**Задание 1. (автор А.С. Чубаров).**

1. Таблица Мазурса наглядно демонстрирует типы (классы, блоки) элементов: s-, p-, d- и f-элементы. В этой таблице хорошо видны электронные аналоги элемента, и можно легко определять электронное строение атома.

2. Соответствия элементов описанию и химическим реакциям:

| № | Элемент | Реакция  |
|---|---------|--|
| 1 | Fe      | а $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$ (для Fe можно зачесть также реакции е) и г), но тогда не найдется подходящей реакции для Pb или Al) |
| 2 | Si      | в $2\text{SiF}_4 + 3\text{H}_2\text{O} = \alpha\text{-H}_2\text{SiO}_3 (\text{SiO}_2 \times x\text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2[\text{SiF}_6] + 2\text{HF}$  |
| 3 | Cl      | б $3\text{Cl}_2 + 6\text{KOH} \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{KClO}_3 + 5\text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O}$   |
| 4 | Pb      | е $3\text{Pb} + 2\text{O}_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} \text{Pb}_3\text{O}_4$   |
| 5 | Ag      | д $2\text{AgNO}_3 = 2\text{Ag} + 2\text{NO}_2 + \text{O}_2$  |
| 6 | Al      | г $\text{AlCl}_3 + 3\text{NH}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{NH}_4\text{Cl}$ ;  |

3. Уравнения реакций [1]-[7]: [1]  $3\text{Si} + 4\text{HNO}_3 + 18\text{HF} = 3\text{H}_2[\text{SiF}_6] + 4\text{NO} + 8\text{H}_2\text{O}$ ;

[2]  $\text{Si} + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2$ ; [3]  $\text{MnO}_2 + 4\text{HCl} = \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ;

[4]  $\text{Ag} + 2\text{HNO}_3 = \text{AgNO}_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ; [5]  $2\text{Al} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2$ ;

[6]  $2\text{Al} + 6\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2$ ; [7]  $2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 3\text{H}_2$ .

Ответы на вопросы, присутствовавшие в тексте задачи при описаниях элементов 1 и 6:

Минерал пирит используется для получения серной кислоты.

Алюминий не реагирует при обычных условиях с водой из-за прочной оксидной пленки на его поверхности (пассивации поверхности). Если удалить оксидную пленку в отсутствие кислорода (например, под слоем ртути), алюминий легко реагирует с водой.

**Система оценивания:**

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. Тип элемента, электронные аналоги и электронное строение по 1 б.   | 1*3 = 3 б.            |
| 2. Верная пара номер-элемент и элемент-реакция по 1 б.  | (1+1)*6 = 12 б.       |
| 3. Верные коэффициенты в уравнениях реакций а-е по 0,5 б, уравнения реакций [1-7] по 1 б., получение серной кислоты, прочная оксидная пленка алюминия по 1 б. | 0,5*6+1*7+1*2 = 12 б. |
| <b>Всего:</b>   | <b>27 баллов.</b>     |

**Задание 2. (авторы Е.Д. Столярова, И.А. Гаркуль, В.А. Емельянов).**

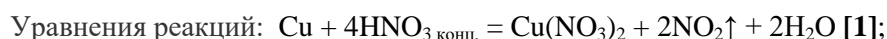
1. Как известно, золото – довольно мягкий металл. При "пробе на зуб" на первой монете должна была остаться вмятина (или та же царапина), внешний вид металла под которой ничем не отличался от металла на поверхности монеты.

Для вычисления массы золотого остатка, полученного алхимиком, вычислим массу монеты, а потом умножим ее на массовую долю золота (или вычтем растворенный остаток).

$$M_{\text{монеты}} = 1,25 / (1 - 0,9167) = 15,0 \text{ г. } m_{\text{Au}} = 15 * 0,9167 = 15 - 1,25 = 13,75 \text{ г.}$$

Если из условия не очевидно, что алхимик взял для растворения большой избыток азотной кислоты, можно легко провести оценку:  $1,25 / M_{\text{металла}} \ll v_{\text{HNO}_3} = 50 * 1,367 * 0,6 = 41 \text{ моль}$ .

По описанию (синий раствор нитрата, светло-голубой гидроксид, черный оксид, красно-розовый металл) можно утверждать, что металл X – медь. Бурый газ, образующийся в реакции металла с концентрированной (60 %) азотной кислотой – диоксид азота.



2. Увеличение массы трубки со щелочью произошло именно за счет массы NO<sub>2</sub> (образующаяся в ходе этой реакции вода также останется в трубке вследствие высокой гигроскопичности твердой щелочи, которой большой избыток). Количество растворившейся меди  $\nu_{\text{Cu}} = 1,25/63,5 = 0,0197$  моля, количество выделившегося NO<sub>2</sub>  $2 \cdot 0,0197 = 0,0394$  моля. Увеличение массы трубки со щелочью (масса NO<sub>2</sub>)  $46 \cdot 0,0394 = 1,81$  г.

Если ошибочно посчитать, что вода не задержится сухой щелочью, получится  $(46-18) \cdot 0,0394 = 1,1$  г.

3. Масса синего раствора включает в себя сумму масс азотной кислоты и меди за вычетом выделившегося диоксида азота. Масса азотной кислоты  $m_{\text{к-ты}} = 50 \cdot 1,367 = 68,35$  г,  $M_{\text{раствора}} = 68,35 + 1,25 - 1,81 = 67,79$  г. Масса соли (нитрата меди) в этом растворе  $0,0197 \cdot (63,5 + 2 \cdot 62) = 3,69$  г, ее массовая доля  $\omega = 3,69/67,79 = 0,0544$  или 5,44 %.

4. Количество нитрата меди в половине синего раствора  $0,0197/2 = 0,00985$  моль. Средняя молярная масса полученного кристаллогидрата  $2,82/0,00985 = 286,3$  г/моль. За вычетом массы безводного нитрата меди ( $63,5 + 2 \cdot 62 = 187,5$  г/моль) получается 98,8 г/моль, что соответствует  $98,8/18 \approx 5,5$  молей воды на один моль безводной соли.

5-7. Дешевый металл **Y**, притягивающийся к магниту и растворяющийся в соляной кислоте с образованием зеленого раствора, который со щелочью дает буряющий на воздухе гидроксид, – это железо.

Железо не растворяется в концентрированной азотной кислоте, поскольку оно в ней пассивируется с образованием плотной пленки Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, препятствующей его дальнейшему окислению и растворению.

Уравнения реакций [8] – [10]:  $\text{Fe} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2 \uparrow$  [8];  $\text{FeCl}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Fe}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NaCl}$  [9];

$4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3$  [10].

Вычислим массу железа в монете по количеству выделившегося водорода. Оно равно  $2,69/22,4 = 0,12$  моль. Тогда масса растворенного железа составит  $0,12 \cdot 56 = 6,7$  г.

По условию, монеты одинаковые по размеру, а плотность золота ( $19,32$  г/см<sup>3</sup>) больше плотности железа ( $7,874$  г/см<sup>3</sup>) в два с лишним раза. Собственно, из без этих справочных данных наши оценки массы монет тоже отличаются более, чем в два раза ( $15$  г и  $6,7$  г – при составлении задачи авторы отталкивались от размера современной 5-рублевой монеты). Такую разницу в массах легко можно почувствовать и без весов, просто оценивая их тяжесть «на руке».

8. Бинарное соединение **A** при прокаливании без доступа воздуха дает простое вещество **B**, очень похожее на серу, и другое бинарное соединение **Б**. Прокаливание и **A**, и **Б** на воздухе приводит к образованию газа, очень похожего на сернистый: резкий кислый запах и обесцвечивание раствора перманганата калия. Следовательно, и **A**, и **Б** содержат серу и являются сульфидами металла **Z**, при прокаливании которых на воздухе образуется оксид этого металла **Г** (прокаливание этого оксида в водороде дает металл **Z**). Следовательно, **B** – сера, **Д** – SO<sub>2</sub>.

Установим металл **Z** по его содержанию в оксиде. Пусть его формула будет Z<sub>2</sub>O<sub>k</sub>.

$\omega_Z = 0,0788/0,1 = 0,788 = 2M_Z/(2M_Z + 16k)$ , откуда  $M_Z = 29,7k$ . Единственное разумное решение, отвечающее условию задачи, получается при  $k = 4$ ,  $M_Z = 118,8$ . Отсюда **Z** = Sn, **Г** = SnO<sub>2</sub>.

Вычислим состав вещества **A**. Пусть его формула будет SnS<sub>x</sub>. При его превращении в SnO<sub>2</sub> теряется 17,54 % массы, следовательно, молярная масса SnO<sub>2</sub> составляет  $100 - 17,52 = 82,48$  % от **A**. Тогда  $(118,7 + 32)/(118,7 + 32x) = 0,8248$ , откуда  $x = 2$ , **A** = SnS<sub>2</sub>. Потеря массы 17,54 % – это 32 г на каждый моль SnS<sub>2</sub>, следовательно, при прокаливании одного моля SnS<sub>2</sub> без доступа воздуха теряется ровно один моль атомов серы. Таким образом, **Б** – SnS.

9. Уравнения реакций [6], [7], [11] – [16]:  $\text{SnS}_2 + 16\text{HNO}_3(\text{к}) = 16\text{NO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} + (6-x)\text{H}_2\text{O}$  [6];

$\text{SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} + 6\text{HCl}(\text{к}) = \text{H}_2[\text{SnCl}_6] + (2+x)\text{H}_2\text{O}$  [7];  $\text{SnS}_2 \xrightarrow{600^\circ\text{C}} \text{SnS} + \text{S} \uparrow$  [11];  $\text{SnS} + 2\text{O}_2 \xrightarrow{t,^\circ\text{C}} \text{SnO}_2 + \text{SO}_2 \uparrow$  [12];

$\text{SnO}_2 + 2\text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{Sn}(\text{OH})_6$  [13];  $5\text{SO}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$  [14];

$\text{SnS}_2 + 3\text{O}_2 \xrightarrow{t,^\circ\text{C}} \text{SnO}_2 + 2\text{SO}_2 \uparrow$  [15];  $\text{SnO}_2 + 2\text{H}_2 \xrightarrow{t,^\circ\text{C}} \text{Sn} + 2\text{H}_2\text{O} \uparrow$  [16].

10. Тончайшие листы настоящего золота, также как и дисульфид олова, используемые для золочения поверхностей, обычно называют сусальным (иногда муссивным) золотом.

#### Система оценивания:

|  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. Вмятина 1 б. масса остатка 2 б., медь 1 б., уравнения по 1 б.   | $1+2+1+1 \cdot 5 = 9$ б. |
| 2. Увеличение массы трубки со щелочью 4 б. (без учета воды 2 б.)   | 4 б.                     |
| 3. Верно рассчитанная массовая доля соли 4 б. (не учет массы выделившегося газа 2 б., не учет массы растворившейся меди 2 б., несмотря на то, что все ответы будут близки с точностью до десятых). | 4 б.                     |
| 4. Расчет количества кристаллизационной воды 4 б.  | 4 б.                     |

|   |                  |
|---|------------------|
| 5. Железо 1 б., его масса 2 б., пассивация 1 б. | $1+2+1 = 4$ б.   |
| 6. По тяжести 1 б.                              | 1 б.             |
| 7. Уравнения реакций 8-10 по 1 б.               | $1*3 = 3$ б.     |
| 8. Олово 1 б., вещества А, Б, В, Г, Д по 1 б.   | $1+1*5=6$ б.     |
| 9. Уравнения реакций 6, 7, 11-16 по 1 б.        | $1*8 = 8$ б.     |
| 10. Сусальное (муссивное) золото 1 б.           | 1 б.             |
| <b>Всего:</b>                                   | <b>44 балла.</b> |

### Задание 3. (авторы О.Г. Сальников, В.А. Емельянов).

1. По описанию соединения А (цвет, происхождение названия, лёгкость возгонки, настойка в аптечке, добавка к соли) несложно понять, что элемент X – это I (йод), а А = I<sub>2</sub>. Уравнения реакций, характеризующих химические свойства А:  $2P + 3I_2 = 2PI_3$ ;  $I_2 + 5F_2 = 2IF_5$ ;  $I_2 + 3Cl_2 = 2ICl_3$  (I<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>);  $I_2 + Br_2 = 2IBr$ ;  $I_2 + 2Na = 2NaI$ ;  $3I_2 + 2Al = 2AlI_3$ ;  $I_2 + Zn = ZnI_2$ ;  $3I_2 + 2Cr = 2CrI_3$ ;  $I_2 + Fe = FeI_2$  (или Fe<sub>3</sub>I<sub>8</sub>);  $I_2 + 2Cu = 2CuI$ .

2. Молекула иода состоит из двух атомов. Молярная масса I<sub>2</sub>  $2*127 = 254$  г/моль. Количество иода в кусочке  $v = 7,62/254 = 0,03$  моля. Ответы на вопросы: а) количество молекул  $n = v*N_A = 0,03*6,02*10^{23} = 1,8*10^{22}$  штук; б) количество протонов в одном атоме иода – это его порядковый номер 53. Умножаем на количество атомов (их в молекуле 2) и получаем  $53*2*1,8*10^{22} = 1,91*10^{24}$  штук; в) количество нейтронов, приходящееся на 1 атом иода в среднем – это атомная масса без учета протонов  $127-53 = 74$ . Умножаем на количество атомов и получаем  $74*2*1,8*10^{22} = 2,66*10^{24}$  штук.

3. Общая масса настойки составит  $7,62 + 1,5 + 750*0,8 + 75*1 = 684,12$  г. Ответы на вопросы: а) массовая доля вещества иода  $7,62/684,12 = 0,0111$  или 1,1 %; б) массовая доля этилового спирта  $0,96*750*0,8/684,12 = 0,842$  или 84,2 %; в) массовая доля элемента иода в соединении калия с иодом KI составляет  $127/(127+39) = 0,765$ , т.е. в 1,5 г KI его содержится  $0,765*1,5 = 1,15$  г. Всего элемента иода в настойке  $1,15 + 7,62 = 8,77$  г, общая массовая доля иода в настойке  $8,77/684,12 = 0,0128$  или 1,28 %.

4. Вещество Б является соединением иода с натрием, следовательно, его формула NaI, а название – иодид натрия. Уравнение реакции добычи иода из морской воды:  $2NaI + Cl_2 = 2NaCl + I_2$ . При избытке хлора иод будет окисляться далее:  $I_2 + 5Cl_2 + 6H_2O = 2HIO_3 + 10HCl$ .

В одном кубометре морской воды содержится до 0,06 г иода или  $0,06/127 = 4,72*10^{-4}$  моль атомов иода. Для получения 7,62 г иода потребуется  $7,62/0,06 = 127$  м<sup>3</sup> морской воды.

В 1 кг поваренной соли содержится  $6*10^{-3}*10^{-2}*1000 = 6*10^{-2}$  г или  $6*10^{-2}/166 = 3,61*10^{-4}$  моль иодида калия. Соответственно, для получения одного пакета такой соли требуется  $3,61*10^{-4}$  моль атомов иода. Морской воды потребуется  $3,61*10^{-4}/4,72*10^{-4} \approx 0,763$  м<sup>3</sup> или около 763 л.

5. При взаимодействии иода со щелочью образуются иодид натрия (Б) и, в зависимости от условий, иодат либо гипоиодит натрия. Выбор в пользу иодата делаем на основании содержания в нем кислорода (24,2 %). В = NaIO<sub>3</sub> (иодат натрия). Если посмотреть на дальнейшее описание химии соединений, то мы видим, что кислоту Г, соответствующую соли В, получают растворением иода в концентрированной азотной кислоте, откуда следует, что Г = HIO<sub>3</sub> (иодноватая кислота). Нагреванием иодноватой кислоты выше 200 °С получают соответствующий ей оксид I<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = Д (оксид иода(V), иодноватый ангидрид). При окислении иодата натрия в щелочном растворе образуется Na<sub>3</sub>H<sub>2</sub>IO<sub>6</sub> = Е (дигидроортопериодат натрия), а при его обработке азотной кислотой – соответствующая ему кислота Ж = H<sub>5</sub>IO<sub>6</sub> (ортоиодная кислота), содержащая 42,1 % кислорода, что соответствует условию.

Уравнения реакций:  $3I_2 + 6NaOH = 5NaI + NaIO_3 + 3H_2O$ ;  $I_2 + 10HNO_3 = 2HIO_3 + 10NO_2 + 4H_2O$ ;

$2HIO_3 = I_2O_5 + H_2O$ ;  $NaIO_3 + 4NaOH + Cl_2 = Na_3H_2IO_6 + 2NaCl + H_2O$ ;  $Na_3H_2IO_6 + 3HNO_3 = H_5IO_6 + 2NaNO_3$ .

#### Система оценивания:

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. Элемент X (I), вещество А (I <sub>2</sub> ) по 2 б. за формулы (ответ иод по 1 б., йод – по 0,5 б.), уравнения реакций по 1 б.   | $2*2+1*10 = 14$ б.    |
| 2. Верные расчеты количества по 2 б.  | $2*3 = 6$ б.          |
| 3. Верный расчет массы раствора 2 б., каждой из массовых долей еще по 2 б.  | $2*4 = 8$ б.          |
| 4. Формула и название Б по 1 б., уравнение реакции 1 б., расчеты объемов морской воды по 3 б. (второй ответ около 1 м <sup>3</sup> , без учета массы калия 1 б.)                  | $1*3+3*2 = 9$ б.      |
| 5. Формулы В-Ж по 1 б., названия В-Ж по 1 б., уравнения реакций по 1 б.<br>Ответ Na <sub>3</sub> IO <sub>6</sub> = Е (ортопериодат натрия) оценивается в 0,5+1 б., реакция 0,5 б. | $(1+1)*5+1*5 = 15$ б. |
| <b>Всего:</b>   | <b>52 балла.</b>      |