

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

ЗАДАНИЯ ОТБОРОЧНОГО ЭТАПА

8 класс

Задача 1

Порошок металла массой 8,1 г сплавили с серой массой 20 г. После охлаждения и отделения избытка серы массой 5,6 г твёрдый остаток полностью растворился в 299 г 15 % водного раствора КОН.

1. Определите зашифрованный металл, ответ подтвердите расчётами.
2. Напишите уравнения протекающих реакций.
3. Найдите массовые доли продуктов в образовавшемся растворе.

Решение:

Найдём мольное соотношение серы и металла в образующемся сульфиде:

Рассчитаем массу и количества вещества серы, вступившей в реакцию:

$$m(\text{S}) = 20 - 5,6 = 14,4 \text{ г}$$

$$n(\text{S}) = 14,4 / 32 = 0,45 \text{ моль}$$

Таким образом, возможно образование сульфидов с формулами Me_2S , MeS , Me_2S_3 , с количеством вещества металла 0,9 моль, 0,45 моль и 0,3 моль, соответственно.

Рассчитаем молярную массу металла 8,1 г которого соответствует 0,9 моль, 0,45 моль и 0,3 моль:

$$M(\text{Me}) = m / n$$

$$M(\text{Me}) = 8,1 / 0,9 = 9 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Me}) = 8,1 / 0,45 = 18 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{Me}) = 8,1 / 0,3 = 27 \text{ г/моль}$$

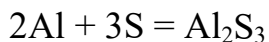
Если $M(\text{Me}) = 9$ г/моль, то это Ве (не подходит, так как при данных условиях сульфид бериллия не образуется).

Металла с молярной массой 18 г/моль не существует.

Если $M(\text{Me}) = 27$ г/моль, то это алюминий (подходит).

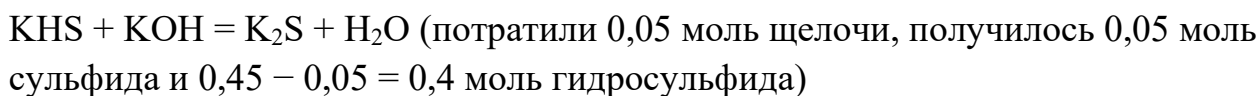
$$n(\text{Al}) = 8,1 / 27 = 0,3 \text{ моль}$$

Уравнение реакции между алюминием и серой:



$$n(\text{KOH}) = 299 \cdot 0,15 / 56 = 0,8 \text{ моль}$$

Раз сульфид полностью растворился, то должен получиться $\text{K}[\text{Al}(\text{OH})_4]$, но на образование сульфида калия не хватит гидроксида, предположим получение гидросульфида, а остаток щелочи переведёт часть гидросульфида в сульфид.





$$\text{Масса раствора} = 299 + 0,15 \cdot 150 = 321,5 \text{ г}$$

$$n(\text{K}[\text{Al}(\text{OH})_4]) = 2n(\text{Al}_2\text{S}_3) = 0,3 \text{ моль}$$

$$n(\text{K}_2\text{S}) = 0,05 \text{ моль}$$

$$n(\text{KHS}) = 0,4 \text{ моль}$$

$$m(\text{K}[\text{Al}(\text{OH})_4]) = 0,3 \cdot 134 = 40,2 \text{ г}$$

$$m(\text{K}_2\text{S}) = 0,05 \cdot 110 = 5,5 \text{ г}$$

$$m(\text{KHS}) = 0,4 \cdot 72 = 28,8 \text{ г}$$

$$w(\text{K}[\text{Al}(\text{OH})_4]) = 40,2 \cdot 100 \% / 321,5 = 12,5 \%$$

$$w(\text{K}_2\text{S}) = 5,5 \cdot 100 \% / 321,5 = 1,7 \%$$

$$w(\text{KHS}) = 28,8 \cdot 100 \% / 321,5 = 9,0 \%$$

Разбалловка:

1. Определение металла — 2 балла, расчёт металла — 2 балла.
 2. Уравнения реакций — по 4 балла (всего 8 баллов).
 3. Определение массовых долей продуктов — по 4 балла (всего 8 баллов).
- Итого: 20 баллов.

Задача 2

В бинарном соединении изотопа лития-7 с некоторым элементом число нейтронов в 1,25 раза больше, чем число электронов, при этом количество нейтронов в неизвестном элементе в 2,66 раз больше, чем количество электронов в атоме лития-7.

1. Какой элемент входит в состав этого соединения?
2. Установите молекулярную формулу соединения.
3. Напишите реакцию данного соединения с водой и с раствором соляной кислоты.

Решение:

Найдём число электронов и нейтронов в изотопе лития-7:

Число электронов равно 3.

Число нейтронов равно $7 - 3 = 4$

Пусть x – число нейтронов неизвестного элемента. Тогда по условию,

$$x / 3 = 2,66$$

$$x = 7,98 \approx 8$$

Таким образом в изотопе неизвестного элемента 8 нейтронов.

Валентность лития в бинарных соединениях всегда равна I. Тогда рассмотрим все некоторые соединения с разным количеством атомов лития в соединении:

1) LiX

$$(4 + 8) / (3 + y) = 1,25$$

$y = 6,6$ (не подходит ни один химический элемент)

2) Li_2X

$$(2 \cdot 4 + 8) / (2 \cdot 3 + y) = 1,25$$

$y = 6,8$ (очень похоже на азот, но азот не образует соединение Li_2X)

3) Li_3X

$$(3 \cdot 4 + 8) / (3 \cdot 3 + y) = 1,25$$

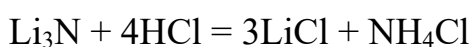
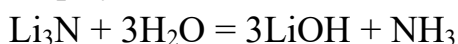
$y = 7$ (это азот)

Следовательно, неизвестный химический элемент — это азот, а атомная масса азота в этом соединении:

$$A_r = 7 + 8 = 15$$

Это изотоп азота-15.

Формула соединения ${}^7\text{Li}_3{}^{15}\text{N}$



Разбалловка:

1. Определение элемента — 4 балла.
2. Установление молекулярной формулы — 4 балла.
3. Уравнения реакций — по 6 баллов (всего 12 баллов).

Итого: 20 баллов.

Задача 3

Следствие из закона Авогадро гласит, что молярный объём любого газа есть постоянная величина и примерно равна 22,4 л/моль (справедливо только для идеального газа). Однако такое значение является истинным только при условии, что газ находится при нормальных условиях (н. у.). Как показала практика, нормальные условия не всегда выполняются в процессе исследований, экспериментов, отбора газовых проб и так далее, поэтому полученное значение объёма газа приводят к нормальным условиям и только потом выполняют расчёты.

В лаборатории приготовили газовую смесь объёмом 600 дм³, состоящую из кислорода и бинарного соединения **X** с относительной плотностью по воздуху 1,17 и массовой долей одного из элементов 0,94. Соединение **X** взято в избытке. Объём газовой смеси был измерен при следующих условиях: $t = 36\text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1,5\text{ атм}$. Газовую смесь подожгли, а после реакции объём газовой смеси составил 120 дм³. Объём газовой смеси после сгорания был измерен при следующих условиях: $t = 14\text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1,2\text{ атм}$.

1. Определите соединение **X**, напишите уравнение химической реакции горения исходной газовой смеси. Какое было бы уравнение химической реакции, если бы кислород был в избытке?
2. Определите объёмы газовых смесей до и после реакции горения при н. у.

3. Определите мольную долю каждого компонента в исходной газовой смеси.

Примечание: уравнение Менделеева — Клапейрона:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Решение:

1. Найдём молярную массу соединения **X**. Для этого умножим относительную плотность вещества на молярную массу воздуха: $1,17 \cdot 29 = 34$ г/моль. Методом подбора определяем, что атомная масса одного из элементов равна:

$$A_r = 34 \cdot 0,94 = 32 \text{ — это сера.}$$

$$A_r = 34 \cdot 0,06 / 2 = 16 \text{ — это кислород}$$

Атомная масса другого элемента:

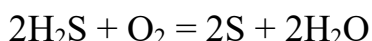
$$A_r = 34 \cdot 0,06 = 2,04 \text{ (элемента с такой атомной массой в системе Менделеева нет).}$$

$$A_r = 34 \cdot 0,06 / 2 = 1,02 \text{ — это водород.}$$

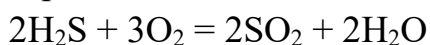
Возможны следующие соединения на основании расчёта:

H_2O_2 и H_2S . H_2O_2 не вступает в реакцию с кислородом, поэтому соединение **X** — это сероводород H_2S .

Уравнение окисления сероводорода, если в избытке взят сероводород:



Если кислород взят в большом избытке, то идёт окисление серы до диоксида серы:



2. Чтобы привести объём газа или газовой смеси к нормальным условиям, необходимо использовать уравнение Менделеева — Клапейрона:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Нормальные условия это: $T = 273,15$ К (или 0 °С) и $p = 1$ атм (или 101325 Па).

Подставим значения в уравнение для исходной газовой смеси:

$$\frac{101325 V_1}{273,15} = \frac{1,5 \cdot 101325 \cdot 600}{(36 + 273,15)}$$

$$V_1 = 795 \text{ дм}^3$$

Теперь подставим в уравнения данные для газовой смеси после поджига:

$$\frac{101325 V_1}{273,15} = \frac{1,2 \cdot 101325 \cdot 120}{(14 + 273,15)}$$

$$V_2 = 137 \text{ дм}^3$$

Обозначим за x количество вещества H_2S , а за y количество вещества O_2 .

Тогда, суммарное количество вещества — $x + y$. В таком случае получим:

$$22,4(x + y) = 795$$

Так как сероводород взят в избытке, то после поджига газовая смесь будет состоять только из сероводорода. Конечное количество вещества сероводорода равно:

$$n(\text{H}_2\text{S}) = x - 2y$$

Тогда, составим систему уравнений:

$$22,4(x + y) = 795$$

$$22,4(x - 2y) = 137$$

Тогда:

$$x = 25,70 \text{ моль}$$

$$y = 9,79 \text{ моль}$$

$$V(\text{O}_2) = 9,79 \cdot 22,4 = 219,3 \text{ дм}^3$$

$$V(\text{H}_2\text{S}) = 25,7 \cdot 22,4 = 575,7 \text{ дм}^3$$

Объёмная доля кислорода:

$$219,3 \cdot 100 \% / 795 = 27,6 \%$$

Объёмная доля сероводорода:

$$575,7 \cdot 100 \% / 795 = 72,4 \%$$

Разбалловка:

1. Определение соединения X — 2 балла, уравнения химических реакций — по 2 балла (всего 4 балла).
2. Определение объёмов — по 2 балла (всего 8 баллов).
3. Определение объёмных долей — по 3 балла (всего 6 баллов).

Итого: 20 баллов.

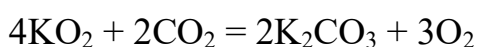
Задача 4

Как-то раз Лёшка рассказал своему другу Эдику, что в их городе недалеко от берега в большом озере есть затопленный старый военный корабль. Эдик очень воодушевился идеей проникнуть туда и найти что-то интересное для дедушки, который владел краеведческим музеем. Подготовка предстояла серьёзная: было необходимо раздобыть костюм для погружения, а также баллон с газовой смесью. Костюм Эдик раздобудет у дедушки в музее под покровом ночи, а вот с баллоном придётся повозиться. Лёшка был крупным специалистом в различных областях знаний, и он подсказал Эдику, что ему для погружения понадобится газовая смесь с повышенным содержанием кислорода, которую Лёшка сможет сделать, если Эдик предоставит ему 78,8 л кислорода (н. у.). Эдик быстренько смекнул, что может это сделать с помощью самостоятельно собранной установки, в которую он сможет дышать, а на выходе собирать чистый кислород. Установка работает на выдыхаемом воздухе человеком с использованием надпероксида калия.

1. Рассчитайте, сколько часов Эдику придётся дуть в свой аппарат и какую массу надпероксида калия загрузить в него, если за час Эдик выдыхает 15 л углекислого газа.
2. Для регенерации кислорода достаточно часто используется другое бинарное соединение, содержащее 58,97 % металла. Приведите уравнение реакции регенерации кислорода с участием этого соединения.
3. В каком массовом соотношении нужно смешать эти два соединения, чтобы в результате регенерации кислорода давление в замкнутой системе не менялось?

Примечание: при решении задачи содержанием кислорода в выдыхаемом воздухе пренебречь.

Решение:



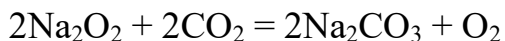
15 л в час это — $15 / 22,4 = 0,67$ моль CO_2

78,8 л это — $78,8 / 22,4 = 3,518$ моль O_2

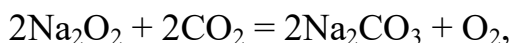
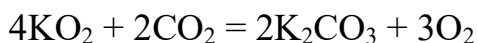
По уравнению реакции получается, что ему нужно надыхать 2,345 моль CO_2 , из чего следует: $2,345 / 0,67 = 3,5$ ч, а надпероксида потребуется 4,69 моль, что составляет:

$$4,69 \cdot 71,1 = 333,46 \text{ г.}$$

Другое соединение — Na_2O_2



Для того, чтоб давление в системе не менялось необходимо взять соотношение 1:1, так как согласно уравнениям реакций:



суммарно в левой части у нас четыре моль CO_2 , в правой четыре моль O_2 .

Тогда масса надпероксида калия $4 \cdot 71 = 284$ г, масса пероксида натрия $2 \cdot 78 = 156$ г. Массовая доля надпероксида калия $284 / (284 + 156) = 64,5$ %, для пероксида натрия 35,5 %.

Разбалловка:

1. Определение времени и массы — по 4 балла (всего 8 баллов).
2. Уравнение реакции — 2 балла.
3. Определение массового соотношения — 10 баллов.

Итого: 20 баллов.

Задача 5

Бинарное вещество **A** на 5,88 % по массе состоит из самого распространённого элемента во Вселенной, а второй элемент является самым распространённым в земной коре. Вещество **A**, несмотря на свою простоту, до сих пор находит

активное применение в медицине: особенно для обработки глубоких ран, ведь образование большого количества пены (реакция 1) при взаимодействии с ферментом каталазой обеспечивает размягчение тканей и более простое отделение патологических образований, что уменьшает время заживления.

1. Определите химическую формулу вещества **A** и напишите его название. Напишите реакцию 1.

Для приготовления 3 %-го медицинского раствора вещества **A** ($\rho = 1,009$ г/мл) используют его 30 %-й раствор ($\rho = 1,112$ г/мл).

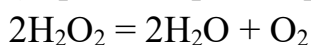
2. Определите объем 30 %-го раствора, необходимого для приготовления трёх литров 3 %-го раствора.

3. Какой объем газа (при н. у.) может выделиться при разложении трёх литров 3 %-го раствора вещества **A**?

4. Зная, что при разложении 1 моль вещества **A** выделяется 98 кДж энергии, найдите количество выделившейся энергии в пункте 3.

Решение:

1. Самый распространённый элемент во Вселенной — это водород, самый распространённый в земной коре — это кислород. Тогда, $n(\text{H}):n(\text{O}) = 5,88 / 1 : 94,12 / 16 = 1:1$, это H_2O_2 . До вещества **A** можно догадаться и по описанию (обработка ран, образование обильной пены, 3 % раствор).



2. Найдём массу 3 % раствора: $m_{3\%} = 3000 \cdot 1,009 = 3027$ г, найдём массу перекиси в нем: $m(\text{H}_2\text{O}_2) = 3027 \cdot 0,03 = 90,81$ г. Теперь найдём массу 30 % раствора, в котором перекиси 90,81 г: $m_{30\%} = 90,81 / 0,3 = 302,7$ г, найдём искомый объем: $V_{30\%} = 302,7 / 1,112 = 272,2$ мл.

3. В предыдущем пункте мы нашли, что самой перекиси 90,81 г, значит $n(\text{H}_2\text{O}_2) = 90,81 / 34 = 2,67$ моль, из уравнения реакции 1 видим, что количество кислорода в два раза меньше количества перекиси, значит $n(\text{O}_2) = 2,67 / 2 = 1,34$ моль. Объем кислорода равен $V(\text{O}_2) = 1,34 \cdot 22,4 = 30$ л.

4. Так как разложилось 2,67 моль перекиси, то выделилось энергии $2,67 \cdot 98 = 261,66$ кДж.

Разбалловка:

1. Вещество **A** — 2 балла, название — 2 балла, реакция — 2 балла.

2. Масса 3 % раствора — 2 балла, масса чистой перекиси — 2 балла, масса 30 % раствора — 2 балла, объем 30 % раствора — 2 балла. Или 8 баллов при верном расчёте объёма другими способами.

3. Количество вещества перекиси — 1 балл, количество вещества кислорода — 1 балл, объем кислорода — 2 балла.

4. Количество энергии — 2 балла.

Итого: 20 баллов.