

**Задание 1. (автор Н.В. Рубан).**

1-2. Вычислим массу А, которую можно получить из 420 м<sup>3</sup> СО при 100 % выходе:

$$m(\mathbf{A})_{\text{теор}} = m(\mathbf{A})_{\text{практ}} * 100 \% / \eta = 560 * 100 / 80 = 700 \text{ кг.}$$

Количество моль СО, затраченное на восстановление А составит:

$$n(\text{СО}) = V(\text{СО}) / V_m = 420000 / 22,4 = 18750 \text{ моль.}$$

Поскольку гематит является оксидным минералом, запишем его формулу как  $\mathbf{A}_x\text{O}_y$  и напишем уравнение реакции [1] в общем виде:  $\mathbf{A}_x\text{O}_y + y\text{СО} = x\mathbf{A} + y\text{СО}_2$ . Таким образом,  $M(\mathbf{A}) = m(\mathbf{A}) / n(\mathbf{A}) = m(\mathbf{A}) * y / (n(\text{СО}) * x) = 700000y / (18750x) = 37,33y/x$ . Проверим получающиеся значения молярных масс А при различных целочисленных значениях у и х, характерных для оксидов металлов:

$y = x \Rightarrow M(\mathbf{A}) = 37,33 \text{ г/моль}$  – металла с такой молярной массой не существует.

$y = 4, x = 3 \Rightarrow M(\mathbf{A}) = 4 * 37,33 / 3 = 49,8 \text{ г/моль}$  – металла с такой молярной массой не существует.

$y = 3, x = 2 \Rightarrow M(\mathbf{A}) = 1,5 * 37,33 = 56,0 \text{ г/моль}$  – Fe.

$y = 2, x = 1 \Rightarrow M(\mathbf{A}) = 2 * 37,33 = 74,7 \text{ г/моль}$  – As – не подходит.

$y = 5, x = 2 \Rightarrow M(\mathbf{A}) = 2,5 * 37,33 = 93,3 \text{ г/моль}$  – металла с такой молярной массой не существует.

Проверка дальнейших соотношений не имеет смысла, поскольку приведет к более высоким значениям молярной массы, а настолько тяжелый элемент не может оказаться вторым среди металлов по распространенности в земной коре.

Итак, металл А – железо, гематит –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , уравнение реакции – [1]  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{СО} = 2\text{Fe} + 3\text{СО}_2$ .

3. Масса железа, необходимая для производства костюма,  $m(\mathbf{A}) = 41 * 0,60 = 24,6 \text{ кг}$ .

Масса руды, в которой содержится необходимое количество железа  $m(\text{руды}) = 24,6 / 0,24 = 102,5 \text{ кг}$ . Поскольку А из руды можно получить с выходом 75%, руды для производства «Mark I» потребуется  $m(\text{руды})_{\text{практ}} = 102,5 / 0,75 = 136,7 \text{ кг}$ .

4. Уравнения реакций: [2]  $2\text{Fe} + 3\text{Cl}_2 = 2\text{FeCl}_3$  (соединение В); [3]  $2\text{FeCl}_3 + \text{Cu} = 2\text{FeCl}_2 + \text{CuCl}_2$ ; [4]  $\text{Fe} + 2\text{HCl} = \text{H}_2 + \text{FeCl}_2$  (соединение С).

5. Вычислим  $M(\mathbf{Y}) = M(\text{O}) * n(\text{O}) / \omega(\text{O}) = 16 * n / 0,4 = 40$ . При  $n = 1$   $M(\mathbf{Y}) = 40$ , что соответствует молярной массе MgO, однако суммарное количество протонов в MgO = 20, что не удовлетворяет условию..

При  $n = 2$   $M(\mathbf{Y}) = 80$ , что соответствует молярной массе  $\text{TiO}_2$ , суммарное количество протонов в  $\text{TiO}_2 = 38 \Rightarrow \mathbf{Y} - \text{TiO}_2$ , D – Ti.

$\Rightarrow \mathbf{Y} - \text{TiO}_2$  (жидкий), D – Ti.

6. Уравнения реакций: [5]  $\text{TiO}_2 + 2\text{C} + 2\text{Cl}_2 = \text{TiCl}_4 + 2\text{CO}$ , [6]  $\text{TiCl}_4 + 2\text{Mg} = 2\text{MgCl}_2 + \text{Ti}$ . Z –  $\text{TiCl}_4$ .

7. Вычислим соотношение атомов Ti и N в W:  $n(\text{Ti}) : n(\text{N}) = \omega(\text{Ti}) / M(\text{Ti}) : \omega(\text{N}) / M(\text{N}) = 77,42 / 48 : 22,58 / 14 = 1,613 : 1,613 = 1 : 1 \Rightarrow \mathbf{W} - \text{TiN}$ . Уравнение реакции: [7]  $2\text{Ti} + \text{N}_2 = 2\text{TiN}$ .

8. Уравнения реакций: [8]  $2\text{TiN} + 4\text{F}_2 = 2\text{TiF}_4 + \text{N}_2$ , [9]  $2\text{TiN} + 2\text{O}_2 = 2\text{TiO}_2 + \text{N}_2$ .

9. Тони Старк – Железный человек.

**Система оценивания:**

1-2. Металл А 2 б. (без расчета 1 б.), формула магнетита 1 б., уравнение реакции [1] 1 б.	2+1+1 = 4 б.
3. Масса железной руды 2 б.	2 б.
4. Соединения В и С по 1 б., уравнения реакций [2]-[4] по 1 б.	1*2+1*3 = 5 б.
5. Элемент D 2 б. (без расчета 1 б.), соединение Y – 1 б.,	2+1 = 3 б.
6. Соединение Z 1 б., уравнения реакций [5]-[6] по 1 б.	1+1*2 = 3 б.
7. Соединение W 1 б., уравнение реакции [7] 1 б.	1+1 = 2 б.
8. Уравнения реакций [8]-[9] по 1 б.	1*2 = 2 б.
9. Железный человек 1 б.	1 б.
<b>Всего:</b>	<b>22 балла.</b>

**Задание 2. (автор А.С. Романов).**

1. Рассчитаем число моль электронов в 1 г А:  $n(e^-) = N / N_a = 3 \cdot 10^{23} / 6,02 \cdot 10^{23} = 0,5$  моль электронов. Если одна частица А содержит х штук электронов, то  $M(\mathbf{A}) = 1 \cdot x / 0,5 = 2x$ . А реагирует со щелочью и с азотной кислотой,

однако не растворяется в соляной кислоте. Если бы **A** был металлом, то он бы находился правее водорода в ЭХРН металлов, однако ни один из таких металлов не растворяется в щелочи. Значит **A** – твердый (при ст.у.) неметалл с четной молярной массой. Такие неметаллы легко перечислить – C, Si, S, Te. Углерод со щелочью не реагирует, а кремний реагирует с азотной кислотой с образованием нерастворимой кремниевой кислоты. Молярная масса теллура не подходит под формулу  $M(A) = 2x$ , поэтому единственно верным решением является **A** = S<sub>8</sub> (S засчитывается), **X** = S. Выйти на серу можно с помощью массовой доли водорода в **C**. Рассчитаем молярную массу **C**:  $M(C) = 1 \cdot n / 0,0588 = 17n$ , где  $n$  – число атомов водорода в **C**. Предположим, что газ **C** – бинарный, тогда единственным вариантом является  $M(C) = 17 \cdot 2 = 34$  г/моль  $\Rightarrow$  **C** = H<sub>2</sub>S, **X** = S, **A** = S<sub>8</sub>.

[1]  $S + 6HNO_3 = H_2SO_4 + 6NO_2 + 2H_2O$ ; [2]  $3S + 6NaOH = 2Na_2S + Na_2SO_3 + 3H_2O$ ; [3]  $Pb(NO_3)_2 + H_2S = PbS \downarrow + 2HNO_3$ ; [4]  $H_2SO_4 + BaCl_2 = BaSO_4 \downarrow + 2HCl$ . При поднесении «свинцовой» бумаги к выделяющемуся H<sub>2</sub>S происходит её почернение, а при добавлении хлорида бария к образовавшейся H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> выпадает белый осадок.

2. Судя по условию задачи, вещество **B** является сульфидом, так как при его взаимодействии с конц. соляной кислотой выделяется сероводород:  $M(C) = 1 \cdot n / 0,0588 = 17n$ , где  $n$  – число атомов водорода в **C**. Предположим, что газ **C** – бинарный, тогда единственным вариантом является  $M(C) = 17 \cdot 2 = 34$  г/моль  $\Rightarrow$  **C** = H<sub>2</sub>S. Тогда  $n(C) = 0,255 / 22,4 = 0,0114$  моль и  $M(B) = 1 / 0,0114 = 88$  г/моль на 1 сульфид-ион  $\Rightarrow$  **B** = FeS. [5]  $FeS + 2HCl = FeCl_2 + H_2S$ . Выделяющийся сероводород является восстановителем и легко реагирует с перечисленными реагентами: [6]  $I_2 + H_2S = 2HI + S$ ; [7]  $2KMnO_4 + 5H_2S + 3H_2SO_4 = 5S + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O$  или  $8KMnO_4 + 5H_2S + 7H_2SO_4 = 5S + 4K_2SO_4 + 8MnSO_4 + 12H_2O$ . При поднесении таких смоченных бумажек к потоку H<sub>2</sub>S происходит их **обесцвечивание**. Сероводородом осаждаются сульфиды серебра и меди (II), но не сульфид марганца (II): [8]  $2AgNO_3 + H_2S = Ag_2S + 2HNO_3$ ; [9]  $Cu(NO_3)_2 + H_2S = CuS + 2HNO_3$ . При недостатке кислорода сероводород сгорает с образованием серы, ее налет можно увидеть, если внести в пламя холодную фарфоровую чашку: [11]  $2H_2S + O_2 = S + 2H_2O$ . В избытке кислорода серы не остается: [10]  $2H_2S + 3O_2 = 2SO_2 + 2H_2O$ .

3. В расчете на 1 атом серы  $M(D) = 32 / 0,3265 = 98$  г/моль, что соответствует **D** = H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Цинк реагирует как с разбавленной, так и с концентрированной серной кислотой: [12]  $Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2$ ; [13]  $Zn + 2H_2SO_4 = ZnSO_4 + SO_2$  (или **S** или **H\_2S**) + 2H<sub>2</sub>O. Медь же с трудом при нагревании реагирует с концентрированной кислотой [14]  $Cu + 2H_2SO_4 = CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$ . При ОВ-реакциях с разбавленной серной кислотой окислителем выступает ион H<sup>+</sup>, а медь стоит правее водорода в ЭХРН металлов, поэтому с разбавленной серной кислотой реакция не идет.

В 2 мл конц. раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> содержится  $m(H_2SO_4) = 2 \cdot 1,836 \cdot 0,9800 = 3,60$  г серной кислоты, а масса образующегося раствора равна  $2 \cdot 1,836 + 8 \cdot 1 = 11,67$  г. Тогда  $\omega(H_2SO_4) = 3,60 / 11,67 = 30,85$  %.

4. Сначала получим формулу соли **G**, которая судя по всему является кристаллогидратом. На 1 атом серы  $M(G) = 32 / 0,128 = 250$  г/моль. Синий цвет указывает на присутствие иона меди (II) в составе **G**, поэтому **G** – CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, медный купорос. Нагревание медного купороса приводит к его обезвоживанию, тогда **F** = CuSO<sub>4</sub>. Выйти на формулы этих веществ можно и иначе. Пусть в ходе нагревания **G** теряет  $n$  молекул воды, тогда  $M(G) = 18n / 0,36 = 50n$ . В таком случае, если **G** содержит один атом серы, то это вещество теряет при нагревании  $250 / 50 = 5$  молекул воды, превращаясь в CuSO<sub>4</sub>. Дальнейшее нагревание приводит к отщеплению SO<sub>3</sub> от сульфата меди (II), поэтому **E** = SO<sub>3</sub>. 97,22 г медного купороса содержит  $97,22 \cdot 160 / 250 = 62,22$  г CuSO<sub>4</sub> и  $97,22 - 62,22 = 35$  г воды. Так как при 80°C в 100 мл воды растворяется 55,0 г CuSO<sub>4</sub>, то 62,22 г CuSO<sub>4</sub> растворится в  $62,22 \cdot 100 / 55 = 113$  мл воды. Тогда объём воды необходимый для приготовления насыщенного при 80°C раствора медного купороса равен **113 – 35 = 78** мл. При охлаждении до 0°C растворимость соли падает, рассчитаем массовую долю соли в насыщенном охлажденном растворе:  $\omega(CuSO_4) = 14,1 / 114,1 = 0,1236$ . Пусть  $x$  – масса CuSO<sub>4</sub>, которая выпадает в осадок в виде пентагидрата при охлаждении горячего раствора. Тогда  $0,1236 = (62,22 - x) / (175,22 - x \cdot 250 / 160) \Rightarrow x = m(CuSO_4) = 50,27$  г.

5. Исходно взятая навеска **G** содержит  $n(SO_3) = 97,22 / 250 = 0,389$  моль, в процессе синтеза получилось  $n(SO_3) = 23,71 / 80 = 0,296$  моль. Тогда выход  $\eta$  равен  $0,296 / 0,389 = 76,1$  %, что является отличным результатом.

6. Исходно взято  $m(H_2SO_4) = 10 \cdot 1,836 \cdot 0,9800 = 17,99$  г, а масса воды в таком растворе равна 0,3672 г, что соответствует 0,0204 моль воды. В первом опыте добавили 0,0204 моль SO<sub>3</sub>, тогда вся исходная вода будет превращена в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:  $SO_3 + H_2O = H_2SO_4$ . К исходным 17,99 г серной кислоты добавится  $0,0204 \cdot 98 = 1,9992$  г H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, итого суммарная масса H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в таком растворе будет равна 19,992 г, **массовая и молярная концентрация SO<sub>3</sub> в таком растворе равна нулю**. Далее, к раствору добавили 2,221 г SO<sub>3</sub>, поэтому  $\omega(SO_3) = 2,221 / (19,992 + 2,221) = 10,00$  %, объём этого раствора равен  $22,213 / 1,862 = 11,93$  мл, тогда **молярная концентрация SO<sub>3</sub> в таком растворе равна  $2,221 / 80 \cdot 0,01193 = 2,327$  М**. Далее добавили ещё 2,777 г SO<sub>3</sub>,  $\omega(SO_3) = 2,221 + 2,777 / (19,992 + 2,221 + 2,777) = 20,00$  %,  $C(SO_3) = (2,221 + 2,777) \cdot 10^3 / 80(19,992 + 2,221 + 2,777) / 1,897 = 4,743$  М. Осталось рассчитать величины для последнего раствора:  $\omega(SO_3) = 2,221 + 2,777 + 3,570 / (19,992 + 2,221 + 2,777 + 3,570) = 30,00$  %,  $C(SO_3) = (2,221 + 2,777 + 3,570) \cdot 10^3 / 80(19,992 + 2,221 + 2,777 + 3,570) / 1,931 = 7,241$  М. Раствор SO<sub>3</sub> в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> называется **олеумом**.

7. Серная кислота титруется сразу по двум протонам:  $H_2SO_4 + 2NaOH = Na_2SO_4 + 2H_2O$ . Тогда  $C(NaOH) =$

$10,00 \cdot 0,0537 \cdot 2 / 18,63 = 0,0537$  М. Концентрация  $H_2SO_4$  в анализируемом растворе  $C(H_2SO_4) = 22,62 \cdot 0,0537 / 2 \cdot 10,00 = 0,0607$  М, тогда  $n(H_2SO_4)$  в колбе на 1000 мл равно 0,0607 моль, что соответствует 4,856 г  $SO_3$ .  $\omega(SO_3) = 4,856 / 4,880 = 99,5$  %. Основной примесью является вода, которая попала в навеску из воздуха в процессе перенесения  $SO_3$  в ампулу после получения.

8. Получим формулу для суммарной массы образующегося раствора:  $m = 1 \cdot 1 + V(H_2SO_4) \cdot 1,836 = 1 + 1,836V$ . Так как  $T_{кон} - T_{нач} = 100 + 273 - (20 + 273) = 80 = Q / (C \cdot m)$ , то  $80m = Q / C \Rightarrow Q = 334 + 614V$ . Заметим, что выделяющаяся в ходе добавления  $H_2SO_4$  теплота тоже описывается линейной функцией  $Q = 1,476V + 1732$ , отсюда получим  $1,476V + 1732 = 614V + 334 \Rightarrow V = 2,3$  мл. Для оценки взято, что тепло, выделяющееся в ходе растворения жидкой  $H_2SO_4$ , равно теплу растворения 98 %  $H_2SO_4$ . В качестве верного ответа принимается решение с  $V = 2 - 3$  мл. Более точная оценка (с учетом того, что берется 98 % серная кислота и массовой доли итогового раствора) дает результат в 5 мл.

**Система оценивания:**

1. Формула веществ А, символ элемента Х по 2 б., уравнения реакций [1]–[4] по 1 б.	$2 \cdot 2 + 1 \cdot 4 = 8$ б.
2. Формулы веществ В, С, по 1 б., уравнения реакций [5]–[11] по 1 б., обесцвечивание иодной воды и раствора перманганата калия по 0,5 б.	$1 \cdot 2 + 1 \cdot 7 + 2 \cdot 0,5 = 10$ б.
3. Формула кислоты D 1 б., уравнения реакций [12]–[14] по 1 б., окислитель и положение меди в ЭХР по 0,5 б., массовая доля кислоты 2 б.	$1 + 1 \cdot 3 + 0,5 \cdot 2 + 2 = 7$ б.
4. Формулы веществ E, F, G по 1 б., объем воды 2 б., масса F 3 б.	$1 \cdot 3 + 2 + 3 = 8$ б.
5. Выход продукта 2 б.	2 б.
6. Массовые доли по 1 б., молярные концентрации по 1 б., олеум 1 б.	$(1 + 1) \cdot 4 + 1 = 9$ б.
7. Расчет молярной концентрации NaOH 2 б., массовой доли E 2 б., примесь и источник по 0,5 б.	$2 + 2 + 0,5 \cdot 2 = 5$ б.
8. Оценка объема кислоты 4 б.	4 б.
<b>Всего:</b>	<b>53 балла.</b>

**Задание 3. (авторы А.И. Ушеров, Д.Н. Болматенков).**

1. Среди перечисленных видов топлива природными являются торф, сланцы,  $^{238}U$  и антрацит. Искусственными – мазут, водород, биодизель и  $^{239}Pu$ .

Классический вариант русской версии этой поговорки звучит так: «бесконечно можно смотреть на три вещи: как горит огонь, как течет вода и как работают другие люди».

2. Обозначим массовые доли целлюлозы и лигнина как X и Y. Тогда можно составить следующую систему уравнений:  $\frac{12 \cdot 6}{162} \cdot X + \frac{12 \cdot 31}{582} \cdot Y = 0,49$ ,  $\frac{16 \cdot 5}{162} \cdot X + \frac{16 \cdot 11}{582} \cdot Y = 0,44$ , где 162 и 582 – молярные массы целлюлозы и лигнина (г/моль). Решение данного уравнения даёт следующие значения:  $X = 0,7342$ ,  $Y = 0,2561$ . Как видно, данные числа в сумме не дают 1. Остаток соответствует неорганическим примесям. Итак:  $\omega(\text{целлюлоза}) = 73,42\%$ ;  $\omega(\text{лигнин}) = 25,61\%$ ;  $\omega(\text{примеси}) = 0,97\%$ .

3. Обозначим массу воды как  $m_в$ , массу сухой древесины как  $m_д$ , тогда суммарная масса составит  $(m_в + m_д)$ . Потеря массы при сушке составила 20%, следовательно:  $m_в / (m_в + m_д) = 0,2$ . Отсюда находим, что  $m_в / m_д = 0,25$ , что соответствует относительной влажности 25%.

4. Уравнения реакций:  $C_6H_{10}O_5 + 6O_2 = 6CO_2 + 5H_2O$ ,  $C_{31}H_{34}O_{11} + 34O_2 = 31CO_2 + 17H_2O$ .

5. Теплоту сгорания древесины можно представить как сумму удельных теплот сгорания целлюлозы и лигнина по отдельности с учётом их весовых долей:

$$0,745 \cdot q_{ц} + 0,24 \cdot q_{л} = 17,74, \quad 0,72 \cdot q_{ц} + 0,265 \cdot q_{л} = 17,90.$$

Решение данной системы даёт следующие теплоты сгорания чистых веществ:

$$q_{ц} = 16,45 \text{ МДж/кг}; \quad q_{л} = 22,85 \text{ МДж/кг}.$$

6. Возьмём 1 кг сухих дров образца I. Тогда в сырых дровах, учитывая влажность, будет содержаться 0,4 кг воды, а соответствующая масса сырых дров будет равна 1,4 кг. При сгорании такого количества сырых дров выделяется  $1,4 \cdot 11,97 = 16,76$  МДж тепла, в то время как сухие дрова должны были дать 17,74 МДж. Разность между этими величинами обусловлена затратами на испарение 0,4 кг воды.

Отсюда  $0,4 \cdot L = 17,74 - 16,76$ . Тогда  $Q_{исп}(H_2O) = L = 2,45$  МДж/кг.

Пусть в сырых дровах образца II содержится 1 кг сухой древесины и X кг воды. Тогда суммарная масса сырых дров составит  $(1 + X)$  кг. При сгорании данных дров выделится  $(1 + X) \cdot 14$  МДж тепла, а при сгорании исключительно сухой древесины – 17,9 МДж. Разница между этими величинами соответствует теплоте испарения X кг воды, которая равна  $2,45 \cdot X$ :  $17,9 - (1 + X) \cdot 14 = 2,45 \cdot X$ . Решением данного уравнения является  $X = 0,237$ . Поскольку сухой древесины был взят 1 кг, влажность равна 23,7%.

7. Обозначим за X массу сырых дров, которые мы собираемся сжечь, тогда  $(1 - X)$  – это масса сырых дров,

которые мы собираемся высушить.

При сжигании сырых дров выделится  $11,97 \cdot X$  тепла. Как было показано ранее, 1,4 кг сырых дров образца I содержат 0,4 кг воды и 1,0 кг сухих дров. Тогда в  $(1 - X)$  кг сырых дров будет содержаться  $(1 - X) \cdot 0,4/1,4$  воды, затраты на испарение которой равны  $2,45 \cdot (1 - X) \cdot 0,4/1,4$ .

Составляем уравнение:  $11,97 \cdot X = 2,45 \cdot (1 - X) \cdot 0,4/1,4$ , откуда  $X = 0,055$ . Масса сухих дров, которая может быть получена, равна  $(1 - X) \cdot 1/1,4 = 0,675$  т или 675 кг.

Существует и более короткое решение. Путём несложных рассуждений можно показать, что теплота, содержащаяся в искомой массе сухих дров, равна теплоте, содержащейся в 1 т сырых дров. Тогда искомая масса равна  $m = 1 \cdot 11,97/17,74 = 0,675$  т или 675 кг.

**Система оценивания:**

1. Верное отнесение топлив по 0,5 б., неверное – штраф минус 0,5 б., перевод 1 б.	$0,5 \cdot 8 + 1 = 5$ б.
2. Массовые доли целлюлозы и лигнина по 2 б., неорг. компонентов 1 б.	$2 \cdot 2 + 1 = 5$ б.
3. Расчет относительной влажности образца 2 б.	2 б.
4. Уравнения реакций сгорания по 1 б.	$1 \cdot 2 = 2$ б.
5. Удельные теплоты сгорания целлюлозы и лигнина по 2 б.	$2 \cdot 2 = 4$ б.
6. Удельная теплота испарения воды и влажность образца II по 3 б.	$3 \cdot 2 = 6$ б.
7. Расчет массы сухих дров 3 б.	3 б.
<b>Всего:</b>	<b>27 баллов.</b>