

**Задание 1** (авторы А.С. Чубаров, В.А. Емельянов).

1. Названия посуды и оборудования: промывалка, чашка Петри, мерная колба, воронка химическая, химический стакан, ступка с пестиком, автоматический дозатор (пипетка, пипетор), мерный цилиндр, пробирки, штатив для пробирок (штатив с пробирками засчитывается за два ответа), газовая горелка (Бунзена), термометр, двугорлая колба, капельная воронка, обратный холодильник (шариковый или холодильник Аллина), прямой холодильник (Либиха), аллонж, колба круглодонная, насадка Вюрца, колба грушевидная, штатив с лапками. Установка на рисунке служит для перегонки (дистилляции) жидкостей.

2. Из описания солей, растворы которых содержатся в емкостях I-III, делаем вывод, о том, что в двух из этих емкостей находятся калиевые соли, в состав анионов которых входит хром (в виде простого вещества является одним из самых твердых металлов). Одна из них – это соль дихромат-аниона (аммонийная соль используется в опыте «вулкан на столе», анион придает солям оранжевую окраску), вторая – хромат-аниона (второй известный кислородсодержащий анион с хромом, желтая окраска).

В составе оставшегося раствора тоже присутствует какой-то один элемент 4 периода ПС. Фиолетовая окраска раствора, который используется для обработки открытых ран, возможность обнаружить эту соль в домашней аптечке и использовать ее для получения кислорода, прямо указывают на марганцовку, т.е. на перманганат калия.

В растворы 1-3 помещены сульфаты элементов 4 периода, занимающих три соседних места в ПС. Единственным сульфатом, раствор которого может вызвать покраснение опущенного в него простого вещества, является сульфат меди, выделяющий медь при взаимодействии с более активными металлами. Раствор сульфата меди имеет голубой цвет и находится в пробирке 1. Соседом меди справа в ПС является цинк, раствор сульфата которого не имеет окраски, следовательно, в пробирках находятся растворы сульфатов элементов, имеющих соседние, но меньшие порядковые номера в ПС, чем у меди. Этими элементами являются никель, раствор сульфата которого имеет зеленый цвет, и кобальт, раствор сульфата которого имеет розовый цвет.

Итак, в колбах I-III находятся: I –  $\text{KMnO}_4$  – перманганат калия, II –  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  – хромат калия, III –  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  – дихромат калия.

В пробирках 1-3 находятся: 1 –  $\text{CuSO}_4$ , 2 –  $\text{NiSO}_4$ , 3 –  $\text{CoSO}_4$ .

3. Уравнения реакций:  $2\text{KMnO}_4 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{O}_2 \uparrow$  [1];

$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{N}_2 \uparrow + \text{Cr}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$  [2];  $\text{CuSO}_4 + \text{Zn} \rightarrow \text{Cu} \downarrow + \text{ZnSO}_4$  [3];

$\text{CuSO}_4 + \text{Fe} \rightarrow \text{Cu} \downarrow + \text{FeSO}_4$  [4].

*Именно железо является соседом этих трех элементов слева. Поскольку сама реакция аналогична реакции [3], неверный выбор соседа этих трех элементов оценивается нулем баллов*

4. а) С разбавленным раствором гидроксида натрия не взаимодействуют  $\text{KMnO}_4$  и  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ .

Уравнения реакций:  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$  (изменение цвета раствора с оранжевого на желтый);

$\text{CuSO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$  (образование голубого осадка);

$\text{NiSO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$  (образование светло-зеленого осадка);

$\text{CoSO}_4 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Co}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$  (образование розового осадка; поскольку в некоторых реакциях и при определенных условиях получается гидроксид кобальта синего цвета, этот цвет тоже засчитывается);

б) С раствором сульфида натрия взаимодействуют все растворы.

Уравнения реакций:  $2\text{KMnO}_4 + 3\text{Na}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O} = 3\text{S}\downarrow + 2\text{MnO}_2\downarrow + 2\text{KOH} + 6\text{NaOH}$  (образование смеси бурого и бело-желтого осадков);

$2\text{K}_2\text{CrO}_4 + 3\text{Na}_2\text{S} + 8\text{H}_2\text{O} = 3\text{S}\downarrow + 2\text{Na}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]\downarrow + 4\text{KOH}$  (изменение цвета раствора с оранжевого на изумрудно-зеленый, образование бело-желтого осадка) или  $2\text{K}_2\text{CrO}_4 + 3\text{Na}_2\text{S} + 8\text{H}_2\text{O} = 3\text{S}\downarrow + 2\text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + 4\text{KOH} + 6\text{NaOH}$  (образование смеси серо-зеленого и бело-желтого осадков);

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 3\text{Na}_2\text{S} + 7\text{H}_2\text{O} = 3\text{S}\downarrow + 2\text{Na}_3[\text{Cr}(\text{OH})_6]\downarrow + 2\text{KOH}$  (изменение цвета раствора с оранжевого на изумрудно-зеленый, образование бело-желтого осадка) или  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 3\text{Na}_2\text{S} + 7\text{H}_2\text{O} = 3\text{S}\downarrow + 2\text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + 2\text{KOH} + 6\text{NaOH}$  (образование смеси серо-зеленого и бело-желтого осадков);

$\text{CuSO}_4 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{CuS}\downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$  (образование черного осадка);

$\text{NiSO}_4 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{NiS}\downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$  (образование черного осадка);

$\text{CoSO}_4 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{CoS}\downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$  (образование черного осадка);

### Система оценивания:

1. Посуда, оборудование, назначение установки по 0,5 б .....  $0,5 \cdot 22 = 11$  б.
  2. Формулы солей по 0,5 б, соответствие номеру по 0,5 б, названия по 0,5 б  $(0,5 + 0,5) \cdot 6 + 0,5 \cdot 3 = 7,5$  б.
  3. Уравнения реакций по 1 б .....  $1 \cdot 4 = 4$  б.
  4. Верное указание «не идет» / «идет» по 0,5 б (наличие уравнения, даже неверного, расценивается как ответ «идет»), неверное указание минус 0,5 б, но в целом за ответ на вопрос «не идет» / «идет» не меньше 0 баллов. Верные уравнения реакций по 1 б, все признаки для каждой реакции по 0,5 б .....  $0,5 \cdot 12 + (1 + 0,5) \cdot 9 = 19,5$  б.
- Всего ..... 42 балла.**

### Задание 2. (авторы В.А. Емельянов, Р.А. Бредихин)

1. Поскольку все минералы – это либо соединения железа с кислородом, либо с серой, формула каждого из них может быть представлена в виде  $\text{Fe}_n\text{O}_m$  (либо  $\text{Fe}_n\text{S}_{m/2}$ , т.к. атомная масса серы ровно в 2 раза больше атомной массы кислорода), где  $n$  и  $m$  для разных минералов разные.

Для минерала **А** отношение  $n : m = 72,4/56 : (100-72,4)/16 = 1,293 : 1,725 = 1 : 1,33 = 3 : 4$ , формула оксида  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (такой есть), сульфида  $\text{Fe}_3\text{S}_2$  (такого нет). То есть **А** –  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Для минерала **Б** отношение  $n : m = 70/56 : (100-70)/16 = 1,25 : 1,875 = 1 : 1,5 = 2 : 3$ , формула оксида  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (такой есть), сульфида  $\text{Fe}_2\text{S}_{1,5}$  или  $\text{Fe}_4\text{S}_3$  (такого нет). То есть **Б** –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Для минерала **В** отношение  $n : m = 46,6/56 : (100-46,6)/16 = 0,832 : 3,338 = 1 : 4$ , формула оксида  $\text{FeO}_4$  (такого нет), сульфида  $\text{FeS}_2$  (такой есть). То есть **В** –  $\text{FeS}_2$ .

2. **А** –  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – магнетит (магнитный железняк), оксид железа (II, III). Собственное название – железная окалина – происходит от способа получения этого соединения накаливанием, т.е. нагреванием до температуры красного или белого каления железа на воздухе.

**Б** –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – гематит (красный железняк, железный блеск), оксид железа (III).

**В** –  $\text{FeS}_2$  – пирит (железный колчедан, серный колчедан), дисульфид железа (II). Собственное название – золото глушцов или золото дураков – происходит от того, что не очень умные золотоискатели путали золотистые блестящие кристаллы пирита с настоящим золотом.

3. Уравнения реакций:  $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4_{\text{разб}} \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\uparrow$ ,

$\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2\text{SO}_4_{\text{разб.}} \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4_{\text{разб.}} \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ ,

$\text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4_{\text{разб.}} \neq$  не идет.

4. Уравнения реакций:  $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{t, \text{ }^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2\uparrow$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{C} \xrightarrow{t, \text{ }^\circ\text{C}} 3\text{Fe} + 4\text{CO}$ ,

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \xrightarrow{t, \text{ }^\circ\text{C}} 2\text{Fe} + 3\text{CO}$ . Отметим, что в п. 6 условия изначально предполагалось указание на то, что углерод окисляется до высшего оксида в процессе нагрева печи, однако неполная однозначность трактовки этой фразы предполагает, что в качестве правильных ответов в п. 4 и в п. 6 будет также засчитано и окисление кокса до углекислого газа. Это вполне оправдано, поскольку CO тоже работает как восстановитель оксидов железа, окисляясь до углекислого газа.

5. Масса минерала А в 1 тонне этой руды составляет  $0,7 \cdot 1000 = 700$  кг, масса железа  $0,724 \cdot 700 = 506,8$  кг. Масса железа в готовом чугуна  $0,96 \cdot 490 = 470,4$  кг. Эффективность (выход) процесса выплавки железа в этой смене составляет  $470,4/506,8 = 0,928$  или 92,8 %.

6. Количество минерала А в 1 тонне руды составляло  $700/232 = 3,017$  кмоль. При окислении кокса до угарного газа в процессе получения железа (п. 4) расход кокса на восстановление составит  $3,017 \cdot 4 \cdot 12 = 144,8$  кг, при окислении до углекислого газа (как можно понять из п. 6 условия) расход будет в 2 раза меньше  $3,017 \cdot 2 \cdot 12 = 72,4$  кг. Масса кокса, вошедшего в состав чугуна, составила  $0,04 \cdot 490 = 19,6$  кг. Масса кокса, израсходованная на нагрев доменной печи,  $500 - 144,8 - 19,6 = 335,6$  кг либо  $500 - 72,4 - 19,6 = 408$  кг. Это составляет  $335,6/500 = 0,671$  либо  $408/500 = 0,816$  от общей массы кокса.

7. Средняя плотность человеческого тела варьируется от 0,93 (при вдохе) до 1,07 (при выдохе) г/см<sup>3</sup>, поэтому для нашей оценки вполне логично принять ее равной 1 г/см<sup>3</sup>. Средняя масса мужчины средних лет от 70 до 80 кг, для оценки возьмем 75 кг. Масса такого мужчины, если его перековать в Железного Дровосека, составит  $(1-0,2) \cdot 7,9 \cdot 75/1 = 474$  кг, иначе говоря, 450-500 кг. Массой воздуха (и доброго сердца, конечно) внутри Железного Дровосека однозначно можно пренебречь.

#### Система оценивания:

1. Расчет формул по 2 б. (подтверждение расчетом по 1 б.), отказ от несуществующего соединения с другим элементом по 0,5 б .....  $(2+0,5) \cdot 3 = 7,5$  б.
2. Названия по 1 б, происхождение собственных названий по 1 б.....  $1 \cdot (8+2) = 10$  б.
- 3-4. Уравнения реакций по 1 б., отсутствие реакции 0,5 б .....  $1 \cdot 6 + 0,5 = 6,5$  б.
5. Эффективность 3 б ..... 3 б.
6. Масса кокса на восстановление 2 б, масса в чугуне 2 б., доля на нагрев 2 б. (если не учтен углерод, пошедший на образование чугуна, то 1 б.) .....  $2+2+2 = 6$  б.
7. Обоснованная оценка массы 3 б ..... 3 б.
- Всего** ..... **36 баллов.**

#### Задание 3 (авторы В.А. Емельянов, М.П. Юткин).

1. То, что неизвестное вещество – кислород (O<sub>2</sub>), легко установить по его содержанию в атмосфере и даже по внешнему виду при 70 К. Проверим молярную массу, которую легко посчитать из заданного значения плотности при н.у.:  $1,429 \cdot 22,4 = 32$  г/моль, что и требовалось доказать.

2. Характеристики молекул: 1, 3, 9, 12, 13, 14. Характеристики вещества: 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 15, 16.

3. В 1 мл растворяется  $4,89 \cdot 10^{-2}$  мл или  $4,89 \cdot 10^{-5}$  л кислорода, что составит  $4,89 \cdot 10^{-5}/22,4 = 2,183 \cdot 10^{-6}$  моля или  $2,183 \cdot 10^{-6} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,31 \cdot 10^{18}$  молекул. Масса кислорода составит  $2,183 \cdot 10^{-6} \cdot 32 = 6,986 \cdot 10^{-5}$  г, масса раствора примерно 1 г, отсюда массовая доля кислорода примерно  $7 \cdot 10^{-3}$  %.

4. Количество кислорода в 100 г равно  $100/32 = 3,125$  моля. В интервале температуры от 70 до 90 К кислород представляет собой жидкость. Следовательно, для расчета количества тепла необходимо использовать теплоемкость жидкого кислорода, которая и показывает, сколько тепла надо затратить, чтобы нагреть 1 моль жидкого кислорода на 1 градус. Таким образом, количество тепла получится  $3,125 \cdot 55,7 \cdot (90-70) = 3481,25$  Дж или примерно 3,48 кДж.

5. Допустим, соединения не являются смешанными оксидами и имеют состав M<sub>2</sub>O<sub>x</sub> и M<sub>2</sub>O<sub>y</sub>. По процентному содержанию металла составим два уравнения:  $2M/(2M + 16x) = 0,83$  и  $2M/(2M + 16y) = 0,71$ , решив которые, получим M = 39,1x и M = 19,6y. Единственное разумное решение получается при x=1 и y=2: M = K. Таким образом, состав соединений K<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (KO). Формулы и названия: K<sub>2</sub>O - оксид (окись) калия, K<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - пероксид (перекись) калия.

#### Система оценивания:

1. Кислород или O<sub>2</sub> 2 б, подтверждение расчетом 2 б .....  $2+2 = 4$  б.
2. Верное соответствие 1 б, неверное минус 1 б, но в целом за п.2 не < 0 б.....  $1 \cdot 6 + 1 \cdot 10 = 16$  б.
3. Число молекул 3 б, массовая доля 2 б .....  $3+2 = 5$  б.
4. Расчет количества тепла 3 б ..... 3 б.
5. Атомная масса металла 2 б, состав по 1 б (KO засчитывается только здесь), формулы K<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O<sub>2</sub> по 1 б, названия по 1 б .....  $2+1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 2 = 8$  б.
- Всего** ..... **36 баллов.**