

# XLVI Турнир имени М. В. Ломоносова

2023-2024 учебный год

Конкурс по химии

## Распределение заданий по классам:

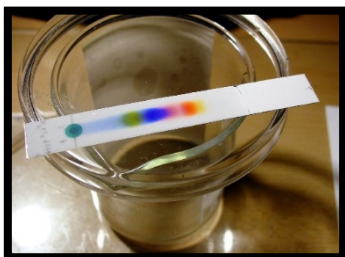
№	Максимальный балл	Классы
1.	5	8
2.	8	8
3.	5	8
4.	6	8-9
5.	6	8-9
6.	7	9
7.	14	9-10
8.	6	9-10
9.	6	9-11
10.	7	10-11
11.	7	10-11
12.	9	11
13.	11	11

## Задачи и максимальные баллы по классам:

Класс	Рекомендуемое число задач	Сумма баллов за рекомендуемые задачи
<b>8</b>	<b>5</b>	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>6</b>	<b>45</b>
<b>10</b>	<b>5</b>	<b>40</b>
<b>11</b>	<b>5</b>	<b>40</b>

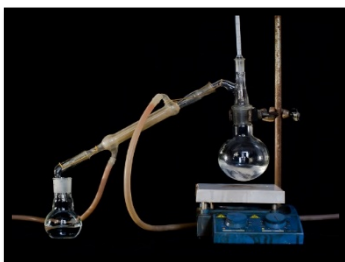
**Задача 1 (8).** Установите соответствие между процессами на фотографиях и их названиями. Обратите внимание — в списке приведены два лишних названия. (5 баллов)

**А**



1. Центрифугирование
2. Дистилляция
3. Фильтрация
4. Декантация
5. Хроматография
6. Магнитная сепарация
7. Выпаривание

**Б**



**В**



**Г**



**Д**

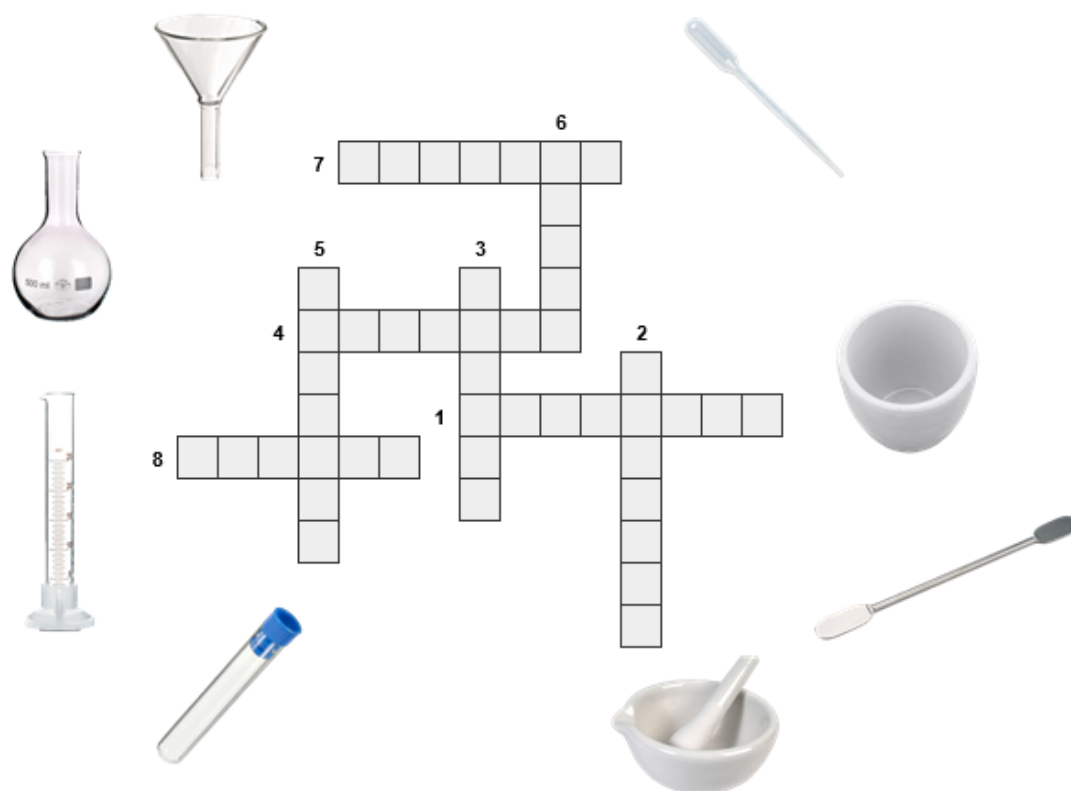


**Ответ:** А – 5, Б – 2, В – 6, Г – 3, Д – 7

**Критерии оценки:** 1 балл за каждое верное соответствие.

**Всего за задачу:** 5 баллов.

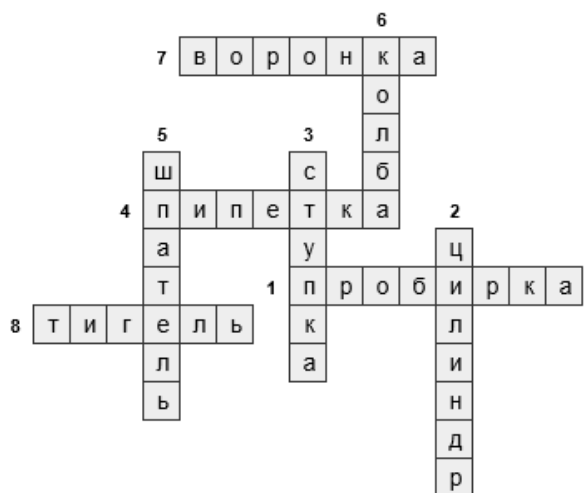
**Задача 2 (8).** В этой задаче вам предлагается разгадать кроссворд, посвященный химической посуде. В ответе запишите соответствующие слова. (8 баллов)



1. Запаянная с одного конца стеклянная трубочка, используемая в лабораторной практике для проведения опытов между реагентами в небольшом количестве.
2. Мерная посуда цилиндрической формы для определения объёма налитой в неё жидкости. Мерный ...
3. Небольшой сосуд для растирания чего-либо, обычно из фарфора.
4. Сосуд, представляющий собой трубку для отмеривания заданного объёма жидкостей или газов.
5. Небольшое приспособление из нержавеющей стали, используемое для соскабливания или переноса различных веществ.
6. Стеклянная посуда, предназначенная для работы с различными жидкими веществами и растворами. Множество разновидностей – круглодонные, плоскодонные, грушевидные...
7. Приспособление для переливания жидкостей и пересыпания порошков через узкие отверстия.
8. Ёмкость из огнеупорного материала для нагрева, сжигания, обжига или плавления различных веществ.

**Ответ:**

1. пробирка
2. цилиндр
3. ступка
4. пипетка
5. шпатель
6. колба
7. воронка
8. тигель



Критерии оценки: за каждое слово по 1 баллу.

**Всего за задачу:** 8 баллов.

**Задача 3 (8).** Лаборант приготовил навески солей равной массы: хлорида меди (II)  $\text{CuCl}_2$  и нитрата меди (II)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ . Далее он поместил их в химический стакан, в котором находилось 50 г. воды. После полного растворения солей оказалось, что в полученном растворе массовое содержание меди составляет 5,00 %. Определите, какой массы (в граммах) были исходные образцы хлорида и нитрата меди (ответ дайте с точностью до десятых). Примите молярную массу меди равной 64 г/моль, хлора – 35,5 г/моль. **(5 баллов)**

**Решение**

Определим массовые доли меди в каждой из солей. Для хлорида меди  $\text{CuCl}_2$ :

$$\omega(\text{Cu}) = \frac{64}{64+35,5 \cdot 2} = 0,4741$$

Для нитрата меди  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ :

$$\omega(\text{Cu}) = \frac{64}{64+14 \cdot 2+48 \cdot 2} = 0,3404$$

Удобно обозначить массу одной навески за  $x$ , то есть  $m(\text{CuCl}_2) = m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = x$  грамм. В таком случае конечная масса раствора равна  $50 + 2x$ . Получаем уравнение:

$$\frac{0,4741x+0,3404x}{50+2x} = 0,05, \text{ решением которого является } x = 3,5, \text{ то есть масса каждой из навесок составляет } 0,5 \text{ г.}$$

**Ответ:** 3,5±0,3.

Критерии оценки: за ответ 5 баллов.

**Всего за задачу:** 5 баллов.

**Задача 4.** (8-9) Клатраты, также называемые соединениями включения, – это соединения, полученные путем внедрения молекул одного вещества (их называют “гостями”) в полости кристаллической решетки другого вещества (его молекулы называют “хозяевами”) без образования химических связей. Молекулы многих газов образуют клатраты с водой, устойчивые при низких температурах или высоких давлениях. Изучение клатратов представляет интерес для планетологии. Например, считается, что снегоподобный клатрат газа **А** может образовывать залежи на Марсе и влиять на формирование его рельефа, поскольку условия являются подходящими.



При пропускании газа **А** (плотность по воздуху 1,52), выделившегося из растаявшего клатрата  $\mathbf{A} \cdot n\mathbf{H}_2\mathbf{O}$  массой 2,66 г, через насыщенный раствор гидроксида кальция выпадает белый осадок **Б**. Масса осадка после фильтрации и высушивания составляет 1,75 г.

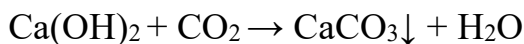
- 1) Определите газ **А** и вещество **Б**. В ответе приведите их формулы.
- 2) Рассчитайте количество молекул воды в формульной единице клатрата (величину  $n$ )

**(6 баллов)**

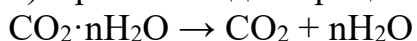
**Решение:**

1) Плотность по воздуху – величина, указывающая на отношение молярной массы газа к молярной массе воздуха (молярная масса воздуха 29 г/моль):  
 $M(\mathbf{A}) = 1,52 \cdot 29 = 44$  г/моль

Газ **А** вступает в реакцию с гидроксидом кальция, вследствие чего выпадает белый осадок **Б** – это качественная реакция на углекислый газ  $\text{CO}_2$ . Отсюда делаем вывод, что  $\mathbf{A} = \text{CO}_2$ ,  $\mathbf{B} = \text{CaCO}_3$ . Уравнение реакции имеет вид:



2) Уравнение для процесса плавления клатрата имеет вид:



Из уравнений реакций следует, что количество клатрата пропорционально количеству выпавшего осадка:

$$m_i = M_i n_i, n(\text{CO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}) = n(\text{CaCO}_3), \frac{M(\text{CO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})}{M(\text{CaCO}_3)} = \frac{m(\text{CO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})}{m(\text{CaCO}_3)}$$

Отсюда вычисляем молярную массу клатрата:

$$M(\text{CO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}) = M(\text{CaCO}_3) \frac{m(\text{CO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})}{m(\text{CaCO}_3)} = 100 * \frac{2,66}{1,75} = 152 \text{ г/моль}$$

$$\text{Находим } n = \frac{M(\text{CO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}) - M(\text{CO}_2)}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{152 - 44}{18} = 6$$

**Ответ:**

1) **A** = CO<sub>2</sub>, **B** = CaCO<sub>3</sub>

2) 6

Критерии оценки: по 1 баллу за вещества **A** и **B** п.1. За расчет величины **n** п.2 – 4 балла.

**Всего за задачу:** 6 баллов.



**Задача 5 (8-9).** Вы оказались на планете, где все слова пишут задом наперёд. Люди, живущие на ней, загадали вам задачу, если вы разгадаете её, то сможете исследовать дальше, если нет, вас отправят обратно. Они вручили вам, как юному химику, вещество **А** массой «001» грамм. Оно используется для

демонстрации опыта под названием "наклуВ" и состоит из элементов: "дородоВ" "тозА" "морХ" "доролсиК". Их массовые доли составляют 3,18% 11,11%, 41,27%, 44,44% соответственно. Известно, что при реакции со щёлочью **А** выделяет газ с резким запахом, а при его разложении в ходе опыта образуется твёрдый зеленый остаток **Б** и бесцветный газ **В** без запаха с плотностью по водороду 14.

- 1) Определите вещество **А**. В ответе напишите его молярную массу (г/моль) с точностью до целых.
- 2) Найдите массу (г) твёрдого остатка **Б** после проведения опыта с точностью до десятых.
- 3) Найдите объём (л, н.у.) газа **В** после проведения опыта с точностью до десятых.

**(6 баллов)**

### Решение

Слова в кавычках: «наклуВ» - «Вулкан», «дородоВ» - «Водород», «тозА» - «Азот», «морХ» - «Хром», «доролсиК» - «Кислород»

1. Определение вещества **А**. По условию дана масса и массовая доля каждого элемента в соединении, найдём массы элементов.

$$m(A) = 100 \text{ г}$$

$$m(H) = 100 \cdot 3,18/100 = 3,18 \text{ г}$$

$$m(N) = 100 \cdot 11,11/100 = 11,11 \text{ г}$$

$$m(Cr) = 100 \cdot 41,27/100 = 41,27 \text{ г}$$

$$m(O) = 100 \cdot 44,44/100 = 44,44 \text{ г}$$

Определим их количества вещества и найдём соотношения

$$n(H) = 3,18/1 = 3,18 \text{ моль}$$

$$n(N) = 11,11/14 = 0,7936 \text{ моль}$$

$$n(Cr) = 41,27/52 = 0,7937 \text{ моль}$$

$$n(O) = 44,44/16 = 2,7775 \text{ моль}$$

$$n(H) : n(N) : n(Cr) : n(O) = 3,18 : 0,7936 : 0,7937 : 2,7775$$



Поделив все числа на минимальное (0,7936), получим:

4: 1 : 1 : 3,5

Умножаем на 2, чтобы получить целое количество кислорода

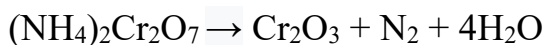
8: 2 : 2 : 7

$\text{H}_8\text{N}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

Веществом **A** является дихромат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , так как он при реакции с щёлочью выделяет газ  $\text{NH}_3$  с неприятным запахом – аммиак.

Молярная масса  $M((\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 14 \cdot 2 + 4 \cdot 2 + 52 \cdot 2 + 7 \cdot 16 = 252$  г/моль.

2. Опыт «Вулкан» подразумевает нагревание соединения **A** с получением реакции:



Твёрдым остатком **B** является  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , газом **B** с плотностью по водороду 14 и молярной массой  $M(\text{B}) = 14 \cdot 2 = 28$  г/моль является  $\text{N}_2$ .

$$m(\text{B}) = \frac{100}{M((\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7)} * M(\text{Cr}_2\text{O}_3) = \frac{100}{252} * 152 = 60,3 \text{ г.}$$

$$3. \text{ Объём } V(\text{B}) = \frac{100}{M((\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7)} * V_0 = \frac{100}{252} * 22,4 = 8,9 \text{ л.}$$

**Ответ:** 1) 252; 2) 60,3±1; 3) 8,9±1

Критерии оценки: 2 балла за п.1., 2 балла за п.2., 2 балла за п.3

**Всего за задачу:** 6 баллов.

**Задача 6 (9).** Юный химик Марат, перебирая шкаф с реактивами, наткнулся на старую банку с потертой этикеткой: «карбонат магния». На ум ему сразу пришла вирусная реклама «английской соли» для ванн, которая представляет собой кристаллогидрат соли магния. Чтобы не переплачивать, Марат решил получить ее из имеющихся в лаборатории реактивов.



Для начала он приготовил 30% (масс.) раствор серной кислоты объемом 300 мл ( $\rho = 1,22$  г/мл), после чего присыпал 63 г. карбоната магния из той самой банки. В ходе реакции интенсивно выделялся газ, о котором известно, что он необходим растениям для фотосинтеза. По окончании реакции Марат нейтрализовал раствор и выпарил его, получив бесцветные кристаллы.

Для определения точной формулы навеску кристаллогидрата прокалили до обезвоживания, в результате чего его масса уменьшилась на 51,22%, а кристаллы превратились в белый порошок.

- 1) Какое из веществ находится в избытке? Приведите его количество вещества (моль) с точностью до сотых.
- 2) Рассчитайте количество молекул воды на 1 моль кристаллогидрата.
- 3) Рассчитайте массу кристаллогидрата, которую Марат должен получить при выходе 100%.

**(7 баллов)**

**Решение**

$$n(\text{MgCO}_3) = \frac{m(\text{MgCO}_3)}{M(\text{MgCO}_3)} = \frac{63}{24+12+16*3} = 0,75 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = (300 * 1,22) * 0,3 = 109,8 \text{ г. } n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{109,8}{2+32+16*4} = 1,12 \text{ моль.}$$

Серная кислота находится в избытке, 1,12 моль

Поскольку безводная соль  $\text{MgSO}_4$  составляет  $1-0,5122=0,4878$  от массы гидрата, молярная масса кристаллогидрата:  $M(\text{MgSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = \frac{24+32+16*4}{0,4878} =$

$$= 246 \text{ г/моль. Тогда } x = \frac{M(\text{MgSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) - M(\text{MgSO}_4)}{18} = \frac{246 - 120}{18} = 7, \text{ формула}$$

кристаллогидрата  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

$$n(\text{MgCO}_3) = n(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}),$$

$$m(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = n(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) * M(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 0,75 * 246 = 184,5 \text{ г.}$$

**Ответ:** 1)  $1,12 \pm 0,3$ ; 2) 7; 3)  $184,5 \pm 1$

Критерии оценки: 3 балла за п.1., 2 балла за п.2., 2 балла за п.3

**Всего за задачу:** 7 баллов.

**Задача 7 (9-10).** Простое вещество **А**, образованное элементом **Х**, прокипятили с раствором NaOH (*реакции 1-2*), в результате чего образовалась смесь из трёх солей **Б**, **В** и **Г** (**Б** - с наименьшей молярной массой, **Г** - с наибольшей).

К смеси, состоящей из солей **Б** и **В** (в мольном соотношении 1:1) прилили избыток раствора соляной кислоты (*реакции 3-4*), в результате чего образовалась газовая смесь ( $\rho = 2,1875$  г/л (н.у.)), состоящая из веществ **Д** и **Е** (**Д** – с запахом тухлых яиц), которые при нагревании прореагировали друг с другом с образованием простого вещества **А** (*реакция 5*). Соль **Г** состоит из трёх элементов, а массовая доля элемента **Х** в ней составляет 40,51 %. Также известно, что молярные массы веществ **Б** и **В** отличаются в 1,615 раз.

- 1) Расшифруйте схему, написав уравнения *реакций 1-5*. В ответе приведите молярные массы веществ **А-Е**.
- 2) Определите массу (г) образовавшегося вещества **А** (*реакция 5*), если объём газовой смеси составил 2,24 л (н.у.), с точностью до десятых.

**(14 баллов)**

### Решение

1. Растворение простого вещества **А** в NaOH – это, безусловно, реакция диспропорционирования. Тогда соль с наименьшей молярной массой **Б** – соль бескислородной кислоты.

Известно, что молярные массы веществ **Б** и **В** отличаются в 1.615 раз, то есть:

$$M(\mathbf{B}) = M(\mathbf{Б}) \cdot 1,615$$

Простые вещества, способные вступать в реакцию диспропорционирования с раствором щелочи с образованием нескольких солей – это S, Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub> и I<sub>2</sub>. В таком случае, **Б** – это одна из солей: Na<sub>2</sub>S, NaCl, NaBr или NaI.

Подставляем молярные массы этих солей в ранее выведенную формулу и получаем следующие результаты:

Хим. формула <b>Б</b>	Na <sub>2</sub> S	NaCl	NaBr	NaI
M( <b>Б</b> ), г/моль	78	58,5	103	150
M( <b>В</b> ), г/моль	<b>126</b>	94,48	166,35	242,25

При M(**Б**) = 78 г/моль (Na<sub>2</sub>S), M(**В**) = 126 г/моль – Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>

Тогда простое вещество **А** – это сера (S)

Определим вещества **Д** и **Е**:

*реакция 3:* Na<sub>2</sub>S + 2 HCl → 2 NaCl + H<sub>2</sub>S – **Д**(запах тухлых яиц)

*реакция 4:* Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> + 2 HCl → 2 NaCl + H<sub>2</sub>O + SO<sub>2</sub> – **Е**

Проверим по плотности газовой смеси:

$$\rho = 2,1875 \text{ г/л (н.у.)}$$

$$M_{\text{ср.}} = 2,1875 \cdot 22,4 = 49 \text{ г/моль}$$

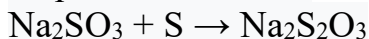
$$M_{\text{ср.}} = M_1 \cdot \varphi_1 + M_2 \cdot \varphi_2$$

Так как соли Б и В взяты в мольном соотношении 1:1, вещества Д и Е образуются в таком же соотношении (по уравнению реакции):

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 0,5$$

$$M_{\text{ср.}} = 34 \cdot 0,5 + 64 \cdot 0,5 = 49 \text{ г/моль} - \text{все сошлось.}$$

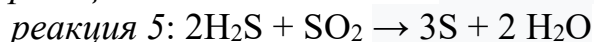
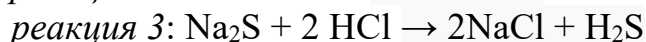
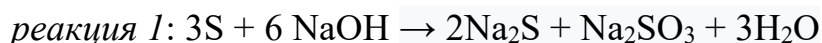
Определим соль Г:



Проверим по массовой доле:

$$\omega(\text{S}) = \frac{32 \cdot 2}{23 \cdot 2 + 32 \cdot 2 + 16 \cdot 3} \cdot 100\% = 40.51\%$$

Уравнения реакций:



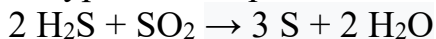
2. Рассчитаем массу серы:

$$V_{\text{смесь}} = 2,24 \text{ л}$$

$$n_{\text{смесь}} = 2,24/22,4 = 0,1 \text{ моль}$$

В пункте 1, мы выяснили, что  $n(\text{SO}_2) = n(\text{H}_2\text{S})$ , тогда их количества составляют 0,5 моль.

По уравнению реакции:



понимаем, что  $\text{H}_2\text{S}$  в недостатке:

$$n(\text{S}) = n(\text{H}_2\text{S})/2 \cdot 3 = 0,075 \text{ моль}$$

$$m(\text{S}) = 0,075 \cdot 32 = 2,4 \text{ г}$$

**Ответ:**

1)

<b>А</b>	32
<b>Б</b>	78
<b>В</b>	126
<b>Г</b>	158
<b>Д</b>	34
<b>Е</b>	64

2)  $2,4 \pm 0,3$

Критерии оценки: 2 балла за каждое вещество п.1, 2 балла за п.2.

**Всего за задачу:** 14 баллов.

**Задача 8 (9-10).** 11,2 л газа **А** с относительной плотностью кислороду 1,5 (30 °С, 100 кПа) пропускают над 1 л воды, получая при этом раствор вещества **Б**. О веществе **Б** известно, что в быту и медицине оно используется как антисептик.

- 1) Определите количество моль газа **А**, используемого в реакции. Ответ округлить до десятых (универсальная газовая постоянная  $R=8,314$  Дж/(моль·К)).
- 2) Определите вещества **А** и **Б**. В ответе приведите их формулы.
- 3) Определите концентрацию (масс, %) вещества **Б** в получившемся растворе. Плотность раствора равна плотности воды. Изменением массы раствора пренебречь. Ответ округлить до десятых.

**(6 баллов)**

**Решение:**

1) В соответствии с уравнением Клапейрона-Менделеева  $pV=nRT$  количество моль газа составляет:

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{100 \cdot 11,2}{8,314 \cdot 303} = 0,4 \text{ моль.}$$

2) Вещество **А** имеет молярную массу  $M = D_{O_2} * M_{O_2} = 1,5 * 32 = 48$  г/моль. Логично предположить, что это озон ( $O_3$ ), так как подсказка о веществе **Б** указывает на распространенный антисептик – перекись водорода ( $H_2O_2$ ).

3) По уравнению реакции понятно, что из 1 моля озона получается 1 моль  $H_2O_2$ :  $H_2O + O_3 \rightarrow H_2O_2 + O_2$

Соответственно масса пероксида водорода:

$$0,4 \cdot 34 = 13,6 \text{ г.}$$

Массовая доля в процентах:  $(13,6 \cdot 100 \%) / 1000 = 1,36 \% \approx 1,4\%$

**Ответ:**

1)  $0,4 \pm 0,1$

2)

<b>А</b>	$O_3$
<b>Б</b>	$H_2O_2$

3)  $1,4 \pm 0,1$

Критерии оценки: 2 балла за п.1, по 1 баллу за каждое из веществ п.2, 2 балла за п.3.

**Всего за задачу:** 6 баллов.

**Задача 9** (9-11). Во время первой мировой войны впервые применили отравляющие вещества, одним из которых стал газ **X**, содержащий хлор. Это вещество удушающего действия, вызывающее отёк легких, раздражение глаз и слизистых оболочек.



Массовая доля хлора в этом соединении – 71,72% по массе. Для обнаружения газа использовали ватку, смоченную раствором аммиака. При наличии газа **X** в воздухе появлялся белый дым, который был обусловлен образованием соли. Массовая доля хлора в этой соли 63,36%.

- 1) Определите неизвестный газ. В ответ запишите его формулу.
- 2) Определите формулу соли, которая образуется при взаимодействии **X** с аммиаком. В ответ запишите её формулу.

**X** может обратимо разлагаться с образованием газовой смеси бинарного вещества **Y** и простого вещества **Z**. В ходе разложения устанавливается равновесие. В таблице приведены физико-химические характеристики каждого газа.

	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$\Delta S_{298}^0$ , Дж/(моль · К)
<b>X</b>	-221	284
<b>Y</b>	-110.5	197.5
<b>Z</b>	0	223

- 3) Вычислите константу равновесия реакции при 450 °С. В ответе приведите значение константы равновесия, ответ округлите до сотых.

*Справка:*

$$\Delta G_{p-ции} = \Delta H_{p-ции} - T\Delta S_{p-ции} ,$$

где T – температура, при которой происходит реакция, K

$\Delta G_{p-ции}$  – энергия Гиббса, Дж/моль

$$\Delta G_{p-ции} = -RT \ln K_p,$$

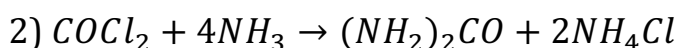
K – константа равновесия

R – универсальная газовая постоянная, 8.314 Дж/моль·К

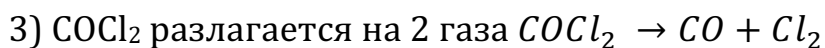
**(7 баллов)**

## Решение

1) По массовой доле можно сказать, что хлор преобладает, а значит, что остальная доля приходится на легкие элементы. Попробуем посчитать, если в молекуле один хлор:  $n(Cl) = 1, M(X) = \frac{35,5}{0,7172} = 49,5$  г/моль, этому могут соответствовать соединения  $CH_2Cl, NCl, BH_3Cl, Li_2Cl$ , но ни один из вариантов не подходит. При  $n(Cl) = 2, M(X) = \frac{35,5 \cdot 2}{0,7172} = 99$  г/моль. Этому соответствует фосген  $COCl_2$ , удовлетворяющий условию задачи.



Можно проверить по массовой доле  $\omega(Cl) = \frac{35,5}{53,5} \cdot 100\% = 63,36\%$



Константа равновесия для этой реакции имеет следующее выражение:

$$K = \frac{[CO] \cdot [Cl_2]}{[COCl_2]}$$

Найдем энтальпию реакции:

$$\Delta H_{p-ции} = \sum \Delta H_{\text{прод}} - \sum \Delta H_{\text{реак.}}$$

$$\Delta H_{p-ции} = -110,5 + 221 = 110,5 \text{ кДж/моль}$$

Найдем энтропию реакции:

$$\Delta S_{p-ции} = \sum \Delta S_{\text{прод}} - \sum \Delta S_{\text{реак.}}$$

$$\Delta S_{p-ции} = (223 + 197,5) - 284 = 136,5 \text{ кДж/моль}$$

Найдем энергию Гиббса реакции:

$$\Delta G_{p-ции} = 110500 - (450 + 273) \cdot 136,5 = 11810,5 \text{ Дж/моль}$$

Выразим константу равновесия из уравнения:

$$K_p = e^{\frac{\Delta G_{p-ции}}{-RT}} = e^{\frac{11810,5}{-8,314 \cdot 723}} = 0,14$$

**Ответ:**

1)  $COCl_2$  (также возможен вариант  $CCl_2O$ )

2)  $NH_4Cl$

3)  $0,14 \pm 0,05$

Критерии оценки: 2 балла за п.1, 2 балла за п.2, 3 балла за п.3.

**Всего за задачу: 7 баллов.**





**Задача 10** (10-11). Навеску темно-синего вещества **А** (основного компонента некоторого минерала) массой 1,000 г. растворили в серной кислоте, в результате чего образовался синий раствор **Б** и бесцветный, не поддерживающий горение газ **В**. К раствору **Б** добавили раствор сульфида натрия, после чего выпал черный осадок **Г** массой 0,83 г.

Бесцветный газ **Б** пропустили через раствор гашеной извести, в результате чего выпал белый осадок массой 0,58 г. Определите вещества **А-Г**. Для каждого из них в ответ запишите соответствующую молярную массу (г/моль) с точностью до целых. (7 баллов)

### Решение

Окраска веществ **Б** и **Г** указывает на химию меди. Тогда вещество **Б** –  $CuSO_4$ , а вещество **Г** –  $CuS$ . Можно посчитать массу изначальной меди в образце:

$$n(CuS) = \frac{0,83}{64+32} = 0,0086 \text{ моль}, m(Cu) = 0,0086 * 64 = 0,55 \text{ г.}$$

Описание газа **В** позволяет сделать предположение, что это  $CO_2$ . Тогда **А** – карбонат. Найдем массу карбонат ионов:

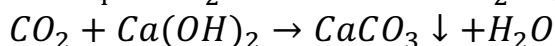
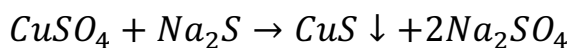
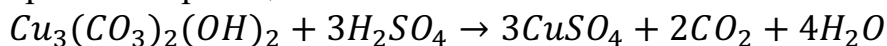
$$n(CaCO_3) = \frac{0,58}{40+12+16*3} = 0,0058 \text{ моль}, m(CO_3^{2-}) = 0,0058 * 60 = 0,35 \text{ г}$$

Найдем отношения молей  $n(Cu) : n(CO_3^{2-}) = 0,0086:0,0058 = 3:2$

Тогда вероятно количество вещества кратно:  $0,0058/2=0,0029$  моль.

По массе образца понятно, что в состав входят не только катионы меди и карбонат-анионы:  $m = 1,00 - 0,35 - 0,55 = 0,10$  г. Это соответствует, в случае если количество вещества 0,0029 моль,  $M = \frac{0,10}{0,0029} = 34 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$ , что намекает на два гидроксид-аниона  $OH^-$ . Тогда вещество **А** –  $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$

Уравнения реакций:



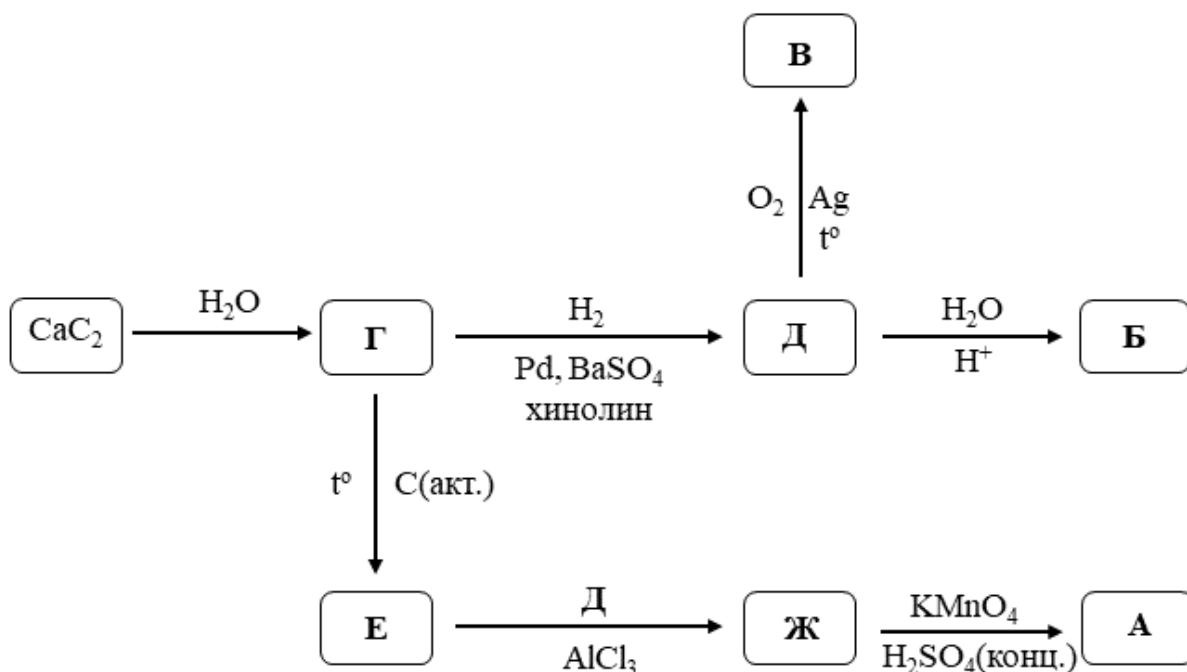
Ответ:

<b>А</b>	346
<b>Б</b>	160
<b>В</b>	44
<b>Г</b>	96

Критерии оценки: 4 балла за вещество А, по 1 баллу за Б-Г.

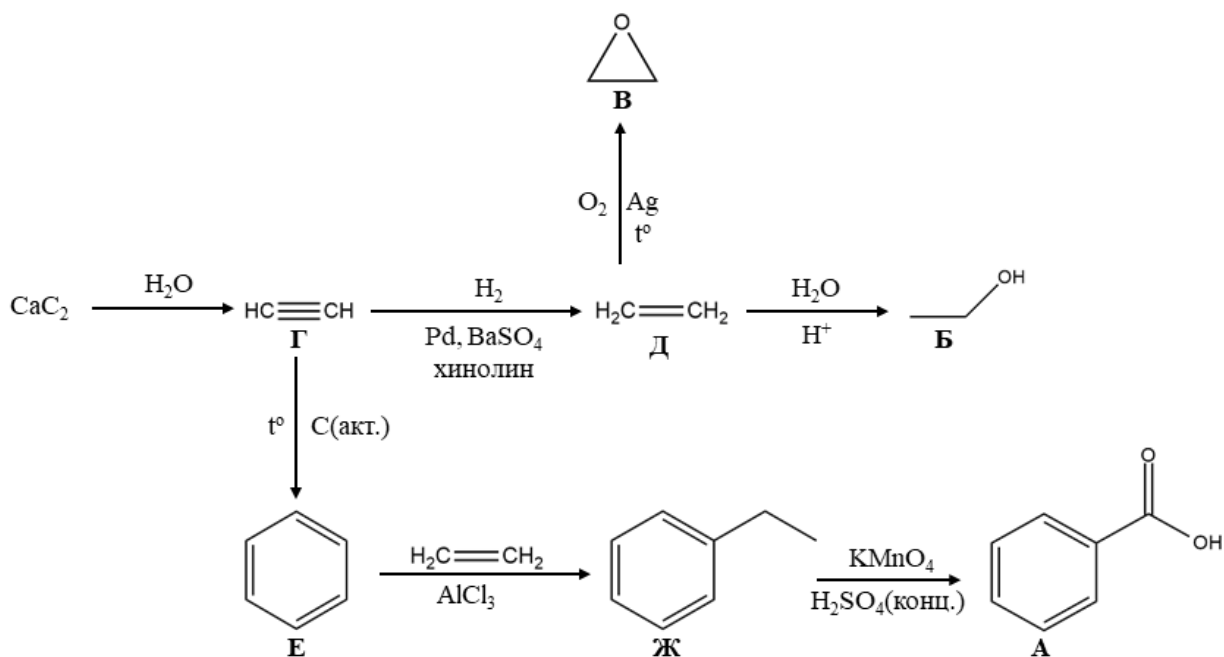
**Всего за задачу:** 7 баллов

**Задача 11** (10-11). До появления современных антисептиков большое распространение имела «механическая антисептика» по принципу лат. *Ubi pus — ibi es* («Видишь гной — выпусти его»). Теперь же антисептиков существует великое множество, и большинство из них являются органическими веществами. В этой задаче вам предстоит расшифровать схему синтеза трёх антисептиков: **А** применяется как компонент мазей для лечения грибковых заболеваний кожи и консервант, вещество **Б** является одним из наиболее часто используемых антисептиков для рук, а вещество **В** используется для дезинфекции медицинской аппаратуры и инструментов. Определите вещества **А-Ж**. В ответе напишите молекулярную массу указанных веществ с точностью до целых. (7 баллов)



### Решение

Взаимодействие карбида кальция с водой – гидролиз, продуктами реакции которого являются гидроксид кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и ацетилен (**Г**). Гидрирование с отравленным катализатором (сульфатом бария и хинолином) позволяет нам получить продукт неполного гидрирования – этилен (**Д**). Продуктом гидратации этилена в кислой среде является этиловый спирт (**Б**). Реакция этилена с кислородом в присутствии серебра как катализатора протекает с образованием эпоксида (**В**). Нагревание ацетилена в присутствии активированного угля – тримеризация (реакция Зелинского) с образованием бензола (**Е**). Взаимодействие бензола с этиленом в присутствии хлорида алюминия – реакция Фриделя-Крафтса, продуктом которой является этилбензол (**Ж**). Полученный этилбензол окисляется перманганатом калия в среде серной кислоты с образованием бензойной кислоты (**А**).



**Ответ:**

**А** - 138 г/моль

**Г** - 26 г/моль

**Ж** - 106 г/моль

**Б** - 46 г/моль

**Д** - 28 г/моль

**В** - 44 г/моль

**Е** - 78 г/моль

Критерии оценки: за установления каждого вещества – по 1 баллу.

**Всего за задачу:** 7 баллов.

**Ответ:**

<b>А</b>	138
<b>Б</b>	46
<b>В</b>	44
<b>Г</b>	26
<b>Д</b>	28
<b>Е</b>	78
<b>Ж</b>	106

Критерии оценки: 1 балл за каждое вещество.

**Всего за задачу:** 7 баллов

**Задача 12 (11).** Бинарные (двухэлементные) соединения **А**, **Б** и **В** состоят из элементов **Х** и **У**, то есть все они имеют одинаковый качественный, но разный количественный состав. Вещества **А-В** при взаимодействии с водой образуют одно и то же нерастворимое в воде вещество **Ж** и выделяют газы: в случае реакции с веществом **А** – выделяется газ **Г**, в случае с **Б** – газ **Д**, с **В** – газ **Е**. Газы **Г-Е** также являются бинарными веществами, в состав которых входит элемент **У**. Далее вам предоставлена таблица с информацией о массовых долях элементов в упомянутых соединениях:

Вещество, шифр	Запись формулы	Массовая доля <b>Х</b> , %	Массовая доля <b>У</b> , %
<b>А</b>	$X_2Y$	80,00	20,00
<b>Б</b>	$XY_2$	50,00	50,00
<b>В</b>	$X_2Y_3$	57,14	42,86
<b>Г</b>	???	-	75,00
<b>Д</b>	???	-	92,31
<b>Е</b>	???	-	90,00

Определите формулы элементов **Х,У**, веществ **А-Ж**. В ответе для каждого вещества укажите его формулу с помощью цифр, скобок и латинских букв (например,  $BaCl_2$  или  $Al_2(SO_4)_3$ ). Примечание: в расчетах молярные массы элементов используйте с точностью до целых.

**(9 баллов)**

### Решение

Для решения задачи достаточно воспользоваться определением массовой доли элемента в веществе. Нам доступна информация о массовых долях **Х** и **У** в соединениях **А-Е**. Обозначим молярную массу вещества **А** как  $Mr(A)$ , молярные массы элементов **Х** и **У** как  $Mr(X)$  и  $Mr(Y)$  соответственно. Запишем:

$\frac{80}{Mr(X)} : \frac{20}{Mr(Y)} = \frac{2}{1}, \frac{4Mr(Y)}{Mr(X)} = \frac{2}{1}$ , из чего следует, что  $4Mr(Y) = 2Mr(X)$ , то есть  $2Mr(Y) = Mr(X)$ . Получаем, что **Х** и **У** – элементы, молярные массы которых отличаются ровно в 2 раза. По таблице Менделеева рассмотрим такие пары: **Li** и **N (1)**, **C** и **Mg (2)**, **N** и **Si (3)**, **O** и **S (4)**, **Ne** и **Ar (5)**, **Mg** и **Ti (6)**, **Si** и **Fe (7)**, **S** и **Cu (8)**, **Ne** и **Ca (9)**, **Br** и **Ca (10)**, **Ti** и **Mo (11)** (далее нет смысла рассматривать пары тяжелых металлов, так как они между собой не образуют бинарные соединения). Сразу из предполагаемого списка можно вычеркнуть пары, указанные под номерами **5** и **9**, в которых есть инертные газы. Также, не следует рассматривать пары двух металлов: **6** и **11**, так как если даже и предположить, что они образуют устойчивое бинарное соединение между собой, то все равно можно говорить о том, что при взаимодействии с водой они не будут выделять газы и образовывать некое нерастворимое в воде

соединение. По той же логике можно исключить пары **3, 4, 7, 10**. Пара **1** нам не подойдет, так как если и предполагать, что в ходе гидролиза у нас выделяется летучее соединение азота (например, аммиак), то в растворе с катионами  $\text{Li}^+$  образование осадка наблюдаться не будет. Осталось рассмотреть пары **2** и **8**. Пара **8** говорит нам о том, что **А-В** – это сульфиды меди в разных степенях окисления последней (теоретически). Однако, это предположение разбивается сразу тем, что сульфиды меди нерастворимы и при контакте с водой не будут выделять различные летучие соединения серы. Осталось рассмотреть пару **2**: в таком случае **А-В** – это карбиды магния. Карбиды легко гидролизуются в воде, это хорошо подходит под условие задачи, точно также, как и образование в таком случае нерастворимого гидроксида магния  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Другими же продуктами реакций гидролиза карбидов магния должны оказаться летучие соединения углерода – углеводороды  $\text{C}_n\text{H}_m$ . Проверим это через массовую долю предполагаемого **У** – углерода – в соединениях **Г-Е**: Для **Г**:  $\frac{75,00}{12} : \frac{25,00}{1 (Mr(H))} = 6,25 : 25 = 1 : 4$ .

Получаем, что в таком случае **Г** – это  $\text{CH}_4$ , то есть метан, что не противоречит ни одному из условий задачи, как и сама идея об углеводородах.

Так, **А** –  $\text{Mg}_2\text{C}$ , **Б** –  $\text{MgC}_2$ , **В** –  $\text{Mg}_2\text{C}_3$ , **Х** –  $\text{Mg}$ , **У** –  $\text{C}$ .

Для **Д**:  $\frac{92,31}{12} : \frac{7,69}{1} = 7,69 : 7,69 = 1 : 1$ . Учитывая, что **Б** –  $\text{MgC}_2$ , в силу сохранения степеней окисления **Д** –  $\text{C}_2\text{H}_2$ .

Для **Е**:  $\frac{90,00}{12} : \frac{10,00}{1} = 7,5 : 10 = 3 : 4$ . **Е** –  $\text{C}_3\text{H}_4$  (также логично, что такой углеводород образуется из карбида  $\text{Mg}_2\text{C}_3$ ). Соединение **Ж** –  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

**Ответ:**

<b>Х</b>	$\text{Mg}$
<b>У</b>	$\text{C}$
<b>А</b>	$\text{Mg}_2\text{C}$
<b>Б</b>	$\text{MgC}_2$
<b>В</b>	$\text{Mg}_2\text{C}_3$
<b>Г</b>	$\text{CH}_4$
<b>Д</b>	$\text{C}_2\text{H}_2$
<b>Е</b>	$\text{C}_3\text{H}_4$
<b>Ж</b>	$\text{Mg}(\text{OH})_2$

Критерии оценки: 1 балл за каждое вещество.

**Всего за задачу:** 9 баллов.

**Задача 13 (11).** Металл **X** хорошо растворяется как в неокисляющих кислотах, так и в разбавленных кислотах-окислителях ( $H_2SO_4$  и  $HNO_3$ ), однако в сильно концентрированных окисляющих кислотах он склонен к пассивации. Благодаря этому его наряду с алюминием используют для перевозки и хранения последних.

При реакции **X** с соляной кислотой и разбавленной азотной кислотой получаются соли **A** и **B** соответственно, при этом массовая доля металла **X** в них отличается в 1,905 раз. При взаимодействии с  $NaOH$  в растворе соли **A** выпадает осадок **B** светло-зеленого цвета, а в растворе соли **B** выпадает осадок **Г** рыже-бурого цвета. Массовая доля металла **X** в **B** и **Г** отличается в 1,19 раз. Интересно, что при пропускании через раствор с осадком **Г** хлора в присутствии гидроксида калия образуется соль **Д** фиолетового цвета, которая при добавлении хлорида бария даёт осадок **Е** (тоже фиолетового цвета), изоструктурный сульфату бария.

Определите вещества **A–E**. В ответах укажите молярные массы соответствующих веществ (г/моль) с точностью до целых. **(11 баллов)**

### Решение:

При реакции металла **X** с одноосновной кислотой в общем случае получается соль состава  $X(A)_n$ , где  $n$  – степень окисления металла в данной соли, а  $A$  – анион кислоты (в случае задачи это либо  $Cl^-$ , либо  $NO_3^-$ ). Массовая доля металла в соединении определяется отношением молярной массы металла к молярной массе соединения. Из условия задачи получаем уравнение:

$$\frac{M(X^{n+})}{M(X^{n+}) + nM(Cl^-)} = 1,905 \frac{M(X^{n+})}{M(X^{n+}) + nM(NO_3^-)}$$

При переборе разных значений  $n$  понимаем, что ни одно из чисел не подходит. Тогда можно выдвинуть предположение о том, что в солях **A** и **B** металл имеет различную степень окисления. На это так же указывает различная массовая доля в гидроксидах **B** и **Г**.

$$\frac{M(X^{n_1+})}{M(X^{n_1+}) + n_1M(Cl^-)} = 1,905 \frac{M(X^{n_2+})}{M(X^{n_2+}) + n_2M(NO_3^-)}$$

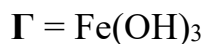
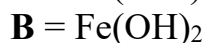
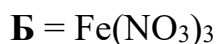
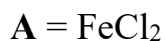
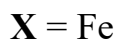
$$\frac{M(X^{n_1+})}{M(X^{n_1+}) + n_1 \cdot 35,5} = 1,905 \frac{M(X^{n_2+})}{M(X^{n_2+}) + n_2 \cdot 62}$$

При комбинации  $n_1=2$ ,  $n_2=3$  получим  $M(X)=56$  г/моль - железо.

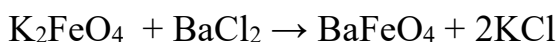
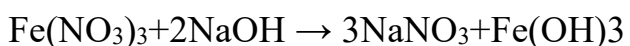
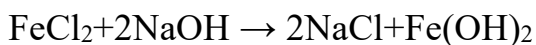
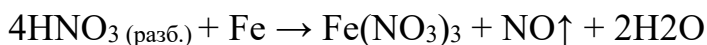
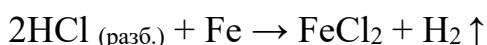
Аналогичное уравнение для массовых долей **X** в **B** и **Г** подтверждает расчёт металла:

$$\frac{M(Fe^{2+})}{M(Fe^{2+}) + 2M(OH^-)} = 1,19 \frac{M(Fe^{3+})}{M(Fe^{3+}) + 3M(OH^-)}, \quad \frac{56}{56 + 2 \cdot 17} = 1,19 \frac{56}{56 + 3 \cdot 17}$$

Также косвенно догадаться о происхождении металла X можно также по типичным цветам его гидроксидов, и затем численно проверить свою догадку. При добавлении сильного окислителя – хлора – железо продолжит повышать степень окисления, а указание на изоструктурность осадка с BaSO<sub>4</sub> приводит к мысли о соединении строения BaFeO<sub>4</sub>. Реакция Д с BaCl<sub>2</sub> - простой ионный обмен. Таким образом,



Уравнения реакций:



**Ответ:**

Вещество	Ответ	Баллы
X	56	1
A	127	1
B	242	1
B	90	1
Г	107	1
Д	198	3
E	257	3

Критерии оценки: в таблице.

**Всего за задачу:** 11 баллов