow$ .

Запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y + z = 0,75, \\ x/24 \cdot 22,4 + y/27 \cdot 1,5 \cdot 22,4 + z/118,7 \cdot 22,4 = 0,784, \\ x/24 \cdot 40 + y/27 \cdot 51 + z/118,7 \cdot 150,7 = 1,31. \end{cases}$$

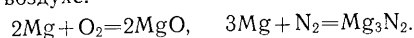
Решая эту систему, получаем  $x=0,48$  г магния,  $y=0,27$  г алюминия, олово в смеси отсутствует ( $z=0$ ).

10. Оксид магния растворяется в кислоте:

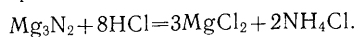


при этом использовали  $320,7 \cdot 0,205 = 65,74$  г  $\text{HCl}$ , или 1,80 моль. Для растворения  $19,2/24 = 0,8$  моль

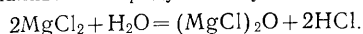
магния требуется 1,60 моль соляной кислоты. Поскольку кислоты оказалось на 0,20 моль больше, то в продуктах горения должно быть еще какое-либо соединение, содержащее магний. Таким соединением, по-видимому, может быть нитрид магния  $Mg_3N_2$ , образующийся наряду с оксидом при горении магния на воздухе:



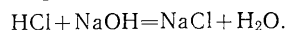
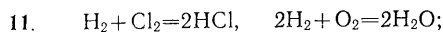
При растворении нитрида в кислоте он разлагается:



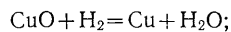
При прокаливании продуктов будет идти реакция:



В конденсате присутствуют  $NH_4Cl$ ,  $HCl$  и  $H_2O$ .



На нейтрализацию  $HCl$  пошло 1,6 г  $NaOH$ , что составляет 0,04 моль. Следовательно,  $\nu(HCl) = 0,04$  моль. На образование  $HCl$  пошло по 0,02 моль  $H_2$  и  $Cl_2$ . С оксидом меди прореагировал избыток  $H_2$ :



$$1 \text{ моль } H_2 - 16 \text{ г } O,$$

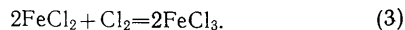
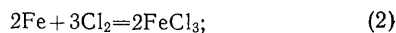
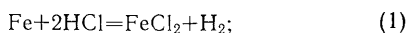
$$x \text{ моль} - 0,96 \text{ г},$$

$$x = 0,06 \text{ моль водорода.}$$

На образование воды пошло  $1 - (0,06 + 0,02 + 0,02) = 0,9$  моль газов, из них: 0,6 моль  $H_2$  и 0,3 моль  $O_2$ . Таким образом, состав смеси (л):

$$Cl_2 - 0,448 \text{ (2\%)}; \quad O_2 - 6,72 \text{ (30\%)};$$

$$H_2 - 15,232 \text{ (68\%)}. \quad 12. \text{ Возможные реакции:}$$



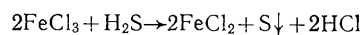
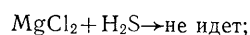
(если хлор в большом избытке)

Обозначим за  $x$  моль — количество хлора, а за  $(1-x)$  моль — количество  $\text{HCl}$  в смеси. Тогда  $71x$  г — масса хлора, а  $36,5(1-x)$  г — масса хлороводорода. Так как масса железных опилок при прокаливании в смеси хлора и хлороводорода увеличилась на 42,6 г, то можно записать следующее соотношение:

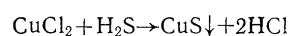
$$71x + 36,5(1-x) - (1-x) = 42,6.$$

Отсюда  $x=0,2$  моль хлора (4,48 л), а хлороводорода было  $1-x=0,8$  моль (17,92 л). Поскольку в избытке в смеси хлороводород (а не хлор), то реакция (3) не идет.

13. При пропускании сероводорода в раствор смеси хлоридов магния ( $a$  моль), железа(III) ( $b$  моль) и меди(II) ( $1-a-b$  моль):



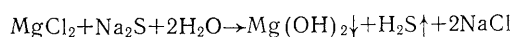
$$(\text{масса осадка } 32b/2 = 16b);$$



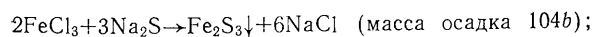
$$(\text{масса осадка } 96 - 96a - 96b).$$

Общая масса осадка:  $(96 - 96a - 80b)$  г.

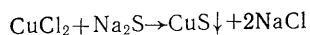
При добавлении сульфида натрия:



$$(\text{масса осадка } 58a);$$



$$(\text{возможно, FeS} + \text{S})$$

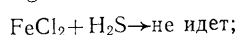
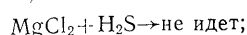


$$(\text{масса осадка } 96 - 96a - 96b).$$

Общая масса осадка:  $(96 + 8b - 38a)$  г.

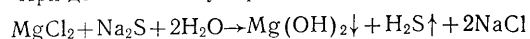
$$\frac{96 + 8b - 38a}{96 - 96a - 80b} = 2,51. \quad (1)$$

При добавлении сероводорода к смеси хлоридов магния ( $a$  моль), железа (II) ( $162,5/127$ ) $b=1,28b$  и меди (II) ( $1-a-b$ ) моль:

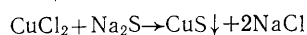
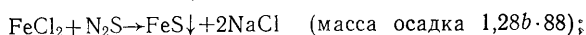


Общая масса ( $96 - 96a - 96b$ ) г.

При добавлении сульфида натрия:



(масса осадка  $58a$ );



(масса осадка  $96 - 96a - 96b$ ).

Общая масса осадка: ( $96 - 38a + 16,6b$ ) г.

$$\frac{96 - 38a + 16,6b}{96 - 96a - 96b} = 3,36. \quad (2)$$

Решаем систему уравнений (1) и (2):

$$a = 0,2 \text{ моль } \text{MgCl}_2; \quad b = 0,5 \text{ моль } \text{FeCl}_3;$$

$$c = 0,3 \text{ моль } \text{CuCl}_2.$$

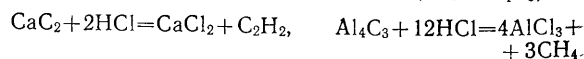
Находим состав смеси:

$$\begin{aligned} \omega(\text{MgCl}_2) &= \frac{0,2 \cdot 95}{0,2 \cdot 95 + 0,5 \cdot 162,5 + 0,3 \cdot 135} \cdot 100 = \\ &= \frac{19 \cdot 100}{140,75} = 13,50 \%; \end{aligned}$$

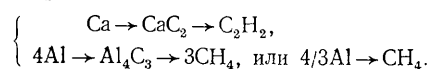
$$\omega(\text{FeCl}_3) = \frac{0,5 \cdot 162,5}{140,75} \cdot 100 = \frac{81,25 \cdot 100}{140,75} = 57,72 \%;$$

$$\omega(\text{CuCl}_2) = 100 - 13,50 - 57,72 = 28,78 \%.$$

14. Происходящие реакции:



Стехиометрические схемы:

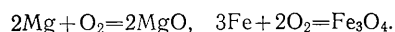


Выделилось  $x$  моль  $\text{CH}_4$  и  $(0,5-x)$  моль  $\text{C}_2\text{H}_2$ , которые образовались из  $1/3x$  моль  $\text{Al}_4\text{C}_3$  и  $(0,5-x)$  моль  $\text{CaC}_2$ ; эти количества карбида получены из  $4/3$  моль  $\text{Al}$  и  $(0,5-x)$  моль  $\text{Ca}$ . Отсюда:

$$\begin{aligned} 4/3 \cdot 27 + (0,5-x)40 &= 18,8, \\ 36x + 20 - 40x &= 18,8, \\ x &= 0,3 \text{ моль } \text{CH}_4, \end{aligned}$$

т. е. исходная смесь содержала 0,4 моль  $\text{Al}$  (10,8 г) и 0,2 моль  $\text{Ca}$  (8 г).

15. В кислороде оба металла сгорают однозначно:



Пусть магния было  $x$  моль, железа  $y$  моль, тогда масса смеси

$$24x + 56y = 6,24 : 2 = 3,12;$$

масса продуктов сгорания

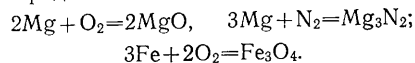
$$40x + 232/3y = 4,72.$$

Решая систему уравнений, находим

$$x = 0,06 \text{ моль магния};$$

$$y = 0,03 \text{ моль железа}.$$

В воздухе магний частично реагирует с азотом, образуя нитрид магния:

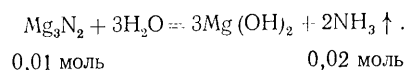


Пусть с азотом прореагировало  $z$  моль магния, а с кислородом  $(0,06-z)$  моль магния; тогда массу продуктов сгорания можно выразить следующим образом:

$$4,52 = \underbrace{(0,06-z)}_{\text{MgO}} \cdot 40 + \underbrace{z/3 \cdot 100}_{\text{Mg}_3\text{N}_2} + \underbrace{\frac{232}{3} \cdot 0,03}_{\text{Fe}_3\text{O}_4};$$

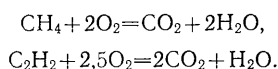
отсюда  $z = 0,03$  моль.

Из 0,03 моль магния образуется 0,01 моль нитрида магния, а из него под действием щелочного раствора выделяется 0,02 моль аммиака:

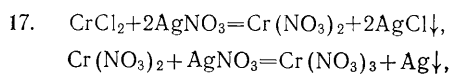


Объем аммиака  $V = 0,02 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 0,448 \text{ л}$  (н. у.).

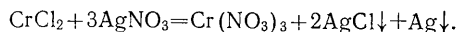
16. При сгорании происходят процессы:



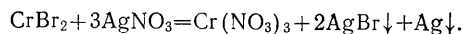
Соотношение объемов  $\text{CH}_4 : \text{CO}_2 = 1 : 1$ , а в случае ацетилена —  $\text{C}_2\text{H}_2 : \text{CO}_2 = 1 : 2$ , т. е. на каждый 1 моль ацетилена приходится 1 моль избытка углекислого газа. Объем его превышает объем исходной смеси на  $32 - 20 = 12$  мл, значит, и ацетилена было 12 мл, а метана — 8 мл, что составляет 60 и 40% соответственно.



или в сумме



Аналогично



Считая реакции протекающими количественно, предположим, что в смеси было  $x$  г  $\text{CrCl}_2$  и  $(13,95 - x)$  г  $\text{CrBr}_2$ .

123 г  $\text{CrCl}_2$  при реакции образуют 395 г осадка  $\text{AgCl}$  и  $\text{Ag}$ ,

$x$  г —»— —»—  $(395/123)x$  г —»— —»—;

212 г  $\text{CrBr}_2$  при реакции образуют 484 г осадка  $\text{AgBr}$  и  $\text{Ag}$ ,

$(13,95 - x)$  г —»—  $(484/212)x$  г —»— —»—.

90

Составим уравнение:

$$\frac{395}{123}x + \frac{484}{212}(13,95 - x) = 32,99,$$

откуда  $x=1,23$ .

Итак, в смеси было 1,23 г  $\text{CrCl}_2$  (0,01 моль) и 12,72 г  $\text{CrBr}_2$  (0,06 моль).

#### § 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМУЛЫ НЕИЗВЕСТНОГО ВЕЩЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Чуть ли не половина всех химиков занимается разнообразными методами количественного анализа — экстракцией, хроматографией, всевозможными видами спектроскопии, элементным анализом, и безусловно вторая половина пользуется этими методами как вспомогательными для определения химического состава соединения. Постараемся теоретически познакомить интересующихся с тем, как из минимума количественных данных можно получить максимум информации о веществе.

Дополнительно к методам решений из § 1–3 научимся решать задачи на определение формулы неизвестного вещества.

«При сжигании  $m$  г органического вещества получено  $m_1$  г диоксида углерода и  $m_2$  г воды. Определить простейшую формулу вещества».

Это — простейший пример такой задачи. Вот как ее решать. Что такое простейшая (эмпирическая) формула? Это атомные и соответственно мольные соотношения составляющих элементов, т. е. соотношение дробей, в числителе которых — масса элемента, а в знаменателе — относительная атомная масса.

В исходное органическое вещество могут входить все составляющие продуктов сгорания: водород, углерод, кислород.

В 44 г  $\text{CO}_2$  содержится 12 г углерода,

в  $m_1$  г  $\text{CO}_2$  —»—  $x$  г —»— ,

$$x = \frac{12m_1}{44} = \frac{3m_1}{11} \text{ г.}$$

В 18 г H<sub>2</sub>O содержится 2 г водорода,

в m<sub>2</sub> г H<sub>2</sub>O —»— y г —»— ,

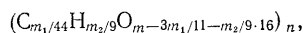
$$y = \frac{2m_2}{18} = \frac{m_2}{9} \text{ г.}$$

Масса кислорода равна (m-x-y) г, так как другие элементы в продуктах сгорания отсутствуют.

Рассчитываем простейшую формулу:

$$\begin{aligned} \text{C : H : O} &= \frac{3m_1}{11 \cdot 12} : \frac{m_2}{9 \cdot 1} : \frac{m - 3m_1/11 - m_2/9}{16} = \\ &= \frac{m_1}{44} : \frac{m_2}{9} : \frac{m - 3m_1/11 - m_2/9}{16}. \end{aligned}$$

Формула вещества

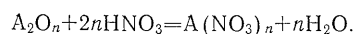


здесь  $n = \frac{\text{относительная молекулярная масса вещества}}{\text{относительная молекулярная масса, рассчитанная по простейшей формуле}}$ .

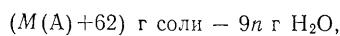
В этом параграфе Вы встретите в качестве составных частей рассматриваемого типа задач и те, основные элементы которых мы уже разобрали в предыдущих параграфах.

**Пример 1.** При взаимодействии оксида некоторого металла с азотной кислотой образовалось 34,0 г соли и 3,6 г воды. Какая масса оксида металла, использованного для реакции?

**Решение.** Пусть формула соли A(NO<sub>3</sub>)<sub>n</sub>, а оксида — A<sub>2</sub>O<sub>n</sub>. Оксид растворяется в азотной кислоте:



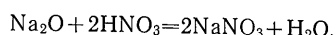
При образовании 1 моль ([M(A)+62n] г) нитрата одновременно образуется n/2 моль воды (9n г):



Отсюда  $\frac{M(A)+62n}{34} = \frac{9}{3,6}$ , или  $M(A) = 85 - 62n$ . Оче-



видно, что  $M(A) > 0$  только при  $n=1$ . Значит,  $M(A)=23$ ; это натрий. Оксид натрия растворяется в азотной кислоте:



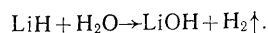
При растворении 62 г  $\text{Na}_2\text{O}$  выделяется 18 г воды,



$$x = 12,4 \text{ г } \text{Na}_2\text{O}.$$

**Пример 2.** При электролизе расплава 8 г некоторого вещества на аноде выделилось 11,2 л водорода (н. у.). Что это было за вещество? Можно ли провести электролиз его водного раствора?

**Решение.** Выделившийся на аноде водород содержится в веществе в виде  $\text{H}^-$ . Значит, анализу подвергли гидрид:  $2\text{H}^- - 2\bar{e} = \text{H}_2^0$ . Водород объемом 11,2 л (н. у.) имеет массу 1 г, т. е. на 1 г водорода в гидриде приходится 7 г металла. Отсюда атомная масса металла  $7n$ , где  $n$  — количество атомов водорода в гидриде. Существует 3 элемента с массой, кратной 7: Li, Si, Fe. Кремний ( $n=4$ ) отпадает, поскольку  $\text{SiH}_4$  не проводит электрический ток, а степень окисления 8 ( $n=8$ ,  $M=56$  г/моль) у железа в данном случае весьма маловероятна. Следовательно, был взят гидрид лития  $\text{LiH}$ . Электролиз водного раствора  $\text{LiH}$  провести не удастся из-за полного разложения последнего водой:



**Пример 3.** При сжигании 23 г газообразного вещества с плотностью  $\rho=2,05$  г/л при н. у. получено 44 г диоксида углерода и 27 г воды. Изобразите структурную формулу этого вещества.

**Решение.** Неизвестный газ — X. Согласно закону для идеальных газов

$$M(X) = \frac{\rho_X RT}{p} = 46 \text{ (г/моль)};$$

$$\begin{array}{l} \nu(X) = 23/46 = 0,5 \text{ моль}; \quad \nu(\text{CO}_2) = 44/44 = 1,0 \text{ моль}; \\ \nu(\text{C}) = 1 \text{ моль}; \quad m(\text{C}) = 12 \text{ г}; \quad \nu(\text{H}_2\text{O}) = 27/18 = 1,5 \text{ моль}; \end{array}$$

$\nu(\text{H})=3$  моль;  $m(\text{H})=3$  г. Соединение содержит также кислород, поскольку

$$m(\text{C})+m(\text{H})=12+3=15 \text{ г} < 23 \text{ г};$$

$$m(\text{O})=23-15=8 \text{ г};$$

$\nu(\text{O})=5$  моль;  $\nu(\text{C}) : \nu(\text{H}) : \nu(\text{O})=1 : 3 : 0,5=2 : 6 : 1$ . Молекулярная формула соединения:  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ . Этой формуле отвечают 2 изомера:  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  — этанол и  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  — диметиловый эфир, но этанол при обычных условиях — жидкость, значит, неизвестный газ — диметиловый эфир.

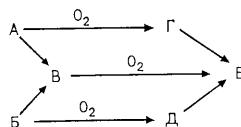
#### Задачи

1. При прокаливании 80 г безводного сульфата трехвалентного элемента получается его оксид массой на 24 г меньше молярной массы элемента. Определите, какой это элемент.

2. При прокаливании 10,4 г сульфита неизвестного металла получен его оксид такой же массы, как при разложении 5,8 г его гидроксида. Определите, сульфит какого металла был подвергнут разложению.

3. Над раскаленными докрасна железными опилками массой 16,8 г пропускали водяной пар. Все опилки прореагировали полностью. Масса одного из продуктов реакции — водорода — составила 0,8 г. Определите формулу второго продукта реакции.

4. Простые вещества А и Б способны реагировать между собой, образуя вещество В, а также гореть на воздухе, образуя соответственно вещества Г и Д. Продукты их сгорания реагируют между собой, причем в отсутствие воды при реакции веществ Г и Д получается только одно вещество Е, которое может получаться также при окислении вещества В. Предложите вещества А и Б, лучше всего соответствующие условию данной задачи. Схема реакций:



5. Вещества А и Б бурно реагируют между собой с образованием продукта В. При обработке В оксидом углерода (IV) образуются вещества Б и Г (Г содержит 8,14% углерода и 32,5% кислорода). Определите вещества А–Г, напишите уравнения реакций.

6. Некоторый газ А, являющийся простым веществом, реагирует с водородом в присутствии катализатора, образуя вещество Б, которое можно в несколько стадий превратить в бесцветную жидкость В, обладающую кислотными свойствами. При взаимодействии избытка Б с В образуется белое твердое вещество Г, разлагающееся при умеренном ( $\sim 150^\circ\text{C}$ ) нагревании с выделением газа Д. Газ Д реагирует с продуктом взаимодействия Б и металлического натрия (Е), образуя при этом соль Ж, хорошо растворимую в воде и содержащую 64,6% азота. О каких веществах идет речь? Напишите уравнения соответствующих реакций.

7. Два образца белых порошков массой по 9,0 г растворили в воде, каждый в отдельной колбе. При этом из колб выделилось по 22,4 л горючего газа (н. у.). Анализ полученных водных растворов показал, что они представляют собой растворы одной и той же щелочи: 1,0000 моль в одной колбе и 1,0417 моль — в другой. Что представляют собой исходные порошки? Объясните результаты эксперимента.

8. Смесь металла с его оксидом полностью восстановили водородом, а продукт реакции растворили в разбавленной серной кислоте. Объем выделившегося при этом водорода равен объему водорода, пошедшего на восстановление исходной смеси (объемы измерены при одинаковых условиях). Какие металлы и оксиды удовлетворяют условию задачи? Приведите примеры таких смесей, рассчитайте в этих примерах молярные соотношения металла и его оксида.

9. При окислении смеси органических соединений А и Б избытком подкисленного раствора перманганата калия образуются оксид углерода (IV) и белое кристаллическое вещество В, которое превращается в бензол при нагревании с гидроксидом натрия. Определите качественный и количественный состав смеси А и Б, если известно, что количество

гидроксида натрия, необходимое и достаточное для поглощения выделившегося при окислении газа, равно 0,25 количества NaOH, пошедшего на превращение в бензол вещества В. При реакции исходной смеси с хлором на свету могут образоваться только три моноклорпроизводных углеводорода.

10. К раствору соли серебра (раствор 1) прибавили: а) нитрат бария, произошла реакция, выпал осадок 1, содержащий 46,2% бария; б) небольшой объем раствора щелочи, осадка нет; в) воду, выпал белый осадок 2, содержащий 57,4% серебра. Объясните результаты эксперимента и определите качественный состав раствора 1.

11. Через последовательно соединенные электролизеры с инертными электродами, содержащие: первый — раствор хлорида бария, второй — раствор сульфида калия с одинаковыми количествами веществ, пропускают электрический ток. Электролиз прекратили, когда в первом электролизере прекратилось повышение концентрации гидроксильных ионов, а на аноде этого электролизера выделилось 1,12 л газа. Полученные в результате электролиза растворы смешали. Определите состав и массу выпавшего осадка.

12. Твердое вещество А массой 4 г обработали хлором и получили единственный продукт Б, жидкий при нормальных условиях. При внесении продукта Б в избыток воды образуется 3 г исходного вещества А. Из получившегося сильноокислого раствора при нагревании выделяется газ В с плотностью по воздуху 2,2. При окислении кислородом исходной навески вещества А можно выделить в 4 раза больше газа В, чем из раствора, полученного при внесении Б в воду. Определите вещества А, Б, В.

13. При сжигании 1,792 л (н. у.) смеси метана, оксида углерода(II) и кислорода в калориметре выделилось 13,683 кДж теплоты. Если к продуктам сгорания добавить некоторое количество водорода и вновь поджечь, то выделится дополнительно 9,672 кДж теплоты. Известно, что при реакциях образования из простых веществ 1 моль метана, оксида углерода(II), оксида углерода(IV) и воды выделяется 74,8; 110,5; 393,5; 241,8 кДж теплоты соот-

ветственно. Каковы парциальные объемы каждого из газов в исходной смеси?

14. В колбе нагрели 0,18 г простого вещества с избытком концентрированной серной кислоты. Газообразные продукты реакции пропустили в избыток раствора гидроксида кальция, при этом выпало 5,1 г осадка. Определите исходное вещество А. Ответ подтвердите соответствующими расчетами и уравнениями реакций.

15. При нагревании навески некоторого твердого вещества А образовалось 0,6 г твердого вещества Б и газообразное вещество В. Твердый продукт разложения Б растворили в воде; при этом образовался раствор, содержащий 0,96 г вещества Г. Газообразный продукт разложения В пропустили через избыток раствора вещества Д, в результате чего образовалось 6,52 г вещества Е. При взаимодействии последнего в водном растворе с веществом Г образуются А и Д. Определите, что представляют собой вещества А, Б, В, Г, Д, Е. Напишите уравнения соответствующих реакций.

16. При прибавлении к раствору нитрата двухвалентного металла избытка карбоната натрия выпадает 2,37 г осадка, а при прибавлении к тому же количеству этого раствора избытка сульфата натрия выпадает 2,80 г осадка. Определите, нитрат какого металла был взят для анализа. Как относится эта соль к нагреванию?

17. После взрыва смеси, состоящей из одного объема исследуемого газа и одного объема водорода, получился один объем водяного пара и один объем азота. Все измерения проводились при одинаковых условиях. Определите формулу исследуемого газа. Как можно получить этот газ в лабораторных условиях?

18. При приливании раствора, содержащего 1,02 г соли сероводородной кислоты к раствору, содержащему 2,7 г хлорида двухвалентного металла, выпало 1,92 г осадка. Какие соли взяты для проведения реакции, если они прореагировали полностью?

19. Бесцветный газ (объемом 5,6 л) (н. у.) с относительной молекулярной массой на 3,4% меньше, чем относительная молекулярная масса воздуха, сжгли в избытке кислорода. Продукты сгорания про-

пустили через 10%-й раствор гидроксида натрия с плотностью 1,1. При этом образовался раствор кислой соли. Какой объем раствора щелочи был взят, если известно, что продукты сгорания исходного газа не содержат воду.

20. Соединение, образованное тремя элементами массой 10,8 г, осторожно обработали газообразным хлором. При этом получили смесь двух хлоридов и хлороводород, из которого можно получить 400 г соляной кислоты с массовой долей 7,3%. Суммарная масса образовавшихся хлоридов — 38,4 г. Определить формулу исходного соединения, если об одном из элементов известно, что его массовая доля в исходном веществе 42,6%, а в хлориде 39,3%.

21. Навеску алюминия массой 3,55 г внесли в 100 мл раствора индивидуальной соли  $Hg_x(NO_3)_2$  ( $x=1$  или  $2$ ), концентрация которой 0,5 моль/л. После окончания реакции взаимодействия алюминия с раствором масса нерастворенных веществ составила 17,65 г. Определите, какая соль ртути введена в реакцию. Напишите уравнения происходящих процессов.

22. Неизвестный металл массой 13 г обработали избытком разбавленного раствора азотной кислоты. К полученному раствору добавили избыток горячего раствора гидроксида калия; при этом выделилось 1,12 л газа (измеренного при н. у.). Какой металл был растворен в азотной кислоте?

23. В герметичный сосуд емкостью 6 л поместили заполненный газом полиэтиленовый пакет объемом 2 л. Пакет весил на воздухе 0,536 г. (Объем и массу пакета определяли при 760 мм рт. ст. и  $0^\circ C$ .) Сосуд с пакетом продули чистым кислородом и затем увеличили давление кислорода в сосуде до 1013 мм рт. ст. (при  $0^\circ C$ ). Пакет подожгли раскаленной спиралью. После сжигания и охлаждения до  $0^\circ C$  давление в сосуде составило 825 мм рт. ст. Пакет сгорел полностью. Внутри было обнаружено 0,804 г воды. Какой газ содержался в полиэтиленовом пакете? Объемом полиэтилена, воды и давлением ее паров можно пренебречь.

24. При пропускании избытка паров воды над раскаленным веществом А получено 4 г твердого продукта Б и 1,235 л газа В. Объем газа измеряли

при 20° С и 740 мм рт. ст. Разбавленный водный раствор исходного количества вещества А способен поглотить 1,235 л газа В с образованием 8,4 г вещества Г. При выпаривании получившегося раствора на кипящей водяной бане выделилось такое же количество вещества А, какое было взято для первой реакции. Все перечисленные вещества растворимы в воде. Назовите вещества А, Б, В, Г и напишите уравнения соответствующих реакций.

25. Соль А прокалили в токе хлороводорода до окончания реакции. Полученные летучие продукты (2,58 л при 350° С и 750 мм рт. ст.) поглощаются водой с выделением большого количества теплоты. Раствор летучих продуктов реагирует с водным раствором твердого продукта первой реакции Б, при этом получается 11,65 г осадка, нерастворимого в азотной кислоте. То же количество вещества Б дает с избытком раствора сульфата серебра 26,00 г белого осадка. Часть этого осадка растворяется в аммиачной воде. Сколько соли А взяли для прокаливания? Напишите уравнения реакций.

26. Некоторый углеводород при взаимодействии с хлором может давать дихлорид либо тетрахлорид. Отношение относительных молекулярных масс дихлорида и тетрахлорида равно 0,637. Какие возможные структуры может иметь исходный углеводород?

27. Некоторое количество углеводорода состава  $C_nH_{2n-2}$  дает с избытком хлора 21,0 г тетрахлорида. То же количество углеводорода с избытком брома дает 38,8 г тетрабромиды. Выведите молекулярную формулу этого углеводорода и напишите его возможные структурные формулы.

28. При бромировании неизвестного углеводорода получено только одно бромпроизводное с плотностью по воздуху 5,207. Выведите структурную формулу углеводорода.

29. При взаимодействии с металлическим натрием 5 г жидкости А, перегоняющейся при постоянной температуре (84,1° С), выделяется 0,622 л горючего газа Б. С нагретым металлическим натрием газ Б образует солеобразное вещество В, легко разлагающееся водой с выделением 1,244 л того же газа Б. 5 г жидкости А обесцвечивает без выделения газообразных продуктов сернистый раствор 8,243 г

перманганата калия, при этом выделяется белое вещество Г, легко возгорающееся при нагревании, а при прокаливании со щелочью дающее бензол. О каких веществах идет речь? Напишите уравнения упомянутых реакций.

30. К 50 г 35,6%-го раствора галогенида щелочного металла прибавили 10 г раствора нитрата серебра. После выпадения осадка концентрация исходного галогенида уменьшилась в 1,2 раза. Какой щелочной металл и какой галоген входили в его состав? Определите формулу галогенида щелочного металла.

31. Для полного сгорания некоторого органического вещества потребовалось в 2 раза меньше кислорода, чем для полного сгорания следующего члена гомологического ряда. Какие это могут быть соединения?

32. При гидролизе 7,42 г некоторого эфира получено 3,22 г одноосновной карбоновой кислоты и 6,72 г одноатомного спирта. Какой эфир был взят для гидролиза?

33. Газ А может быть получен реакцией бинарного солеобразного вещества, содержащего водород, с хлоридом  $\text{XC}_3$ , элемента X. Газ этот используется как ракетное топливо, так как выделяет большое количество теплоты при сжигании. Газ А обесцвечивает бромную воду; если после этого раствор упарить досуха, в остатке окажется единственное вещество Б – важный фармакологический препарат. Эбуллиоскопическое измерение (по повышению температуры кипения раствора) относительной молекулярной массы Б дало величину 62. Конденсат, собранный при упаривании, содержит, кроме воды, также одно вещество, дающее осадок с раствором нитрата серебра. Массовая доля серебра в осадке 57,45%. Определите, о каких веществах идет речь, свой ответ логически обоснуйте. Как Вы считаете, могут ли существовать другие соединения, включающие те же элементы, что и А? Будет ли зависеть состав продуктов реакции А с бромной водой от ее концентрации? Плотность газа А 1,25 г/л (н. у.).

34. Неизвестная соль X при нагревании до 250°С разлагается, образуя ряд газообразных при этой температуре продуктов А, Б, В и Г каждого по



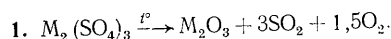
1 моль на моль X. Как растворение в воде, так и приведение смеси к нормальным условиям дает соль Д, и остается неизменным газ Б, переходящий при сжигании в газ В. Газ Б можно получить при нагревании В с углем. При 20°С раствором щелочи поглощаются как газ В, так и жидкость Г. Как смесь, полученная при нагревании X, так и вещества X и Д дают осадки с известковой водой. О каких веществах идет речь? Написать уравнения всех приведенных реакций.

35. Некоторая жидкость перегоняется в интервале температур 34–40°С. Она мало растворима в воде, не способна к реакции с гидроксидом меди(II), очень медленно реагирует со щелочью на холоду.

Навеску этой жидкости массой 1,0000 г сожгли, получив при этом 0,9722 г воды, 0,1718 г хлороводорода и 2,0030 г диоксида углерода.

Исследуемую жидкость поместили в колбу с обратным холодильником и обработали горячим раствором гидроксида натрия. Произошло частичное растворение жидкости, что сопровождалось выделением газа с резким запахом. Оставшуюся нерастворенной часть жидкости отделили и обработали концентрированным раствором йодида водорода, в результате чего она прореагировала с образованием йодэтана. Определите состав жидкости. Используя все данные задачи, покажите, однозначно ли ее решение. Ответ обоснуйте. Напишите уравнения реакций. Какое вещество обуславливает появление резкого запаха? Предположите механизм образования йодэтана.

#### Решения



Пусть  $m$  — молекулярная масса металла, тогда:

$(2m + 288)$  г сульфата дают  $(2m + 48)$  г оксида,

80 г сульфата —»—  $(m - 24)$  г —»—,

$$\frac{2m + 288}{80} = \frac{2m + 48}{m - 24};$$

$$m^2 + 144m - 24m - 144 \cdot 24 = 80m + 80 \cdot 24;$$

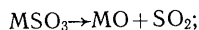
$$m^2 + 40m - 5376 = 0;$$

$$m = -20 \pm \sqrt{400 + 5376} = -20 \pm \sqrt{5776};$$

$$m = -20 \pm 76, \quad m = 76 - 20 = 56 \text{ (г/моль)}.$$

Этот элемент — железо.

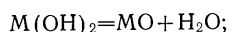
2. Соли типа  $M_2SO_3$  не разлагаются;  $M_2(SO_3)_3$  не существуют; расчет можно вести только с  $M^{2+}$ .



$M+80$  г сульфита дают  $(M+16)$  г оксида,

10,4 г сульфита —  $y$  г —,

$$y = \frac{10,4(M+16)}{M+80}.$$



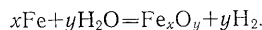
$(M+34)$  г гидроксида дают  $(M+16)$  г оксида,

58 г гидроксида —  $y$  г —,

$$y = \frac{5,8(M+16)}{M+34}.$$

Находим  $M=24$  г/моль, следовательно, металл — магний.

3. Составим уравнение реакции:



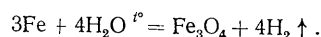
Выделилось 0,8 г  $H_2$ , что составляет  $(0,8/2) = 0,4$  моль. Количество воды, вступившей в реакцию, также равно 0,4 моль, или  $0,4 \cdot 18 = 7,2$  (г). По закону сохранения массы суммарная масса нелетучего продукта реакции составляет  $16,8 + 7,2 - 0,8 = 23,2$  г. Следовательно, массовая доля железа в полученном оксиде железа  $16,8/23,2 = 0,724$ , или 72,4%.

Проводя расчеты по формуле  $Fe_xO_y$ , определяем состав оксида железа:

$$x : y = \frac{72,4}{56} : \frac{27,6}{16} = 1,293 : 1,725 = 1 : 1,33 = 3 : 4.$$

Искомая формула  $Fe_3O_4$ .

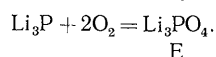
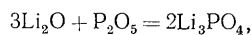
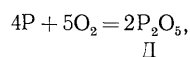
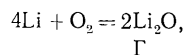
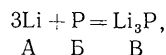
Уравнение реакции:



4. Для схемы реакций, приведенной в условии задачи, можно сделать следующие обобщения.

Из простых веществ (А) — металлов — пригодны Li, Be, Mg, Ca (Na, K, Sr, Ba при горении образуют пероксиды).

Из простых веществ (Б) — неметаллов — непригодны: а) сера, так как при реакции  $\text{SO}_2$  (вещество Д) с оксидом металла (вещество Г) образуется сульфит (вещество Е), а при окислении сульфида (вещество В) образуется сульфат; б) азот и углерод, так как в нитриде и нитрате, карбиде и карбонате различное соотношение металла и азота, а также металла и углерода соответственно. Из неметаллов подходит, например, фосфор. Тогда превращения, соответствующие условию задачи, записываются следующими уравнениями:



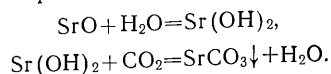
5. Определяем молярную массу вещества, содержащего 1 моль атомарного углерода:  $12/0,0814 = 147,4$  г/моль. На кислород в полученном веществе приходится  $147,4 \cdot 0,325 = 48$  г. Очевидно, в составе вещества имеется карбонат-ион  $\text{CO}_3^{2-}$ .

В случае одновалентного металла его молярная масса равна  $\frac{147,4 - 60}{2} = 43,7$  г/моль. Такого металла нет.

Если металл двухвалентный, его молярная масса равна  $147,4 - 60 = 87,4$  г/моль. Металл — стронций.

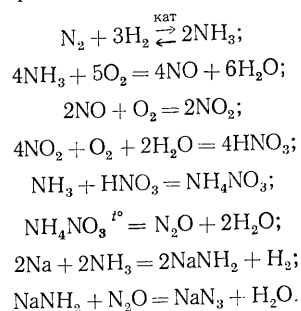
Полученный продукт Г – SrCO<sub>3</sub>, тогда А – SrO,  
 Б – H<sub>2</sub>O, В – Sr(OH)<sub>2</sub>.

Уравнения реакций:



6. Вещества: А – N<sub>2</sub>, Б – NH<sub>3</sub>, В – HNO<sub>3</sub>, Г – NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, Д – N<sub>2</sub>O, Е – NaNH<sub>2</sub>, Ж – NaN<sub>3</sub>.

Уравнения реакций:

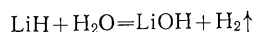


Массовая доля азота в NaN<sub>3</sub> равна

$$\omega(\text{N}) = \frac{14 \cdot 3}{14 \cdot 3 + 23} = 0,646, \text{ или } 64,6 \%,$$

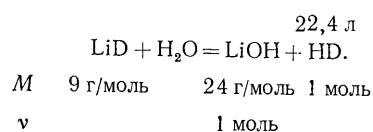
что подтверждает условие задачи.

7. Порошок массой 9 г при взаимодействии с водой образуют 22,4 л, или 1 моль газа. Следовательно, первый порошок может содержать гидрид щелочного металла (LiH). По реакции



образуется 1 моль (22,4 л) водорода, следовательно, реагирует 1 моль (8 г) LiH и образуется 1 моль LiOH. Кроме того, порошок содержит 1 г вещества, что составляет 1,0417 – 1 = 0,0417 (моль). Молярная масса этого вещества равна 1/0,0417 = 24 (г/моль). Это может быть гидроксид лития LiOH.

Второй порошок — дейтерид лития LiD, молярная масса которого равна 9 г/моль:

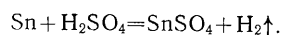
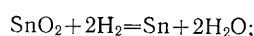


Кроме того, возможно дополнительное решение: второй порошок — смесь LiH и LiT в соотношении 1:1 или смесь LiH и LiNH<sub>2</sub> (в соотношении 14:1).

8. Смесь должна удовлетворять следующим условиям: а) металл должен реагировать с разбавленной серной кислотой, а его оксид — полностью восстанавливаться водородом; б) металл в оксиде должен иметь большую положительную степень окисления, чем в сульфате, полученном при реакции металла с H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

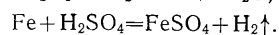
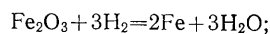
Примеры смесей

1) Sn и SnO<sub>2</sub>.



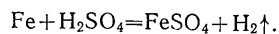
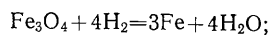
Молярное соотношение 1:1.

2) Fe и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.



1 моль Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> при восстановлении образует 2 моль Fe, при растворении которых в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> образуется 2 моль H<sub>2</sub>. 1 моль Fe при растворении в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> образует 1 моль водорода. Всего образуется 3 моль H<sub>2</sub>. Следовательно, молярное отношение металла и оксида в смеси 1:1.

3) Fe и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

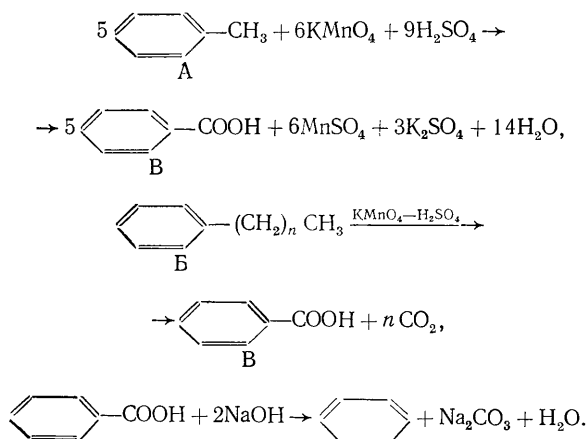


1 моль Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> образует 3 моль Fe,

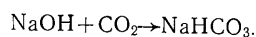
3 моль Fe восстанавливают 3 моль H<sub>2</sub> из H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Поэтому молярное отношение металла и оксида в смеси 1:1.

9. Решение задачи ведем с конца: только три монохлорпроизводных, значит, только три типа атомов углерода в боковых цепях  $C_6H_x(CH_2)_nCH_3$ . Соединений — два, типов С-атомов — три, значит, в смеси присутствует толуол А (первый тип боковых С-атомов) и еще одно органическое соединение Б — гомолог толуола, дающий при окислении  $CO_2$ :



Из 1 моль толуола и 1 моль Б образуется 2 моль бензойной кислоты, которую можно декарбоксиллировать 4 моль  $NaOH$ . Значит, на поглощение  $CO_2$  потребовалось  $0,24 \cdot 4 = 1$  моль щелочи:



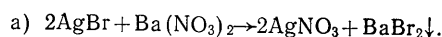
Таким образом, на 1 моль Б образуется 1 моль  $CO_2$  ( $n=1$ ), т. е. Б — этилбензол.

10. Необычность свойств раствора 1: щелочь+соль  $Ag^+ \rightarrow$  всегда есть осадок  $Ag_2O$ ; при разбавлении водой дают осадок только аммиакаты галогенидов серебра.

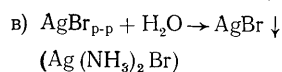
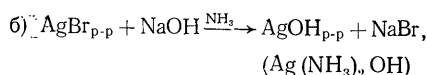
Подсчитайте молярную массу кислотного остатка А осадка I:

На 46,2%  $\text{Ba}^{2+}$  приходится 53,8%  $\text{A}^{2-}$ ,  
 на 137 г  $\text{Ba}^{2+}$  —  $x$  г  $\text{A}^{2-}$ ,  
 $x=160$ .

Видимо,  $\text{A}=2\text{Br}^-$ , т. е. соль —  $\text{BaBr}_2$  (растворима в воде).

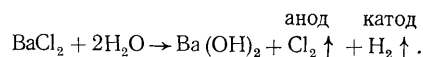


57,4%  $\text{Ag}^+$  осадка 2 указывает на состав  $\text{AgBr}$ . Все эти необычные факты наводят на мысль, что раствор неводный. Но ведь в условии и не сказано, что он водный! Факты, изложенные в условии задачи, хорошо согласуются со свойствами аммиачных комплексов серебра:

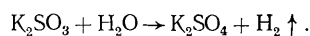


т. е. раствор 1 — это раствор  $\text{AgBr}$  в жидком аммиаке.

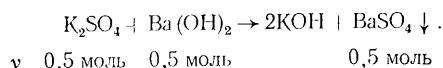
11. Из условия следует, что реакция в первом электролизере прошла полностью:



11,2 л  $\text{Cl}_2$  (0,5 моль) на аноде означает образование 0,5 моль  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  в растворе после электролиза. Количество электричества во втором электролизере такое же, т. е. там прошла реакция с образованием 0,5 моль  $\text{K}_2\text{SO}_4$ :

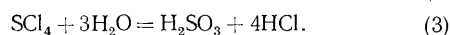
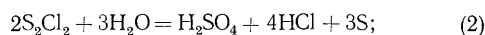
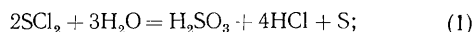


При электролизе  $\text{K}_2\text{SO}_3$  кислород не выделяется, пока сульфит не окислится. При смешении растворов выпадает осадок:



Таким образом, масса осадка составляет 117 г.

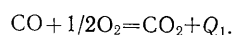
12.  $M_r(\text{B}) = 29 \cdot 2,2 = 64$ . Это соответствует относительной молекулярной массе оксида серы (IV), который способен выделяться при нагревании раствора сернистой кислоты. Значит, вещество А, реагирующее с хлором и кислородом, — сера. Вещество Б — хлорид серы; им могут быть  $\text{SCl}_2$ ,  $\text{S}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{SCl}_4$ . Уравнения реакций галогенидов серы с водой:



Для нахождения формулы хлорида серы следует учесть, что при взаимодействии его с водой выделяется  $3/4$  исходной навески серы. Этому условию удовлетворяет хлорид  $\text{S}_2\text{Cl}_2$  (см. уравнение (2)).

Из уравнения (2) следует, что только  $1/4$  часть серы, прореагировавшей с хлором, дает при взаимодействии с водой  $\text{SO}_2$ . Таким образом, А — сера, Б —  $\text{S}_2\text{Cl}_2$ , В —  $\text{SO}_2$ .

13. Общее число молей газов равно  $1,792/22,4 = 0,08$  (моль). Для определения  $Q_1$  произведем алгебраическое сложение уравнений образования  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  из простых веществ таким образом, чтобы получилось уравнение



Находим  $Q_1 = 393,5 - 110,5 = 283$  (кДж/моль).

Аналогично для реакции

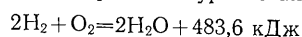


получим  $Q_2 = 393,5 + 241,8 \cdot 2 - 74,8 = 802,3$  (кДж/моль).

Если число молей метана обозначить через  $x$ , а число молей оксида углерода (II) через  $y$ , то при их сгорании выделяется соответственно  $802,3x$  и  $283,0y$  кДж теплоты. Общее количество выделившейся теплоты равно  $802,3x + 283,0y = 13,683$  кДж. Так как до-



бавленный водород горит, в исходной смеси содержится избыток кислорода. Из уравнения



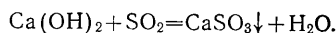
следует, что избыток кислорода в исходной смеси составляет  $9,672/483,6=0,02$  (моль).

Тогда  $13,683 \text{ кДж}$  соответствуют  $0,08-0,02=0,06$  моль такой смеси, в которой число молей газов при горении метана ( $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2$ ) составит  $3x$  моль, а при горении оксида углерода (II) ( $\text{CO} + 1/2\text{O}_2$ ) —  $1,5y$  моль. Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} 3x + 1,5y = 0,06, \\ 802,3x + 283y = 13,683. \end{cases}$$

Решая эту систему, находим  $x=0,01$ ;  $y=0,02$ . Таким образом, в смеси содержалось  $0,01$  моль  $\text{CH}_4$ , или  $0,224$  л;  $0,02$  моль  $\text{CO}$ , или  $0,448$  л, а кислород находим по разности  $1,792-0,224-0,448=1,12$  (л).

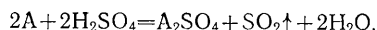
14. Осадок с известковой водой может образовывать оксид серы (IV), выделяющийся при взаимодействии концентрированной серной кислоты с малоактивными металлами и неметаллами:



При взаимодействии концентрированной серной кислоты с активными металлами может выделяться сероводород, но сульфид кальция растворим в воде.

$$v(\text{CaSO}_3) = 5,1/120 = 0,0425 \text{ моль}.$$

Для одновалентного металла уравнение реакции



Из этого уравнения находим молярную массу металла:  $0,18/(0,0425 \cdot 2) = 2,12$  г/моль металла А. Для 2-, 3-, 4-валентных металлов получаются соответственно  $4,24$ ,  $6,36$ ,  $8,48$  г/моль.

Металлов с такой молярной массой нет. Значит, вещество А — неметалл. Продуктом его окисления концентрированной серной кислотой является газ, взаимодействующий с известковой водой с образованием осадка. Веществом А может быть сера или углерод.

Для серы:  $S + 2H_2SO_4 = 3SO_2 + 2H_2O$ ;

$$\nu(S) = 0,18/32 = 0,056 \text{ моль};$$

$$\nu(SO_2) = 0,056 \cdot 3 = 0,168 \text{ моль};$$

$$m(CaSO_3) = 0,168 \cdot 120 = 2,04 \text{ г, что меньше } 5,1 \text{ г.}$$

Для углерода:  $C + 2H_2SO_4 = 2SO_2 + CO_2 + 2H_2O$ ;

$$\nu(CaCO_3) = \nu(C) = 0,18/12 = 0,015 \text{ моль};$$

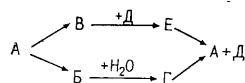
$$m(CaCO_3) = 0,015 \cdot 100 = 1,5 \text{ г};$$

$$\nu(CaSO_3) = \nu(SO_2) = 0,03 \text{ моль};$$

$$m(CaSO_3) = 0,03 \cdot 120 = 3,6 \text{ г.}$$

Общая масса осадка равна  $1,5 + 3,6 = 5,1$  г, что соответствует условию задачи. Таким образом, вещество А — углерод.

15. Превращения, приведенные в условии задачи, могут быть схематизированы следующим образом:

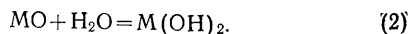
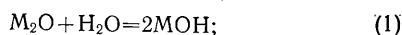


Так как исходное вещество А при разложении дает газ и твердое вещество, реагирующее с водой, наиболее вероятно, исходя из общей схемы превращений, что это соль, образующая при нагревании два оксида: твердый основной оксид (Б) и газообразный кислотный оксид (В).

Поскольку вещество Б растворяется в воде, то соль может быть образована щелочным или щелочноземельным металлом, так как оксиды других металлов в воде **нерастворимы**.

Находим молярную массу металла:

$$m(H_2O) = 0,96 - 0,6 = 0,36 \text{ г}; \nu(H_2O) = 0,02 \text{ моль.}$$



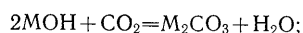
а. Для щелочного металла (уравнение 1):  
 $\nu(M_2O) = 0,02$  моль;  $M(M_2O) = 0,6/0,02 = 30$  г/моль;

$M(M) = (30 - 16) / 2 = 7$  г/моль. М — литий, значит, Б —  $\text{Li}_2\text{O}$ .

б. Для щелочноземельного металла (уравнение 2):  $\nu(\text{MO}) = 0,02$  моль;  $M(\text{MO}) = 30$  г/моль;  $M(M) = 30 - 16 = 14$  г/моль. Металла с такой молярной массой нет.

Таким образом, А — карбонат или сульфит лития, и его количество — 0,02 моль. При его разложении образуется 0,02 моль  $\text{Li}_2\text{O}$  и 0,02 моль  $\text{CO}_2$  или  $\text{SO}_2$ .

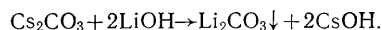
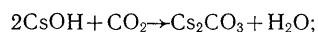
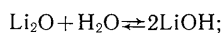
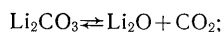
Вещество Д может быть растворимым гидроксидом, карбонатом или сульфитом. При его взаимодействии с оксидом углерода (IV) или оксидом серы (IV) может образоваться одно из веществ:  $\text{M}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{M}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{MCO}_3$ ,  $\text{MHCO}_3$ ,  $\text{MHSO}_3$ . С учетом числа молей образующегося вещества (0,02 моль или 0,04 моль) и его массы (6,52 г) можно рассчитать молярную массу металла:



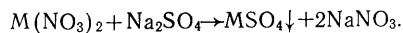
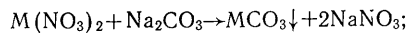
$M(\text{M}_2\text{CO}_3) = 6,52 / 0,02 = 326$  г/моль;  $M(M) = (326 - 60) / 2 = 133$  г/моль. Металл — цезий. Аналогичные расчеты для других веществ дают значения молярных масс металла (г/моль):  $\text{M}_2\text{SO}_3$ :  $M(M) = 123$ ;  $\text{MCO}_3$ :  $M(M) = 266$ ;  $\text{MSO}_3$ :  $M(M) = 246$ ;  $\text{MHCO}_3$ :  $M(M) = 102$ ;  $\text{MHSO}_3$ :  $M(M) = 82$ . Металлов с такими молярными массами нет.

Следовательно, А —  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , Б —  $\text{Li}_2\text{O}$ , В —  $\text{CO}_2$ , Г —  $\text{LiOH}$ , Д —  $\text{CsOH}$ , Е —  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$ .

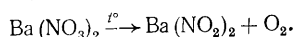
Уравнения реакций:



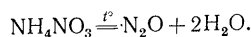
16. М — исходный металл, относительная молекулярная масса —  $M_r$ . Уравнения реакций:



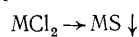
Относительная молекулярная масса  $\text{MCO}_3$ :  $M_r + 60$  соответствует 2,37 г. Относительная молекулярная масса  $\text{MSO}_4$ :  $M_r + 96$  соответствует 2,80 г. Отсюда  $M_r = 137$  (барий). При умеренном нагреве



17.  $\text{X} + \text{H}_2 = \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$ , отсюда  $\text{X} = \text{N}_2\text{O}$ .  
Один из возможных методов получения:



18. Масса осадка не превышает массу одного из реагентов, следовательно, в осадок выпало одно вещество: хлорид или сульфид. Для всех металлов, хлориды которых нерастворимы, сульфиды тоже нерастворимы. В то же время не существует растворимый сульфид, соответствующий нерастворимому хлориду, поэтому в осадок выпал сульфид двухвалентного металла, входившего раньше в состав хлорида. Обозначим относительную молекулярную массу этого металла через  $M_r$ , тогда



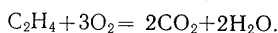
$$2,70 \text{ г} - 1,92 \text{ г},$$

$$(M_r + 71) - (M_r + 32).$$

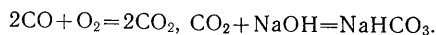
Отсюда  $(M_r + 32) 2,70 = (M_r + 71) 1,92$ ;  $M_r = 64$  (медь). Количество хлорида меди  $2,70/135 = 0,02$  моль равно количеству неизвестной соли сероводородной кислоты, молярная масса этой соли  $M = 1,02/0,02 = 51$  г/моль; это  $\text{NH}_4\text{HS}$ :



19. Относительная молекулярная масса газа  $M_r = 29(1 - 0,034) = 28$ . Такую величину  $M_r$  (округленное значение) имеют три газа: азот, но он не горит; этилен, он образует воду при горении



поэтому не удовлетворяет условию, и оксид углерода (II), удовлетворяющий условию задачи



Количество оксида углерода(II):  $\nu = 5,6/22,4 = 0,25$  (моль); оно равно согласно уравнению второй реакции количеству гидроксида натрия. Искомый объем раствора щелочи равен

$$V = \frac{40 \cdot 0,25 \cdot 100}{1,1 \cdot 10} = 90,9 \text{ (мл)}.$$

20. Об одном из элементов известно, что его содержание в хлориде равно 39,3%. Пусть формула этого хлорида  $MCl_n$ ,  $A_r$  — относительная атомная масса элемента, тогда  $A_r/(35,5n + A_r) = 0,393$ , или  $A_r = 23n$ . При  $n=1$ ,  $A_r=23$  (натрий), при больших  $n$  решений нет. Масса натрия в исходном соединении  $(10,8 \cdot 42,6)/100 = 4,6$  г, что соответствует 0,2 моль.

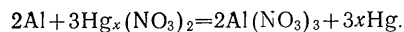
Неизвестное вещество содержало водород, о чем свидетельствует образование  $HX$ . Масса водорода в исходном соединении равна  $\frac{400 \cdot 0,073}{36,5} \cdot 1 = 0,8$  г.

Масса третьего элемента в исходном соединении  $10,8 - 4,6 - 0,8 = 5,4$  г. 0,2 моль натрия, входящего в состав исходного вещества, при обработке исходного соединения хлором переходит в 0,2 моль хлорида натрия. При этом образуется хлорид третьего элемента массой  $38,4 - 11,7 = 26,7$  г и в этих 26,7 г хлорида содержится 5,4 г неизвестного элемента. Пусть формула хлорида неизвестного элемента  $MCl_n$ , атомная масса неизвестного элемента  $A_r$ , тогда

$$\frac{A_r}{A_r + 35,5n} = \frac{5,4}{26,7}, \text{ или } A_r = 9n.$$

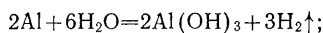
При  $n=3$   $A_r=27$  (алюминий), при других  $n$  решений нет. Количество алюминия в исходном соединении  $5,4/27=0,2$  моль. Соотношение количества элементов в исходном соединении равно  $\nu(Na) : \nu(H) : \nu(Al) = 0,2 : 0,8 : 0,2 = 1 : 4 : 1$ . Формула соединения  $NaAlH_4$ .

21. При внесении алюминия в раствор соли ртути происходит реакция



Алюминий заведомо взят в избытке (для  $x=1$  или 2). Если считать, что нерастворимые вещества — алюминий и ртуть, то при реакции с 0,05 моль

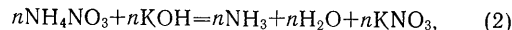
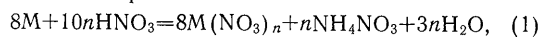
$\text{Hg}_x(\text{NO}_3)_2$  прореагируют  $2/3 \cdot 0,05$  моль алюминия (0,9 г). Следовательно, останется  $3,55 - 0,9 = 2,65$  г Al, а выделится  $17,65 - 2,65 = 15$  г, или 0,075 моль ртути. Таким образом, из 0,05 моль соли образовалось 0,075 моль ртути, откуда  $x = 1,5$ . Но это противоречит условию, так как соль индивидуальна и  $x$  — целочисленно, т. е.  $x = 1$  или 2. Однако ртуть выделяется на поверхности алюминия и растворяет его, образуя амальгаму алюминия, которая реагирует с водой:



2,65 г алюминия, оставшегося в «избытке, после окончания реакции замещения, дают  $\frac{2,65 \cdot 78}{27} = 7,65$  г

$\text{Al}(\text{OH})_3$ . Тогда в нерастворимой смеси содержится 7,65 г  $\text{Al}(\text{OH})_3$  и  $17,65 - 7,65 = 10$  г, т. е. 0,05 моль ртути, откуда  $x = 1$ . Формула соли  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ .

22. Газ, образовавшийся в результате реакции с гидроксидом калия, очевидно, аммиак. Поэтому один из продуктов взаимодействия металла с азотной кислотой — нитрат аммония:



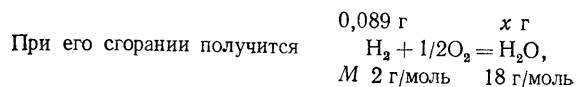
где  $n$  — валентность металла (степень окисления металла в  $\text{M}^{n+1}$ ). Таким образом, из уравнений (1) и (2) следует стехиометрическая схема

$$\begin{aligned} 8\text{M} &\rightarrow n\text{NH}_3 \\ 8A_r &- 22,4n, \\ 13 &- 1,12, \\ A_r &= \frac{13 \cdot 22,4n}{8 \cdot 1,12} = 32,5n, \end{aligned}$$

$n=1$ ,  $A_r=32,5$  — нет;  $n=2$ ,  $A_r=65$  — цинк;  $n=3$ ,  $A_r=97,5$  — нет;  $n=4$ ,  $A_r=130$  — нет. Растворяемый металл — цинк.

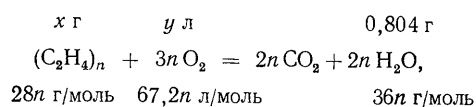
23. Предположим, что газ содержит минимальное количество водорода — один атом на молекулу. Тогда в 2 л газа водорода будет

$$1 \frac{2}{22,4} = 0,089 \text{ (г)}.$$



$$x = \frac{18 \cdot 0,089}{2} = 0,804 \text{ (г) H}_2\text{O}.$$

Таким образом, вся полученная при сгорании вода должна образоваться из газа. Но при сгорании полиэтилена тоже должна выделиться вода, следовательно, газ не содержит водорода (в молекуле газа не может быть меньше одного атома водорода). Вся вода получена из полиэтилена; находим его массу:



$$x = 0,804 \frac{28n}{36n} = 0,625 \text{ (г)}.$$

Но пакет с газом на воздухе весил 0,536 г, следовательно, в пакете находился газ легче воздуха.

Определяем молекулярную массу газа в пакете. Выталкивающая сила, действующая на пакет объемом 2 л, равна

$$m_1 - m_2 = 0,625 - 0,536 = 0,089 \text{ (г)}.$$

В пересчете на 1 моль газов получим  $0,089 \frac{22,4}{2} = 1$  г/моль). При средней молярной массе воздуха 29 получаем молярную массу неизвестного газа:  $29 - 1 = 28$  г/моль. Такую молярную массу имеют азот, оксид углерода (II), этилен. Так как газ не может содержать водород и должен гореть, то, возможно, это CO.

На сгорание полиэтилена истрачено кислорода

$$y = 67,2 \frac{0,804}{36} = 1,5 \text{ (л)}.$$

При этом получен 1 л CO<sub>2</sub>. Тогда в случае азота давление после сжигания должно составить

$\frac{760}{6} \left( 6 \frac{1013}{760} - 1,5 + 1 \right) = 950$  мм рт. ст. Если же в пакете был оксид углерода (II), на его сгорание израсходуется кислород:  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ . Из 2 л газа получится 2 л  $\text{CO}_2$  и будет затрачено 1 л  $\text{O}_2$ , тогда давление составит  $760 \frac{8 - 1,5 - 1 - 2 + 1 + 2}{6} = 825$  мм рт. ст. Следовательно, в пакете находился горючий газ  $\text{CO}$ .

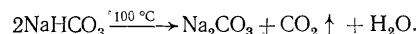
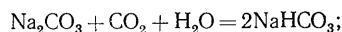
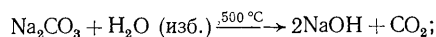
24. Приводим объем газа к нормальным условиям:

$$V_0 = \frac{p_1 V_1 T_0}{T_1 p_0} = \frac{740 \cdot 1,236 \cdot 273}{293 \cdot 760} = 1,12 \text{ (л)}.$$

Объем газа соответствует 0,05 моль вещества. Тогда на 1 моль газа из вещества А образуется  $4/0,05 = 80$  г твердого растворимого продукта. Поглощение веществом А одного моля того же газа дает 168 г вещества Г. Разность  $168 - 80 = 88$  г соответствует двум молям газа В. Вода входит в состав продукта Б. Тогда 1 моль газа В — 44 г, это  $\text{CO}_2$ . Вещество А — средняя соль угольной кислоты, так как может поглотить  $\text{CO}_2$  в мольном отношении 1:1. Один моль средней соли соответствует 2 моль щелочи, или 80 г, это  $\text{NaOH}$ .

Все вещества установлены: А —  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , Б —  $\text{NaOH}$ , В —  $\text{CO}_2$ , Г —  $\text{NaHCO}_3$ .

Запишем уравнения реакций:



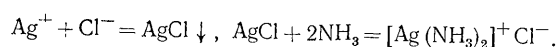
Обратимость двух последних реакций известна, первую же реакцию мы привыкли записывать в обратном порядке. Но надо помнить про условия — избыток паров воды при прокаливании. В этом случае  $\text{CO}_2$  непрерывно удаляется из зоны реакции и процесс доходит до конца.

25. Приводим объем газов к нормальным условиям:

$$V_0 = \frac{p_1 V_1 T_0}{T_1 p_0} = \frac{750 \cdot 2,58 \cdot 273}{623 \cdot 760} = 1,12 \text{ (л)}.$$



Объем газообразных продуктов соответствует 0,05 моль. Один из продуктов реакции — хлорид. Этим хлоридом является твердый устойчивый к нагреванию продукт — соль Б, из раствора которой сульфат серебра осаждает хлорид серебра, растворимый в аммиаке:



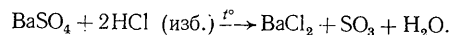
Часть осадка в аммиаке нерастворима. Следовательно, эта часть — соль, образованная сульфат-анионом из  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ . На основании условия задачи предполагаем, что 11,65 г осадка, нерастворимого в азотной кислоте, — это сульфат, образованный катионом соли Б. Полагая также, что катион одновалентный, имеем

$$\frac{\text{Э}_2\text{SO}_4}{\text{Э}_2\text{SO}_4 + 2\text{AgCl}} = \frac{2x + 96}{2x + 96 + 287} = \frac{11,65}{26} = 0,448,$$

где Э — неизвестный элемент;  $A_r$  — его относительная масса. При  $n=1$ , где  $n$  — валентность,  $A_r=68,5$ , а при  $n=2$   $A_r=137$ , что соответствует барии.

Проверим это предположение, считая, что 0,05 моль газообразных продуктов — пары  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , ( $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ).  $M=11,65/0,05=233$  г/моль. Эта величина соответствует молярной массе  $\text{BaSO}_4$ .

Продукты прокаливания теперь известны, остается лишь записать уравнение реакции:



Высокая температура и избыток хлороводорода способствуют и в этом случае протеканию до конца реакции, обратной осаждению сульфата бария. Для прокаливания было взято 11,65 г  $\text{BaSO}_4$ .

26. Пусть  $\text{C}_x\text{H}_y$  — формула неизвестного углеводорода. Тогда величина относительной молекулярной массы может быть выражена для дихлорида  $\text{C}_x\text{H}_y\text{Cl}_2$ :  $M_r(1)=12x+y+71$ ; для тетрахлорида  $\text{C}_x\text{H}_y\text{Cl}_4$ :  $M_r(2)=12x+y+142$ . По условию  $M_r(1)/M_r(2)=0,637$ , т. е.

$$M_r(1)/M_r(2) = \frac{12x + y + 71}{12x + y + 142} = 0,637.$$

Отсюда  $y=2x-2$  и общая формула  $C_xH_{2x-2}$ :

$$12x+y+71=12x \cdot 0,637+y \cdot 0,637+142 \cdot 0,637;$$

$$12 \cdot 0,363x+0,363y=142 \cdot 0,637-71;$$

$$12x+y=\frac{71(2 \cdot 0,637-1)}{0,363}=\frac{71 \cdot 0,274}{0,363};$$

$$12x+y=54.$$

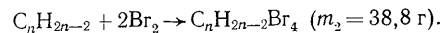
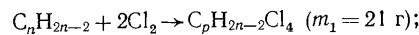
Получено неопределенное уравнение, где  $x$  и  $y$  целочисленны, причем  $2 < y < 2x+2$ . Единственное решение, удовлетворяющее этому условию,  $x=4$ ,  $y=6$ , следовательно,  $M_r(C_xH_y)=48+6=54$ , т. е. формула углеводорода  $C_4H_6$ .

Формуле  $C_nH_{2n-2}$  соответствуют ациклические углеводороды с одной тройной или двумя двойными связями, циклические углеводороды с одной двойной связью, а также бициклический углеводород.



Они все будут давать ди- и тетрахлориды.

27. 1 способ.



Разница в массе  $\Delta m = m_2 - m_1 = 38,8 - 21 = 17,8$  г. К 1 моль  $C_nH_{2n-2}$  присоединяется 2 моль  $Cl_2$  (142 г) или 2 моль  $Br_2$  (320 г). Разница в массе составляет  $320 - 142 = 178$  г. Поскольку по условию задачи  $\Delta m = 17,8$  г, то и в реакцию вступило 14,2 г  $Cl_2$  и 32 г  $Br_2$ . Масса  $C_nH_{2n-2}$  равна  $21 - 14,2 = 6,8$  г, или  $38,8 - 32 = 6,8$  г. Таким образом, 1 моль  $C_nH_{2n-2}$  имеет массу 68 г, откуда

$$12n+2n-2=68,$$

$$n=5.$$

Формула углеводорода  $C_5H_8$ .

II способ.

Относительные молекулярные массы:

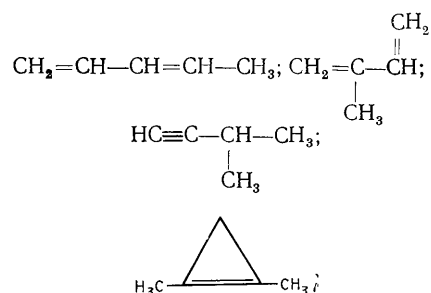
$$C_nH_{2n-2}Cl_4: 14n - 2 + 142 = 14n + 140;$$

$$C_nH_{2n-2}Br_4: 14n - 2 + 320 = 14n + 318.$$

Относительные молекулярные массы тетрахлорида и тетрабромиды относятся как массы полученных продуктов:

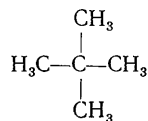
$$\frac{14n + 140}{14n + 318} = \frac{21}{38,8},$$

отсюда  $n=5$ . Примеры некоторых изомеров:



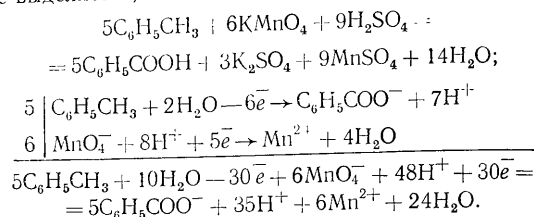
28. Относительная молекулярная масса углеводорода может быть рассчитана на основании величины плотности:  $M(\text{RBr}) = 29 \cdot 5,207 = 151$ .

Это определено монобромпроизводное, так как  $M(\text{RBr}_2) > 160$ ; отсюда  $M(\text{RBr}) = 12x + y + 80 \Rightarrow x = 5$ ,  $y = 1$  ( $C_5H_{12}$ ). Из условия (только один продукт бромирования) следует, что это 2,2-диметилпропан:

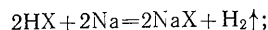


29. Горючий газ Б — водород  $H_2$ , Г — бензойная кислота  $C_6H_5COOH$ . Значит, жидкость А содер-

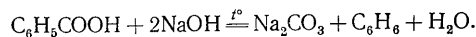
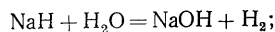
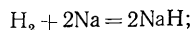
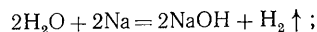
жит  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{R}$ . Так как газ при реакции с  $\text{KMnO}_4$  не выделяется, то  $\text{R}=\text{CH}_3$  (толуол):



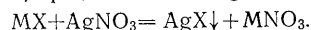
Жидкость А содержала  $\frac{5 \cdot 92 \cdot 8,243}{6 \cdot 158} = 4$  г толуола.



2 моль вещества  $\text{HX}$  выделяют 22,4 л  $\text{H}_2$ , а 1 г этого вещества, находящегося в смеси с толуолом, выделяет 0,622 л  $\text{H}_2$ . Отсюда  $M(\text{HX})=18$  г/моль, вещество  $\text{HX} - \text{H}_2\text{O}$ . Исходное вещество (жидкость А) — неоднородная смесь толуола (80%) и воды (20%), которая при перегонке не разделяется (азеотроп).



30. Пусть  $A_r(M)$  — относительная атомная масса металла, а  $A_r(X)$  — галогена в исходном галогениде  $\text{MX}$ . Сначала в растворе было  $(36,5 \cdot 50/100) = 17,8$  (г)  $\text{MX}$ , при добавлении  $\text{AgNO}_3$

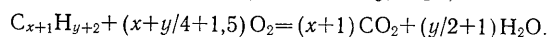
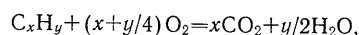


прореагировало  $\omega \cdot 100\%$  соли и выпало 17,8 $\omega$   $(108 + A_r(X))/(A_r(M) - A_r(X))$  г  $\text{AgX}$ . В растворе осталось 17,8(1- $\omega$ ) г  $\text{MX}$ . Масса раствора:  $50 + 10 - 17,8\omega(108 + A_r(X))/(A_r(M) + A_r(X))$  г. Отсюда содержание  $\text{MX}$  в растворе после добавления  $\text{AgNO}_3$ :

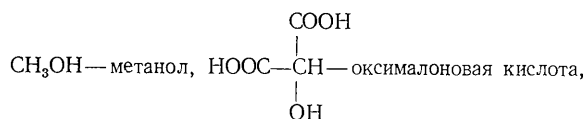
$$\frac{17,8(1-\omega)}{60 - 17,8\omega \cdot (108 + A_r(X))/(A_r(M) + A_r(X))} \cdot 100 = \frac{35,6}{1,2}.$$

Решая и преобразовывая уравнение, получаем  $A_r(M) + 0,7A_r(X) = 32$ , где  $A_r(M)$  и  $A_r(X)$  определяется с помощью периодической системы элементов: X — не фтор, так как AgF в осадок не выпадает. Бром и йод не подходят (для них  $A_r(M) < 0$ ). Значит, X — хлор ( $A_r(X) = 35,5$ ). Тогда  $A_r(M) = 7$ , т. е. M — литий. Исходная соль — хлорид лития LiCl.

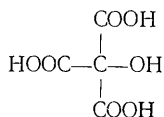
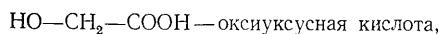
31. Для окисления группы —CH<sub>2</sub>— (гомологической разности) нужно три атома кислорода. Поэтому искомое вещество также должно окисляться тремя атомами кислорода, тогда следующий член гомологического ряда будет окисляться шестью атомами кислорода:



Примеры веществ, окисляемых тремя атомами кислорода (первые члены гомологических рядов):



CH<sub>2</sub>N<sub>2</sub> — дназометан,



трикарбоксиметанол.

32. При гидролизе эфира прореагировало воды:  $3,22 + 6,72 - 7,42 = 2,52$  г, или 0,14 моль. Если омылялся эфир RCOOR' ( $RCOOR' + H_2O = RCOOH + R'OH$ ), то его также было 0,14 моль. Отсюда:

$$7,42 - 0,14 \text{ моль,}$$

$$x \text{ г — 1 моль,}$$

$$x = 53;$$

$M_r(R) + M_r(R') = 53 - 44 = 9$ . Такого эфира быть не может. Значит,  $n(R) \neq n(R')$ , и омылялся эфир общей формулы  $RC(OR')_x$ . При  $x=3$ :  
 $RC(OR')_3 + 2H_2O = RCOOH + 3ROH$ ;  $M_r(\text{эфира}) = 106$ .  
 Кислоты получено 0,07 моль,  $M_r(HCOOH) = 46$ ; для спирта соответственно 0,21 моль и  $M_r = 32$ . Значит, исходный эфир  $(CH_3O)_3CH$ .

33. Солеобразное вещество, состоящее из двух элементов, один из которых водород, очевидно гидрид, т. е. соединение с  $H^-$ . Соединение с  $H^+$  обладало бы кислотными свойствами. Ясно, что второй элемент гидрида — более электроположительный, чем водород, и будет реагировать с  $HCl_3$  с отщеплением хлора. Тогда оставшиеся ионы в соединении друг с другом будут иметь формальные заряды  $X^{3+}$  и  $H^-$ . Указание на то, что А — газ, свидетельствует о следующем: во-первых, X — элемент, расположенный в III-A группе периодической системы и, во-вторых, элемент легкий. Можно, следовательно, предположить, что газ А, возможно, гидрид бора.

Соединение Б по условию не содержит брома ( $M = 62 < M_r(Br) = 80$ ), т. е. это либо продукт окисления А, либо продукт гидролиза. Вполне логично предположить, поскольку все происходило в воде, что В содержит водород и кислород. Фармакологические свойства Б указывают на борную кислоту  $H_3BO_3$ . Осадок по расчету  $AgBr$ :

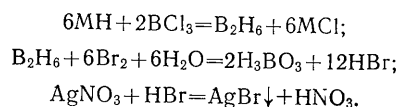
$$108 \text{ г Ag} - 57,45\%$$

$$x \text{ г} - 42,55\%$$

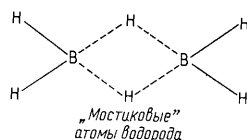
$$x = 80.$$

В конденсате была, таким образом, бромистоводородная кислота, т. е.  $HBr_2$  восстанавливается соединением А в  $Br^-$ . Это также указывает на то, что А — гидрид. На основании полученных данных можно предположить, что А — это  $BH_3$ , однако приведенная в условии задачи плотность 1,25 г/л свидетельствует о том, что  $M_r(A) = 28$ ; поэтому полученную формулу гидрида необходимо удвоить. В этом случае имеем  $B_2H_6$ .

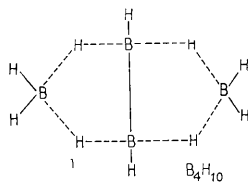
Уравнения упомянутых в условиях задачи химических реакций:



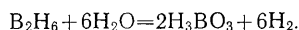
Очевидно, что такое соединение, как  $\text{B}_2\text{H}_6$  (диборан), структуру которого можно изобразить только так:



предполагает возможность существования триборана, тетраборана и других высших гомологов. Приведем в качестве примера структуру тетраборана:

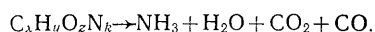


Реакция диборана с бромной водой проходит неоднозначно; может идти побочная реакция с водой, причем эта реакция идет в случае разбавления бромной воды:

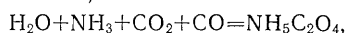


34. Из описания физических свойств ясно, что смесь содержит аммиак. Образование соли Д указывает на то, что одним из компонентов смеси является вода. Осадок с известковой водой говорит о том, что в смеси может содержаться  $\text{CO}_2$  либо  $\text{SO}_2$ . Очевидно, что В —  $\text{CO}_2$  или  $\text{SO}_2$ , Г —  $\text{H}_2\text{O}$ , В — именно  $\text{CO}_2$ , т. е. из  $\text{SO}_2$  нельзя получить никакого газа, кроме  $\text{H}_2\text{S}$ , а он не может быть получен взаимодействием  $\text{SO}_2$  с углем. Тогда Б — это  $\text{CO}$ , следовательно, Д — гидрокарбонат аммония  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ .

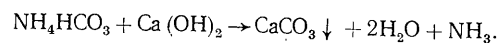
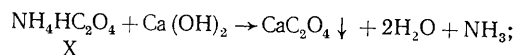
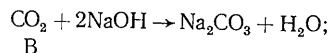
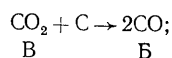
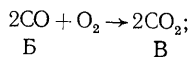
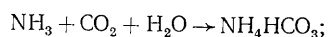
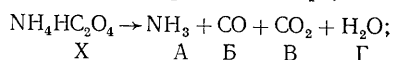
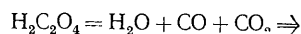
Таким образом, разложение происходило по схеме



Формулу соли можно вывести, если вспомнить, что из 1 моль соли получается по 1 моль всех продуктов, следовательно,



а установить ее структуру помогут те факты, что соли аммония дают  $NH_3$ , карбонаты —  $CO_2$ , а  $CO$  получают или из формиатов, или из оксалатов по следующим схемам:  $HCOOH = H_2O + CO$ ;



35. Из данных элементного анализа можно рассчитать соотношение числа атомов в молекуле соединения. В 1 г жидкости содержится

$$\frac{2,003 \cdot 12,011}{44,01} = 0,5467 \text{ (г) C,}$$

$$\frac{0,9722 \cdot 2,016}{18,014} + \frac{0,1718 \cdot 1,008}{36,45} = 0,1135 \text{ (г) H,}$$

$$\frac{0,1718 \cdot 35,453}{36,45} = 0,1671 \text{ (г) Cl,}$$

$$1,0000 - 0,1135 - 0,5467 - 0,1671 = 0,1727 \text{ (г) O.}$$



Брутто-формула  $C_xH_yCl_nO_p$ ;

$$\frac{0,5467}{12,011} : \frac{0,1135}{1,008} : \frac{0,1671}{35,453} : \frac{0,1727}{15,999} = x : y : n : p;$$

$$0,04554 : 0,1126 : 0,0047 : 0,0108 = x : y : n : p;$$

$$9,685 : 23,96 : 1 : 2,298 = x : y : n : p.$$

Соотношение атомов должно быть целочисленным, подобрать такое соотношение не представляется возможным. Вероятнее всего, жидкость — это смесь, на что указывает и температура ее кипения. Предположим сначала, что смесь состоит из двух компонентов. Возможны два варианта.

1. Cl и O присутствуют в одном соединении:

а) хлорзамещенные спирты и кислоты ассоциированы (водородная связь), кипят при высокой температуре и растворяются в воде;

б) хлорзамещенные альдегиды реагируют с  $Cu(OH)_2$ ;

в)  $\alpha$ -хлорзамещенные эфиры гидролизуются на холоду NaOH;

г)  $\beta$ -хлорзамещенные эфиры имеют высокие температуры кипения.

Значит, подобрать такое соединение не представляется возможным.

2. Cl и O присутствуют в различных соединениях:

а) по тем же причинам, что и в предыдущем варианте, отбрасываются спирты, кислоты и альдегиды;

б) йодэтан может дать только диэтиловый эфир; из кислородсодержащих соединений подходят только простые эфиры;

в) сложные эфиры не подходят либо потому, что имеют высокую температуру кипения, либо потому, что реагируют с  $Cu(OH)_2$  (дают формиаты).

Остается диэтиловый эфир:

$$x : y : p = 4 : 10 : 1;$$

$$x : y : p = 9,192 : 22,98 : 2,298.$$

Для второго вещества остается:

$$0,493 : 0,98 : 1 = x : y : n;$$

$$x : y : n = 1 : 2 : 2.$$

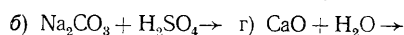
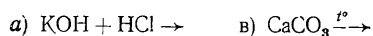
Из хлорсодержащих соединений подходят  $(\text{CH}_2\text{Cl}_2)_n$ , однако  $n=1$  невозможно, так как температура кипения выше, чем у дихлорметана  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  ( $40^\circ\text{C}$ ).

### § 5. ЗАДАЧИ НА ЗНАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И ХИМИЧЕСКУЮ ЭРУДИЦИЮ

Химическую эрудицию, понятно, никакими методическими рекомендациями не заменить. Поэтому мы рекомендуем почитать ряд книг для расширения и пополнения своих знаний (список литературы приведен в конце книги).

#### Задачи

1. Какая из реакций относится к реакциям соединения?



2. Какие Вы знаете вещества, которые можно использовать для осушки газов? Приведите примеры, опишите превращения.

3. В каждом вопросе предлагаемого задания содержится один правильный ответ. Вам необходимо ознакомиться с каждым вопросом и выбрать этот правильный ответ.

1. Почему речной песок желтого цвета, в то время как его основной компонент, оксид кремния(IV) — бесцветное вещество?

- а) потому что он влажный;
- б) из-за примеси оксидов железа;
- в) потому что он содержит серу;
- г) из-за примеси сурика ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ).

2. Какой из приведенных газов самый тяжелый (объемы одинаковы)?

- а)  $\text{SF}_6$ ; б)  $\text{SO}_2$ ; в)  $\text{H}_2\text{S}$ ; г)  $\text{K}_2$ .

3. В лаборатории оксид углерода(IV) получают в аппарате Киппа взаимодействием раствора соляной кислоты с карбонатом кальция. Почему его нельзя заменить карбонатом натрия?

- а) карбонат натрия не реагирует с соляной кислотой;
  - б) карбонат натрия растворим в воде;
  - в) карбонат натрия бурно реагирует с соляной кислотой;
  - г) карбонат натрия нерастворим в воде.
4. Какое из соединений наиболее целесообразно применять в качестве азотных удобрений? (Стоимость всех приведенных соединений предполагается одинаковой).
- а)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; б)  $\text{KNO}_3$ ; в)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; г)  $\text{NaNO}_3$ .
5. Массовая доля кислорода в воде (89%) значительно выше, чем в воздухе (23%). Почему же человек не может использовать для дыхания воду?
- а) в воде, кроме кислорода, содержится водород;
  - б) вода имеет очень большую теплоемкость;
  - в) кислород в воде находится в химически связанной форме;
  - г) вода жидкая.
6. Водород получается при термическом разложении;
- а)  $\text{H}_2\text{S}$ ; б)  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ; в)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; г)  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .
7. Почему вентили баллонов со сжатым кислородом нельзя смазывать маслом?
- а) кислород растворим в масле;
  - б) кислород будет загрязняться парами масла;
  - в) потому что кислород находится в баллоне под давлением;
  - г) масло реагирует со сжатым кислородом со взрывом.
8. Для осушения некоторых газов их пропускают через склянку с оксидом фосфора(V). Почему вслед за этой склянкой обычно ставят вторую, наполненную твердой щелочью?
- а) такая система позволяет осушать любые газы;
  - б) такое соединение склянок увеличивает общий объем системы;
  - в) щелочь и оксид фосфора(V) нельзя держать в одной склянке;
  - г) щелочь поглощает пары оксида фосфора(V).

9. Широкоизвестное железоорганическое соединение, ферроцен, имеющее формулу  $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ , при сгорании в кислороде образует:
- а)  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ , Fe;                      в)  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ;  
б)  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ;                г)  $\text{FeO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ .
10. Почему пламя свечи коптит, а пламя водородной горелки нет?
- а) в состав парафина входит углерод;  
б) температура пламени водородной горелки выше, чем пламени свечи;  
в) так как водород подается в горелку под давлением;  
г) у водорода мала относительная молекулярная масса.
11. Какой из металлов энергичнее реагирует с кислородом?
- а) Fe; б) Hg; в) Ag; г) Cu?
12. Кислород образуется при разложении:
- а)  $\text{CaCO}_3$ ; б)  $\text{H}_2\text{O}$ ; в)  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  
г)  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ?
13. Какое из перечисленных веществ можно использовать для осушения хлорида водорода?
- а) безводный карбонат калия; б) кристаллический гидроксид натрия; в) концентрированная серная кислота.
14. При растворении натрия в воде получается раствор:
- а) натрия; б) оксида натрия; в) гидроксида натрия; г) гидрида натрия.
15. Свойства какого из указанных элементов были представлены Д. И. Менделеевым еще до открытия этого элемента?
- а) магний; б) галлий; в) ртуть; г) водород.
16. В результате горения метана в избытке кислорода образуются:
- а) диоксид углерода;  
б) диоксид углерода и водород;  
в) диоксид углерода и вода;  
г) углерод (сажа) и вода.
4. Имеются сосуды, заполненные кислородом, воздухом, углекислым газом и азотом. Как распознать газы? Напишите соответствующие уравнения химических реакций.

5. Являются ли железная окалина и свинцовый сурик индивидуальными химическими веществами или нет?

6. Деревянные предметы горят на воздухе; пламя можно погасить водой. Фосфор также горит на воздухе. Можно ли его погасить водой? Что при этом будет происходить?

7. Известно, что растворы уксусной кислоты имеют максимальную плотность при массовой доле 70%. Как без проведения химического анализа определить, какова массовая доля кислоты в растворе уксусной кислоты, плотность которого меньше максимальной?

8. В комнату с температурой 25°С поместили два одинаковых стакана с дистиллированной водой и раствором серной кислоты с массовой долей 80%. Что можно сказать о температуре каждого из стаканов через некоторое время?

9. Может ли водород, полученный взаимодействием химически чистых цинка и соляной кислоты, содержать примеси? Если может, то какие? Предложите метод очистки водорода от примесей.

10. Какой прибор применяют для перегонки жидкостей? Нарисуйте схему этого прибора и кратко опишите принцип его действия.

11. Иногда кислород получают каталитическим разложением раствора пероксида водорода. Предложите устройство, которое обеспечивало бы постоянную скорость подачи кислорода в течение длительного промежутка времени, если активность катализатора линейно уменьшается в течение процесса.

12. Ортофосфорная кислота — более сильная, чем уксусная  $\text{C}_2\text{H}_3\text{COOH}$ , тем не менее фосфорит может растворяться в уксусной кислоте. Как можно объяснить это явление?

13. При обработке ультразвуковым излучением смеси крахмала, водного раствора йодида калия и тетраоксида углерода наблюдается появление синего окрашивания. Предложите объяснение этому явлению.

14. Изобразите графически зависимость удельной электропроводности водных растворов серной кислоты и сульфата калия от концентрации и объясните эту зависимость.

15. Известно, что при составлении периодической системы Д. И. Менделеев располагал элементы в порядке возрастания относительных атомных масс. Однако в некоторых случаях этот порядок был нарушен. Объясните, чем вызвано это нарушение, если атомные массы определены правильно. О каких элементах идет речь? Не является ли это нарушением периодического закона?

16. Приведите 3–4 примера реакций веществ с кислородом, одним из продуктов которых является простое вещество. Укажите условия проведения этих реакций.

17. Могут ли растворы двух солей, образованных одной и той же кислотой, изменять фиолетовую окраску лакмуса: одна в синий, другая — в красный цвет? Дайте мотивированный ответ и обсудите возможные варианты с конкретными примерами.

18. Два твердых вещества смешали и нагрели в фарфоровом тигле. Одним из продуктов реакции является вода. Какие вещества могли быть взяты, если известно, что ни одно из них при нагревании воду не выделяет? Рассмотрите принципиально различные варианты и приведите уравнения реакций.

19. Даны железокалиевые квасцы  $KFe(SO_4)_2 \cdot xH_2O$  и мел. Не пользуясь другими реактивами, получите чистые сульфаты калия, кальция и железа.

20. При пропускании озонированного кислорода через раствор йодида калия появляется окраска, а объем пропущенного газа не изменяется. Если тот же озонированный кислород пропускать через раствор пероксида водорода, объем пропущенного газа увеличивается, а оставшаяся жидкость не вызывает окрашивания раствора йодида калия. Объясните описанные процессы, приведите необходимые уравнения реакций. (Температура газов в жидкости постоянна, растворимостью газов пренебречь.)

21. При пропускании над активированным углем вещества А при  $600^\circ C$  образуется вещество Б, плотность паров которого по водороду в 3 раза больше, чем у вещества А и равна 60. При взаимодействии веществ Б и В образуется углеводород Г, причем на образование 1 моль вещества Г затрачивается 3 моль вещества В. О каких веществах идет речь? Напишите уравнения упомянутых реакций.

22. На основе знаний о химических свойствах классов соединений предскажите поведение в химических реакциях формиата (соли муравьиной кислоты) меди(II). Ответ подтвердите уравнениями реакций.

23. Известно, что разложение неорганических нитратов является окислительно-восстановительным процессом. Атомы каких элементов могут при этом окисляться и каких -- восстанавливаться? Рассмотрите возможные варианты и напишите уравнения соответствующих реакций.

24. При одновременном добавлении смеси растворов хлорида олова(II) и дихромата калия к 40%-му раствору серной кислоты, или к 40%-му раствору гидроксида калия образуются прозрачные растворы, отличающиеся по окраске. Напишите уравнения возможных реакций.

25. Цинковый и алюминиевый электроды, соединенные с контактами гальванометра, опустили в раствор поваренной соли. Гальванометр обнаружил электрический ток, идущий от цинка к алюминию (направление тока истинное). Если в раствор добавить нашатырный спирт, отклонение стрелки увеличивается. Если вместо нашатырного спирта взять раствор гидроксида натрия, стрелка отклоняется в противоположном направлении. Объясните описанные факты. Не противоречат ли описанные результаты опытов ряду стандартных электродных потенциалов?

26. Химический завод потребляет в качестве сырья природный газ и воду. Какую продукцию он может производить?

27. Может ли органическое соединение содержать 40% водорода? Если оно существует, то как его получить?

28. При внесении некоторого твердого вещества А в жидкость Б выделился газ X, поддерживающий горение деревянной лучины. Обсудите, что могут представлять собой вещества А, Б, X, и напишите возможные уравнения реакций.

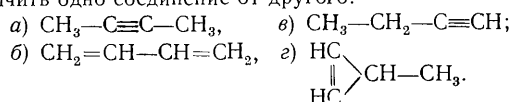
29. Какие устойчивые изомерные вещества могут соответствовать эмпирической формуле  $C_4H_8O$ ? Напишите их структурные формулы.

30. Какие различные вещества состава  $C_3H_xCl_y$  могут существовать? Дайте мотивированный ответ и укажите на нескольких примерах, какие виды изомерии возможны у этих соединений.

31. Спирты не проводят электрического тока, в то время как щелочи, также содержащие гидроксильную группу, в расплавленном состоянии или в водном растворе электрический ток проводят. Чем это объяснить?

32. Исходя из представлений о пространственном строении кратных связей, изобразите схемы взаимного расположения атомов в молекулах  $C_3H_4$  и  $C_3O_2$ . Какие свойства Вы можете предсказать для этих соединений?

33. Назовите следующие изомерные соединения и предложите реакции, с помощью которых можно отличить одно соединение от другого:



34. Вы, конечно, знаете общие формулы членов гомологических рядов – метана, этена, этина. Попробуйте вывести общую формулу членов любых гомологических рядов (не обязательно углеводородов), если известна формула первого члена этого ряда.

35. В одном научном эксперименте к водным растворам различных солей добавляли воду, меченную тяжелым кислородом  $^{18}O$ , а затем производили отгонку отдельных проб растворителя. В тех случаях, когда в растворе находились высокозарядные катионы (например, хрома или алюминия), оказалось, что непосредственно после смешения относительное содержание меченых молекул воды  $H_2^{18}O$ ,  $H_2^{16}O$  в пробе отогнанного растворителя больше, а в последующих пробах оно уменьшается, достигая постоянной величины. Если же в растворе имелись ионы калия или натрия, постоянные величины отношения  $H_2^{18}O : H_2^{16}O$  устанавливались существенно быстрее. Как объяснить результаты эксперимента?

36. Некоторое количество неизвестного вещества растворили в водном растворе этилового спирта, и

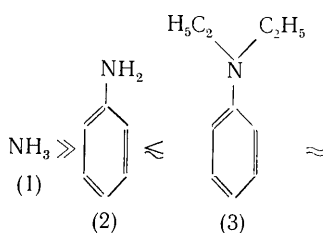


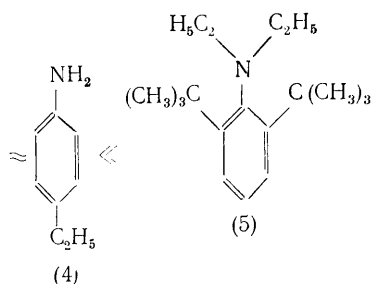
раствор с концентрацией вещества  $c_0$  запаяли в ампулу. Ампулу нагревали при  $100^\circ\text{C}$  длительное время, а затем охладили. Объясните, в каких случаях концентрация вещества  $c_1$ , полученного после нагревания раствора, может отличаться от исходной.

37. Свет, в котором электромагнитные колебания происходят в одной плоскости, называется плоскополяризованным. Существуют вещества, способные вращать плоскость поляризации такого света. Подобные вещества называются оптически активными. Обычно это свойство связано с наличием в молекуле асимметрического атома, т. е. атома углерода, связанного с четырьмя различными атомами или группами атомов. К таким соединениям относятся, например, молочная кислота  $\text{CH}_3\text{—CH(OH)—COOH}$ , бутанол-2 и др. Исходя из представлений о пространственном строении органических соединений, предложите все возможные изомеры, которые могут существовать для винной кислоты  $\text{HOOC—CH(OH)—CH(OH)—COOH}$ . Будет ли отличаться оптическая активность этих соединений в растворах различной концентрации и почему?

38. Сколько пространственных изомеров может иметь молекула 3-метил-3-этилциклопропан-1,2-дикарбоновой кислоты? Изобразите их строение.

39. Анилин, хотя и взаимодействует с кислотами, образуя соли, однако его основные свойства значительно слабее, чем у аммиака. Замещение атомов водорода при азоте на алкильные группы, например на этил, незначительно увеличивает основные свойства такого амина по сравнению с анилином. Так же действует и введение алкильных заместителей в кольцо в 4-е положение к аминогруппе.

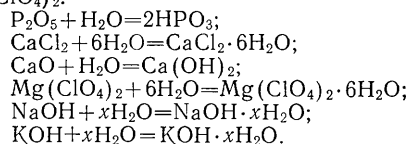




Однако N,N-диэтил-2,6-ди-трет-бутиланилин обладает резко выраженными основными свойствами и приближается по основности к аммиаку. Объясните причину снижения основности в соединениях 2, 3, 4 и сохранения ее в соединении 5.

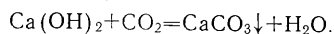
#### Решения

- $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ .
- Осушители:  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ .



- 1) - б; 2) - а; 3) - б; 4) - в; 5) - в; 6) - а; 7) - з; 8) - з; 9) - б; 10) - з; 11) - а; 12) - б; 13) - в (все 3 вещества способны связывать воду, но остальные реагируют с  $\text{HCl}$ ); 14) - в ( $2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2\uparrow$ ); 15) - б; 16) - в.

4. Газы можно распознавать с помощью тлеющей лучинки, которая гаснет в атмосфере азота или углекислого газа, тлеет в воздухе и ярко вспыхивает в кислороде. Азот можно отличить от углекислого газа пропусканием каждого из них через раствор  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; при пропускании  $\text{CO}_2$  в известковую воду наблюдается помутнение за счет выпадения в осадок карбоната кальция:



5. Состав железной окалины  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и свинцового сурика  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  постоянен и не зависит от способа получения. Их физические свойства постоянны и отличны от свойств смесей того же состава. Структура этих веществ установлена физическими методами (рентгенографией, электронографией), и на этом основании можно заключить, что указанные вещества — индивидуальные химические соединения.

6. Фосфор нельзя погасить малым объемом воды, так как он может в этих условиях реагировать с водой (фосфор соединяется с кислородом, содержащимся в молекуле воды). Большим объемом воды фосфор может быть погашен. При этом происходит значительный отвод теплоты, и температура становится ниже температуры воспламенения фосфора.

7. Согласно условию задачи построим график.

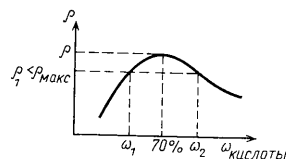


Рис. 3

Из графика видно, что плотность  $\rho_1$  может иметь раствор с массовой долей  $\omega_1$  (меньше  $70\%$ ) и  $\omega_2$  (больше  $70\%$ ). В первом случае при разбавлении раствора плотность его уменьшается, а во втором — возрастает, т. е. нужно добавить немного воды; плотность при этом либо увеличится (концентрация больше максимальной) либо уменьшится (концентрация меньше максимальной).

8. Температура раствора серной кислоты через некоторое время станет выше  $25^\circ\text{C}$  (из-за поглощения паров воды из воздуха), а температура воды будет меньше  $25^\circ\text{C}$  (за счет охлаждения при ее испарении).

3. По условию исходные вещества не содержат примесей, следовательно, водород может содержать только примеси паров воды и хлороводорода. Очистка: пропускание через трубку с твердой щелочью (или последовательно через воду и концентрированную серную кислоту).

10. Перегонка заключается в нагревании жидкости до кипения и конденсации ее паров в виде дистиллята в холодильнике. Поэтому прибор для перегонки жидкостей обязательно включает сосуд для нагревания жидкости, нагревательный прибор, холодильник и приемник для дистиллята. Наиболее часто в лабораторной технике применяют прибор, представленный на рис. 4.

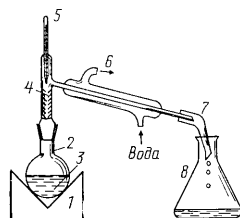
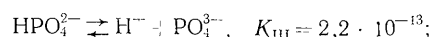
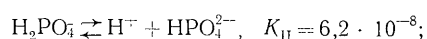
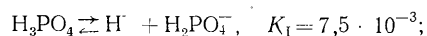


Рис. 4. 1 — электронагреватель; 2 — перегонная колба; 3 — перегоняемая жидкость; 4 — дефлегматор; 5 — термометр; 6 — холодильник; 7 — алонж; 8 — приемник дистиллята

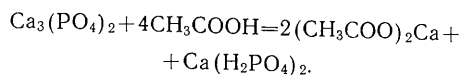
Принцип работы прибора: жидкость нагревается в колбе до кипения (обычно для равномерности кипения в колбу помещают пористые материалы-кипятильники); пары жидкости проходят через дефлегматор и попадают в холодильник, где, охлаждаясь, образуют конденсат, собирающийся в приемнике. Термометр служит для контроля температуры паров.

11. Таким устройством может быть аппарат Кипла с гидравлическим (или каким-нибудь еще) затвором на выходе, поддерживающим в аппарате постоянное давление.

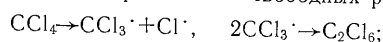
12. Ортофосфорная кислота трехосновна:



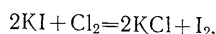
при этом она сильнее уксусной по первой ступени диссоциации ( $K_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,86 \cdot 10^{-5}$ ), а по второй и по третьей ступени — слабее. Таким образом, фосфорит растворяется в уксусной кислоте не с вытеснением  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , а с образованием кислой соли, лучше растворимой, чем средняя:



13. Синее окрашивание объясняется образованием комплекса йода с крахмалом. Ультразвук не может окислить йод, но приводит к распаду четыреххлористого углерода с образованием свободных радикалов.



Образующийся хлор вступает в реакцию с йодидом:



а выделяющийся йод дает синее окрашивание с крахмалом.

14. Концентрация серной кислоты меняется в интервале от 0 до 100%, а концентрация сульфата калия меняется в интервале от 0 до концентрации насыщенного раствора (рис. 5). Электропроводность водного раствора зависит от концентрации ионов растворенного вещества и их подвижности. У сильной кислоты электропроводность выше, чем у ее соли, из-за большой подвижности ионов гидроксония  $\text{H}_3\text{O}^+$ :

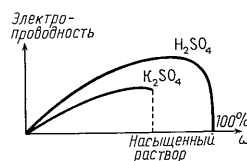
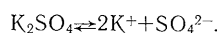
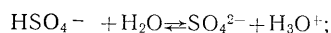
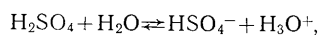


Рис. 5



С увеличением концентрации растворов электропроводность возрастает, так как возрастает концентрация ионов. Уменьшение электропроводности при больших концентрациях связано с ограниченной подвижностью ионов в концентрированных растворах, а для серной кислоты, помимо этого, еще и с уменьшением концентрации ионов.

15. По современным представлениям, свойства элементов находятся в периодической зависимости от зарядов ядер их атомов. Поскольку в середине XIX в. строение атома не было известно, Д. И. Менделеев связывал свойства элементов с атомными весами, которые, как теперь известно, возрастают почти монотонно с ростом заряда атомного ядра. Отклонение атомного веса (точнее относительной атомной массы) от монотонного возрастания с увеличением заряда наблюдается среди известных в настоящее время элементов в четырех случаях, когда элемент с большим зарядом ядра имеет меньшую относительную атомную массу: № 18 аргон ( $A_r=39,95$ ) — № 19 калий ( $A_r=39,10$ ); № 27 кобальт ( $A_r=58,93$ ) — № 28 никель ( $A_r=58,70$ ); № 52 теллур ( $A_r=127,60$ ) — № 53 йод ( $A_r=126,90$ ); № 90 торий ( $A_r=232,04$ ) — № 91 протактиний ( $A_r=231$ ).

В расположении этих элементов соблюдается возрастание зарядов ядер, поэтому, по современным представлениям, нарушения периодического закона в этом нет. Уменьшение относительной атомной массы с увеличением заряда в указанных случаях объясняется большей относительной распространенностью легких изотопов калия, никеля и йода.

16.  $4\text{HI} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{I}_2$  (окисление кислородом воздуха, на свету идет энергичнее)

$4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$  (горение в кислороде)

$2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{S}$  (горение при ограниченном доступе воздуха)

Азотсодержащие органические вещества  $+ \text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \dots$

17. Указанное явление может наблюдаться в двух принципиально отличных случаях:

1) одно и то же основание

$\text{Na}_2\text{HPO}_4$  — слабощелочная реакция,

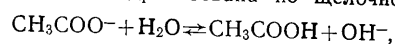
$\text{NaH}_2\text{PO}_4$  — слабокислая реакция;

2) разные основания

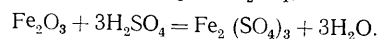
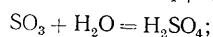
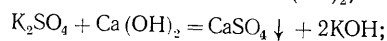
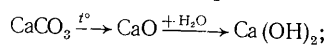
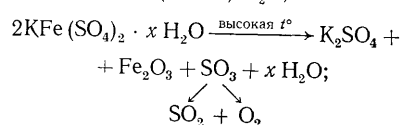
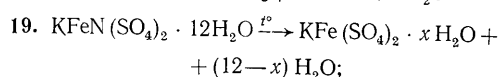
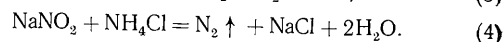
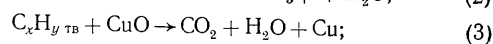
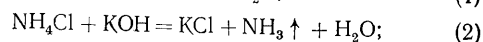
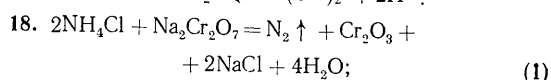
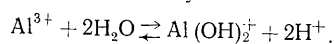
кислота средней силы:

одно основание сильное, например  $\text{NaOOCCH}_3$ ;  
 другое основание слабое, например  $\text{Al(OOCCH}_3)_3$ .

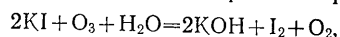
Первая соль гидролизована по щелочному типу



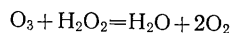
а вторая — по кислотному



20. При пропускании смеси озона и кислорода через раствор йодида калия протекает реакция

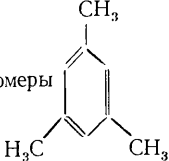


при которой объем газа не изменяется. В случае пероксида водорода

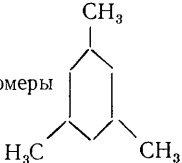


реакция протекает с увеличением объема газа, а раствор  $\text{H}_2\text{O}_2$  превращается в воду.

21. Вещества: А — метилацетилен;

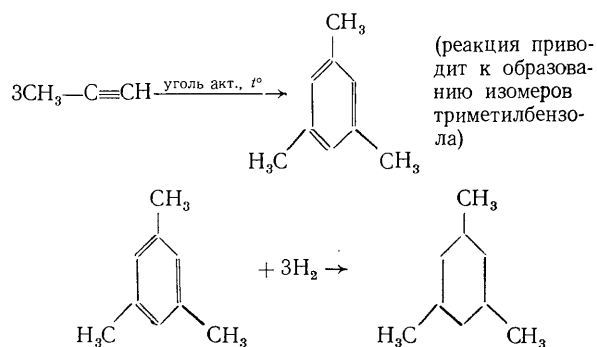
Б — триметилбензол (мезитилен) и изомеры 

В — водород, H<sub>2</sub>;

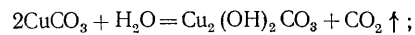
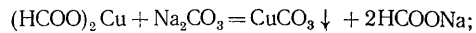
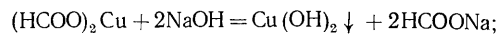
Г — триметилциклогексан и изомеры 

$$M_r(\text{Б}) = 60 \cdot 2 = 120; M_r(\text{А}) = 40.$$

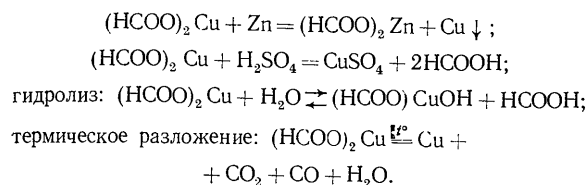
Уравнения реакций:



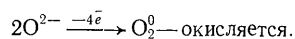
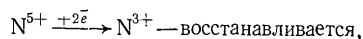
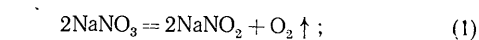
22. Формиат меди вступает в реакции, характерные для солей, т. е. ионов Cu<sup>2+</sup> и HCOO<sup>-</sup>, например:



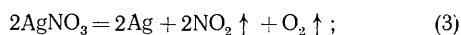
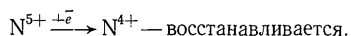




23.

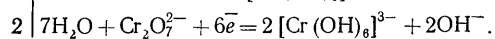
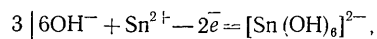
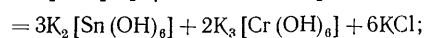
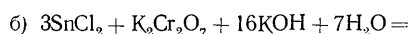
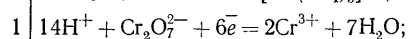
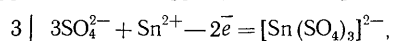
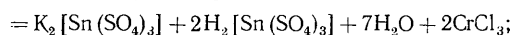
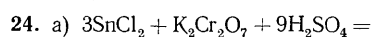
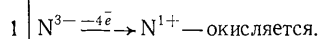
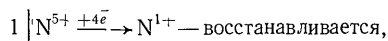
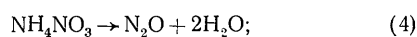
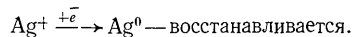


кислород — окисляется,



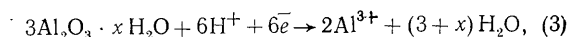
азот — восстанавливается,

кислород — окисляется,



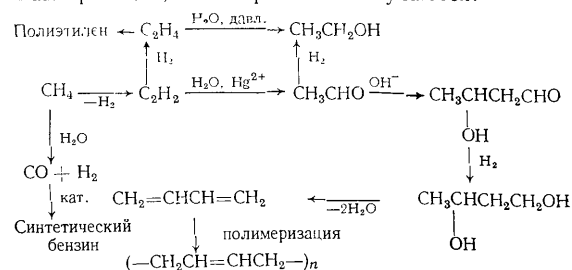
25. Истинное направление тока совпадает с направлением перемещения электронов. Применение раствора поваренной соли необходимо для увеличения электропроводности воды. Несмотря на то что алюминий более активен, чем цинк (см. ряд стандартных электродных потенциалов), ток идет от цинкового электрода, так как в данном случае алюминиевый электрод покрыт прочной оксидной пленкой, что резко снижает электронодонорные свойства алюминия по сравнению с цинком и больше соответствует системе

$Zn|NaCl \cdot aq|Al_2O_3 \cdot xH_2O|Al$ , а не  $Zn|NaCl \cdot aq|Al$ . Протекают следующие процессы:



причем (3) выражено сильнее, чем (2). При добавлении нашатырного спирта толщина оксидной пленки увеличивается, некомпенсированность процесса (3) процессом (2) возрастает и, следовательно, ток увеличивается. Гидроксид натрия, в отличие от водного раствора аммиака, растворяет оксидную пленку, так что на алюминиевом электроде процесс (2) начинает преобладать над (3), и направление протекания тока определяется только положением металла в ряду стандартных электродных потенциалов.

26. Неполный перечень химических продуктов, которые мог бы выпускать завод, используя в качестве сырья природный газ и воду, приведен со схемами реакций, по которым они получают:





30. Рассмотрим случаи изомеров, отвечающих составу  $C_3H_xCl_y$  при условии: а)  $x+y=6$  (галогенопроизводные непредельных и циклопарафинов, 24 изомера); б)  $x+y=8$  (галогенопроизводные предельных углеводородов, 26 изомеров).

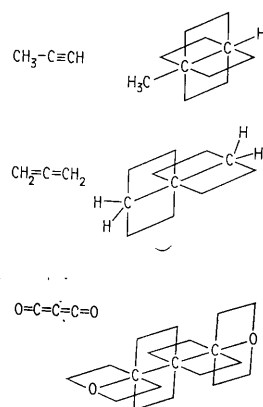
В случае (а) при различных значениях  $x$  и  $y$  могут быть вещества, отвечающие составу  $C_3H_6$ ,  $C_3H_5Cl$ ,  $C_3H_4Cl_2$ ,  $C_3H_3Cl_3$ , имеющие различные изомеры (изомерия гомологических рядов, положения, пространственная и оптическая).

В случае (б) при различных значениях  $x$  и  $y$  могут быть вещества, отвечающие составу  $C_3H_8$ ,  $C_3H_7Cl$ ,  $C_3H_6Cl_2$ ,  $C_3H_5Cl_3$ ,  $C_3H_4Cl_4$ .

31. Электропроводность находится в прямой зависимости от степени диссоциации вещества, последняя идет тем легче, чем связь полярнее.

Связь  $Na-OH$  — ионная,  $R-OH$  — ковалентная, первая диссоциирует хорошо, вторая практически не диссоциирует и соответственно водный раствор спирта не проводит.

32.



Общий принцип — чередование перпендикулярных плоскостей кратных связей. Для соединений будут характерны реакции присоединения.

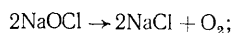
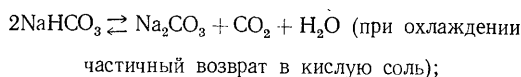
33. а) Бутин-2; б) бутadiен-1,3; в) бутин-1; г) 3-метилциклопропен; в) образует производные с металлами и вступает в реакцию Кучерова, б) и г) отличаются поведением в реакции с водным раствором перманганата калия.

34. Формула члена любого гомологического ряда —  $C_xH_yA_z$ , где А — атом или функциональный заместитель. Следующий член ряда содержит дополнительное звено  $CH_2$ , и его формула имеет вид  $C_{x+1}H_{y+2}A_z$ ; (n+1)-й член гомологического ряда имеет общую формулу  $C_{x+n}H_{y+2n}A_z$ .

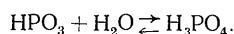
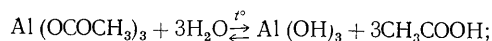
35. Высокочарядные катионы, как известно, окружены объемистой гидратной оболочкой. Скорость установления равновесия между  $H_2^{18}O$  и  $H_2^{16}O$  зависит: 1) от взаимной диффузии молекул воды; 2) от скорости обмена молекулами между гидратной оболочкой и раствором.

По первому признаку растворы, содержащие  $Al^{3+}$  и  $Na^+$ , одинаковы; по второму — скорость обмена у Na выше на несколько порядков и соответственно выше общая скорость установления равновесия между  $H_2^{18}O$  и  $H_2^{16}O$ .

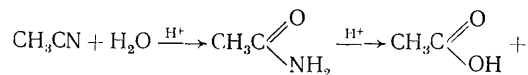
36. Очевидно, что концентрация изменилась а) либо за счет разложения вещества:

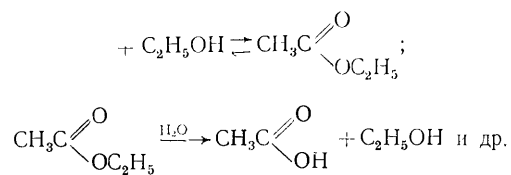


б) либо за счет реакции вещества с растворителем:



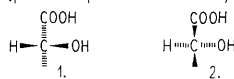
Взаимодействие органических веществ с растворителем:



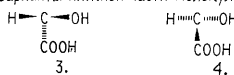


37. Заместители  $sp^3$ -гибризованного атома углерода располагаются в пространстве в вершинах тетраэдра.

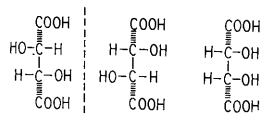
Варианты верхней части молекулы:



Варианты нижней части молекулы:



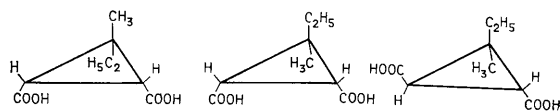
Возможные сочетания 1)–3); 1)–4); 2)–3); 2)–4); сочетания 2)–3) и 1)–4) одни и те же; остаются 1)–3), 2)–3) и 2)–4), дающие следующие структуры изомеров:



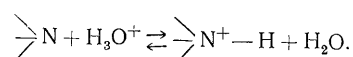
зеркальные изомеры

Оптическая активность раствора пропорциональна концентрации.

38.



39. Основность аммиака определяется наличием неподеленной пары электронов, локализованных на атоме азота:



Основность будет зависеть от степени свободы этой неподеленной пары, а также устойчивости соответствующего катиона аммония. В соединениях (2), (3) и (4) происходит сопряжение, «обобществление» неподеленной пары азота с  $\pi$ -системой бензольного кольца, в результате чего основность амина падает по сравнению с аммиаком. Стерические затруднения, вызываемые этильными и трет-бутильными группами в (5), приводят к развороту аминогруппы относительно связи C—N и исчезновению сопряжения. Поэтому основность (5) приближается к аммиаку, но не достигает ее из-за худшей сольватации положительного заряда катиона аммония. В соединениях (3) или (4) алкильные заместители стабилизируют положительный заряд образующегося катиона аммония или уменьшают сопряжение, подавая электроны в  $\pi$ -систему бензольного кольца (индуктивный эффект). Поэтому в этих соединениях основность выше, чем у анилина.

## § 6. ЗАДАЧИ НА РАСПОЗНАВАНИЕ ВЕЩЕСТВ

### 6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОДНОГО ИЛИ НЕСКОЛЬКИХ ВЕЩЕСТВ В ЦЕПОЧКАХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Все разновидности задач такого типа сводятся к следующему: задана зашифрованная буквами цепочка превращений неизвестных веществ, а также охарактеризованы некоторые их свойства. Необходимо расшифровать вещества и написать уравнения происходящих процессов.

Разнообразие веществ велико, и, казалось бы, можно составить бесконечное число цепочек. Но при определенных ограничениях (а они могут задаваться, например, учебной программой) качественная задача должна быть составлена на основании некоторых общих правил. Основное из них: должна при-

существовать «зацепка», от которой и начинается расшифровка всей цепочки превращений. К примеру, в сложной буквенной задаче имеется фраза: «выделяется газ с запахом тухлых яиц». Задача резко упрощается, поскольку газ — сероводород. Приведем примеры некоторых таких фаз:

$\text{NH}_3, \text{HCl}, \text{SO}_2$	Газ с резким запахом, изменяющий окраску влажной лакмусовой бумажки
$\text{CO}_2, \text{SO}_2$	Газ вызывает помутнение известковой воды
$\text{BaCrO}_4, \text{Ag}_3\text{PO}_4, \text{AgI}$	Желтый осадок
$\text{BaSO}_4$	Белый кристаллический осадок, нерастворимый в минеральных кислотах
$\text{NH}_4\text{Cl}, (\text{NH}_4)\text{CO}_3$ $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ , нитраты тяжелых металлов	Твердое вещество, легко разлагается при нагревании, образуя смесь газов
$\text{B}_2\text{H}_6, \text{N}_2, \text{C}_2\text{H}_4$ $\text{N}_2$ $\text{B}_2\text{H}_6, \text{SiH}_4, \text{SnH}_4$ $\text{B}_2\text{H}_6, \text{C}_2\text{H}_4$ $\text{C}_x\text{H}_y$	Выделяется газ с молекулярной массой 28 (вариант с плотностью 1,25 г/л (н. у.) или 14 по водороду), Продолжение: ... и не поддерживающий горение ... самовоспламеняющийся на воздухе; ... обесцвечивающий бромную воду; ... при горении которого выделяется газ, вызывающий помутнение известковой воды
$\text{Cl}^-, \text{I}^-, \text{Br}^-, \text{PO}_4^{3-}, \text{OH}^-$	Вещество, дающее осадок с раствором нитрата серебра
$\text{AgCl}, \text{Cu}(\text{OH})_2$ $\text{AgI}$	а) Растворяющийся в концентрированном растворе аммиака; б) Нерастворимый в водном аммиаке
Фенол, анилин Фенол и спирт; кислота и спирт	Осадок с бромной водой Два вещества реагируют с натрием с выделением водорода, со щелочью реагирует только одно из них



2,2,4-триметилпентан (этановый изооктан)	Эталон автомобильного топлива с октановым числом 100
Сплав Al или Zn с никелем	Сплав двух металлов, в кислоте растворяется полностью, в щелочи — частично; то, что осталось, является эффективным катализатором гидрирования олефинов

Видимо, ключом к решению зашифрованных задач являются реакции с очевидными зашифрованными составляющими. Превращения, зашифрованные в буквах, — это превращения неорганических и органических соединений, относящихся к разным классам: переходы оксид — кислота, оксид — основание, углеводород — спирт — альдегид — кислота и др., т. е. генетическая связь между различными классами химических соединений (см. схему на с. 252–253).

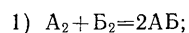
#### Задачи

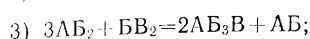
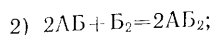
1. Вещество А энергично растворяется в воде с выделением газа Б, причем раствор имеет щелочную реакцию. Газ Б легко горит, способен реагировать с оранжево-красным веществом В, при этом образуется серебристо-белая тяжелая жидкость Г, которую, как известно, можно получить при нагревании вещества В. О каких веществах идет речь в задаче? Напишите уравнения упомянутых реакций.

2. При добавлении солей А, В и С к одинаковому количеству соляной кислоты (кислота в процессе реакции — в избытке) выделяется один и тот же газ, объемы которого относятся как 1:2:4. Что могут представлять собой А, В и С?

3. Металлы А и В принадлежат к одному периоду и одной группе периодической системы. Все соли металла А с обычными кислотами растворимы в воде. Металл Б восстанавливается из растворов своих солей серебром. Назовите оба металла. Приведите примеры солей металла А и реакцию восстановления металла Б.

4. Три химических элемента обозначены буквами А, Б, В. Подберите такой ряд химических реакций, который можно было бы зашифровать следующим образом:





5. Твердое вещество А голубого цвета было растворено в воде и к раствору добавлена щелочь. При этом образовался осадок голубого цвета Б. Нагревание вещества Б приводит к его почернению. Если же последний продукт продолжать нагревать в токе водорода, образуется вещество В красного цвета. Оно взаимодействует с одной из концентрированных минеральных кислот с образованием раствора исходного вещества А. Определите, что собой представляет вещество А и напишите уравнения соответствующих реакций.

6. Смесь двух веществ, представляющих собой красные порошки, нагрели в пробирке. После нагревания получено соединение А и простое вещество Б. Известно, что исходные красные порошки можно получить, нагревая вещество А в токе водорода, а Б — в атмосфере кислорода. Назовите состав исходных веществ и веществ А и Б. Напишите уравнения реакций.

7. Если к смеси порошков двух простых веществ А (темно-фиолетового цвета) и Б (серебристо-белого цвета) добавить несколько капель жидкости В, то произойдет бурная реакция образования вещества Г. Если вещество Г растворять в избытке раствора гидроксида натрия, то получается прозрачный раствор. При пропускании в этот раствор хлора выпадает белый осадок Д, а раствор окрашивается в бурый цвет. Если же вещество Г попытаться растворять в растворе аммиака, то осадок Д выпадает сразу же. Определите все вещества и напишите уравнения упомянутых реакций.

8. Белая нерастворимая в воде соль А взаимодействует в присутствии следов влаги с растворимым в воде кислотным оксидом Б. При этом выделяется газ В (плотность 1,964 г/л при н. у.) и остается твердый остаток Г, масса которого составляет 0,78 массы исходной смеси (если А и Б взяты в эквивалентных количествах). Определите вещества А, Б.

В, Г, если дополнительно известно, что А и Б реагируют в мольном отношении 1:1 и массы реагирующих веществ А и Б равны. Вещество А при достаточно сильном нагревании разлагается с выделением газа В и образованием белого твердого вещества Д (мольное отношение 1:1), причем Д при реакции с Б также образует Г.

9. Вещество А, хранившееся в темноте, не имеет запаха; однако, если его хранить на свету, обладает слабым запахом. При освещении из него образуется твердое вещество Б и газ В. Вещество Б растворяется в концентрированном водном растворе Г, при этом образуется раствор вещества Д и газ Е. Раствор Д снова переходит в раствор Г при действии газа Ж с резким запахом, имеющего кислые свойства и образующегося при реакции В с водородом. При смешении вещества В с раствором Д снова образуется А, а при смешении с газом Е и водой образуется раствор, содержащий Г и Ж. Расшифровать вещества А—Ж и написать уравнения всех указанных реакций.

10. Газ А имеет плотность в 3 раза больше, чем воздух. При взаимодействии с водой газа А на холоду и в темноте получается только кислота Б, которая на свету способна превращаться в две кислоты — В и Г. Если растворить в воде газ А, пропущенный предварительно через раскаленную стеклянную трубку, получатся тоже две кислоты — Б и В. При взаимодействии одного из продуктов термического разложения газа А с раствором щелочи в зависимости от условий получают соли кислот либо Б и В, либо В и Г. Укажите перечисленные вещества и напишите уравнения реакций, если известно, что одна из солей кислоты Г содержит 31,8% калия и 39,2% кислорода.

11. Два газа, А и Б, с резким запахом, в зависимости от условий, реагируют между собой по-разному:

а) в случае избытка А по схеме:  $8A + 3B = 6B + G$ ;  
(сухой газ)  
остаток

б) в случае избытка Б — по иной схеме:  
 $2A + 3B = G + 6D$ .  
(газ)

Белое вещество В обратимо разлагается при нагревании, образуя А и Д. Плотность Г составляет 1,25 г/л (н. у.). Расшифруйте перечисленные вещества.

12. Соль А окрашивает пламя в желтый цвет, а водный раствор ее имеет щелочную реакцию. При пропускании углекислого газа через раствор А в воде образуется осадок вещества Б, при прокаливании переходящий в В. Соединение В, реагируя с галогеноводородной кислотой Г, образует газ Д. Соль А можно получить реакцией В со щелочью Е или карбонатом Ж при сплавлении, а если одновременно с карбонатом Ж добавить в относительно небольших количествах еще несколько компонентов, то получится очень вязкая жидкость — продукт многотоннажного производства, с которой хорошо знаком каждый. Какие вещества упомянуты в условии задачи? Напишите уравнения реакций. Что Вы знаете о влиянии упомянутых выше «нескольких компонентов» на свойства последнего продукта?

13. Элемент Х входит в соединения А и Б, по-разному изменяющие окраску лакмуса. Вещество А сгорает в продуктах термического разложения Б, образуя среди прочих простое вещество Х. Продукт реакции А с Б, полученный при комнатной температуре, разлагается при сильном нагревании, образуя простые вещества Х, У и воду. Сжиганием А в У также получают вещество Х, в присутствии катализатора — вещество с молекулярной формулой ХУ, а при избытке У — смесь, дающую при растворении в воде соединение Б. О каких веществах идет речь? Приведите уравнения соответствующих реакций?

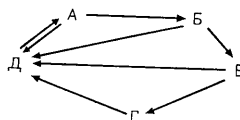
14. При действии избытка хлора на фосфор получено вещество А. С водой А образует Б и В. Со щелочью Б дает Г и воду. Взаимодействие В с карбонатом кальция приводит к Д и Е. При нагревании Е с углем образуется З. При взаимодействии Г и Д выпадает осадок Ж. При нагревании Ж с углем и диоксидом кремния образуется фосфор, силикат кальция и З. Определите вещества А—З и напишите уравнения соответствующих реакций.

15. Небольшие объемы чистого водорода в промышленности получают электролизом воды, применяя в качестве электролита серную кислоту. После

разложения большей части воды из электролита отобрали для анализа две одинаковые пробы, разбавили их водой в отношении 1:1 и к первой прибавили навеску порошка железа. Выделился газ без цвета и запаха, при нагревании взрывается. Ко второй порции электролита прибавили раствор сульфата железа (II). Выделение газа произошло и в этом случае, но его было значительно меньше и при нагревании с ним ничего не происходило. Дайте объяснение результатам анализа проб электролита.

16. Определите строение и назовите соединение бензольного ряда состава  $C_9H_8$ , если известно, что оно обесцвечивает бромную воду, вступает в реакцию Кучерова, реагирует с амидом натрия. При окислении исходное соединение дает бензойную кислоту.

17. Предложите вещества, химические свойства которых соответствуют приведенной схеме превращений (при действии других веществ или изомеризации). Количество промежуточных веществ в цикле не ограничено.



18. Вещество А состава  $C_3H_6O_3$  реагирует в присутствии серной кислоты с метанолом, образуя смесь веществ Б ( $C_4H_8O_3$ ), В ( $C_5H_{10}O_3$ ) и Г ( $C_6H_8O_4$ ), не реагирующих с гидрокарбонатом натрия. Последовательная обработка веществ А или Б металлическим натрием и йодистым метилом дает вещество В, которое после кипячения с раствором щелочи и подкисления раствора превращается в вещество Д ( $C_4H_8O_3$ ), в отличие от Б реагирующее с пищевой содой. Напишите структурные формулы описанных веществ и уравнения приведенных реакций.

19. Три вещества А, Б и В являются изомерами. Все они реагируют с аммиачным раствором оксида серебра, давая соответственно вещества Г, Д, Е и во всех трех случаях желтоватый осадок, содержащий 57,5% серебра. При окислении в мягких усло-

виях Г, Д и Е образуют соединения Ж, З, И, причем Ж и З, в отличие от И, вступают в реакцию серебряного зеркала с образованием веществ, образующих при прокаливании со щелочью один и тот же продукт – изобутан. Предложите структуру веществ, упомянутых в задаче, и напишите уравнения соответствующих реакций.

20. Предсказанный на основании теории строения и полученный А. М. Бутлеровым углеводород А пропустили над алюмохромовым катализатором дегидрирования при  $450^{\circ}\text{C}$ , при этом получилось два горючих газа: высококипящий Б и низкокипящий В. Газ В пропустили через водный раствор серной кислоты с массовой долей 64% – произошла катализируемая кислотой димеризация вещества В. В результате этой реакции образовалась смесь двух изомерных жидких продуктов Г и Д с относительной молекулярной массой, примерно вдвое большей, чем у исходного А. Продукты Г и Д после отделения от раствора кислоты и высушивания подвергли обработке горючим газом Б в присутствии катализатора – скелетного никеля. Из обоих веществ Г и Д образовалось одно и то же вещество Е, находящее применение как эталон автомобильного горючего с октановым числом 100. Дайте названия веществам А, Б, В, Г, Д и Е. Напишите схемы происходящих реакций.

21. Вещество А – полупродукт органического синтеза – окислили подкисленным раствором  $\text{KMnO}_4$ . При этом образовалось вещество Б, применяемое в производстве поливинилацетата, которое, реагируя с бромом в присутствии каталитических количеств фосфора, дает вещество В. При реакции с водой вещество В образует кислоту Г, соль которой реагирует с  $\text{KCN}$ , образуя соль кислоты Д. Кислый гидролиз Д в итоге приводит к образованию другого важного полупродукта органического синтеза – Е, который при осторожном нагревании с  $\text{P}_2\text{O}_5$  отщепляет 2 моль  $\text{H}_2\text{O}$  на 1 моль Е и образует газ Ж, при сжигании которого образуется только  $\text{CO}_2$ . Определите, о каких веществах идет речь и напишите уравнения протекающих реакций.

22. Бесцветный газ А, имеющий резкий запах, горит в кислороде с образованием распространенного

в природе газа Б, но в зависимости от условий может дать газ Х. Б образует с водородом вещество А и при обычных условиях с активным металлом М дает только одно твердое вещество В, легко разлагающееся водой с образованием А и Г. Если вместо воды взять раствор HCl, то получается вещество Д и хлорид М. Твердое белое вещество Г разлагается при нагревании, теряет на 1 моль Г 0,5 моль воды и переходит в вещество Е, которое реагирует с водородом, образуя воду и твердое вещество Ж; при электролизе расплава 1 моль вещества Ж на аноде выделяется 11,2 л (н. у.) водорода. Какие вещества упомянуты в задаче? Напишите уравнения их превращений. Какие соединения между Б и водородом Вы знаете и как их можно получить?

23. При хлорировании 2,2,3,3-тетраметилбутана выделили три продукта А, Б, В с общей формулой  $C_8H_{16}Cl_2$ . При дальнейшем хлорировании каждый из полученных продуктов образует трихлорпроизводные общей формулы  $C_8H_{15}Cl_3$ . Из соединения Б образовалось два трихлорпроизводных, а из соединений А и Б — по три. Написать структурные формулы соединений А, Б, В и продуктов их хлорирования. Предложите методы, позволяющие различать строение соединений А, Б, В.

24. При осторожном нагревании в токе азота твердого вещества А образуется широко распространенное в природе соединение Б, являющееся производным кислоты В, и летучая жидкость Г. В результате реакции Г с желто-зеленым газом Д в молярном соотношении 1:3 получается газ Е, водный раствор которого является кислотой, и вещество Ж, образующее под действием известковой воды вещество А и жидкость со специфическим запахом З, используемую как растворитель. При стоянии на свету в присутствии кислорода жидкость З частично окисляется с образованием газа И, который можно рассматривать как производное кислоты В, и газа Е.

Газ И реагирует с газом К, который получается при пропускании (высокая температура, давление) смеси газов Л и М, являющихся простыми веществами, над катализатором в стехиометрических объемных отношениях 1:3. При реакции К и И образуется ценное удобрение Н и соединение Р, которое

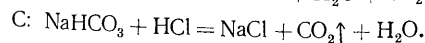
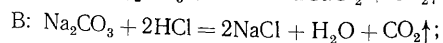
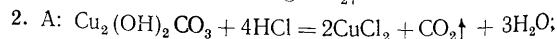
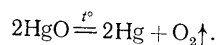
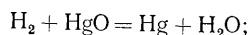
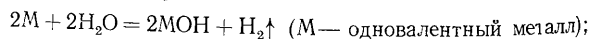
получается также из Е и К. При комнатной температуре М медленно гидролизуетсЯ водой, давая П (ангидрид кислоты В) и Е. Газ Е можно получить при взаимодействии на свету газов Д и М. Определите указанные в задаче вещества и напишите уравнения описанных реакций.

25. Избыток насыщенного углеводорода А прореагировал при нагревании с бурыми парами легколетучей жидкости Б. При этом образовалось только два новых органических вещества В и Г. Если любое из них прокипятить в водно-спиртовом хлориде аммония с цинковой пылью, то образующийся раствор приобретает способность выделять один и тот же осадок из аммиачного раствора оксида серебра. При этом из той же массы В образуется в 1,23 раза больше осадка, чем из Г. Определите строения веществ А, Б, В, Г. Напишите уравнения протекающих реакций. Приведите вариант решения задачи, если соотношение масс осадков В и Г — 1,20. Напишите соответствующие уравнения.

#### Решения

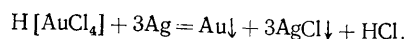
1. Серебристо-белой жидкостью может быть только расплавленный металл. Тяжелым жидким металлом при обычных условиях может быть только ртуть, на что указывает также оранжево-красный цвет ее соединения (одна из разновидностей оксида ртути). Газ Б восстанавливает оксид ртути до металлической ртути и выделяется из воды, поэтому Б — водород. Следовательно, А — активный металл, выделяющий водород из воды (щелочной или щелочноземельный металл).

Уравнения реакций:

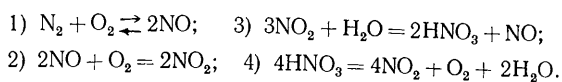




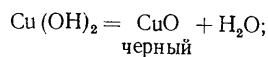
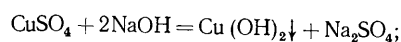
3. Металлы: цезий (Cs) и золото (Au). Соли цезия: CsCl, Cs<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и др.



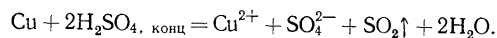
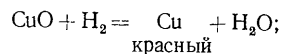
4. А—N, Б—O, В—H. Тогда:



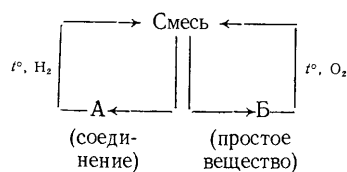
5. А — кристаллогидрат сульфата меди: CuSO<sub>4</sub> × 5H<sub>2</sub>O,



Б — гидроксид меди (II), В — медь.

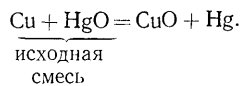
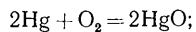
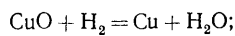


6.

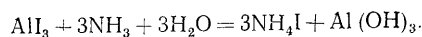
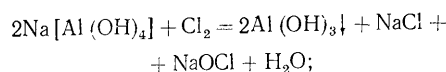
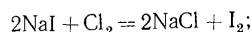
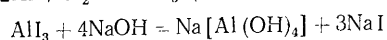
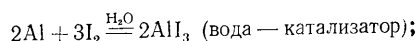


Б — окисляется (образуется оксид красного цвета), А — восстанавливается (образуется металл красного цвета).

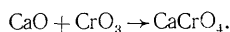
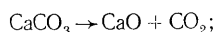
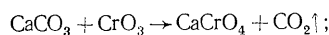
Следовательно, А — CuO, Б — Hg;



7. Вещества А, Б, В, Г и Д — это йод, алюминий, вода, йодид алюминия и его гидроксид соответственно.

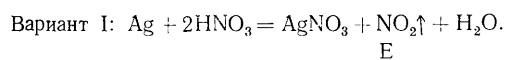
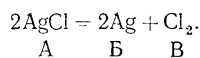


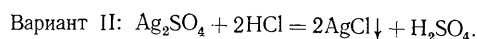
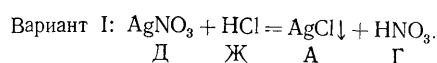
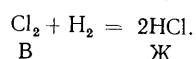
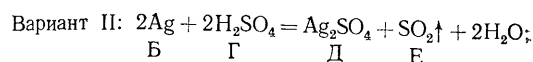
8. Газ В имеет молярную массу  $1,964 \cdot 22,4 = 44$  (г/моль), такую же, как у  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ . Условиям задачи удовлетворяет только диоксид углерода. Учитывая стехиометрические и массовые соотношения, оговоренные в условии, получаем, что относительная молекулярная масса Г равна  $44 / (1 - 0,78) \cdot 0,78 = 156$ . Исходя из условия, относительные молекулярные массы А и Б равны и составляют  $(156 + 44) / 4 = 100$ . Всем условиям задачи удовлетворяют  $\text{CaCO}_3$  — А и  $\text{CrO}_3$  — Б:



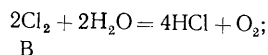
Таким образом, В —  $\text{CO}_2$ , Г —  $\text{CaCrO}_4$ , Д —  $\text{CaO}$ .

9. Наличие запаха при фоторазложении и образование при этом двух веществ позволяют предположить, что исходное вещество — хлорид серебра (бром и йод — не газы;  $\text{F}_2$  не может быть выделен),



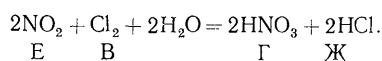
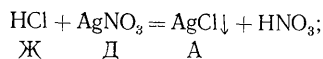
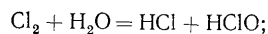


Ключевая реакция с отбросом варианта II:



В

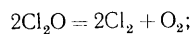
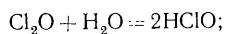
точнее,

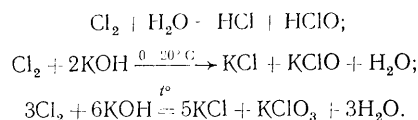


10. Из условия электронейтральности молекулы для соли кислоты Г имеем

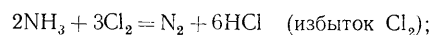
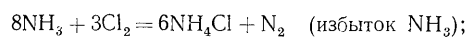
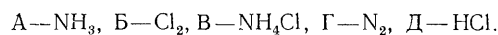
$$\frac{(+1) \cdot 31,8}{39} + \frac{n \cdot (100 - 31,8 - 39,2)}{A_r} + \frac{(-2) \cdot 39,2}{16} = 0,$$

$A_r$  — относительная атомная масса неизвестного элемента, а  $n$  — его степень окисления. Из уравнения  $A_r = 7,1n$  (для  $n=5$ )  $A_r = 35,5$ , т. е. неизвестный элемент — хлор. Соль кислоты Г —  $\text{KClO}_3$ . Газ, содержащий хлор, с относительной молекулярной массой  $29 \cdot 3 = 87$  — оксид хлора (I)  $\text{Cl}_2\text{O}$  (вещество А). Значит, Б —  $\text{HClO}$ , В —  $\text{HCl}$ , Г —  $\text{HClO}_3$ .

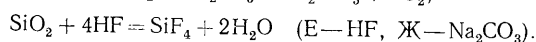
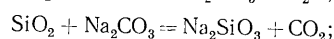
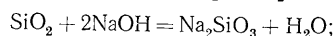
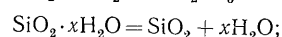
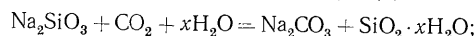




11. Так как плотность Г составляет 1,25 г/л (н. у.), то его относительная молекулярная масса равна 28, что может соответствовать азоту, тогда:



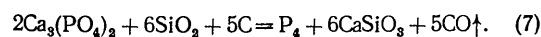
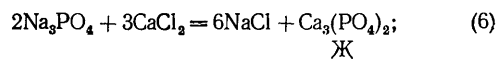
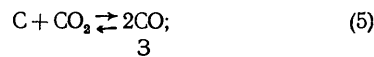
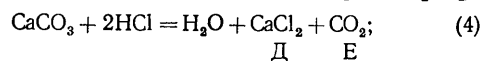
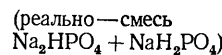
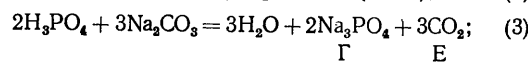
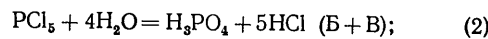
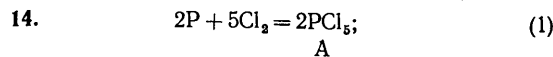
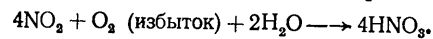
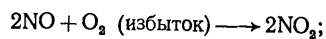
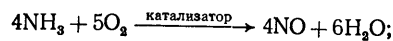
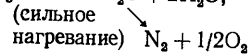
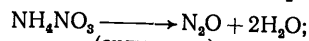
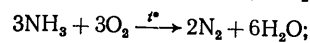
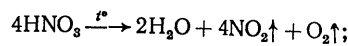
12. По окраске пламени и щелочной реакции можно сделать вывод, что А — натриевая соль. Далее можно сделать вывод, что кислота слабая, вытесняется даже угольной. Продукт многотоннажного производства — это, по всей видимости, стекло. Из высказанного предположения однозначно следует, что В — это  $\text{SiO}_2$ , Б —  $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ . Ни одна галогеноводородная кислота, кроме плавиковой, не реагирует с  $\text{SiO}_2$ , т. е. Г — это HF, а Д —  $\text{SiF}_4$ .



Стеклообразующими материалами в стекольном производстве являются кварцевые пески, сода, известняк, поташ (карбонат калия), сульфат натрия, борная кислота, глинозем или каолин, фосфаты и др. Для окраски стекол добавляют оксиды кобальта, никеля, марганца, хрома, урана, меди, а также хлорид золота и др. Селен, оксиды марганца являются обесцвечивающими стекло материалами; фосфаты, криолит, фторид кальция, соединения олова придают стеклу матовый оттенок и применяются в производстве «молочного» стекла.

13. Описана химия азота (X – азот, Y – кислород, А – NH<sub>3</sub>, Б – HNO<sub>3</sub>).

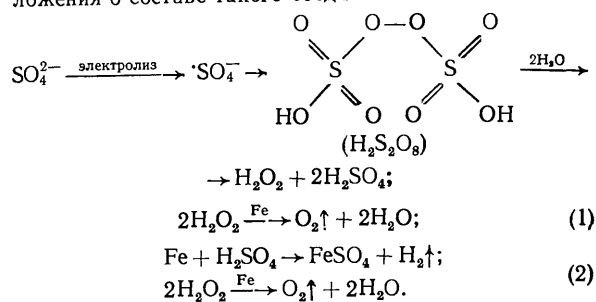
Уравнения приведенных реакций:



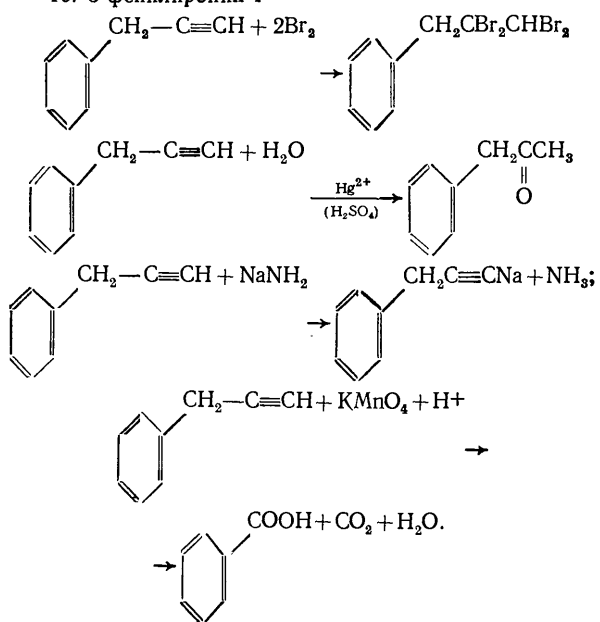
15. Взрывающийся при нагревании газ – это, очевидно, смесь водорода и кислорода; вторым газом не может быть ничего, кроме кислорода. Оксиды серы выделяться при реакции железа с серной кислотой не могут, поскольку кислота разбавлена (по условию).

Известно, что кислород может выделяться при каталитическом разложении пероксида водорода, ко-

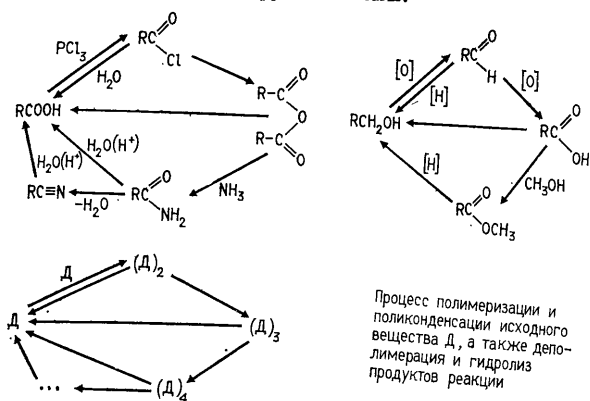
торый, очевидно, образовался при разложении перекисного соединения водой. Можно сделать предположения о составе такого соединения:



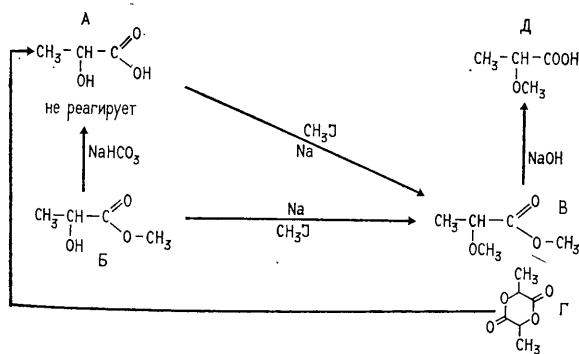
#### 16. 3-фенилпропин-1



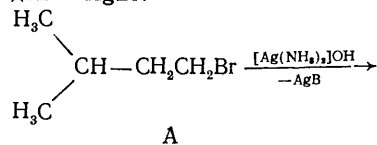
17. Примеры расшифровки схемы:

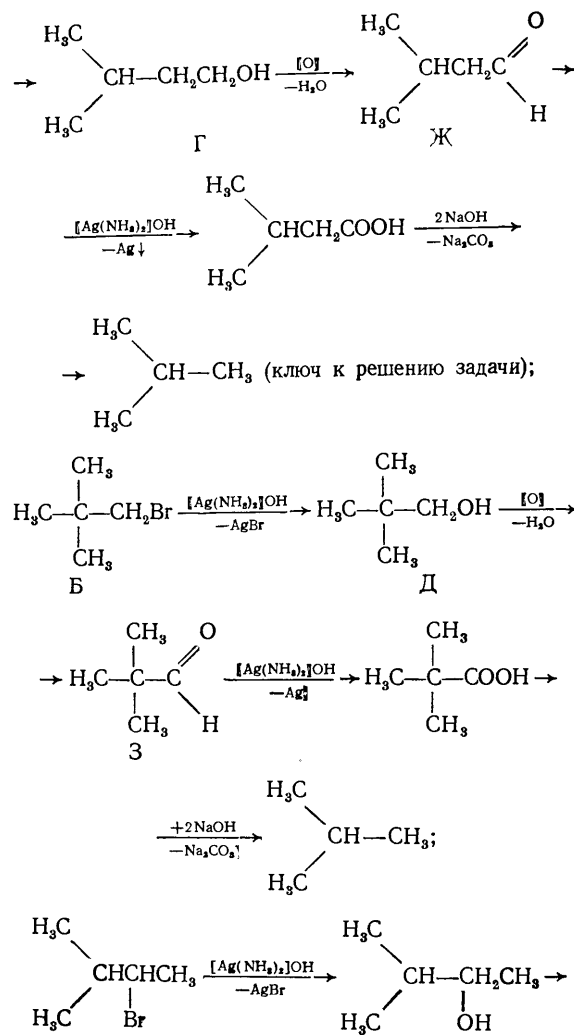


18. Схема описанных превращений:

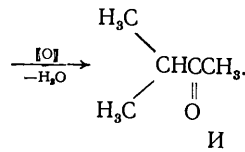


19. Осадок — AgBr.

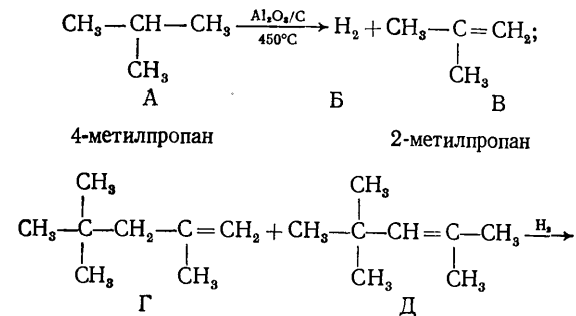




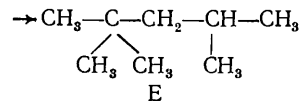




20. Ключ к решению задачи:  $M(\text{E}) = 2 = M(\text{Г}) = M(\text{Г}) \approx 2M(\text{A})$ , т. е. А – изомерный бутан:

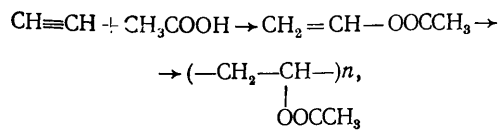


2,2,4-триметилпент-4-ен      2,2,4-триметилпент-3-ен

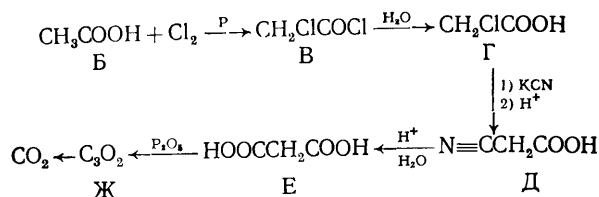


2,2,4-триметилпентан (эталонный изооктан).

21. После окисления получили Б, которое не может быть  $\text{CH}\equiv\text{CH}$ . Второй компонент, применяющийся в производстве поливинилацетата –  $\text{CH}_3\text{COOH}$ :

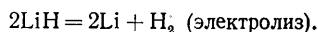
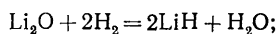
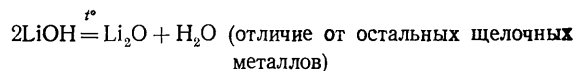
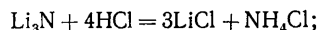
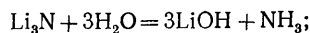
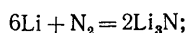
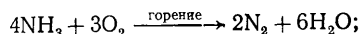
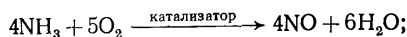


т. е. А –  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ .



22. Поскольку при электролизе расплава 1 моль Ж на аноде выделяется 11,2 л (0,5 моль)  $\text{H}_2$ , это вещество — гидрид одновалентного металла.

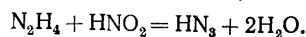
Химическим превращениям, описанным в условии, удовлетворяют вещества: А —  $\text{NH}_3$ , Б —  $\text{N}_2$ , В —  $\text{Li}_3\text{N}$ , Г —  $\text{LiOH}$ , Д —  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , Е —  $\text{Li}_2\text{O}$ , Ж —  $\text{LiH}$ , М —  $\text{Li}$ , X —  $\text{NO}$ .



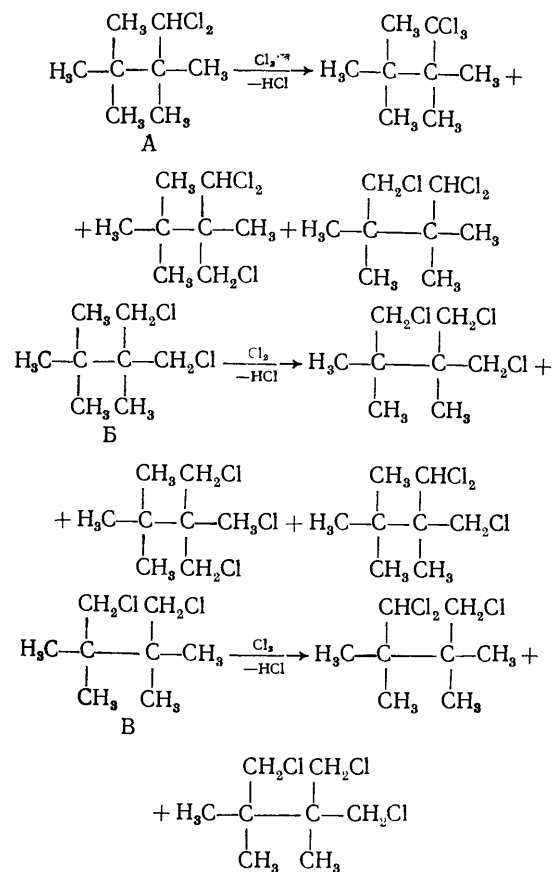
Соединения Б (азота) с водородом:  $\text{NH}_3$  — аммиак, получают синтезом из  $\text{H}_2$  и  $\text{N}_2$ ;  $\text{N}_2\text{H}_4$  — гидразин, получают окислением аммиака гипохлоритом натрия в присутствии желатины:



$\text{HN}_3$  — азотистоводородная кислота, которая может быть получена в результате следующей реакции:

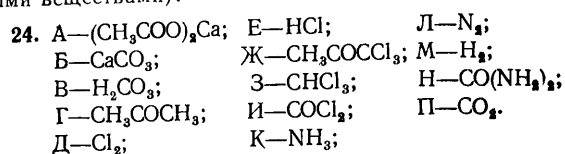


23.

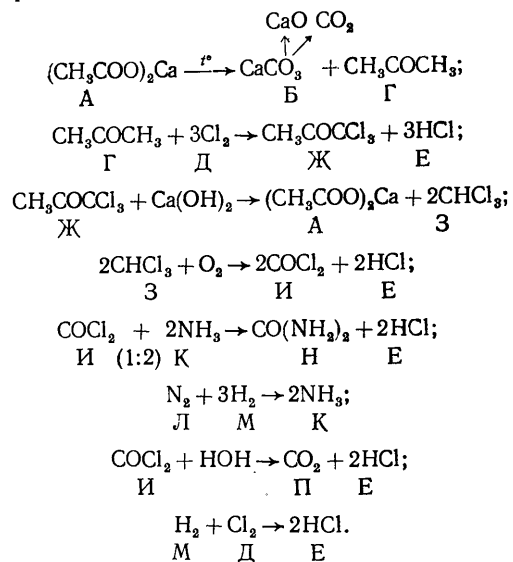


Методы распознавания:  
 — физические (т. пл., т. кип. и т. д.), если эти вещества существуют и описаны в справочнике;  
 — физико-химические (спектроскопия ИК и ЯМР);

— химические (по продуктам реакции с различными веществами).



Уравнения реакций:

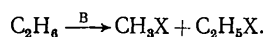


25. Насыщенный углеводород А может вступать в реакции замещения и подвергаться расщеплению по углерод-углеродной связи.

Рассмотрим случай, когда углеводорода А был взят избыток. Тогда продукты В и Г могут быть преимущественно монозамещенными и углеводород А содержит два типа атомов водорода, В и Г — соответствующие монозамещенные. Но в этом случае они являются изомерами и после восстановления цинко-

вой пылью должны давать одинаковые количества продуктов, способных реагировать с аммиачным раствором оксида серебра (реактивом Толленса). Следовательно, этот вариант не подходит.

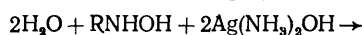
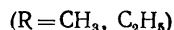
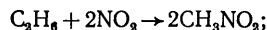
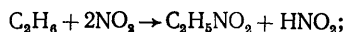
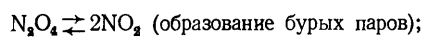
Рассмотрим случай, когда одновременно протекают две реакции: расщепления и замещения. Только два продукта при этом могут дать лишь этан и циклоалканы (скорее всего, циклопропан). Если А — этан, то идет реакция



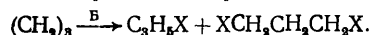
Так как обработка реактивом Толленса приводит к одному и тому же осадку, следует предположить, что  $CH_3X$  и  $C_2H_5X$  вступали в аналогичные реакции, при этом отношение масс осадков равно отношению молярных масс  $CH_3X$  и  $C_2H_5X$ :

$$\frac{2 \cdot 12 + 5 \cdot 1 + M_r(X)}{1 \cdot 12 + 3 \cdot 1 + M_r(X)} = 1,23.$$

Отсюда  $M_r(X) = 46$ , т. е. X — это  $NO_2$ . Следовательно, протекали реакции:



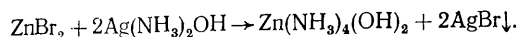
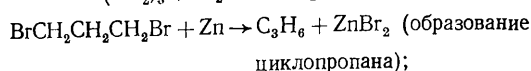
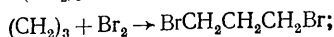
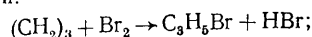
Таким образом, для рассмотренного случая имеем А — этан, В —  $N_2O_4$ , В —  $CH_3NO_2$ , Г —  $C_2H_5NO_2$ . При другом соотношении масс осадков подходит вариант когда А — циклопропан, идет реакция:



Отношение масс осадков равно отношению эквивалентов В и Г:

$$2 \cdot \frac{3 \cdot 12 + 5 \cdot 1 + M_r(X)}{3 \cdot 12 + 6 \cdot 1 + M_r(X)} = 1,20.$$

Отсюда  $M_r(X) = 30$ , жидкость Б — бром. Протекали реакции:



А — циклопропан, Б — бром, В — 1,3-дибромпропан, Г — бромциклопропан.

Предположения, что А является циклоалканом с числом атомов углерода в кольце большим, чем три, не приводят к разумному ответу.

#### 6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОДНОГО ИЛИ НЕСКОЛЬКИХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВАНИИ КАЧЕСТВЕННЫХ РЕАКЦИЙ

Решение качественных задач по определению веществ, находящихся в склянках без этикеток, предполагает проведение ряда операций, по результатам которых можно определить, какое вещество находится в той или иной склянке.

Первым этапом решения является мысленный эксперимент, представляющий собой план действий и их предполагаемые результаты. Для записи мысленного эксперимента используется специальная таблица-матрица, в ней обозначены формулы определяемых веществ по горизонтали и вертикали. В местах пересечения формул взаимодействующих веществ записываются предполагаемые результаты наблюдений:  $\uparrow$  — выделение газа,  $\downarrow$  — выпадение осадка, указываются изменения цвета, запаха или отсутствие видимых изменений. Если по условию задачи возможно применение дополнительных реактивов, то результаты их использования лучше записать перед составлением таблицы — число определяемых веществ в таблице может быть таким образом сокращено.

Решение задачи будет, следовательно, состоять из следующих этапов:

— предварительное обсуждение отдельных реакций и внешних характеристик веществ;

- запись формул и предполагаемых результатов попарных реакций в таблицу;
- проведение эксперимента в соответствии с таблицей (в случае экспериментальной задачи);
- анализ результатов реакций и соотнесение их с конкретными веществами;
- формулировка ответа задачи.

Необходимо подчеркнуть, что мысленный эксперимент и реальность не всегда полностью совпадают, так как реальные реакции осуществляются при определенных концентрации, температуре, освещении (например, при электрическом свете  $\text{AgCl}$  и  $\text{AgBr}$  идентичны). Мысленный эксперимент часто не учитывает многих мелочей. К примеру,  $\text{Br}_2/\text{aq}$  прекрасно обесцвечивается растворами  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ; образование осадка  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  не идет в сильноокислой среде, так как сама кислота не дает этой реакции; глицерин образует комплекс с  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ , но не образует с  $(\text{CuOH})_2\text{SO}_4$ , если нет избытка щелочи, и т. д. Реальная ситуация не всегда согласуется с теоретическим прогнозом, и в этой главе таблицы-матрицы «идеала» и «реальности» иногда будут отличаться. А чтобы разбираться в том, что же происходит на самом деле, ищите всякую возможность работать руками экспериментально на уроке или факультативе (помните при этом о требованиях техники безопасности).

**Пример 1.** В пронумерованных склянках содержатся растворы следующих веществ: нитрата серебра, соляной кислоты, сульфата серебра, нитрата свинца, аммиака и гидроксида натрия. Не используя других реактивов, определите, в какой склянке раствор какого вещества находится.

**Решение.** Для решения задачи составим таблицу-матрицу, в которую будем заносить в соответствующие квадратики ниже пересекающей ее диагонали данные наблюдения результатов сливания веществ одних пробирок с другими.

Наблюдение результатов последовательного приливания содержимого одних пронумерованных пробирок ко всем другим:

1+2 — выпадает белый осадок;

1+3 — видимых изменений не наблюдается;

Вещества	1. AgNO <sub>3</sub>	2. HCl	3. Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4. NH <sub>4</sub> OH	5. NaOH
1. AgNO <sub>3</sub>	×	AgCl↓ белый	—	выпадающий осадок растворяется	Ag <sub>2</sub> O↓ бурый
2. HCl	↓белый	×	PbCl <sub>2</sub> ↓ белый↓	—	—
3. Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	—	белый PbCl <sub>2</sub> ↓	×	Pb(OH) <sub>2</sub> ↓ (помутнение)	Pb(OH) <sub>2</sub> ↓ белый
4. NH <sub>4</sub> OH	—	—	↓(помутнение)	×	—
5. NaOH	↓бурый	—	↓белый	—	×

1+4 — в зависимости от порядка сливания растворов может выпасть осадок;

1+5 — выпадает осадок бурого цвета;

2+3 — выпадает осадок белого цвета;

2+4 — видимых изменений не наблюдается;

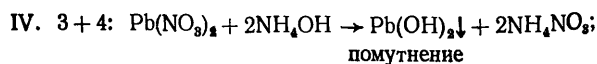
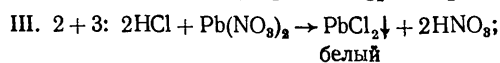
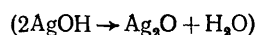
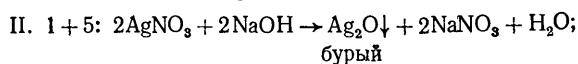
2+5 — видимых изменений не наблюдается;

3+4 — наблюдается помутнение;

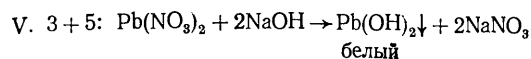
3+5 — выпадает белый осадок;

4+5 — видимых изменений не наблюдается.

Запишем далее уравнения протекающих реакций в тех случаях, когда наблюдаются изменения в реакционной системе (выделение газа, осадка, изменение цвета) и занесем формулу наблюдаемого вещества и соответствующий квадратик таблицы-матрицы выше пересекающей ее диагонали:





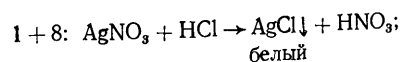
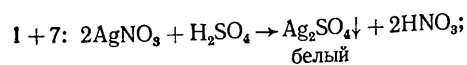
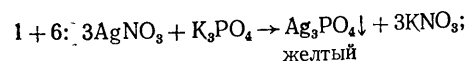
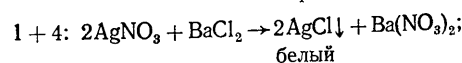
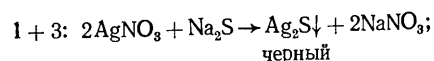
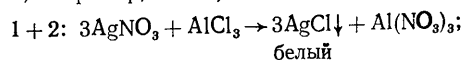


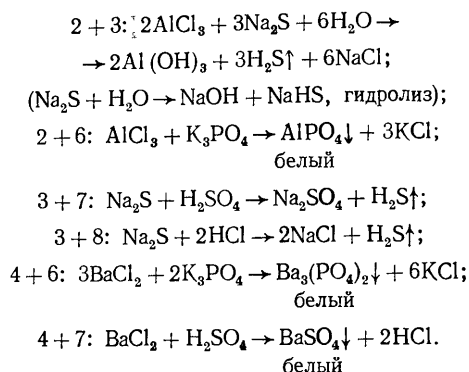
(при приливании нитрата свинца в избыток щелочи осадок может сразу раствориться).

Таким образом, на основании пяти опытов различаем вещества, находящиеся в пронумерованных пробирках.

**Пример 2.** В восьми пронумерованных пробирках (от 1 до 8) без надписей содержатся сухие вещества: нитрат серебра (1), хлорид алюминия (2), сульфид натрия (3), хлорид бария (4), нитрат калия (5), фосфат калия (6), а также растворы серной (7) и соляной (8) кислот. Как, не имея никаких дополнительных реактивов, кроме воды, различить эти вещества?

**Решение.** Прежде всего растворим твердые вещества в воде и отметим пробирки, где они оказались. Составим таблицу-матрицу (как в предыдущем примере), в которую будем заносить данные наблюдения результатов сливания веществ одних пробирок с другими ниже и выше пересекающей ее диагонали. В правой части таблицы введем дополнительную графу «общий результат наблюдения», которую заполним после окончания всех опытов и суммирования итогов наблюдений по горизонтали слева направо (см., например, с. 178).





Видимых изменений не происходит только с нитратом калия.

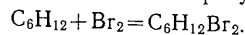
По тому, сколько раз выпадает осадок и выделяется газ, однозначно определяются все реагенты. Кроме того,  $\text{BaCl}_2$  и  $\text{K}_3\text{PO}_4$  различают по цвету выпавшего осадка с  $\text{AgNO}_3$ :  $\text{AgCl}$  — белый, а  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  — желтый. В данной задаче решение может быть более простым — любой из растворов кислот позволяет сразу выделить сульфид натрия, им определяются нитрат серебра и хлорид алюминия. Нитратом серебра определяются среди оставшихся трех твердых веществ хлорид бария и фосфат калия, хлоридом бария различают соляную и серную кислоты.

**Пример 3.** В четырех пробирках без этикеток находятся бензол, хлоргексан, гексан и гексен. Используя минимальные количества и число реактивов, предложите метод определения каждого из указанных веществ.

**Решение.** Определяемые вещества между собой не реагируют, таблицу попарных реакций нет смысла составлять.

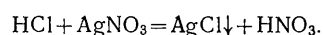
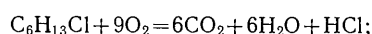
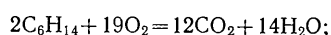
Существует несколько методов определения данных веществ, ниже приведен один из них.

Бромную воду обесцвечивает сразу только гексен:



Хлоргексан можно отличить от гексана, пропуская продукты их сгорания через раствор нитрата се-

ребра (в случае хлоргексана выпадает белый осадок хлорида серебра, нерастворимый в азотной кислоте, в отличие от карбоната серебра):



Бензол отличается от гексана по замерзанию в ледяной воде (у  $C_6H_6$  т. пл. =  $+5,5^\circ C$ , а у  $C_6H_{14}$  т. пл. =  $-95,3^\circ C$ ).

#### Задачи

1. В два одинаковых химических стакана налиты равные объемы: в один воды, в другой — разбавленного раствора серной кислоты. Как, не имея под рукой никаких химических реактивов, различить эти жидкости (пробовать растворы на вкус нельзя)?

2. В четырех пробирках находятся порошки оксида меди(II), оксида железа(III), серебра, железа. Как распознать эти вещества, используя только один химический реактив? Распознавание по внешнему виду исключается.

3. В четырех пронумерованных пробирках находятся сухие оксид меди(II), сажа, хлорид натрия и хлорид бария. Как, пользуясь минимальным количеством реактивов, определить, в какой из пробирок находится какое вещество? Ответ обоснуйте и подтвердите уравнения соответствующих химических реакций.

4. В шести пробирках без надписей находятся безводные соединения: оксид фосфора(V), хлорид натрия, сульфат меди, хлорид алюминия, сульфид алюминия, хлорид аммония. Как можно определить содержимое каждой пробирки, если имеется только набор пустых пробирок, вода и горелка? Предложите план анализа.

5. В четырех пробирках без надписей находятся водные растворы гидроксида натрия, соляной кислоты, поташа и сульфата алюминия. Предложите способ определения содержимого каждой пробирки, не применяя дополнительных реактивов.

6. В пронумерованных пробирках находятся растворы гидроксида натрия, серной кислоты, сульфата натрия и фенолфталеин. Как различить эти растворы, не пользуясь дополнительными реактивами?

7. В банках без этикеток находятся следующие индивидуальные вещества: порошки железа, цинка, карбоната кальция, карбоната калия, сульфата натрия, хлорида натрия, нитрата натрия, а также растворы гидроксида натрия и гидроксида бария. В Вашем распоряжении нет никаких других химических реактивов, в том числе и воды. Составьте план определения содержимого каждой банки.

8. В четырех пронумерованных банках без этикеток находятся твердые оксид фосфора(V) (1), оксид кальция (2), нитрат свинца (3), хлорид кальция (4). Определить, в какой из банок находится каждое из указанных соединений, если известно, что вещества (1) и (2) бурно реагируют с водой, а вещества (3) и (4) растворяются в воде, причем полученные растворы (1) и (3) могут реагировать со всеми остальными растворами с образованием осадков.

9. В пяти пробирках без этикеток находятся растворы гидроксида, сульфида, хлорида, йодида натрия и аммиака. Как определить эти вещества при помощи одного дополнительного реактива? Приведите уравнения химических реакций.

10. Как распознать растворы хлорида натрия, хлорида аммония, гидроксида бария, гидроксида натрия, находящиеся в сосудах без этикеток, используя лишь эти растворы?

11. В восьми пронумерованных пробирках находятся водные растворы соляной кислоты, гидроксида натрия, сульфата натрия, карбоната натрия, хлорида аммония, нитрата свинца, хлорида бария, нитрата серебра. Используя индикаторную бумагу и проводя любые реакции между растворами в пробирках, установить, какое вещество содержится в каждой из них.

12. В двух пробирках имеются растворы гидроксида натрия и сульфата алюминия. Как их различить, по возможности, без использования дополнительных веществ, имея только одну пустую пробирку или даже без нее?

13. В пяти пронумерованных пробирках находятся растворы перманганата калия, сульфида натрия, бромная вода, толуол и бензол. Как, используя только названные реактивы, различить их? Используйте для обнаружения каждого из пяти веществ их характерные признаки (укажите их); дайте план проведения анализа. Напишите схемы необходимых реакций.

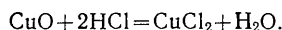
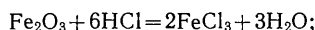
14. В шести склянках без наименований находятся глицерин, водный раствор глюкозы, масляный альдегид (бутаналь), гексен-1, водный раствор ацетата натрия и 1,2-дихлорэтан. Имея в качестве дополнительных химических реактивов только безводные гидроксид натрия и сульфат меди, определите, что находится в каждой склянке.

#### Решения

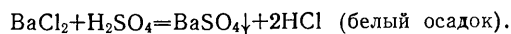
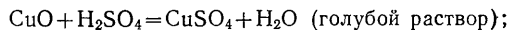
1. Для определения воды и серной кислоты можно использовать различие в физических свойствах: температурах кипения и замерзания, плотности, электропроводности, показателе преломления и т. п. Самое сильное различие будет в электропроводности.

2. Прильем к порошкам в пробирках соляную кислоту. Серебро не прореагирует. При растворении железа будет выделяться газ:  $\text{Fe} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$ .

Оксид железа(III) и оксид меди(II) растворяются без выделения газа, образуя желто-коричневый и сине-зеленый растворы:

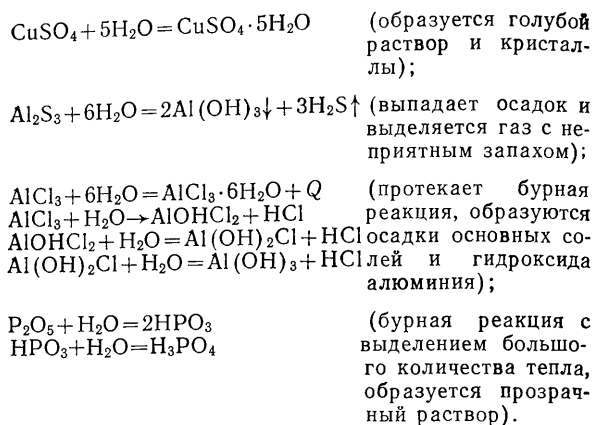


3.  $\text{CuO}$  и  $\text{C}$  — черного цвета,  $\text{NaCl}$  и  $\text{BaBr}_2$  — белые. Единственным реактивом может быть, например, разбавленная серная кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :



$\text{C}$  сажой и  $\text{NaCl}$  разбавленная серная кислота не взаимодействует.

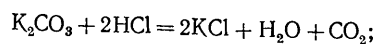
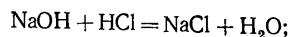
4. Небольшое количество каждого из веществ помещаем в воду:

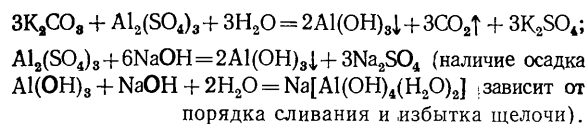


Два вещества — хлорид натрия и хлорид аммония — растворяются, не реагируя с водой; их можно различить, нагревая сухие соли (хлорид аммония возгоняется без остатка):  $\text{NH}_4\text{Cl} \rightleftharpoons \text{NH}_3 \uparrow + \text{HCl} \uparrow$ ; или по окраске пламени растворами этих солей (соединения натрия окрашивают пламя в желтый цвет).

5. Составим таблицу попарных взаимодействий указанных реагентов:

Вещества	1. NaOH	2. HCl	3. K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	4. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Общий результат наблюдения
1. NaOH	×	—	—	Al(OH) <sub>3</sub> ↓	1 осадок
2. HCl	—	×	CO <sub>2</sub> ↑	—	1 газ
3. K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	—	CO <sub>2</sub> ↑	×	Al(OH) <sub>3</sub> ↓ CO <sub>2</sub> ↑	1 осадок и 2 газа
4. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Al(OH) <sub>3</sub> ↓	—	Al(OH) <sub>3</sub> ↓ CO <sub>2</sub> ↑	×	2 осадка и 1 газ





Исходя из представленной таблицы по числу выпадения осадка и выделения газа можно определить все вещества.

6. Попарно смешивают все растворы. Пара растворов, дающая малиновую окраску, — NaOH и фенолфталеин. Малиновый раствор прибавляют в две оставшиеся пробирки. Там, где окраска исчезает, — серная кислота, в другой — сульфат натрия. Остается различить NaOH и фенолфталеин (пробирки 1 и 2).

А. Из пробирки 1 прибавляют каплю раствора к большому количеству раствора 2.

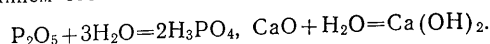
Б. Из пробирки 2 — каплю раствора прибавляют к большому количеству раствора 1. В обоих случаях — малиновое окрашивание.

К растворам А и Б прибавляют по 2 капли раствора серной кислоты. Там, где окраска исчезает, содержалась капля NaOH. (Если окраска исчезает в растворе А, то NaOH — в пробирке 1).

7.

Вещества	Fe	Zn	CaCO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaCl	NaNO <sub>3</sub>
Ba(OH) <sub>2</sub>	—	—	—	осадок	осадок	раствор	раствор
NaOH	—	возможно выделение водорода	—	раствор	раствор	раствор	раствор
Осадок нет в случае двух солей у Ba(OH) <sub>2</sub> и в случае четырех солей у NaOH	темные порошки (растворяющийся в щелочах—Zn, нерастворяющийся в щелочах—Fe)		CaCO <sub>3</sub> дает осадок с обеими щелочами	дают по одному осадку, различаются по окрашиванию пламени: K <sup>+</sup> —фиолетовое, Na <sup>+</sup> —желтое		осадков не дают; различаются поведению при нагревании (NaNO <sub>3</sub> плавится, а потом разлагается с выделением O <sub>2</sub> , затем NO <sub>2</sub> )	

8. Бурно реагируют с водой:  $P_2O_5$  и  $CaO$  с образованием соответственно  $H_3PO_4$  и  $Ca(OH)_2$ :



Вещества (3) и (4) —  $Pb(NO_3)_2$  и  $CaCl_2$  — растворяются в воде. Растворы могут реагировать друг с другом следующим образом:

Вещества	1. $H_3PO_4$	2. $Ca(OH)_2$	3. $Pb(NO_3)_2$	4. $CaCl_2$
1. $H_3PO_4$	×	$CaHPO_4 \downarrow$	$PbHPO_4 \downarrow$	$CaHPO_4 \downarrow$
2. $Ca(OH)_2$	$CaHPO_4 \downarrow$	×	$Pb(OH)_2 \downarrow$	—
3. $Pb(NO_3)_2$	$PbHPO_4 \downarrow$	$Pb(OH)_2 \downarrow$	×	$PbCl_2 \downarrow$
4. $CaCl_2$	$CaHPO_4 \downarrow$	—	$PbCl_2 \downarrow$	×

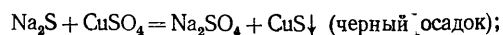
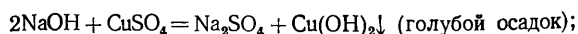
Таким образом, раствор I ( $H_3PO_4$ ) образует осадки со всеми другими растворами при взаимодействии. Раствор 3 —  $Pb(NO_3)_2$  также образует осадки со всеми другими растворами. Вещества:

I —  $P_2O_5$ , II —  $CaO$ , III —  $Pb(NO_3)_2$ , IV —  $CaCl_2$ .

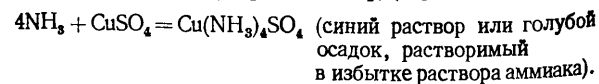
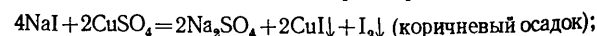
В общем случае выпадение большинства осадков будет зависеть от порядка сливания растворов и избытка одного из них (в большом избытке  $H_3PO_4$  фосфаты свинца и кальция растворимы).

9. Задача имеет несколько решений, два из которых приведены ниже.

а. Во все пробирки добавляем раствор медного купороса:

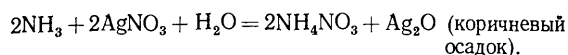
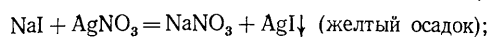
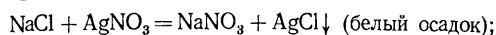
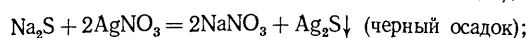
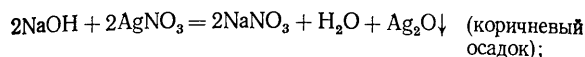


$NaCl + CuSO_4$  (в разбавленном растворе изменений нет);

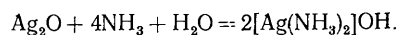




6. Во все пробирки добавляем раствор нитрата серебра:



$\text{Ag}_2\text{O}$  растворяется в избытке раствора аммиака:



10. Для распознавания этих веществ следует провести реакции всех растворов друг с другом:

Вещества	1. NaCl	2. $\text{NH}_4\text{Cl}$	3. $\text{Ba}(\text{OH})_2$	4. NaOH	Общий результат наблюдения
1. NaCl	×	—	—	—	взаимодействия не наблюдается
2. $\text{NH}_4\text{Cl}$	—	×	$\text{NH}_3\uparrow$	$\text{NH}_3\uparrow$	в двух случаях выделяется газ
3. $\text{Ba}(\text{OH})_2$	—	$\text{NH}_3\uparrow$	×	—	в одном случае выделяется газ
4. NaOH	—	$\text{NH}_3\uparrow$	—	×	в одном случае выделяется газ

$\text{NaOH}$  и  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  можно различить по разному окрашиванию пламени ( $\text{Na}^+$  окрашивают в желтый цвет, а  $\text{Ba}^{2+}$  — в зеленый).

11. Определяем кислотность растворов с помощью индикаторной бумаги:

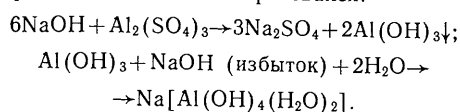
- 1) кислая среда —  $\text{HCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ;
- 2) нейтральная среда —  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{AgNO}_3$ ;
- 3) щелочная среда —  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ .

Составляем таблицу:

Вещества	AgNO <sub>3</sub>	BaCl <sub>2</sub>	HCl	NaOH	N <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> Cl	Pb(NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>
HCl	AgCl↓	—	×	—	—	CO <sub>2</sub> ↑	—	PbCl <sub>2</sub> ↓
NaOH	Ag <sub>2</sub> O↓	—	—	×	—	—	NH <sub>3</sub> ↑	Pb(OH) <sub>2</sub> ↓
N <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	может выпасть Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ↓	BaSO <sub>4</sub> ↓	—	—	×	—	—	PbSO <sub>4</sub> ↓
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Ag <sub>2</sub> O ↓	BaCO <sub>3</sub> ↓	CO <sub>2</sub> ↑	—	—	×	NH <sub>3</sub> ↑	Pb(OH) <sub>2</sub> ↓
NH <sub>4</sub> Cl	AgCl ↓	—	—	NH <sub>3</sub> ↑	—	NH <sub>3</sub> ↑	×	PbCl <sub>2</sub> ↓
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	—	PbCl <sub>2</sub> ↓	PbCl <sub>2</sub> ↓	Pb(OH) <sub>2</sub> ↓	PbSO <sub>4</sub> ↓	PbCO <sub>3</sub> → →Pb(OH) <sub>2</sub> ↓	PbCl <sub>2</sub> ↓	×
BaCl <sub>2</sub>	AgCl ↓	×	—	—	BaSO <sub>4</sub> ↓	BaCO <sub>3</sub> ↓	—	PbCl <sub>2</sub> ↓
AgNO <sub>3</sub>	×	AgCl↓	AgCl↓	Ag <sub>2</sub> O↓	Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ↓	Ag <sub>2</sub> O↓	AgCl↓	—

12. В пустую пробирку наливают один из растворов и приливают каплю другого.

Случай первый: образовался осадок и сразу растворился, или вовсе не образовался:

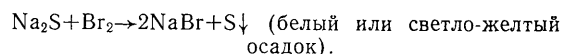


Значит, раствор (1) — NaOH, раствор (2) —  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

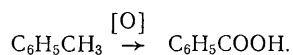
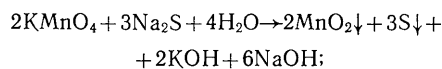
Случай второй: осадок образовался и не растворился. Тогда, наоборот, раствор (1) —  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , а раствор (2) — NaOH.

13. По цвету определяют  $\text{KMnO}_4$  (розово-фиолетовый) и бромную воду (желтая или красно-бурая).

Раствор брома в воде определится сразу при взаимодействии с  $\text{Na}_2\text{S}$ :



Раствор  $\text{KMnO}_4$  обесцвечивается  $\text{Na}_2\text{S}$  и толуолом при кипячении:



Оставшееся вещество — бензол.

14. Прибавим последовательно сульфат меди и избыток гидроксида натрия ко всем веществам. С гексен-1, ацетатом натрия, 1,2-дихлорэтаном реакция идти не будет, но в водном растворе ацетата натрия сульфат меди растворится. В пробирке с бутаналем при нагревании выпадает красный осадок оксида меди (I). В пробирках с глицерином и глюкозой получится темно-синий раствор. При нагревании раствора глюкозы с добавленными реагентами выпадает оксид меди (I). Оставшиеся вещества, не смешивающиеся друг с другом, можно различить по плотности: гексен-1 имеет наименьшую плотность, а 1,2-дихлорэтан — наибольшую.

## § 7. ЗАДАЧИ НА ПОЛУЧЕНИЕ И СИНТЕЗ НОВЫХ ВЕЩЕСТВ

Синтез неорганических соединений — так можно назвать перечисление методов получения оксидов, кислот, оснований и солей, приводимое в различных учебных пособиях по неорганической химии. Однако без знания основ такого синтеза невозможно рациональное планирование превращений химических соединений. От достаточно простых неорганических реакций можно затем переходить к изучению гораздо более сложного органического синтеза.

Любой синтез — это в большой степени искусство. Можно заложить в память ЭВМ все методы органической химии с целью разработки оптимальных путей превращений классов соединений — все равно машина даст более сложную цепочку превращений для получения требуемого вещества. Интуиция химика-синтетика пока непостижима. В чем-то выбор пути синтеза можно сравнить с шахматами: ограничения правил соответствуют определенным химическим свойствам, локальные проблемы чередуются с творческими тупиками, плохая игра не вызывает удовлетворения и приводит к неудаче. Зато прекрасен миг, когда на дне колбы, пробирки, стакана, чашки из лучшего домашнего сервиза выпадают белые (а чаще неопределенно-коричневые) кристаллы того вещества, которое абсолютно необходимо (или абсолютно ни к чему) для дальнейшей работы. Настоящему химику этот миг важнее самой лучшей похвалы.

В этом разделе книги мы не сможем научить юного химика практическому органическому и неорганическому синтезу, но попытаемся вопреки принципу «бумага все стерпит» дать приблизительное представление об этой части химии. В качестве справочных материалов можно использовать таблицы и ссылки из § 6 (качественный анализ). В дополнение приведем несколько методов целевого «бумажного» синтеза простейших органических веществ (пропущенные коэффициенты в схемах реакций предлагаем читателю проставить самостоятельно).

Получение органических веществ из неорганических:



2. Имеются смеси следующего состава: сера, медь, хлорид цинка (смесь № 1); сера, медь, хлорид ртути(II) (смесь № 2). Какую из них можно разделить, не проводя химических превращений, а какую нет и почему? Предложите метод разделения.

3. Можно ли при взаимодействии двух водных растворов получить воду, практически не содержащую растворенных веществ? Приведите уравнения возможных химических реакций.

4. У юного химика имеются медь и соляная кислота. Какими способами он может получить хлорид меди(II)? Напишите уравнения соответствующих химических реакций.

5. В лаборатории имеется оксид меди, содержащий меченый кислород  $^{18}\text{O}$ . Как получить из нее меченый оксид фосфора(V), не загрязненный другими изотопами кислорода? Приведите уравнения реакций и укажите условия, в которых они протекают.

6. Напишите 5 уравнений химических реакций, в каждой из которых оказались бы представители всех четырех классов сложных неорганических веществ. Исходные вещества в уравнениях не должны повторяться.

7. Расположите в ряд по убыванию объема поглощаемого углекислого газа равными объемами концентрированных растворов  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  и  $\text{NaCl}$ , содержащих равное количество молей веществ и одинаковые объемы воды. Дайте мотивированный ответ.

8. Как можно получить металлический натрий, располагая раствором поваренной соли?

9. Какими химическими способами можно доказать равноценность всех четырех N—H-связей в ионе аммония?

10. В лаборатории имеется медный купорос, содержащий радиоактивный изотоп серы. Как получить из него меченный этим изотопом серы сульфид железа, не загрязняя его другими изотопами серы? Ответ иллюстрируйте уравнениями реакций с указаниями примерных условий их проведения.

11. Докажите полный качественный состав следующих соединений, выделив каждый из элементов (кроме кислорода) в виде простого вещества: фосфат калия, карбонат аммония, серная кислота. На-

пишите уравнения соответствующих реакций и укажите условия их проведения.

12. В Вашем распоряжении имеются тяжелая вода ( $D_2O$ ) и любые реактивы, не содержащие дейтерия. Предложите способы получения  $D_2SO_4$ ,  $NaDCO_3$ ,  $DNO_3$ ,  $HD$ ,  $ND_4NO_3$ .

13. В Вашем распоряжении имеются пирит, нитрат серебра и вода. Напишите схему получения серной кислоты из этих веществ.

14. Какие новые вещества можно получить, используя хлор, серу, нитрат серебра, воду и продукты их превращений? Приведите уравнения химических реакций.

15. Предложите способ удаления из раствора: а) катионов аммония; б) сульфит-анионов. Приведите уравнения соответствующих реакций.

16. Закончите уравнения следующих химических реакций и уравняйте их:



17. Имеется смесь порошков металлов: алюминия, меди, железа и золота. Как разделить эти металлы и выделить каждый из них в чистом виде? Какие дополнительные реактивы необходимы для этого? Напишите уравнения химических реакций.

18. В результате взаимодействия сульфида мышьяка с раствором азотной кислоты образуется ортомышьяковая кислота, серная кислота и оксид азота(II). Напишите уравнения реакций, расставьте коэффициенты, укажите окислитель и восстановитель.

19. Докажите полный качественный состав соли с формулой  $K_4[Fe(CN)_6]$ , выделив каждый из составляющих ее элементов в виде простого вещества.

20. Образец меди загрязнен примесями железа, серебра и свободной серы. Предложите лабораторный (кроме электролиза) способ получения чистой меди из образца и напишите уравнения протекающих при этом реакций.

21. Как осуществить следующую цепь превращений: фосфоритная мука — ортофосфорная кислота — аммофос — фосфат кальция — красный фосфор —

фосфорный ангидрид — метафосфорная кислота — ортофосфорная кислота — преципитат — двойной суперфосфат — фосфат кальция. Напишите уравнения реакций и укажите условия их проведения.

22. Металлический натрий внесен в смесь обычной и тяжелой воды. Какой изотоп водорода выделяется преимущественно и какой накапливается в растворе?

$$E_{\text{Na}/\text{Na}^+} = -2,71 \text{ В}, \quad E_{\text{H}_2/2\text{H}^+} = 0,00 \text{ В},$$

$$E_{\text{D}_2/2\text{D}^+} = -0,0034 \text{ В}.$$

23. Даны железные квасцы  $\text{KFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  и мел. Не пользуясь другими исходными реактивами, получите в чистом виде сульфаты калия, кальция и железа. Напишите уравнения реакций и их условия.

24. В водный раствор нитрата меди (II) внесли несколько кусочков металлического кальция. Напишите уравнения химических реакций, которые могут при этом происходить.

25. Как можно в лаборатории, располагающей достаточным набором реактивов, зажечь спиртовку? Предложите несколько способов и поясните, на чем они основаны.

26. Образец нитрата бария сильно прокалили, а затем продукты разложения медленно охладили в токе кислорода. Образовавшееся вещество осторожно при охлаждении добавили к разбавленной серной кислоте, осадок отфильтровали и к фильтрату добавили каплю раствора перманганата калия. Что будет при этом наблюдаться? Напишите уравнения возможных реакций и дайте им необходимые пояснения.

27. Имеется раствор, содержащий нитраты натрия, бария, меди, свинца и цинка. Разделите данную смесь, выделив соединение каждого элемента в индивидуальном состоянии. Напишите уравнения соответствующих реакций.

28. При нагревании эластичного образца А до  $400^\circ\text{C}$  выделены пары веществ Б и В с плотностями по воздуху соответственно 2,2 и 6,6. Сжигание в избытке кислорода одинаковых масс А, Б и В дает одну и ту же смесь газов. Если для сжигания взять 1 г любого из веществ, то для полного поглощения



продуктов сгорания требуется не менее 25 г 5%-го раствора гидроксида натрия, при этом получается 27 г раствора. Определите состав А, Б, В.

29. На чашках чувствительных весов уравновешены две колбы объемом по 0,2 л, содержащие одинаковое количество раствора соляной кислоты. В одну из колб осторожно поместили пробирку с 5 г гидрокарбоната натрия, в другую — такую же пробирку с 5 г сульфита калия. Края пробирок при этом находились выше уровня раствора в колбах. На горла колб надели легко растягивающиеся резиновые шарики одинаковой массы и еще раз уравновесили чашки весов. Затем колбы наклонили так, что содержимое пробирок прореагировало с кислотой до полного израсходования одного из реагентов в каждой колбе. Изменится ли равновесие после окончания реакции? Какова должна быть чувствительность весов для такого эксперимента?

30. По способу Девиля (1854 г.) для получения натрия прокаливают смесь из 2 частей угля, 1 части соды и 7 частей мела. Полученный натрий не содержит кальция. Сколько соды потребуется для получения 10 г магния, если выход натрия в способе Девиля составляет 80%, а для восстановления хлорида магния натрием необходим двухкратный избыток  $MgCl_2$ ? Для чего необходим мел?

31. Два юных химика получили задание — проверить полноту осаждения хлорида серебра. Им выдали образцы, представляющие собой раствор с осадком хлорида серебра, а также раствор соляной кислоты. Первый юный химик решил, что осаждение полное, второй — что необходимо еще добавить соляной кислоты к раствору над осадком. В чем причина расхождения? Образцы для исследования готовили одинаково, заливая свежеполученный и тщательно промытый в темноте осадок хлорида серебра дистиллированной водой.

32. Два юных химика исследовали взаимодействие раствора сульфида калия с раствором бихромата калия. Один из них пришел к выводу, что при реакции образуется осадок, нерастворимый в разбавленной серной кислоте, но растворяющийся при нагревании в концентрированной азотной кислоте. Второй считал, что осадок частично растворим в разбавлен-

ной серной кислоте. Как можно объяснить разные результаты, если известно, что все наблюдения правильны?

33. В производстве интегральных микросхем используется следующий способ получения пленок сверхчистого германия: подложку и образец германия располагают в противоположных концах запаянной стеклянной трубки, туда же помещают несколько кристаллов йода. Трубку вакуумируют, затем нагревают так, чтобы температура изменялась по ее длине от 300°C (в той части, где находится германий) до 250°C (в конце с подложкой). После определенного времени термостатирования всю трубку нагревают до 600°C и откачивают пары йода. В результате операции на подложке получается пленка германия заданной толщины, часть германия остается на стенках трубки. На каких химических реакциях и равновесиях основан описанный способ? Каковы будут максимально возможные потери германия, если пары из трубки откачать: а) при 300°C; б) при 250°C? Исходная масса германия — 1,450 г; йода — 0,063 г.

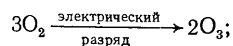
34. Напишите схему получения этилацетата, используя в качестве исходных только неорганические вещества.

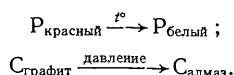
35. Исходя из неорганических веществ, предложите схему получения фенола.

36. При осторожном нагревании твердого органического соединения X был выделен летучий продукт Y, плотность паров которого ~3,5 по воздуху. Вещество Y массой 1,25 г способно полностью прореагировать с 2 г брома. Вещество X может быть легко получено из Y, но не обесцвечивает бромную воду. Определите строение веществ X и Y, если известно, что Y может быть обратимо гидролизано, а одним из продуктов озонирования Y является эфир α-оксопропионовой кислоты.

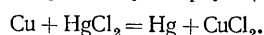
#### Решения

1. Примеры переходов веществ из одной аллотропной модификации в другую:

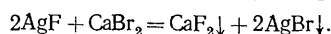
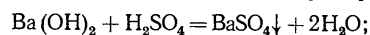




2. Метод разделения: смесь всыпать в воду. Для смеси № 1: сера не смачивается водой и всплывает, медь останется на дне, хлорид цинка перейдет в раствор; смесь № 2 разделить нельзя, так как медь реагирует с раствором хлорида ртути (II):

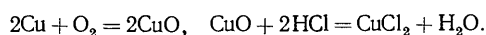


3. Пригодна любая пара веществ, при взаимодействии растворов которых получаются только нерастворимые осадки и вода. Реагенты должны быть взяты в эквивалентных количествах. Например:

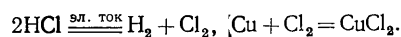


4. Из меди и соляной кислоты получить  $\text{CuCl}_2$  непосредственным взаимодействием невозможно, так как  $\text{Cu}$  не реагирует с  $\text{HCl}$ . Можно осуществить синтез:  $\text{Cu} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CuCl}_2$ , подвергнув предварительно соляную кислоту электролизу ( $2\text{HCl} \xrightarrow{\text{эл. ток}} \text{H}_2 + \text{Cl}_2$ ). Однако в реальных условиях всегда можно воспользоваться кислородом воздуха — при этом воздух может быть использован как реактив.

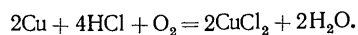
а. Нагреем медь на воздухе и полученный оксид растворим в соляной кислоте, профильтруем и выпарим воду:

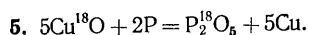


б. Проведем электролиз соляной кислоты и сожжем медь в полученном хлоре:



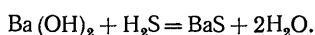
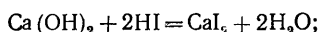
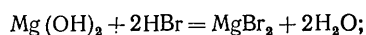
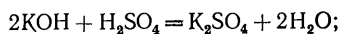
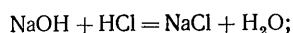
в. В присутствии воздуха медь медленно реагирует с кислотами (зеленеет). Поэтому можно получить хлорид, медленно продувая воздух через суспензию порошка меди в соляной кислоте, затем профильтровать и выпарить:



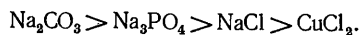
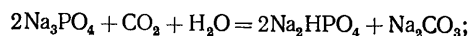
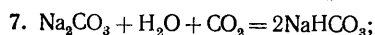


Реакция протекает при нагревании без доступа кислорода.

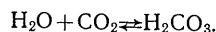
6. Реакция нейтрализации: основание + кислота = соль + оксид (вода).



Сокращенное ионное уравнение всех приведенных реакций имеет вид



1 моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  поглощает 1 моль  $\text{CO}_2$ , 1 моль  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  — 0,5 моль  $\text{CO}_2$ .  $\text{NaCl}$  и  $\text{CuCl}_2$  химически не взаимодействуют с  $\text{CO}_2$ , поэтому поглощение  $\text{CO}_2$  растворами солей происходит за счет взаимодействия оксида углерода (IV) с водой:



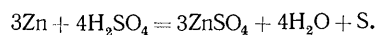
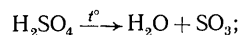
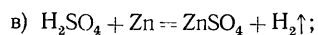
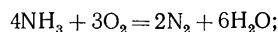
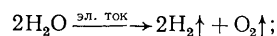
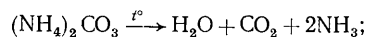
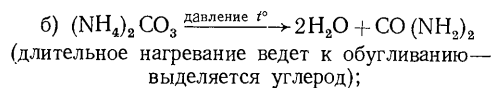
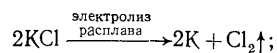
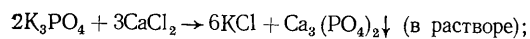
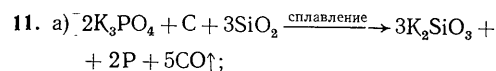
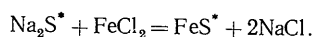
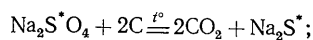
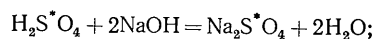
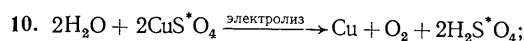
В растворе  $\text{CuCl}_2$ , имеющем слабокислую реакцию (за счет гидролиза  $\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CuOH}^+ + \text{H}^+$ ), растворимость диоксида углерода минимальна.

8. Восстановление  $\text{Na}^+$  до  $\text{Na}^0$  возможно при действии электрического тока, т. е. при электролизе. Для этого можно предложить два варианта: 1) выпарить раствор и провести электролиз расплава хлорида натрия; 2) провести электролиз раствора с ртутным катодом — в этом случае на катоде восстанавливается  $\text{Na}$ , образуя с ртутью амальгаму.

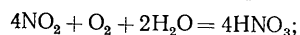
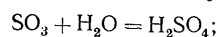
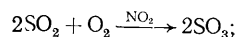
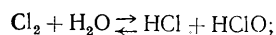
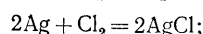
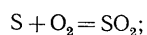
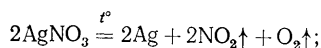
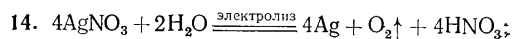
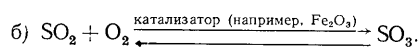
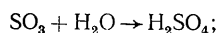
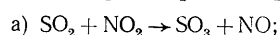
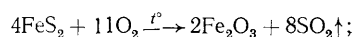
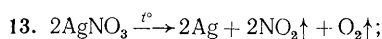
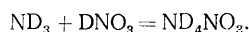
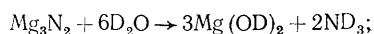
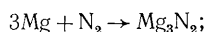
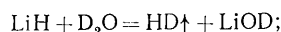
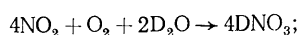
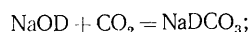
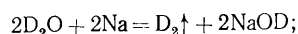
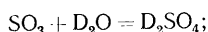
9. Для доказательства равноценности связей нужно получить вещество с ионом аммония, содержащим один атом дейтерия:



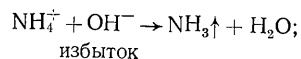
При разложении полученных таким образом веществ действием щелочи получается аммиак  $\text{NH}_3$  и  $\text{NH}_2\text{D}$  в соотношении примерно 1 : 3, т. е. разрыв всех N—H-связей в  $\text{NH}_4^+$  равновероятен. Отклонение от точного соотношения связано с несколько различной химической активностью H и D.



12. Возможные способы получения:

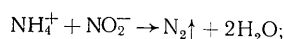


15. а) действием щелочи:

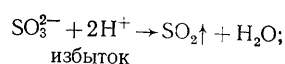


избыток

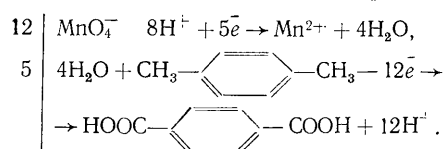
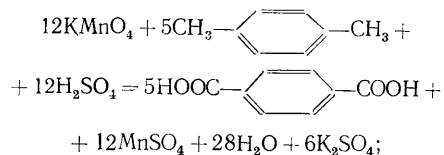
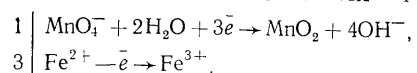
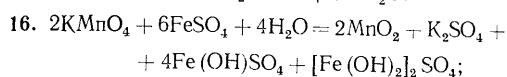
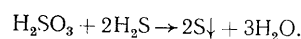
или:



б) действием кислоты:

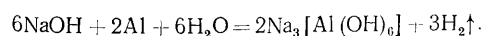


или пропуская сероводород:

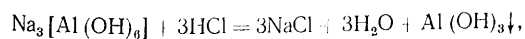


17. Представим один из возможных способов разделения:

а) смесь обрабатывают раствором щелочи (гидроксида натрия) и растворяют алюминий:



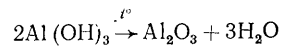
Осадок отфильтровывают, а из раствора при подкислении выделяют гидроксид алюминия:



7\*

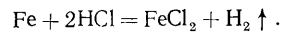
195

которые переводят в оксид при прокаливании

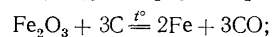
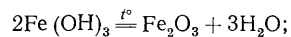
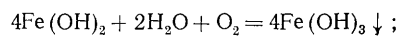
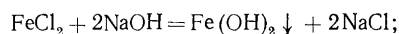


и выделяют алюминий электролизом расплава оксида в криолите  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ;

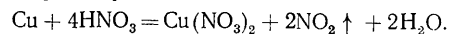
б) остаток смеси обрабатывают соляной кислотой для растворения железа:



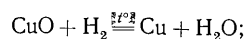
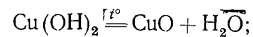
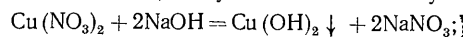
Осадок отфильтровывают, железо осаждают из раствора и проводят последовательно следующие операции:



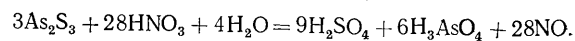
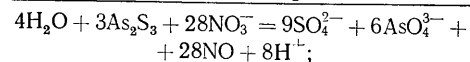
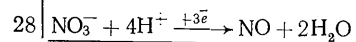
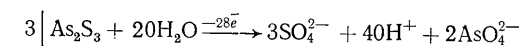
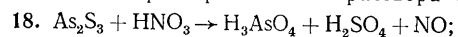
в) медь и золото разделяют, обрабатывая их смесь концентрированной азотной кислотой, в которой медь растворяется:



Осаждая из раствора гидроксид меди, прокаливая и восстанавливая его, получают металлическую медь:

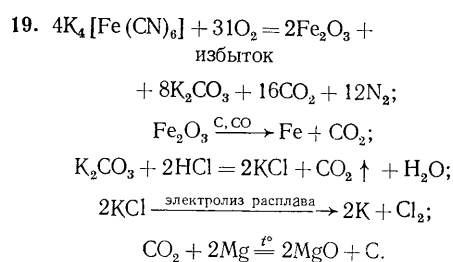


г) не вступившее в химические превращения золото отделяют фильтрованием от раствора  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ .

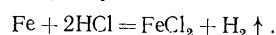




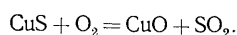
Окислитель —  $\text{HNO}_3$ , восстановитель —  $\text{As}_2\text{S}_3$ , причем окисляются и мышьяк  $\text{As}^{3+} \rightarrow \text{As}^{5+}$  и сера  $\text{S}^{2-} \rightarrow \text{S}^{6+}$ .



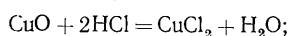
20. Железо растворяют в кислоте с неокисляющим анионом, например, соляной:



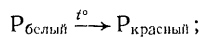
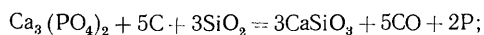
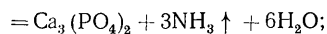
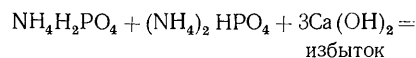
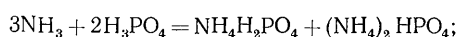
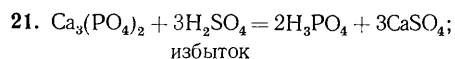
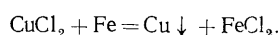
Оставшуюся смесь меди, серы и серебра прокаливают в токе кислорода:  $\text{Cu} + \text{S} = \text{CuS}$ ,  $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$ ;

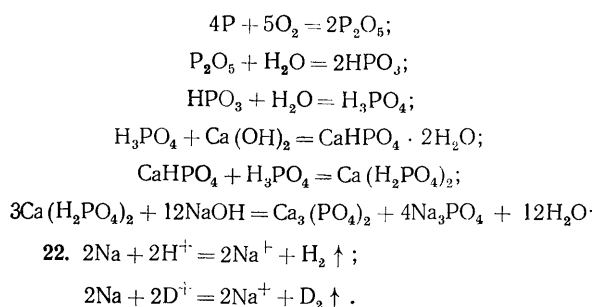


Далее — снова используется соляная кислота:

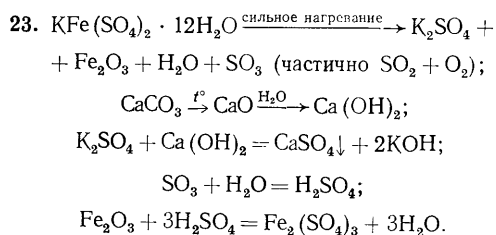


серебро не растворяется и его отфильтровывают. Из раствора  $\text{CuCl}_2$  медь можно получить реакцией с более активным металлом:

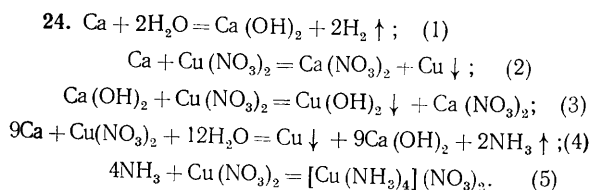




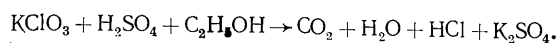
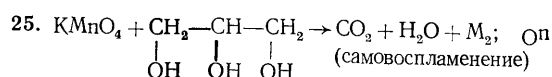
Для первой реакции разность электродных потенциалов больше, т. е.  $\text{H}^+$  восстанавливается несколько легче, чем  $\text{D}^+$ . Таким образом, тяжелый изотоп дейтерий будет накапливаться в растворе.



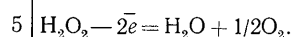
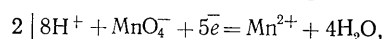
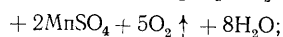
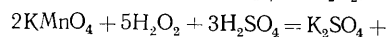
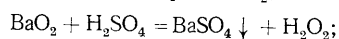
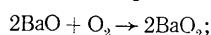
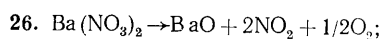
Сульфат калия, полученный в первой реакции, растворяют в воде, затем кристаллизуют. Пары  $\text{SO}_3$  и воды конденсируются с образованием серной кислоты. Предлагаем Вам самостоятельно уравнять первую реакцию и рассчитать концентрацию полученной серной кислоты.



Преимущественно будут протекать реакции (1), затем (3), так как они идут значительно быстрее остальных.

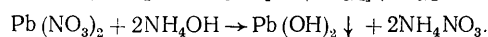
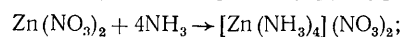
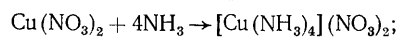


смесь нанести на фитиль спиртовки

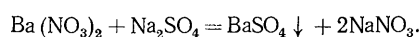


Раствор перманганата калия будет обесцвечиваться.

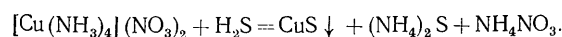
27. При добавлении избытка раствора аммиака выпадает только осадок гидроксида свинца:



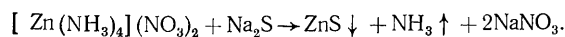
Из получившегося раствора выделяют барий в виде сульфата:



Пропуская сероводород, выделяют сульфид меди:

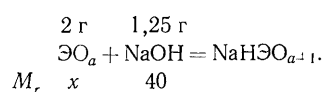


Ионы цинка можно осадить сульфидом натрия:

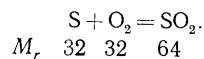


В растворе останутся только катионы натрия.

28. Продукты сгорания поглощаются щелочью, значит, они имеют кислотный характер. Определим молекулярную массу кислотного оксида, помня, что при минимальном количестве щелочи образуется кислая соль:

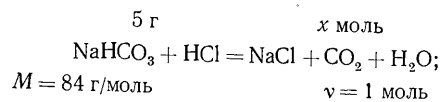


Поглощено  $27 - 25 = 2$  (г) оксида ЭО<sub>a</sub>, в 25 г 5% NaOH содержится 1,25 г щелочи, тогда  $M_r(x) = 64$ , что может соответствовать оксиду серы (IV) SO<sub>2</sub>. 1 г веществ А, Б и В дает по 2 г продукта сгорания, следовательно, все эти вещества состоят из одного элемента — серы:

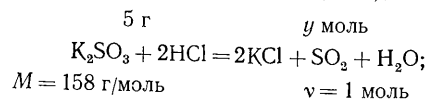


В условии говорится не об одном продукте сгорания; действительно, при сжигании серы в кислороде всегда получается незначительная примесь SO<sub>3</sub>. Молекулярные массы Б и В при средней относительной молекулярной массе воздуха 29 получают равными 64 и 192. Значит, мы имеем дело с полимерами серы S<sub>2</sub> и S<sub>6</sub> в парах, образовавшихся при термическом разложении пластической серы S<sub>n</sub>. Последнюю модификацию легко получить, вылив нагретую до 200°C расплавленную серу в холодную воду.

29. Выполним сначала все расчеты для случая, когда кислота имеется в избытке в обеих колбах:



$$x = 1 \cdot 5/84 = 0,0595 \text{ (моль)};$$



$$y = 1 \cdot 5/158 = 0,0316 \text{ (моль)}.$$

Объемы газов:  $22,4 \cdot 0,0595 = 1,34$  л  $\text{CO}_2$ ;  $22,4 \cdot 0,0316 = 0,71$  л  $\text{SO}_2$  (в пересчете на н. у.).

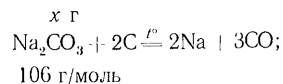
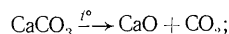
Разность выталкивающих сил, действующих на колбы с раздувшимися шариками, равна массе соответствующего объема воздуха:  $1,34 - 0,71 = 0,63$  (л). При средней относительной молекулярной массе воздуха 29 находим разность выталкивающих сил:  $29 \cdot 0,63 / 22,4 \approx 0,815$  (г).

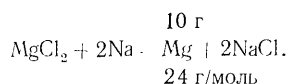
Хотя в колбах выделялись газы с различными молекулярными массами, суммарная масса реактивов и посуды на каждой чашке весов осталась неизменной. Следовательно, разница в весе будет определяться только разностью выталкивающих сил, действующих на взвешиваемые в воздухе приборы. Колба с сульфитом натрия в пробирке станет на 0,815 г тяжелее. В этом случае чувствительность весов может быть небольшой — 0,5 г вполне достаточно.

Поскольку в условии не указано количество и концентрация кислоты, можно рассмотреть случай, когда кислота находится в недостатке в обеих колбах. Предположим, что в каждой колбе имеется по 0,01 моль кислоты. Тогда согласно уравнениям выделится 0,01 моль  $\text{CO}_2$  и 0,005 моль  $\text{SO}_2$ . Разность выталкивающих сил составит  $29 \cdot 0,005 = 0,145$  г. При недостатке кислоты  $\text{SO}_2$  может вообще не выделиться из-за образования  $\text{HSO}_3^-$ . Для меньшего количества кислоты разность по массе будет меньше. Чтобы заметить, что колба с гидрокарбонатом стала легче, потребуются более чувствительные весы.

Из уравнений реакций видно, что для выделения одного объема  $\text{SO}_2$  требуется в 2 раза больше кислоты, чем для выделения того же объема  $\text{CO}_2$  из гидрокарбоната. Следовательно, при любом количестве кислоты  $\text{CO}_2$  выделится больше. Значит, чашка весов с гидрокарбонатом в конце опыта будет легче

30. Запишем реакции:





Хлорид магния по условию в избытке, значит, возможен 100%-й выход магния по натрию:

$$x = \frac{10 \cdot 106}{24} = 44,2 \text{ (г) соды.}$$

При 80%-м выходе натрия соды потребуется больше (44,2 г составляют 80%):  $4,2/0,8=55,2$  (г) соды.

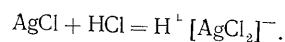
Мел при нагревании превращается в оксид кальция, который сам не участвует в реакции. Однако без оксида кальция уголь всплывает на поверхность расплавленной соды и скорость реакции резко замедляется. При введении в смесь достаточно большого количества мела получается густая масса, в которой уголь равномерно распределяется и гораздо быстрее реагирует.

31. При стоянии дистиллированной воды над свежеприготовленным  $\text{AgCl}$  в ней растворится хлорид серебра согласно его произведению растворимости:

$$\text{ПР}_{\text{AgCl}} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 1,8 \cdot 10^{-10}.$$

В растворе содержатся равные количества ионов серебра и хлора — по  $1,34 \cdot 10^{-5}$  моль/л соответственно.

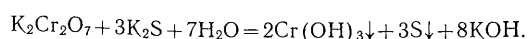
Добавление к такому насыщенному раствору электролита, содержащего общий с ним ион (например,  $\text{HCl}$ ), приводит к превышению  $\text{ПР}_{\text{AgCl}}$ . В результате часть серебра в виде  $\text{AgCl}$  выпадает в осадок, поскольку произведение растворимости постоянно при постоянной температуре. Согласно вышесказанному, приливание раствора  $\text{AgCl}$  в соляную кислоту должно приводить к аналогичному результату, но в избытке соляной кислоты в растворе образуются другие ионы:



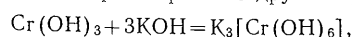
Получившийся комплекс растворим гораздо лучше  $\text{AgCl}$ , и осадок в этом случае не выпадает. Следовательно, второй юный химик прав больше: если из

раствора над осадком еще можно «выжать» серебро, это стоит сделать.

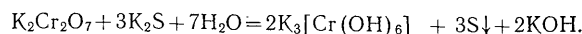
32. Достаточно правильно составить окислительно-восстановительное уравнение, чтобы все стало ясно:



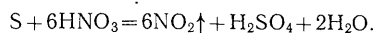
При избытке сульфида калия, который и сам по себе имеет щелочную реакцию, образующийся гидроксид хрома тут же растворится в другом продукте:



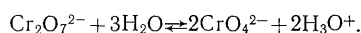
или



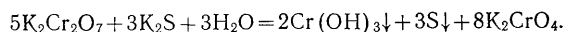
В осадке будет только сера, растворяющаяся в концентрированной азотной кислоте:



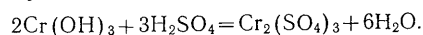
Раствор бихромата калия имеет кислую реакцию вследствие равновесия:



Поэтому при избытке бихромата калия первое уравнение будет выглядеть по-другому:



Гидроксид хрома в этом случае выпадет в осадок вместе с серой и легко растворится затем в разбавленной серной кислоте:

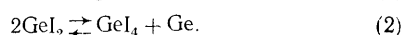


Следовательно, первый юный химик прилил бихромат к избытку сульфида, второй — поступил наоборот.

33. При 600° С равновесие реакции германия с йодом сильно сдвинуто к исходным веществам — из трубки откачиваются практически только пары йода.

Для осуществления переноса германия, который сам не испаряется при указанных температурах, йод должен давать с ним два летучих соединения, в одном из которых на одно и то же количество йода приходится больше германия, чем в другом. Тогда

соединение германия с низкой валентностью может диспропорционировать на соединение с более высокой валентностью и германий:



Очевидно, что первая реакция осуществляется при 300°C. Когда пары  $\text{GeI}_2$  диффундируют в «холодный» конец трубки (250°C), равновесие (2) смещается вправо. В результате диффузии тетраидид германия переносится в горячий конец трубки, где реагирует с германием — равновесие (2) сдвинуто при более высокой температуре влево. Таким образом,  $\text{GeI}_4$  является переносчиком германия.

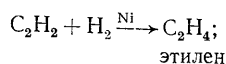
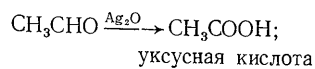
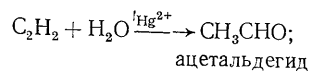
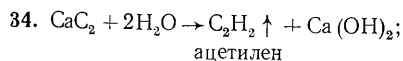
В трубке находятся  $1,450/72,5=0,02$  моль Ge и  $0,063/127=0,005$  моль  $\text{I}_2$ . Если произвести откачку паров из сосуда при 300°C, когда в газовой фазе будет находиться  $\text{GeI}_2$ , потери могут составить

$$\frac{1450 \cdot 0,005}{2} = 0,0036 \text{ (г) Ge.}$$

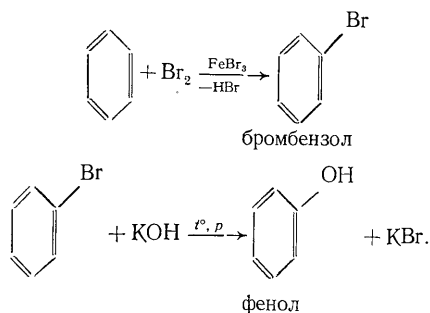
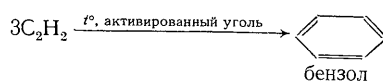
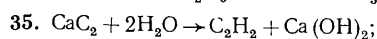
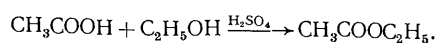
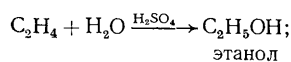
При 250°C потери германия будут меньше в два раза:

$$\frac{1450 \cdot 0,005}{4} = 0,0018 \text{ (г) Ge.}$$

Реальные потери будут, конечно, гораздо меньше (ведь первая реакция тоже обратимая). Повышением температуры перед откачкой равновесие (1) почти полностью сдвигают влево.







36. Соединение Y — непредельное, на одну двойную связь в нем приходится  $A_r(\text{Br})=160$ . Тогда масса фрагмента с одной двойной связью

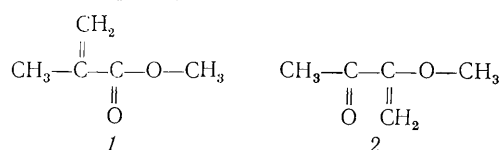
$$\frac{1,25 \cdot 160}{2} = 100.$$

Не исключено, что это и есть относительная молекулярная масса Y. Уточнить предположение можно по плотности паров. Принимая относительную молекулярную массу воздуха равной 29, получаем  $29 \cdot 3,5 = 101,5$ . Таким образом, относительная молекулярная масса вещества Y, молекула которого имеет одну двойную связь, 100. Остается теперь рассмотреть, чего не хватает до Y указанному в условии сложному эфиру — продукту озонирования:

$$\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{R}.$$

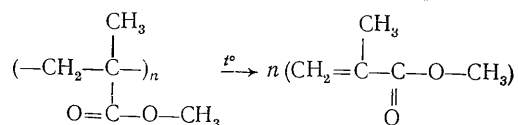
Относительная молекулярная масса эфира без R равна 87. Одна из оксогрупп образовалась, по всей ве-

роятности, при озонировании двойной связи. Тогда на R и соединенную до озонирования двойной связью группу приходится  $M_r = 100 - (87 - 16) = 29$ , которую следует поделить между  $\text{CH}_3(\text{R})$  и  $\text{CH}_2$ . Из двух возможных структур



только первая отвечает условию задачи, поскольку при гидролизе второго эфира получится дикетон.

Главное отличие Y от X — отсутствие в последнем соединении двойной связи. Теперь ясно, что один из важнейших промышленных мономеров — метил-метакрилат Y был получен при термическом разложении (деполимеризации) своего полимера X:

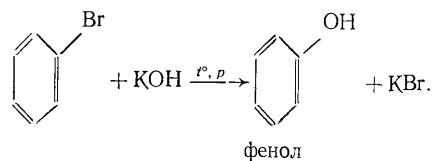
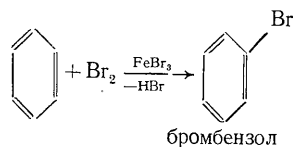
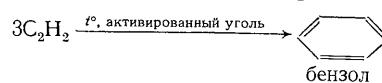
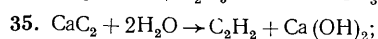
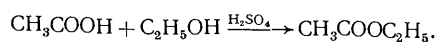
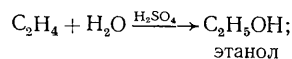


### § 8. ЗАДАЧИ НА ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЕТОВ И КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

В этот параграф включены задачи химических олимпиад, решение которых предусматривает как достаточно сложные расчеты, так и качественный анализ. Если Вы решите 2—3 задачи этого раздела без консультации с ответом, можете смело идти на районную или городскую олимпиаду, там Вы займете не последнее место. Если возникли трудности с решением, не расстраивайтесь и более внимательно просмотрите в предыдущих параграфах задачи и их решения.

#### Задачи

1. Космический корабль потерпел аварию и совершил посадку на неизвестную планету. Командир корабля поручил одному из космонавтов определить



36. Соединение Y — непредельное, на одну двойную связь в нем приходится  $A_r(\text{Br})=160$ . Тогда масса фрагмента с одной двойной связью

$$\frac{1,25 \cdot 160}{2} = 100.$$

Не исключено, что это и есть относительная молекулярная масса Y. Уточнить предположение можно по плотности паров. Принимая относительную молекулярную массу воздуха равной 29, получаем  $29 \cdot 3,5 = 101,5$ . Таким образом, относительная молекулярная масса вещества Y, молекула которого имеет одну двойную связь, 100. Остается теперь рассмотреть, чего не хватает до Y указанному в условии сложному эфиру — продукту озонирования:  $\text{CH}_3-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{R}$ .



Относительная молекулярная масса эфира без R равна 87. Одна из оксогрупп образовалась, по всей ве-

8,51%. Определить, о каком металле идет речь в условии задачи.

8. Для сжигания одинаковых навесок всех членов некоторого гомологического ряда требуется одинаковый объем кислорода. Приведите примеры таких гомологических рядов.

9. При количественной межмолекулярной дегидратации смеси двух одноатомных спиртов неизвестного строения выделилось 10,8 г воды и образовалось 36 г смеси трех принадлежащих к одному классу органических соединений в разных молярных соотношениях. Каково строение исходных спиртов?

10. Представьте себя директором химического завода, выпускающего серную кислоту. Вам необходимо выпустить партию уксусной кислоты с невысокими требованиями к чистоте продукта. Руководствуясь экономическим и экологическим факторами — требованиями уменьшения себестоимости продукции и объема сточных вод, — определите, какое дополнительное оборудование и химические реактивы Вам необходимо заказать? Ответ обоснуйте уравнениями химических реакций с указанием условий их проведения.

11. Установите строение соединения А состава  $C_2H_6NO_2Cl$ , которое взаимодействует с раствором соды или щелочи на холоду. После нейтрализации 1,12 г А 0,4 г гидроксида натрия образуется соединение Б, не содержащее ни хлора, ни натрия. Оно способно прореагировать еще с 0,4 г NaOH, в результате чего образуется вещество  $C_2H_4NO_2Na$  (В). Какие вещества упомянуты в задаче? Напишите уравнения реакций их превращений.

12. При нагревании 16,85 г ярко-красного вещества А с 2,23 г порошка железа при 1000 К образовался твердый остаток Б и выделилось 3,04 л паров некоторого вещества Ж (1000 К; 101,3 кПа). Длительное плавление остатка Б с 21,63 г персульфата калия  $K_2S_2O_8$  при 650 К дало 2,51 л В (650 К; 101,3 кПа) и 23,54 г твердого остатка Г, водный раствор которого темнеет при добавлении йодида калия.

Смесь В частично поглощается водным раствором аммиака с образованием темного осадка Д, который отделили фильтрованием. При добавлении к фильт-

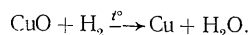
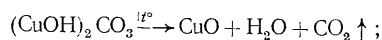
рату Е концентрированной азотной кислоты появился бурый газ и темные кристаллы.

Известно, что вещество А способно при нагревании обратимо изменять свой цвет на желтый.

Определите состав веществ А, Б, В, Г, Д. Напишите все уравнения протекающих реакций. Объясните происходящие изменения и подтвердите ответ расчетом.

#### Решения

1. Если яблоко не темнеет, следовательно, в атмосфере планеты нет кислорода или других газов, являющихся окислителями. Отсутствие в атмосфере  $\text{CO}_2$  подтверждается тем фактом, что известковая вода (раствор  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) не мутнеет. При нагревании малахита образуется красный порошок меди, а не черный порошок оксида меди. Следовательно, в атмосфере имеется водород, который восстанавливает медь из оксида меди:



Кроме водорода в атмосфере планеты могут содержаться благородные газы и азот.

2. Суммарная относительная атомная масса всех атомов углерода в молекуле:  $0,80 \cdot 250 = 200$ . Это значит, что в молекуле содержится  $200/12 = 16,66$  атомов углерода, чего быть не может.

3. Судя по продуктам сгорания, вещество может содержать водород, азот, кислород. Однако относительная молекулярная масса вещества  $16 \cdot 2 = 32$  ограничивает число атомов кислорода до одного или полностью исключает его. По условию азота образовалось 2,24 л, что составляет 0,1 моль. Водорода в воде:

в 18 г  $\text{H}_2\text{O}$  2 моль,

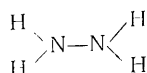
в 3,6 г  $\text{H}_2\text{O}$  0,4 моль,

0,1 моль  $\text{N}_2$  составляет 0,2 моль атомов азота.

Соотношение азота и водорода в соединении составляет 0,2 : 0,4 = 1 : 2.

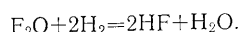
Простейшая формула вещества —  $\text{NH}_2$ ,  $M_r(\text{NH}_2) = 16$ , а  $M_r(\text{N}_2\text{H}_4) = 32$  совпадает с задаваемым.

мой в условии задачи. Отсюда формула исходного вещества



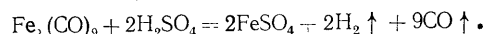
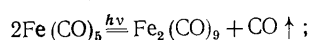
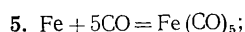
$\text{N}_2\text{H}_4$  — гидразин, при комнатной температуре бесцветная жидкость.

4. Так как в состав конечной смеси входят только H, F и O, то первоначально в системе были  $\text{F}_2\text{O}_x$  и  $\text{H}_2$ . Так как объемное соотношение эквивалентных количеств 1 : 2, то  $x=1$ :



Смесь HF и  $\text{H}_2\text{O}$  в мольном отношении 2 : 1, как нетрудно убедиться, содержит 69 массовых % HF:

$$\frac{2 \cdot 20}{2 \cdot 20 + 18} \cdot 100 = 69 (\%)$$



При разложении  $\text{Fe}_2(\text{CO})_9$  серной кислотой на каждые 0,278 г  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  выделяется 0,123 л  $\text{H}_2$  и CO.

6. Исходя из условий задачи, можно прийти к выводу, что с кислотой реагируют оба металла, а со щелочью — один, т. е. один из металлов, образующих сплав, амфотерный. Для решения задачи следует определить понятие эквивалента. Эквивалентом химического элемента называют такое его количество, которое соединяется с 1 моль атомов водорода или замещает то же количество атомов водорода в химических реакциях. 1120 мл соответствует 0,1 моль атомов водорода. Таким образом, в 1,7 г сплава содержится 0,1 эквивалента амфотерного металла, а в 1,02 г — содержится в сумме 0,1 эквивалента обоих металлов, т. е.  $1,02/1,7=0,06$  эквивалента амфотерного металла и соответственно 0,04 эквивалента другого металла. Учитывая это, а также то, что металлы в сплаве содержатся в эквимольном соот-

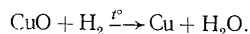
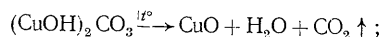
рату Е концентрированной азотной кислоты появился бурый газ и темные кристаллы.

Известно, что вещество А способно при нагревании обратимо изменять свой цвет на желтый.

Определите состав веществ А, Б, В, Г, Д. Напишите все уравнения протекающих реакций. Объясните происходящие изменения и подтвердите ответ расчетом.

#### Решения

1. Если яблоко не темнеет, следовательно, в атмосфере планеты нет кислорода или других газов, являющихся окислителями. Отсутствие в атмосфере  $\text{CO}_2$  подтверждается тем фактом, что известковая вода (раствор  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) не мутнеет. При нагревании малахита образуется красный порошок меди, а не черный порошок оксида меди. Следовательно, в атмосфере имеется водород, который восстанавливает медь из оксида меди:



Кроме водорода в атмосфере планеты могут содержаться благородные газы и азот.

2. Суммарная относительная атомная масса всех атомов углерода в молекуле:  $0,80 \cdot 250 = 200$ . Это значит, что в молекуле содержится  $200/12 = 16,66$  атомов углерода, чего быть не может.

3. Судя по продуктам сгорания, вещество может содержать водород, азот, кислород. Однако относительная молекулярная масса вещества  $16 \cdot 2 = 32$  ограничивает число атомов кислорода до одного или полностью исключает его. По условию азота образовалось 2,24 л, что составляет 0,1 моль. Водорода в воде:

в 18 г  $\text{H}_2\text{O}$  2 моль,

в 3,6 г  $\text{H}_2\text{O}$  0,4 моль,

0,1 моль  $\text{N}_2$  составляет 0,2 моль атомов азота.

Соотношение азота и водорода в соединении составляет  $0,2 : 0,4 = 1 : 2$ .

Простейшая формула вещества —  $\text{NH}_2$ ,  $M_r(\text{NH}_2) = 16$ , а  $M_r(\text{N}_2\text{H}_4) = 32$  совпадает с задаваемым.

количество кислорода, то гомологическая разность  $\text{CH}_2$  потребует при сгорании столько же кислорода, сколько его потребляет первый член гомологического ряда в расчете на один атом углерода. Таким образом, формула углеводорода  $(\text{CH}_2)_n$  — это либо алкены, либо циклоалканы.

9. Согласно условию задачи алкены не получали. Запишем в общем виде уравнение реакции:



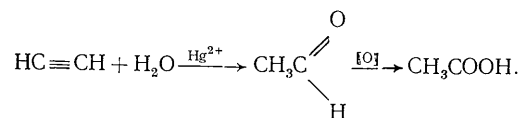
Рассчитаем среднюю относительную молекулярную массу эфира, она равна  $36(10,8)/18=60$ . Из простых эфиров только диметилловый имеет относительную молекулярную массу, меньшую 60 (46). Таким образом, один из спиртов (ROH) — метиловый. Теперь обозначим относительную молекулярную массу углеводородного радикала второго спирта через  $x$ , тогда, исходя из молярных соотношений и средней молекулярной массы, получаем

$$M_r \quad \begin{array}{ccccccc} 46 + (15 + 16 + x) + (x + 16 + x) = 60 \cdot 3; \\ \text{CH}_3\text{OCH}_3 & \text{CH}_3 & \text{O} & \text{R}' & \text{R}' & \text{O} & \text{R}' \\ & & & & & & x=29. \end{array}$$

что соответствует этильному радикалу.

Для получения эфиров использовали этиловый и метиловый спирты.

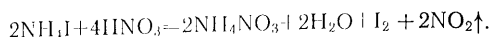
10. Уменьшение себестоимости в основном определяется стоимостью сырья, оборудования, трудоемкостью процесса. По этим признакам не подходит метод синтеза из ацетилена:



Директор химического завода прежде всего смотрит, нельзя ли приспособить для процесса уже имеющееся оборудование. Технологии окисления  $\text{SO}_2$  и бутана очень похожи, и при незначительной переделке аппаратуры ее можно использовать в обоих процессах:

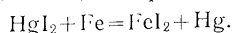






Отсюда следует, что вещество А содержит йод.

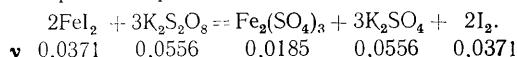
Красный йодид, который при нагревании обратно становится желтым, — йодид ртути(II). При нагревании исходных веществ протекает реакция



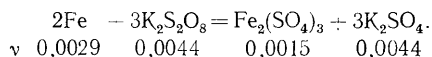
Таким образом, вещество Ж — это ртуть.

Масса йодида ртути равна  $\nu(\text{HgI}_2)M(\text{HgI}_2) = 0,0371 \cdot 454,3 = 16,85$  (г), что соответствует условиям задачи. Согласно уравнению реакции на взаимодействие 0,0371 моль  $\text{HgI}_2$  расходуется 0,0371 моль железа. Столько же образуется йодида железа(II) и остается  $0,0400 - 0,0371 = 0,0029$  (моль) железа.

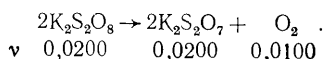
При нагревании остатка Б ( $\text{FeI}_2$ ) с персульфатом калия протекает реакция



Количество сульфата железа(III)  $0,5 \cdot 0,0371 = 0,0185$  (моль), а сульфата калия  $1,5 \cdot 0,0371 = 0,0556$  (моль). Происходит также окисление железа:



Общее количество сульфата железа(III) равно  $0,0185 + 0,0015 = 0,0200$  (моль), а его масса —  $0,0200 \cdot 399,9 = 7,998$  (г). Общее количество сульфата калия равно  $0,0556 + 0,0044 = 0,0600$  (моль), а его масса —  $0,0600 \cdot 174,2 = 10,452$  (г). Персульфата осталось  $0,0800 - (0,0556 + 0,0044) = 0,0200$  (моль). При нагревании он разлагается:



Масса пиросульфата калия —  $0,0200 \cdot 254,3 = 5,086$  (г). Сумма масс сульфата железа(III), сульфата калия и пиросульфата калия  $7,998 + 10,452 + 5,086 = 23,54$  (г) соответствует условиям задачи. Сумма количеств испаренного йода и кислорода  $0,0371 + 0,0100 = 0,0471$  (моль) также соответствует данным задачи.

## § 9. ПРОГРАММА ДЛЯ РЕШЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ ПО ХИМИИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРА

В настоящем параграфе приводится фрагмент пакета программ для решения расчетных химических задач с составлением одной простейшей пропорции.

Программы составлены на языке программирования Бейсик<sup>1</sup>, как наиболее распространенном при использовании в школьном компьютере. Главными особенностями при разработке пакета являются модульность построения программы и широко развитый диалог. Следует, однако, отметить, что использование языка Бейсик делает понятие «модульность программы» крайне условным, так как Бейсик не поддерживает «автономных» программ, т. е. невозможно написать подпрограмму, используемую разными программами. В Бейсике модульность выражается в разбиении программы на функциональные фрагменты, которые без изменений могут быть включены в различные программы.

Необходимо также иметь в виду и некоторые особенности языка Бейсик. Поскольку средства диалога в Бейсике развиты слабо, то сам диалог построен в форме вопросов и ответов, а обработку ошибок диалога перехватить на себя невозможно. Это может приводить к тому, что в случае ввода символа вместо числа выдается внутренняя диагностика и программа сама не обрабатывает эту ситуацию. В приведенных примерах используется типовой набор команд, имеющийся практически в любой реализации интерпретатора.

Ограничения по обозначению переменных приняты, как в реализации для машин СМ-ЭВМ («Электроника», БК-0020 и т. п.). При использовании функций, которые в других реализациях могут иметь другие имена, указывается, что выполняет данная функция. По тем же причинам, если требуется выяснить, имеет ли введенный с клавиатуры символ то или иное значение, сравнение ведется не в соответствии

---

<sup>1</sup> Язык программирования Бейсик описан в учебнике Основы информатики и вычислительной техники, часть II, Под ред. А. П. Ершова и В. М. Монахова. М., 1986 С. 70.

с кодом, а в соответствии с функцией, возвращающей значение символа.

Разберем тензор функциональные фрагменты программы.

В приведенном примере используются функциональные фрагменты пакета. Для того чтобы при употреблении этих фрагментов в рамках Бейсика в различных программах обращение к ним выглядело одинаково, они ставятся в начале программы (т. е. имеют постоянный номер оператора), а модифицированная часть (головная программа) — в конце.

Строки 10—600 представляют собой программу начальной инициализации; на строке 600 расположен оператор перехода на головную программу. Программа начальной инициализации заполняет массив наименований элементов периодической таблицы Д. И. Менделеева и поставленный ему в соответствие массив относительных атомных масс элементов.

Операторы 610—1760 представляют собой подпрограмму для интерпретации формулы и вычисления относительной молекулярной массы веществ. Формат ввода формулы: множитель, элемент, разделитель, элемент, разделитель и т. п.

Множитель — коэффициент в уравнении реакции, элемент — химический символ элемента, разделитель — либо числовой коэффициент, либо пробел (интерпретируется как числовой коэффициент 1), либо \*, как, например, при написании  $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; множитель при этом распространяется на часть формулы до звездочки, т. е.  $2\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  необходимо писать как  $2\text{CuSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Последний числовой коэффициент, если он равен единице, можно опустить.

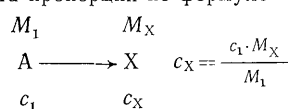
На входе в подпрограмму переменная «0» содержит символьную строку вещества; на выходе из подпрограммы переменная W — относительная молекулярная масса вещества, умноженная на коэффициент в уравнении реакции. Если формула некорректна, на выход поступает  $W < 0$ .

Ограничения: подпрограмма обрабатывает вещества, содержащие не более 10 компонентов в формуле.

Операторы 1770—2410 — подпрограмма извлечения текущей позиции формулы — несколько букв подряд, цифры или разделители.

Операторы 2420—2710 содержат подпрограмму, запрашивающую условные номера формулы в уравнении химической реакции и массу данного вещества.

Операторы 2720—3780 содержат главную программу расчета пропорции по формуле



с возможностью расчета избытка и недостатка исходного реагента в случае ввода масс двух участвующих в реакции веществ.

В рамках этой программы запрашивается и вводится уравнение химической реакции, «сегментируется» на вещества-реагенты и вызывается необходимая подпрограмма для определения относительной массы и т. д., после чего производится расчет массы требуемого вещества.

Ограничения: уравнение химической реакции должно содержать не более 9 компонентов.

Работа с программой. При запуске программа пишет: «Программа расчета пропорций по формуле  $c_X = c_1 \cdot M_X / M_1$ », после чего запрашивает, до скольких знаков после запятой округлить относительную атомную массу. Должно быть введено число 0,1 или 2. Точность расчета такая же, как и цифр, приведенных в условии задачи. Ответ будет округлен с такой же точностью.

После этого запрашивается уравнение реакции, которое вводят согласно вышеописанным правилам. Программа нумерует вещества и запрашивает данные условия задачи: номер и массу 1-го известного вещества, 2-го (при его наличии) и т. д., номер вещества, массу которого необходимо рассчитать.

Составим алгоритм программы для решения задач с составлением простейшей пропорции и с вычислениями «избыток—недостаток» (имея в виду, что если задана только масса 1-го вещества — это частный случай вычислений избыток—недостаток).

**Программа производит:**

- а) выяснение точности всех расчетов;
- б) ввод уравнения, реакции, разбиение на вещества и их нумерацию;

в) запрашивает номер и относительную атомную массу 1-го исходного вещества и считывает его относительную молекулярную массу;

г) определяет, является ли решение данной задачи решенным на избыток—недостаток; если нет, пропускает пункт д);

д) ввод 2-го исходного вещества аналогично а);

е) запрашивает номер вещества для расчета и вычисляет его относительную молекулярную массу;

ж) считает по 1-му исходному веществу, по 2-му исходному веществу, сравнивает результаты и выбирает наименьший;

з) выводит ответ с заложенной точностью (0, 1, 2 знака после запятой).

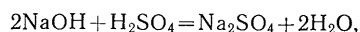
Таким образом, получаем блок-схему (см. с. 219).

В приведенной ниже реализации программы решения задач по химии используется подпрограмма пакета, которая описана в пп. 1—610, и единственное отличие от алгоритма заключается в том, что в случае **некорректных ответов на вопросы** программа либо повторяет вопрос, либо выходит на начало; по завершению расчета программа также выходит на начало. В память включены химические элементы периодической системы от № 1 до № 104, за исключением лантанидов и актинидов.

Рассмотрим пример решения задачи на компьютере после введения программы в ЭВМ.

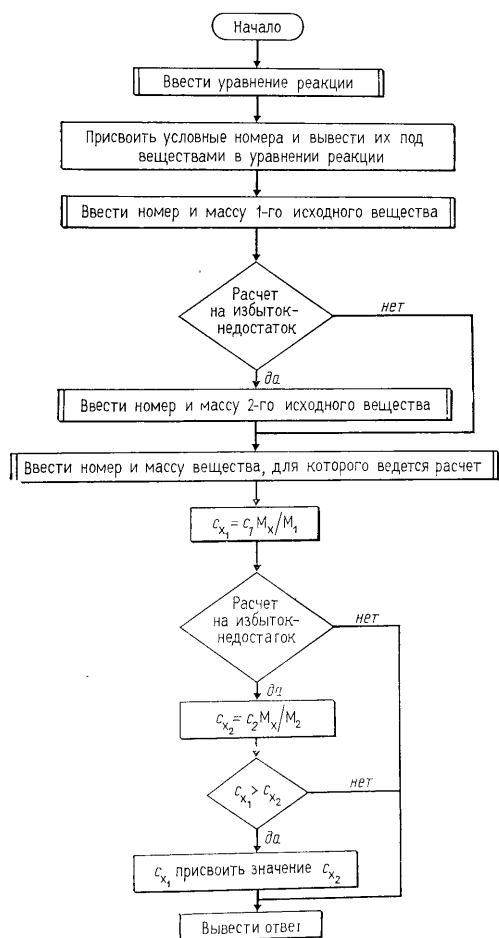
Условие задачи: «Определите массу соли, образующейся при реакции 8,0 г гидроксида натрия с 8,0 г серной кислоты».

После вопроса: «Какую программу вы собираетесь использовать?» — учащийся анализирует условие задачи, записывает уравнение реакции:

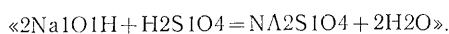


определяет, что задача сводится к составлению одной простейшей программы (так как одно уравнение химической реакции): «Программа расчета пропорций по формуле  $c_x = c_1 \cdot M_x / M_1$ ».

На вопрос: «До скольких знаков после запятой округлять относительную атомную массу?» — учащийся отвечает вводом в машину: «1» (т. е. до одного знака после запятой).



Далее на запрос машины: «Введите уравнение реакции» — учащийся последовательно вводит все символы химических элементов с соответствующими коэффициентами и указанием числа атомов каждого вводимого символа элемента, входящего в уравнение реакции, т. е.



На запрос машины: «Введите исходное вещество и его массу» — учащийся вводит в машину его номер: «1» (т. е. NaOH) и массу, задаваемую в условии задачи, т. е. «8» (г).

На вопрос машины: «Еще есть заданные исходные вещества?» — учащийся должен ответить: «Да» и ввести в машину ответ «Y».

После получения утвердительного ответа машина требует у учащегося ввести данные по второму исходному веществу (т. е. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). На запрос: «Введите номер и массу вещества» — учащийся отвечает: «2, 8» (т. е. вещество H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> массой 8 г).

После получения всех необходимых данных для проведения анализа на избыток и недостаток машина запрашивает у пользователя вещество, для которого ведется расчет. На ее запрос: «Введите номер вещества» — учащийся отвечает: «3», т. е. соль — Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, массу которой необходимо определить.

Задача решена; на экране дисплея—ответ: 11,6 г.

В итоге на экране дисплея весь диалог учащегося с машиной занимает всего несколько строк:

**ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПРОПОРЦИЙ ПО ФОРМУЛЕ**  
**CX = CI \* MX / MI**

ДО СКОЛЬКИХ ЗНАКОВ ПОСЛЕ ЗАПЯТОЙ ОКРУГЛЯТЬ ОТН. АТОМНУЮ МАССУ? 1  
ВВЕДИТЕ УРАВНЕНИЕ РЕАКЦИИ? 2 NAIO3+H2SO4=  
=NA2SO4+2H2O  
УСЛОВНЫЕ НОМЕРА РЕАГЕНТОВ 1 2 3 4  
ВВОДИТСЯ ИСХОДНОЕ ВЕЩЕСТВО 1  
ВВЕДИТЕ НОМЕР И МАССУ ВЕЩЕСТВА? 1, 8  
ЕЩЕ ЕСТЬ ЗАДАНЫЕ ИСХОДНЫЕ ВЕЩЕСТВА [Y/N]? Y  
ВВОДИТСЯ ИСХОДНОЕ ВЕЩЕСТВО 2  
ВВЕДИТЕ НОМЕР И МАССУ ВЕЩЕСТВА? 2, 8  
ВВОДИТСЯ ВЕЩЕСТВО, ДЛЯ КОТОРОГО ВЕ-  
ДЕТСЯ РАСЧЕТ  
ВВЕДИТЕ НОМЕР ВЕЩЕСТВА? 3  
ОТВЕТ: 11,6 Г



ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА ПРИ УЧАСТИИ  
Ю. Я. ХАРОНА

```

10 REM ПРОГРАММА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ХИМИИ.
20 REM НАЧАЛЬНАЯ ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ ТАБЛИЦ
>
30 REM ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФОРМУЛЫ
>
40 REM И ВЫЧИСЛЕНИЯ ЕГО МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ
50 REM
60 REM В МАССИВЫ СООТВЕТСТВЕННО ЗАНОСИТСЯ:
70 REM W1 — ОТНОСИТЕЛЬНАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ
>
80 REM E1 □ — СИМВОЛЬНАЯ СТРОКА НАЗВАНИЯ
>
90 REM
100 DIM E1 □ (75), W1 (75)
110 DATA H,HE,LI,BE,B,C,N,O,F,NE,NA,MG,AL,SI,P,S,CL,AR,K,
>
120 FOR I=1 TO 20
130 READ E1 □ (I)
140 NEXT I
150 DATA SC,TI,V,CR,MN,FE,CO,NI,CU,ZN,GA,GE,AS,SE,BR,KR,
>
160 FOR I=21 TO 40
170 READ E1 □ (I)
180 NEXT I
190 DATA NI,MO,TC,RU,RH,PD,AG,CD,IN,SN,SB,TE,I,XE,CS,BA,
>
200 FOR I=41 TO 60
210 READ E1 □ (I)
220 NEXT I
230 DATA RE,OS,IR,PT,AU,HG,TL,PB,BI,PO,AT,FR,RA,AC,KU
240 FOR I=61 TO 75
250 READ E1 □ (I)
260 NEXT I
270 DATA 1.008,4.003,6.941,9.012,10.81,12.011,14
>
280 FOR I=1 TO 10
290 READ W1(I)
300 NEXT I
310 DATA 23.24,31.26,98.28,09.30,97.32,06.35,45.39,95.39,1.40,08
320 FOR I=11 TO 20
330 READ W1(I)
340 NEXT I
350 DATA 44.96,47.9,50.94,52.54,94.55,85.58,93.58,7.63,55.65,38
360 FOR I=21 TO 30
370 READ W1(I)
380 NEXT I
390 DATA 69.72,72.59,74.92,78.96,79.9,83.8,85.47,87.62,88.91,91.22
400 FOR I=31 TO 40
410 READ W1(I)
420 NEXT I
430 DATA 92.91,95.94,98.91,101.1,102.9,106.4,107.9,112.4,114
>

```

```

440 FOR I=41 TO 50
450 READ W1(I)
460 NEXT I
470 DATA 121.8,127.6,126.9,131.3,132.9,137.3,138.9,178.5,180
> ,9,183.9
480 FOR I=51 TO 60
490 READ W1(I)
500 NEXT I
510 DATA 186.2,190.2,192.2,195.1,197.2,200.6,204.4,207.8,209
> ,209
520 FOR I=61 TO 70
530 READ W1(I)
540 NEXT I
550 DATA 210,223,226,227,261
560 FOR I=71 TO 75
570 READ W1(I)
580 NEXT I
590 REM ПЕРЕХОД НА СТАРТ ПРОГРАММЫ
600 GO TO 2730
610 REM
620 REM ПОДПРОГРАММА ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ
> ИНТЕРПРЕТАЦИИ ФОРМУЛЫ
630 REM И ВЫЧИСЛЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ
> ВЕЩЕСТВА
640 REM НА ВЫХОДЕ W — РАВНО МОЛЕКУЛЯРНОЙ
> МАССЕ УМНОЖЕННОЙ НА
650 REM КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ ВЕЩЕСТВЕ В УРАВНЕНИИ
> РЕАКЦИИ.
660 REM ЕСЛИ W<=0, ТО ФОРМУЛА НЕДОПУСТИМА.
> СООТВЕТСТВУЮЩАЯ
670 REM ДИАГНОСТИКА ВЫДАЕТСЯ ИЗ ПОДПРОГРАММЫ.
680 REM ФОРМАТ ВВОДА ФОРМУЛЫ ВЕЩЕСТВА:
690 REM ЭЛ;РАЗД;ЭЛ;РАЗД.....ЭЛ;РАЗД
700 REM ,ГДЕ
710 REM ЭЛ — ХИМИЧЕСКОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТА;
720 REM РАЗД — РАЗДЕЛИТЕЛЬ, КОТОРЫМ МОЖЕТ
> ЯВЛЯТЬСЯ:
730 REM ЧИСЛОВОЙ КОЭФФИЦИЕНТ,
740 REM ПРОБЕЛ (ИНТЕРПРЕТИРУЕТСЯ, КАК
> КОЭФФИЦИЕНТ 1),
750 REM ЗВЕЗДОЧКА («*») — ДЛЯ ВЕЩЕСТВ ТИПА
> CU1S104*H2O
760 REM НАПРИМЕР ДЛЯ ВВОДА ФОРМУЛЫ
> ГИДРОКСИДА КАЛЬЦИЯ
770 REM СЛЕДУЕТ НАБРАТЬ
780 REM CA OH2 ИЛИ CA1H2O2
790 REM
800 REM ДОПУСКАЕТСЯ ВВОД ОБЩЕГО ЧИСЛОВОГО
> КОЭФФИЦИЕНТА ДЛЯ ВСЕГО
810 REM ВЕЩЕСТВА ИЛИ ЕГО ЧАСТИ ИДУЩЕЙ ПОСЛЕ *.
> ЕСЛИ ПОСЛЕДНИЙ
820 REM ЭЛЕМЕНТ ИМЕЕТ КОЭФФИЦИЕНТ 1, ТО ЕГО
> МОЖНО ОПУСТИТЬ.
830 REM

```

```

840 REM НАПРИМЕР
850 REM 2H1CL — СОЛЯНАЯ КИСЛОТА С
      > КОЭФФИЦИЕНТОМ В УРАВНЕНИИ 2.
860 REM
870 REM ПОДПРОГРАММА ДОПУСКАЕТ ВЕЩЕСТВА
      > СОДЕРЖАЩИЕ НЕ БОЛЕЕ
880 REM ДЕСЯТИ КОМПОНЕНТОВ В ФОРМУЛЕ.
890 REM
900 DIM N2(10),W2(10)
910 REM ПРОИНИЦИАЛИЗИРУЕМ ВЫХОДНУЮ
      > ПЕРЕМЕННУЮ.
920 W=0
930 REM ОПИСАНИЕ ВНУТРЕННИХ ПЕРЕМЕННЫХ:
940 REM J — СЧЕТЧИК ЭЛЕМЕНТОВ В ВЕЩЕСТВЕ;
950 REM K — ТЕКУЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ В ТЕКСТОВОЙ
      > СТРОКЕ;
960 REM F0 — ПРИЗНАК ПЕРВОГО ВВОДА В СТРОКЕ;
970 REM N — ЗНАЧЕНИЕ ЧИСЛОВОГО КОЭФФИЦИЕНТА;
980 REM N1 — ОБЩИЙ КОЭФФИЦИЕНТ (ИЗ ФОРМУЛЫ);
990 REM L — ДЛИНА СИМВОЛА ТЕКУЩЕГО
      > ХИМИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА;
1000 REM L1 — ДЛИНА ВВЕДЕННОЙ СИМВОЛЬНОЙ
      > СТРОКИ;
1010 REM A□ — ВЫДЕЛЕННАЯ ПОДСТРОКА ИМЕНИ
      > ЭЛЕМЕНТА;
1020 REM A□ — ВВЕДЕННАЯ СТРОКА ХИМИЧЕСКОЙ
      > ФОРМУЛЫ ВЕЩЕСТВА;
1030 REM N2 — МАССИВ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ
      > ЭЛЕМЕНТАХ;
1040 REM W2 — МАССИВ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ АТОМНЫХ
      > МАСС ЭЛЕМЕНТОВ.
1050 REM
1060 J=0
1070 REM СТАНДАРТНАЯ ФУНКЦИЯ «LEN»
      > ОПРЕДЕЛЯЕТ ДЛИНУ СИМВОЛЬНОЙ СТРОКИ.
1080 L1=LEN(A□)
1090 K=1
1100 F0=0
1110 N1=1
1120 REM МЫ НЕ ВЫШЛИ ЗА ГРАНИЦЫ ВВЕДЕННОЙ
      > СТРОКИ?
1130 IF K>L1 THEN 1720
1140 REM ВВЕДЕМ ТЕКУЩИЙ ЭЛЕМЕНТ ФОРМУЛЫ.
1150 GOSUB 1770
1160 REM ВВЕДЕНА ЗВЕЗДОЧКА?
1170 IF N<0 THEN 1100
1180 REM ВВЕДЕН ЧИСЛОВОЙ КОЭФФИЦИЕНТ?
1190 IF L<=0 THEN 1530
1200 REM НЕТ. ВВЕДЕНО ХИМИЧЕСКОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ
      > ЭЛЕМЕНТА.
1210 REM ПЕРЕИДЕМ К СЛЕДУЮЩЕМУ ЭЛЕМЕНТУ.
1220 J=J+1
1230 REM КОЛИЧЕСТВО ПРЕВЫШАЕТ МАКСИМАЛЬНО
      > ВОЗМОЖНОЕ?
1240 IF J>10 THEN 1740

```

```

1250 REM ИМЯ ЭЛЕМЕНТА КОРРЕКТИО?
1260 IF L>2 THEN 1700
1270 REM НАЙДЕМ ЭЛЕМЕНТ В ТАБЛИЦЕ МЕНДЕЛЕЕВА.
1280 GOSUB 2320
1290 REM ЭЛЕМЕНТ НАЙДЕН?
1300 IF N<=0 THEN 1700
1310 REM ЗАПОМНИМ ОТНОСИТЕЛЬНУЮ АТОМНУЮ
      МАССУ ЭЛЕМЕНТА.
>
1320 W2(J)=W1(N)
1330 REM ФЛАГ НЕ ПЕРВОЙ ПОЗИЦИИ.
1340 F0=1
1350 REM ЕЩЕ СИМВОЛЫ В СТРОКЕ ЕСТЬ?
1360 IF K<=L1 THEN 1400
1370 N2(J)=N1
1380 REM КОНЕЦ СТРОКИ.
1390 GO TO 1620
1400 GOSUB 1770
1410 REM ВВЕДЕНО НАЗВАНИЕ ЭЛЕМЕНТА?
1420 IF N=0 THEN 1720
1430 REM ВВЕДЕН ЧИСЛОВОЙ КОЭФФИЦИЕНТ?
1440 IF N>0 THEN 1480
1450 REM ВВЕДЕНА ЗВЕЗДОЧКА.
1460 N2(J)=N1
1470 GO TO 1100
1480 N2(J)=N*N1
1490 REM ЕЩЕ СИМВОЛЫ ЕСТЬ?
1500 IF K<=L1 THEN 1130
1510 REM КОНЕЦ СТРОКИ
1520 GO TO 1620
1530 REM УЖЕ БЫЛ ОБЩИЙ МНОЖИТЕЛЬ?
> (КОЭФФИЦИЕНТ В УРАВНЕНИИ ПРИ ВЕЩЕСТВЕ)
1540 IF F0<>0 THEN 1720
1550 REM МНОЖИТЕЛЬ ВВЕДЕН?
1560 IF N=0 THEN 1720
1570 REM ЕСТЬ ЧТО-НИБУДЬ КРОМЕ МНОЖИТЕЛЯ?
1580 IF K>L1 THEN 1720
1590 REM ЗАПОМНИМ ОБЩИЙ МНОЖИТЕЛЬ.
1600 N1=N
1610 GO TO 1140
1620 REM КОНЕЦ СТРОКИ. ВЫЧИСЛИМ
      ОТНОСИТЕЛЬНУЮ МОЛЕКУЛЯРНУЮ МАССУ.
>
1630 FOR I=1 TO J
1640 W=W+W2(I)*N2(I)
1650 NEXT I
1660 REM ПРОВЕДЕМ НЕОБХОДИМОЕ ОКРУГЛЕНИЕ
1670 U1%=(W*U0%+.5)
1675 U9=U1%
1680 W=U9/U0%
1690 RETURN
1700 PRINT «ТАКИХ ЭЛЕМЕНТОВ «;C Q;» НЕ БЫВАЕТ»
1710 GO TO 1750
1720 PRINT «ТАКИХ ФОРМУЛ «;A Q;» НЕ БЫВАЕТ»
1730 GO TO 1750
1740 PRINT «ФОРМУЛА СЛИШКОМ БОЛЬШАЯ»
1750 PRINT

```

```

1760 RETURN
1770 REM
1780 REM ПОДПРОГРАММА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЕКУЩЕГО
> ЭЛЕМЕНТА ФОРМУЛЫ.
1790 REM ПЕРВЫЙ ПРОБЕЛ ИНТЕРПРЕТИРУЕТСЯ КАК
> I; ОСТАЛЬНЫЕ ИГНОРИРУЮТСЯ.
1800 REM
1810 REM ЕСЛИ L И N РАВНЫ 0, СИМВОЛ
> НЕДОПУСТИМ.
1820 REM
1830 N=0
1840 L=0
1850 C=«»
1860 REM ИСПОЛЬЗУЮТСЯ СТАНДАРТНЫЕ ФУНКЦИИ:
1870 REM SEG (S,I,J)—ИЗВЛЕКАЕТ ПОДСТРОКУ
> СТРОКИ S
1880 REM С ПОЗИЦИИ I ДО ПОЗИЦИИ J.
1890 REM ASC(S)—ВОЗВРАЩАЕТ ЧИСЛОВОЕ
> ЗНАЧЕНИЕ
1900 REM СИМВОЛА (В КОДЕ ASCII).
1910 REM
1920 C=ASC(SEG(S,I,K))
1930 IF C<>ASC('*') THEN 1970
1940 N=-1
1950 K=K+1
1960 RETURN
1970 IF C<>ASC(' ') THEN 2060
1980 N=1
1990 REM ПРОПУСТИМ ВСЕ ОСТАЛЬНЫЕ ПРОБЕЛЫ.
2000 K=K+1
2010 REM СТРОКА КОНЧИЛАСЬ?
2020 IF K>L1 THEN 1960
2030 C=ASC(SEG(S,I,K))
2040 IF C<>ASC(' ') THEN 1960
2050 GO TO 2000
2060 REM ВВЕДЕНА БУКВА?
2070 IF C<ASC('A') THEN 2200
2080 IF C>ASC('Z') THEN 2190
2090 L=L+1
2100 K=K+1
2110 REM СТРОКА КОНЧИЛАСЬ?
2120 IF K>L1 THEN 2170
2130 REM СЛЕДУЮЩИЙ СИМВОЛ — БУКВА?
2140 C=ASC(SEG(S,I,K))
2150 IF C<ASC('A') THEN 2170
2160 IF C<=ASC('Z') THEN 2090
2170 REM ВЫДЕЛИМ ИМЯ ЭЛЕМЕНТА ПОЛНОСТЬЮ.
2180 C=SEG(S,I,K-L,K-1)
2190 RETURN
2200 REM ВВЕДЕНО ЧИСЛО?
2210 IF C>ASC('9') THEN 2190
2220 REM ЕСЛИ ВВЕДЕНО НЕ ЧИСЛО, ТО СИМВОЛ
> НЕДОПУСТИМ.
2230 IF C<ASC('0') THEN 2040
2240 N=N*10+(C-ASC('0'))

```

```

225Ø K=K+1
226Ø REM СТРОКА КОНЧИЛАСЬ?
227Ø IF K>L1 THEN 219Ø
228Ø REM ВЫБЕРЕМ СЛЕДУЮЩИЙ СИМВОЛ.
229Ø C=ASC(SEG □ (A □ ,K,K))
230Ø GO TO 22ØØ
231Ø REM
232Ø REM ПОДПРОГРАММА ПОИСКА ЭЛЕМЕНТА В
    ТАБЛИЦЕ МЕНДЕЛЕЕВА.
>
233Ø REM
234Ø N=Ø
235Ø FOR I=1 TO 75
236Ø IF C □ <>E1 □ (I) THEN 24ØØ
237Ø N=I
238Ø REM ФОРСИРОВАННОЕ ЗАВЕРШЕНИЕ ЦИКЛА.
239Ø I=2ØØ
240Ø NEXT I
241Ø RETURN
242Ø REM
243Ø REM ПОДПРОГРАММА ВВОДИТ НОМЕР, МАССУ «С»
    РЕАГЕНТА И ЕГО
244Ø REM МОЛЕКУЛЯРНУЮ МАССУ «W» И ПРОВЕРЯЕТ
    ИХ КОРРЕКТНОСТЬ.
>
245Ø REM ЕСЛИ ОТВЕТ НЕКОРРЕКТЕН ТО C=-1; ЕСЛИ
    МАССА
>
246Ø REM РЕАГЕНТА 2 НЕ ЗАДАНА, ТО C=Ø.
247Ø CØ=Ø
248Ø IF JØ>2 THEN 262Ø
249Ø IF JØ<2 THEN 254Ø
250Ø IF KØ=2 THEN 262Ø
251Ø PRINT «ЕЩЕ ЕСТЬ ЗАДАННЫЕ ИСХОДНЫЕ
    ВЕЩЕСТВА [Y/N] »;
>
252Ø INPUT S □
253Ø IF ASC(SEG □ (S □ ,1,1))<>ASC('Y') THEN 262Ø
254Ø PRINT « ВВОДИТСЯ ИСХОДНОЕ ВЕЩЕСТВО»;JØ
255Ø PRINT «ВВЕДИТЕ НОМЕР И МАССУ ВЕЩЕСТВА»;
256Ø INPUT K1,CØ
257Ø IF K1<=Ø THEN 27ØØ
258Ø IF K2>KØ THEN 27ØØ
259Ø IF CØ<Ø THEN 255Ø
260Ø IF CØ=Ø THEN 27ØØ
261Ø GO TO 267Ø
262Ø PRINT « ВВОДИТСЯ ВЕЩЕСТВО ДЛЯ КОТОРОГО
    ВЕДЕТСЯ РАСЧЕТ»
>
263Ø PRINT «ВЕДИТЕ НОМЕР ВЕЩЕСТВА»;
264Ø INPUT K1
265Ø IF K1<=Ø THEN 27ØØ
266Ø IF K1>KØ THEN 27ØØ
267Ø A □ =Z □ (K1)
268Ø GOSUB 61Ø
269Ø IF W>Ø THEN 271Ø
270Ø CØ=-1
271Ø RETURN
272Ø REM
273Ø REM НАЧАЛО ГОЛОВНОЙ ПРОГРАММЫ.

```

```

2740 REM
2750 DIM Z(9),Z(9)
2760 PRINT
2770 PRINT « ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПРОПОРЦИИ ПО
> ФОРМУЛЕ  $CX=C1*MX/M1$ »
2780 REM ЗАПРОСИМ НЕОБХОДИМУЮ ТОЧНОСТЬ.
2790 REM ВВОДИТСЯ СТЕПЕНЬ ОКРУГЛЕНИЯ ТА ЖЕ
> ЧТО В УСЛОВИИ ЗАДАЧИ.
2800 PRINT «ДО СКОЛЬКИХ ЗНАКОВ ПОСЛЕ ЗАПЯТОЙ
> ОКРУГЛЯТЬ ОТН. АТОМНУЮ МАССУ»;
2810 INPUT U0%
2820 IF U0% < 0 THEN 2790
2830 IF U0% > 2 THEN 2790
2840 U0% = 10^U0%
2850 REM ВВЕДЕМ УР-НИЕ РЕАКЦИИ И СЕГМЕНТИРУЕМ
> ЕГО НА ВЕЩЕСТВА — РЕАГЕНТЫ.
2860 PRINT « ВВЕДИТЕ УРАВНЕНИЕ РЕАКЦИИ»;
2870 INPUT A
2880 K0=0
2890 J0=0
2900 J1=1
2910 N0=0
2920 REM ОПРЕДЕЛИМ ДЛИНУ СТРОКИ.
2930 L0=LEN(A)
2940 IF J0 >= L0 THEN 3160
2950 J0=J0+1
2960 REM ВЫДЕЛИМ ТЕКУЩИЙ СИМВОЛ
2970 S=ASC(SEG(A)(J0,J0))
2980 IF S=ASC('=') THEN 3040
2990 IF S=ASC('+') THEN 3040
3000 IF S=ASC(' ') THEN 2940
3010 N0=1
3020 GO TO 2940
3030 REM БЫЛИ СИМВОЛЫ МЕЖДУ РАЗДЕЛИТЕЛЯМИ?
3040 IF N0=0 THEN 3290
3050 REM ПЕРЕИДЕМ К СЛЕДУЮЩЕМУ РЕАГЕНТУ.
3060 K0=K0+1
3070 REM КОЛИЧЕСТВО РЕАГЕНТОВ ДОПУСТИМО?
3080 IF K0 >= 10 THEN 3290
3090 REM ВЫДЕЛИМ ЗАПИСЬ ТЕКУЩЕГО РЕАГЕНТА.
3100 Z(K0)=SEG(A)(J1,J0-1)
3110 REM ЗАПОМНИМ ПОЗИЦИЮ В СТРОКЕ НА ЭКРАНЕ.
3120 Z(K0)=J1+((J0-1-J1)/2)+27
3130 J1=J0+1
3140 N0=0
3150 GO TO 2940
3160 REM ОБРАБОТКА КОНЦА СТРОКИ.
3170 REM БЫЛИ СИМВОЛЫ ЗА ПОСЛЕДНИМ
> РАЗДЕЛИТЕЛЕМ?
3180 IF N0=0 THEN 3290
3190 REM ПЕРЕИДЕМ К СЛЕДУЮЩЕМУ РЕАГЕНТУ.
3200 K0=K0+1
3210 REM КОЛИЧЕСТВО РЕАГЕНТОВ ДОПУСТИМО?
3220 IF K0 >= 10 THEN 3290
3230 REM ВЫДЕЛИМ ПОСЛЕДНИЙ РЕАГЕНТ

```

```

3240 Z(I)(K0)=SEG(I)(A(I),J1,J0)
3250 REM ЗАПОМНИМ ПОЗИЦИЮ В СТРОКЕ НА ЭКРАНЕ.
3260 Z(K0)=J1+((J0-J1)/2)+27
3270 REM БЫЛО ХОТЯ БЫ 2 РЕАГЕНТА?
3280 IF K0>1 THEN 3310
3290 PRINT «ТАКИХ РЕАКЦИИ «; A(I);» НЕ БЫВАЕТ»
3300 GO TO 2730
3310 PRINT «УСЛОВНЫЕ НОМЕРА РЕАГЕНТОВ»;
3320 REM СФОРМИРУЕМ НОМЕРА РЕАГЕНТОВ ПОД ИХ
> ЗАПИСЯМИ.
3330 FOR I=1 TO K0
3340 PRINT TAB(Z(I));
3350 PRINT USING « # »,I;
3360 NEXT I
3370 PRINT
3380 J9=0
3390 REM ВВЕДЕМ ПАРАМЕТРЫ ВЕЩЕСТВА 1
3400 J9=J9+1
3410 GOSUB 2420
3420 IF C0<=0 THEN 2760
3430 O1=C0
3440 M1=W
3450 REM ВВЕДЕМ ПАРАМЕТРЫ ВЕЩЕСТВА 2
3460 J9=J9+1
3470 GOSUB 2420
3480 IF C0=-1 THEN 2760
3490 M2=W
3500 REM РАСЧЕТ НА ИЗБЫТОК/НЕДОСТАТОК?
3510 IF C0<>0 THEN 3560
3520 REM ПРОСТЕЙШАЯ ПРОПОРЦИЯ. РАССЧИТАЕМ ЕЕ.
3530 O=O1*M2/M1
3540 REM УИДЕМ НА ВЫВОД ОТВЕТА
3550 GO TO 3710
3560 REM ВВЕДЕМ ПАРАМЕТРЫ ВЕЩЕСТВА 3
3570 O2=C0
3580 J9=J9+1
3590 GOSUB 2420
3600 M3=W
3610 IF C0=-1 THEN 2760
3620 REM ОПРЕДЕЛИМ РАСЧЕТНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ
> ОБОИХ СЛУЧАЕВ.
3630 O3=O1*M3/M1
3640 O4=O2*M3/M2
3650 REM ЕСТЬ ИЗБЫТОК/НЕДОСТАТОК?
3660 IF O3=O4 THEN 3700
3670 REM ИЗБЫТОК ИЛИ НЕДОСТАТОК?
3680 IF O4>O3 THEN 3700
3690 O3=O4
3700 O=O3
3710 REM ВЫВОД ОТВЕТА.
3720 PRINT
3730 U1%=(O*U0%+.5)
3740 U9=U1%
3750 O=U9/U0%

```



3760 PRINT «ОТВЕТ: »;О;«Г»  
3770 GO TO 2730  
3780 END

#### § 10. ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ МЕЖДУНАРОДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ОЛИМПИАД

**Задача 1.** (Прага, Чехословакия, 1968 г.)

Для нейтрализации 0,19 г распространенной органической кислоты, плотность паров которой по водороду 30, требуется 31,7 мл 0,1 М раствора гидроксида натрия.

Напишите название и структурную формулу кислоты.

**Задача 2.** (Катовице, Польша, 1969 г.)

Карбид кальция и вода являются сырьем для получения: а) уксусной кислоты; б) этанола; в) этилена и полиэтилена; г) хлорвинила; д) бензола.

Приведите уравнения реакций получения этих веществ.

**Задача 3.** (Будапешт, Венгрия, 1970 г.)

Оксид меди(II) массой 20 г обработали эквивалентным количеством теплого 20%-го раствора серной кислоты; при этом образовался сульфат меди(II).

Сколько граммов кристаллогидрата  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  можно получить при охлаждении раствора до 20° С? Растворимость  $\text{CuSO}_4$  при 20° С:  $s=20,9$  г в 100 г воды.

**Задача 4.** (Москва, СССР, 1971 г.)

Органическое вещество А содержит 41,38% углерода, 3,45% водорода, остальное — кислород. При нагревании с этанолом в присутствии кислоты это вещество образует соединение Б, содержащее 55,81% углерода, 6,97% водорода и кислород. При взаимодействии с бромоводородом вещество А образует продукт В, который при кипячении в воде приводит к веществу Г, содержащему 35,82% углерода, 4,48% водорода и кислород; 2,68 г этого вещества взаимодействуют с 20 мл 2М раствора гидроксида калия.

Выведите структурные формулы упомянутых веществ А, Б, В и Г, если известно, что А при нагревании отщепляет воду. Напишите уравнения упомянутых реакций.

**Задача 5.** (София, Болгария, 1973 г.)

Растворы двух неизвестных веществ смешали в эквивалентных количествах, выпало 1,25 г осадка, представляющего собой соль двухвалентного металла М. При нагревании до  $1100^{\circ}\text{C}$  осадок разлагается с образованием 0,70 г твердого оксида MO и газообразного оксида. При упаривании фильтрата осталось 2,0 г сухого остатка, дающего при термическом разложении при  $215^{\circ}\text{C}$  два продукта: газообразный оксид и 0,90 г водяных паров. Общий объем газообразных продуктов 1,68 л (н. у.).

Определите неизвестные вещества и напишите уравнения упомянутых реакций.

**Задача 6.** (Бухарест, Румыния, 1974 г.)

Смесь двух металлов, располагающихся в различных группах периодической системы Д. И. Менделеева, взаимодействует при нагревании с 56 мл водорода (измеренного при н. у.), в результате чего образуются два ионных соединения. Они помещаются в 270 мг воды, 1/3 которой взаимодействует с ними. Образуется щелочной раствор и одновременно выпадает осадок; массовая доля гидроксидов составляет 30%, а масса выпавшего осадка составляет 59,05% от общей массы образовавшихся в результате реакции продуктов. После фильтрования осадок прокаливается, при этом его масса уменьшается на 27 мг. При добавлении к щелочному раствору слабо-растворимого осадка наблюдается выделение аммиака, при этом содержание гидроксидов в растворе уменьшается на 16,18%.

Определите, какие металлы и в каком количестве находились в исходной смеси.

**Задача 7.** (Веспрем, Венгрия, 1975 г.)

Некоторый альдегид Б является следующим за альдегидом А в гомологическом ряду альдегидов. 19 г альдегида Б добавляется к 100 г водного раствора альдегида А с массовой долей последнего 23%. Добавление аммиачного раствора  $\text{AgNO}_3$  к 2 г раствора альдегидов вызывает выделение 4,35 г серебра.

Определите расчетным путем, о каких альдегидах идет речь и изобразите их структурные формулы.

**Задача 8.** (Галле, ГДР, 1976 г.)

Образец кристаллогидрата типа  $\text{M}_x\text{A}_y \cdot \text{H}_2\text{O}$  (где М — металл) массой 2,3793 г взаимодействует с из-

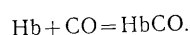
бытком  $\text{SOCl}_2$ . Образующиеся в результате реакции газообразные продукты пропускаются через раствор хлорида бария, содержащий хлороводородную кислоту и пероксид водорода. Незначительные количества  $\text{SOCl}_2$ , уносимые из реакционной среды выделяющимися газообразными продуктами, вымораживаются. Масса осадка, выделяющегося из раствора, равна 14,004 г. Было найдено, что массовая доля серы равна 13,74%.

Во втором опыте 1,1896 г исходного вещества растворяются в воде и объем полученного раствора доводится до 100 мл. Одна пятая часть этого раствора реагирует с 10 мл 0,2 М раствора  $\text{AgNO}_3$ . Масса осадка, образующегося в результате этого взаимодействия, равна 0,28664 г. (Конечная точка титрования определяется кондуктометрическим методом.) Рассчитайте и определите формулу кристаллогидрата. (Используйте относительные атомные массы элементов, приводимые в периодической системе).

Зная, что 1 моль образца кристаллогидрата может содержать максимально 7 моль воды, приведите пример другого возможного гидрата.

**Задача 9.** (Братислава, Чехословакия, 1977 г.)

Среди многих веществ, загрязняющих окружающую среду, немалая доля приходится на монооксид углерода. Наиболее мощным источником монооксида углерода являются двигатели внутреннего сгорания. Токсичность монооксида углерода связана с тем, что он образует с кровяным пигментом—гемоглобином соединение карбонил—гемоглобин:



Прочность химической связи в этом соединении приблизительно в 200 раз выше, чем в оксигемоглобине ( $\text{HbO}_2$ ), следовательно, гемоглобин теряет способность переносить кислород. Недостаток кислорода начинает ощущаться при 50 миллионных долях оксида углерода в воздухе, или при 10% карбонилгемоглобине в крови. В обычных условиях кислород воздуха растворяется в крови в легких, и его концентрация при дыхании поддерживается равной  $1,6 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Концентрация гемоглобина в крови

капилляров легких также постоянна и равна  $8 \cdot 10^{-6}$  моль/л.

Рассчитайте скорость образования оксигемоглобина, если при  $37^\circ \text{C}$  (температура тела) константа скорости  $k=2,1 \cdot 10^6$  л/моль·с.

В случаях отравления монооксидом углерода необходимо увеличить скорость образования оксигемоглобина до  $1,1 \cdot 10^{-4}$  л/моль·с:

а) считая концентрацию гемоглобина в крови постоянной, рассчитайте требуемую для этого концентрацию кислорода;

б) предложите практический метод повышения концентрации кислорода в крови, учитывая, что эта концентрация пропорциональна давлению кислорода, попадающего в легкие.

**Задача 10.** (Торунь, Польша, 1978 г.)

Хромовое покрытие обычно получают электролизом в растворе хромовой кислоты. Предмет, который надо покрыть хромом, служит при электролизе катодом. Анодом является инертный в данных условиях сплав, т. е. не вступающий ни в химические, ни в электрохимические реакции.

Электролитическую ячейку заполнили 100,0 л водного раствора, который содержал 0,230 кг хромового ангидрида на 1 л раствора. Электролиз проводили, пропуская ток 1500 А в течение 10 ч. Увеличение массы катода после электролиза 0,679 кг; соотношение объемов газов, выделившихся на катоде и аноде,  $V_{\text{к}}/V_{\text{а}}=1,603$  (объемы измерены при одинаковых условиях).

Какая часть общего количества электричества была затрачена на выделение 0,679 кг хрома?

Рассчитайте:

а) отношение объемов газов (при н. у.), выделяющихся на катоде и на аноде в качестве побочных продуктов;

б) выход по току для реакций, протекающих раздельно на катоде и на аноде с выделением газов. Если рассчитываемые Вами величины будут отличаться от значений, приведенных в условии задачи, предположите, какие побочные процессы могут протекать в электролитической ячейке. Напишите суммарное уравнение реакции на электродах и исправьте, если это возможно, Ваши расчеты.

**Задача 11.** (Ленинград, СССР, 1979 г.)

Соединение X состоит из азота и водорода. Сильное нагревание 3,2 г X ведет к его полному разложению без образования твердого остатка. Получившаяся в этих условиях смесь газов частично абсорбируется серной кислотой (объем газовой смеси уменьшается в 2,8 раза). Неабсорбированный газ, представляющий собой смесь водорода и азота, занимает объем 1 л и имеет плотность 0,786 г/л (при н. у.).

Определите формулу соединения X.

**Задача 12.** (Линц, Австрия, 1980 г.)

При щелочном гидролизе 20 мг частично метилированного дисилана  $\text{Si}_2\text{H}_{6-x}(\text{CH}_3)_x$  образовалось 27,8 мл водорода при 294 К и давлении 97 400 Па.

а) Почему связь Si—Si дисилана при гидролизе расщепляется?

б) Почему гидролизуется связь Si—H?

в) Рассчитайте степень замещения «x» в метилированном дисилане.

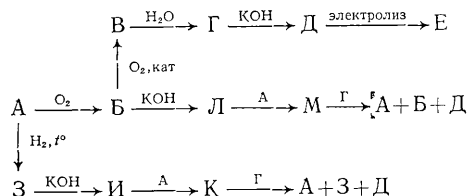
г) Запишите полное уравнение реакции гидролиза.

д) Сколько изомеров может образовывать это соединение?

Приведите структурные формулы каждого изомера.

**Задача 13.** (Бургас, Болгария, 1981 г.)

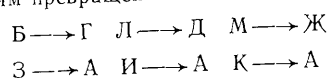
Простое вещество А участвует в превращениях, представленных на схеме. На этой схеме показаны продукты, содержащие элемент А:



Вещество А — твердое и нерастворимое в воде; вещества Б и З — газы, растворимые в воде; вещества Д, Е, И и К — твердые и растворимые в воде.

Водные растворы Б, Л, М, З и К реагируют с Е, давая во всех случаях Д и Г.

Взаимодействие с раствором йода в воде приводит к следующим превращениям:



Составьте схемы уравнений химических реакций всех вышеуказанных превращений и уравняйте их.

**Задача 14.** (Стокгольм, Швеция, 1982 г.)

На химическом заводе, производящем формальдегид окислением метанола, нужно анализировать водные растворы, содержащие метанол и формальдегид. Для проверки метода анализа проводят эксперименты с растворами, содержащими известные количества метанола или формальдегида. В анализе используют водные растворы: метанола 5,00 г/л; бихромата калия  $3,000 \cdot 10^{-2}$  моль/л; сульфата железа (II)—аммония 0,2000 моль/л; йода 0,1000 моль  $\text{I}_2$ /л; тиосульфата натрия 0,2000 моль/л.

I. Смешали 10,00 мл раствора метанола и 100,00 мл раствора бихромата калия, прибавили около 100 мл концентрированной серной кислоты; раствор постоял 30 мин. Затем избыток бихромата калия оттитровали ионами железа (II) в присутствии окислительно-восстановительного индикатора — дифениламиносульфоокислоты (окраска изменяется от красно-фиолетовой до бледно-зеленой). Объем раствора железа (II) составил 43,5 мл.

II. Смешали 10,00 мл раствора формальдегида и 50,00 мл раствора йода. Добавили раствор гидроксида натрия до щелочной реакции и оставили смесь на 10 мин. Затем добавили соляную кислоту до нейтральной реакции и определили избыток йода титрованием раствором тиосульфата в присутствии крахмала. Объем раствора тиосульфата составил 33,3 мл.

На основании данных анализов I и II рассчитайте количества реагирующих веществ и молярные отношения: метанол/бихромат-ионы и формальдегид/йод.

Напишите уравнения всех описанных реакций.

III. Проверено, что метанол не реагирует с йодом. Из раствора, содержащего и метанол и формальдегид, взяты две порции по 10,00 мл. Одну порцию

смешали со 100,00 мл раствора бихромата калия и серной кислотой, как в I. На титрование избытка бихромат-ионов пошло 4,8 мл раствора железа (II). Вторую часть смешали с 50,00 мл раствора йода и обработали далее, как во II. На титрование избытка йода потребовалось 16,50 мл раствора тиосульфата.

Напишите уравнения реакций и рассчитайте содержание метанола и формальдегида в растворе в г/л.

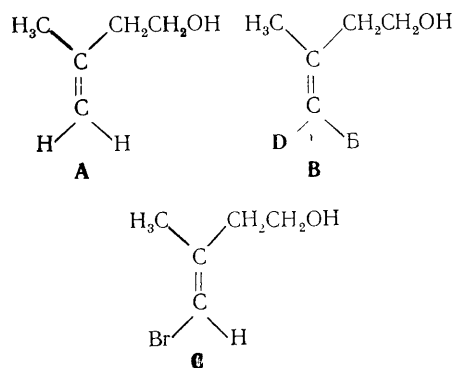
**Задача 15.** (Тимишоара, Румыния, 1983 г.)

Образец, содержащий хлориды натрия и калия, имеет массу 23 г. К водному раствору образца прибавили 840 мл раствора  $\text{AgNO}_3$  (0,5 моль/л). Осадок отфильтровали, после чего опустили в раствор медную пластинку массой 100,00 г. Через некоторое время масса пластинки составила 101,52 г.

Рассчитайте массовые доли компонентов исходной смеси.

**Задача 16<sup>1</sup>.** (Франкфурт-на-Майне, ФРГ, 1984 г.)

Один из двух метиленовых протонов при двойной связи в А был замещен дейтерием. Бромирование и последующее дегидробромирование дают дейтерированный олефин В и недейтерированный олефин С.



<sup>1</sup> Приводится по публикации: В. В. Сорокин, Международная химическая олимпиада // Химия и жизнь. 1985. № 5. С. 80—82.

Какую конфигурацию можно предложить для монодейтерированного А из приведенных продуктов реакции? Напишите уравнения реакций и дайте обоснование, почему образуются только соединения В и С. Приведите способ, по которому можно стереоселективно получить монодейтерированное А в метиленовой группе.

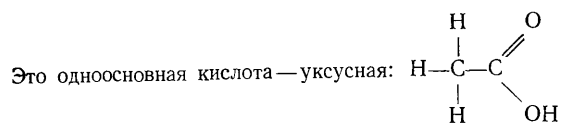
### Решения

**Задача 1.** а) Кислота может быть НА, Н<sub>2</sub>А, Н<sub>3</sub>А и т. д.  $\nu(\text{NaOH}) = cV = 0,1 \cdot 0,0317 \cdot 10^{-3}$  (моль);

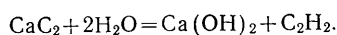
$$\nu(\text{кислоты}) = \frac{3,10 \cdot 10^{-3}}{V} \text{ (моль), где } V = 1, 2, 3 \dots$$

$$\frac{m(\text{кислоты})}{M(\text{кислоты})} = \frac{3,17 \cdot 10^{-3}}{V}; \quad M(\text{кислоты}) = V \frac{0,10}{3,17 \cdot 10^{-3}} = V \cdot 60 \text{ (г/моль)}.$$

б)  $M(\text{H}_2) = 2$  (г/моль);  $M(\text{кислоты}) = 30 \cdot 2 = 60$  (г/моль);  
 $V = 1$ .

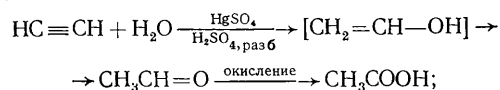


**Задача 2.** Основная реакция:

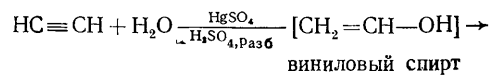


Исходя из ацетилена можно получить:

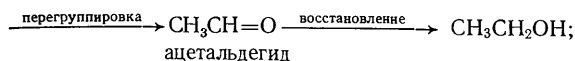
а) уксусную кислоту



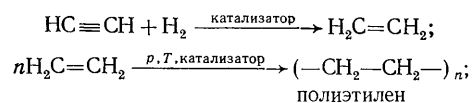
б) этанол



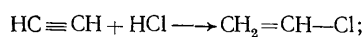




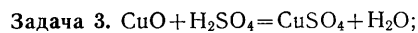
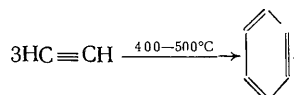
в) этилен, полиэтилен



г) хлорвинил



д) бензол



$$\nu (\text{CuO}) = m (\text{CuO}) / M (\text{CuO}) = 20 / 79,5 = 0,2516 \text{ (моль);}$$

$$\nu (\text{H}_2\text{SO}_4) = \nu (\text{CuSO}_4) = 0,2516 \text{ (моль).}$$

Масса раствора  $\text{CuSO}_4$ , полученного в результате реакции:

$$\begin{aligned} m (\text{р-ра}) &= m (\text{CuO}) + m (\text{р-ра } \text{H}_2\text{SO}_4) = \\ &= m (\text{CuO}) + \frac{\nu (\text{H}_2\text{SO}_4) M (\text{H}_2\text{SO}_4)}{c (\text{H}_2\text{SO}_4)} = \\ &= 20 + \frac{0,2516 \cdot 98}{0,2} = 143,28 \text{ (г)}. \end{aligned}$$

Массовая доля  $\text{CuSO}_4$ :

а) в полученном растворе

$$\omega (\text{CuSO}_4) = \frac{m (\text{CuSO}_4)}{m (\text{р-ра})} = \frac{\nu (\text{CuSO}_4) M (\text{CuSO}_4)}{m (\text{р-ра})} = 0,28;$$

б) в насыщенном растворе при  $20^\circ \text{C}$

$$\omega (\text{CuSO}_4) = 20,9 / 120,9 = 0,173;$$

в) в кристаллогидрате  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

$$\omega (\text{CuSO}_4) = \frac{M (\text{CuSO}_4)}{M (\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = 0,639.$$

Уравнение массового баланса для  $\text{CuSO}_4$ :

$$0,639m_1 + 0,173m_2 = 0,28m,$$

где  $m_1$  — масса кристаллогидрата;  $m_2$  — масса насыщенного при  $20^\circ \text{C}$  раствора;  $m$  — масса раствора  $\text{CuSO}_4$ , полученного в результате реакции при более высокой температуре:

$$0,639m_1 + 0,173(143,28 - m_1) = 0,28 \cdot 143,28,$$

$$m_1 = 32,9 \text{ (г)}.$$

В результате кристаллизации будет получено 32,9 г  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

**Задача 4.** Стехиометрические формулы соединений:

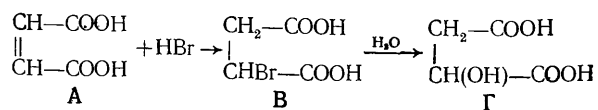
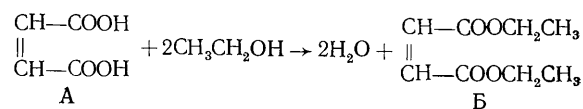
$$\text{A: } \text{C}_x\text{H}_y\text{O} \quad x : y : z = \frac{41,38}{12} : \frac{3,45}{1} : \frac{55,17}{16} = 1 : 1 : 1;$$

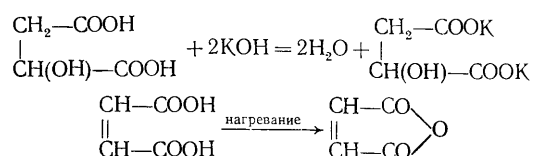
$$\text{B: } \text{C}_m\text{H}_n\text{O}_p \quad m : n : p = \frac{55,81}{12} : \frac{6,97}{1} : \frac{37,22}{16} = 2 : 3 : 1;$$

$$\text{Г: } \text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c \quad a : b : c = \frac{35,82}{12} : \frac{4,48}{1} : \frac{59,70}{16} = 4 : 6 : 5.$$

20 мл 2 н КОН составляют 0,04 моль КОН, т. е.  $0,04/V$  (моль) вещества Г,  $V=1, 2, 3 \dots$ ; 1 моль вещества Г составляет  $67 \cdot V$  (г);  $M_r(\text{Г})=67,134$  или 201 и т. д. Сопоставляя относительную молекулярную массу и стехиометрическую формулу Г, получаем состав  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$ . Молекулярные формулы веществ А, Б и В соответственно  $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ ,  $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{O}_4$ ,  $\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_4\text{Br}$ .

Уравнения реакций:





**Задача 5.** Масса сухого остатка 2,0 г, масса  $\text{H}_2\text{O}$  составляет 0,90 г, т. е. 0,05 моль; масса оксида  $\text{A}_x\text{O}_y$  равна 1,1 г.

$$v(\text{смеси}) = 1,68/22,4 = 0,075 \text{ (моль);}$$

$$v(\text{A}_x\text{O}_y) = v(\text{смеси}) - v(\text{H}_2\text{O}) = 0,25 \text{ (моль);}$$

$$M(\text{A}_x\text{O}_y) = m/v = 1,1/0,025 = 44 \text{ (г/моль).}$$

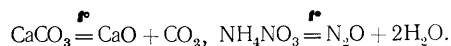
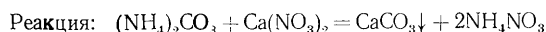
Осадок — соль двухвалентного металла,  $v(\text{осадка}) = 0,0125$  моль;

$$M(\text{осадка}) = m/v = 1,25/0,0125 = 100 \text{ (г/моль);}$$

$$v(\text{MO}) = 0,0125; \quad M(\text{MO}) = m/v = \frac{0,70}{0,0125} = 56 \text{ (г/моль);}$$

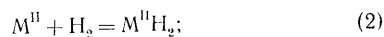
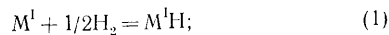
$$M(\text{M}) = M(\text{MO}) - M(\text{O}) = 56 - 16 = 40 \text{ (г/моль).}$$

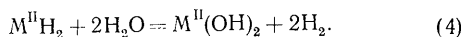
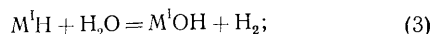
Относительная молекулярная масса равна 40, т. е. металл — Ca. Молекулярная масса, приходящаяся на кислотный остаток, составляет  $100 - 40 = 60$  (г/моль). Таким образом, осадок — карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$ .



**Задача 6.** Ионные гидриды образуются при взаимодействии щелочных или щелочноземельных металлов с водородом. В соответствии с условием данной задачи в смеси должны быть один щелочной металл ( $\text{M}^I$ ) и один щелочноземельный металл ( $\text{M}^{II}$ ).

Уравнения реакций:



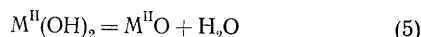


Прореагировало: 0,09 г  $H_2O$ , т. е. 0,005 моль; не прореагировало: 0,18 г  $H_2O$ , т. е. 0,01 моль. Поскольку все гидроксиды щелочных металлов хорошо растворимы в воде, малорастворимый осадок — это  $M^{II} (OH)_2$ . Так, в растворе содержатся

$$m' [M^I OH + M^{II} (OH)_2] = z, \text{ тогда } 30 = \frac{z}{n + 108} 100, \quad z = 0,077 \text{ г, что соответствует } 40,95\% \text{ общей массы гидроксидов, т. е. общая масса гидроксидов равна}$$

$$m' [M^I OH + M^{II} (OH)_2] = \frac{0,77 \cdot 100}{40,95} = 0,188 \text{ (г).}$$

Масса осадка  $M^{II} (OH)_2$ :  $0,188 - 0,077 = 0,111$  (г).  
При прокаливании осадка



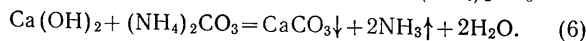
происходит уменьшение массы на 0,027 (г)  $H_2O$ .  
Таким образом, масса  $M^{II} O$  равна 0,084 г и

$$\frac{M(M^{II} O)}{M(M^{II} O) + 18} = \frac{0,084}{0,111}, \text{ тогда } M(M^{II} O) = 56 \text{ г/моль;}$$

$$M(M^{II}) = M(M^{II} O) - M(O) = 56 - 16 = 40 \text{ (г/моль).}$$

Следовательно,  $M^{II}$  — это Ca.

Осаждение карбонатом аммония  $(NH_4)_2CO_3$ :



Масса раствора равна  $0,18 + 0,077 = 0,257$  (г).  
После осаждения карбонатом аммония

$$16,81 = \frac{m(M^I OH)}{m(\text{раствора})} 100.$$

Обозначим количество  $Ca(OH)_2$ , находящегося в растворенном состоянии, как  $v$ ;  $M(Ca(OH)_2) = 74$  г/моль; принимая во внимание условие задачи и уравнение (6), запишем:

$$16,81 = \frac{(0,077 - v \cdot 74) \cdot 100}{0,257 - v \cdot 74 + 2 \cdot 18}, \quad v = 5 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$$

Общее количество вещества  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (в виде осадка и в растворенном состоянии):

$$\nu(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{0,111}{74} + 5 \cdot 10^{-4} = 0,002 \text{ моль, что соответствует } 0,148 \text{ г.}$$

Согласно уравнениям (3) и (4)

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,004 \text{ моль (для } \text{M}^{\text{II}}\text{H}_2\text{)};$$

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,001 \text{ моль (для } \text{M}^{\text{I}}\text{H)};$$

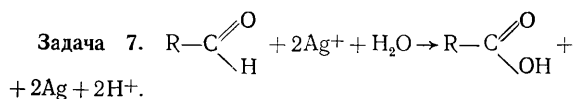
$$\nu(\text{M}^{\text{I}}\text{OH}) = 0,001 \text{ моль.}$$

В соответствии с общей массой гидроксидов, равной 0,188 г, и уравнением (6)

$$m(\text{M}^{\text{I}}\text{OH}) = 0,188 - 0,148 = 0,04 \text{ (г);}$$

$$M(\text{M}^{\text{I}}\text{OH}) = \frac{m(\text{M}^{\text{I}}\text{OH})}{\nu(\text{M}^{\text{I}}\text{OH})} = \frac{0,04}{0,001} = 40 \text{ (г/моль).}$$

Таким образом, вещество  $\text{M}^{\text{I}}\text{OH}$  — это  $\text{NaOH}$ .  
Состав исходной смеси: 0,002 моль  $\text{Ca}$  и 0,001 моль  $\text{Na}$  (т. е. 0,080 г  $\text{Ca}$  и 0,023 г  $\text{Na}$ ).



Расчет количества вещества (два возможных варианта решения):

$$\text{а) } \nu(\text{Ag}) = \frac{4,35}{107,87} = 0,04033 \text{ (моль);}$$

$$\nu(\text{A}) + \nu(\text{B}) = 0,020165 \text{ моль в } \frac{2}{119} \cdot 42 = 0,70588 \text{ (г)}$$

альдегидов.

$$\text{б) } \frac{119}{2} \cdot 4,35 = 258,825 \text{ г Ag соответствует}$$

$$2,3994 \text{ моль Ag;}$$

$$\nu(\text{A}) + \nu(\text{B}) = 1,1998 \text{ моль в } 42 \text{ г альдегидов.}$$

Расчет молярных масс (три возможных варианта решения):

$$1) \frac{m(A)}{M(A)} + \frac{m(B)}{M(B)} = \frac{m(A)}{M(A)} + \frac{m(B)}{M(A) + 14} = \\ = \nu(A) + \nu(B);$$

$$а) \quad m(A) = 0,3865 \text{ г}; \quad m(B) = 0,319 \text{ г}; \\ \nu(A) + \nu(B) = 0,020165 \text{ моль}, \\ M(A) = 30 \text{ г/моль}; \quad M(B) = 44 \text{ г/моль};$$

$$б) \quad m(A) = 23 \text{ г}; \quad m(B) = 19 \text{ г}; \\ \nu(A) + \nu(B) = 1,1998 \text{ моль}, \\ M(A) = 30 \text{ г/моль}; \quad M(B) = 44 \text{ г/моль}.$$

2) Предполагаем, что А и Б принадлежат к ряду алифатических альдегидов; первые члены ряда имеют  $M_1 = 30$  и  $M_2 = 44$ .

$$M(A) = 30 + 14\nu; \quad M(B) = 44 + 14\nu \text{ (г/моль)};$$

$$\frac{m(A)}{30 + 14\nu} + \frac{m(B)}{44 + 14\nu} = \nu(A) + \nu(B); \quad \nu = 0;$$

$$M(A) = 30 \text{ г/моль}; \quad M(B) = 44 \text{ г/моль}.$$

$$3) \quad M = \frac{m(A) + m(B)}{\nu(A) + \nu(B)} = 35 \text{ г/моль}.$$

$$\text{Если } R = H, \text{ то } M = 30 \text{ г/моль} \leftarrow 30 < \overline{M} < 44,$$

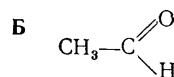
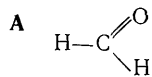
$$R = CH_3, \text{ то } M = 44 \text{ г/моль} \leftarrow 44 < \overline{M} < 58,$$

$$R = C_2H_5, \text{ то } M = 58 \text{ г/моль},$$

т. е.  $30 \text{ г/моль} < 35 \text{ г/моль} < 44 \text{ г/моль}$ .

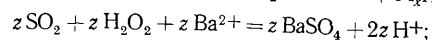
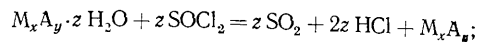
Следовательно,  $M(A) = 30 \text{ г/моль}$  — формальдегид, метаналь;

$M(B) = 44 \text{ г/моль}$  — ацетальдегид, этаналь.



**Задача 8.** а) Процентное содержание серы позволяет сделать вывод, что осадок — это  $\text{BaSO}_4$ .

Реакции:



$$\nu(\text{BaSO}_4) = \frac{m(\text{BaSO}_4)}{M(\text{BaSO}_4)} = \frac{14,004}{233,4} = 0,06 \text{ (моль)}.$$

Количество воды в кристаллогидрате  $\nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,06$  моль.

б) Количество вещества  $\text{A}^-$  в образце.

Реакция  $\text{Ag}^+ + \text{A}^- = \text{AgA}$ ;

$$\nu(\text{Ag}^+) = cV = 0,2 \cdot 0,01 = 0,002 \text{ (моль)};$$

$$\nu(\text{AgA}) = 0,002 \text{ моль};$$

$$M(\text{AgA}) = \frac{m(\text{AgA})}{\nu(\text{AgA})} = \frac{0,28664}{0,002} = 143,32 \text{ (г/моль)}.$$

Таким образом, А — это Cl.

Осадок, который образуется при титровании, —  $\text{AgCl}$ , а кристаллогидрат содержит в своем составе хлорид.

1,1896/5 г, т. е. 0,23792 г кристаллогидрата содержит 0,002 моль  $\text{Cl}^-$ ; 2,3792 г кристаллогидрата содержит 0,02 моль  $\text{Cl}^-$ .

Молярное отношение  $\text{Cl}^-$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в кристаллогидрате:

$$\nu(\text{Cl}^-) : \nu(\text{H}_2\text{O}) = 0,02 : 0,06 = 1 : 3.$$

Возможные предположения:

$$\mathbf{6-1) \text{MCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}; \quad \nu(\text{Cl}^-) = 0,02 \text{ моль},$$

$$\nu(\text{MCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 0,02 \text{ моль};$$

$$M(\text{MCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 2,3793/0,02 = 118,965 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{M}) = M(\text{MCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}) - M(\text{Cl}) - 3M(\text{H}_2\text{O}) =$$

$$= 118,965 - 35,453 - 54,046 = 29,466 \text{ (г/моль)}.$$

Элемент с таким значением относительной молекулярной массы является неметаллом, следовательно, первое предположение неверно.

$$\begin{aligned}
& 6-2) \text{MCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}; \quad \nu(\text{Cl}^-) = 0,02 \text{ моль}; \\
& \quad \nu(\text{MCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0,01 \text{ моль}, \\
& M(\text{MCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 2,3793/0,01 = 237,93 \text{ (г/моль)}; \\
& M(M) = M(\text{MCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) - 2M(\text{Cl}) - 6M(\text{H}_2\text{O}) = \\
& = 237,93 - 70,906 - 108,092 = 58,932 \text{ (г/моль)}.
\end{aligned}$$

Таким образом, металл — Co. Второе предположение удовлетворяет условию задачи. Формула гидрата  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

**Задача 9.** а)  $v = k[\text{Hb}][\text{O}_2]$ ;  $k = 2,1 \cdot 10^6$  л/моль·с;

$$[\text{Hb}] = 8 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}; \quad [\text{O}_2] = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л};$$

$$v = 2,688 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л·с}.$$

Поскольку на образование 1 моль  $\text{HbO}_2$  требуется 1 моль кислорода, скорость расхода кислорода равна скорости образования оксигемоглобина.

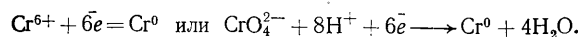
$$б) [\text{O}_2] = \frac{v}{k \cdot [\text{Hb}]}; \quad v = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л·с};$$

$$k = 2,1 \cdot 10^6 \text{ л/моль·с}; \quad [\text{Hb}] = 8 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л};$$

$$[\text{O}_2] = 6,5 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}.$$

Концентрацию кислорода нужно увеличить до  $6,5 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Четырехкратное увеличение концентрации кислорода потребует повышения давления воздуха в четыре раза. Такое давление пагубно для организма, поэтому для дыхания используется воздух, обогащенный кислородом.

**Задача 10.** а) Реакция на катоде:



Выделилось хрома на катоде:

$$m(\text{Cr}) = \frac{\Delta t}{96500} = \frac{(56/6) 1500 \cdot 3600 \cdot 10}{96500} = 4849,8 \text{ (г)}.$$

$$\text{Выход по току: } \frac{679}{4849,8} = 0,14, \text{ или } 14\%.$$

$$\text{Выход по току: } \frac{78,36}{559,6} 100 = 14,0\%.$$



б) Простейшее предположение: на катоде выделяется водород,

$$\nu(\text{O}_2) = \frac{559,6}{4} = 139,9 \text{ (моль);}$$

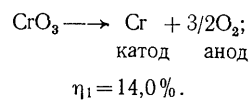
$$\nu(\text{H}_2) = \frac{559,6 \cdot 0,86}{2} = 240,63 \text{ (моль).}$$

Молярное отношение

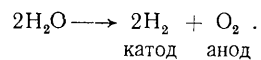
$$\frac{\nu(\text{H}_2)}{\nu(\text{O}_2)} = \frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{O}_2)} = \frac{240,63}{139,9} = 1,720.$$

Эта величина отличается от величины, приведенной в условии задачи. Значит, на электродах протекают еще и другие процессы. Выход по току можно рассчитать на основании соотношения объемов выделившихся газов, не исследуя, какие именно реакции протекают.

Основная реакция:



Побочная реакция (электролиз воды):



Найдем  $\eta_2$ .

Количество водорода, выделившегося на катоде, составляет

$$\nu(\text{H}_2) = \frac{Q\eta_2}{2}.$$

Количество кислорода, выделившегося на аноде, равно

$$\nu(\text{O}_2) = \frac{Q(\eta_1 + \eta_2)}{4}.$$

Согласно условию

$$\frac{V(\text{H}_2)}{V(\text{O}_2)} = \frac{\nu(\text{H}_2)}{\nu(\text{O}_2)} = \frac{Q\eta_2/2}{Q(\eta_1 + \eta_2)/4} = 1,603.$$

Решая уравнение относительно  $\eta_2$ , получаем следующее значение:  $\eta_2 = 0,565$  (56,5%).

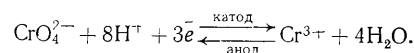
$$\text{Тогда } \nu(\text{H}_2) = \frac{559,6 \cdot 0,565}{2} = 158,1 \text{ (моль);}$$

$$V(\text{H}_2) = 22,41 \cdot 158,1 = 3543 \text{ (л);}$$

$$\nu(\text{O}_2) = \frac{559,6(0,140 + 0,565)}{4} = 98,6 \text{ (моль);}$$

$$V(\text{O}_2) = 22,41 \cdot 98,6 = 2210 \text{ (л).}$$

Выход по току при выделении водорода на катоде составляет 56,5%, при выделении кислорода на аноде — 70,5%. Таким образом, 29,5% электричества расходуется без очевидного эффекта. Следовательно, в растворе протекает циклический процесс, приводящий к неполному восстановлению  $\text{CrO}_4^{2-}$ . Одна из реакций, снижающих выход по току,



**Задача 11.** Если известна плотность смеси газов  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2$ , то состав смеси может быть определен как  $0,786 \cdot 22,4 (n+1) = 28n + 2$ ; откуда  $n = 1,5$ .

Масса смеси равна  $0,786 \cdot 1,4 = 1,1$  (г).

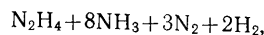
Следовательно, смесь газов, абсорбированных серной кислотой (этими газами могут быть  $\text{NH}_3$  и  $\text{N}_2\text{H}_4$ ), имеет среднюю молярную массу, равную

$$\bar{M}(\text{NH}_3 + \text{N}_2\text{H}_4) = \frac{3,2 - 1,1}{1,4 \cdot (2,8 - 1)} \cdot 22,4 = 18,67 \text{ (г/моль)}.$$

Учитывая, что  $M(\text{NH}_3) = 17$  г/моль, ясно, что абсорбированные газообразные продукты являются смесью  $\text{NH}_3$  и  $\text{N}_2\text{H}_4$ . Состав абсорбированной фракции:

$$\frac{32 + 17}{n + 1} = 18,67, \quad n = 8, \quad \text{т. е. } \text{N}_2\text{H}_4 + 8\text{NH}_3.$$

Таким образом, общее отношение компонентов в смеси следующее:



что соответствует составу исходного вещества  
 $N : H = (2+8+6) : (4+24+4) = 1 : 2$ .

Исходное вещество — гидразин  $N_2H_4$ .

**Задача 12.** а) Связь Si—Si координационно ненасыщена, поэтому она имеет тенденцию к разрыву при взаимодействии с нуклеофильными реагентами.

б) Как и во всех соединениях с отрицательно заряженным водородом, связь Si—H также взаимодействует с протонами воды с образованием молекулярного водорода.

$$\begin{aligned} \text{в)} \quad & Si_2H_{6-x}(CH_3)_x; \quad M(Si_2H_{6-x}(CH_3)_x) = \\ & = 2 \cdot 28,086 + (6-x) \cdot 1,008 + x(12 + 3 \cdot 1,008) = \\ & = 62,22 + 14,027x. \end{aligned}$$

Масса образца равна 20 мг или  $\nu = \frac{20}{62,22 + 14,027 \cdot x}$  (ммоль).

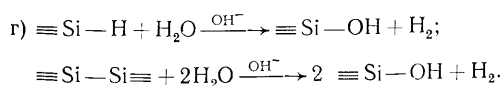
Полученный водород:

$$\nu = \frac{pV}{RT} (V, \text{ мл}); \quad \nu = \frac{0,974 \cdot 27,8}{0,08317 \cdot 294} \text{ (ммоль)}.$$

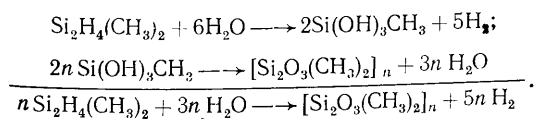
Найдем степень замещения  $x$  исходя из следующего соотношения: при гидролизе выделяется водород за счет расщепления связей Si—H ( $6-x$ ) и Si—Si (1).

$$(6-x+1) \frac{20}{62,22 + 14,027x} = \frac{0,974 \cdot 27,8}{0,08314 \cdot 294};$$

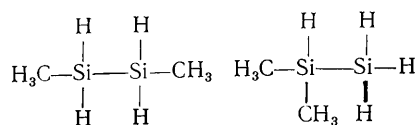
Отсюда степень замещения  $x=2$ .



Имеем (для симметричного изомера)



д) Это соединение может образовать два изомера:



Задача 13. А—S, Б—SO<sub>2</sub>, Е—SO<sub>3</sub>, Г—H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, Д—K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Е—K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>, Л—K<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, М—K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, З—H<sub>2</sub>S, И—K<sub>2</sub>S, К—K<sub>2</sub>S<sub>x</sub>, Ж—K<sub>2</sub>S<sub>4</sub>O<sub>6</sub>.

- 1)  $\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2$ ;
- 2)  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{кат.}} 2\text{SO}_3$ ;
- 3)  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- 4)  $2\text{KOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ;
- 5)  $2\text{SO}_4^{2-} - 2e^- \longrightarrow \text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ ;
- 6)  $\text{SO}_2 + 2\text{KOH} \longrightarrow \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 7)  $\text{K}_2\text{SO}_3 + \text{S} \longrightarrow \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ;
- 8)  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{S} + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 9)  $\text{H}_2 + \text{S} \longrightarrow \text{H}_2\text{S}$ ;
- 10)  $\text{H}_2\text{S} + 2\text{KOH} \longrightarrow \text{K}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$ ;
- 11)  $\text{K}_2\text{S} + x\text{S} \longrightarrow \text{K}_2\text{S}_{x+1}$ ;
- 12)  $\text{K}_2\text{S}_{x+1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + x\text{S} + \text{H}_2\text{S}$ ;
- 13)  $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 \longrightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- 14)  $\text{K}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 \longrightarrow 2\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- 15)  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 5\text{H}_2\text{O} + 4\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 \longrightarrow 5\text{K}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- 16)  $\text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 \longrightarrow 5\text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{K}_2\text{SO}_4$ ;
- 17)  $\text{K}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 \longrightarrow 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{K}_2\text{SO}_4$ ;
- 18)  $\text{K}_2\text{S}_{x+1} + (4x+4)\text{H}_2\text{O} + (3x+4)\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 \longrightarrow$   
 $\longrightarrow (4x+4)\text{H}_2\text{SO}_4 + (3x+5)\text{K}_2\text{SO}_4$ ;
- 19)  $\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{I}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HI}$ ;
- 20)  $\text{K}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{I}_2 \longrightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{HI}$ ;

- 21)  $2K_2S_2O_8 + I_2 \rightarrow 2KI + K_2S_4O_6$ ;  
 22)  $H_2S + I_2 \rightarrow 2HI + S$ ;  
 23)  $K_2S + I_2 \rightarrow 2KI + S$ ;  
 24)  $K_2S_x + I_2 \rightarrow 2KI + xS$ .

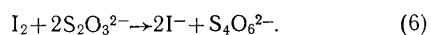
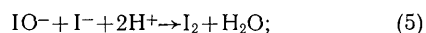
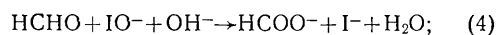
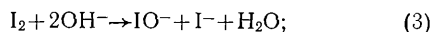
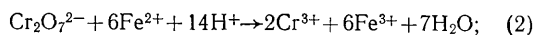
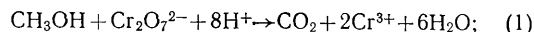
**Задача 14.** I. Количество реагентов:

- метанол 1,56 ммоль;
  - бихромат-ионы 3,00 ммоль;
  - ионы железа (II) 8,70 ммоль.
- Молярное отношение метанол/бихромат равно 1 : 1.

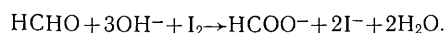
Количество реагентов:

- формальдегид 1,67 ммоль;
  - йод 5,00 ммоль;
  - тиосульфат-ионы 6,66 ммоль.
- Молярное отношение формальдегид/йод равно 1 : 1.

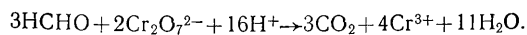
II. Уравнения реакций:



В реакциях (3), (5) и (6) вместо  $I_2$  может участвовать  $I_3^-$ ; вместо реакции (4) возможна следующая:

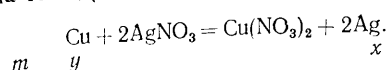


III. К приведенным выше уравнениям следует добавить:



Содержание метанола 1,9 г/л; содержание формальдегида 10,1 г/л.

Задача 15.  $A_r(\text{Cu}) = 63,5$ ;  $A_r(\text{Ag}) = 108$ ;



Пусть  $x$  — масса осажденного серебра,  $y$  — масса растворенной меди.

$$\frac{63,5}{y} = \frac{2 \cdot 108}{x}; \quad x - y = 101,52 - 100 = 1,52; \quad x = 1,52 + y;$$

$$\frac{63,5}{y} = \frac{216}{1,52 + y}; \quad y = 0,63; \quad x = 2,15 \text{ г Ag}^+.$$

Масса нитрата серебра:  $\frac{840}{1000} \cdot 0,5 \cdot 170 = 71,4 \text{ г AgNO}_3$ ;

$$\left. \begin{array}{l} 170 \text{ г} \text{ — } 108 \text{ г} \\ 71,4 \text{ г} \text{ — } x \text{ г} \end{array} \right\} \rightarrow x = 45,36 \text{ г Ag}^+.$$

Масса серебра, которое пошло на осаждение, равна

$$45,36 - 2,15 = 43,21 \text{ г}.$$

Масса хлорида:

$$108 \text{ г Ag}^+ \text{ — } 35,5 \text{ г Cl}^-,$$

$$43,2 \text{ г} \text{ — } x \text{ г},$$

$$x = 14,2 \text{ г Cl}^-.$$

$$M(\text{NaCl}) = 58,5; \quad M(\text{KCl}) = 74,6.$$

Пусть  $x$  — масса NaCl в смеси;

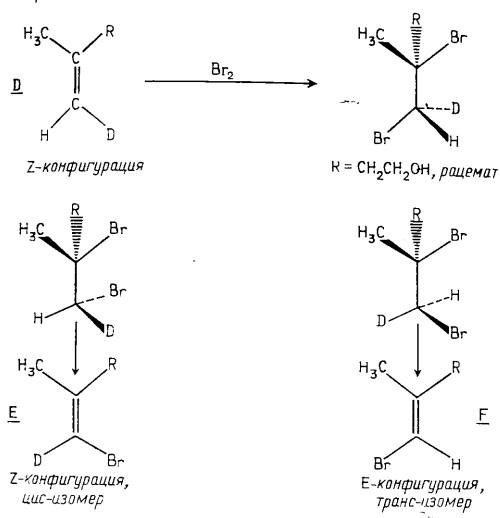
$y$  — масса KCl в смеси;

$$x \text{ г NaCl} \text{ содержит } 35,5/58,5 x \text{ Cl}^-;$$

$$y \text{ г KCl} \text{ — } 35,5/74,6 y \text{ г Cl}^-;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{35,5x}{58,5} + \frac{35,5y}{74,6} = 14,2, \\ x + y = 25. \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} x = 17,6 \text{ г NaCl}; 70,4\% \\ y = 7,4 \text{ г KCl}; 29,6\%. \end{array} \right.$$

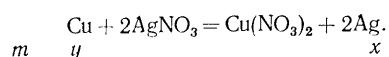
**Задача 16.**



Происходит транс-присоединение брома (антараповерхностно). Элиминирование бромистого водорода по механизму  $\text{E}2$  требует тоже транс-расположения  $\text{H}$  и  $\text{Br}$ . Данные продукты образуются только в случае, если аддукт **D** был в Z-конфигурации.

При бромировании и последующем дегидробромировании образуются оба E, Z-изомерные бромолефины, которые необходимо разделить. Замещение брома на дейтерий в соединении **D** происходит при действии натрия в дейтерированном трет-бутиловом спирте.

**Задача 15.**  $A_r(\text{Cu}) = 63,5$ ;  $A_r(\text{Ag}) = 108$ ;



Пусть  $x$  — масса осажденного серебра,  $y$  — масса растворенной меди.

$$\frac{63,5}{y} = \frac{2 \cdot 108}{x}; \quad x - y = 101,52 - 100 = 1,52; \quad x = 1,52 + y;$$

$$\frac{63,5}{y} = \frac{216}{1,52 + y}; \quad y = 0,63; \quad x = 2,15 \text{ г Ag}^+.$$

Масса нитрата серебра:  $\frac{840}{1000} \cdot 0,5 \cdot 170 = 71,4 \text{ г AgNO}_3$ ;

$$\left. \begin{array}{l} 170 \text{ г} \text{ — } 108 \text{ г} \\ 71,4 \text{ г} \text{ — } x \text{ г} \end{array} \right\} \rightarrow x = 45,36 \text{ г Ag}^+.$$

Масса серебра, которое пошло на осаждение, равна

$$45,36 - 2,15 = 43,21 \text{ г}.$$

Масса хлорида:

$$108 \text{ г Ag}^+ \text{ — } 35,5 \text{ г Cl}^-,$$

$$43,2 \text{ г} \text{ — } x \text{ г},$$

$$x = 14,2 \text{ г Cl}^-.$$

$$M(\text{NaCl}) = 58,5; \quad M(\text{KCl}) = 74,6.$$

Пусть  $x$  — масса NaCl в смеси;

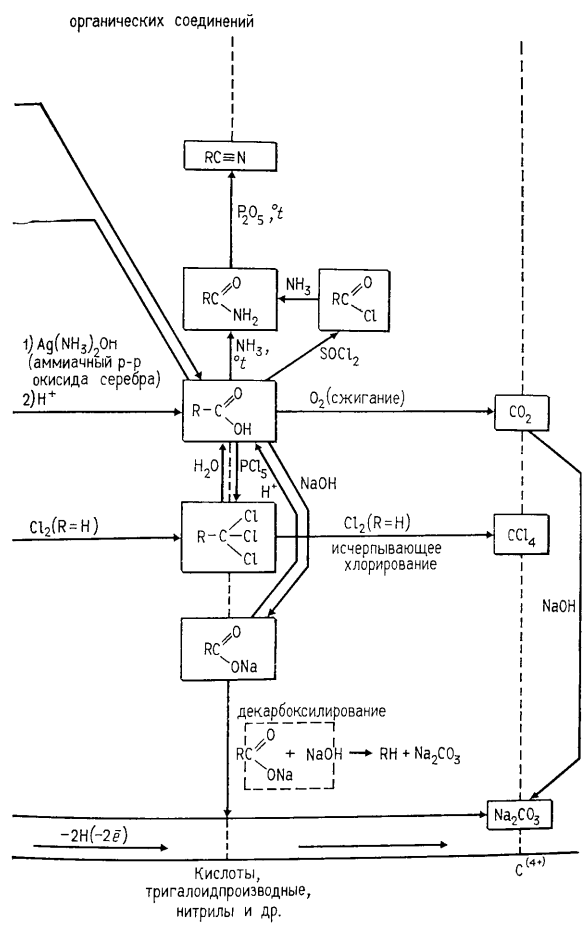
$y$  — масса KCl в смеси;

$x$  г NaCl содержит  $35,5/58,5 x$  Cl<sup>-</sup>;

$y$  г KCl →  $35,5/74,6 y$  г Cl<sup>-</sup>;

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{35,5x}{58,5} + \frac{35,5y}{74,6} = 14,2, \\ x + y = 25. \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} x = 17,6 \text{ г NaCl}; \quad 70,4\%; \\ y = 7,4 \text{ г KCl}; \quad 29,6\%. \end{array} \right.$$







Учебное издание

Сорокин Владимир Валентинович,  
Загорский Вячеслав Викторович  
Свиτανько Игорь Валентинович

ЗАДАЧИ ХИМИЧЕСКИХ ОЛИМПИАД

Зав. редакцией *Н. М. Глазкова*  
Редактор *Л. И. Метлина*  
Художественный редактор *Ю. М. Добрянская*  
Обложка художника *А. М. Ясинского*  
Технический редактор *Н. Н. Смирнова*  
Корректоры *М. И. Эльмус, Л. С. Клочкова*

ИБ № 3366

Сдано в набор 21.06.88. Подписано в печать 17.05.89.  
Формат 84×108<sup>1/32</sup>. Бумага кн.-журнальная.  
Гарнитура литературная. Высокая печать.  
Усл. печ. л. 13,44 Уч.-изд. л. 12,11.  
Тираж 40.000 экз. Заказ 397. Изд. № 376  
Цена 45 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство  
Московского университета.  
103009, Москва, ул. Герцена, 5/7.  
Набрано в типографии ордена «Знак Почета»  
издательства МГУ,  
119899, Москва, Ленинские горы.  
Отпечатано в ПП «Чертановская типография»  
Мосгорпечать 113545, Москва, Варшавское шоссе, 129а 3 208.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Общая химия/Под ред. Е. М. Соколовской, Г. Д. Вовченко, Л. С. Гузья. М., 1980.
2. Кемпбел Дж. Современная общая химия. М., 1975. Т. 1—3.
3. Коттон Ф., Уилкинсон Дж. Основы неорганической химии. М., 1979.
4. Кудрявцев А. А. Составление химических уравнений. М., 1979.
5. Филипенко А. Т. и др. Справочник по элементарной химии. Киев, 1985.
6. Кузьменко Н. Е., Чуранов С. С. Общая и неорганическая химия. М., 1977.
7. Середа И. П. Конкурсные задачи по химии. Киев, 1982.
8. Володина М. А. и др. Пособие по химии. М., 1978.
9. Сборник конкурсных задач по химии с решениями/Под ред. Володиной М. А. М., 1983.
10. Химия. Курс для средней школы. М., 1967.
11. Хомченко Г. П. Химия для поступающих в вузы. Учебное пособие. М., 1985.
12. Хомченко Г. П., Хомченко И. Г. Задачи по химии для поступающих в вузы. М., 1986.
13. Полинг Л. Общая химия. М., 1974.
14. Материалы будущего. Перспективные материалы для народного хозяйства. Л., 1985.
15. Дикерсон Р., Грей Г., Хейт Дж. Основные законы химии. М., 1982. Ч. 1, 2.
16. Потапов В. М. Органическая химия. Пособие для учителей. М., 1970.
17. Терией А. Современная органическая химия. М., 1981. Т. 1, 2.

### Популярная литература

18. Шульпин Г. Б. Эта увлекательная химия. М., 1984.
19. Кошарев Б. Н. Любопытным о химии. Органическая химия. М., 1982.
20. Дмитриев И. С. Электрон глазами химика (очерки о современной квантовой химии). Л., 1983.
21. Полищук В. Р. Как разглядеть молекулу. М., 1979.
22. Сорокин В. В., Злотников Э. Г. Как ты знаешь химию? Л., 1987.

**ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!**

**В 1990 году  
Издательство Московского университета  
выпустит книгу:**

**Спицын В. И., Мартыненко Л. И. Неорганиче-  
ская химия: Учебник. — 40 л. — 1 р. 70 к.**

В учебнике рассмотрены основные закономерности неорганической химии, вытекающие из периодического закона Д. И. Менделеева. Подробно и полно представлены данные о простых веществах, а также о химических свойствах и строении наиболее важных классов соединений, образованных всеми элементами периодической системы.

Рассмотрены теоретические вопросы, связанные с механизмом окислительно-восстановительных реакций, процессом гидролиза комплексообразования. Обобщены сведения о методах неорганического синтеза.

Для студентов химических специальностей вузов.  
Темплан 1990, № 109