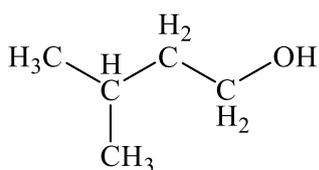
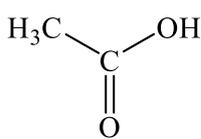
**Задание 1.** (авторы Э.С. Сапарбаев, В.Н. Конев).

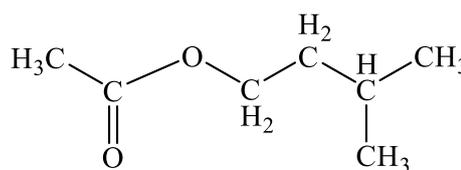
1-3. Взаимодействие одноосновной карбоновой кислоты (Y) со спиртом – реакция *этерификации*, приводящая к образованию сложного эфира (соединения X). Эту реакцию обычно проводят в присутствии *катализатора* и водоотнимающего средства – *концентрированной серной кислоты*  $H_2SO_4$  (Z). Установим примерную молекулярную массу эфира X:  $M_r(X) = 4,5 \cdot 29 \sim 131$  г/моль. Учитывая молекулярную формулу изоамилового спирта ( $C_5H_{11}OH$ ), а также то, что при реакции этерификации отщепляется молекула воды, найдем примерную молекулярную массу карбоновой кислоты Y:  $M_r(Y) \sim 131 + 18 - 88 \sim 61$  г/моль. Среди одноосновных предельных карбоновых кислот наиболее близким значением молекулярной массы обладает уксусная кислота  $CH_3COOH$ . Структурные формулы изоамилового спирта, соединений X (изоамилацетат) и Y (уксусная кислота):



изоамиловый спирт



Y



X

4. Температура плавления безводной уксусной кислоты  $\sim 17^\circ C$ . При меньшей температуре безводная уксусная кислота превращается в бесцветные кристаллы, по внешнему виду похожие на кристаллы обычного льда. Именно поэтому ее называют "ледяной".

5. *a* – обратный холодильник (холодильник Димрота); *b* – насадка Дина-Старка; *v* – круглодонная колба; *г* – нагревательная плитка; *д* – «кипелки».

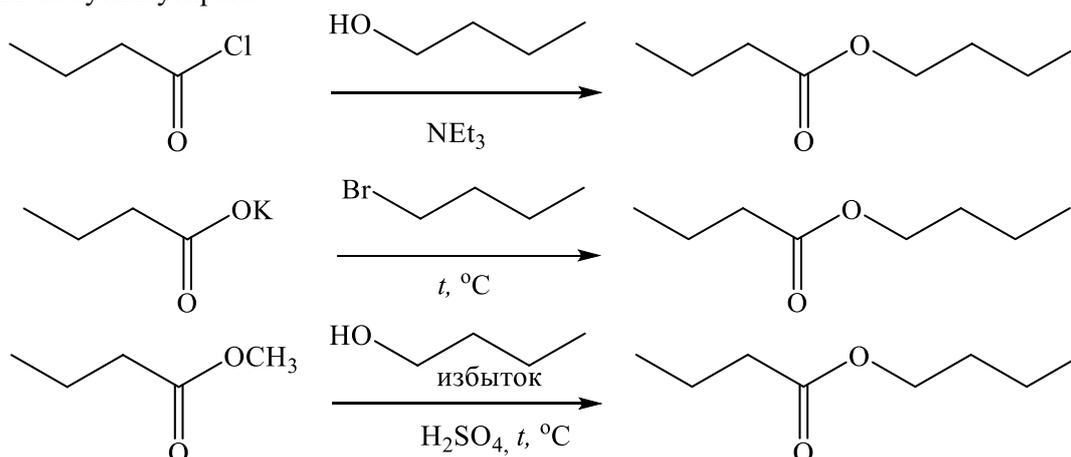
«Кипелки» добавляют в колбу для того, чтобы смесь равномерно кипела (они являются центрами кипения). Если их не добавить, то может образоваться перегретая жидкость, которая кипит «толчками», выплескиваясь из колбы в другие части прибора.

6. Рассчитаем количество исходных изоамилового спирта и уксусной кислоты:

$$\nu(C_2H_4O_2) = \frac{57,1 \cdot 1,05}{60,1} = 1 \text{ моль}; \nu(C_5H_{12}O) = \frac{163,1 \cdot 0,81}{88,2} = 1,5 \text{ моль}.$$

Поскольку при образовании изоамилацетата в реакции этерификации участвуют эквимольные количества спирта и кислоты, расчет теоретического количества эфира необходимо проводить по количеству кислоты. Т. е., теоретически должно было быть получено 1 моль эфира или 1 моль  $\cdot 130,2$  г/моль = 130,2 г. Воды должно было образоваться 1 моль  $\cdot 18$  г/моль = 18 г, но выделилось всего 15 г, следовательно, выход в реакции составил  $15 \text{ г} / 18 \text{ г} = 0,833$  или  $\approx 83\%$ . Таким образом, изоамилацетата образовалось  $130,2 \text{ г} \cdot 0,833 \approx 110$  г.

7. Схемы синтеза бутилбутирата:



**Система оценивания:**

1. Структурные формулы спирта, кислоты и эфира по 1 б., подтверждение расчетом 2 б, названия кислоты и эфира по 1 б.	1×3 = 3 б. 2+1×2 = 4 б.
2. Формула (название) кислоты Z 1 б., катализатор и водоотнимающее средство по 0,5 б.	1+0,5×2 = 2 б.
3. Название упомянутой реакции 1 б.	1 б.
4. Объяснение названия "ледяная" 1 б.	1 б.
5. Названия частей установки по 1 б., функция кипелок 1 б.	1×5+1 = 6 б.
6. Расчет выхода эфира и массы X по 2 б.	2×2 = 4 б.
7. Схемы синтеза с условиями по 2 б. (без условий по 1 б.)	2×3 = 6 б.
<b>Всего</b>	<b>27 баллов</b>

**Задание 2. (авторы А.И. Ушеров, В.А. Емельянов)**

1. Минералы железных руд это в основном оксиды. Попробуем представить формулу магнетита как  $Fe_xO_y$ , тогда  $\omega_{Fe} = 55,85x/(55,85x+16y) = 0,7236$ . Отсюда  $x = 0,75y$ . Так как  $x$  и  $y$  могут быть только целыми числами, то наименьшие числа:  $x = 3$ ,  $y = 4$ , следовательно, формула магнетита  $Fe_3O_4$ . Такое вещество действительно существует, его структура соответствует  $Fe(FeO_2)$ , структурный тип – шпинель (см. п. 5 условия).

2. Пусть масса концентрата 100 г, тогда в нём содержится второго элемента 0,5 г. Чтобы найти массу пирротина, поделим массу второго элемента на его массовую долю в пирротине. Получим массу пирротина в 100 г концентрата или, иначе говоря, массовую долю пирротина в концентрате  $\omega_{пир.} = 0,5/(1-0,6357) = 0,5/0,3643 = 1,372\%$ .

В 100 г концентрата содержится 60,5 г железа. Масса железа от пирротина составит  $1,372 \cdot 0,6357 = 0,872$  г, следовательно, масса железа от магнетита  $60,5 - 0,872 = 59,628$  г, а содержание магнетита в концентрате составит  $\omega_{магн.} = 59,628/0,7236 = 82,4\%$ .

3. Представим формулу пирротина  $Fe_xA_y$ , где  $x$  и  $y$  могут быть только целыми числами, а элемент А – неметалл. Атомную массу А примем за Z, тогда  $\omega_{Fe} = 55,85x/(55,85x+yZ) = 0,6357$ .  $x = 0,03124yZ$ .  $Z = 32x/y$ . Единственное разумное решение получается при  $x = 1$ ,  $y = 1$ ,  $Z = 32$ . Следовательно, элемент А – это сера, значит формула пирротина FeS. По классической классификации это соль, но можно отнести его и к классу сульфидов, восстановителей и даже оснований.

4. Уравнения реакций: а)  $Fe_3O_4 + 8HCl = FeCl_2 + 2FeCl_3 + 4H_2O$ ,  $FeS + 2HCl = FeCl_2 + H_2S\uparrow$ ;

б)  $Fe_3O_4 + 10HNO_3_{конц.} = 3Fe(NO_3)_3 + NO_2\uparrow + 5H_2O$ ,

$3FeS + 30HNO_3_{конц.} = Fe_2(SO_4)_3 + Fe(NO_3)_3 + 27NO_2\uparrow + 15H_2O$  или

$FeS + 12HNO_3_{конц.} = Fe(NO_3)_3 + H_2SO_4 + 9NO_2\uparrow + 5H_2O$ .

в)  $Fe_3O_4 + 5Cl_2 + 16NaOH = 3Na_2FeO_4 + 10NaCl + 8H_2O$ ,

$FeS + 6Cl_2 + 16NaOH = Na_2FeO_4 + Na_2SO_4 + 12NaCl + 8H_2O$ .

5. Метасиликат кальция –  $CaSiO_3$ , ортосиликат кальция –  $Ca_2SiO_4$ , диортосиликат алюминия –  $Al_2Si_2O_7$ , метаалюминат магния –  $Mg(AlO_2)_2$ .

Уравнения реакций: а)  $Al_2Si_2O_7 + 6HCl + (2n-3)H_2O = 2AlCl_3 + 2SiO_2 \cdot nH_2O\downarrow$  ( $2H_2SiO_3\downarrow + H_2O$ ),

$Mg(AlO_2)_2 + 8HCl = 2AlCl_3 + MgCl_2 + 4H_2O$ ; б)  $Al_2Si_2O_7 + 6NaOH + H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + 2Na_2SiO_3$  ( $Na_4SiO_4$ ),

$Mg(AlO_2)_2 + 2NaOH + 4H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + Mg(OH)_2\downarrow$ .

6. Уравнение реакции:  $CaCO_3 \xrightarrow{t, ^\circ C} CaO + CO_2\uparrow$ .

В 100 кг концентрата содержится  $m_{CaO} = 0,3$  кг и  $m_{SiO_2} = 5$  кг.

Примем массу добавленного известняка за  $x$  кг. В нём содержится 0,95x кг  $CaCO_3$ . Масса CaO, вносимого с известняком, составит  $m_{CaO}^{изв.} = 0,95x \cdot M_{CaO}/M_{CaCO_3} = 0,95x \cdot 56/100 = 0,532x$  кг, а масса  $SiO_2$   $m_{SiO_2}^{изв.} = 0,05 \cdot 0,5 \cdot x = 0,025x$  кг.

Тогда общая масса CaO в агломерате будет равна  $m_{CaO}^{агл.} = m_{CaO} + m_{CaO}^{изв.} = 0,3 + 0,532x$  кг, а масса  $SiO_2$  в агломерате  $m_{SiO_2}^{агл.} = m_{SiO_2} + m_{SiO_2}^{изв.} = 5 + 0,025x$  кг.

По условию,  $B = 1,7 = \omega_{CaO}^{агл.}/\omega_{SiO_2}^{агл.} = m_{CaO}^{агл.}/m_{SiO_2}^{агл.} = (0,3 + 0,532x)/(5 + 0,025x)$ , откуда  $x = 16,75$ . К 100 кг концентрата нужно добавить 16,75 кг известняка.

7. Так как массовая доля коксика в аглошихте составляет 0,042, то  $m_{кокс.}/(100 + m_{кокс.}) = 0,042$ . Масса коксика, которую следует добавить к 100 кг смеси, составит  $m_{кокс.} = 100 \cdot 0,042/(1 - 0,042) = 4,38$  кг.

Уравнение реакции:  $C + O_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} CO_2$  (или CO).

8. Масса агломерата складывается из масс концентрата, остатка от известняка (надо вычесть улетевший углекислый газ или сложить массы, приходящиеся в известняке на оксид кальция и пустую породу) и золы коксика. Масса остатка от известняка составит

$$m_{\text{изв.}} - m_{\text{CO}_2}^{\text{изв.}} = 16,75 - 0,44 \cdot 0,95 \cdot 16,75 = 16,75 - 7,00 = 9,75 \text{ кг или}$$

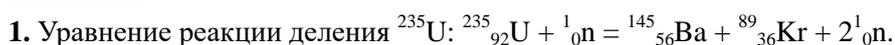
$$m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} + m_{\text{пуст. породы}}^{\text{изв.}} = 0,532 \cdot 16,75 + 0,05 \cdot 16,75 = 9,75 \text{ кг.}$$

Масса коксика, необходимая на 100 кг смеси 4,38 кг, тогда на 116,75 кг его потребуется  $4,38 \cdot 1,1675 = 5,11$  кг. Золы от него останется  $0,12 \cdot 5,11 = 0,61$  кг.  $m_{\text{агл.}} = 100 + 9,75 + 0,61 = 110,36$  кг.

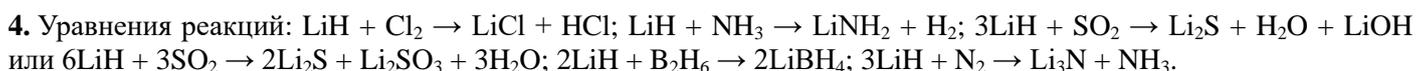
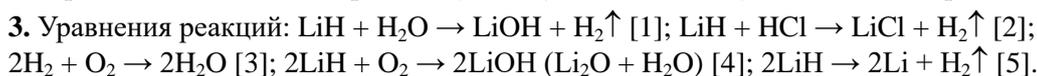
**Система оценивания:**

1. Определение формулы магнетита, подтверждённой расчётом 1 б. (без подтверждения 0,5 б.), структурный тип 0,5 б.	$1 + 0,5 = 1,5$ б.
2. Расчёт массовых долей магнетита и пирротина в концентрате по 2 б.	$2 \times 2 = 4$ б.
3. Формула пирротина с расчётом 1 б. (без расчета 0,5 б.), класс 0,5 б.	$1 + 0,5 = 1,5$ б.
4. Уравнения реакций по 1 б.	$1 \times 6 = 6$ б.
5. Формулы по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 4 + 1 \times 4 = 6$ б.
6. Уравнение реакции 1 б., расчёт массы известняка 3 б.	$1 + 3 = 4$ б.
7. Уравнение реакции 1 б., расчёт массы коксика 2 б.	$1 + 2 = 3$ б.
8. Расчёт массы агломерата 3 б. (остаток от известняка 2 б., зола 1 б.)	3 б.
<b>Всего</b>	<b>29 баллов</b>

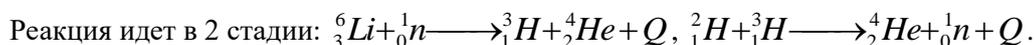
**Задание 3. (авторы А.В. Задесенец, В.А. Емельянов)**



2. Столь малое значение молярной массы (8 г/моль) приводит набору из трех самых легких элементов: H, He и Li. Кроме того, X – сложное вещество, т. к. простых веществ с такой молярной массой нет, а оно еще и на что-то разлагается согласно [5]. Гелий соединений не образует, поэтому его можно смело отбросить. Отсюда можно заключить, что X – гидрид лития LiH (M = 8 г/моль), который реагирует с водой с образованием водорода. Действительно, по описанию газ Y очень похож на водород, но расчет молярной массы газа Y дает нам значение  $29 \cdot 0,103 = 3,0$  г/моль. Такое возможно, если в составе газа Y один атом водорода (против  $^1\text{H}$ ) – из воды, другой (дейтерия  $\text{D} \equiv ^2\text{H}$ ) – из вещества X. Тогда для сохранения молярной массы 8 г/моль мы должны использовать литий-6. То есть вещество X –  $^6\text{Li}^2\text{H}$  – дейтерид лития-6, а Y – это HD – дейтероводород. При горении дейтероводорода, как и при горении водорода обычного, получится вода HDO (Z), в которой один из атомов водорода замещен на дейтерий. Такую воду называют полутяжелой (или просто тяжелой) водой.



5. Для создания требуемых условий сначала производится взрыв обычного ядерного заряда.



7. Частицы  $^4_2\text{He}$ , выделяющиеся в ядерных реакциях, называются  $\alpha$ -частицы. Поскольку в момент выделения они имеют заряд 2+,  $\alpha$ -частицы обладают исключительно сильными окислительными свойствами.

8. Сахаров Андрей Дмитриевич.

**Система оценивания:**

1. Символ 1 б.	1 б.
2. Формулы X, Y и Z по 1 б. (LiH, H <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> O по 0 б.), расчеты (подтверждение) 2 б., дейтерид лития-6, дейтероводород, тяжелая (полутяжелая) вода по 1 б. (гидрид лития, водород и вода по 0 б.)	$1 \times 3 + 2 + 1 \times 3 = 8$ б.
3. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	$1 \times 5 = 5$ б.
4. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	$1 \times 5 = 5$ б.
5. Подрыв обычного ядерного заряда 1 б.	1 б.
6. Уравнения ядерных реакций по 2 б.	$2 \times 2 = 4$ б.
7. Название 0,5 б., свойства 1 б.	$0,5 + 1 = 1,5$ б.
8. Фамилия, имя и отчество по 0,5 б.	$0,5 \times 3 = 1,5$ б.
<b>Всего</b>	<b>27 баллов</b>

#### Задание 4. (автор Н.В. Рубан).

1. В задаче говорится о простом веществе, способном светиться в темноте. Этому условию удовлетворяет фосфор, в чем можно убедиться и с помощью расчета.

Обозначим атомную массу элемента **X** за  $m$ . Массовая доля элемента **X** во фторапатите составляет 18,45 %, следовательно,  $3 \cdot m / (5 \cdot 40 + 3 \cdot (m + 64) + 19) = 0,1845$ . Отсюда получаем  $m = 31$ , что соответствует атомной массе фосфора.

Отсутствие самородного фосфора в природе принято связывать с его легкой окисляемостью и вообще высокой химической активностью.

2. Уравнение реакции окисления белого фосфора на воздухе:  $P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$  (правильным так же считать  $P_2O_5$ ,  $P_2O_3$ ,  $P_4O_6$ ). Обычно белый фосфор хранят под слоем воды или в инертной атмосфере. Ответы «под слоем масла или любого органического растворителя» не засчитываются в связи с растворимостью белого фосфора в неполярных растворителях.

3. Объем фосфора на морде собаки можно вычислить по формуле  $V = \pi r^2 \cdot h$ , где  $\pi r^2$  - площадь круга (в нашем случае - площадь морды собаки),  $h$  - высота (толщина слоя фосфора). Тогда  $V_p = 3,14 \cdot 100 \cdot 0,1 = 31,4 \text{ см}^3$ . Массу фосфора вычисляем по формуле  $m_p = V_p \cdot \rho = 31,4 \cdot 1,82 = 57,2 \text{ г}$ .

За час собака съест  $57,2 \cdot 0,1 = 5,72 \text{ г}$  фосфора, что намного превышает летальную дозу. Следовательно, собака получит летальную дозу меньше, чем через час после нанесения состава, что делает невозможным его применение.

4. Если собака съедает за час примерно 5,7 г фосфора, это соответствует  $5,7/60 = 0,095 \text{ г/мин}$ . Следовательно, собака съест летальную дозу за  $0,15/0,095 = 1,6 \text{ мин}$ .

5. Уравнение реакции:  $4Ca_5(PO_4)_3F + 18SiO_2 + 30C \xrightarrow{t, ^\circ C} 3P_4 \uparrow + 18CaSiO_3 + 30CO \uparrow + 2CaF_2$ .

6. Уравнения реакций:  $P_4 + 6Mg \rightarrow 2Mg_3P_2$  (вещество **B**);  $Mg_3P_2 + 6H_2O \rightarrow 3Mg(OH)_2 + 2PH_3$  (**C**);

$2P_4 + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3Ba(H_2PO_2)_2 + 2PH_3$  (**C**);  $4PH_3 + 8O_2 \rightarrow 6H_2O \uparrow + P_4O_{10}$  ( $P_2O_5$ ) (**D**);

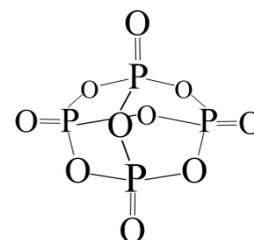
$P_4O_{10} + 6H_2O \rightarrow 4H_3PO_4$  (**E**);  $5PH_3 + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \rightarrow 5H_3PO_4$  (**E**) +  $8MnSO_4 + 4K_2SO_4 + 12H_2O$ ;

$P_4 + 10Cl_2 \rightarrow 4PCl_5$  (**F**);  $PCl_5 + H_2O \rightarrow 2HCl + POCl_3$  (**J**),  $POCl_3 + 3C_2H_5OH \rightarrow 3HCl + PO(OC_2H_5)_3$  (**H**).

7. Возгонка (сублимация) – переход вещества из твердого состояния сразу в газообразное, минуя жидкое. Такие превращения, как возгонка, плавление, испарение и другие переходы из одной фазы в другую без изменения химического состава вещества, относятся к фазовым переходам.

Основываясь на результатах эксперимента детектива, вычислим молекулярную массу вещества **D** в газовой фазе. Из уравнения Менделеева-Клапейрона найдем количество вещества:  $n = PV/RT = 0,914 \cdot 0,02 / (633 \cdot 0,082) = 0,000352 \text{ моль}$ .

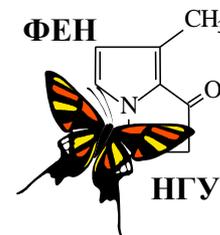
Отсюда  $M(D_{\text{газ}}) = 0,1 / 0,000352 = 284 \text{ г/моль}$ , что соответствует молекулярной формуле  $P_4O_{10}$  и следующей структурной формуле (структурная формула для  $P_2O_5$  не засчитывается):



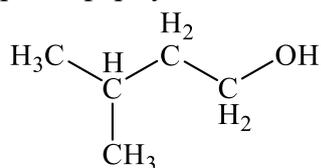
8. Героя, вымышленного Конан Дойлем, зовут Шерлок Холмс.

#### Система оценивания:

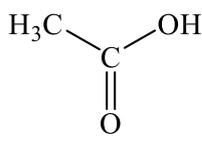
1. Определение элемента <b>X</b> с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), активность 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Уравнение реакции 1 б., способ хранения 1 б.	1+1 = 2 б.
3. Расчет массы 2 б., невозможность применения с расчетом 1 б., без расчета 0,5 б.	2+1 = 3 б.
4. Расчет времени 1 б.	1 б.
5. Уравнение реакции 2 б., без коэффициентов (все продукты реакции правильные) 1 б.	2 б.
6. Формулы веществ <b>B-H</b> по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 7 + 1 \times 9 = 12,5 \text{ б.}$
7. Фазовый переход 0,5 б., расчет молекулярной массы 1 б., структурная формула вещества <b>D</b> 1 б.	$0,5 + 1 + 1 = 2,5 \text{ б.}$
8. Шерлок Холмс 1 б.	1 б.
<b>Всего</b>	<b>27 баллов</b>

**Задание 1.** (авторы Э.С. Сапарбаев, В.Н. Конев).

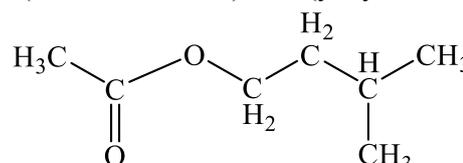
**1-3.** Взаимодействие одноосновной карбоновой кислоты (Y) со спиртом – реакция *этерификации*, приводящая к образованию сложного эфира (соединения X). Эту реакцию обычно проводят в присутствии *катализатора* и водоотнимающего средства – *концентрированной серной кислоты*  $H_2SO_4$  (Z). Установим примерную молекулярную массу эфира X:  $M_r(X) = 4,5 \cdot 29 \sim 131$  г/моль. Учитывая молекулярную формулу изоамилового спирта ( $C_5H_{11}OH$ ), а также то, что при реакции этерификации отщепляется молекула воды, найдем примерную молекулярную массу карбоновой кислоты Y:  $M_r(Y) \sim 131 + 18 - 88 \sim 61$  г/моль. Среди одноосновных предельных карбоновых кислот наиболее близким значением молекулярной массы обладает уксусная кислота  $CH_3COOH$ . Структурные формулы изоамилового спирта, соединений X (изоамилацетат) и Y (уксусная кислота):



изоамиловый спирт



Y



X

**4.** Температура плавления безводной уксусной кислоты  $\sim 17^\circ C$ . При меньшей температуре безводная уксусная кислота превращается в бесцветные кристаллы, по внешнему виду похожие на кристаллы обычного льда. Именно поэтому ее называют "ледяной".

**5. а** – обратный холодильник (холодильник Димрота); **б** – насадка Дина-Старка; **в** – круглодонная колба; **г** – нагревательная плитка; **д** – «кипелки».

«Кипелки» добавляют в колбу для того, чтобы смесь равномерно кипела (они являются центрами кипения). Если их не добавить, то может образоваться перегретая жидкость, которая кипит «толчками», выплескиваясь из колбы в другие части прибора.

**6.** Рассчитаем количество исходных изоамилового спирта и уксусной кислоты:

$$v(C_2H_4O_2) = \frac{57,1 \cdot 1,05}{60,1} = 1 \text{ моль}; v(C_5H_{12}O) = \frac{163,1 \cdot 0,81}{88,2} = 1,5 \text{ моль}.$$

Поскольку при образовании изоамилацетата в реакции этерификации участвуют эквимольные количества спирта и кислоты, расчет теоретического количества эфира необходимо проводить по количеству кислоты. Т. е., теоретически должно было быть получено 1 моль эфира или  $1 \text{ моль} \cdot 130,2 \text{ г/моль} = 130,2 \text{ г}$ . Воды должно было образоваться  $1 \text{ моль} \cdot 18 \text{ г/моль} = 18 \text{ г}$ , но выделилось всего 15 г, следовательно, выход в реакции составил  $15 \text{ г} / 18 \text{ г} = 0,833$  или  $\approx 83\%$ . Таким образом, изоамилацетата образовалось  $130,2 \text{ г} \cdot 0,833 \approx 110 \text{ г}$ .

**Система оценивания:**

1. Структурные формулы спирта, кислоты и эфира по 1 б., подтверждение расчетом 2 б, названия кислоты и эфира по 1 б.	$1 \times 3 = 3 \text{ б.}$ $2 + 1 \times 2 = 4 \text{ б.}$
2. Формула (название) кислоты Z 1 б., катализатор и водоотнимающее средство по 0,5 б.	$1 + 0,5 \times 2 = 2 \text{ б.}$
3. Название упомянутой реакции 1 б.	1 б.
4. Объяснение названия "ледяная" 1 б.	1 б.
5. Названия частей установки по 1 б., функция кипелок 1 б.	$1 \times 5 + 1 = 6 \text{ б.}$
6. Расчет выхода эфира и массы X по 2 б.	$2 \times 2 = 4 \text{ б.}$
<b>Всего</b>	<b>21 балл</b>

## **Задание 2. (авторы А.И. Ушеров, В.А. Емельянов)**

**1.** Минералы железных руд это в основном оксиды. Попробуем представить формулу магнетита как  $Fe_xO_y$ , тогда  $\omega_{Fe} = 55,85x/(55,85x+16y) = 0,7236$ . Отсюда  $x = 0,75y$ . Так как  $x$  и  $y$  могут быть только целыми числами, то наименьшие числа:  $x = 3$ ,  $y = 4$ , следовательно, формула магнетита  $Fe_3O_4$ . Такое вещество действительно существует, по классификации относится к основным оксидам (можно просто оксид). Если формула представлена в виде  $Fe(FeO_2)_2$  то допускается ответ – соль.

**2.** Пусть масса концентрата 100 г, тогда в нём содержится второго элемента 0,5 г. Чтобы найти массу пирротина, поделим массу второго элемента на его массовую долю в пирротине. Получим массу пирротина в 100 г концентрата или, иначе говоря, массовую долю пирротина в концентрате  $\omega_{пир.} = 0,5/(1-0,6357) = 0,5/0,3643 = 1,372\%$ .

В 100 г концентрата содержится 60,5 г железа. Масса железа от пирротина составит  $1,372*0,6357 = 0,872$  г, следовательно, масса железа от магнетита  $60,5-0,872 = 59,628$  г, а содержание магнетита в концентрате составит  $\omega_{магн.} = 59,628/0,7236 = 82,4\%$ .

**3.** Представим формулу пирротина  $Fe_xA_y$ , где  $x$  и  $y$  могут быть только целыми числами, а элемент  $A$  – неметалл. Атомную массу  $A$  примем за  $Z$ , тогда  $\omega_{Fe} = 55,85x/(55,85x+yZ) = 0,6357$ .  $x = 0,03124yZ$ .  $Z = 32x/y$ . Единственное разумное решение получается при  $x = 1$ ,  $y = 1$ ,  $Z = 32$ . Следовательно, элемент  $A$  – это сера, значит формула пирротина  $FeS$ . По классической классификации это соль, но можно отнести его и к классу сульфидов, восстановителей и даже оснований.

**4.** Уравнения реакций: а)  $Fe_3O_4 + 8HCl = FeCl_2 + 2FeCl_3 + 4H_2O$ ,  $FeS + 2HCl = FeCl_2 + H_2S\uparrow$ ;

б)  $Fe_3O_4 + 10HNO_{3\text{ конц.}} = 3Fe(NO_3)_3 + NO_2\uparrow + 5H_2O$ ,

$3FeS + 30HNO_{3\text{ конц.}} = Fe_2(SO_4)_3 + Fe(NO_3)_3 + 27NO_2\uparrow + 15H_2O$  или

$FeS + 12HNO_{3\text{ конц.}} = Fe(NO_3)_3 + H_2SO_4 + 9NO_2\uparrow + 5H_2O$ .

**5.** Метасиликат кальция –  $CaSiO_3$ , ортосиликат кальция –  $Ca_2SiO_4$ , диортосиликат алюминия –  $Al_2Si_2O_7$ , метаалюминат магния –  $Mg(AlO_2)_2$ .

Уравнения реакций: а)  $Al_2Si_2O_7 + 6HCl + (2n-3)H_2O = 2AlCl_3 + 2SiO_2*nH_2O\downarrow (2H_2SiO_3\downarrow + H_2O)$ ,

$Mg(AlO_2)_2 + 8HCl = 2AlCl_3 + MgCl_2 + 4H_2O$ ;

б)  $Al_2Si_2O_7 + 6NaOH + H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + 2Na_2SiO_3 (Na_4SiO_4)$ ,

$Mg(AlO_2)_2 + 2NaOH + 4H_2O = 2Na[Al(OH)_4] + Mg(OH)_2\downarrow$ .

**6.** Уравнение реакции:  $CaCO_3 \xrightarrow{t, ^\circ C} CaO + CO_2\uparrow$ .

В 100 кг концентрата содержится  $m_{CaO} = 0,3$  кг и  $m_{SiO_2} = 5$  кг.

Примем массу добавленного известняка за  $x$  кг. Масса  $CaO$ , вносимого с известняком, составит  $m_{CaO}^{изв.} = x*M_{CaO}/M_{CaCO_3} = x*56/100 = 0,56x$  кг.

Тогда общая масса  $CaO$  в агломерате будет равна  $m_{CaO}^{агл.} = m_{CaO} + m_{CaO}^{изв.} = 0,3+0,56x$  кг, а масса  $SiO_2$  в агломерате  $m_{SiO_2}^{агл.} = 5$  кг.

По условию,  $B = 1,7 = \omega_{CaO}^{агл.}/\omega_{SiO_2}^{агл.} = m_{CaO}^{агл.}/m_{SiO_2}^{агл.} = (0,3+0,56x)/5$ , откуда  $x = 14,6$ . К 100 кг концентрата нужно добавить 14,6 кг известняка.

**7.** Так как массовая доля коксика в аглошихте составляет 0,042, то  $m_{кокс.}/(100+m_{кокс.}) = 0,042$ . Масса коксика, которую следует добавить к 100 кг смеси, составит  $m_{кокс.} = 100*0,042/(1-0,042) = 4,38$  кг.

Уравнение реакции:  $C + O_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} CO_2$  (или  $CO$ ).

**8.** Масса агломерата складывается из масс концентрата, остатка от известняка (надо вычесть улетевший углекислый газ или взять массу, приходящуюся в известняке на оксид кальция) и золы коксика. Масса остатка от известняка составит  $m_{изв.} - m_{CO_2}^{изв.} = 14,6-0,44*14,6 = 0,56*14,6 = 8,2$  кг.

Масса коксика, необходимая на 100 кг смеси 4,38 кг, тогда на  $100+14,6 = 114,6$  кг его потребуется  $4,38*1,146 = 5,02$  кг. Золы от него останется  $0,12*5,02 = 0,60$  кг.

$m_{агл.} = 100+8,2+0,60 = 108,8$  кг.

**Система оценивания:**

1. Определение формулы магнетита, подтвержденной расчётом 2 б. (без подтверждения 1 б.), класс соединения 0,5 б.	2+0,5 = 2,5 б.
2. Расчёт массовых долей магнетита и пирротина в концентрате по 2 б.	2×2 = 4 б.
3. Формула пирротина с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), класс 0,5 б.	2+0,5 = 2,5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б.	1×4 = 4 б.
5. Формулы по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×4+1×4 = 6 б.
6. Уравнение реакции 1 б., расчет массы известняка 3 б.	1+3 = 4 б.
7. Уравнение реакции 1 б., расчет массы коксика 2 б.	1+2 = 3 б.
8. Расчет массы агломерата 3 б. (остаток от известняка 2 б., зола 1 б.)	3 б.
<b>Всего</b>	<b>29 баллов</b>

**Задание 3. (авторы А.В. Задесенец, В.А. Емельянов)**

1. Уравнение реакции деления  $^{235}_{92}\text{U}$ :  $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} = ^{145}_{56}\text{Ba} + ^{89}_{36}\text{Kr} + 2^1_0\text{n}$ .

Отношение мощностей взрывов  $50 \cdot 10^6 / 15 \cdot 10^3 = 3,33 \cdot 10^3$ .

2. Изотопы водорода:  $^1\text{H}$  – протий,  $^2\text{H}$  (символ D) – дейтерий,  $^3\text{H}$  (символ T) – тритий.

3. По описанию газ Y очень похож на водород, но расчет молярной массы газа Y дает нам значение  $29 \cdot 0,103 = 3,0$  г/моль. Такое возможно, если в составе газа Y один атом водорода (протия  $^1\text{H}$ ) – из воды, другой (дейтерия  $\text{D} \equiv ^2\text{H}$ ) – из  $^6_3\text{Li}^2\text{H}$ . То есть Y – это HD – дейтероводород. При горении дейтероводорода, как и при горении водорода обычного, получится вода HDO (Z), в которой один из атомов водорода замещен на дейтерий. Такую воду называют полутяжелой (или просто тяжелой) водой. Вещество  $^6_3\text{Li}^2\text{H}$  (X) – дейтерид лития-6.

4. Уравнения реакций:  $\text{LiH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{LiOH} + \text{H}_2\uparrow$  [1];  $\text{LiH} + \text{HCl} \rightarrow \text{LiCl} + \text{H}_2\uparrow$  [2];

$2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$  [3];  $2\text{LiH} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{LiOH}$  ( $\text{Li}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ ) [4];  $2\text{LiH} \rightarrow 2\text{Li} + \text{H}_2\uparrow$  [5].

5. Уравнения реакций:  $\text{LiH} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{LiCl} + \text{HCl}$ ;  $\text{LiH} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{LiNH}_2 + \text{H}_2$ ;  $2\text{LiH} + \text{B}_2\text{H}_6 \rightarrow 2\text{LiBH}_4$ ;

$3\text{LiH} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Li}_3\text{N} + \text{NH}_3$ .

6. Уравнения ядерных реакций:  $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} + Q$ ,  $^6_3\text{Li} + ^2_1\text{H} \rightarrow 2^4_2\text{He} + Q$  – в общем виде.

Реакция идет в 2 стадии:  $^6_3\text{Li} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^3_1\text{H} + ^4_2\text{He} + Q$ ,  $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} + Q$ .

7. Частицы  $^4_2\text{He}$ , выделяющиеся в ядерных реакциях, называются  $\alpha$ -частицы. Поскольку в момент выделения они имеют заряд  $2+$ ,  $\alpha$ -частицы обладают исключительно сильными окислительными свойствами.

8. Сахаров Андрей Дмитриевич.

**Система оценивания:**

1. Символ 1 б., отношение мощностей 1 б.	1+1 = 2 б.
2. Названия по 0,5 б., символы по 0,5 б.	0,5×3+0,5×2 = 2,5 б.
3. Формулы Y и Z по 1 б. ( $\text{H}_2$ и $\text{H}_2\text{O}$ по 0,5 б.), дейтероводород, тяжелая (полутяжелая) вода, дейтерид лития по 1 б. (водород, вода и гидрид лития по 0,5 б.)	1×2+1×3 = 5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	1×5 = 5 б.
5. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	1×4 = 4 б.
6. Уравнения ядерных реакций по 1 б.	1×2 = 2 б.
7. Название 1 б., свойства 1 б.	1+1 = 2 б.
8. Фамилия, имя и отчество по 0,5 б.	0,5×3 = 1,5 б.
<b>Всего</b>	<b>24 балла</b>

**Задание 4. (автор Н.В. Рубан).**

1. В задаче говорится о простом веществе, способном светиться в темноте. Этому условию удовлетворяет фосфор, в чем можно убедиться и с помощью расчета.

Обозначим атомную массу элемента **X** за  $m$ . Массовая доля элемента **X** во фторапатите составляет 18,45 %, следовательно,  $3*m/(5*40+3*(m+64)+19) = 0,1845$ . Отсюда получаем  $m = 31$ , что соответствует атомной массе фосфора. Отсутствие самородного фосфора в природе принято связывать с его легкой окисляемостью и вообще высокой химической активностью.

2. Уравнение реакции окисления белого фосфора на воздухе:  $P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$  (правильным так же считать  $P_2O_5$ ,  $P_2O_3$ ,  $P_4O_6$ ). Обычно белый фосфор хранят под слоем воды или в инертной атмосфере. Ответы «под слоем масла или любого органического растворителя» не засчитываются в связи с растворимостью белого фосфора в неполярных растворителях.

3. Объем фосфора на морде собаки можно вычислить по формуле  $V = \pi r^2 * h$ , где  $\pi r^2$  - площадь круга (в нашем случае - площадь морды собаки),  $h$  - высота (толщина слоя фосфора). Таким образом,  $V_P = 3,14 * 100 * 0,1 = 31,4 \text{ см}^3$ . Массу фосфора вычисляем по формуле  $m_P = V_P * \rho = 31,4 * 1,82 = 57,2 \text{ г}$ . Тогда, за час собака съест  $57,2 * 0,1 = 5,72 \text{ г}$  фосфора, что намного превышает летальную дозу. Следовательно, собака получит летальную дозу меньше, чем через час после нанесения состава, что делает невозможным его применение.

4. Если собака съедает за час примерно 5,7 г фосфора, это соответствует  $5,7/60 = 0,095 \text{ г/мин}$ . Следовательно, собака съест летальную дозу за  $0,15/0,095 = 1,6 \text{ мин}$ .

5. Уравнение реакции:  $4Ca_5(PO_4)_3F + 18SiO_2 + 30C \xrightarrow{t, ^\circ C} 3P_4 \uparrow + 18CaSiO_3 + 30CO \uparrow + 2CaF_2$ .

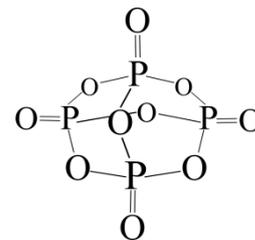
6. Уравнения реакций:  $P_4 + 6Mg \rightarrow 2Mg_3P_2$  (вещество **B**);  $Mg_3P_2 + 6H_2O \rightarrow 3Mg(OH)_2 + 2PH_3$  (**C**);

$2P_4 + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3Ba(H_2PO_2)_2 + 2PH_3$  (**C**);  $4PH_3 + 8O_2 \rightarrow 6H_2O \uparrow + P_4O_{10}$  ( $P_2O_5$ ) (**D**);

$P_4O_{10} + 6H_2O \rightarrow 4H_3PO_4$  (**E**);  $5PH_3 + 8KMnO_4 + 12H_2SO_4 \rightarrow 5H_3PO_4$  (**E**) +  $8MnSO_4 + 4K_2SO_4 + 12H_2O$ ;

$P_4 + 10Cl_2 \rightarrow 4PCl_5$  (**F**);  $PCl_5 + H_2O \rightarrow 2HCl + POCl_3$  (**J**).

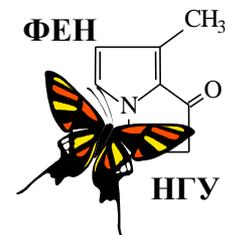
7. Возгонка (сублимация) – переход вещества из твердого состояния сразу в газообразное, минуя жидкое. Такие превращения, как возгонка, плавление, испарение и другие переходы из одной фазы в другую без изменения химического состава вещества, относятся к фазовым переходам. Поскольку плотность вещества **D** в газовой фазе составляет 9,79 по воздуху, его молекулярная масса равна  $9,79 * 29 = 283,9 \approx 284$ , что соответствует молекулярной формуле  $P_4O_{10}$  и следующей структурной формуле (структурная формула для  $P_2O_5$  не засчитывается):



8. Героя, вымышленного Конан Дойлем, зовут Шерлок Холмс.

**Система оценивания:**

1. Определение элемента <b>X</b> с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), активность 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Уравнение реакции 1 б., способ хранения 1 б.	1+1 = 2 б.
3. Расчет массы 3 б., невозможность применения с расчетом 1 б., без расчета 0,5 б.	3+1 = 4 б.
4. Расчет времени 1 б.	1 б.
5. Уравнение реакции 2 б., без коэффициентов (все продукты реакции правильные) 1 б.	2 б.
6. Формулы веществ <b>B-J</b> по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5*6+1*8 = 11 б.
7. Фазовый переход 1 б., структурная формула вещества <b>D</b> 1 б.	1+1 = 2 б.
8. Шерлок Холмс 1 б.	1 б.
<b>Всего</b>	<b>26 баллов</b>

**Задание 1. (автор В.А. Емельянов).**

1. а) Объем трех пузырьков составляет  $3 \cdot \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (0,5/2)^3 = 0,19625 \approx 0,2 \text{ см}^3 = 0,2 \text{ мл}$ . То есть, скорость подачи газа в этих единицах составляет 0,2 мл/с;  
б) За секунду через трубку проходит  $6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} / 24 = 5,02 \cdot 10^{18}$  молекул;  
в) В минуту через трубку пройдет  $60 \cdot 3 \cdot 5,02 \cdot 10^{18} = 9,04 \cdot 10^{20}$  атомов;  
г) В час через трубку пройдет  $44 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 5,02 \cdot 10^{18} / 6,02 \cdot 10^{23} = 1,32 \text{ г}$  газа ( $44 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} / 24 = 1,32 \text{ г}$ );  
д) В сутки через трубку пройдет  $24 \cdot 1,32 / 44 = 0,72$  моль газа.

2. Минимальное время  $360 / 0,2 = 1800 \text{ с}$  или  $1800 / 60 = 30 \text{ мин}$ . Эксперимент проводят заметно дольше, поскольку часть углекислого газа уходит в окружающую среду и не получается количественно вытеснить воздух из колбы рассчитанным объемом углекислого газа. Взвешивания проводят до тех пор, пока не совпадут результаты двух-трех последних взвешиваний. Именно последнее значение массы берут в качестве истинного. Одним взвешиванием обойтись нельзя, поскольку в этом случае нет никакой уверенности в том, что в колбе уже нет воздуха, а есть только углекислый газ.

3. В колбе объемом 0,36 л в условиях эксперимента содержится  $0,36 / 24 = 0,015$  моль любого газа. Это количество углекислого газа весит  $44 \cdot 0,015 = 0,66 \text{ г}$ . Однако, прежде чем сложить это значение с массой колбы, приведенной в задаче, из последней надо вычесть массу находящегося в ней воздуха. Среднее значение молярной массы воздуха 29 г/моль, масса воздуха в колбе  $29 \cdot 0,015 = 0,435 \text{ г}$ . Масса колбы с пробкой, полностью заполненной углекислым газом, составит  $412,555 - 0,435 + 0,66 = 412,78 \text{ г}$ .

4. При переворачивании колбы углекислый газ «выливается» из нее, поскольку он тяжелее воздуха. Горящая свеча гаснет, поскольку углекислый газ вытесняет воздух (и, соответственно, кислород) из зоны горения, а сам горение не поддерживает.

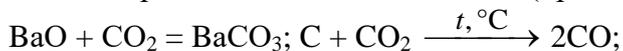
5. Буратино увидел, что при пропускании углекислого газа через прозрачную бесцветную известковую воду наблюдается ее помутнение (выпадает осадок, жидкость белеет и т. п.):

$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ . После того, как Буратино отвлекся и снова посмотрел на колбу, он увидел, что количество мути стало уменьшаться (осадок растворяться, жидкость снова стала светлеть и т. п.), поскольку при избытке углекислого газа карбонат кальция растворяется, вновь давая прозрачный бесцветный раствор:  $\text{CaCO}_3_{\text{тв.}} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2_{\text{р-р}}$ .

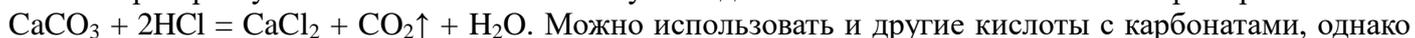
6. В 1 л известковой воды содержится 1,6 г гашеной извести, то есть  $1,6 / 74 = 0,0216 = 2,16 \cdot 10^{-2}$  моль, в 0,1 л –  $2,16 \cdot 10^{-3}$  моль. Для максимального проявления первого эффекта (максимальное количество мути) углекислого газа также потребуется  $2,16 \cdot 10^{-3}$  моль. Такое количество газа проходит через трубку за  $2,16 \cdot 10^{-3} / 0,72 = 3 \cdot 10^{-3}$  суток или  $60 \cdot 24 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 4,32$  мин или 259,2 с. Чтобы увидеть окончание второго эффекта (растворился весь карбонат кальция), нужно как минимум еще столько же  $\text{CO}_2$ , т. е. еще столько же времени. Всего потребуется  $2 \cdot 4,32 = 8,64$  мин или 518,4 с.

7. а) С углекислым газом не реагируют: соляная кислота, оксид азота(II), хлор, оксид меди(II), хлорид кальция (водный раствор), сера.

б) С углекислым газом реагируют: оксид бария, уголь (при нагревании), аммиак (водный раствор), оксид натрия, металлический магний (при нагревании), гидроксид цезия. Уравнения реакций:



8. В лаборатории углекислый газ обычно получают действием соляной кислоты на мрамор:



важно, чтобы образующаяся в ходе реакции соль была хорошо растворима, а кислота была достаточно сильной, если исходный карбонат растворим плохо.

Углекислый газ используется в пищевой промышленности (консервант, разрыхлитель, производство газированных напитков), химической промышленности (производство соды) для заполнения огнетушителей, для заполнения баллончиков в пневматическом оружии, в качестве хладагента («сухой лед») в лабораторных исследованиях и розничной торговле и т. п.

### Система оценивания:

1. Каждый расчет скорости в других единицах по 0,5 б.	$0,5 \times 5 = 2,5$ б.
2. Расчет времени 1 б., потери газа (диффузия, конвекция, перемешивание и т.п.) 0,5 б., до совпадения взвешиваний 0,5 б., нет контроля 0,5 б.	$1 + 0,5 \times 3 = 2,5$ б.
3. Расчет массы колбы с $\text{CO}_2$ 3 б. (масса $\text{CO}_2$ 1 б., мысль об учете массы воздуха 1 б, расчет массы воздуха 1 б.)	3 б.
4. Погасла 1 б., не поддерживает горение (изолирует от $\text{O}_2$ ) 1 б.	$1 \times 2 = 2$ б.
5. Осадок (помутнение) и его растворение по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 2 + 1 \times 2 = 3$ б.
6. Расчет времени первого эффекта 2 б., второго 1 б. (за ответ, что времени потребуется еще столько же, ставится 1 б.)	$2 + 1 = 3$ б.
7. Верное указание «реагирует/не реагирует» по 0,5 б. (неверное – штраф минус 0,5 б, но в целом за пункт 7 не меньше 0 б), уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 12 + 1 \times 6 = 12$ б.
8. Верное для способа получения уравнение реакции 1 б., два примера по 0,5 б.	$1 + 0,5 \times 2 = 2$ б.
<b>Всего</b>	<b>30 баллов</b>

### Задание 2. (авторы А.И. Ушеров, В.А. Емельянов)

1. Попробуем представить формулу магнетита как  $\text{Fe}_x\text{O}_y$ , тогда  $\omega_{\text{Fe}} = 55,85x / (55,85x + 16y) = 0,7236$ . Отсюда  $x = 0,75y$ . Так как  $x$  и  $y$  могут быть только целыми числами, то наименьшие числа:  $x = 3$ ,  $y = 4$ , следовательно, формула магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Такое вещество действительно существует, по классификации относится к основным оксидам (можно просто оксид). Если формула представлена в виде  $\text{Fe}(\text{FeO}_2)_2$  то допускается ответ – соль.

2. Пусть масса концентрата 100 г, тогда в нём содержится второго элемента 0,5 г. Чтобы найти массу пирротина, поделим массу второго элемента на его массовую долю в пирротине. Получим массу пирротина в 100 г концентрата или, иначе говоря, массовую долю пирротина в концентрате  $\omega_{\text{пир.}} = 0,5 / (1 - 0,6357) = 0,5 / 0,3643 = 1,372$  %.

В 100 г концентрата содержится 60,5 г железа. Масса железа от пирротина составит  $1,372 \times 0,6357 = 0,872$  г, следовательно, масса железа от магнетита  $60,5 - 0,872 = 59,628$  г, а содержание магнетита в концентрате составит  $\omega_{\text{магн.}} = 59,628 / 0,7236 = 82,4$  %.

3. Представим формулу пирротина  $\text{Fe}_x\text{A}_y$ , где  $x$  и  $y$  могут быть только целыми числами, а элемент А – неметалл (если знать элементы, входящие в состав пирита, то расчет сильно упростится).

Атомную массу А примем за Z, тогда  $\omega_{\text{Fe}} = 55,85x / (55,85x + yZ) = 0,6357$ .  $x = 0,03124yZ$ .  $Z = 32x/y$ . Единственное разумное решение получается при  $x = 1$ ,  $y = 1$ ,  $Z = 32$ . Следовательно, элемент А – это сера, значит формула пирротина  $\text{FeS}$ . По классической классификации это соль, но можно отнести его и к классу сульфидов, восстановителей и даже оснований.

4. Уравнения реакций: а)  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeS} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$ ;

б)  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 10\text{HNO}_3_{\text{конц.}} = 3\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$ ,

$3\text{FeS} + 30\text{HNO}_3_{\text{конц.}} = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 27\text{NO}_2\uparrow + 15\text{H}_2\text{O}$  или

$\text{FeS} + 12\text{HNO}_3_{\text{конц.}} = \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{NO}_2\uparrow + 5\text{H}_2\text{O}$ .

5. Метасиликат кальция –  $\text{CaSiO}_3$ , ортосиликат кальция –  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , диортосиликат алюминия –  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ , метаалюминат магния –  $\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2$ . В метасиликате кальция  $\omega_{\text{CaO}} = M_{\text{CaO}} / M_{\text{CaSiO}_3} = 56 / 116 = 0,483$  или 48,3 %, в ортосиликате  $\omega_{\text{CaO}} = 2M_{\text{CaO}} / M_{\text{Ca}_2\text{SiO}_4} = 112 / 172 = 0,651$  или 65,1 %.

Уравнения реакций:

а)  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + 4\text{HCl} + (n-2)\text{H}_2\text{O} = 2\text{CaCl}_2 + \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}\downarrow$  (или  $\text{H}_4\text{SiO}_4\downarrow$  или  $\text{H}_2\text{SiO}_3\downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ),

$\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2 + 8\text{HCl} = 2\text{AlCl}_3 + \text{MgCl}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ ;

б)  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 + 4\text{NaOH} = 2\text{Ca}(\text{OH})_2\downarrow + \text{Na}_4\text{SiO}_4$  ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ),

$\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2 + 2\text{NaOH} + 4\text{H}_2\text{O} = 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow$ .

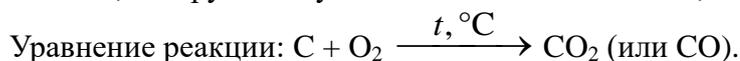


В 100 кг концентрата содержится  $m_{\text{CaO}} = 0,3$  кг и  $m_{\text{SiO}_2} = 5$  кг.

Примем массу добавленного известняка за  $x$  кг. Масса CaO, вносимого с известняком, составит  $m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} = x \cdot M_{\text{CaO}} / M_{\text{CaCO}_3} = x \cdot 56 / 100 = 0,56x$  кг. Тогда общая масса CaO в агломерате будет равна  $m_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} = m_{\text{CaO}} + m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} = 0,3 + 0,56x$  кг, а масса SiO<sub>2</sub> в агломерате  $m_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = 5$  кг.

По условию,  $B = 1,7 = \omega_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} / \omega_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = m_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} / m_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = (0,3 + 0,56x) / 5$ , откуда  $x = 14,6$ . К 100 кг концентрата нужно добавить 14,6 кг известняка.

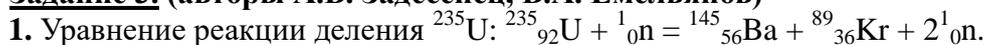
7. Так как массовая доля коксика в аглошихте составляет 0,042, то  $m_{\text{кокс.}} / (100 + m_{\text{кокс.}}) = 0,042$ . Масса коксика, которую следует добавить к 100 кг смеси, составит  $m_{\text{кокс.}} = 100 \cdot 0,042 / (1 - 0,042) = 4,38$  кг.



**Система оценивания:**

1. Определение формулы магнетита, подтвержденной расчётом 1 б. (без подтверждения 0,5 б.), класс соединения 0,5 б.	1+0,5 = 1,5 б.
2. Расчёт массовых долей магнетита и пирротина в концентрате по 2 б.	2×2 = 4 б.
3. Формула пирротина с расчетом 1 б. (без расчета 0,5 б.), класс 0,5 б.	1+0,5 = 1,5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б.	1×4 = 4 б.
5. Формулы по 0,5 б., содержание CaO по 1 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5×4+1×2+1×4 = 8 б.
6. Уравнение реакции 1 б., расчет массы известняка 3 б.	1+3 = 4 б.
7. Уравнение реакции 1 б., расчет массы коксика 2 б.	1+2 = 3 б.
<b>Всего</b>	<b>26 баллов</b>

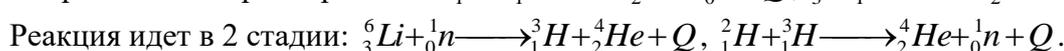
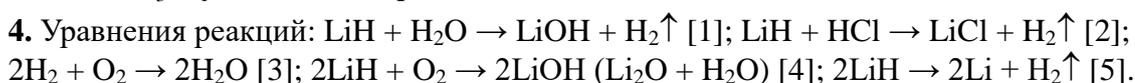
**Задание 3. (авторы А.В. Задесенец, В.А. Емельянов)**



Отношение мощностей взрывов  $50 \cdot 10^6 / 15 \cdot 10^3 = 3,33 \cdot 10^3$ .

2. Изотопы водорода:  $^1\text{H}$  – протий,  $^2\text{H}$  (символ D) – дейтерий,  $^3\text{H}$  (символ T) – тритий.

3. По описанию газ Y очень похож на водород, но расчет молярной массы газа Y дает нам значение  $29 \cdot 0,103 = 3,0$  г/моль. Такое возможно, если в составе газа Y один атом водорода (протия  $^1\text{H}$ ) – из воды, другой (дейтерия  $\text{D} \equiv ^2\text{H}$ ) – из  $^6_3\text{Li}^2\text{H}$ . То есть Y – это HD – дейтероводород. При горении дейтероводорода, как и при горении водорода обычного, получится вода HDO (Z), в которой один из атомов водорода замещен на дейтерий. Такую воду называют полутяжелой (или просто тяжелой) водой. Вещество  $^6_3\text{Li}^2\text{H}$  (X) – дейтерид лития-6.



6. Частицы  $^4_2\text{He}$ , выделяющиеся в ядерных реакциях, называются α-частицы. Поскольку в момент выделения их заряд 2+, α-частицы обладают исключительно сильными окислительными свойствами.

7. Сахаров Андрей Дмитриевич.

**Система оценивания:**

1. Символ 1 б., отношение мощностей 1 б.	1+1 = 2 б.
2. Названия по 0,5 б., символы по 0,5 б.	0,5×3+0,5×2 = 2,5 б.
3. Формулы Y и Z по 1 б. ( $\text{H}_2$ и $\text{H}_2\text{O}$ по 0,5 б.), дейтероводород, тяжелая (полутяжелая) вода, дейтерид лития по 1 б. (водород, вода и гидрид лития по 0,5 б.)	1×2+1×3 = 5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	1×5 = 5 б.
5. Уравнения ядерных реакций по 1 б.	1×2 = 2 б.
6. Название 1 б., свойства 1 б.	1+1 = 2 б.
7. Фамилия, имя и отчество по 0,5 б.	0,5×3 = 1,5 б.
<b>Всего</b>	<b>20 баллов</b>

**Задание 4. (автор Н.В. Рубан).**

1. В задаче говорится о простом веществе, способном светиться в темноте. Этому условию удовлетворяет фосфор, в чем можно убедиться и с помощью расчета.

Обозначим атомную массу элемента **X** за  $m$ . Массовая доля элемента **X** во фторапатите составляет 18,45 %, следовательно,  $3*m/(5*40+3*(m+64)+19) = 0,1845$ . Отсюда получаем  $m = 31$ , что соответствует атомной массе фосфора. Отсутствие самородного фосфора в природе принято связывать с его легкой окисляемостью и вообще высокой химической активностью.

2. Три общепринятые аллотропные модификации фосфора: белый (правильным ответом так же считать жёлтый), красный и чёрный (фиолетовый). Еще есть менее известный металлический фосфор. Наибольшую химическую активность проявляет белый фосфор.

3. Уравнение реакции окисления белого фосфора на воздухе:  $P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$  (правильным так же считать  $P_2O_5$ ,  $P_2O_3$ ,  $P_4O_6$ ). Обычно белый фосфор хранят под слоем воды или в инертной атмосфере. Ответы «под слоем масла или любого органического растворителя» не засчитываются в связи с растворимостью белого фосфора в неполярных растворителях.

4. Объем фосфора на морде собаки можно вычислить по формуле  $V = \pi r^2 * h$ , где  $\pi r^2$  - площадь круга (в нашем случае - площадь морды собаки),  $h$  - высота (толщина слоя фосфора). Таким образом,  $V_P = 3,14 * 100 * 0,1 = 31,4 \text{ см}^3$ . Массу фосфора вычисляем по формуле  $m_P = V_P * \rho = 31,4 * 1,82 = 57,2 \text{ г}$ . Тогда, за час собака съест  $57,2 * 0,1 = 5,72 \text{ г}$  фосфора, что намного превышает летальную дозу. Следовательно, собака получит летальную дозу меньше, чем через час после нанесения состава, что делает невозможным его применение.

5. Если собака съедает за час примерно 5,7 г фосфора, это соответствует  $5,7/60 = 0,095 \text{ г/мин}$ . Следовательно, собака съест летальную дозу за  $0,15/0,095 = 1,6 \text{ мин}$ .

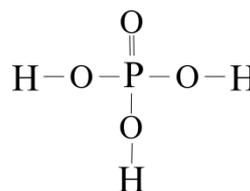
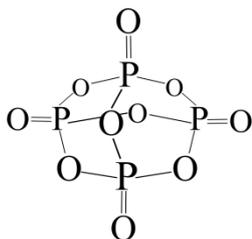
6. Уравнение реакции:  $4Ca_5(PO_4)_3F + 18SiO_2 + 30C \xrightarrow{t, ^\circ C} 3P_4\uparrow + 18CaSiO_3 + 30CO\uparrow + 2CaF_2$ .

7. Уравнения реакций:  $P_4 + 6Mg \rightarrow 2Mg_3P_2$  (вещество **B**);  $Mg_3P_2 + 6H_2O \rightarrow 3Mg(OH)_2 + 2PH_3$  (**C**);  $2P_4 + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3Ba(H_2PO_2)_2 + 2PH_3$  (**C**);  $4PH_3 + 8O_2 \rightarrow 6H_2O\uparrow + P_4O_{10}$  ( $P_2O_5$ ) (**D**);  $P_4O_{10} + 6H_2O \rightarrow 4H_3PO_4$  (**E**).

8. Вещество **D** ( $P_4O_{10}$ ):

(можно  $P_2O_5$ ):

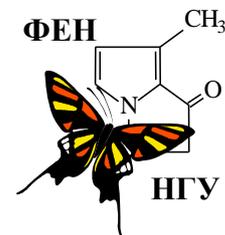
Вещество **E** ( $H_3PO_4$ ):



9. Героя, вымышленного Конан Дойлем, зовут Шерлок Холмс.

**Система оценивания:**

1. Определение элемента <b>X</b> с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), активность 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Три модификации по 0,5 б., самая активная 0,5 б.	0,5*3+0,5 = 2 б.
3. Уравнение реакции 1 б., способ хранения 1 б.	1+1 = 2 б.
4. Расчет массы 3 б., невозможность применения с расчетом 1 б., без расчета 0,5 б.	3+1 = 4 б.
5. Расчет времени 1 б.	1 б.
6. Уравнение реакции 2 б., без коэффициентов (все продукты реакции правильные) 1 б.	2 б.
7. Формулы веществ <b>B-E</b> по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	0,5*4+1*5 = 7 б.
8. Структурные формулы веществ <b>D</b> и <b>E</b> по 1 б.	1*2 = 2 б.
9. Шерлок Холмс 1 б.	1 б.
<b>Всего</b>	<b>24 балла</b>

**Задание 1.** (автор В.А. Емельянов).

1. а) Объем трех пузырьков составляет  $3 \cdot \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (0,5/2)^3 = 0,19625 \approx 0,2 \text{ см}^3 = 0,2 \text{ мл}$ . То есть, скорость подачи газа в этих единицах составляет 0,2 мл/с;

б) За секунду через трубку проходит  $6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} / 24 = 5,02 \cdot 10^{18}$  молекул;

в) В минуту через трубку пройдет  $60 \cdot 3 \cdot 5,02 \cdot 10^{18} = 9,04 \cdot 10^{20}$  атомов;

г) В час через трубку пройдет  $44 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 5,02 \cdot 10^{18} / 6,02 \cdot 10^{23} = 1,32 \text{ г}$  газа ( $44 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} / 24 = 1,32 \text{ г}$ );

д) в сутки через трубку пройдет  $24 \cdot 1,32 / 44 = 0,72$  моль газа.

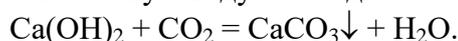
2. Минимальное время  $360 / 0,2 = 1800 \text{ с}$  или  $1800 / 60 = 30 \text{ мин}$ . Эксперимент проводят заметно дольше, поскольку часть углекислого газа уходит в окружающую среду и не получается количественно вытеснить воздух из колбы рассчитанным объемом углекислого газа. Взвешивания проводят до тех пор, пока не совпадут результаты двух-трех последних взвешиваний. Именно последнее значение массы берут в качестве истинного.

Одним взвешиванием обойтись нельзя, поскольку в этом случае нет никакой уверенности в том, что в колбе уже нет воздуха, а есть только углекислый газ.

3. В колбе объемом 0,36 л в условиях эксперимента содержится  $0,36 / 24 = 0,015$  моль любого газа. Это количество углекислого газа весит  $44 \cdot 0,015 = 0,66 \text{ г}$ . Однако, прежде чем сложить это значение с массой колбы, приведенной в задаче, из последней надо вычесть массу находящегося в ней воздуха. Среднее значение молярной массы воздуха 29 г/моль, масса воздуха в колбе  $29 \cdot 0,015 = 0,435 \text{ г}$ . Масса колбы с пробкой, полностью заполненной углекислым газом, составит  $412,555 - 0,435 + 0,66 = 412,78 \text{ г}$ .

4. При переворачивании колбы углекислый газ «выливается» из нее, поскольку он тяжелее воздуха. Горящая свеча гаснет, поскольку углекислый газ вытесняет воздух (и, соответственно, кислород) из зоны горения, а сам горение не поддерживает.

5. Буратино увидел, что при пропускании углекислого газа через прозрачную бесцветную известковую воду наблюдается ее помутнение (выпадает осадок, жидкость белеет и т. п.):



После того, как Буратино отвлекся и снова посмотрел на колбу, он увидел, что количество мути стало уменьшаться (осадок растворяться, жидкость снова стала светлеть и т. п.), поскольку при избытке углекислого газа карбонат кальция растворяется, вновь давая прозрачный бесцветный раствор:  $\text{CaCO}_3 \text{ тв.} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca(HCO}_3)_2 \text{ р-р}$ .

6. В 1 л известковой воды содержится 1,6 г гашеной извести, то есть  $1,6 / 74 = 0,0216 = 2,16 \cdot 10^{-2}$  моль, в 0,1 л –  $2,16 \cdot 10^{-3}$  моль. Для максимального проявления первого эффекта (максимальное количество мути) углекислого газа также потребуется  $2,16 \cdot 10^{-3}$  моль. Такое количество газа проходит через трубку за  $2,16 \cdot 10^{-3} / 0,72 = 3 \cdot 10^{-3}$  суток или  $60 \cdot 24 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 4,32$  мин или 259,2 с. Чтобы увидеть окончание второго эффекта (растворился весь карбонат кальция), нужно как минимум еще столько же  $\text{CO}_2$ , т. е. еще столько же времени. Всего потребуется  $2 \cdot 4,32 = 8,64$  мин или 518,4 с.

7. а) С углекислым газом не реагируют: соляная кислота, оксид азота(II), кислород, оксид меди(II).

б) С углекислым газом реагируют: оксид бария, уголь (при нагревании), оксид натрия, металлический магний (при нагревании). Уравнения реакций:  $\text{BaO} + \text{CO}_2 = \text{BaCO}_3$ ;



8. В лаборатории углекислый газ обычно получают действием соляной кислоты на мрамор:  $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ . Можно использовать и другие кислоты с карбонатами, однако важно, чтобы образующаяся в ходе реакции соль была хорошо растворима, а кислота была достаточно сильной, если исходный карбонат растворим плохо.

Углекислый газ используется в пищевой промышленности (консервант, разрыхлитель, производство газированных напитков), химической промышленности (производство соды) для заполнения огнетушителей, для заполнения баллончиков в пневматическом оружии, в качестве хладагента («сухой лед») в лабораторных исследованиях и розничной торговле и т. п.

**Система оценивания:**

1. Каждый расчет скорости в других единицах по 1 б.	$1 \times 5 = 5 \text{ б.}$
2. Расчет времени 1 б., потери газа (диффузия, конвекция, перемешивание и т.п.) 1 б., до совпадения взвешиваний 1 б., нет контроля 1 б.	$1 \times 4 = 4 \text{ б.}$
3. Расчет массы колбы с $\text{CO}_2$ 4 б. (масса $\text{CO}_2$ 2 б., мысль об учете массы воздуха 1 б, расчет массы воздуха 1 б.)	<b>4 б.</b>
4. Погасла 1 б., не поддерживает горение (изолирует от $\text{O}_2$ ) 1 б.	$1 \times 2 = 2 \text{ б.}$
5. Осадок (помутнение) и его растворение по 0,5 б., уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 2 + 1 \times 2 = 3 \text{ б.}$
6. Расчет времени первого эффекта 2 б., второго 1 б. (за ответ, что времени потребуется еще столько же, ставится 1 б.)	$2 + 1 = 3 \text{ б.}$
7. Верное указание «реагирует/не реагирует» по 0,5 б. (неверное – штраф минус 0,5 б, но в целом за пункт 7 не меньше 0 б), уравнения реакций по 1 б.	$0,5 \times 8 + 1 \times 4 = 8 \text{ б.}$
8. Верное для способа получения уравнение реакции 1 б., два примера по 0,5 б.	$1 + 0,5 \times 2 = 2 \text{ б.}$
<b>Всего</b>	<b>31 балл</b>

**Задание 2. (авторы А.И. Ушеров, В.А. Емельянов)**

1. Попробуем представить формулу магнетита как  $\text{Fe}_x\text{O}_y$ , тогда  $\omega_{\text{Fe}} = 55,85x/(55,85x+16y) = 0,7236$ . Отсюда  $x = 0,75y$ . Так как  $x$  и  $y$  могут быть только целыми числами, то наименьшие числа:  $x = 3$ ,  $y = 4$ , следовательно, формула магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Такое вещество действительно существует, по классификации относится к основным оксидам (можно просто оксид). Если формула представлена в виде  $\text{Fe}(\text{FeO}_2)_2$  то допускается ответ – соль.

2. Пусть масса концентрата 100 г, тогда в нём содержится второго элемента 0,5 г. Чтобы найти массу пирротина, поделим массу второго элемента на его массовую долю в пирротине. Получим массу пирротина в 100 г концентрата или, иначе говоря, массовую долю пирротина в концентрате  $\omega_{\text{пир.}} = 0,5/(1-0,6357) = 0,5/0,3643 = 1,372 \%$ .

В 100 г концентрата содержится 60,5 г железа. Масса железа от пирротина составит  $1,372 \times 0,6357 = 0,872$  г, следовательно, масса железа от магнетита  $60,5 - 0,872 = 59,628$  г, а содержание магнетита в концентрате составит  $\omega_{\text{магн.}} = 59,628/0,7236 = 82,4\%$ .

3. Представим формулу пирротина  $\text{Fe}_x\text{A}_y$ , где  $x$  и  $y$  могут быть только целыми числами, а элемент А – неметалл (если знать элементы, входящие в состав пирита, то расчет сильно упростится).

Атомную массу А примем за Z, тогда  $\omega_{\text{Fe}} = 55,85x/(55,85x+yZ) = 0,6357$ .  $x = 0,03124yZ$ .  $Z = 32x/y$ . Единственное разумное решение получается при  $x = 1$ ,  $y = 1$ ,  $Z = 32$ . Следовательно, элемент А – это сера, значит формула пирротина  $\text{FeS}$ . По классической классификации это соль, но можно отнести его и к классу сульфидов, восстановителей и даже оснований.

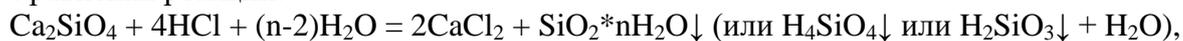
4. Уравнения реакций: а)  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeS} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$ .

5. Метасиликат кальция –  $\text{CaSiO}_3$ , ортосиликат кальция –  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , метаалюминат магния –  $\text{Mg}(\text{AlO}_2)_2$ .

В метасиликате кальция  $\omega_{\text{CaO}} = M_{\text{CaO}}/M_{\text{CaSiO}_3} = 56/116 = 0,483$  или 48,3 %,

в ортосиликате  $\omega_{\text{CaO}} = 2M_{\text{CaO}}/M_{\text{Ca}_2\text{SiO}_4} = 112/172 = 0,651$  или 65,1 %.

Уравнения реакций:





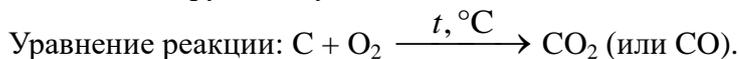
В 100 кг концентрата содержится  $m_{\text{CaO}} = 0,3$  кг и  $m_{\text{SiO}_2} = 5$  кг.

Примем массу добавленного известняка за  $x$  кг. Масса CaO, вносимого с известняком, составит  $m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} = x \cdot M_{\text{CaO}} / M_{\text{CaCO}_3} = x \cdot 56 / 100 = 0,56x$  кг.

Тогда общая масса CaO в агломерате будет равна  $m_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} = m_{\text{CaO}} + m_{\text{CaO}}^{\text{изв.}} = 0,3 + 0,56x$  кг, а масса SiO<sub>2</sub> в агломерате  $m_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = 5$  кг.

По условию,  $\mathbf{B} = 1,7 = \omega_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} / \omega_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = m_{\text{CaO}}^{\text{агл.}} / m_{\text{SiO}_2}^{\text{агл.}} = (0,3 + 0,56x) / 5$ , откуда  $x = 14,6$ . К 100 кг концентрата нужно добавить 14,6 кг известняка.

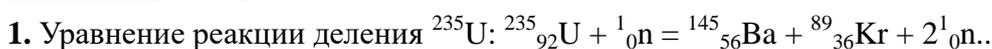
7. Так как массовая доля коксика в аглошихте составляет 0,042, то  $m_{\text{кокс.}} / (100 + m_{\text{кокс.}}) = 0,042$ . Масса коксика, которую следует добавить к 100 кг смеси, составит  $m_{\text{кокс.}} = 100 \cdot 0,042 / (1 - 0,042) = 4,38$  кг.



**Система оценивания:**

1. Определение формулы магнетита, подтвержденной расчётом 2 б. (без подтверждения 1 б.), класс соединения 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Расчёт массовых долей магнетита и пирротина в концентрате по 2 б.	2×2 = 4 б.
3. Формула пирротина с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), класс 1 б.	2+1 = 3 б.
4. Уравнения реакций по 1 б.	1×2 = 2 б.
5. Формулы по 1 б., содержание CaO по 2 б., уравнения реакций по 1 б.	1×3+2×2+1×2 = 9 б.
6. Уравнение реакции 1 б., расчет массы известняка 3 б.	1+3 = 4 б.
7. Уравнение реакции 1 б., расчет массы коксика 2 б.	1+2 = 3 б.
<b>Всего</b>	<b>28 баллов</b>

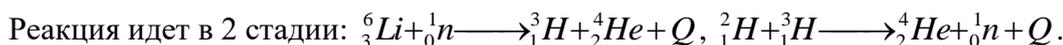
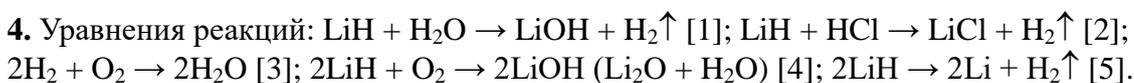
**Задание 3. (авторы А.В. Задесенец, В.А. Емельянов)**



Отношение мощностей взрывов  $50 \cdot 10^6 / 15 \cdot 10^3 = 3,33 \cdot 10^3$ .

2. Изотопы водорода:  ${}^1\text{H}$  – протий,  ${}^2\text{H}$  (символ D) – дейтерий,  ${}^3\text{H}$  (символ T) – тритий.

3. По описанию газ Y очень похож на водород, но расчет молярной массы газа Y дает нам значение  $29 \cdot 0,103 = 3,0$  г/моль. Такое возможно, если в составе газа Y один атом водорода (протия  ${}^1\text{H}$ ) – из воды, другой (дейтерия  $\text{D} \equiv {}^2\text{H}$ ) – из  ${}^6_3\text{Li}^2\text{H}$ . То есть Y – это HD – дейтероводород. При горении дейтероводорода, как и при горении водорода обычного, получится вода HDO (Z), в которой один из атомов водорода замещен на дейтерий. Такую воду называют полутяжелой (или просто тяжелой) водой. Вещество  ${}^6_3\text{Li}^2\text{H}$  (X) – дейтерид лития-6.



6. Сахаров Андрей Дмитриевич.

**Система оценивания:**

1. Символ 1 б., отношение мощностей 1 б.	1+1 = 2 б.
2. Названия по 0,5 б., символы по 0,5 б.	0,5×3+0,5×2 = 2,5 б.
3. Формулы Y и Z по 1 б. ( $\text{H}_2$ и $\text{H}_2\text{O}$ по 0,5 б.), дейтероводород, тяжелая (полутяжелая) вода, дейтерид лития по 1 б. (водород, вода и гидрид лития по 0,5 б.)	1×2+1×3 = 5 б.
4. Уравнения реакций по 1 б. (засчитываются как с LiD, так и с LiH)	1×5 = 5 б.
5. Уравнения ядерных реакций по 2 б.	2×2 = 4 б.
6. Фамилия, имя и отчество по 0,5 б.	0,5×3 = 1,5 б.
<b>Всего</b>	<b>20 баллов</b>

#### Задание 4. (автор Н.В. Рубан).

1. В задаче говорится о простом веществе, способном светиться в темноте. Этому условию удовлетворяет фосфор, в чем можно убедиться и с помощью расчета.

Обозначим атомную массу элемента **X** за  $m$ . Массовая доля элемента **X** во фторапатите составляет 18,45 %, следовательно,  $3m/(5 \cdot 40 + 3(m+64) + 19) = 0,1845$ . Отсюда получаем  $m = 31$ , что соответствует атомной массе фосфора. Отсутствие самородного фосфора в природе принято связывать с его легкой окисляемостью и вообще высокой химической активностью.

2. Три общепринятые аллотропные модификации фосфора: белый (правильным ответом так же считать жёлтый), красный и чёрный (фиолетовый). Еще есть менее известный металлический фосфор. Наибольшую химическую активность проявляет белый фосфор.

3. Уравнение реакции окисления белого фосфора на воздухе:  $P_4 + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$  (правильным так же считать  $P_2O_5$ ,  $P_2O_3$ ,  $P_4O_6$ ). Обычно белый фосфор хранят под слоем воды или в инертной атмосфере. Ответы «под слоем масла или любого органического растворителя» не засчитываются в связи с растворимостью белого фосфора в неполярных растворителях.

4. Объем фосфора на морде собаки можно вычислить по формуле  $V = \pi r^2 \cdot h$ , где  $\pi r^2$  - площадь круга (в нашем случае - площадь морды собаки),  $h$  - высота (толщина слоя фосфора). Таким образом,  $V_P = 3,14 \cdot 100 \cdot 0,1 = 31,4 \text{ см}^3$ . Массу фосфора вычисляем по формуле  $m_P = V_P \cdot \rho = 31,4 \cdot 1,82 = 57,2 \text{ г}$ . Тогда, за час собака съест  $57,2 \cdot 0,1 = 5,72 \text{ г}$  фосфора, что намного превышает летальную дозу. Следовательно, собака получит летальную дозу меньше, чем через час после нанесения состава, что делает невозможным его применение.

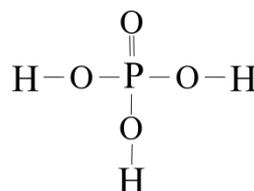
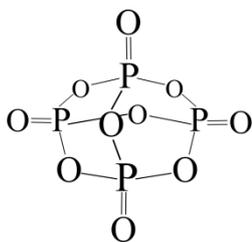
5. Если собака съедает за час примерно 5,7 г фосфора, это соответствует  $5,7/60 = 0,095 \text{ г/мин}$ . Следовательно, собака съест летальную дозу за  $0,15/0,095 = 1,6 \text{ мин}$ .

6. Фосфор находится в V группе ПС, следовательно, его высший оксид **B** имеет формулу  $P_2O_5$  (или, что более грамотно,  $P_4O_{10}$ ). При взаимодействии **B** с водой образуется ортофосфорная кислота  $H_3PO_4$ :  $P_4O_{10} + 6H_2O \rightarrow 4H_3PO_4$ .

7. Вещество **B** ( $P_4O_{10}$ ):

(можно  $P_2O_5$ ):

Вещество **C** ( $H_3PO_4$ ):



8. Уравнения реакций:  $H_3PO_4 + NaOH$  (1 экв.)  $\rightarrow NaH_2PO_4$  (соль **D**) +  $H_2O$ ;

$NaH_2PO_4 + NaOH$  (1 экв.)  $\rightarrow Na_2HPO_4$  (соль **E**) +  $H_2O$ ;

$Na_2HPO_4 + NaOH$  (1 экв.)  $\rightarrow Na_3PO_4$  (соль **F**) +  $H_2O$ .

Вещества **D** и **E** относят к классу кислых солей.

9. Героя, вымышленного Конан Дойлем, зовут Шерлок Холмс.

#### Система оценивания:

1. Определение элемента <b>X</b> с расчетом 2 б. (без расчета 1 б.), активность 1 б.	2+1 = 3 б.
2. Три модификации по 0,5 б., самая активная 0,5 б.	0,5×3+0,5 = 2 б.
3. Уравнение реакции 1 б., способ хранения 1 б.	1+1 = 2 б.
4. Расчет массы 3 б., невозможность применения с расчетом 1 б., без расчета 0,5 б.	3+1 = 4 б.
5. Расчет времени 1 б.	1 б.
6. Формулы веществ <b>B</b> и <b>C</b> по 0,5 б., уравнение реакции 1 б.	0,5×2+1 = 2 б.
7. Структурные формулы веществ <b>B</b> и <b>C</b> по 1 б.	1×2 = 2 б.
8. Уравнения реакций по 1 б., класс кислых солей 1 б.	1×3+1 = 4 б.
9. Шерлок Холмс 1 б.	1 б.
<b>Всего</b>	<b>21 балл</b>