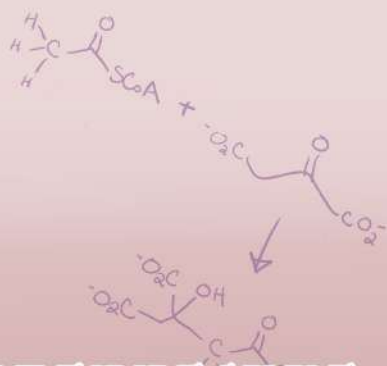


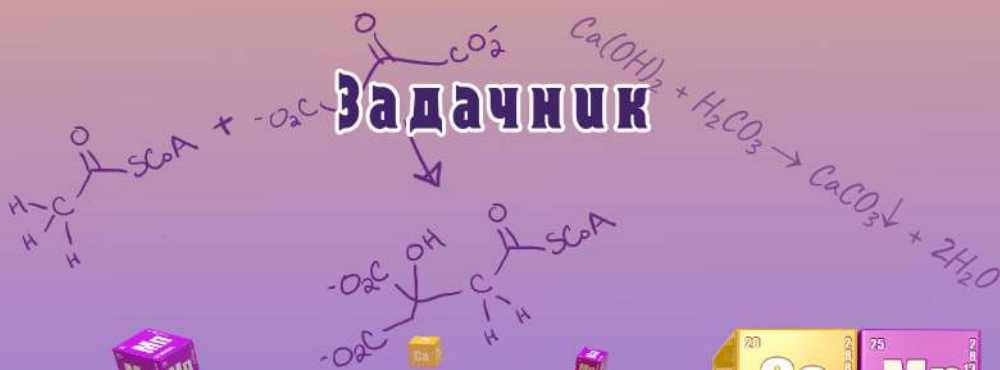


КАЗАНСКИЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



# ВСЕРОССИЙСКИЕ СТУДЕНЧЕСКИЕ ОЛИМПИАДЫ ПО ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

## Задачник



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»

# ВСЕРОССИЙСКИЕ СТУДЕНЧЕСКИЕ ОЛИМПИАДЫ ПО ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Задачник

Казань  
Издательство КНИТУ  
2018

УДК 546(076)  
ББК Г1я7-4  
В85

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Казанского национального исследовательского технологического университета*

*Рецензенты:*

*д-р. хим. наук, проф. Р. Р. Амиров  
д-р. хим. наук, проф. Ф. В. Девятков*

**Авторы: Р. Р. Назмутдинов, Т. П. Петрова, Т. Е. Бусыгина,  
Е. Е. Стародубец**

**В85** Всероссийские студенческие олимпиады по общей и неорганической химии : задачник / Р. Р. Назмутдинов [и др.]; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2018. – 90 с.

ISBN 978-5-7882-2446-6

Содержит задания всероссийских студенческих олимпиад по общей и неорганической химии, проводимых в Казанском национальном исследовательском технологическом университете с 2011 г. Приведены задачи теоретического тура с подробными объяснениями их решения.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлениям 18.03.01 «Химическая технология» и 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», а также студентов технологических и технических вузов в качестве материалов для подготовки к олимпиадам по химии.

Подготовлен на кафедре неорганической химии.

**УДК 546(076)  
ББК Г1я7-4**

ISBN 978-5-7882-2446-6

© Назмутдинов Р. Р., Петрова Т. П.,  
Бусыгина Т. Е., Стародубец Е. Е., 2018  
© Казанский национальный исследовательский  
технологический университет, 2018

## ВВЕДЕНИЕ

На базе факультета химических технологий Казанского национального исследовательского технологического университета в последние годы были проведены шесть всероссийских студенческих олимпиад по дисциплине «Общая и неорганическая химия».

В этих олимпиадах принимали участие студенты ведущих технологических и технических вузов нашей страны: Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина, Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Московского технологического университета, Уфимского государственного нефтяного технического университета, Казанского национального исследовательского технологического университета, Самарского государственного технического университета и других.

В данном сборнике задач представлены разноплановые задания, предлагавшиеся участникам олимпиад в разные годы. Они составлены на основе содержания государственного образовательного стандарта по направлению подготовки «Химическая технология». Многие задания требуют от студентов обширных знаний не только в области общей и неорганической химии, но и других естественно-научных дисциплин – физики, экологии и др.

Составители заданий придерживаются теории контекстного обучения, включая в программу олимпиады не только традиционные академические задачи, но и комбинированные задания проблемной направленности, которые могут быть востребованы в дальнейшей профессиональной деятельности студентов, вовлекая их таким образом в квазипрофессиональную деятельность.

Все задания разбиты на два раздела – общая химия (строение вещества, энергетика химических реакций, химическое равновесие, коллигативные свойства растворов и т.д.) и неорганическая химия (свойства простых веществ и соединений различных элементов). Решения задач приведены также по разделам и могут использоваться студентами для самостоятельной подготовки, так как содержат все необходимые формулы, уравнения реакций, подробные комментарии и развернутые объяснения к ним.

Анализ результатов теоретических туров олимпиад, проведенный авторами пособия, позволяет сделать ряд заключений по уровню знаний студентов.

Как выяснилось, участники олимпиад успешнее всего справляются с заданиями, которые требуют знания конкретных формул и выполнения несложных расчетов, например, на тему «Коллигативные свойства растворов». Большинство студентов имеют слабые знания химических свойств и особенностей применения конкретных неорганических соединений различных классов, даже очень известных и имеющих характерные свойства (бораны, арсин, свинцовые белила и другие), что не позволяет им успешно выполнять задания с цепочками превращений. Также следует отметить недостаточный уровень владения многими студентами основополагающими материалами общей химии (строение вещества, энергетика химических превращений, кинетика химических реакций).

Авторы надеются, что материалы задачника позволят заинтересованным студентам повысить уровень своих знаний по химии, что будет способствовать поиску новых интересных решений химических задач и реальных проблем.

Авторы выражают свою искреннюю благодарность профессору А.М. Кузнецову, принявшему участие в обсуждении некоторых задач из предлагаемого сборника.

# 1. ЗАДАЧИ ОЛИМПИАД

## 1.1. Задачи по общей химии

### Задача 1.1

В соседней (параллельной) вселенной электрон обладает массой, вдвое тяжелее «обычного» электрона, а все остальные свойства элементарных частиц не отличаются от свойств в нашей вселенной.

1) Какова энергия ионизации атома водорода у наших соседей (в электрон-вольтах)?

2) Рассчитайте длину волны излучения при переходе электрона в таком атоме из ближайшего возбужденного состояния в основное (в нанометрах). В каком диапазоне она лежит?

3) Насколько изменится при этом значение радиуса  $1s$ -орбитали (в нанометрах) по сравнению с «обычным» атомом водорода?

### Задача 1.2

Радиоуглеродный анализ бивня мамонта, обнаруженного при раскопках летом 2014 г. в Сибири, показал, что количество изотопа  $^{14}\text{C}$  в находке составляет в среднем 2 % от его нормального содержания в живом организме.

Определите, сколько приблизительно лет тому назад жил мамонт, если скорость распада  $^{14}\text{C}$  прямо пропорциональна его количеству, а период полураспада равен 5700 лет.

### Задача 1.3

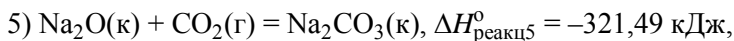
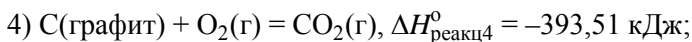
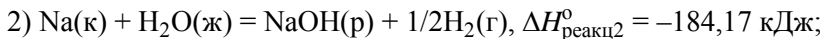
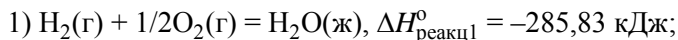
Рассчитайте среднюю энергию связи В–Н в тетрагидридоборат-ионе  $\text{BH}_4^-(\text{г})$ , если известны следующие данные:

- энтальпия образования  $\text{BH}_4^-(\text{г})$  равна  $-473$  кДж/моль;
- энтальпия атомизации бора равна  $+544$  кДж/моль;
- энергия диссоциации молекулы  $\text{H}_2$  составляет  $+436$  кДж/моль;
- энтальпия сродства к электрону атома Н равна  $-73$  кДж/моль.

Постройте энтальпийную диаграмму. Предложите схему гидролиза  $\text{BH}_4^-$ -иона.

### Задача 1.4

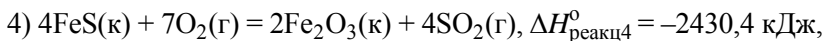
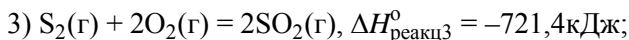
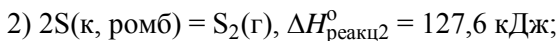
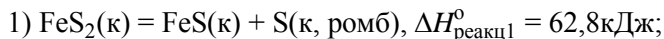
Используя термохимические уравнения:



рассчитайте стандартные энтальпии образования  $\text{Na}_2\text{O}(\text{к})$ ,  $\text{NaOH}(\text{р})$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{к})$ .

### Задача 1.5

Используя термохимические уравнения:



рассчитайте:

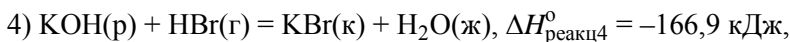
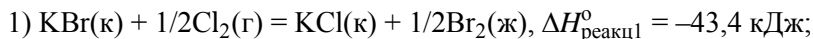
1) стандартную энтальпию образования  $\text{SO}_2(\text{г})$ ;

2) стандартную энтальпию реакции окисления одного моль пирита;

3) общий состав и объем газовой смеси, полученной при обжиге 4 моль пирита в 1232 л воздуха; воздух содержит 20 % по объему кислорода, 80 % – азота; объем воздуха указан в пересчете на нормальные условия.

### Задача 1.6

Используя термохимические уравнения:



рассчитайте стандартную энтальпию образования  $\text{HBr(г)}$ .

### Задача 1.7

0,1 М раствор  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$  содержит избыток 0,8 моль/л аммиака. Константа нестойкости комплекса  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  при диссоциации с образованием 4 моль аммиака составляет  $2 \cdot 10^{-9}$ , а при диссоциации с образованием 2 моль аммиака равна  $5,4 \cdot 10^{-5}$ .

Определите:



2) возможность образования малорастворимых карбоната и сульфида цинка из раствора  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$ , при условии, что

$$\text{PP}(\text{ZnCO}_3) = 1,45 \cdot 10^{-11}, \text{PP}(\text{ZnS}) = 1,6 \cdot 10^{-24}.$$

### Задача 1.8

Константа диссоциации хлорноватистой кислоты  $K_a = 3 \cdot 10^{-8}$ .

Определите:

1) степень диссоциации 0,1 М раствора хлорноватистой кислоты;

2) концентрацию  $\text{H}^+$ -ионов в растворе;

3) как изменится концентрация  $[\text{H}^+]$ , если к 1 л 0,1 М раствора хлорноватистой кислоты добавить 60 г гипохлорита натрия, диссоциирующего при этом на 75 %?

### Задача 1.9

Кажущаяся степень диссоциации 0,1 н. раствора сульфата цинка при температуре 0 °С равна 0,4.

Вычислите осмотическое давление раствора при той же температуре.



### Задача 1.10

Вычислите константу гидролиза  $K_T$  и степень гидролиза  $\alpha_T$  0,2 М раствора цианида натрия NaCN. Константа ионизации циановодородной кислоты  $K_a = 4,93 \cdot 10^{-10}$ .

### Задача 1.11

Температура кипения 3,2 % раствора хлорида бария составляет 100,208 °С. Эбулиоскопическая константа воды  $E = 0,52 \text{ К} \cdot \text{кг/моль}$ .

Вычислите кажущуюся степень диссоциации соли в растворе.

### Задача 1.12

При температуре 20 °С давление водяного пара  $p^\circ = 2338,8 \text{ Па}$ .

Рассчитайте массу воды, необходимую для растворения 23 г этилового спирта  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , чтобы давление пара понизилось до 2000 Па.

### Задача 1.13

Вычислите кажущуюся степень диссоциации 2,5 % водного раствора хлорида кальция, если температура его замерзания  $T_{\text{зам}} = -1,2 \text{ °С}$ .

### Задача 1.14

«Нормальные» условия на Венере значительно отличаются от земных: средняя температура на поверхности планеты равна +450 °С, давление достигает 92 атм., а в составе атмосферы преобладает углекислый газ.

Рассчитайте, какой объем будет занимать 1 моль углекислого газа на поверхности Венеры при данных условиях.

### Задача 1.15

В специальном химическом реакторе небольшого объема, изготовленном из жаростойких материалов, смешали при стандартных условиях 1 моль азота с 1 моль кислорода.

1) На сколько градусов требуется повысить температуру, чтобы мольная доля NO в реакторе составила 1 % от исходной смеси? Температурной зависимостью энтальпии и энтропии, изменением давления в системе и дальнейшим окислением NO можно пренебречь.

2) Почему в этих условиях дальнейшим окислением NO ( $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ ) можно пренебречь?

При ответе используйте значения справочные величины термодинамических констант:

Вещество	$\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}$ , кДж/моль	$S_{298}^{\circ}$ , Дж/(моль·К)
$\text{N}_2(\text{г})$	0	199,9
$\text{O}_2(\text{г})$	0	205,0
$\text{NO}(\text{г})$	91,3	210,6
$\text{NO}_2(\text{г})$	34,2	240,1

### Задача 1.16

В результате аварии, случившейся на химическом заводе, в ванне из полимерного материала смешались 100 л 15 % соляной кислоты (плотность 1,1 кг/л) и 99,6 л 15 % NaOH (плотность 1,21 кг/л).

Рассчитайте, на сколько градусов может нагреться образовавшийся раствор, используя значения стандартных энтальпий образования  $\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}$  частиц:

Вещество	$\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}$ , кДж/моль
$\text{H}^+(\text{р})$	0
$\text{OH}^-(\text{р})$	–230
$\text{H}_2\text{O}(\text{ж})$	–286

Зависимость удельной теплоемкости ( $c_p$ , кДж/кг·К) водных растворов поваренной соли от концентрации выражается формулой

$$c_p = 4,2 - 5,48 x + 7,88 x^2,$$

где  $x$  – концентрация растворенной соли в массовых долях. Температурной зависимостью теплоемкости можно пренебречь.

### Задача 1.17

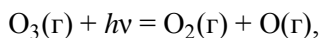
Структура жидкой ртути исследовалась методом дифракции рентгеновских лучей при температуре 620 °С. Согласно полученным результатам, первая координационная сфера атома Hg включает 12 соседей.

Рассчитайте ближайшее расстояние между атомами Hg, если известно экспериментальное значение плотности этого металла при данной температуре  $\rho = 12,15 \text{ г/см}^3$ .

### Задача 1.18

В экспериментальной установке молекулы озона подвергаются импульсному воздействию фемтосекундного лазера с длиной волны 250 нм, соответствующей экспериментально наблюдаемой полосе поглощения.

Рассчитайте термодинамическую возможность протекания в данных условиях фотохимической реакции

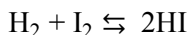


где  $h\nu$  – энергия кванта лазерного излучения.

Дополнительно известно, что стандартная энтальпия процесса  $\text{O}_3(\text{г}) = 3\text{O}(\text{г})$  составляет +598,1 кДж на 1 моль  $\text{O}_3$ , а энергия диссоциации молекулярного кислорода равна 494 кДж/моль.

### Задача 1.19

Для реакции



константа равновесия  $K_{600} = 70,0$ .

Рассчитайте:

1) сколько йода прореагирует (в % от начального содержания) к моменту достижения равновесия, если исходные реагенты смешаны в мольных отношениях  $\text{H}_2$ :  $\text{I}_2$  следующим образом:

а) 1:1;

б) 2:1;

2) сколько моль  $\text{H}_2$  должно быть смешано с 1 моль  $\text{I}_2$ , чтобы 99 % йода превратилось в HI при 600 °С?

### Задача 1.20

Во время грозы слой воздуха разогревается до температуры 6000 К, которая удерживается несколько секунд. Предполагая, что в этом интервале времени быстро устанавливается равновесие,

определите, сколько процентов молекулярного азота в таком слое распадается на атомы, если энтальпия диссоциации  $N_2$  при данной температуре равна 1015 кДж/моль, а ее энтропия составляет 144 Дж/моль·К.

### Задача 1.21

В лаборатории для получения комплексного соединения гексацианоферрата (II) меди (II) используют медный купорос и желтую кровяную соль в виде тригидрата.

1) Составьте уравнение реакции и рассчитайте массу реактивов, необходимых для синтеза 1 г комплексного соединения.

2) Пользуясь значением произведения растворимости комплексного соединения  $PR = 1,3 \cdot 10^{-16}$ , рассчитайте растворимость (в моль/л) гексацианоферрата (II) меди (II).

3) Определите концентрацию ионов железа (II), образующихся при диссоциации комплекса, константа нестойкости которого равна  $1 \cdot 10^{-37}$ .

### Задача 1.22

Кажущаяся степень диссоциации раствора, содержащего 5 г NaOH и 180 г воды, равна 80 %. Определите давление пара раствора при 100 °С, если давление водяного пара  $p^0 = 760$  мм при 100 °С.

### Задача 1.23

При повышении температуры от 25 до 100 °С скорость реакции мономолекулярного распада вещества возросла в 20 раз. Энергия активации данного процесса с участием катализатора равна 26 кДж · моль<sup>-1</sup>.

Определите, во сколько раз катализатор увеличит скорость реакции при стандартной температуре?

### Задача 1.24

В спектре поглощения аквакомплекса никеля  $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$ , окрашенного в зеленый цвет, проявляются три полосы, максимумы которых составляют:  $\bar{\nu}_1 = 9000$  см<sup>-1</sup>;  $\bar{\nu}_2 = 14005$  см<sup>-1</sup>;  $\bar{\nu}_3 = 25000$  см<sup>-1</sup>.

1) Определите, какая из этих полос соответствует видимой области спектра.

2) Рассчитайте энергию перехода электронов (в кДж/моль) в видимой области спектра.

3) Определите параметр расщепления (в кДж/моль) аква-комплекса никеля.

## 1.2. Задачи по неорганической химии

### Задача 2.1

При действии азотной кислоты (1:1) на твердый оксид **A**, содержащий в составе неизвестный *p*-элемент **V** группы **X**, образуется в эквимольных количествах смесь двух газов (уравнение реакции 1). При пропускании их через помещенную в охлаждающую смесь трубку ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) образуется жидкость синего цвета (**Б**) (уравнение реакции 2), которая при разбавлении водой образует слабую кислоту **В**. При температуре около  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  вещество (**Б**) разлагается на **Г** и **Д** (уравнение реакции 3).

Составьте уравнения реакций 1–3. Определите элемент **X** и формулы веществ **A**, **Б**, **В**, **Г**, **Д**.

### Задача 2.2

При сливании растворов соляной кислоты и гидрокарбоната натрия выделился газ, объем которого вдвое превысил объем полученного раствора (условия нормальные, растворимостью газа пренебречь).

Определите молярную концентрацию поваренной соли в полученном растворе.

### Задача 2.3

При прокаливании эквимольной смеси нитрата, оксида и фторида металла в степени окисления +2 масса смеси уменьшилась на 14 г.

Определите формулы веществ и массу исходной смеси, если массовая доля металла в ней равна 77,17 %.

### Задача 2.4

К 12 % раствору хлорида хрома (III) добавили карбонат аммония. Полученный раствор отфильтровали и прокипятили (без

потери воды), при этом массовая доля хлорида хрома (III) уменьшилась в 1,5 раза.

Определите состав полученного раствора в массовых долях.

### Задача 2.5

При нагревании бертолетовой соли часть ее разлагается с выделением кислорода, а часть – с образованием перхлората и хлорида калия. При полном разложении 44,1 г бертолетовой соли выделилось 6,72 л (н.у.) кислорода.

Определите массу и состав твердого остатка, учитывая, что при заданной температуре перхлорат калия не разлагается.

### Задача 2.6

На чашках весов уравновешены два сосуда, в которые налиты равные объемы одного и того же раствора соляной кислоты. В один из сосудов насыпали 1 г мела.

Определите массу карбоната бария, которую необходимо добавить в другой сосуд, чтобы равновесие не нарушилось.

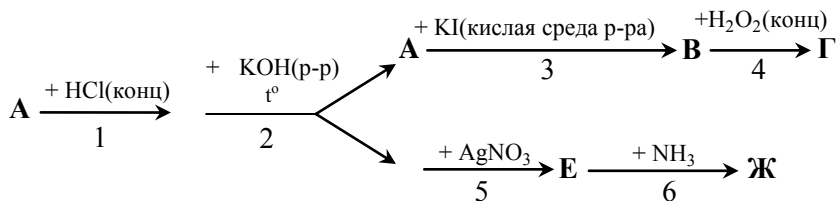
### Задача 2.7

Образец медно-цинкового припоя содержит 26 г меди. Если измельченный образец обработать 100 г 14,6 % раствора соляной кислоты, то процентное содержание цинка в припое понизится на столько же, как если бы в сплав дополнительно ввели 13 г меди.

Определите процентный состав сплава.

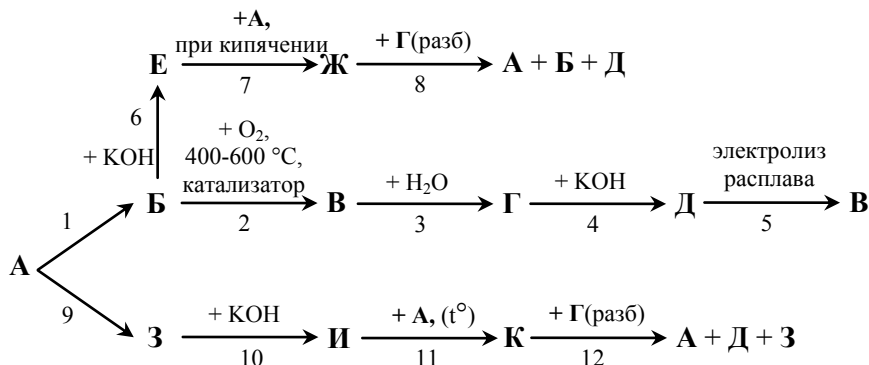
### Задача 2.8

Осуществите цепочку превращений. Определите неизвестные вещества. Составьте уравнения окислительно-восстановительных реакций, используя ионно-электронный метод. Для каждой реакции приведите полуреакции для окислителя и восстановителя:



### Задача 2.9

Простое вещество **А** служит исходным веществом для синтеза бинарных соединений **Б** и **З**, превращением которых получают ряд соединений, также содержащих элемент **А**:



Известно, что **А** – кристаллическое вещество-неметалл, не растворяется в воде; вещества **Б** и **З** – ядовитые газы, растворимые в воде; **З** обладает неприятным запахом; анион химического соединения **К** имеет цепочечное строение.

1) Определите неизвестные соединения и составьте уравнения реакций, указанных в схеме.

2) Составьте уравнения реакций взаимодействия соединений **Е**, **З**, **И**, **К** с йодом.

### Задача 2.10

Два кубика одинакового размера, один из которых изготовлен из алюминия, а другой – из магния, растворили в соляной кислоте. Объем водорода, выделившегося в первом случае, оказался в 2 раза больше, чем во втором случае.

Определите плотность магния, если плотность алюминия составляет  $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ .

### Задача 2.11

50 г смеси фосфата кальция и карбонатов кальция и аммония прокалили, в результате получили 25,2 г твердого остатка, к которому добавили воду и через образовавшийся раствор пропустили избыток углекислого газа. Масса нерастворившегося осадка составила 14 г.

Определите массу карбоната аммония в исходной смеси.

### Задача 2.12

Для очистки металла **А** от других металлов, сопровождающих его в рудах, над предварительно восстановленной нагретой рудой пропускают газ **Б**. Этот газ способен гореть, причем продукт горения **В** при пропускании над раскаленным углем увеличивает объем вдвое, снова образуя газ **Б**. Металл **А** соединяется с **Б**, образуя бесцветную жидкость соединения **Г**, которая при более высокой температуре разлагается с выделением чистого металла **А**. Известно, что в молекуле соединения **Г**, структура которой соответствует правильному тетраэдру с атомом **А** в центре, химическая связь между **А** и **Б** образуется по донорно-акцепторному механизму. Для получения 85,35 г соединения **Г** требуется 44,8 л газа **Б** (н.у.).

Определите вещества **А**, **Б**, **В**, **Г**.

### Задача 2.13

При растворении серебра в 60 % азотной кислоте массовая доля кислоты уменьшилась до 55 %. Затем к раствору добавили равное по массе количество 2 % раствора хлорида натрия. Раствор профильтровали.

Определите массовые доли веществ в растворе, полученном после фильтрования.

### Задача 2.14

При взаимодействии неизвестного соединения **А** красновато-коричневого цвета с разбавленной серной кислотой (уравнение реакции 1) получился окрашенный раствор, из которого выпал красный осадок **Б**. Его отфильтровали и высушили.

Об осадке **Б** известно следующее:

- это простое вещество;
- он может растворяться в концентрированных растворах щелочных цианидов как в присутствии окислителя кислорода (уравнение реакции 2), так и в отсутствии окислителя (уравнение реакции 3);
- он может растворяться в водном растворе аммиака в присутствии  $O_2$  (уравнение реакции 4);
- при температуре более 300 °С вещество **Б** чернеет с образованием вещества **В** (уравнение 5), при температуре красного каления образуется вещество **А** (уравнение 6).



К фильтрату прилили раствор щелочи до образования осадка **Г** (уравнение 7), который растворяется:

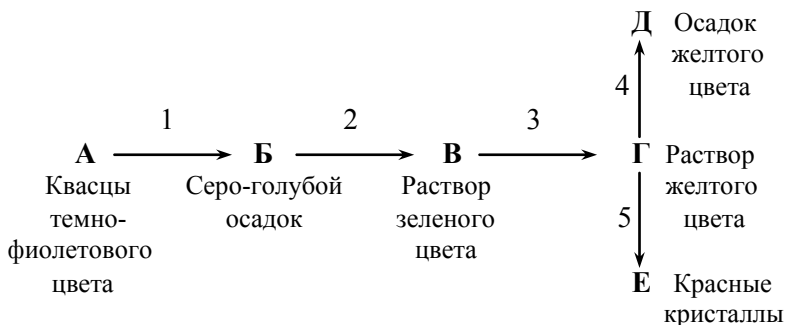
- в растворе разбавленной кислоты (уравнение реакции 8);
- частично – в концентрированном растворе щелочи при нагревании (уравнение реакции 9);
- в водном растворе аммиака (уравнение реакции 10).

При нагревании **Г** образуется вещество **В** (уравнение 11).

Составьте уравнения реакций 1–11 и установите формулы веществ **А**, **Б**, **В**, **Г**.

### Задача 2.15

Осуществите цепочку превращений: составьте уравнения пяти реакций и определите вещества **А**, **Б**, **В**, **Г**, **Д**, **Е**:



### Задача 2.16

Элементы **А** и **В**, расположенные в одном периоде системы элементов Д.И. Менделеева, образуют между собой соединение, содержащее 79,77 % элемента **В** (по массе). При нагревании гидролиз этого соединения протекает с выделением газа, обладающего кислотными свойствами и содержащего 2,74 % водорода и 97,26 % элемента **В** (по массе).

- 1) Установите молекулярную формулу соединения **А** с **В**.
- 2) Составьте уравнение реакции его гидролиза.

### Задача 2.17

Вещество **Х** содержит только азот и водород. При прокаливании 3,20 г вещества **Х** происходит его частичное разложение без образования твердого остатка. Полученная смесь газов частично

поглощается серной кислотой, при этом объем газов уменьшается в 2,8 раза. Непоглощенный газ, представляющий собой смесь водорода и азота, при нормальных условиях занимает объем 1,40 л и имеет плотность 0,786 г/л.

Установите формулу вещества **X** и предложите способ его получения в промышленности.

### Задача 2.18

Неизвестный металл массой 13 г обработали избытком очень разбавленного раствора азотной кислоты. К полученному раствору прибавили избыток раствора щелочи и прокипятили, при этом выделилось 1,12 л газа (н.у.).

- 1) Составьте уравнения описанных реакций.
- 2) Установите, какой металл был растворен в азотной кислоте, подтвердив ответ расчетами.

### Задача 2.19

При окислении растворимых солей, например, нитратов, неизвестного металла **X** гипохлоритом кальция, в осадок выпадает кристаллическое вещество **A** темно-коричневого цвета со структурой типа рутила (уравнение реакции 1), которое нерастворимо в воде, разбавленных кислотах и щелочах.

Однако, являясь сильным окислителем, вещество **A** при нагревании взаимодействует с концентрированной HCl (уравнение реакции 2) или концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (уравнение реакции 3), при этом образуется малорастворимое при комнатной температуре соединение металла **X**.

При нагревании вещество **A** взаимодействует с концентрированными растворами щелочей, образуя гексагидрооксокомплексы **X** (уравнение реакции 4).

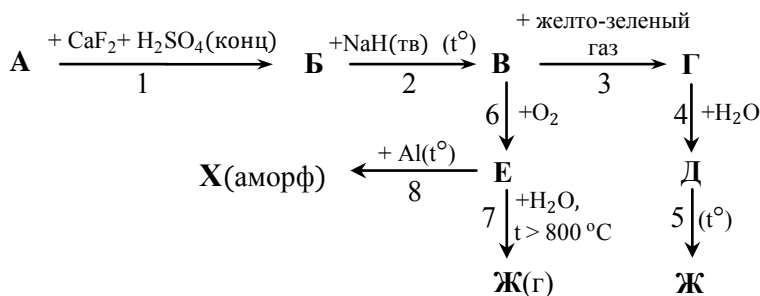
Прокаливая вещество **A** при  $t = 300...500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , получают красно-оранжевое вещество **B** со смешанными степенями окисления катиона **X** (уравнение реакции 5), которое долгое время широко использовалось в качестве пигмента для приготовления краски. В настоящее время в большинстве стран производство красок из этого вещества сильно ограничено из-за его токсичности. Для доказательства присутствия в соединении **B** атомов **X** в разных степенях окисления, его обрабатывают ледяной уксус-

ной кислотой, получая смесь ацетатов металла **X** (уравнение реакции 6).

- 1) Определите элемент **X**, вещества **A** и **B**.
- 2) Приведите уравнения шести описанных реакций.
- 3) Как называют краску на основе вещества **B**?

### Задача 2.20

Элемент **X**, входящий в состав всех соединений, участвующих в цепочке превращений, образует целый класс необычных электронно-дефицитных неорганических соединений – ядовитых, химически активных, легко окисляющихся на воздухе и разлагающихся водой:



Соединение **A** – соль слабой кислоты элемента **X** и щелочного металла, широко применяемая в различных областях техники.

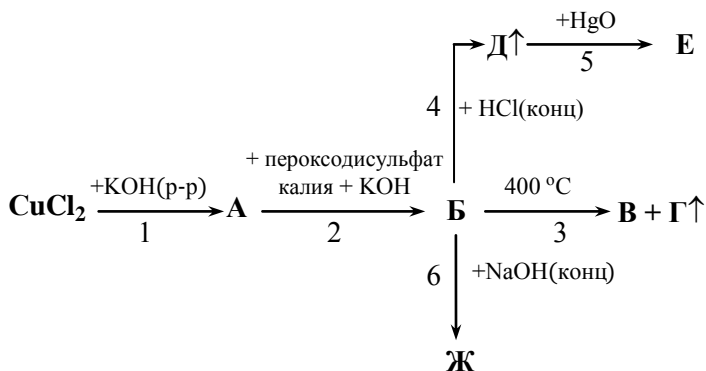
Соединение **B** – бинарное соединение, массовая доля элемента **X** в котором составляет 16 %.

Соединение **B** – исходное вещество, использующееся для получения всех остальных представителей этого класса соединений.

- 1) Определите элемент **X** и формулы соединений **A**, **B**, **B**, **Г**, **Д**, **Е**, **Ж**.
- 2) Напишите уравнения восьми реакций предложенной схемы превращений.
- 3) Как называют соединения типа **B**? На примере соединения **B** объясните, почему подобные соединения являются электронно-дефицитными.
- 4) В чем отличие строения соединений **Д** и **Ж**?

### Задача 2.21

Составьте уравнения реакций следующих превращений:



Известно, что вещество **Б** – гранатово-красного цвета; вещество **В** – черное, **Ж** – красное, нестойкое соединение; **Г** и **Д** – газы, причем **Д** – окрашен и имеет резкий запах; вещество **Е** в водном растворе – слабая кислота.

- 1) Определите вещества **А**, **Б**, **В**, **Г**, **Д**, **Е**, **Ж**.
- 2) Рассчитайте молярную массу вещества **Б**, если при разложении 1 г этого вещества выделяется 64 мл газа **Г**.

### Задача 2.22

Путем дегидратации кислоты, содержащей в составе неизвестный *p*-элемент **X** в высшей степени окисления, получен белый порошок **А** (уравнение реакции 1), в результате обработки которого цинком в присутствии соляной кислоты (уравнение реакции 2) выделился бесцветный газ **Б** с характерным резким запахом, который может гореть на воздухе (уравнение реакции 3).

При пропускании газа **Б** через нагретую кварцевую трубку, на ее стенках образуется черное «зеркало» **В** (уравнение реакции 4). При обработке **В** щелочным раствором гипохлорита натрия «зеркало» исчезает (уравнение реакции 5). Если пропускать газ **Б** через раствор нитрата серебра, то осаждается металл **Г** (уравнение реакции 6). Некоторые из описанных реакций находили применение в судебной медицине и токсикологии.

- 1) Составьте уравнения реакций 1–6. Установите элемент **X**, а также формулы веществ **А**, **Б**, **В**, **Г**.

2) Какой еще оксид элемента **X** также может вступать в реакцию с цинком в присутствии соляной кислоты с образованием бесцветного ядовитого газа с чесночным запахом **Б**? Составьте уравнение реакции 7.

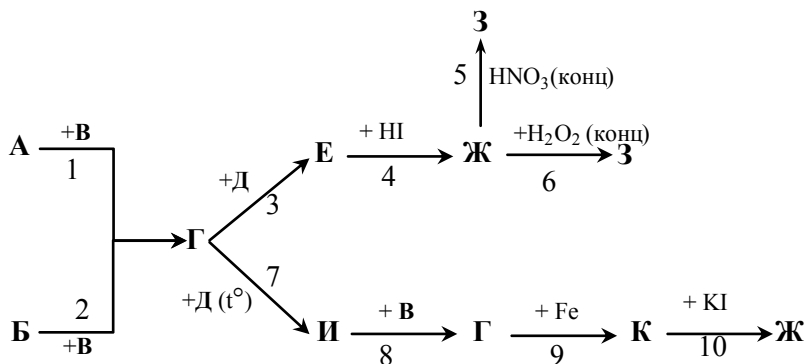
### Задача 2.23

Сотрудника химической лаборатории попросили получить оксид хрома (III), необходимый для каталитического окисления аммиака, прокалив дихромат аммония. По случайности в его распоряжении оказалось только 400 г смеси дихромата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и парамолибдата аммония  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , взятых в мольном соотношении 1:1.

Определите выход (в массовых долях) образовавшегося оксида хрома после полного термического разложения исходной смеси на открытом воздухе.

### Задача 2.24

Известно, что в цепочке превращений



вещества **А** и **Б** содержат марганец.

1) Определите неизвестные вещества **А**, **Б**, **В**, **Г**, **Д**, **Е**, **Ж**, **З**, **И**, **К**.

2) Составьте уравнения окислительно-восстановительных реакций, используя ионно-электронный метод. Для каждой реакции приведите полуреакции для окислителя и восстановителя.

### Задача 2.25

Смесь двух металлов, находящихся в разных группах Периодической системы Д.И. Менделеева, взаимодействует при нагревании с 56 мл водорода (н.у.), в результате чего образуются два ионных соединения. Оба продукта вносят в 270 мг воды, при этом  $\frac{1}{3}$  массы воды вступает с ними в реакцию. Получается щелочной раствор и одновременно выпадает осадок. Установлено, что массовая доля гидроксидов в растворе равна 30 %, а масса выпавшего осадка составляет 59,05 % от общей массы продуктов реакции. Осадок отфильтровали и прокалили, при этом его масса уменьшилась на 27 мг. Если к щелочному раствору добавить кристаллический карбонат аммония в количестве, строго необходимом для полного осаждения продукта реакции и выделения эквивалентного количества газа, то содержание гидроксидов в растворе уменьшится до 16,18 %.

Определите, какие металлы и в каком количестве находились в исходной смеси.

## 2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ И КОММЕНТАРИИ

### 2.1. Задачи по общей химии

#### Задача 1.1

Энергию электрона атома водорода при различных значениях  $n$  рассчитывают по уравнению

$$E = -k \left( \frac{1}{n^2} \right),$$

где  $k = 1312$  кДж/моль.

Отсюда энергия первого энергетического уровня атома водорода составляет  $-1312$  кДж/моль, тогда энергия ионизации атома водорода  $E_{\text{и}} = 1312$  кДж/моль.

В соответствии с уравнением

$$E = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \left( \frac{1}{n^2} \right)$$

энергия электрона атома водорода прямо пропорциональна его массе. Следовательно, при увеличении массы электрона в два раза энергия ионизации также увеличится в два раза. Отсюда энергия ионизации атома водорода в параллельной Вселенной составит

$$1312 \text{ кДж/моль} \cdot 2 = 2624 \text{ кДж/моль}.$$

Для определения длины волны излучения используют следующие уравнения:

$$\Delta E = k \left( \frac{1}{n_{\text{н}}^2} - \frac{1}{n_{\text{в}}^2} \right),$$

$$\lambda = \frac{hN_{\text{А}}c}{\Delta E}.$$

$$\text{Тогда} \quad \Delta E = 2624 \left( \frac{1}{1} - \frac{1}{4} \right) = 1968 \text{ кДж/моль};$$

$$\lambda = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{-3} \text{ кДж} \cdot \text{с}) \cdot (6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}) \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}}{1968 \text{ кДж/моль}} = 6,08 \cdot 10^{-8} \text{ м},$$

$$\lambda = 60,8 \text{ нм}.$$

Этой длине волны соответствует ультрафиолетовая часть спектра.

Полная энергия электрона атома водорода  $E$  в основном состоянии, т.е. потенциал ионизации, равен сумме потенциальной  $U$  и кинетической  $T$  энергий:

$$E = U + T.$$

Обозначим знаком  $*$  параметры атома в гипотетической вселенной. Поскольку  $E^* = 2E$  и  $T^* = 2T$ , то очевидно, что энергия в параллельной вселенной:

$$U^* = 2U (E^*, U^*, T^*).$$

С другой стороны,  $U$  обратно пропорциональна орбитальному радиусу  $r$ :

$$r = \frac{e^2}{U4\pi\epsilon_0}.$$

Тогда радиус атома водорода в параллельной вселенной:

$$r^* = r/2.$$

Радиус атома водорода  $r = 0,053$  нм. Следовательно,

$$r^* = 0,053/2 \text{ нм} = 0,0265 \text{ нм}.$$

**Ответ:** в параллельной вселенной:

- 1) энергия ионизации атома водорода составит 2624 кДж/моль;
- 2) длина волны равна 60,8 нм (ультрафиолетовая часть спектра);
- 3) радиус атома водорода уменьшится вдвое, т.е.  $r^* = 0,0265$  нм.

### Задача 1.2

Пусть  $N(\tau)$  – текущее число изотопов  $^{14}\text{C}$  в останках животного. Тогда по условию задачи справедливо уравнение

$$\frac{dN(\tau)}{d\tau} = -kN(\tau), \quad (1),$$

где  $k$  – константа скорости радиоактивного распада, равная обратной величине характерного времени жизни изотопа ( $T$ ).



Обозначим через  $N_0$  число атомов  $^{14}\text{C}$  в живом организме. Тогда, решая задачу Коши, получим

$$N(\tau) = N_0 \exp(-\tau/T_e), \quad (2)$$

где  $T_e$  – время, за которое число изотопов уменьшается в  $e$  (2,7182...) раз.

Нетрудно показать, что выражение (2) можно переписать в виде

$$N(\tau) = N_0 2^{-\tau/T_{1/2}}, \quad (3)$$

где  $T_{1/2}$  – период полураспада изотопов (время, за которое их количество уменьшается вдвое).

Из выражения (3) можно выразить время  $\tau$ :

$$\tau = - \frac{T_{1/2} \ln (N(\tau)/N_0)}{\ln 2}. \quad (4)$$

По условию задачи  $N(\tau)/N_0 = 0,02$  и  $T_{1/2} = 5700$  лет, тогда окончательно получаем, что  $\tau = 32170$  лет.

**Ответ:** мамонт жил приблизительно 32170 лет тому назад.

### Задача 1.3

Введем обозначения:

$$\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{BH}_4^{-}(\text{r})) = -473 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{атом}}^{\circ}(\text{B}(\kappa)) = +544 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{дисс}}^{\circ}(\text{H}_2) = +436 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{ср. эл}}^{\circ}(\text{H}) = -73 \text{ кДж/моль}.$$

Энтальпия образования иона  $\text{BH}_4^{-}(\text{r})$  связана со следующими энергетическими эффектами:

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{BH}_4^{-}(\text{r})) &= \Delta H_{\text{атом}}^{\circ}(\text{B}(\kappa)) + 2 \cdot \Delta H_{\text{дисс}}^{\circ}(\text{H}_2) + \\ &+ \Delta H_{\text{ср. эл}}^{\circ}(\text{H}) + 4 \cdot \Delta H_{\text{обр. связи}}^{\circ}(\text{B-H}). \end{aligned}$$

Отсюда

$$\begin{aligned} -\Delta H_{\text{обр. связи}}^{\circ}(\text{B-H}) &= 1/4 \cdot (473 \text{ кДж/моль} + 544 \text{ кДж/моль} + \\ &+ 2 \cdot 436 \text{ кДж/моль} - 73 \text{ кДж/моль}) = 454 \text{ кДж/моль}. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\Delta H_{\text{обр. связи}}^{\circ}(\text{B-H}) = -454 \text{ кДж/моль}.$$

Энтальпия связи В–Н равна по величине и противоположна по знаку энтальпии образования связи В–Н, тогда

$$\Delta H^{\circ}_{\text{связи}}(\text{В–Н}) = 454 \text{ кДж/моль}.$$

Энтальпийная диаграмма для расчета средней энергии связи В–Н в тетрагидридоборат-ионе  $\text{BH}_4^{-}(\text{г})$ :

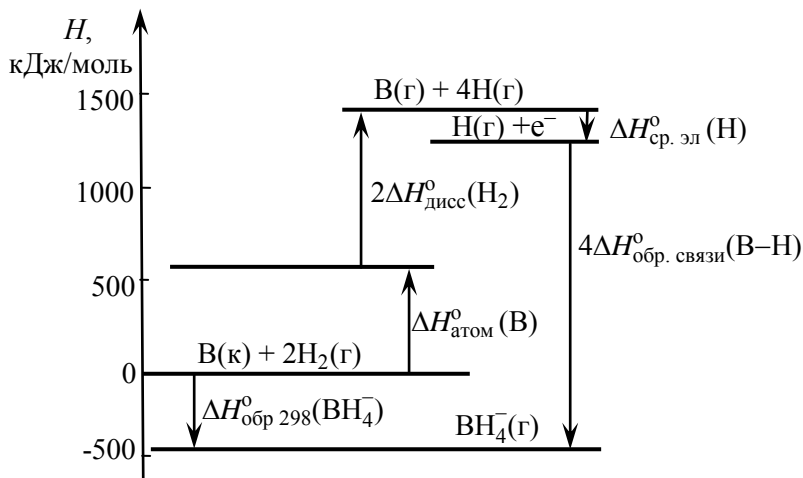
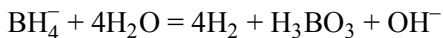
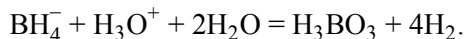


Схема гидролиза:



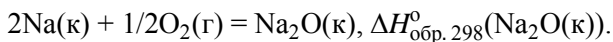
или



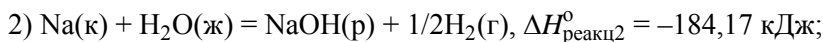
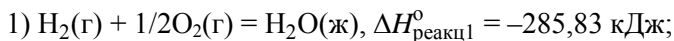
**Ответ:** энтальпия связи В–Н равна 454 кДж/моль.

### Задача 1.4

Термохимическое уравнение реакции образования  $\text{Na}_2\text{O}(\text{к})$  из простых веществ имеет вид

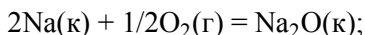


Для его получения с термохимическими уравнениями реакций:



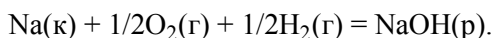
проводят следующие действия: на два умножают уравнение (2), суммируют преобразованное уравнение с уравнением (1) и вычитают уравнение (3). Аналогичные действия проводят и со стандартными энтальпиями реакций.

Тогда

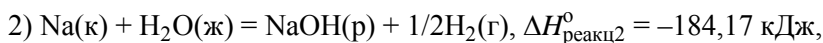
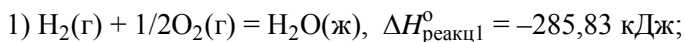


$$\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{Na}_2\text{O}(\text{к})) = -285,83 + 2 \cdot (-184,17) + 238,17 = -416 \text{ кДж/моль}.$$

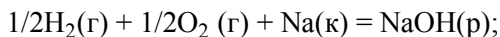
Термохимическое уравнение реакции образования  $\text{NaOH}(\text{р})$  из простых веществ имеет вид



Суммируя термохимические уравнения:

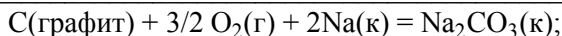
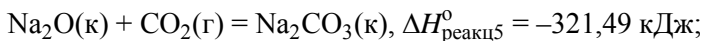
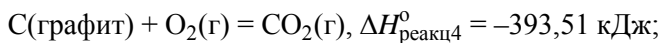


получают:



$$\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{NaOH}(\text{р})) = -285,83 - 184,17 = -470 \text{ кДж/моль}.$$

Энтальпию образования  $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{к})$  рассчитывают, суммируя уравнения



$$\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{к})) = -393,51 - 416 - 321,49 = -1131 \text{ кДж/моль}.$$

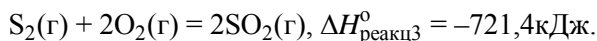
**Ответ:**  $\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{Na}_2\text{O(к)}) = -416 \text{ кДж/моль};$

$$\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{NaOH(р)}) = -470 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{к})) = -1131 \text{ кДж/моль}.$$

### Задача 1.5

Для определения стандартной энтальпии образования  $\text{SO}_2(\text{г})$  используют термохимические уравнения



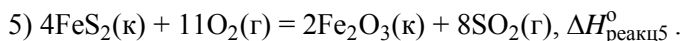
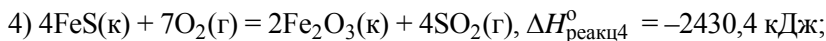
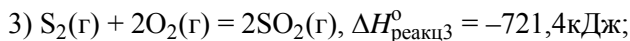
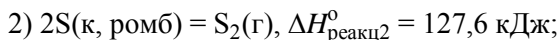
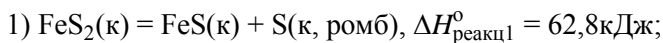
Суммируя уравнения, получают



Тогда

$$\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{SO}_2(\text{г})) = 1/2 (\Delta H_{\text{реакц}2}^{\circ} + \Delta H_{\text{реакц}3}^{\circ}) = -296,9 \text{ кДж/моль}.$$

Для определения стандартной энтальпии реакции окисления одного моль пирита уравнения (1), (2), (3), (4) умножают соответственно на 4, 2, 2, 1 и суммируют их. Аналогичные действия проводят и со стандартными энтальпиями реакций, в результате получают уравнение реакции (5):



$$\Delta H_{\text{реакц5}}^{\circ} = 4\Delta H_{\text{реакц1}}^{\circ} + 2\Delta H_{\text{реакц2}}^{\circ} + 2\Delta H_{\text{реакц3}}^{\circ} + \Delta H_{\text{реакц4}}^{\circ} .$$

Тогда стандартная энтальпия реакции окисления одного моль пирита  $\Delta H_{\text{реакц6}}^{\circ}$  составит:

$$\Delta H_{\text{реакц6}}^{\circ} = 1/4 \Delta H_{\text{реакц5}}^{\circ} = 1/4 (4\Delta H_{\text{реакц1}}^{\circ} + 2\Delta H_{\text{реакц2}}^{\circ} + 2\Delta H_{\text{реакц3}}^{\circ} + \Delta H_{\text{реакц4}}^{\circ} );$$

$$\Delta H_{\text{реакц6}}^{\circ} = 1/4 \cdot (4 \cdot 62,8 + 2 \cdot 127,6 + 2 \cdot (-721,4) - 2430,4) = -841,5 \text{ кДж/моль}.$$

В 1232 л воздуха содержится:

$$V(\text{O}_2) = 1232 \text{ л} \cdot 0,2 = 246,4 \text{ л};$$

$$V(\text{N}_2) = 1232 \text{ л} - 246,4 \text{ л} = 985,6 \text{ л}.$$

Для сжигания 4 моль пирита согласно уравнению (5), необходимы 11 моль  $\text{O}_2$ , которые при н.у. занимают объем

$$V(\text{O}_2) = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 11 \text{ моль} = 246,4 \text{ л}.$$

Следовательно, израсходуется весь кислород и образуется 8 моль  $\text{SO}_2(\text{г})$ , что составляет

$$V(\text{SO}_2) = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 8 \text{ моль} = 179,2 \text{ л}.$$

Общий объем полученной газовой смеси равен

$$V = 179,2 + 985,6 = 1164,8 \text{ л}.$$

**Ответ:**

1)  $\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{SO}_2(\text{г})) = -296,9 \text{ кДж/моль}$ ;

2) стандартная энтальпия окисления 1 моль пирита составляет  $\Delta H_{\text{реакц6}}^{\circ} = -841,5 \text{ кДж/моль}$ ;

3) состав газовой смеси – азот и оксид серы (IV), объем газовой смеси составляет 1164,8 л.

**Задача 1.6**

Согласно закону Гесса, стандартную энтальпию образования  $\text{HBr}(\text{г})$  реакции



можно определить, используя термохимические уравнения:

1)  $\text{KBr}(\text{к}) + 1/2\text{Cl}_2(\text{г}) = \text{KCl}(\text{к}) + 1/2\text{Br}_2(\text{ж}), \Delta H_{\text{реакц1}}^{\circ} = -43,4 \text{ кДж}$ ;

2)  $1/2\text{H}_2(\text{г}) + 1/2\text{Cl}_2(\text{г}) = \text{HCl}(\text{г}), \Delta H_{\text{реакц2}}^{\circ} = -91,8 \text{ кДж}$ ;

3)  $\text{KOH}(\text{р}) + \text{HCl}(\text{г}) = \text{KCl}(\text{к}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж}), \Delta H_{\text{реакц3}}^{\circ} = -152,6 \text{ кДж}$ ;

4)  $\text{KOH}(\text{р}) + \text{HBr}(\text{г}) = \text{KBr}(\text{к}) + \text{H}_2\text{O}(\text{ж}), \Delta H_{\text{реакц4}}^{\circ} = -166,9 \text{ кДж}$ .

Для этого из уравнения (2) вычитают уравнение (1), из уравнения (3) вычитают уравнение (4). Полученные уравнения суммируют.

Аналогичные действия проводят и со стандартными энтальпиями реакций. Тогда

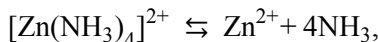
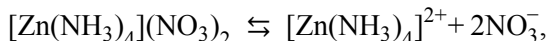


$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{HBr}(\text{г})) &= (\Delta H_{\text{реакц2}}^{\circ} - \Delta H_{\text{реакц1}}^{\circ}) + (\Delta H_{\text{реакц3}}^{\circ} - \Delta H_{\text{реакц4}}^{\circ}) = \\ &= (-91,8 + 43,4) + (-152,6 + 166,9) = -34,1 \text{ кДж/моль}.\end{aligned}$$

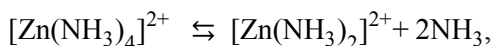
**Ответ:**  $\Delta H_{\text{обр. 298}}^{\circ}(\text{HBr}(\text{г})) = -34,1 \text{ кДж/моль}$ .

### Задача 1.7

Диссоциация протекает в соответствии с уравнениями реакций:



$$K_{\text{нест}} = \frac{[\text{Zn}^{2+}][\text{NH}_3]^4}{[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}} = 2 \cdot 10^{-9}; \quad (1)$$



$$K_{\text{нест}} = \frac{[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2]^{2+}[\text{NH}_3]^2}{[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}} = 5,4 \cdot 10^{-5}. \quad (2)$$

Диссоциация комплекса  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  сильно подавлена избыточным содержанием аммиака, поэтому можно принять, что концентрация иона  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  практически равна исходной концентрации комплекса, то есть 0,1 моль/л. Равновесную концентрацию  $\text{NH}_3$  можно принять равной избыточной концентрации аммиака (0,8 моль/л), которая невелика за счет диссоциации комплекса.

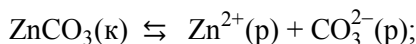
Для определения концентрации ионов  $\text{Zn}^{2+}$ , образующихся при диссоциации комплекса, используют уравнение (1):

$$[\text{Zn}^{2+}] = \frac{[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{[\text{NH}_3]^4} = \frac{0,1 \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{0,8^4} = 4,9 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.}$$

Концентрацию ионов  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2]^{2+}$  рассчитывают, используя уравнение (2):

$$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2]^{2+} = \frac{[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \cdot 5,4 \cdot 10^{-5}}{[\text{NH}_3]^2} = \frac{0,1 \cdot 5,4 \cdot 10^{-5}}{0,8^2} = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

В насыщенном растворе малорастворимого электролита  $\text{ZnCO}_3$  устанавливается равновесие:



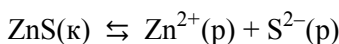
$$\text{ПР}(\text{ZnCO}_3) = [\text{Zn}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = 1,45 \cdot 10^{-11}.$$

С учетом  $\text{PP}(\text{ZnCO}_3)$  и концентрации ионов цинка, образующихся при диссоциации комплекса  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ , рассчитывают концентрацию карбонат-иона, при которой выпадает осадок карбоната цинка:

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{1,45 \cdot 10^{-11}}{4,9 \cdot 10^{-10}} = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

Таким образом, если концентрация ионов  $\text{CO}_3^{2-}$  будет больше, чем  $2,9 \cdot 10^{-2}$  моль/л, то из раствора  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$  выпадает осадок карбоната цинка.

В случае сульфида цинка:



$$\text{PP}(\text{ZnS}) = [\text{Zn}^{2+}][\text{S}^{2-}] = 1,6 \cdot 10^{-24}.$$

Отсюда

$$[\text{S}^{2-}] = \frac{1,6 \cdot 10^{-24}}{4,9 \cdot 10^{-10}} = 3,3 \cdot 10^{-15} \text{ моль/л.}$$

По сравнению с концентрацией  $\text{CO}_3^{2-}$  ( $2,9 \cdot 10^{-2}$  моль/л), концентрация  $\text{S}^{2-}$ , необходимая для осаждения сульфида цинка, ничтожно мала, поэтому он выпадает из раствора  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$  практически при любой концентрации сульфид-иона.

**Ответ:**

$$1) [\text{Zn}^{2+}] = 4,9 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л; } [[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2]^{2+}] = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

2) Если концентрация  $\text{CO}_3^{2-}$  будет больше, чем  $2,9 \cdot 10^{-2}$  моль/л, то осадок карбоната цинка выпадает из раствора  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$ ; сульфид цинка выпадает из раствора  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_2$  практически при любой концентрации сульфид-иона.

### Задача 1.8

Исходя из закона разбавления Оствальда,

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-8}}{0,1}} = 5,5 \cdot 10^{-4}.$$





$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{ClO}^-]}{[\text{HClO}]}.$$

Концентрации ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{ClO}^-$  равны, поэтому

$$[\text{H}^+][\text{ClO}^-] = [\text{H}^+]^2, \quad K_a = \frac{[\text{H}^+]^2}{C};$$

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \cdot C} = \sqrt{3 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

Введение гипохлорита натрия в раствор хлорноватистой кислоты уменьшит концентрацию ионов водорода за счет увеличения концентрации ионов  $\text{ClO}^-$ .

Концентрация  $[\text{H}^+]$  принимается за  $x$ , тогда концентрация  $[\text{ClO}^-]$  равна  $x$  плюс концентрация ионов  $\text{ClO}^-$ , образовавшихся при диссоциации  $\text{NaClO}$ :

$$\nu(\text{NaClO}) = 60/74,5 = 0,8 \text{ моль.}$$

С учетом степени диссоциации соли ( $\alpha = 0,75$ ), концентрация ионов  $[\text{ClO}^-]$  равна

$$[\text{ClO}^-] = 0,8 \cdot 0,75 = 0,6 \text{ моль,}$$

тогда

$$K_a = \frac{x(x+0,6)}{0,1} = 3 \cdot 10^{-8}; \quad x^2 + 0,6x = 3 \cdot 10^{-9}.$$

Величина  $x^2$  очень мала, и ей можно пренебречь, поэтому

$$0,6x = 3 \cdot 10^{-9}, \quad x = 5 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л.}$$

Следовательно, концентрация катионов водорода уменьшится в

$$5,5 \cdot 10^{-5} / 5 \cdot 10^{-9} = 11000 \text{ раз.}$$

**Ответ:**

- 1) степень диссоциации 0,1 М раствора  $\text{HClO}$   $\alpha = 5,5 \cdot 10^{-4}$  ;
- 2) концентрация ионов водорода  $[\text{H}^+] = 5,5 \cdot 10^{-5}$  моль/л;
- 3) концентрация  $[\text{H}^+]$  уменьшится в 11000 раз.

**Задача 1.9**

Нормальная концентрация раствора или молярная концентрация эквивалента  $C_{\text{ЭКВ}}$  связана с молярной концентрацией соотношением

$$C = \frac{C_{\text{ЭКВ}}}{z_{\text{ЭКВ}}},$$

где  $z_{\text{ЭКВ}} = q \cdot x$ ,  $q$  – заряд катиона металла;  $x$  – число катионов в формуле соли.

Отсюда

$$C(\text{ZnSO}_4) = C_{\text{ЭКВ}}/2 = 0,1/2 = 50 \text{ моль/м}^3.$$

Для растворов неэлектролитов осмотическое давление определяется молярной концентрацией вещества (уравнение Вант-Гоффа):

$$\pi = C \cdot R \cdot T,$$

где  $\pi$  – осмотическое давление, Па или атм;  $T$  – температура, К;  $C$  – молярная концентрация раствора, выраженная в моль/м<sup>3</sup> ( $10^3 \cdot$  моль/л);  $R = 8,31 \text{ Дж/(К} \cdot \text{моль)}$  – универсальная газовая постоянная.

Для электролитов вводится изотонический коэффициент ( $i$ ), который показывает, во сколько раз увеличится число частиц в растворе в результате диссоциации вещества:

$$\pi = i \cdot C \cdot R \cdot T.$$

Изотонический коэффициент

$$i = 1 + \alpha (k - 1),$$

где  $\alpha$  – степень диссоциации (по условию задачи 0,4);  $k$  – число ионов, на которые диссоциирует  $\text{ZnSO}_4$ . Тогда

$$i = 1 + 0,4 \cdot (2 - 1) = 1,4.$$

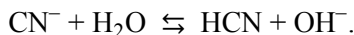
Осмотическое давление раствора при 0 °С (273 К):

$$\pi = 1,4 \cdot 50 \cdot 8,31 \cdot 273 = 158,8 \cdot 10^3 \text{ Па.}$$

**Ответ:** при температуре 0 °С осмотическое давление раствора составляет  $158,8 \cdot 10^3$  Па.

### Задача 1.10

Соль NaCN гидролизуеться по аниону:



Значение константы гидролиза вычисляют по формуле

$$K_{\Gamma} = K_w / K_a,$$

где  $K_w = 10^{-14}$  – ионное произведение воды;  $K_a = 4,93 \cdot 10^{-10}$  – константа ионизации циановодородной кислоты. Подставляя данные, получаем значение константы гидролиза:

$$K_{\Gamma} = 2,03 \cdot 10^{-5}.$$

Константа гидролиза и степень гидролиза связаны между собой соотношением

$$K_{\Gamma} = (C \cdot \alpha_{\Gamma}^2) / (1 - \alpha_{\Gamma}).$$

При малых значениях  $\alpha_{\Gamma}$  можно допустить, что

$$K_{\Gamma} \approx C \cdot \alpha_{\Gamma}^2,$$

тогда

$$\alpha_{\Gamma} \approx \sqrt{\frac{K_{\Gamma}}{C}} \approx \sqrt{\frac{2,03 \cdot 10^{-5}}{0,2}} \approx 1 \cdot 10^{-2}.$$

**Ответ:** константа гидролиза  $K_{\Gamma} = 2,03 \cdot 10^{-5}$ , степень гидролиза  $\alpha_{\Gamma} \approx 1 \cdot 10^{-2}$ .

### Задача 1.11

По условию задачи 3,2 г хлорида бария растворили в 0,0968 кг воды. Повышение температуры кипения раствора без учета диссоциации соли составляет

$$\Delta T_{\text{кип}}^I = \frac{E \cdot m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} \cdot m_{\text{р-ля}}} = \frac{E \cdot m_{\text{BaCl}_2}}{M_{\text{BaCl}_2} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{0,52 \text{ (К} \cdot \text{кг/моль)} \cdot 3,2 \text{ г}}{208 \text{ г/моль} \cdot 0,0968 \text{ кг}} = 0,083 \text{ К.}$$

Реальное повышение температуры кипения раствора в результате растворения 3,2 г хлорида бария в 0,0968 кг воды равно

$$\Delta T_{\text{кип}}^2 = 100,208 - 100 = 0,208 \text{ }^\circ\text{C, или } 0,208 \text{ К.}$$

Известно, что изотонический коэффициент  $i$  равен

$$i = \Delta T_{\text{кип}}^2 : \Delta T_{\text{кип}}^I ; i = 0,208 : 0,083 = 2,5.$$

Тогда кажущуюся степень диссоциации  $\alpha$  можно определить по формуле

$$\alpha = \frac{i-1}{n-1},$$

где  $n = 3$  – число ионов, образующихся при диссоциации хлорида бария.

Отсюда кажущаяся степень диссоциации  $\alpha = 0,75$ .

**Ответ:**  $\alpha = 0,75$ .

### Задача 1.12

Понижение давления насыщенного пара над раствором при растворении этилового спирта составит

$$\Delta p = 2338,8 - 2000 = 338,8 \text{ Па.}$$

Согласно закона Рауля, понижение давления насыщенного пара  $\Delta p$  связано с составом раствора соотношением

$$\Delta p = i p^0 X_a,$$

где  $i$  – коэффициент диссоциации растворенного вещества;  $p^0$  – давление пара над чистым растворителем при данной температуре;  $X_a$  – мольная доля растворенного вещества.

Этиловый спирт – неэлектролит, поэтому  $i = 1$ . Тогда мольная доля этанола в его водном растворе составит

$$X_{C_2H_5OH} = \frac{\Delta p}{p_{H_2O}^0} = \frac{338,8}{2338,8} = 0,145.$$

Определяют число моль спирта в данном растворе

$$\nu_{C_2H_5OH} = \frac{23}{46} = 0,5 \text{ моль.}$$

Число моль воды рассчитывают по формуле

$$X_{C_2H_5OH} = \frac{\nu_{C_2H_5OH}}{\nu_{C_2H_5OH} + \nu_{H_2O}}$$

или

$$0,145 = \frac{0,5}{0,5 + \nu_{H_2O}}; \nu_{H_2O} = \frac{0,5 - 0,0725}{0,145} = 2,95 \text{ моль.}$$

Рассчитывают массу воды:

$$m_{H_2O} = 2,95 \text{ моль} \cdot 18 \text{ г/моль} = 53,1 \text{ г.}$$

**Ответ:**  $m_{H_2O} = 53,1 \text{ г.}$

### Задача 1.13

Кажущуюся степень диссоциации сильного электролита рассчитывают по формуле

$$\alpha = \frac{i - 1}{n - 1},$$

где  $n$  – число ионов, образующихся при диссоциации одной молекулы электролита (при диссоциации хлорида кальция образуется 3 иона,

$n = 3$ );  $i$  – коэффициент диссоциации, который связан с понижением температуры замерзания раствора соотношением

$$\Delta T_{\text{зам}} = i K C_m,$$

где  $C_m$  – моляльность раствора, моль/кг.

Определяют понижение температуры замерзания раствора по сравнению с чистым растворителем:

$$\Delta T_{\text{зам}} = 0 - (-1,2) = 1,2 \text{ } ^\circ\text{C или } 1,2 \text{ K.}$$

В 100 г исходного 2,5 % раствора массы  $\text{CaCl}_2$  и воды составляют

$$m_{\text{CaCl}_2} = 0,025 \cdot 100 \text{ г} = 2,5 \text{ г};$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 100 \text{ г} - 2,5 \text{ г} = 97,5 \text{ г} = 0,0975 \text{ кг.}$$

Тогда моляльность раствора

$$C_m = \frac{m_{\text{CaCl}_2}}{M_{\text{CaCl}_2} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{2,5}{111 \cdot 0,0975} = \frac{2,5}{10,82} = 0,23 \text{ моль/кг.}$$

Коэффициент диссоциации  $i$  с учетом криоскопической постоянной воды  $K = 1,86 \text{ K} \cdot \text{кг/моль}$  равен

$$i = \frac{\Delta T_{\text{зам}}}{K C_m} = \frac{1,2}{1,86 \cdot 0,23} = 2,8.$$

Отсюда

$$\alpha = \frac{2,8 - 1}{3 - 1} = 0,9.$$

**Ответ:**  $\alpha = 0,9$ .

### Задача 1.14

Уравнение состояния идеального газа имеет вид

$$pV = \nu RT.$$

Возможны два варианта решения этой задачи.

### Вариант 1

Если давление выражено в атмосферах, то

$$R = 0,082 \text{ (л} \cdot \text{атм)} / (\text{моль} \cdot \text{К})$$

и тогда

$$V = \frac{\nu RT}{p} = \frac{1 \text{ моль} \cdot 0,082 \text{ (л} \cdot \text{атм)} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot (450 + 273) \text{ К}}{92 \text{ атм}} = 0,644 \text{ л.}$$

### Вариант 2

$$\frac{V_{\text{Земли}}}{V_{\text{Венеры}}} = \frac{T_{\text{Земли}}}{T_{\text{Венеры}}} \cdot \frac{p_{\text{Венеры}}}{p_{\text{Земли}}} = \frac{273 \text{ К} \cdot 92 \text{ атм}}{723 \text{ К} \cdot 1 \text{ атм}} = 34,7 \text{ раза,}$$

$$22,4 \text{ л} : 34,7 = 0,645 \text{ л.}$$

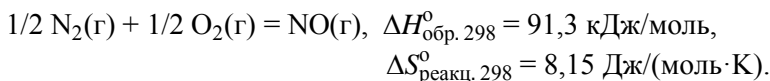
**Ответ:**  $V = 0,645 \text{ л.}$

### Задача 1.15

Возможны два варианта решения этой задачи.

#### Вариант 1

Составляют уравнение реакции образования 1 моль NO из простых веществ и, используя следствие из закона Гесса, рассчитывают изменение энтальпии и энтропии реакции при стандартных условиях:



Зависимость изменения энергии Гиббса от реальных условий можно записать в виде

$$\Delta G_{\text{реакц}} = \Delta G_{\text{реакц. 298}}^{\circ} + RT \ln \frac{p_{\text{NO}}}{p_{\text{N}_2}^{1/2} \cdot p_{\text{O}_2}^{1/2}},$$

где  $p$  – парциальные давления компонентов, атм.

Согласно уравнению Менделеева–Клапейрона:

$$pV = \nu RT,$$

тогда

$$p_i = \nu_i RT_i / V_i.$$

Поскольку все газы находятся в одном объеме и при одной температуре, то

$$\frac{p_{\text{NO}}}{p_{\text{N}_2}^{1/2} \cdot p_{\text{O}_2}^{1/2}} = \frac{\nu_{\text{NO}}}{\nu_{\text{N}_2}^{1/2} \cdot \nu_{\text{O}_2}^{1/2}};$$

$$\Delta G_{\text{реакц}} = \Delta G_{\text{реакц. 298}}^{\circ} + RT \ln \frac{\nu_{\text{NO}}}{\nu_{\text{N}_2}^{1/2} \cdot \nu_{\text{O}_2}^{1/2}};$$

где  $\nu$  – количество вещества каждого компонента смеси.

Если было взято по 1 моль азота и кислорода, то вся смесь – это 2 моль, следовательно,

$$\nu_{\text{NO}} = 0,01 \cdot 2 \text{ моль} = 0,02 \text{ моль};$$

$$\nu_{\text{N}_2} = \nu_{\text{O}_2} = 1 \text{ моль} - \frac{0,02}{2} \text{ моль} = 0,99 \text{ моль}.$$

Учитывая, что

$$\Delta G_{\text{реакц}}^{\circ} = \Delta H_{\text{реакц}}^{\circ} - T \Delta S_{\text{реакц}}^{\circ},$$

$$\Delta G_{\text{реакц}}^{\circ} < 0,$$

тогда

$$\Delta H_{\text{реакц. 298}}^{\circ} - T \Delta S_{\text{реакц. 298}}^{\circ} + RT \ln \frac{\nu_{\text{NO}}}{\nu_{\text{N}_2}^{1/2} \cdot \nu_{\text{O}_2}^{1/2}} < 0.$$

Выполнив преобразования и считая, что  $\Delta H_{\text{реакц. 298}}^{\circ}$  и  $\Delta S_{\text{реакц. 298}}^{\circ}$  не зависят от температуры, получают

$$T > \frac{\Delta H_{\text{реакц. 298}}^{\circ}}{\Delta S_{\text{реакц. 298}}^{\circ} - R \ln \frac{\nu_{\text{NO}}}{\nu_{\text{N}_2}^{1/2} \cdot \nu_{\text{O}_2}^{1/2}}};$$



$$T > \frac{91300 \text{ Дж/моль}}{8,15 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)} - 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)} \cdot 2,303 \lg \frac{0,02}{0,99^{\frac{1}{2}} \cdot 0,99^{\frac{1}{2}}}};$$

$$T > \frac{91300}{8,15 + 8,31 \cdot 3,902};$$

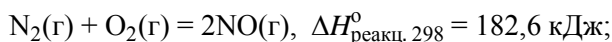
$$T > \frac{91300}{40,58} = 2250 \text{ К, или } 1977 \text{ }^{\circ}\text{С}.$$

Отсюда следует, что температуру необходимо повысить на

$$1977 - 25 = 1952 \text{ }^{\circ}\text{С}.$$

### *Вариант 2*

Составляют уравнение реакции взаимодействия простых веществ  $\text{N}_2$  и  $\text{O}_2$  с образованием  $\text{NO}$  и, используя следствие из закона Гесса, рассчитывают изменение энтальпии и энтропии в ходе реакции при стандартных условиях:



$$\Delta S_{\text{реакц. 298}}^0 = 16,3 \text{ Дж/К}.$$

Выражение закона действующих масс для данной равновесной системы имеет вид

$$\frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{O}_2]} = K_c = e^{-\frac{\Delta H - T\Delta S}{RT}},$$

где [...] – равновесные концентрации реагентов и продуктов.

Если на объем реактора было взято по 1 моль азота и кислорода, то вся смесь – это 2 моль. По условию задачи, мольная доля  $\text{NO}$  в реакторе составила 1 % от исходной смеси, следовательно,

$$[\text{NO}] = 0,02 \text{ моль}; [\text{N}_2] = [\text{O}_2] = 0,99 \text{ моль на } V \text{ реактора}.$$

Подставив значения равновесных концентраций  $[\text{NO}]$ ,  $[\text{N}_2]$ ,  $[\text{O}_2]$  в выражение константы равновесия и прологарифмировав его, получают

$$\ln \frac{0,02^2}{0,99 \cdot 0,99} = -7,804 = \frac{T\Delta S - \Delta H}{RT}.$$

Тогда

$$T = \frac{\Delta H}{7,804 \cdot R + \Delta S};$$

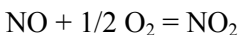
$$T = \frac{182600 \text{ Дж}}{7,804 \cdot 8,31 \text{ Дж/К} + 16,3 \text{ Дж/К}};$$

$$T = \frac{182600}{81,151} = 2250 \text{ К, или } 1977 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Таким образом, температуру необходимо повысить на

$$1977 - 25 = 1952 \text{ }^\circ\text{C}.$$

В соответствии с уравнением реакции



определяют возможность дальнейшего окисления NO при температуре 2250 К, при которой протекает синтез NO из простых веществ. Для этого, используя следствие из закона Гесса, рассчитывают для приведенной реакции изменение энтальпии и энтропии при стандартных условиях:

$$\Delta H_{\text{реакц. 298}}^{\circ} = -57,1 \text{ кДж/моль}, \Delta S_{\text{реакц. 298}}^{\circ} = -73 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}.$$

Рассчитывают  $\Delta G_{\text{реакц. 2250}}^{\circ}$ , считая, что  $\Delta H_{\text{реакц. 298}}^{\circ}$  и  $\Delta S_{\text{реакц. 298}}^{\circ}$  не зависят от температуры:

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{реакц. 2250}}^{\circ} &= \Delta H_{\text{реакц. 298}}^{\circ} - T\Delta S_{\text{реакц. 298}}^{\circ} = -57,1 - 2250 \cdot (-0,073) = \\ &= -57,1 + 164,3 = 107,2 \text{ кДж} \gg 0, \end{aligned}$$

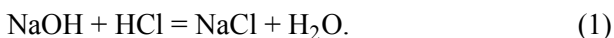
следовательно, при  $T = 2250$  К равновесие рассматриваемой реакции сильно смещено в сторону образования NO.

**Ответ:**

- 1) температуру необходимо повысить на  $1952$  °С;
- 2) дальнейшим окислением NO можно пренебречь, так как  $G_{\text{реакц. 2250}}^0 \gg 0$ .

### **Задача 1.16**

Составляют уравнение протекающей реакции



Определяют массу NaOH и HCl в исходных растворах:

$$m(\text{NaOH}) = V(\text{NaOH}) \cdot \rho \cdot \omega = 99,6 \text{ л} \cdot 1,21 \text{ кг/л} \cdot 0,15 = 120,52 \cdot 0,15 = 18,08 \text{ кг};$$

$$m(\text{HCl}) = V(\text{HCl}) \cdot \rho \cdot \omega = 100 \text{ л} \cdot 1,1 \text{ кг/л} \cdot 0,15 = 110 \cdot 0,15 = 16,5 \text{ кг}.$$

Определяют количество вещества NaOH и HCl:

$$\nu(\text{NaOH}) = 18,08 \text{ кг} : 0,04 \text{ кг/моль} = 452 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{HCl}) = 16,5 \text{ кг} : 0,0365 \text{ кг/моль} = 452 \text{ моль},$$

отсюда по уравнению реакции (1):

$$\nu(\text{NaCl}) = 452 \text{ моль}.$$

Масса хлорида натрия в образовавшемся растворе:

$$m(\text{NaCl}) = 452 \text{ моль} \cdot 0,0585 \text{ кг/моль} = 26,442 \text{ кг},$$

тогда массовая доля NaCl в этом растворе составляет:

$$\omega(\text{NaCl}) = 26,442 \text{ кг} / (110 + 120,52) \text{ кг} = 26,442 \text{ кг} / 230,52 \text{ кг} = 0,115.$$

Подставляют это значение в формулу для расчета теплоемкости:

$$\begin{aligned}c_p &= 4,2 - 5,48 \cdot 0,115 + 7,88 \cdot 0,115^2 = \\&= 4,2 - 0,6302 + 0,104 = 3,674 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.\end{aligned}$$

Количество теплоты, выделяющейся в процессе, рассчитывают по формуле

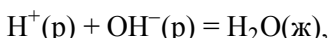
$$Q = \Delta T \cdot m_p \cdot c_p,$$

где  $Q$  – тепловой эффект реакции;  $m_p$  – масса раствора.

Учитывая, что

$$Q = -\Delta H,$$

для реакции взаимодействия сильной кислоты с сильным основанием тепловой эффект соответствует изменению энтальпии реакции:



$$\Delta H_{\text{реакц. } 298}^\circ = -286 - (-230) = -56 \text{ кДж/моль}.$$

Тогда

$$\begin{aligned}\Delta T &= (56 \text{ кДж/моль} \cdot 452 \text{ моль}) : (230,52 \text{ кг} \times \\&\times 3,674 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}) = 29,9 \text{ К, или } 29,9 \text{ }^\circ\text{C}.\end{aligned}$$

**Ответ:** образовавшийся раствор может нагреться на 29,9 °С.

### Задача 1.17

Согласно условию задачи, первая координационная сфера атома Hg включает 12 соседей, что в рамках решеточной модели жидкости можно интерпретировать как плотную упаковку шаров в пространстве. В этом случае можно допустить, что объем, занимаемый ртутью, состоит из суммарного объема сфер с радиусом  $R$  (где  $2R$  – ближайшее расстояние между соседними атомами ртути).

Используя значение плотности ртути, рассчитывают число атомов  $N$ , содержащихся в  $1 \text{ см}^3$  ртути:

$$N = (m / M) \cdot N_A,$$

где  $m$  – масса  $1 \text{ см}^3$  ртути;  $M$  – молярная масса ртути;  $N_A$  – число Авогадро:

$$N = (12,15 \text{ г} : 200,59 \text{ г/моль}) \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 36,5 \cdot 10^{21}.$$

Учитывая, что один атом ртути занимает объем  $V$ , определяемый по формуле

$$V = 4/3 \pi R^3,$$

составляют пропорцию

$$36,5 \cdot 10^{21} \text{ атомов Hg} - 1 \text{ см}^3$$

$$1 \text{ атом Hg} - 4/3 \pi R^3 \text{ см}^3,$$

тогда

$$R^3 = 1 : (36,5 \cdot 10^{21} \cdot 4/3 \pi) = 6,5 \cdot 10^{-24} \text{ см}^3,$$

$$R \approx 1,87 \cdot 10^{-8} \text{ см, или } 1,87 \text{ \AA}.$$

Следовательно, ближайшее расстояние между двумя атомами ртути составляет

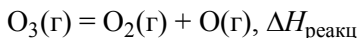
$$d(\text{Hg} - \text{Hg}) = 2 \cdot 1,87 \text{ \AA} = 3,74 \text{ \AA}.$$

**Ответ:** ближайшее расстояние между двумя атомами ртути составляет  $3,74 \text{ \AA}$ .

### Задача 1.18

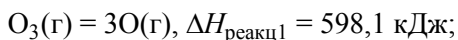
Термодинамически протекание реакции возможно, если энергия Гиббса  $\Delta G < 0$ , где  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ .

Из уравнения реакции

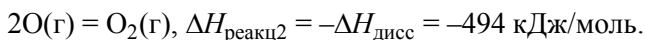


очевидно, что изменение энтропии в ходе процесса больше нуля:  $\Delta S > 0$ . Рассматриваемый процесс можно представить в виде двух стадий:

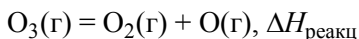
1) распад молекулы озона на атомы:



2) образование молекулы кислорода:



Тогда для суммарного процесса:



$$\Delta H_{\text{реакц}} = \Delta H_{\text{реакц1}} + \Delta H_{\text{реакц2}} = 598,1 - 494 = 104,1 \text{ кДж}.$$

Согласно уравнению Планка, энергия кванта связана с длиной волны излучения  $\lambda$  следующим образом:

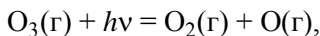
$$\Delta E = h\nu = hc/\lambda,$$

где  $h$  – постоянная Планка ( $6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с);  $\nu$  – частота;  $c$  – скорость света в вакууме ( $3 \cdot 10^8$  м/с).

Заданной длине волны соответствует значение

$$\Delta E = (6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж·с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}) / 250 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 8 \cdot 10^{-22} \text{ кДж}.$$

В этом случае для реакции



$$\Delta H_{\text{сумм}} = \Delta H_{\text{реакц}} - \Delta E \cdot N_A,$$

$$\Delta H_{\text{сумм}} = 104,1 - 8 \cdot 10^{-22} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 104,1 - 481,8 = -377,7 \text{ кДж} < 0,$$

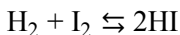
следовательно, реакция термодинамически возможна (с учетом положительной энтропии процесса).

**Ответ:** реакция термодинамически возможна, так как  $\Delta H < 0$  (с учетом положительной энтропии процесса).

### Задача 1.19

1)

а) По условию задачи мольное отношение  $H_2 : I_2 = 1 : 1$ . Пусть начальное содержание реагентов составляет  $C$  моль, и к моменту достижения равновесия прореагируют  $x$  моль каждого реагента. Согласно уравнению реакции



должно образоваться  $2x$  моль  $HI$ .

Тогда молярные концентрации веществ в смеси в момент равновесия:

$$[H_2] = [I_2] = C - x, [HI] = 2x.$$

Константа равновесия реакции

$$K = \frac{[HI]^2}{[H_2] \cdot [I_2]} = \frac{4x^2}{(C-x)^2} = 70;$$

$$\sqrt{K} = \frac{2x}{C-x} = \sqrt{70} = 8,37.$$

Степень превращения йода:

$$x/C = 0,807, \text{ или } 80,7 \, \%.$$

б) При мольном отношении концентраций  $H_2 : I_2 = 2 : 1$  начальные концентрации  $H_2$  и  $I_2$  соответственно равны  $2C$  и  $C$  моль. Если прореагирует  $x$  моль йода, то в момент равновесия мольные концентрации веществ в смеси будут равны:

$$[H_2] = 2C - x; [I_2] = C - x; [HI] = 2x;$$

$$K = \frac{4x^2}{(2C-x)(C-x)} = 70;$$

$$x/C = 0,951, \text{ или } 95,1 \, \%.$$

2) Пусть к моменту равновесия прореагируют по  $0,99 C$  моль  $I_2$  и  $H_2$ , и образуется  $2 \cdot 0,99 C$  моль  $HI$ .

Тогда

$$[H_2] = x C - 0,99 C; [I_2] = C - 0,99 C; [HI] = 1,98 C.$$

$$K = \frac{(1,98C)^2}{(xC - 0,99 C)(C - 0,99 C)} = \frac{1,98^2}{0,01(x - 0,99)} = 70;$$

$$x = 6,59.$$

Таким образом, исходная смесь должна содержать 1 моль  $I_2$  и 6,59 моль  $H_2$ .

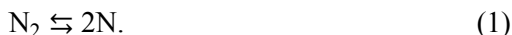
**Ответ:**

1) к моменту достижения равновесия при соотношении концентраций  $H_2 : I_2 = 1 : 1$  прореагирует 80,7 % йода;

2) при соотношении концентраций  $H_2 : I_2 = 2 : 1$  прореагирует 95,1 % йода; для превращения 99 % йода в  $HI$  исходная смесь должна содержать 1 моль  $I_2$  и 6,59 моль  $H_2$ .

### Задача 1.20

Составляют уравнение реакции диссоциации молекулярного азота:



Согласно закону действующих масс

$$K_c = \frac{[N]^2}{[N_2]}, \quad (2)$$

где  $[N_2]$  и  $[N]$  – соответственно равновесные концентрации молекулярного и атомарного азота;  $K_c$  – константа равновесия.

Принимают для простоты исходную концентрацию молекулярного азота – 1 моль на литр. Обозначив величину  $[N]$  за  $x$  и учитывая уравнение (1), выражение (2) можно записать в виде

$$K_c = \frac{x^2}{1 - x/2}. \quad (3)$$



С другой стороны, константа равновесия  $K_c$  при температуре  $T$  выражается через энергию Гиббса  $\Delta G$  процесса диссоциации (1):

$$\Delta G = -RT \ln K_c \quad (4)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная ( $R = 8,314$  Дж/моль·К).

Для  $\Delta G$  справедлива температурная зависимость:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S, \quad (5)$$

где  $\Delta H$  и  $\Delta S$  – энтальпия и энтропия диссоциации (1) при температуре  $T$ .

Используя уравнение (5) и условие задачи, рассчитывают  $\Delta G_{6000}$ :

$$\Delta G_{6000} = 1015 \text{ кДж} - 6000 \text{ К} \cdot 144 \cdot 10^{-3} \text{ кДж} \cdot \text{К}^{-1} = 151 \text{ кДж}.$$

Принимая во внимание значение  $RT = 49,88$  кДж, рассчитывают по уравнению (4) константу равновесия  $K_c$ :

$$\ln K_c = -\frac{\Delta G}{RT} = -\frac{151 \text{ кДж}}{49,88 \text{ кДж}} = -3,027; K_c = 4,8 \cdot 10^{-2}.$$

При решении уравнения (3):

$$K_c = \frac{x^2}{1 - x/2} = 4,8 \cdot 10^{-2},$$

находят два корня – положительный и отрицательный:  $x_1 = 0,208$  и  $x_2 = -0,232$ .

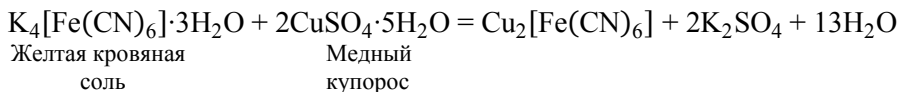
Очевидно, что физический смысл имеет только положительный корень  $x_1 = 0,208$  моль·л<sup>-1</sup>. Тогда процентное содержание молекулярного азота в разогретом слое воздуха равно

$$(x_1/2) \cdot 100 \% = 10,4 \%.$$

**Ответ:** во время грозы в слое воздуха, разогретом до 6000 К, на атомы распадается 10,4 % молекулярного азота.

### Задача 1.21

1) Составляют уравнение реакции



и определяют молярные массы веществ:

$$M(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 422 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 249,5 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 339 \text{ г/моль}.$$

Количество вещества, соответствующее 1 г гексацианоферрата (II) меди (II), равно

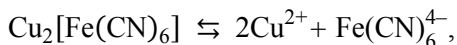
$$\nu = 1 \text{ г} : 339 \text{ г/моль} = 0,003 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции, для получения 0,003 моль гексацианоферрата (II) меди (II) необходимо 0,003 моль  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и 0,006 моль  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , то есть

$$m(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 0,003 \text{ моль} \cdot 422 \text{ г/моль} = 1,266 \text{ г};$$

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,006 \text{ моль} \cdot 249,5 \text{ г/моль} = 1,497 \text{ г}.$$

2) Составляют уравнение диссоциации малорастворимого комплексного соединения:



тогда

$$\text{ПР} = [\text{Cu}^{2+}]^2 \cdot [\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}] = 1,3 \cdot 10^{-16}.$$

Пусть

$$[\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]] = x \text{ моль/л},$$

тогда  $[\text{Cu}^{2+}] = 2x$  моль/л,  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} = x$  моль/л.

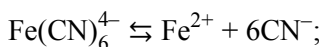
Следовательно,

$$\text{ПР} = (2x)^2 \cdot x = 4x^3,$$

отсюда растворимость  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ :

$$x = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{1,3 \cdot 10^{-16}}{4}} = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

3) Определяют концентрацию ионов железа (II), образующихся при диссоциации комплекса, составляя уравнения диссоциации комплекса и выражение константы нестойкости комплекса:



$$K_{\text{нест}} = \frac{[\text{Fe}^{2+}] \cdot [\text{CN}^-]^6}{[\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}]} = 1 \cdot 10^{-37}.$$

При диссоциации комплекса образуются:

$$[\text{Fe}^{2+}] = y \text{ моль/л}$$

и

$$[\text{CN}^-] = 6y \text{ моль/л.}$$

В насыщенном растворе концентрация  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  равна  $3,2 \cdot 10^{-6}$  моль/л, тогда концентрация этих ионов после диссоциации  $(3,2 \cdot 10^{-6} - y)$  моль/л. Так как в растворе слабого электролита равновесные концентрации  $[\text{Fe}^{2+}]$  и  $[\text{CN}^-]$  очень малы, можно принять, что

$$(3,2 \cdot 10^{-6} - y) \approx 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л,}$$

то есть

$$1 \cdot 10^{-37} = y \cdot (6y)^6 / 3,2 \cdot 10^{-6},$$

$$6^6 \cdot y^7 = 3,2 \cdot 10^{-43},$$

$$y = \sqrt[7]{\frac{3,2 \cdot 10^{-43}}{6^6}} = \sqrt[7]{\frac{3,2 \cdot 10^{-43}}{46656}} = \sqrt[7]{6,85 \cdot 10^{-48}} = 1,8 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

**Ответ:**

1) для синтеза 1 г гексацианоферрата (II) меди (II) необходимо взять 1,266 г  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  и 1,497 г  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;

2) растворимость  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  равна  $3,2 \cdot 10^{-6}$  моль/л;

3) концентрация ионов железа (II) равна  $1,8 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

**Задача 1.22**

В соответствии с законом Рауля, понижение давления насыщенного пара  $\Delta p$  над раствором электролита выражается соотношением

$$\Delta p = i \cdot p^0 \cdot \omega_v,$$

где  $i$  – изотонический коэффициент;  $p^0$  – давление пара над чистым растворителем при данной температуре;  $\omega_v$  – мольная доля растворенного вещества (отношение числа моль растворенного вещества к общему числу моль раствора).

Изотонический коэффициент  $i$  связан со степенью диссоциации растворенного вещества выражением

$$i = 1 + \alpha(k - 1),$$

где  $\alpha$  – степень диссоциации (по условию задачи 80 %, или 0,8) и  $k$  – число ионов, на которые распадается NaOH.

$$i = 1 + 0,8(2 - 1) = 1,8.$$

Рассчитывают мольную долю растворенного вещества NaOH:

$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}, M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль};$$

$$\nu(\text{NaOH}) = 5/40 = 0,125 \text{ моль}; \nu(\text{H}_2\text{O}) = 180/18 = 10 \text{ моль}.$$

Общее число моль раствора:

$$\nu(\text{NaOH}) + \nu(\text{H}_2\text{O}) = 10,125 \text{ моль},$$

тогда

$$\omega_v = 0,125/10,125 = 0,0123.$$

Понижение давления пара над раствором электролита:

$$\Delta p = 1,8 \cdot 760 \cdot 0,0123 = 16,8 \text{ мм},$$

тогда давление пара над раствором электролита:

$$p = 760 - 16,8 = 743,2 \text{ мм}.$$

**Ответ:** давление пара раствора  $p = 743,2$  мм при  $100^\circ\text{C}$ .

### Задача 1.23

Энергию активации химической реакции в отсутствие катализатора можно рассчитать, если известны константы скоростей при двух температурах  $T_1$  и  $T_2$ .

Составляют выражение константы скорости  $k$  химической реакции для каждой температуры в виде

$$k_1 = z \exp\left(-\frac{E_a}{RT_1}\right), \quad (1)$$

$$k_2 = z \exp\left(-\frac{E_a}{RT_2}\right), \quad (2)$$

где  $z$  – постоянная, пропорциональная числу столкновений между взаимодействующими частицами;  $E_a$  – энергия активации;  $R$  – универсальная газовая постоянная ( $R = 8,314 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

Поделив второе уравнение на первое, получают уравнение, которое после логарифмирования имеет вид

$$E_a = R \left( \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \right) \ln \left( \frac{k_2}{k_1} \right).$$

По условию задачи

$$T_1 = 25^\circ\text{C}, \text{ или } 298 \text{ K}; T_2 = 100^\circ\text{C}, \text{ или } 373 \text{ K}; \left( \frac{k_2}{k_1} \right) = 20.$$

Тогда

$$E_a = \frac{8,314 \cdot 298 \cdot 373 \cdot \ln 20}{373 - 298} = 37 \text{ кДж}.$$

Таким образом, энергия активации химической реакции в отсутствие катализатора составляет 37 кДж.

Далее записывают отношение констант скоростей каталитического  $k_2$  и обычного процесса  $k_1$  при стандартной температуре:

$$\frac{k_2}{k_1} = \exp\left(\frac{E_a^1 - E_a^2}{RT}\right),$$

где  $E_a^1$  и  $E_a^2$  – энергия активации химической реакции соответственно без катализатора и с катализатором.

Тогда

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{37 - 26}{8,314 \cdot 298 \cdot 10^{-3}} = 4,44; \quad \frac{k_2}{k_1} \approx 85.$$

Таким образом, катализатор увеличит скорость химической реакции при стандартной температуре примерно в 85 раз.

**Ответ:** катализатор увеличит скорость реакции при стандартной температуре примерно в 85 раз.

### Задача 1.24

Длина волны ( $\lambda$ , нм) обратно пропорциональна энергии ( $E$ , см<sup>-1</sup>):

$$\lambda = \frac{1}{E} = \frac{1}{\bar{\nu}}.$$

Отсюда:

$$1) \bar{\nu}_1 = 9000 \text{ см}^{-1}; \lambda_1 = \frac{1}{\bar{\nu}_1} = \frac{1}{9000 \text{ см}^{-1}} = 1,111 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 1111 \text{ нм};$$

$$2) \bar{\nu}_2 = 14005 \text{ см}^{-1}; \lambda_2 = \frac{1}{\bar{\nu}_2} = \frac{1}{14005 \text{ см}^{-1}} = 7,14 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 714 \text{ нм};$$

$$3) \bar{\nu}_3 = 25000 \text{ см}^{-1}; \lambda_3 = \frac{1}{\bar{\nu}_3} = \frac{1}{25000 \text{ см}^{-1}} = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 400 \text{ нм}.$$

Полоса поглощения с  $\lambda = 714 \text{ нм}$  относится к видимой области спектра.

Рассчитывают энергию перехода электронов (в кДж/моль) в видимой области спектра. Задачу можно решить двумя способами.

*Вариант 1*

$$E = hcN_A/\lambda;$$

$$E = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{-3} \text{ кДж} \cdot \text{с}) \cdot (6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}) \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}}{714 \cdot 10^{-9} \text{ м}} =$$

$$= 167,6 \approx 168 \text{ кДж/моль}.$$

*Вариант 2*

Энергию перехода, выраженную в обратных сантиметрах, переводят в кДж/моль. Из соотношения

$$E = h\nu N_A = hc\bar{\nu}N_A$$

следует, что

$$E = \frac{\bar{\nu}}{10^3} \cdot 12 \text{ кДж/моль}.$$

Тогда, если  $\bar{\nu}_2 = 14005$ , то

$$E = 14,005 \cdot 12 \text{ кДж/моль} = 168 \text{ кДж/моль}.$$

Таким образом, энергия перехода электронов в видимой области спектра равна 168 кДж/моль.

В спектре комплекса с несколькими полосами поглощения энергия, соответствующая полосе с наименьшей энергией, равна параметру расщепления  $\Delta$ . Следовательно, для аквакомплекса никеля энергия полосы с  $\bar{\nu}_1 = 9000 \text{ см}^{-1}$  соответствует параметру расщепления  $\Delta$ . Отсюда

$$\Delta = \frac{\bar{\nu}}{10^3} \cdot 12 \text{ кДж/моль} = 108 \text{ кДж/моль}.$$

**Ответ:**

1) полоса поглощения с  $\lambda = 714 \text{ нм}$  относится к видимой области спектра;

2) энергия перехода электронов в видимой области спектра равна 168 кДж/моль;

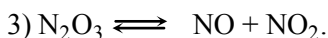
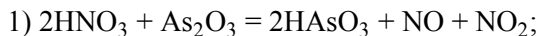
3) параметр расщепления аквакомплекса никеля составляет 108 кДж/моль.

## 2.2. Задачи по неорганической химии

### Задача 2.1

Жидкость синего цвета при низких температурах – это оксид азота (III)  $N_2O_3$ . При восстановлении азотной кислоты (1:1) оксидом  $As_2O_3$  в эквимольных количествах образуется смесь газов  $NO$  и  $NO_2$ , при пропускании которой через трубку, помещенную в охлаждающую смесь ( $-20\text{ }^{\circ}C$ ), образуется жидкость синего цвета  $N_2O_3$ . Оксиду азота (III) соответствует кислота  $HNO_2$ . При температуре около  $0\text{ }^{\circ}C$  оксид азота (III) разлагается на  $NO$  и  $NO_2$ .

Протекающие реакции отражают следующие уравнения:



**Ответ:** X – As, А –  $As_2O_3$ , Б –  $N_2O_3$ , В –  $HNO_2$ , Г –  $NO$ , Д –  $NO_2$ .

### Задача 2.2

При сливании растворов соляной кислоты и гидрокарбоната натрия протекает реакция



По уравнению реакции количество моль углекислого газа равно количеству моль поваренной соли, тогда количество моль хлорида натрия определяется как

$$v(NaCl) = C \cdot V,$$

где  $C$  – молярная концентрация;  $V$  – объем раствора.



Объем выделившегося газа в соответствии с условием задачи равен  $2 V$ , тогда количество моль углекислого газа:

$$\nu(\text{CO}_2) = 2 V/22,4 \text{ моль.}$$

Приравнявая количество моль, получаем

$$C \cdot V = 2 V/22,4.$$

Тогда  $C(\text{NaCl}) = 2/22,4 = 0,09$  моль/л.

**Ответ:** молярная концентрация поваренной соли в полученном растворе равна  $0,09$  моль/л.

### Задача 2.3

Для определения молярной массы неизвестного металла допускают, что в данной смеси содержится по 1 моль  $\text{Me}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{MeO}$ ,  $\text{MeF}_2$ .

Обозначают молярную массу металла через  $x$ :

$$M(\text{Me}(\text{NO}_3)_2) = x + 124;$$

$$M(\text{MeO}) = x + 16;$$

$$M(\text{MeF}_2) = x + 38.$$

Отсюда следует, что общее число моль металла равно 3, их масса –  $3x$ .

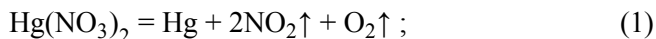
Тогда массовая доля металла в смеси:

$$\omega(\text{Me}) = \frac{3x}{(x + 124) + (x + 16) + (x + 38)} = 0,7717;$$

откуда  $x = 200,56$ . Такую молярную массу имеет Hg.

Следовательно, в исходной смеси содержатся нитрат  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , оксид HgO и фторид ртути  $\text{HgF}_2$ .

Нитрат и оксид ртути при прокаливании разлагаются:



Обозначив в исходной смеси число моль веществ через  $z$ , можно записать

$$\nu(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2) = \nu(\text{HgO}) = \nu(\text{HgF}_2) = z.$$

При прокаливании масса смеси уменьшается за счет выделения газов  $\text{NO}_2$  и  $\text{O}_2$ . Согласно уравнениям реакций (1) и (2):

$$\nu(\text{NO}_2) = 2z, \quad \nu(\text{O}_2) = z, \quad \nu(\text{O}_2) = (1/2)z;$$

$$\text{общее } \nu(\text{O}_2) = 1,5z.$$

Согласно условию задачи, при прокаливании эквимольной смеси масса смеси уменьшилась на 14 г, тогда

$$m(\text{NO}_2) = 2z \cdot M(\text{NO}_2) = 2z \cdot 46 = 92z;$$

$$m(\text{O}_2) = 1,5z \cdot M(\text{O}_2) = 1,5z \cdot 32 = 48z;$$

$$92z + 48z = 14;$$

$$z = 0,1 \text{ моль.}$$

По известному значению  $z$  рассчитывают массы компонентов смеси:

$$m(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2) = 0,1 \cdot 324,56 = 32,456 \text{ г};$$

$$m(\text{HgO}) = 0,1 \cdot 216,56 = 21,656 \text{ г};$$

$$m(\text{HgF}_2) = 0,1 \cdot 238,56 = 23,856 \text{ г};$$

$$m(\text{смеси}) = 32,456 + 21,656 + 23,856 = 77,968 \text{ г.}$$

**Ответ:**

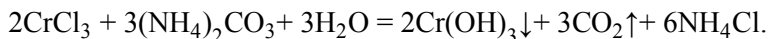
1) формулы веществ:  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{HgO}$ ,  $\text{HgF}_2$ ;

2) масса исходной смеси равна 77,968 г.

#### **Задача 2.4**

Вещество	$\text{CrCl}_3$	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cr}(\text{OH})_3$	$\text{CO}_2$	$\text{NH}_4\text{Cl}$
$M$ , г/моль	158,5	96	18	103	44	53,5

При добавлении карбоната аммония к раствору хлорида хрома протекает реакция



Исходную массу раствора принимают равной 100 г, тогда масса  $\text{CrCl}_3$  в исходном растворе составляет 12 г.

Если в реакцию вступило  $\nu$  моль  $\text{CrCl}_3$ , то

$$m(\text{CrCl}_3) = 158,5 \nu \text{ г},$$

тогда масса  $\text{CrCl}_3$ , оставшегося в растворе, равна  $12 - 158,5 \nu$  г.

Согласно уравнению реакции, в процессе фильтрования  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  удаляется в количестве

$$\nu(\text{Cr}(\text{OH})_3) = \nu(\text{CrCl}_3),$$

масса которого составляет

$$m(\text{Cr}(\text{OH})_3) = 103 \nu \text{ г}.$$

В процессе кипячения удаляется  $1,5 \nu$  моль  $\text{CO}_2$ , масса которого

$$m(\text{CO}_2) = (1,5 \nu \cdot 44) \text{ г}.$$

В результате проведенных операций масса полученного раствора составляет

$$\begin{aligned} m_{\text{р-ра}} &= 100 + m((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) - m(\text{Cr}(\text{OH})_3) - m(\text{CO}_2) = \\ &= (100 + 1,5\nu \cdot 96 - 103\nu - 1,5\nu \cdot 44) = (100 - 25\nu) \text{ г}. \end{aligned}$$

Массовая доля хлорида хрома после реакции:

$$\omega(\text{CrCl}_3) = 12 : 1,5 = 0,08,$$

тогда количество моль прореагировавшего  $\text{CrCl}_3$ :

$$0,08 = \frac{12 - 158,5 v}{100 - 25 v},$$

$$v(\text{Cr}(\text{OH})_3) = 0,0256 \text{ моль.}$$

Отсюда следует, что масса раствора составляет

$$m_{\text{р-ра}} = 100 - 25v = 100 - 25 \cdot 0,0256 = 99,36 \text{ г.}$$

В соответствии с уравнением реакции образуется хлорид аммония в количестве

$$v(\text{NH}_4\text{Cl}) = 3v(\text{CrCl}_3),$$

масса которого

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 3 \cdot 0,0256 \cdot 53,5 = 4,1088 \text{ г.}$$

Массовая доля хлорида аммония в полученном растворе составляет

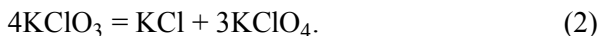
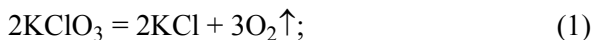
$$\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 4,1088 : 99,36 = 0,0413.$$

**Ответ:** состав полученного раствора:  $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,0413$ ;  
 $\omega(\text{CrCl}_3) = 0,08$ .

### Задача 2.5

Вещество	$\text{KClO}_3$	$\text{KCl}$	$\text{KClO}_4$
$M$ , г/моль	122,5	74,5	138,5

Разложение бертолетовой соли протекает согласно уравнениям:



В соответствии с уравнением (1):

1) количество выделившегося кислорода:

$$v(\text{O}_2) = 6,72 \text{ л} : 22,4 \text{ л/моль} = 0,3 \text{ моль};$$

2) количество израсходованной бертолетовой соли:

$$\nu(\text{KClO}_3) = 44,1 \text{ г} : 122,5 \text{ г/моль} = 0,36 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{KClO}_3) = 2/3 \cdot \nu(\text{O}_2) = 2/3 \cdot 0,3 \text{ моль} = 0,2 \text{ моль};$$

3) количество образующегося хлорида калия:

$$\nu(\text{KCl}) = \nu(\text{KClO}_3) = 0,2 \text{ моль}.$$

Твердый остаток после полного разложения бертолетовой соли – это смесь KCl и KClO<sub>4</sub>.

В соответствии с уравнением (2) рассчитывают:

1) количество бертолетовой соли, которое осталось после разложения по реакции (1):

$$\nu(\text{KClO}_3) = 0,36 \text{ моль} - 0,2 \text{ моль} = 0,16 \text{ моль};$$

2) количество образующегося хлорида калия:

$$\nu(\text{KCl}) = 1/4 \cdot \nu(\text{KClO}_3) = 1/4 \cdot 0,16 \text{ моль} = 0,04 \text{ моль};$$

3) количество образующегося перхлората калия:

$$\nu(\text{KClO}_4) = 3/4 \cdot \nu(\text{KClO}_3) = 3/4 \cdot 0,16 \text{ моль} = 0,12 \text{ моль}.$$

Общее число моль KCl, образующегося по реакциям (1) и (2):

$$0,2 \text{ моль} + 0,04 \text{ моль} = 0,24 \text{ моль}.$$

Тогда массы хлорида и перхлората калия равны:

$$m(\text{KCl}) = 74,5 \text{ г/моль} \cdot 0,24 \text{ моль} = 17,88 \text{ г};$$

$$m(\text{KClO}_4) = 138,5 \text{ г/моль} \cdot 0,12 \text{ моль} = 16,62 \text{ г}.$$

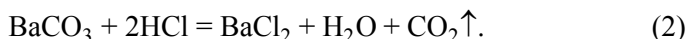
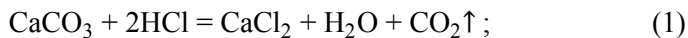
**Ответ:** твердый остаток – смесь KCl и KClO<sub>4</sub>;

$$m(\text{KCl}) = 17,88 \text{ г}; m(\text{KClO}_4) = 16,62 \text{ г}.$$

### Задача 2.6

Вещество	$\text{CaCO}_3$	$\text{BaCO}_3$	$\text{CO}_2$
$M$ , г/моль	100	197	44

При взаимодействии карбонатов с соляной кислотой протекают реакции:



При добавлении к соляной кислоте 1 г мела масса сосуда увеличивается на 1 г и уменьшается за счет выделения  $\text{CO}_2$ :

$$\Delta m = m(\text{CaCO}_3) - m(\text{CO}_2);$$

$$\nu(\text{CaCO}_3) = 1 \text{ г} : 100 \text{ г/моль} = 0,01 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{CaCO}_3) = 0,01 \text{ моль};$$

$$m(\text{CO}_2) = 0,01 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} = 0,44 \text{ г};$$

$$\Delta m = 1 \text{ г} - 0,44 \text{ г} = 0,56 \text{ г}.$$

Таким образом, при добавлении 1 г карбоната кальция масса сосуда увеличивается на 0,56 г. Следовательно, при добавлении карбоната бария масса сосуда также должна увеличиться на 0,56 г, то есть

$$\Delta m = m(\text{BaCO}_3) - m(\text{CO}_2) = 0,56 \text{ г}.$$

Согласно уравнению (2):

$$\nu(\text{BaCO}_3) = \nu(\text{CO}_2);$$

$$\nu(\text{BaCO}_3) = m(\text{BaCO}_3) : 197 \text{ г/моль}.$$

Тогда

$$m(\text{CO}_2) = 44 \text{ г/моль} \cdot \nu(\text{CO}_2) = 44 \text{ г/моль} \cdot m(\text{BaCO}_3) : 197 \text{ г/моль}.$$

$$\Delta m = m(\text{BaCO}_3) - 44 \text{ г/моль} \cdot m(\text{BaCO}_3) / 197 \text{ г/моль} = 0,56 \text{ г}.$$

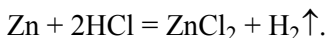
$$m(\text{BaCO}_3) = 0,72 \text{ г}.$$

**Ответ:**  $m(\text{BaCO}_3) = 0,72 \text{ г}.$

**Задача 2.7**

Вещество	Zn	HCl
$M$ , г/моль	65	36,5

Уравнения реакций, отражающие взаимодействие медно-цинкового припоя с соляной кислотой:



Примем массу цинка в исходном припое за  $x$ , тогда относительное содержание цинка в исходном сплаве:

$$x/(26 + x).$$

При обработке медно-цинкового припоя соляной кислотой

$$m(\text{HCl}) = 100 \text{ г} \cdot 0,146 = 14,6 \text{ г};$$

$$\nu(\text{HCl}) = 14,6 \text{ г} : 36,5 \text{ г/моль} = 0,4 \text{ моль};$$

масса цинка уменьшится на

$$\nu(\text{Zn}) = 0,5\nu(\text{HCl}) = 0,2 \text{ моль}; \quad m(\text{Zn}) = 0,2 \text{ моль} \cdot 65 \text{ г/моль} = 13 \text{ г}.$$

Тогда относительное содержание цинка в припое после его обработки соляной кислотой составит  $(x - 13) / (13 + x)$ .

По условию задачи процентное содержание цинка в припое понизится на столько же, на сколько бы оно понизилось, если бы в сплав дополнительно ввели 13 г меди, то есть  $x/(39 + x)$ .

Отсюда справедливо равенства

$$(x - 13)/(13 + x) = x/(39 + x);$$

$$(x - 13) \cdot (39 + x) = x^2 + 13x;$$

$$13x = 507, \text{ откуда } x = 39.$$

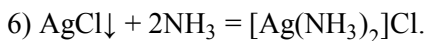
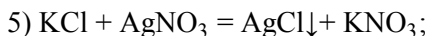
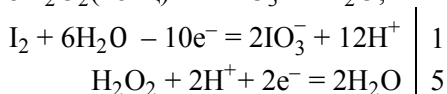
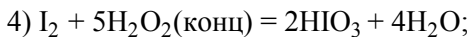
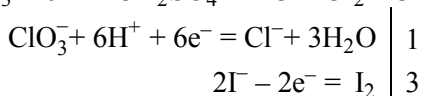
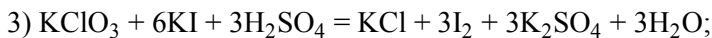
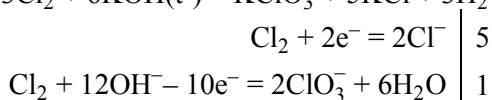
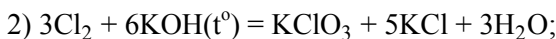
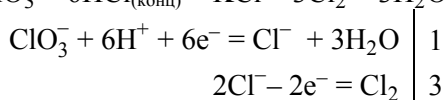
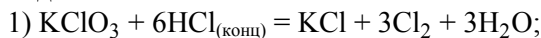
Следовательно, масса цинка в припое составляет 39 г, тогда

$$\omega(\text{Zn}) = (39/(26 + 39)) \cdot 100 \% = 60 \%;$$

$$\omega(\text{Cu}) = 100 - 60 = 40 \%.$$

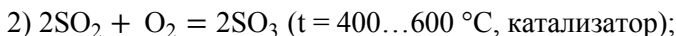
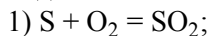
**Ответ:**  $\omega(\text{Zn}) = 60\%$ ;  $\omega(\text{Cu}) = 40\%$ .

### Задача 2.8

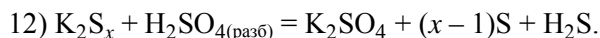
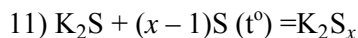
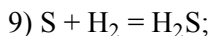
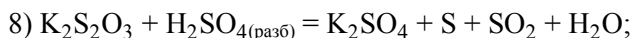
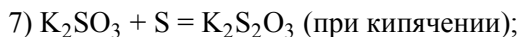
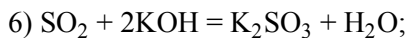
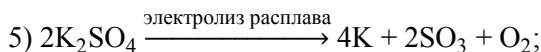
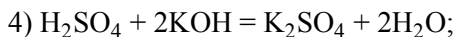
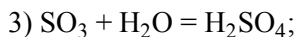


**Ответ:** **А** –  $\text{KClO}_3$ ; **Б** –  $\text{Cl}_2$ ; **В** –  $\text{I}_2$ ; **Г** –  $\text{HIO}_3$ ; **Д** –  $\text{KCl}$ ; **Е** –  $\text{AgCl}$ ;  
**Ж** –  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}.$

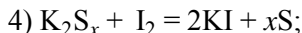
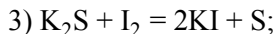
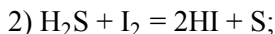
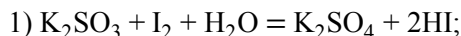
### Задача 2.9







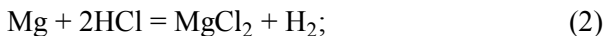
Взаимодействие с йодом:



**Ответ:** **А** – S; **Б** – SO<sub>2</sub>; **В** – SO<sub>3</sub>; **Г**– H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; **Д** – K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;  
**Е** – K<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>; **Ж** – 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>х</sub>.

### Задача 2.10

Составляют уравнения реакций, отражающие взаимодействие алюминия и магния с соляной кислотой:



$$M(\text{Al}) = 27 \text{ г/моль}, M(\text{Mg}) = 24 \text{ г/моль}.$$

Объем каждого кубика принимают равным  $1 \text{ см}^3$ . Тогда масса кубиков равна

$$m(\text{Al}) = V(\text{Al}) \cdot \rho(\text{Al}) = 1 \text{ см}^3 \cdot 2,7 \text{ г/см}^3 = 2,7 \text{ г};$$

$$m(\text{Mg}) = V(\text{Mg}) \cdot \rho(\text{Mg}) = 1 \text{ см}^3 \cdot \rho(\text{Mg}) \text{ г/см}^3 = \rho(\text{Mg}), \text{ г}.$$

Из уравнения реакции (1) следует

$$\nu_1(\text{H}_2) = 3/2 \cdot \nu(\text{Al}) = 3/2 \cdot \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2,7}{27} = 0,15 \text{ моль}.$$

Согласно уравнению реакции (2):

$$\nu_2(\text{H}_2) = \nu(\text{Mg}) = \frac{m(\text{Mg})}{M(\text{Mg})} = \frac{\rho(\text{Mg})}{24} \text{ моль}.$$

По условию задачи

$$V_1(\text{H}_2) = 2V_2(\text{H}_2), \text{ тогда } \nu_1(\text{H}_2) = 2\nu_2(\text{H}_2).$$

Следовательно,

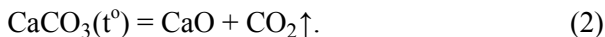
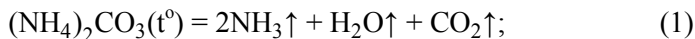
$$0,15 = 2 \cdot \frac{\rho(\text{Mg})}{24} = \frac{\rho(\text{Mg})}{12},$$

отсюда  $\rho(\text{Mg}) = 1,8 \text{ г/см}^3$ .

**Ответ:**  $\rho(\text{Mg}) = 1,8 \text{ г/см}^3$ .

### Задача 2.11

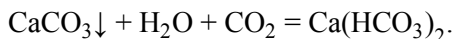
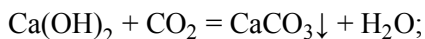
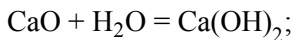
Известно, что  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  термически устойчив и нерастворим в воде,  $\text{CaCO}_3$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  при нагревании разлагаются согласно уравнениям реакций:



Следовательно, твердый остаток после прокаливания исходной смеси солей состоит из фосфата и оксида кальция:

$$m(\text{CaO}) + m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 25,2 \text{ г.}$$

Далее протекают реакции:



Нерастворившийся осадок после всех проведенных реакций – это фосфат кальция:

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 14 \text{ г.}$$

Отсюда

$$m(\text{CaO}) = 25,2 \text{ г} - 14 \text{ г} = 11,2 \text{ г};$$

$$\nu(\text{CaO}) = m(\text{CaO}) : M(\text{CaO}) = 0,2 \text{ моль.}$$

Из уравнения (2) следует

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaO}) = 0,2 \text{ моль};$$

$$m(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3) = 20 \text{ г.}$$

Тогда

$$m((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = m(\text{смеси}) - [m(\text{CaCO}_3) + m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)];$$

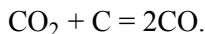
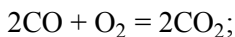
$$m((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) = 50 \text{ г} - (20 \text{ г} + 14 \text{ г}) = 16 \text{ г.}$$

**Ответ:** масса  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  в смеси равна 16 г.

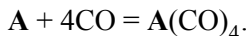
### Задача 2.12

Продуктом горения вещества **Б** является вещество **В**. При пропуске вещества **В** над раскаленным углем образуется газ **Б**,

объем которого в два раза превышает исходный объем газа **В**. Можно предположить, что газ **Б** – CO, а газ **В** – CO<sub>2</sub>, и химические превращения с этими веществами протекают в соответствии с уравнениями реакций



Известно, что молекула CO является донором электронной пары. По условию задачи структура молекулы **Г** – правильный тетраэдр с атомом **А** в центре. Образование соединения **Г** может протекать в соответствии с уравнением



По условию задачи

$$\nu(\text{CO}) = 44,8 \text{ л} : 22,4 \text{ л/моль} = 2 \text{ моль};$$

следовательно,

$$\nu(\text{A}(\text{CO})_4) = 1/4 \cdot \nu(\text{CO}) = 0,5 \text{ моль}.$$

Тогда

$$M(\text{A}(\text{CO})_4) = 85,35 \text{ г} : 0,5 \text{ моль} = 170,7 \text{ г/моль}.$$

С учетом молярной массы CO и образования соединения **Г** тетраэдрической структуры, рассчитаем массу металла **А** в соединении **Г**:

$$m(\text{A}) = 170,7 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ моль} - 4 \text{ моль} \cdot 28 \text{ г/моль} = 58,7 \text{ г}.$$

Тогда молярная масса металла **А** составляет

$$M(\text{A}) = 58,7 \text{ г/1 моль} = 58,7 \text{ г/моль},$$

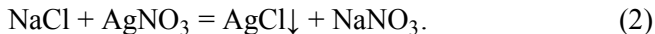
что соответствует молярной массе никеля. Следовательно, соединение **Г** – Ni(CO)<sub>4</sub>.

**Ответ:** **А** – Ni; **Б** – CO; **В** – CO<sub>2</sub>; **Г** – Ni(CO)<sub>4</sub>.

**Задача 2.13**

Вещество	Ag	HNO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NaCl	AgCl	NaNO <sub>3</sub>
<i>M</i> , г/моль	108	63	46	58,5	143,5	85

Составляют уравнения реакций, протекающих в растворе:



Массу 60 % раствора азотной кислоты, которая взаимодействует с Ag, принимают равной 100 г, тогда

$$m(\text{HNO}_3) = 60 \text{ г.}$$

Принимают за  $x$  количество серебра, которое прореагирует с HNO<sub>3</sub>, тогда, согласно уравнению реакции (1):

– масса растворенного серебра:

$$m(\text{Ag}) = \nu(\text{Ag}) \cdot M(\text{Ag}) = x \text{ моль} \cdot 108 \text{ г/моль} = 108x \text{ г};$$

– масса HNO<sub>3</sub>, вступившей в реакцию:

$$m(\text{HNO}_3) = \nu(\text{HNO}_3) \cdot M(\text{HNO}_3) = 2x \text{ моль} \cdot 63 \text{ г/моль} = 126x \text{ г};$$

– масса NO<sub>2</sub>, выделяющегося в ходе реакции:

$$m(\text{NO}_2) = \nu(\text{NO}_2) \cdot M(\text{NO}_2) = x \text{ моль} \cdot 46 \text{ г/моль} = 46x \text{ г.}$$

Масса раствора после растворения серебра:

$$m_{\text{р-ра}} = 100 + 108x - 46x = (100 + 62x) \text{ г.}$$

В результате реакции масса азотной кислоты в растворе уменьшится и составит

$$m^1(\text{HNO}_3) = 60 - 126x.$$

Согласно условию задачи, массовая доля кислоты уменьшилась до 0,55. Тогда

$$0,55 = (60 - 126 x)/(100 + 62 x),$$

откуда  $x = 0,03$  моль. Таким образом, в растворе образовалось 0,03 моль  $\text{AgNO}_3$ .

После растворения серебра масса раствора составляет

$$m_{\text{р-ра}} = (100 + 62x) = 100 + 62 \cdot 0,03 = 102 \text{ г.}$$

По условию задачи, к раствору, в котором растворилось серебро, был добавлен 2 % раствор хлорида натрия такой же массы, то есть 102 г. Тогда масса соли в этом растворе

$$m(\text{NaCl}) = 102 \cdot 0,02 = 2,04 \text{ г;}$$

$$\nu(\text{NaCl}) = m(\text{NaCl}) : M(\text{NaCl}) = 2,04 \text{ г} : 58,5 \text{ г/моль} = 0,035 \text{ моль.}$$

Отсюда следует, что в растворе хлорид натрия присутствует в избытке по сравнению с нитратом серебра.

По уравнению реакции (2)

$$\nu(\text{AgNO}_3) = \nu(\text{AgCl}) = \nu(\text{NaNO}_3) = 0,03 \text{ моль;}$$

$$m(\text{AgCl}) = \nu(\text{AgCl}) \cdot M(\text{AgCl}) = 0,03 \text{ моль} \cdot 143,5 \text{ г/моль} = 4,3 \text{ г.}$$

Масса раствора после фильтрования:

$$2 \cdot 102 \text{ г} - 4,3 \text{ г} = 199,7 \text{ г} \approx 200 \text{ г.}$$

Раствор содержит:

$$m^1(\text{HNO}_3) = 60 - 126 \cdot 0,03 = 56,2 \text{ г;}$$

$$m(\text{NaNO}_3) = 0,03 \cdot 85 = 2,55 \text{ г;}$$

$$\nu(\text{NaCl}) = 0,035 - 0,03 = 0,005 \text{ моль;}$$

$$m(\text{NaCl}) = 0,005 \cdot 58,5 = 0,3 \text{ г.}$$

Рассчитывают массовые доли веществ:

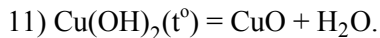
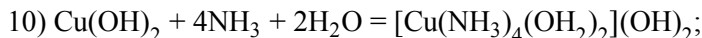
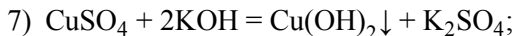
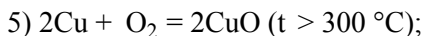
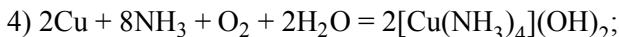
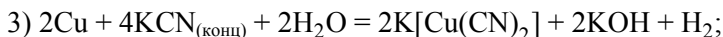
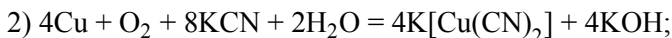
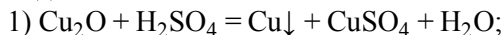
$$\omega(\text{HNO}_3) = 56,2 \text{ г}/200 \text{ г} = 0,281;$$

$$\omega(\text{NaNO}_3) = 2,55 \text{ г}/200 \text{ г} = 0,013;$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 0,3 \text{ г}/200 \text{ г} = 0,0015.$$

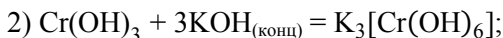
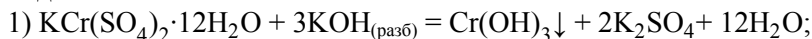
**Ответ:**  $\omega(\text{HNO}_3) = 0,281$ ;  $\omega(\text{NaNO}_3) = 0,013$ ;  $\omega(\text{NaCl}) = 0,0015$ .

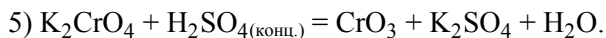
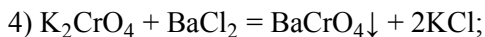
### Задача 2.14



**Ответ:** А –  $\text{Cu}_2\text{O}$ ; Б –  $\text{Cu}$ ; В –  $\text{CuO}$ ; Г –  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

### Задача 2.15

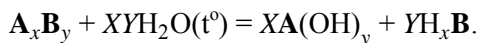




**Ответ:** **А** –  $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ; **Б** –  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ; **В** –  $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]$ ; **Г** –  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ; **Д** –  $\text{BaCrO}_4$ ; **Е** –  $\text{CrO}_3$ .

### Задача 2.16

Гидролиз неизвестного бинарного соединения  $\text{A}_x\text{B}_y$  с образованием кислоты  $\text{H}_x\text{B}$  протекает по уравнению



Массовая доля элемента **В** в соединении  $\text{A}_x\text{B}_y$  равна

$$\omega(\text{H}) = \frac{M(\text{B}) \cdot y}{M(\text{A}) \cdot x + M(\text{B}) \cdot y} = 0,7977. \quad (1)$$

Массовая доля водорода в кислоте  $\text{H}_x\text{B}$  составляет:

$$\omega(\text{H}) = \frac{x}{x + M(\text{B})} = 0,0274. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) находим

$$M(\text{B}) = 35,5x; M(\text{A}) = 9,0y.$$

Эти выражения для молярных масс имеют химический смысл и удовлетворяют условию задачи только при  $x = 1$  и  $y = 3$ . В этом случае  $M(\text{B}) = 35,5$  г/моль, т.е. элемент **В** – хлор;  $M(\text{A}) = 27$  г/моль, т.е. элемент **А** – алюминий. Формула бинарного соединения –  $\text{AlCl}_3$ .

При нагревании хлорид алюминия подвергается полному гидролизу:



**Ответ:** молекулярная формула соединения  $\text{AlCl}_3$ .



### Задача 2.17

Вещество **X** может представлять собой  $\text{NH}_3$  или  $\text{N}_2\text{H}_4$ . Газовая смесь, образующаяся при неполном разложении **X**, может содержать  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2$ . При пропускании такой смеси через кислоту газы основного характера поглощаются, поэтому непоглощенная смесь, плотность которой  $\rho = 0,786$  г/л, состоит только из  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2$ .

Для вычисления объемной доли каждого из газов  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2$  составляют уравнения:

$$\rho = \frac{28 \cdot \varphi_{\text{N}_2} + 2 \cdot \varphi_{\text{H}_2}}{22,4};$$

$$\varphi_{\text{N}_2} + \varphi_{\text{H}_2} = 1;$$

из которых следует, что  $\varphi_{\text{N}_2} = 0,6$ ;  $\varphi_{\text{H}_2} = 0,4$ .

Объемы азота и водорода и их массы равны соответственно:

$$V_{\text{N}_2} = 0,6 \cdot 1,40 = 0,84 \text{ л}; \quad V_{\text{H}_2} = 0,4 \cdot 1,40 = 0,56 \text{ л};$$

$$m_{\text{N}_2} = \frac{0,84 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \cdot 28 \text{ г/моль} = 1,05 \text{ г};$$

$$m_{\text{H}_2} = \frac{0,56 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} \cdot 2 \text{ г/моль} = 0,05 \text{ г}.$$

Общая масса азота и водорода, полученных при разложении **X**:

$$m_{\text{N}_2} + m_{\text{H}_2} = 1,05 + 0,05 = 1,1 \text{ г}.$$

Объем газовой смеси до пропускания через раствор серной кислоты:

$$V = 2,8 \cdot 1,40 \text{ л} = 3,92 \text{ л}.$$

Суммарный объем  $\text{NH}_3$  и  $\text{N}_2\text{H}_4$ , поглощенных кислотой, равен

$$3,92 - 1,40 = 2,52 \text{ л}.$$

Пусть было поглощено  $x$  литров  $\text{NH}_3$ , тогда

$$\frac{x}{22,4} \cdot 17 + \frac{2,52 - x}{22,4} \cdot 32 = 3,2 - 1,1$$

Отсюда  $x = 2,24$ , то есть поглотилось  $2,24$  л  $\text{NH}_3$  и

$$2,52 - 2,24 = 0,28 \text{ л } \text{N}_2\text{H}_4.$$

Определим отношение объемов всех газов в смеси, образовавшейся при разложении вещества **X**:

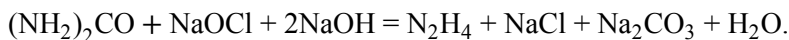
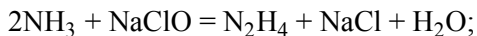
$$V_{\text{N}_2} : V_{\text{H}_2} : V_{\text{NH}_3} : V_{\text{N}_2\text{H}_4} = 0,84 : 0,56 : 2,24 : 0,28 = 3 : 2 : 8 : 1.$$

Таким образом, соотношение между числами атомов азота и водорода в веществе **X** равно

$$\nu_{\text{N}} : \nu_{\text{H}} = (3 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 1 \cdot 2) : (2 \cdot 2 + 8 \cdot 3 + 1 \cdot 4) = 16 : 32 = 1 : 2.$$

Следовательно, разложению был подвергнут гидразин  $\text{N}_2\text{H}_4$ .

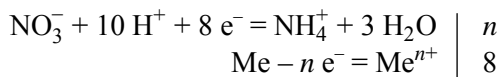
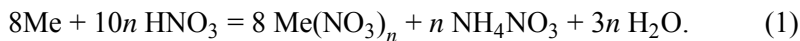
В промышленности гидразин обычно получают по реакции окисления аммиака или мочевины гипохлоритом натрия:



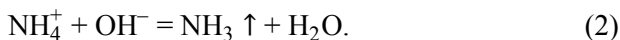
**Ответ:** **X** –  $\text{N}_2\text{H}_4$ .

### Задача 2.18

При взаимодействии образовавшегося раствора со щелочью выделяется газ. Таким газом может быть только аммиак. Следовательно, в реакции металла **Me** с  $\text{HNO}_3$  образуется  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ :



При кипячении раствора со щелочью протекает реакция



Согласно уравнениям (1) и (2), 8 моль металла дают  $n$  моль аммиака, т.е.  $v_{\text{Me}} = 8v_{\text{NH}_3}/n$ .

По условию задачи

$$v_{\text{NH}_3} = \frac{1,12 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,05 \text{ моль.}$$

Отсюда

$$v_{\text{Me}} = \frac{8 \cdot 0,05}{n} = \frac{0,4}{n} \text{ моль,}$$

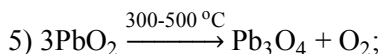
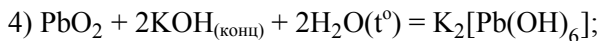
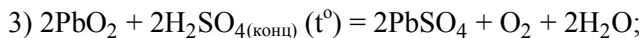
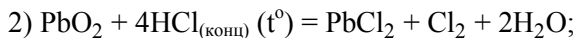
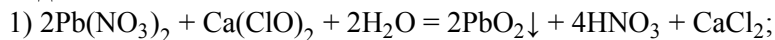
тогда молярная масса металла

$$M_{\text{Me}} = \frac{13n}{0,4} = 32,5n \text{ г/моль.}$$

При взаимодействии металлов с азотной кислотой образуются соединения, в которых степень окисления металла  $n$  не превышает 4. Из четырех формально возможных значений молярной массы металла  $M_{\text{Me}}$  (г/моль) – 32,5; 65; 97,5 и 130 – только второе значение совпадает с молярной массой цинка, а остальные не соответствуют никакому элементу.

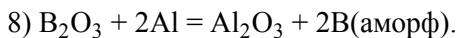
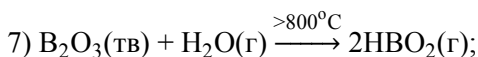
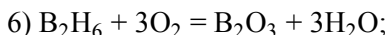
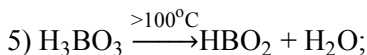
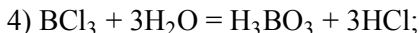
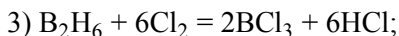
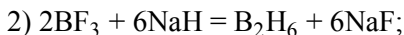
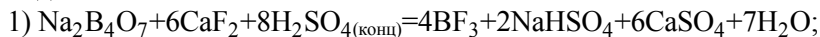
**Ответ:** неизвестный металл – цинк.

### Задача 2.19

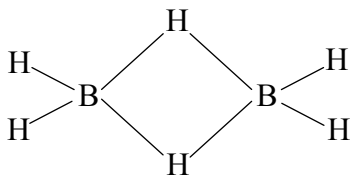


**Ответ:** **Х** – Pb; **А** – PbO<sub>2</sub>; **Б** – Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; краску на основе Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> называют «свинцовый сурик».

### Задача 2.20

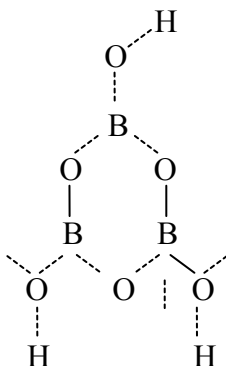


Соединения типа «**В**» называют боранами.  $\text{B}_2\text{H}_6$  – диборан. Молекула диборана построена из двух фрагментов  $\text{BH}_3$ . Каждый атом В имеет три валентных электрона, два из которых участвуют в образовании двухцентровых двухэлектронных связей с двумя концевыми атомами Н. На образование аналогичных связей атома В с двумя мостиковыми атомами Н остается только один электрон, то есть валентных электронов не хватает – бораны являются электронно-дефицитными соединениями:



Строение диборана

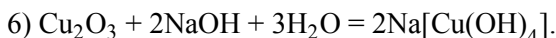
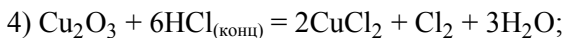
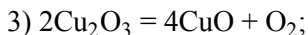
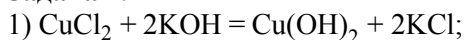
Соединение Д – ортоборная кислота ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{B}(\text{OH})_3$ ) имеет слоистую решетку, в которой молекулы  $\text{B}(\text{OH})_3$  связаны между собой водородными связями в плоские слои. Отдельные слои соединены между собой силами межмолекулярного взаимодействия:



При нагревании  $\text{H}_3\text{BO}_3$  теряет воду, переходя в полимерные метабораты водорода  $\text{HBO}_2$  – соединение Ж. Одна из модификаций  $\text{HBO}_2$  содержит циклические структурные единицы  $(\text{HBO}_2)_3$ , которые объединяются в плоские слои за счет водородных связей.

**Ответ:** X – бор; А –  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ; Б –  $\text{BF}_3$ ; В –  $\text{B}_2\text{H}_6$ ; Г –  $\text{BCl}_3$ ; Д –  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ; Е –  $\text{B}_2\text{O}_3$ ; Ж –  $\text{HBO}_2$ .

### Задача 2.21



По уравнению реакции (3) рассчитывают молярную массу вещества **Б**:

$$1/(2 M) = 0,064/22,4.$$

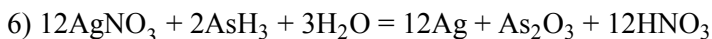
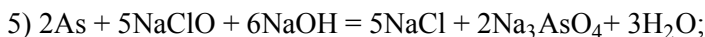
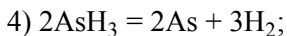
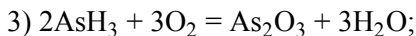
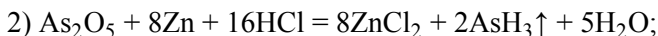
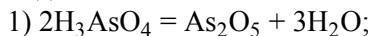
Откуда  $M = 175$  г/моль, что соответствует молярной массе вещества  $\text{Cu}_2\text{O}_3$ .

**Ответ:**

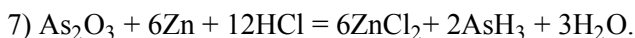
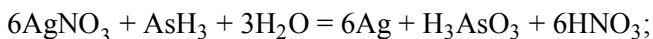
1) **А** –  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ; **Б** –  $\text{Cu}_2\text{O}_3$ ; **В** –  $\text{CuO}$ ; **Г** –  $\text{O}_2$ ; **Д** –  $\text{Cl}_2$ ; **Е** –  $\text{HClO}$ ; **Ж** –  $\text{Na}[\text{Cu}(\text{OH})_4]$ .

2)  $M(\text{Cu}_2\text{O}_3) = 175$  г/моль.

### Задача 2.22



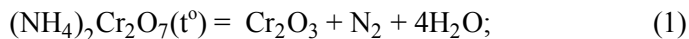
или



**Ответ:** **Х** –  $\text{As}$ ; **А** –  $\text{As}_2\text{O}_5$ ; **Б** –  $\text{AsH}_3$ ; **В** –  $\text{As}$ ; **Г** –  $\text{Ag}$ .

### Задача 2.23

Термическое разложение дихромата аммония и парамolibдата аммония можно представить следующими уравнениями реакций:



Так как нагревание проводилось на открытом воздухе, аммиак, который легче воздуха, быстро улетучивается, и возможными реакциями с его участием можно пренебречь.

По условию задачи

$$\nu((\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \nu((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O});$$

$$m(\text{смеси}) = \nu M((\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7) + \nu M((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}) = 400 \text{ г};$$

тогда с учетом молярных масс исходных веществ:

$$M((\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 252 \text{ г/моль};$$

$$M((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}) = 1236 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{смеси}) = 252\nu + 1236\nu = 400 \text{ г}.$$

Отсюда следует, что  $\nu = 0,27$  моль.

В соответствии с уравнением (1) образовалось 0,27 моль  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , масса которого

$$m(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 0,27 \text{ моль} \cdot M(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 0,27 \text{ моль} \cdot 152 \text{ г/моль} = 41 \text{ г}.$$

В соответствии с уравнением (2) образовалось

$$\nu(\text{MoO}_3) = 0,27 \text{ моль} \cdot 7 = 1,89 \text{ моль},$$

масса которого

$$m(\text{MoO}_3) = 1,89 \text{ моль} \cdot M(\text{MoO}_3) = 1,89 \text{ моль} \cdot 144 \text{ г/моль} = 272,2 \text{ г}.$$

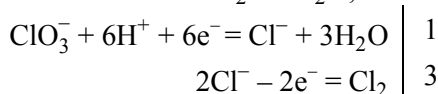
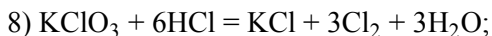
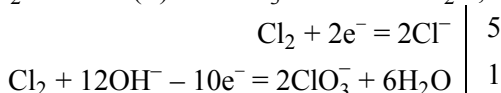
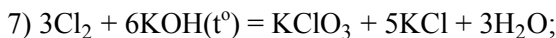
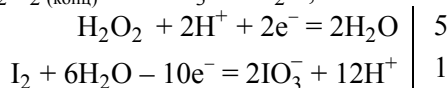
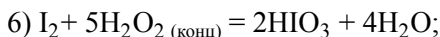
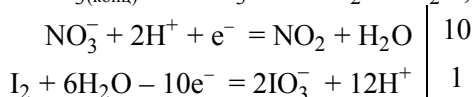
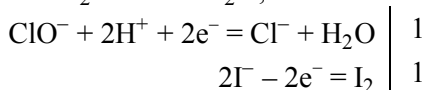
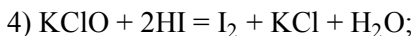
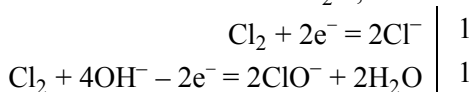
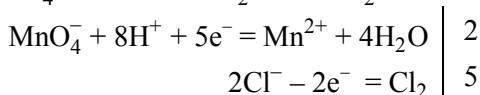
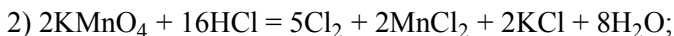
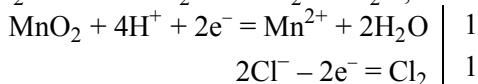
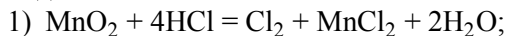
Тогда масса твердого вещества после термического разложения

$$m = m(\text{Cr}_2\text{O}_3) + m(\text{MoO}_3) = 41 + 272,2 = 313,2 \text{ г}.$$

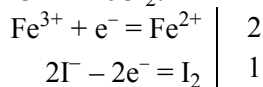
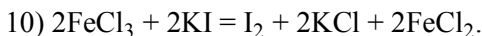
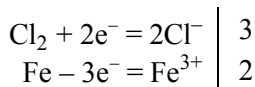
Отсюда следует, что массовая доля оксида хрома (III):

$$\omega = 41 : 313,2 = 0,131.$$

**Ответ:** выход оксида хрома (III) в массовых долях составляет 0,131.

**Задача 2.24**



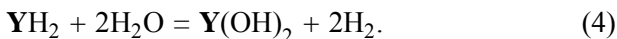
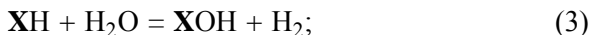


**Ответ:** А –  $\text{MnO}_2$  или  $\text{KMnO}_4$ ; Б –  $\text{MnO}_2$  или  $\text{KMnO}_4$ ; В –  $\text{HCl}_{(\text{конц})}$ ; Г –  $\text{Cl}_2$ ; Д –  $\text{KOH}$ ; Е –  $\text{KClO}$ ; Ж –  $\text{I}_2$ ; З –  $\text{HIO}_3$ ; И –  $\text{KClO}_3$ ; К –  $\text{FeCl}_3$ .

### Задача 2.25

При взаимодействии металлов с водородом ионные соединения образуют только щелочные и щелочно-земельные металлы. Полученные гидриды разлагаются водой с выделением водорода. Так как по условию задачи металлы находятся в разных группах, то в смеси должны быть один щелочной X и один щелочно-земельный Y металлы.

Составляют уравнения реакций:



По условию задачи согласно уравнениям реакций (3) и (4) прореагировало 1/3 от общей массы воды, то есть  $270/3 = 90$  мг, или 0,09 г, что соответствует 0,005 моль.

Оставшаяся масса воды ( $270 - 90 = 180$  мг, или 0,18 г) в реакциях не участвовала.

Гидроксиды щелочных металлов хорошо растворимы в воде, следовательно, в осадке содержится  $\text{Y(OH)}_2$ , причем некоторая часть этого гидроксида находится и в растворе.

Пусть в растворе содержится  $z$  мг обоих гидроксидов, тогда масса гидроксидов в растворе

$$z = m(\text{XOH}) + m(\text{Y(OH)}_2).$$

По известной массовой доле гидроксидов в растворе ( $\omega = 0,3$ ) рассчитывают  $z$ :

$$z = \frac{z}{z + 0,180} = 0,3;$$

$$z = 0,077 \text{ г.}$$

Масса гидроксидов в растворе

$$m(\text{XOH}) + m(\text{Y(OH)}_2) = 0,077 \text{ г,}$$

что соответствует

$$100 - 59,05 = 40,95 \%$$

от общей массы гидроксидов.

Общая масса гидроксидов в растворе и в осадке, согласно уравнениям реакций (3) и (4), равна

$$m(\text{XOH}) + m(\text{Y(OH)}_2) = \frac{0,077}{0,4095} = 0,188,$$

тогда масса гидроксида в осадке

$$m(\text{Y(OH)}_2) = 0,188 - 0,077 = 0,111 \text{ г.}$$

При прокаливании осадка протекает реакция



и уменьшение массы осадка при прокаливании обусловлено потерей воды.

Следовательно,

$$m(\text{YO}) = 0,111 - 0,027 = 0,084 \text{ г.}$$

Из уравнения (5) следует

$$v(\text{YO}) = v(\text{H}_2\text{O}),$$

тогда

$$\frac{m(\text{YO})}{M(\text{YO})} = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} ; \quad \frac{0,084}{M(\text{YO})} = \frac{0,027}{18}.$$

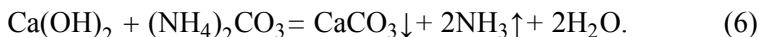
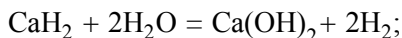
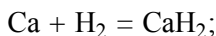
При решении пропорции находят

$$M(\text{YO}) = 56 \text{ г/моль}; M(\text{Y}) = 56 - 16 = 40 \text{ г/моль},$$

что соответствует молярной массе кальция.

Следовательно, металл, обозначенный через **Y**, является кальцием.

Составляют уравнения реакций с участием кальция:



Взаимодействие **XOH** с  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  не учитывают, так как по условию задачи карбонат аммония вводят в количестве, необходимом для полного осаждения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; кроме того карбонаты щелочных металлов растворимы в воде.

Масса раствора  $m_{\text{р-ра}}$  до введения карбоната аммония:

$$m_{\text{р-ра}} = m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{XOH} + \text{Y}(\text{OH})_2) = 0,18 + 0,077 = 0,257 \text{ г}.$$

Если обозначить через  $v_{\text{р-ра}}$  количество вещества  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , находящегося в растворе, то масса растворенного  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  равна

$$m_{\text{р-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = v_{\text{р-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 74 \cdot v_{\text{р-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2).$$

В соответствии с уравнением (6) масса образовавшейся воды равна

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot v_{\text{p-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{H}_2\text{O}) = 36 \cdot v_{\text{p-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2).$$

Массовая доля гидроксидов (0,1681), оставшихся в растворе массой  $m_{\text{p-ра}}^1$  после осаждения  $\text{CaCO}_3$ , приходится на гидроксид щелочного металла:

$$\omega(\text{XOH}) = \frac{m(\text{XOH})}{m_{\text{p-ра}}^1} = 0,1681.$$

Учитывая, что в растворе содержится  $z$  мг обоих гидроксидов, записывают:

$$\begin{aligned} \omega(\text{XOH}) &= \frac{z - m_{\text{p-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{m_{\text{p-ра}} - m_{\text{p-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) + m(\text{H}_2\text{O})} = \\ &= \frac{0,077 - 74 \cdot v_{\text{p-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{0,257 - 38 \cdot v_{\text{p-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2)} = 0,1681; \end{aligned}$$

тогда

$$v_{\text{p-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 5 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$$

Общее количество  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в виде осадка и в растворе равно

$$\begin{aligned} v(\text{Ca}(\text{OH})_2) &= \frac{m_{\text{осадка}}(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{M(\text{Ca}(\text{OH})_2)} + v_{\text{p-ра}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \\ &= \frac{0,111}{74} + 5 \cdot 10^{-4} = 0,0015 + 0,0005 = 0,002 \text{ моль,} \end{aligned}$$

тогда

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,002 \text{ моль} \cdot 74 \text{ г/моль} = 0,148 \text{ г.}$$

Количество воды, которое прореагирует согласно уравнению реакции (4):

$$v(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot v(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 2 \cdot 0,002 = 0,004 \text{ моль.}$$

Количество воды, которое прореагирует согласно уравнению реакции (3), равняется разности между общим прореагировавшим количеством воды ( $v(\text{H}_2\text{O}) = 0,005$ ) и количеством воды, которое прореагировало в соответствии с уравнением (4):

$$v(\text{H}_2\text{O}) = 0,005 - 0,004 = 0,001 \text{ моль.}$$

Согласно уравнению (3):

$$v(\text{NaOH}) = v(\text{H}_2\text{O}) = 0,001 \text{ моль,}$$

и масса гидроксида  $\text{XOH}$  равна разности между общей массой гидроксидов и массой гидроксида кальция:

$$m(\text{XOH}) = 0,188 - 0,148 = 0,04 \text{ г,}$$

тогда

$$M(\text{XOH}) = \frac{m(\text{XOH})}{v(\text{XOH})} = \frac{0,04 \text{ г}}{0,001 \text{ моль}} = 40 \text{ г/моль,}$$

что соответствует молярной массе  $\text{NaOH}$ .

Из формул гидроксидов натрия и кальция следует:

$$v(\text{Na}) = v(\text{NaOH}) = 0,001 \text{ моль;}$$

$$v(\text{Ca}) = v\text{Ca}(\text{OH})_2 = 0,002 \text{ моль.}$$

**Ответ:** исходная смесь содержала металлы  $\text{Na}$  и  $\text{Ca}$  в количестве:  $v(\text{Na}) = 0,001 \text{ моль; } v(\text{Ca}) = 0,002 \text{ моль.}$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Будруджак, П. Задачи по химии / П. Будруджак. – М.: Мир, 1989. – 341 с.
2. Гринвуд, Н. Химия элементов: в 2 т. / Н. Гринвуд, А. Эрншо. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
3. Химия / А.А. Гуров [и др.]. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 777 с.
4. Коттон, Ф. Современная неорганическая химия: в 3 ч. / Ф. Коттон, Дж. Уилкинсон. – М.: Мир, 1969.
5. Неорганическая химия: в 3 т. Т. 2. Химия непереходных элементов; общ. ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: Академия, 2004. Т. 3. Химия переходных элементов; Кн. 1, 2. – М.: Академия, 2007.
6. Общая и неорганическая химия: в 2 т. Т. 1, 2. /А.Ф. Воробьев [и др.]. – М.: Академкнига, 2004.
7. Реми, Г. Курс неорганической химии: в 2 т. / Г. Реми. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963.
8. Современная химия в задачах международных олимпиад / В.В. Сорокин [и др.]. – М: Химия, 1993. – 288 с.

## IUPAC Periodic Table of the Elements

<div><div>1</div><div>H</div><div>hydrogen</div><div>1.008</div><div>[1.0078, 1.0082]</div></div>																				<div><div>2</div><div>He</div><div>helium</div><div>4.0026</div></div>																																	
<div><div>3</div><div>Li</div><div>lithium</div><div>6.94</div><div>[6.938, 6.997]</div></div>					<div><div>4</div><div>Be</div><div>beryllium</div><div>9.0122</div></div>															<div><div>13</div><div>B</div><div>boron</div><div>10.81</div><div>[10.806, 10.821]</div></div>					<div><div>14</div><div>C</div><div>carbon</div><div>12.011</div><div>[12.008, 12.012]</div></div>					<div><div>15</div><div>N</div><div>nitrogen</div><div>14.007</div><div>[14.006, 14.008]</div></div>					<div><div>16</div><div>O</div><div>oxygen</div><div>15.999</div><div>[15.999, 16.000]</div></div>					<div><div>17</div><div>F</div><div>fluorine</div><div>18.998</div><div>[18.998, 18.999]</div></div>					<div><div>18</div><div>Ne</div><div>neon</div><div>20.180</div></div>								
<div><div>11</div><div>Na</div><div>sodium</div><div>22.990</div></div>					<div><div>12</div><div>Mg</div><div>magnesium</div><div>24.305</div><div>[24.304, 24.307]</div></div>															<div><div>13</div><div>Al</div><div>aluminium</div><div>26.982</div></div>					<div><div>14</div><div>Si</div><div>silicon</div><div>28.086</div><div>[28.084, 28.088]</div></div>					<div><div>15</div><div>P</div><div>phosphorus</div><div>30.974</div></div>					<div><div>16</div><div>S</div><div>sulfur</div><div>32.06</div><div>[32.059, 32.076]</div></div>					<div><div>17</div><div>Cl</div><div>chlorine</div><div>35.45</div><div>[35.446, 35.457]</div></div>					<div><div>18</div><div>Ar</div><div>argon</div><div>39.948</div></div>								
<div><div>19</div><div>K</div><div>potassium</div><div>39.098</div></div>		<div><div>20</div><div>Ca</div><div>calcium</div><div>40.078(4)</div></div>		<div><div>21</div><div>Sc</div><div>scandium</div><div>44.956</div></div>		<div><div>22</div><div>Ti</div><div>titanium</div><div>47.867</div></div>		<div><div>23</div><div>V</div><div>vanadium</div><div>50.942</div></div>		<div><div>24</div><div>Cr</div><div>chromium</div><div>51.996</div></div>		<div><div>25</div><div>Mn</div><div>manganese</div><div>54.938</div></div>		<div><div>26</div><div>Fe</div><div>iron</div><div>55.845(2)</div></div>		<div><div>27</div><div>Co</div><div>cobalt</div><div>58.933</div></div>		<div><div>28</div><div>Ni</div><div>nickel</div><div>58.693</div></div>				<div><div>29</div><div>Cu</div><div>copper</div><div>63.546(3)</div></div>				<div><div>30</div><div>Zn</div><div>zinc</div><div>65.38(2)</div></div>				<div><div>31</div><div>Ga</div><div>gallium</div><div>69.723</div></div>				<div><div>32</div><div>Ge</div><div>germanium</div><div>72.630(8)</div></div>				<div><div>33</div><div>As</div><div>arsenic</div><div>74.922</div></div>				<div><div>34</div><div>Se</div><div>selenium</div><div>78.971(8)</div></div>				<div><div>35</div><div>Br</div><div>bromine</div><div>79.904</div><div>[79.901, 79.907]</div></div>				<div><div>36</div><div>Kr</div><div>krypton</div><div>83.798(2)</div></div>			
<div><div>37</div><div>Rb</div><div>rubidium</div><div>85.468</div></div>		<div><div>38</div><div>Sr</div><div>strontium</div><div>87.62</div></div>		<div><div>39</div><div>Y</div><div>yttrium</div><div>88.906</div></div>		<div><div>40</div><div>Zr</div><div>zirconium</div><div>91.224(2)</div></div>		<div><div>41</div><div>Nb</div><div>niobium</div><div>92.906</div></div>		<div><div>42</div><div>Mo</div><div>molybdenum</div><div>95.95</div></div>		<div><div>43</div><div>Tc</div><div>technetium</div><div>98.906</div></div>		<div><div>44</div><div>Ru</div><div>ruthenium</div><div>101.07(2)</div></div>		<div><div>45</div><div>Rh</div><div>rhodium</div><div>102.91</div></div>		<div><div>46</div><div>Pd</div><div>palladium</div><div>106.42</div></div>				<div><div>47</div><div>Ag</div><div>silver</div><div>107.87</div></div>				<div><div>48</div><div>Cd</div><div>cadmium</div><div>112.41</div></div>				<div><div>49</div><div>In</div><div>indium</div><div>114.82</div></div>				<div><div>50</div><div>Sn</div><div>tin</div><div>118.71</div></div>				<div><div>51</div><div>Sb</div><div>antimony</div><div>121.76</div></div>				<div><div>52</div><div>Te</div><div>tellurium</div><div>127.60(3)</div></div>				<div><div>53</div><div>I</div><div>iodine</div><div>126.90</div></div>				<div><div>54</div><div>Xe</div><div>xenon</div><div>131.29</div></div>			
<div><div>55</div><div>Cs</div><div>caesium</div><div>132.91</div></div>		<div><div>56</div><div>Ba</div><div>barium</div><div>137.33</div></div>		<div><div>57-71</div><div></div><div>lanthanoids</div></div>		<div><div>72</div><div>Hf</div><div>hafnium</div><div>178.49(2)</div></div>		<div><div>73</div><div>Ta</div><div>tantalum</div><div>180.95</div></div>		<div><div>74</div><div>W</div><div>tungsten</div><div>183.84</div></div>		<div><div>75</div><div>Re</div><div>rhenium</div><div>186.21</div></div>		<div><div>76</div><div>Os</div><div>osmium</div><div>190.23(3)</div></div>		<div><div>77</div><div>Ir</div><div>iridium</div><div>192.22</div></div>		<div><div>78</div><div>Pt</div><div>platinum</div><div>195.08</div></div>				<div><div>79</div><div>Au</div><div>gold</div><div>196.97</div></div>				<div><div>80</div><div>Hg</div><div>mercury</div><div>200.59</div></div>				<div><div>81</div><div>Tl</div><div>thallium</div><div>204.38</div><div>[204.38, 204.39]</div></div>				<div><div>82</div><div>Pb</div><div>lead</div><div>207.2</div></div>				<div><div>83</div><div>Bi</div><div>bismuth</div><div>208.98</div></div>				<div><div>84</div><div>Po</div><div>polonium</div></div>				<div><div>85</div><div>At</div><div>astatine</div></div>				<div><div>86</div><div>Rn</div><div>radon</div></div>			
<div><div>87</div><div>Fr</div><div>francium</div></div>		<div><div>88</div><div>Ra</div><div>radium</div></div>		<div><div>89-103</div><div></div><div>actinoids</div></div>		<div><div>104</div><div>Rf</div><div>rutherfordium</div></div>		<div><div>105</div><div>Db</div><div>dubnium</div></div>		<div><div>106</div><div>Sg</div><div>seaborgium</div></div>		<div><div>107</div><div>Bh</div><div>bohrium</div></div>		<div><div>108</div><div>Hs</div><div>hassium</div></div>		<div><div>109</div><div>Mt</div><div>meitnerium</div></div>		<div><div>110</div><div>Ds</div><div>darmstadtium</div></div>				<div><div>111</div><div>Rg</div><div>roentgenium</div></div>				<div><div>112</div><div>Cn</div><div>copernicium</div></div>				<div><div>113</div><div>Nh</div><div>nihonium</div></div>				<div><div>114</div><div>Fl</div><div>flerovium</div></div>				<div><div>115</div><div>Mc</div><div>moscovium</div></div>				<div><div>116</div><div>Lv</div><div>livermorium</div></div>				<div><div>117</div><div>Ts</div><div>tennessine</div></div>				<div><div>118</div><div>Og</div><div>oganeson</div></div>			

<div><div>57</div><div>La</div><div>lanthanum</div><div>138.91</div></div>		<div><div>58</div><div>Ce</div><div>cerium</div><div>140.12</div></div>		<div><div>59</div><div>Pr</div><div>praseodymium</div><div>140.91</div></div>		<div><div>60</div><div>Nd</div><div>neodymium</div><div>144.24</div></div>		<div><div>61</div><div>Pm</div><div>promethium</div></div>		<div><div>62</div><div>Sm</div><div>samarium</div><div>150.36(2)</div></div>		<div><div>63</div><div>Eu</div><div>euporium</div><div>151.96</div></div>		<div><div>64</div><div>Gd</div><div>gadolinium</div><div>157.25(3)</div></div>		<div><div>65</div><div>Tb</div><div>terbium</div><div>158.93</div></div>		<div><div>66</div><div>Dy</div><div>dysprosium</div><div>162.50</div></div>		<div><div>67</div><div>Ho</div><div>holmium</div><div>164.93</div></div>		<div><div>68</div><div>Er</div><div>erbium</div><div>167.26</div></div>		<div><div>69</div><div>Tm</div><div>thulium</div><div>168.93</div></div>		<div><div>70</div><div>Yb</div><div>ytterbium</div><div>173.05</div></div>		<div><div>71</div><div>Lu</div><div>lutetium</div><div>174.97</div></div>	
<div><div>89</div><div>Ac</div><div>actinium</div></div>		<div><div>90</div><div>Th</div><div>thorium</div><div>232.04</div></div>		<div><div>91</div><div>Pa</div><div>protactinium</div><div>231.04</div></div>		<div><div>92</div><div>U</div><div>uranium</div><div>238.03</div></div>		<div><div>93</div><div>Np</div><div>neptunium</div></div>		<div><div>94</div><div>Pu</div><div>plutonium</div></div>		<div><div>95</div><div>Am</div><div>americium</div></div>		<div><div>96</div><div>Cm</div><div>curium</div></div>		<div><div>97</div><div>Bk</div><div>berkelium</div></div>		<div><div>98</div><div>Cf</div><div>californium</div></div>		<div><div>99</div><div>Es</div><div>einsteinium</div></div>		<div><div>100</div><div>Fm</div><div>fermium</div></div>		<div><div>101</div><div>Md</div><div>mendelevium</div></div>		<div><div>102</div><div>No</div><div>nobelium</div></div>		<div><div>103</div><div>Lr</div><div>lawrencium</div></div>	

## Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева

## Короткопериодный вариант

Период	Ряд	Группа				
		I	II	III	IV	V
1	1	<b>H</b> Водород 1,0079				
2	2	<b>Li</b> Литий 6,941	<b>Be</b> Бериллий 9,012	<b>B</b> Бор 10,811	<b>C</b> Углерод 12,011	<b>N</b> Азот 14,007
3	3	<b>Na</b> Натрий 22,99	<b>Mg</b> Магний 24,305	<b>Al</b> Алюминий 26,982	<b>Si</b> Кремний 28,086	<b>P</b> Фосфор 30,974
4	4	<b>K</b> Калий 39,098	<b>Ca</b> Кальций 40,078	<b>Sc</b> Скандий 44,956	<b>Ti</b> Титан 47,867	<b>V</b> Ванадий 50,942
	5	<b>Cu</b> Медь 63,546	<b>Zn</b> Цинк 65,409	<b>Ga</b> Галлий 69,723	<b>Ge</b> Германий 72,64	<b>As</b> Мышьяк 74,992
5	6	<b>Rb</b> Рубидий 85,468	<b>Sr</b> Стронций 87,62	<b>Y</b> Иттрий 88,906	<b>Zr</b> Цирконий 91,224	<b>Nb</b> Ниобий 92,906
	7	<b>Ag</b> Серебро 107,868	<b>Cd</b> Кадмий 112,411	<b>In</b> Индий 114,818	<b>Sn</b> Олово 118,71	<b>Sb</b> Сурьма 121,76
6	8	<b>Cs</b> Цезий 132,905	<b>Ba</b> Барий 137,327	<b>La*</b> Лантан 138,905	<b>Hf</b> Гафний 178,49	<b>Ta</b> Тантал 180,948
	9	<b>Au</b> Золото 196,967	<b>Hg</b> Ртуть 200,59	<b>Tl</b> Таллий 204,383	<b>Pb</b> Свинец 207,2	<b>Bi</b> Висмут 208,98
7	10	<b>Fr</b> Франций [223,02]	<b>Ra</b> Радий [226,03]	<b>Ac**</b> Актиний [227,03]	<b>Rf</b> Резерфордий [261,1087]	<b>Db</b> Дубний [262,1130]
	11	<b>Rg</b> Рентгений [272]	<b>Cn</b> Коперниций [285]	<b>Uut</b> Унунтий [288]	<b>Fl</b> Флеровий [289]	<b>Uup</b> Унунпентий [288]
Высшие оксиды		R <sub>2</sub> O	RO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Летучие соединения с водородом					RH <sub>4</sub>	RH <sub>3</sub>

\*Лантаноиды

<b>Ce</b> Церий 140,12	58	<b>Pr</b> Прометий 140,91	59	<b>Nd</b> Неодим 144,24	60	<b>Pm</b> Прометий [143,9]	61	<b>Sm</b> Самарий [150,36]	62	<b>Eu</b> Европий 151,96	63	<b>Gd</b> Гадолиний 157,25	64	<b>Tb</b> Тербий 158,93	65
------------------------------	----	---------------------------------	----	-------------------------------	----	----------------------------------	----	----------------------------------	----	--------------------------------	----	----------------------------------	----	-------------------------------	----

\*\*Актиноиды

<b>Th</b> Торий 232,04	90	<b>Pa</b> Протактиний 231,04	91	<b>U</b> Уран 238,03	92	<b>Np</b> Нептуний [237,05]	93	<b>Pu</b> Плутоний [244,06]	94	<b>Am</b> Америций [243,06]	95	<b>Cm</b> Курций [247,07]	96	<b>Bk</b> Берклий [247,07]	97
------------------------------	----	------------------------------------	----	----------------------------	----	-----------------------------------	----	-----------------------------------	----	-----------------------------------	----	---------------------------------	----	----------------------------------	----

Названия элементов: **113Nh** Nihonium (Нихоний), **115Mc** Moscovium (Московский), **117Ts** Tennessine (Теннессин), **118Og** Oganesson (Оганесон) утверждены ИЮПАК в 2016 г.

Группа						
VI	VII		VIII			
	(H)	He Гелий 4,0026	2			
O Кислород 15,999	8	F Фтор 18,998	9	Ne Неон 20,18	10	
S Сера 32,065	16	Cl Хлор 35,453	17	Ar Аргон 39,948	18	
Cr Хром 51,996	24	Mn Марганец 54,938	25	Fe Железо 55,845	26	Co Кобальт 58,933
Se Селен 78,96	34	Br Бром 79,904	35	Kr Криптон 83,798	36	Ni Никель 58,693
Mo Молибден 95,94	42	Tc Технеций [98,906]	43	Ru Рутений 101,07	44	Rh Родий 102,906
Te Теллур 127,60	52	I Иод 126,904	53	Xe Ксенон 131,293	54	Pd Палладий 106,42
W Вольфрам 183,84	74	Re Рений 186,207	75	Os Осмий 190,23	76	Ir Иридий 192,217
Po Полоний [208,98]	84	At Астат [209,98]	85	Rn Радон [222,02]	86	Pt Платина 195,084
Sg Сибгрий [263,1182]	106	Bh Борий [262,1229]	107	Hs Хасний [265]	108	Mt Мейтнерий [266]
Lv Ливерморий [293]	116	Uus Унунсептий [295]	117	Uuo Унуноктий [294]	118	Ds Дармштадтий [269]
RO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		RO <sub>4</sub>			
H <sub>2</sub> R	HR					

<b>Dy</b> Диспрозий 162,50	66	<b>Ho</b> Гольмий 164,93	67	<b>Er</b> Эрбий 167,26	68	<b>Tm</b> Тулий 168,93	69	<b>Yb</b> Иттербий 173,04	70	<b>Lu</b> Лютеций 174,97	71
----------------------------------	----	--------------------------------	----	------------------------------	----	------------------------------	----	---------------------------------	----	--------------------------------	----

<b>Cf</b> Калифорний [251,08]	98	<b>Es</b> Эйнштейний [252,08]	99	<b>Fm</b> Фермий [257,1]	100	<b>Md</b> Менделевий [258,1]	101	<b>No</b> Нобелий [259,1]	102	<b>Lr</b> Лоуренсий [260,11]	103
-------------------------------------	----	-------------------------------------	----	--------------------------------	-----	------------------------------------	-----	---------------------------------	-----	------------------------------------	-----



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ЗАДАЧИ ОЛИМПИАД.....	5
1.1. Задачи по общей химии .....	5
1.2. Задачи по неорганической химии .....	12
2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ И КОММЕНТАРИИ.....	22
2.1. Задачи по общей химии .....	22
2.2. Задачи по неорганической химии .....	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	85
<i>Приложение 1. IUPAC Periodic Table of the Elements .....</i>	<i>86</i>
<i>Приложение 2. Периодическая система химических элементов</i> <i>Д.И. Менделеева. Короткопериодный вариант .....</i>	<i>87</i>

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

*Ренат Равильевич Назмутдинов*

*Тамара Петровна Петрова*

*Тамара Евгеньевна Бусыгина*

*Елена Евгеньевна Стародубец*

ВСЕРОССИЙСКИЕ СТУДЕНЧЕСКИЕ  
ОЛИМПИАДЫ ПО ОБЩЕЙ  
И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

*Редактор Е. И. Шевченко*

Подписано в печать 03.10.2018

Бумага офсетная

5,75 уч.-изд. л.

Печать ризографическая

Тираж 150 экз.

Формат 60×84 1/16

5,35 усл. печ. л.

Заказ 162/18

Издательство Казанского национального исследовательского  
технологического университета

Отпечатано в офсетной лаборатории Казанского национального  
исследовательского технологического университета

420015, Казань, К. Маркса, 68