**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 – KMnO_4 – перманганат калия, II – K_2CrO_4 – хромат калия, III – $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – дихромат калия.

В пробирках 1-3 находятся: 1 – CuSO_4 , 2 – NiSO_4 , 3 – 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]; $4\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 4\text{K}_2\text{CrO}_4 + 2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{O}_2\uparrow$ [3];

$2(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{NH}_3\uparrow + \text{N}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$ [4]; $\text{CuSO}_4 + \text{Zn} \rightarrow \text{Cu}\downarrow + \text{ZnSO}_4$ [5];

$\text{CuSO}_4 + \text{Fe} \rightarrow \text{Cu}\downarrow + \text{FeSO}_4$ [6].

Именно железо является соседом этих трех элементов слева. Поскольку сама реакция аналогична реакции [5], неверный выбор соседа этих трех элементов оценивается нулем баллов

4. а) С раствором гидрокарбоната натрия не взаимодействуют KMnO_4 и K_2CrO_4 .

Уравнения реакций: $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ (изменение цвета раствора с оранжевого на желтый, выделение газа);

$2\text{CuSO}_4 + 4\text{NaHCO}_3 \rightarrow (\text{CuOH})_2\text{CO}_3\downarrow + 2\text{Na}_2\text{SO}_4 + 3\text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ (выделение газа, образование зеленого осадка);

$\text{NiSO}_4 + 2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{NiCO}_3\downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ (выделение газа, образование зеленого осадка);

$\text{CoSO}_4 + 2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{CoCO}_3\downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ (выделение газа, образование розового осадка);

В случае никеля и кобальта для получения чистых карбонатов реакции проводят в атмосфере CO_2 , иначе осадки содержат и основные карбонаты тоже. Поэтому уравнения реакций с образованием основных карбонатов никеля и кобальта также засчитываются как правильные.

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..... $1 \cdot 6 = 6$ 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 (кроме сульфатов с сульфидом) по 1 б., реакции сульфатов с сульфидом по 0,5 б., все признаки для каждой реакции по 0,5 б $0,5 \cdot 12 + (1+0,5) \cdot 7 + (0,5+0,5) \cdot 3 = 19,5$ б.

Всего **44 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 Fe_nO_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 Fe_3O_4 (такой есть), сульфида Fe_3S_2 (такого нет). То есть **А** – Fe_3O_4 .

Для минерала **Б** отношение $n : m = 70/56 : (100-70)/16 = 1,25 : 1,875 = 1 : 1,5 = 2 : 3$, формула оксида Fe_2O_3 (такой есть), сульфида $\text{Fe}_2\text{S}_{1,5}$ или Fe_4S_3 (такого нет). То есть **Б** – Fe_2O_3 .

Для минерала **В** отношение $n : m = 46,6/56 : (100-46,6)/16 = 0,832 : 3,338 = 1 : 4$, формула оксида FeO_4 (такого нет), сульфида FeS_2 (такой есть). То есть **В** – FeS_2 .

2. **А** – Fe_3O_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 – Fe_2O_3 – гематит (красный железняк, железный блеск), оксид железа (III).

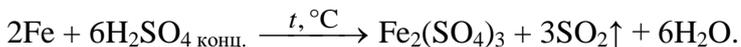
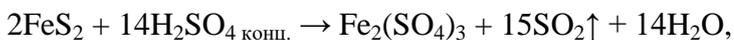
В – FeS_2 – пирит (железный колчедан, серный колчедан), дисульфид железа (II). Собственное название – золото глупцов или золото дураков – происходит от того, что не очень умные золотоискатели путали золотистые блестящие кристаллы пирита с настоящим золотом.

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

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

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

б) $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 10\text{H}_2\text{SO}_4_{\text{конц.}} \rightarrow 3\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_2\uparrow + 10\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4_{\text{конц.}} \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$,



$\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4_{\text{конц.}} \neq$ при комнатной температуре не идет.



$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 2\text{Fe} + 3\text{CO}$. 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/см³, поэтому для нашей оценки вполне логично принять ее равной 1 г/см³. 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, их отсутствие по 0,5 б (если нет уравнения реакции железа с горячей конц. кислотой, но написано, что не реагирует, то 0,5 б.) | $1 \cdot 10 + 0,5 = 10,5$ б. |
| 5. Эффективность 3 б | 3 б. |
| 6. Масса кокса на восстановление 2 б, масса в чугуна 2 б., доля на нагрев 1 б. (если не учтен углерод, пошедший на образование чугуна, то 0,5 б.) | $2+2+1 = 5$ б. |
| 7. Обоснованная оценка массы 3 б | 3 б. |
| Всего | 39 баллов. |

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

1. То, что неизвестное вещество – кислород (O₂), 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 воды 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. $O_2 = O_2^+ + e$ (3); $O_2 + e = O_2^-$ (9); $O_{2(ж)} = O_{2(газ)}$ (10); $O_2 + H^+ = HO_2^+$ (12); $O_2 = 2O$ (13). Процессы 3, 10 и 13, безусловно, идут с затратами энергии, т.е. эндотермические. Поскольку энергетические характеристики процессов 9 и 12 имеют противоположный знак, то эти процессы как раз и являются экзотермическими.

6. Допустим, соединения не являются смешанными оксидами и имеют состав M_2O_x и M_2O_y . 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 $y=2$: $M = K$. Помимо оксида (K_2O) и пероксида (K_2O_2), с элементом кислородом калий образует еще надпероксид (KO_2) и озонид (KO_3).

Система оценивания:

1. Кислород или O_2 2 б, подтверждение расчетом 1 б $2+1 = 3$ б.
 2. Верное соответствие 1 б, неверное минус 1 б, но в целом за пункт не меньше 0 баллов
 $1*6+1*10 = 16$ б.
 3. Число молекул 2 б, массовая доля 2 б..... $2+2 = 4$ б.
 4. Расчет количества тепла 3 б..... **3 б.**
 5. Уравнения реакций по 1 б., экзотерм. процессы по 1 б. (если выбран хотя бы один неверный ответ, то за этот подпункт 0 б.) $1*5+1*2 = 7$ б.
 6. Атомная масса металла 2 б, состав оксида и пероксида по 1 б (КО засчитывается только здесь), формулы и названия K_2O , K_2O_2 , KO_2 и KO_3 по 1 б..... $2+1*2+1*4+1*4 = 12$ б.
- Всего45 баллов.**