

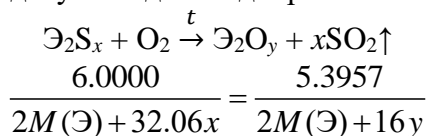
Олимпиада «Ломоносов». 5-9 классы. Отборочный тур

Указание к оформлению решения. Во всех задачах, требующих численного ответа, должны быть приведены расчеты. Все качественные вопросы требуют обоснования. Только ответы без расчетов и/или обоснований не оцениваются.

Задача 1 (8 баллов)

1.1. Навеску бинарного сульфида массой 6.0000 г сожгли в избытке кислорода и получили 5.3957 г твердого остатка. Определите формулы сульфида и продукта обжига, напишите уравнение реакции. В расчетах используйте атомные массы элементов с точностью до сотых.

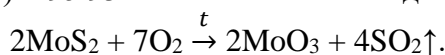
Решение. Будем решать задачу методом подбора.



$$M(\text{Э}) = 143.13x - 79.431y.$$

$$x = 4, y = 6.$$

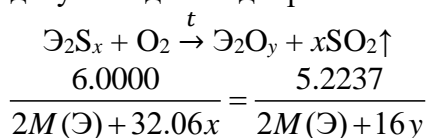
$M(\text{Э}) = 95.934$ г/моль – это молибден Mo.



Ответ: MoS₂, MoO₃.

1.2. Навеску бинарного сульфида массой 6.0000 г сожгли в избытке кислорода и получили 5.2237 г твердого остатка. Определите формулы сульфида и продукта обжига, напишите уравнение реакции. В расчетах используйте атомные массы элементов с точностью до сотых.

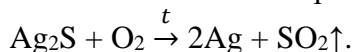
Решение. Будем решать задачу методом подбора.



$$M(\text{Э}) = 107.87x - 61.83y.$$

$$x = 1, y = 0.$$

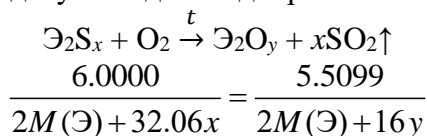
$M(\text{Э}) = 107.87$ г/моль – это серебро Ag.



Ответ: Ag₂S, Ag.

1.3. Навеску бинарного сульфида массой 6.0000 г сожгли в избытке кислорода и получили 5.5099 г твердого остатка. Определите формулы сульфида и продукта обжига, напишите уравнение реакции. В расчетах используйте атомные массы элементов с точностью до сотых.

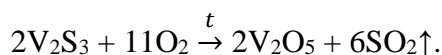
Решение. Будем решать задачу методом подбора.



$$M(\text{Э}) = 180.22x - 97.94y.$$

$$x = 3, y = 5.$$

$M(\text{Э}) = 50.98$ г/моль – это ванадий V.



Ответ: V_2S_3 , V_2O_5 .

1.4. Навеску бинарного сульфида массой 6.000 г сожгли в избытке кислорода и получили 5.386 г твердого остатка. Определите формулы сульфида и продукта обжига, напишите уравнение реакции. В расчетах используйте атомные массы элементов с точностью до сотых.

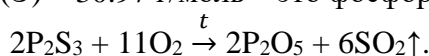
Решение. Будем решать задачу методом подбора.

$$\begin{array}{l} \text{Э}_2\text{S}_x + \text{O}_2 \xrightarrow{t} \text{Э}_2\text{O}_y + x\text{SO}_2\uparrow \\ \frac{6.000}{2M(\text{Э}) + 32.06x} = \frac{5.386}{2M(\text{Э}) + 16y} \end{array}$$

$$M(\text{Э}) = 140.615x - 78.176y.$$

$$x = 3, y = 5.$$

$M(\text{Э}) = 30.97$ г/моль – это фосфор P.



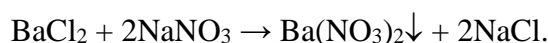
Ответ: P_2S_3 , P_2O_5 .

Задача 2 (14 баллов)

2.1. В таблице приведены данные по растворимости четырех солей при 20 °С. При этой температуре смешали по 100 г насыщенных растворов двух из этих солей, в результате выпал осадок, не содержащий кристаллизационной воды. Установите формулы солей, а также формулу и массу осадка.

Соль	NaCl	BaCl ₂ · 2H ₂ O	Ba(NO ₃) ₂	NaNO ₃
Растворимость, г / 100 г воды	35.8	35.7	9.1	88.3

Решение. В осадок выпадает соль с наименьшей растворимостью – нитрат бария. Для этого надо смешать насыщенные растворы BaCl₂ и NaNO₃:



Найдем составы насыщенных растворов исходных солей:

а) Для приготовления 100 г насыщенного раствора BaCl₂ надо взять

$$m(BaCl_2 \cdot 2H_2O) = 100 \cdot 35.7 / 135.7 = 26.3 \text{ г},$$

$$v(BaCl_2) = v(BaCl_2 \cdot 2H_2O) = 26.3 / 244 = 0.108 \text{ моль}.$$

б) Для приготовления 100 г насыщенного раствора NaNO₃ надо взять

$$m(NaNO_3) = 100 \cdot 88.3 / 188.3 = 46.9 \text{ г},$$

$$v(NaNO_3) = 46.9 / 85 = 0.552 \text{ моль} – \text{избыток}.$$

По реакции могло образоваться 0.108 моль Ba(NO₃)₂ массой

$$m(Ba(NO_3)_2) = 0.108 \cdot 261 = 28.2 \text{ г}.$$

Пусть x г соли выпало в осадок, тогда:

$$\frac{28.2 - x}{200 - x} = \frac{9.1}{109.1},$$

$$x = 12.6.$$

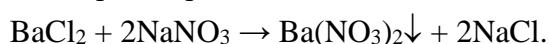
В этом решении мы пренебрегаем ион-ионными взаимодействиями в растворе и их влиянием на растворимость соединений.

Ответ: 12.6 г $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.

2.2. В таблице приведены данные по растворимости четырех солей при 40 °С. При этой температуре смешали по 100 г насыщенных растворов двух из этих солей, в результате выпал осадок, не содержащий кристаллизационной воды. Установите формулы солей, а также формулу и массу осадка.

Соль	NaCl	$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	NaNO_3
Растворимость, г / 100 г воды	36.4	40.8	14.4	105.0

Решение. В осадок выпадает соль с наименьшей растворимостью – нитрат бария. Для этого надо смешать насыщенные растворы BaCl_2 и NaNO_3 :



Найдем составы насыщенных растворов исходных солей:

а) Для приготовления 100 г насыщенного раствора BaCl_2 надо взять

$$m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 100 \cdot 40.8 / 140.8 = 29.0 \text{ г},$$

$$v(\text{BaCl}_2) = v(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 29.0 / 244 = 0.119 \text{ моль}.$$

б) Для приготовления 100 г насыщенного раствора NaNO_3 надо взять

$$m(\text{NaNO}_3) = 100 \cdot 105 / 205 = 51.2 \text{ г}.$$

$$v(\text{NaNO}_3) = 51.2 / 85 = 0.603 \text{ моль} - \text{избыток}.$$

По реакции могло образоваться 0.119 моль $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ массой

$$m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 0.119 \cdot 261 = 31.1 \text{ г}.$$

Пусть x г соли выпало в осадок, тогда:

$$\frac{31.1 - x}{200 - x} = \frac{14.4}{114.4},$$

$$x = 6.8.$$

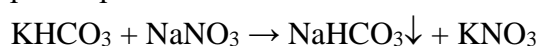
В этом решении мы пренебрегаем ион-ионными взаимодействиями в растворе и их влиянием на растворимость соединений.

Ответ: 6.8 г $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$.

2.3. В таблице приведены данные по растворимости четырех солей при 20 °С. При этой температуре смешали по 100 г насыщенных растворов двух из этих солей, в результате выпал осадок, не содержащий кристаллизационной воды. Установите формулы солей, а также формулу и массу осадка.

Соль	NaNO_3	NaHCO_3	KNO_3	KHCO_3
Растворимость, г / 100 г воды	88.3	9.6	31.7	33.3

Решение. В осадок выпадает соль с наименьшей растворимостью – NaHCO_3 . Для этого надо смешать насыщенные растворы KHCO_3 и NaNO_3 :



Найдем составы насыщенных растворов исходных солей:

а) Для приготовления 100 г насыщенного раствора KHCO_3 надо взять

$$m(\text{KHCO}_3) = 100 \cdot 33.3 / 133.3 = 25.0 \text{ г.}$$

$$\nu(\text{KHCO}_3) = 25.0 / 100 = 0.250 \text{ моль.}$$

б) Для приготовления 100 г насыщенного раствора NaNO_3 надо взять

$$m(\text{NaNO}_3) = 100 \cdot 88.3 / 188.3 = 46.9 \text{ г.}$$

$$\nu(\text{NaNO}_3) = 46.9 / 85 = 0.552 \text{ моль – избыток.}$$

По реакции могло образоваться 0.250 моль NaHCO_3 массой

$$m(\text{NaHCO}_3) = 0.250 \cdot 84 = 21.0 \text{ г.}$$

Пусть x г соли выпало в осадок, тогда:

$$\frac{21.0 - x}{200 - x} = \frac{9.6}{109.6},$$

$$x = 3.8.$$

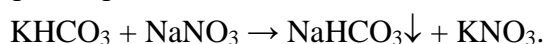
В этом решении мы пренебрегаем ион-ионными взаимодействиями в растворе и их влиянием на растворимость соединений.

Ответ: 3.8 г NaHCO_3 .

2.4. В таблице приведены данные по растворимости четырех солей при 40 °С. При этой температуре смешали по 100 г насыщенных растворов двух из этих солей, в результате выпал осадок, не содержащий кристаллизационной воды. Установите формулы солей, а также формулу и массу осадка.

Соль	NaNO_3	NaHCO_3	KNO_3	KHCO_3
Растворимость, г / 100 г воды	105.0	12.7	63.9	45.3

Решение. В осадок выпадает соль с наименьшей растворимостью – NaHCO_3 . Для этого надо смешать насыщенные растворы KHCO_3 и NaNO_3 :



Найдем составы насыщенных растворов исходных солей:

а) Для приготовления 100 г насыщенного раствора KHCO_3 надо взять

$$m(\text{KHCO}_3) = 100 \cdot 45.3 / 145.3 = 31.2 \text{ г,}$$

$$\nu(\text{KHCO}_3) = 31.2 / 100 = 0.312 \text{ моль.}$$

б) Для приготовления 100 г насыщенного раствора NaNO_3 надо взять

$$m(\text{NaNO}_3) = 100 \cdot 105 / 205 = 51.2 \text{ г NaNO}_3,$$

$$\nu(\text{NaNO}_3) = 51.2 / 85 = 0.603 \text{ моль – избыток.}$$

По реакции могло образоваться 0.312 моль NaHCO_3 массой

$$m(\text{NaHCO}_3) = 0.312 \cdot 84 = 26.2 \text{ г.}$$

Пусть x г соли выпало в осадок, тогда:

$$\frac{26.2 - x}{200 - x} = \frac{12.7}{112.7},$$

$$x = 4.1.$$

В этом решении мы пренебрегаем ион-ионными взаимодействиями в растворе и их влиянием на растворимость соединений.

Ответ: 4.1 г NaHCO₃.

Задача 3 (12 баллов)

3.1. Имеется смесь нескольких (точное число неизвестно) газов, которая тяжелее водорода в 15 раз. Массовая доля одного из газов в этой смеси равна 39%, а мольная доля – 45%. Установите формулу газа. Может ли такая смесь состоять всего из двух газов? Объясните.

Решение. Определим среднюю молярную массу смеси:

$$M(\text{смеси}) = 15 \cdot M(\text{H}_2) = 15 \cdot 2 = 30 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса газа:

$$M(\text{газа}) = \frac{m(\text{газа})}{\nu(\text{газа})} = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{газа})}{\nu(\text{смеси}) \cdot \chi(\text{газа})} = M(\text{смеси}) \frac{\omega(\text{газа})}{\chi(\text{газа})} = 30 \cdot \frac{0.39}{0.45} = 26 \text{ г/моль.}$$

Газ – это ацетилен C₂H₂. Если бы смесь состояла из 45% C₂H₂ и 55% газа с молярной массой M₂, то

$$\begin{aligned} M(\text{смеси}) &= 0.45 \cdot 26 + 0.55 \cdot M_2 = 30, \\ M_2 &= 33.27 \text{ (г/моль)}. \end{aligned}$$

Такого газа нет, следовательно, смесь состоит из трех или более газов.

Ответ: C₂H₂; нет.

3.2. Имеется смесь нескольких (точное число неизвестно) газов, которая тяжелее водорода в 16 раз. Массовая доля одного из газов в этой смеси равна 15%, а мольная доля – 10%. Установите формулу газа. Может ли такая смесь состоять всего из двух газов? Объясните.

Решение. Определим среднюю молярную массу смеси:

$$M(\text{смеси}) = 16 \cdot M(\text{H}_2) = 16 \cdot 2 = 32 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса газа:

$$M(\text{газа}) = \frac{m(\text{газа})}{\nu(\text{газа})} = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{газа})}{\nu(\text{смеси}) \cdot \chi(\text{газа})} = M(\text{смеси}) \frac{\omega(\text{газа})}{\chi(\text{газа})} = 32 \cdot \frac{0.15}{0.1} = 48 \text{ г/моль.}$$

Газ – это озон O₃. Если бы смесь состояла из 10% O₃ и 90% газа с молярной массой M₂, то

$$\begin{aligned} M(\text{смеси}) &= 0.1 \cdot 48 + 0.9M_2 = 32, \\ M_2 &= 30.22 \text{ (г/моль)}. \end{aligned}$$

Такого газа нет, следовательно, смесь состоит из трех или более газов.

Ответ: O₃; нет.

3.3. Имеется смесь нескольких (точное число неизвестно) газов, которая тяжелее водорода в 18 раз. Массовая доля одного из газов в этой смеси равна 60%, а мольная доля – 80%. Установите формулу газа. Может ли такая смесь состоять всего из двух газов? Объясните.

Решение. Определим среднюю молярную массу смеси:

$$M(\text{смеси}) = 18 \cdot M(\text{H}_2) = 18 \cdot 2 = 36 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса газа:

$$M(\text{газа}) = \frac{m(\text{газа})}{\nu(\text{газа})} = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{газа})}{\nu(\text{смеси}) \cdot \chi(\text{газа})} = M(\text{смеси}) \frac{\omega(\text{газа})}{\chi(\text{газа})} = 36 \cdot \frac{0.6}{0.8} = 27 \text{ г/моль.}$$

Газ – это HCN. Если бы смесь состояла из 80% HCN и 20% газа с молярной массой M_2 , то

$$M(\text{смеси}) = 0.8 \cdot 27 + 0.2M_2 = 36, \\ M_2 = 72 \text{ г/моль.}$$

Это может быть пентан C_5H_{12} .

Ответ: HCN; да.

3.4. Имеется смесь нескольких (точное число неизвестно) газов, которая тяжелее углекислого газа в 1.5 раза. Массовая доля одного из газов в этой смеси равна 40%, а мольная доля – 30%. Установите формулу газа. Может ли такая смесь состоять всего из двух газов? Объясните.

Решение. Определим среднюю молярную массу смеси:

$$M(\text{смеси}) = 1.5 \cdot M(\text{CO}_2) = 1.5 \cdot 44 = 66 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса газа:

$$M(\text{газа}) = \frac{m(\text{газа})}{\nu(\text{газа})} = \frac{m(\text{смеси}) \cdot \omega(\text{газа})}{\nu(\text{смеси}) \cdot \chi(\text{газа})} = M(\text{смеси}) \frac{\omega(\text{газа})}{\chi(\text{газа})} = 66 \cdot \frac{0.4}{0.3} = 88 \text{ г/моль.}$$

Газ – это PF_3 . Если бы смесь состояла из 30% PF_3 и 70% газа с молярной массой M_2 , то

$$M(\text{смеси}) = 0.3 \cdot 88 + 0.7M_2 = 66, \\ M_2 = 56.57 \text{ г/моль.}$$

Такого газа нет, следовательно, смесь состоит из трех или более газов.

Ответ: PF_3 ; нет.

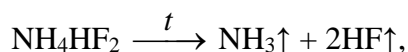
Задача 4 (16 баллов)

4.1. Бесцветное кристаллическое вещество используют для травления стекла. Оно имеет ионное строение, причем количества положительных и отрицательных ионов одинаковы, а катион и анион содержат общий элемент. Число электронов в отрицательном ионе в два раза больше, чем в положительном. При нагревании вещество полностью разлагается без образования твердого остатка, а полученный газ тяжелее водорода в 9.5 раз. Установите формулу вещества, напишите уравнение реакции разложения и укажите геометрическую форму ионов, из которых состоит вещество.

Решение. Молярная масса полученного газа составляет

$$M(\text{газа}) = 9.5 \cdot 2 = 19 \text{ г/моль.}$$

Отсутствие твердого остатка наводит на мысль о катионе аммония NH_4^+ , в составе которого 10 электронов. Тогда в однозарядном анионе – 20 электронов, это может быть HF_2^- . Проверим предположение расчетом молярной массы газовой смеси продуктов разложения:



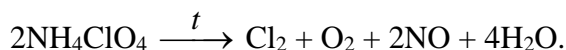
$$M(\text{смеси}) = (17 + 2 \cdot 20) / 3 = 19 \text{ г/моль} - \text{соответствует условию.}$$

Ион NH_4^+ имеет форму правильного тетраэдра, а HF_2^- – линейная частица.

Ответ: гидрофторид аммония NH_4HF_2 .

4.2. Бесцветное кристаллическое вещество является сильным окислителем и входит в состав твердого топлива. Оно имеет ионное строение, причем количества положительных и отрицательных ионов одинаковы, а у катиона и аниона нет общих элементов. Число электронов в отрицательном ионе в пять раз больше, чем в положительном. При нагревании вещество полностью разлагается без образования твердого остатка, причем состав продуктов разложения зависит от температуры реакции. При высокой температуре образуются хлор и кислород в равных количествах. Установите формулу вещества, напишите уравнение реакции разложения и укажите геометрическую форму ионов, из которых состоит вещество.

Решение. Отсутствие твердого остатка наводит на мысль о катионе аммония NH_4^+ , в составе которого 10 электронов. Тогда в однозарядном анионе – 50 электронов, это может быть ClO_4^- . Возможное уравнение разложения:

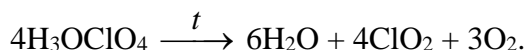


Ионы NH_4^+ и ClO_4^- имеют форму правильного тетраэдра.

Ответ: перхлорат аммония NH_4ClO_4 .

4.3. Бесцветное кристаллическое вещество является сильным окислителем и способно воспламенять древесину. Оно имеет ионное строение, причем количества положительных и отрицательных ионов одинаковы, а катион и анион содержат общий элемент. Число электронов в отрицательном ионе в пять раз больше, чем в положительном. Раствор вещества имеет сильноокислую среду. При нагревании вещество плавится, а затем разлагается без образования твердого остатка. Среди продуктов разложения – два газа-окислителя. Установите формулу вещества, напишите возможное уравнение реакции разложения и укажите геометрическую форму ионов, из которых состоит вещество.

Решение. Сильноокислая среда и отсутствие твердого остатка наводят на мысль о катионе гидроксония H_3O^+ , в составе которого 10 электронов. Тогда в однозарядном анионе – 50 электронов, это может быть ClO_4^- . Действительно, моногидрат хлорной кислоты – твердое вещество, которое при нагревании плавится, а затем разлагается:



Ион H_3O^+ имеет форму неправильного тетраэдра, а ClO_4^- – правильного тетраэдра.

Ответ: моногидрат хлорной кислоты H_3OClO_4 .

4.4. Бесцветное кристаллическое вещество используется в качестве пищевой добавки. Оно имеет ионное строение, причем количества положительных и отрицательных ионов одинаковы, а катион и анион содержат общий элемент. Число электронов в отрицательном ионе в пять раз больше, чем в положительном. При сильном нагревании вещество полностью разлагается с образованием стекловидного твердого остатка и смеси двух газов, каждый из которых легче воздуха. Установите формулу вещества, напишите уравнение реакции разложения и укажите геометрическую форму ионов, из которых состоит вещество.

Решение. Отсутствие твердого остатка наводит на мысль о катионе аммония NH_4^+ , в составе которого 10 электронов. Тогда в однозарядном анионе – 50 электронов. С учетом информации о пищевой добавке это может быть H_2PO_4^- . Уравнение разложения:



Общий элемент в составе катиона и аниона – водород. Стекловидный остаток после нагревания – метафосфорная кислота HPO_3 .

Ион NH_4^+ имеет форму правильного тетраэдра, а H_2PO_4^- – неправильного тетраэдра.

Ответ: дигидрофосфат аммония $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$.

Задача 5 (12 баллов)

5.1. Радиоактивный изотоп металла подвергается β^- -распаду и имеет период полураспада 4.20 мин. За одну секунду в одном грамме металла происходит $8.04 \cdot 10^{18}$ распадов. Установите массовое число изотопа и напишите уравнение распада, если известно, что при этом образуется устойчивый изотоп элемента IVA (14) группы.

Решение. Воспользуемся формулой для активности – числа распадов в единицу времени (A – активность, $T_{1/2}$ – период полураспада, N – число атомов радиоактивного изотопа):

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N,$$

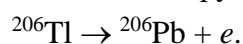
откуда

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{8.04 \cdot 10^{18} \cdot 4.20 \cdot 60}{\ln 2} = 2.92 \cdot 10^{21}.$$

Молярная масса изотопа:

$$M = \frac{m \cdot N_A}{N} = \frac{1.00 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{2.92 \cdot 10^{21}} = 206 \text{ г/моль.}$$

Массовое число изотопа – 206. При β^- -распаде образуется изотоп элемента 14 группы, следовательно, исходный элемент принадлежал 13 группе, это – таллий. Уравнение распада:



Ответ: ${}^{206}\text{Tl}$.

5.2. Радиоактивный изотоп металла подвергается β^- -распаду и имеет период полураспада 4.77 мин. За одну секунду в одном миллиграмме металла происходит $7.04 \cdot 10^{15}$ распадов. Установите массовое число изотопа и напишите уравнение распада, если известно, что при этом образуется устойчивый изотоп элемента IVA (14) группы.

Решение. Воспользуемся формулой для активности – числа распадов в единицу времени (A – активность, $T_{1/2}$ – период полураспада, N – число атомов радиоактивного изотопа):

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N,$$

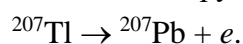
откуда

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{7.04 \cdot 10^{15} \cdot 4.77 \cdot 60}{\ln 2} = 2.91 \cdot 10^{18}.$$

Молярная масса изотопа:

$$M = \frac{m \cdot N_A}{N} = \frac{1.00 \cdot 10^{-3} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{2.91 \cdot 10^{18}} = 207 \text{ г/моль.}$$

Массовое число изотопа – 207. При β^- -распаде образуется изотоп элемента 14 группы, следовательно, исходный элемент принадлежал 13 группе, это – таллий. Уравнение распада:



Ответ: ${}^{207}\text{Tl}$.

5.3. Радиоактивный изотоп металла подвергается β^+ -распаду и имеет период полураспада 12.2 сут. За одну секунду в одном грамме металла происходит $1.96 \cdot 10^{15}$ распадов. Установите массовое число изотопа и напишите уравнение распада, если известно, что при этом образуется устойчивый изотоп элемента ПБ (12) группы.

Решение. Воспользуемся формулой для активности – числа распадов в единицу времени (A – активность, $T_{1/2}$ – период полураспада, N – число атомов радиоактивного изотопа):

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N,$$

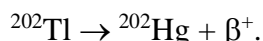
откуда

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{1.96 \cdot 10^{15} \cdot 12.2 \cdot 24 \cdot 3600}{\ln 2} = 2.98 \cdot 10^{21}.$$

Молярная масса изотопа:

$$M = \frac{m \cdot N_A}{N} = \frac{1.00 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{2.98 \cdot 10^{21}} = 202 \text{ г/моль}.$$

Массовое число изотопа – 202. При β^+ -распаде образуется изотоп элемента 12 группы, следовательно, исходный элемент принадлежал 13 группе, это – таллий. Уравнение распада:



Ответ: ^{202}Tl .

5.4. Радиоактивный изотоп металла испытывает электронный захват и имеет период полураспада 72.9 ч. За одну секунду в одном миллиграмме металла происходит $7.91 \cdot 10^{12}$ распадов. Установите массовое число изотопа и напишите уравнение распада, если известно, что при этом образуется устойчивый изотоп элемента ПБ (12) группы.

Решение. Воспользуемся формулой для активности – числа распадов в единицу времени (A – активность, $T_{1/2}$ – период полураспада, N – число атомов радиоактивного изотопа):

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N,$$

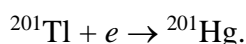
откуда

$$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2} = \frac{7.91 \cdot 10^{12} \cdot 72.9 \cdot 3600}{\ln 2} = 2.995 \cdot 10^{18}.$$

Молярная масса изотопа:

$$M = \frac{m \cdot N_A}{N} = \frac{1.00 \cdot 10^{-3} \cdot 6.02 \cdot 10^{23}}{2.995 \cdot 10^{18}} = 201 \text{ г/моль}.$$

Массовое число изотопа – 201. При электронном захвате образуется изотоп элемента 12 группы, следовательно, исходный элемент принадлежал 13 группе, это – таллий. Уравнение распада:



Ответ: ^{201}Tl .

Задача 6 (18 баллов)

6.1. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



Решение.

- 1) $\text{Zn} + 4\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2 + \text{H}_2\uparrow$
- 2) $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2 + 6\text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + 4\text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 3) $5\text{ZnCl}_2 + 5\text{Na}_2\text{CO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6\downarrow + 3\text{CO}_2\uparrow + 10\text{NaCl}$
- 4) $\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6 \xrightarrow{t} 5\text{ZnO} + 2\text{CO}_2\uparrow + 3\text{H}_2\text{O}\uparrow$
- 5) $\text{ZnO} + 2\text{NaOH} \xrightarrow{t} \text{Na}_2\text{ZnO}_2 + \text{H}_2\text{O}\uparrow$
- 6) $\text{Na}_2\text{ZnO}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow + \text{Na}_2\text{CO}_3$

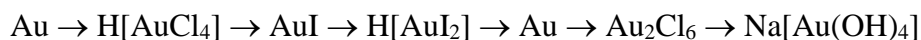
6.2. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



Решение.

- 1) $2\text{Al} + 3\text{S} \xrightarrow{t} \text{Al}_2\text{S}_3$
- 2) $2\text{Al}_2\text{S}_3 + 9\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{SO}_2$
- 3) $\text{Al}_2\text{O}_3 + 10\text{NaOH} \xrightarrow{t} 2\text{Na}_5\text{AlO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}\uparrow$
- 4) $\text{Na}_5\text{AlO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 4\text{NaOH}$
- 5) $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + \text{NaHCO}_3$
- 6) $\text{Al}(\text{OH})_3 + 6\text{NaF} \rightarrow \text{Na}_3[\text{AlF}_6] + 3\text{NaOH}$

6.3. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



Решение.

- 1) $\text{Au} + \text{HNO}_3 + 4\text{HCl} \rightarrow \text{H}[\text{AuCl}_4] + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 2) $\text{H}[\text{AuCl}_4] + 3\text{NaI} \rightarrow \text{AuI} + \text{I}_2 + 3\text{NaCl} + \text{HCl}$
- 3) $\text{AuI} + \text{HI} \rightarrow \text{H}[\text{AuI}_2]$
- 4) $2\text{H}[\text{AuI}_2] + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Au} + 4\text{HI} + \text{H}_2\text{SO}_4$
- 5) $2\text{Au} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow \text{Au}_2\text{Cl}_6$
- 6) $\text{Au}_2\text{Cl}_6 + 8\text{NaOH} \rightarrow 2\text{Na}[\text{Au}(\text{OH})_4] + 6\text{NaCl}$

6.4. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



Решение.

- 1) $2\text{Cu} + 4\text{HCl}(\text{конц}) \rightarrow 2\text{H}[\text{CuCl}_2] + \text{H}_2\uparrow$
- 2) $\text{H}[\text{CuCl}_2] + 4\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + 2\text{NH}_4\text{Cl}$
- 3) $2[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Cu}_2\text{S}\downarrow + 2(\text{NH}_4)_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{Cu}_2\text{O} \xrightarrow{t} 6\text{Cu} + \text{SO}_2$
- 5) $\text{Cu} + 2\text{AgCH}_3\text{COO} \rightarrow \text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 2\text{Ag}$
- 6) $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{Cu} \rightarrow 2\text{CuCH}_3\text{COO}$

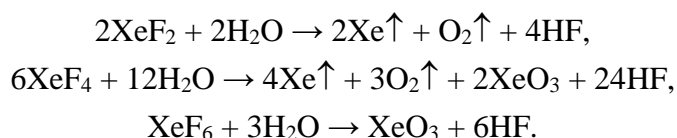
Задача 7 (20 баллов)

7.1. Фториды ксенона гидролизуются по-разному. Дифторид с водой дает фтороводород и два простых вещества. При гидролизе тетрафторида образуются кислород и ксенон в мольном соотношении 3 : 4, а также триоксид ксенона и фтороводород. Гексафторид гидролизуеться без изменения степеней окисления элементов.

Количественный гидролиз смеси трех фторидов привел к выделению 60.2 мл газа (при 290 К и 100 кПа), содержащего 40.0% кислорода по объему. Содержание XeO_3 в растворе определили титрованием 0.100 М раствором FeSO_4 , которого потребовалось 36.0 мл. При титровании $\text{Fe}(+2)$ окисляется до $\text{Fe}(+3)$, а ксенон восстанавливается полностью.

Напишите уравнения всех реакций гидролиза и рассчитайте состав (мол.%) исходной смеси фторидов.

Решение. Уравнения реакций гидролиза:



При титровании протекает следующий процесс:



Рассчитаем количества веществ. Количество газовой смеси после гидролиза:

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 100 \cdot 0.0602 / (8.314 \cdot 290) = 0.0025 \text{ моль} = 2.5 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{O}_2) = 0.4 \cdot 2.5 = 1.0 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{Fe}^{2+}) = 0.1 \cdot 36 = 3.6 \text{ ммоль},$$

$$v(\text{XeO}_3) = 3.6 / 6 = 0.6 \text{ ммоль}.$$

Пусть $v(\text{XeF}_2) = x$, $v(\text{XeF}_4) = y$, $v(\text{XeF}_6) = z$ ммоль. Тогда

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 2.5 = 1.5x + 7/6 \cdot y$$

$$v(\text{O}_2) = 1.0 = 0.5x + 0.5y$$

$$v(\text{XeO}_3) = 0.6 = 1/3 \cdot y + z$$

Решение системы: $x = 0.5$, $y = 1.5$, $z = 0.1$. Суммарное количество фторидов 2.1 моль.

Мольные доли фторидов ксенона в смеси:

$$\chi(\text{XeF}_2) = 0.5 / 2.1 = 0.238,$$

$$\chi(\text{XeF}_4) = 1.5 / 2.1 = 0.714,$$

$$\chi(\text{XeF}_6) = 0.1 / 2.1 = 0.048.$$

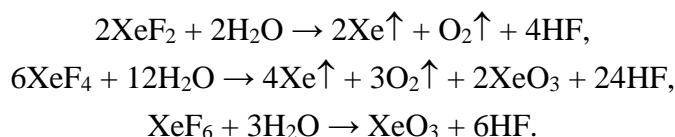
Ответ: 23.8% XeF_2 , 71.4% XeF_4 , 4.8% XeF_6 .

7.2. Фториды ксенона гидролизуются по-разному. Дифторид с водой дает фтороводород и два простых вещества. При гидролизе тетрафторида образуются кислород и ксенон в мольном соотношении 3 : 4, а также триоксид ксенона и фтороводород. Гексафторид гидролизуеться без изменения степеней окисления элементов.

Количественный гидролиз смеси трех фторидов привел к выделению 60.2 мл газа (при 290 К и 100 кПа), содержащего 40.0% кислорода по объему. Содержание XeO_3 в растворе определили титрованием 0.100 М раствором FeSO_4 , которого потребовалось 60.0 мл. При титровании $\text{Fe}(+2)$ окисляется до $\text{Fe}(+3)$, а ксенон восстанавливается полностью.

Напишите уравнения всех реакций гидролиза и рассчитайте состав (мол.%) исходной смеси фторидов.

Решение. Уравнения реакций гидролиза:



При титровании протекает следующий процесс:



Рассчитаем количества веществ. Количество газовой смеси после гидролиза:

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 100 \cdot 0.0602 / (8.314 \cdot 290) = 0.0025 \text{ моль} = 2.5 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{O}_2) = 0.4 \cdot 2.5 = 1.0 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{Fe}^{2+}) = 0.1 \cdot 60 = 6.0 \text{ ммоль},$$

$$v(\text{XeO}_3) = 6.0 / 6 = 1.0 \text{ ммоль}.$$

Пусть $v(\text{XeF}_2) = x$, $v(\text{XeF}_4) = y$, $v(\text{XeF}_6) = z$ ммоль. Тогда

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 2.5 = 1.5x + 7/6y$$

$$v(\text{O}_2) = 1.0 = 0.5x + 0.5y$$

$$v(\text{XeO}_3) = 1.0 = 1/3y + z$$

Решение системы: $x = 0.5$, $y = 1.5$, $z = 0.5$. Суммарное количество фторидов 2.5 моль.

Мольные доли фторидов ксенона в смеси:

$$\chi(\text{XeF}_2) = 0.5 / 2.5 = 0.2,$$

$$\chi(\text{XeF}_4) = 1.5 / 2.5 = 0.6,$$

$$\chi(\text{XeF}_6) = 0.5 / 2.5 = 0.2.$$

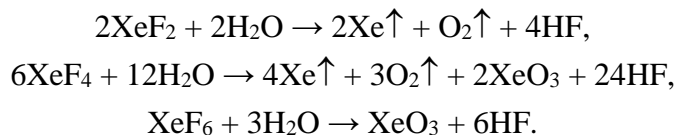
Ответ: 20% XeF_2 , 60% XeF_4 , 20% XeF_6 .

7.3. Фториды ксенона гидролизуются по-разному. Дифторид с водой дает фтороводород и два простых вещества. При гидролизе тетрафторида образуются кислород и ксенон в мольном соотношении 3 : 4, а также триоксид ксенона и фтороводород. Гексафторид гидролизует без изменения степеней окисления элементов.

Количественный гидролиз смеси трех фторидов привел к выделению 59.1 мл газа (при 290 К и 102 кПа), содержащего 36.0% кислорода по объему. Содержание XeO_3 в растворе определили титрованием 0.100 М раствором FeSO_4 , которого потребовалось 48.0 мл. При титровании $\text{Fe}(+2)$ окисляется до $\text{Fe}(+3)$, а ксенон восстанавливается полностью.

Напишите уравнения всех реакций гидролиза и рассчитайте состав (мол.%) исходной смеси фторидов.

Решение. Уравнения реакций гидролиза:



При титровании протекает следующий процесс:



Рассчитаем количества веществ. Количество газовой смеси после гидролиза:

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 102 \cdot 0.0591 / (8.314 \cdot 290) = 0.0025 \text{ моль} = 2.5 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{O}_2) = 0.36 \cdot 2.5 = 0.9 \text{ ммоль}.$$

$$v(\text{Fe}^{2+}) = 0.1 \cdot 48 = 4.8 \text{ ммоль},$$

$$v(\text{XeO}_3) = 4.8 / 6 = 0.8 \text{ ммоль}.$$

Пусть $v(\text{XeF}_2) = x$, $v(\text{XeF}_4) = y$, $v(\text{XeF}_6) = z$ ммоль. Тогда

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 2.5 = 1.5x + 7/6 \cdot y$$

$$v(\text{O}_2) = 0.9 = 0.5x + 0.5y$$

$$v(\text{XeO}_3) = 0.8 = 1/3 \cdot y + z$$

Решение системы: $x = 1.2$, $y = 0.6$, $z = 0.6$. Суммарное количество фторидов 2.4 моль.

Мольные доли:

$$\chi(\text{XeF}_2) = 1.2 / 2.4 = 0.5,$$

$$\chi(\text{XeF}_4) = 0.6 / 2.4 = 0.25,$$

$$\chi(\text{XeF}_6) = 0.6 / 2.4 = 0.25.$$

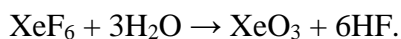
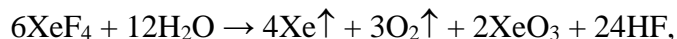
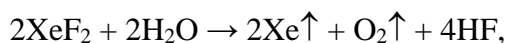
Ответ: 50% XeF_2 , 25% XeF_4 , 25% XeF_6 .

7.4. Фториды ксенона гидролизуются по-разному. Дифторид с водой дает фтороводород и два простых вещества. При гидролизе тетрафторида образуются кислород и ксенон в мольном соотношении 3 : 4, а также триоксид ксенона и фтороводород. Гексафторид гидролизует без изменения степеней окисления элементов.

Количественный гидролиз смеси трех фторидов привел к выделению 59.1 мл газа (при 290 К и 102 кПа), содержащего 36.0% кислорода по объему. Содержание XeO_3 в растворе определили титрованием 0.100 М раствором FeSO_4 , которого потребовалось 84.0 мл. При титровании $\text{Fe}(+2)$ окисляется до $\text{Fe}(+3)$, а ксенон восстанавливается полностью.

Напишите уравнения всех реакций гидролиза и рассчитайте состав (мол.%) исходной смеси фторидов.

Решение. Уравнения реакций гидролиза:



При титровании протекает следующий процесс:



Рассчитаем количества веществ. Количество газовой смеси после гидролиза:

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 102 \cdot 0.0591 / (8.314 \cdot 290) = 0.0025 \text{ моль} = 2.5 \text{ ммоль.}$$

$$v(\text{O}_2) = 0.36 \cdot 2.5 = 0.9 \text{ ммоль.}$$

$$v(\text{Fe}^{2+}) = 0.1 \cdot 84 = 8.4 \text{ ммоль,}$$

$$v(\text{XeO}_3) = 8.4 / 6 = 1.4 \text{ ммоль.}$$

Пусть $v(\text{XeF}_2) = x$, $v(\text{XeF}_4) = y$, $v(\text{XeF}_6) = z$ ммоль. Тогда

$$v(\text{Xe}) + v(\text{O}_2) = 2.5 = 1.5x + 7/6 \cdot y$$

$$v(\text{O}_2) = 0.9 = 0.5x + 0.5y$$

$$v(\text{XeO}_3) = 1.4 = 1/3 \cdot y + z$$

Решение системы: $x = 1.2$, $y = 0.6$, $z = 1.2$. Суммарное количество фторидов 3.0 моль.

Мольные доли:

$$\chi(\text{XeF}_2) = 1.2 / 3.0 = 0.4,$$

$$\chi(\text{XeF}_4) = 0.6 / 3.0 = 0.2,$$

$$\chi(\text{XeF}_6) = 1.2 / 3.0 = 0.4.$$

Ответ: 40% XeF_2 , 20% XeF_4 , 40% XeF_6 .