

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ ПСПБГМУ ИМ.
И. П. ПАВЛОВА (2024/2025 УЧЕБНЫЙ ГОД)**

ЗАДАНИЯ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО ЭТАПА

8 класс

Задача 1

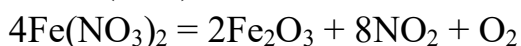
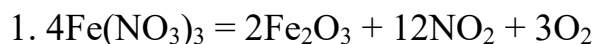
Соли железа — важный источник этого микроэлемента. При прокаливании смеси двух нитратов железа массой 25 г в инертной атмосфере, получили индивидуальное твёрдое вещество и смесь газов общим объёмом 7,50 л при н. у. Полученную бурую газовую смесь охладили до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, в результате часть газа превратилась в белые кристаллы, при нагревании которых до $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ образуется газообразное вещество. Этот газ пропустили через нашатырный спирт.

Задания:

1. Напишите уравнения описанных реакций.
2. Найдите массу твёрдого остатка после прокаливания.
3. Определите массу твёрдого остатка если такую же навеску смеси прокалывать а) в атмосфере кислорода; б) в атмосфере водорода.
4. Определите массовые доли солей в первоначальной смеси.
5. Напишите уравнения реакций, проведённых со смесью газов.

Образованием смешанных и нестехиометрических оксидов железа пренебречь.

Решение:



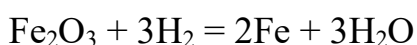
2. Пусть было x моль нитрата железа(III) и y моль нитрата железа(II). Составим систему уравнений по суммарной массе смеси и объёму выделившейся смеси газов.

$$\begin{cases} 242x + 180y = 25 \\ 3x + 0,75x + 2y + 0,25y = \frac{7,50}{22,4} \end{cases}$$

Решая систему, получаем $x = 0,0308$, $y = 0,0975$.

Масса твёрдого остатка $0,5x \cdot 160 + 0,5y \cdot 160 = 80 \cdot 0,0308 + 80 \cdot 0,0975 = 10,26$ г.

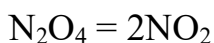
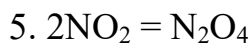
3. В атмосфере кислорода получится такой же остаток оксида железа 3, поэтому масса будет 10,26 г. Если прокалывать в токе водорода, то оксид железа 3 восстановится до железа

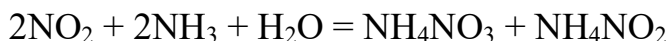


Масса полученного железа $(0,0308 + 0,0975) \cdot 56 = 7,18$ г.

4. $m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 0,0308 \cdot 242 = 7,45$ г, $m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = 0,0975 \cdot 180 = 17,55$ г.

$w(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 7,45 / 25 \Rightarrow 29,8\%$, $w(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = 17,55 / 25 \Rightarrow 70,2\%$.





Разбалловка:

1. Написание уравнений реакций — по 2 балла (всего 4 балла).
2. Расчёт массовых долей нитратов — по 3 баллов (всего 6 балла).
3. Расчёт массы остатка — 5 баллов.
4. Расчёт массы остатка при прокаливании в кислороде и водороде — по 2 балла (всего 4 балла)
6. Уравнения реакций — по 2 балла (всего 6 баллов).

Задача 2

Гипотермический пакет «Снежок» используют для наложения охлаждающего компресса при травмах, ушибах и переломах. Принцип его работы основан на эндотермичности реакции растворения соли **A** в воде. Соль **A** можно получить пропуская газ **B** с массовой долей водорода 17,65 % через раствор кислоты **C**, в которой кроме элементов, входящих в **B** есть ещё кислород с массовой долей 76,2 %.

Задания:

1. Определите зашифрованные вещества **A–C**, напишите название соли **A** и уравнение реакции её получения. Предложите ещё одну реакцию, в которой образуется данная соль.
2. Почему раствор соли **A** нужно упаривать аккуратно? Проиллюстрируйте уравнением химической реакции.
Через 196,9 г 15% раствора кислоты **C** пропустили газ **B** объёмом 11,2 л (н. у.). Полученный раствор аккуратно упарили, в результате получили соль **A** с выходом 80 %. Соль поместили в одно отделение гипотермического пакета. В другое отделение налили 25 мл воды. После соединения пространств соль **A** растворяется в воде, понижая температуру раствора. Теплота растворения соли **A** составляет $-25,7$ кДж/моль. Удельная теплоёмкость воды равна 4,18 Дж/г. Температура окружающей среды во время применения была 25 °С.
3. Оцените температуру раствора после растворения всех соли. Какими допущениями при этом вы пользовались?
4. Какое ещё применение находит соль **A**?
5. Приведите примеры ещё двух соединений, имеющих такой же качественный состав, что и **A**.

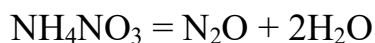
Решение:

1. По массовым долям устанавливаем аммиак и азотную кислоту.
 $1 / 0,1765 - 1 = 4,67$ г/моль, для 3 водородов 14, это азот. NH_3 .
 $16 / 0,762 - 16 = 5$ г/моль. Для 3-х кислородов 15, это водород и азот. HNO_3

$\text{NH}_3 + \text{HNO}_3 = \text{NH}_4\text{NO}_3$, соль — это нитрат аммония. **A** – NH_4NO_3 , **B** – NH_3 , **C** – HNO_3 .

Любая обменная реакция, например, $2\text{NH}_3 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_4\text{NO}_3$

2. Нитрат аммония термически неустойчив и разлагается при нагревании:



$$n(\text{NH}_3) = 11,2/22,4 = 0,5 \text{ моль}$$

$$n(\text{HNO}_3) = 196,9 \cdot 0,15/63 = 0,469 \text{ моль.}$$

Рассчитываем количества азотной кислоты и аммиака. Аммиак в избытке, с учётом выхода получается 30 г соли ($0,469 \cdot 80 \cdot 0,8 = 30$)

Общая масса раствора $30 + 25 = 55$ г.

$$n(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 30 / 80 = 0,375 \text{ моль}$$

$$Q = -25,7 \cdot 0,375 = -9,638 \text{ кДж} = -9638 \text{ Дж (количество энергии, поглощаемой солью)}$$

$$Q = cm\Delta T$$

$$\Delta T = Q / (cm) = -9638 / (4,18 \cdot 55) = -42 \text{ }^\circ\text{C}.$$

На самом деле температура падает примерно на $20\text{--}25$ $^\circ\text{C}$ из-за потерь энергии на охлаждение, не моментальность выделения энергии и т. д. Также теплоёмкость раствора не равна теплоёмкости воды

4. Удобрения, взрывчатые вещества.

5. HN_3 , N_2H_4 .

Разбалловка:

1. Вещества **A–C** — по 1 баллу (всего 3 балла).

2. Указание названия соли — 1 балл.

3. Уравнение получения нитрата аммония — по 2 балла (всего 4 балла).

4. Уравнение разложения нитрата аммония — 2 балла (за указание на разложение без уравнения — 1 балл).

5. Расчёт массы нитрата аммония в «Снежке» — 4 балла.

6. Расчёт теплового эффекта реакции растворения — 4 балла.

7. Расчёт изменения температуры — 2 балла.

8. Допущения — 1 балл.

9. Применения нитрата аммония — 2 балла.

10. Примеры бинарных соединений азота и водорода — 2 балла.

Задача 3

Вещество **X** находит широкое применение в химической технологии для получения металла **Y** путём электролиза в расплаве, для получения бескислородной кислоты **Z**, которую не хранят в стеклянной посуде, и в производстве многих веществ и смесей. Помимо трёхвалентного металла **Y** в

соединении **X** есть ещё один металл, соли которого окрашивают пламя в тот же цвет, что и цвет водного раствора хромат-иона. Массовая доля металла **Y** в соединении **X** составляет 12,86 %, а неметалла 54,29 %.

Задания:

1. Определите формулы веществ **X**, **Z**. Ответ подтвердите расчётом.
2. Определите металл, входящий в состав вещества **X**.
3. Напишите уравнение химической реакции получения вещества **X** с помощью реакции соединения двух солей и реакцию взаимодействия **X** с концентрированной серной кислотой.

Решение:

В промышленных масштабах путём электролиза в расплаве получают в основном активные металлы и алюминий. Цвет водного раствора хромат-иона имеет жёлтый цвет, а соли натрия тоже окрашивают пламя в жёлтый цвет, поэтому другой металл — натрий.

По условию задачи получается, что вещество **X** состоит из трех элементов: натрий, металл **Y** и неметалл. Определим массовую долю натрия:

$$w(\text{Na}) = 100 - 12,86 - 54,29 = 32,85 \%$$

Бескислородная кислота **Z** — плавиковая кислота, потому что её транспортируют и хранят только в полиэтиленовой таре. Следовательно, неметалл — это фтор. Найдём соотношение фтора, натрия и металла **Y**:

$$54,29 / 19 : 32,85 / 23 : 12,86 / Ar(\text{Me})$$

$$2:1:9 / Ar(\text{Me})$$

Чтобы соотношение было целым, атомная масса алюминия должна быть кратна 9.

$Ar(\text{Me}) = 9$ — бериллий (не подходит из-за несовпадения по валентности).

$Ar(\text{Me}) = 18$ — это неметалл.

$Ar(\text{Me}) = 27$ — алюминий (полное совпадение)

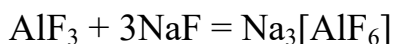
Металл **Y** — алюминий.

Тогда обновим соотношение:

$$F:\text{Na}:\text{Al} = 2:1:1 / 3 = 6:3:1$$

Вещество **X** — $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$

Реакция получения вещества **X** по реакции соединения двух солей:



Реакция разложения концентрированной серной кислотой:



Разбалловка:

1. Определение формул **X**, **Z** — по 1 баллу (всего 2 балла), расчёт — 3 балла.
2. Решение п. 2 — 5 баллов.

3. Реакция получения вещества **X** — 5 баллов, реакция с серной кислотой — 10 баллов.

Задача 4

Натриевая соль одной неорганической кислоты **X** (**соединение С**) широко применяется в разных отраслях промышленности. Например, при создании подушек безопасности автомобилей, неорганическом и органическом синтезе и многих других отраслях. Массовая доля натрия и азота в **соединении С** составляют 35,36 % и 64,64 %, соответственно. Вашему вниманию представляется описание метода синтеза кислоты **X**. Исходным соединением для синтеза **X** является бинарное **соединение А**, в котором массовая доля водорода равна 17,65 %. К водному раствору этого вещества добавляют металлический натрий с образованием **соли В** (массовая доля водорода 5,13 %) и водорода. Затем на **соединение В** действуют оксидом азота (I) с образованием соли **С**, а также таких побочных продуктов, таких как как **соединение А** и щёлочь. К целевому продукту добавляют ортофосфорную кислоту, проводя реакцию нейтрализации, с образованием кислоты **X** и средней соли.

В 71 мл 2,00 %-ного водного раствора неорганической кислоты **X** (плотность 1,00 г/мл) содержится $2,34734 \cdot 10^{24}$ частиц (в том числе продуктов её диссоциации).

Задания:

1. Определите соединения **X**, **A**, **B** и **C**. Напишите уравнения химических реакций.
2. Вычислите массовую долю калия в калиевой соли кислоты **X**.
3. Вычислите степень диссоциации кислоты (α). Что можно сказать о её силе?

Примечание. К сильным электролитам относят вещества со степенью диссоциации в растворе больше 30 %, к электролитам средней силы — от 3 до 30 %, к слабым электролитам — менее 3 %. Формула для расчёта степени диссоциации:

$$\alpha = \frac{N_{\text{дисс.}}}{N_{\text{общ.}}}$$

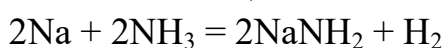
где $N_{\text{дисс}}$ — число диссоциированных молекул электролита, $N_{\text{общ}}$ — число исходных молекул электролита.

Решение:

1. Определим формулу соединения **A**:

$1 / 0,1765 - 1 = 4,67$ г/моль. Для 3 атомов водорода $4,67 \cdot 3 = 14$, подходит азот.

Следовательно, это NH_3 – аммиак



Соединение **B** — NaNH_2

Так как это соль, то состав $\text{Na}_x\text{N}_y\text{H}_z$ (возможно предположить присутствие кислорода, но явно не сразу)

$$w(\text{H}) = \frac{M(\text{H}) \cdot z}{M(\text{B})} \cdot 100\% \text{ — определение массовой доли водорода в соли B.}$$

Отсюда можно выразить молярную массу соли **B**:

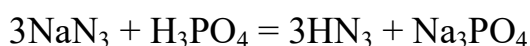
$$M(\text{B}) = \frac{M(\text{H}) \cdot z \cdot 100\%}{w(\text{H})} = \frac{100z}{5,13} = 19,5z \text{ г/моль}$$

Так как в соль **B** явно входят атомы натрия и азота, то z не может быть 1. При $z = 2$ (то есть если в соли 2 атома водорода) получаем $M(\text{B}) = 39$ г/моль. На азот и натрий суммарно приходится 37 г/моль, что соответствует одному атому натрия и одному атому азота. Таким образом формула соли NaNH_2 .

Определим формулу соединения **C**:

$$n(\text{Na}):n(\text{N}) = 35,36/23 : 64,64/14 = 1,54 : 4,62 = 1 : 3$$

Соединение **C** — NaN_3



Соединение **X** — HN_3 (азидоводород).

2. $M(\text{HN}_3) = 100 / 2,33 = 43$ г/моль. В калиевой соли KN_3 $w(\text{K}) = 39 \cdot 100 / (14 \cdot 3 + 39) = 48\%$.

3. Вычислим число молекул воды в растворе:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 71 \cdot 1(1 - 0,02) = 69,58 \text{ г}$$

$$N(\text{H}_2\text{O}) = nN_A = 69,58 / 18 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 2327,06 \cdot 10^{21}$$

Степень диссоциации $\alpha = N_{\text{дисс.}} / N_{\text{общ.}}$, где $N_{\text{дисс.}}$ — число продиссоциировавших молекул, $N_{\text{общ.}}$ — общее исходное число молекул.

Уравнение диссоциации в общем виде: $\text{HN}_3 = \text{H}^+ + \text{N}_3^-$.

Таким образом, в растворе будут присутствовать непродиссоциировавшая форма HN_3 , и ионы H^+ и N_3^- . $N(\text{HN}_3) + N(\text{H}^+) + N(\text{N}_3^-) = 2329,09 \cdot 10^{21} - 2327,06 \cdot 10^{21} = 2,03 \cdot 10^{21}$.

Количество кислоты $n = 71 \cdot 1 \cdot 0,02 / 43 = 0,033$ моль.

$$N_{\text{общ.}} = 0,033 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 19,9 \cdot 10^{21} = N(\text{HN}_3) + N(\text{N}_3^-)$$

$$N_{\text{дисс.}} = N(\text{H}^+) = N(\text{N}_3^-) = 20,28 \cdot 10^{21} - 19,9 \cdot 10^{21} = 0,38 \cdot 10^{21}. \alpha = 0,38 \cdot 10^{21} / 19,9 \cdot 10^{21} = 0,02.$$

Так как степень диссоциации $< 0,03$, можно сделать вывод о том, что кислота слабая.

Разбалловка:

1. Расчёт молярной массы кислоты — 3 балла, расчёт массовой доли калия в соли — 4 балла (всего 7 баллов).

2. Расчёт числа молекул (количества) воды — 1 балл, расчёт количества кислоты — 1 балл, указание уравнения диссоциации — 1 балл, указание формулы для расчёта степени диссоциации — 1 балл, расчёт степени диссоциации — 4 балла, вывод о силе кислоты — 3 балла (11 баллов).

3. Указание формулы кислоты — 4 балла, указание названия кислоты — 3 балла (всего 7 баллов).