**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.

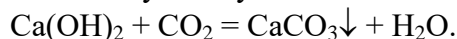
2. Минимальное время $360 / 0,2 = 1800 \text{ с}$ или $1800 / 60 = 30 \text{ мин}$. Эксперимент проводят заметно дольше, поскольку часть углекислого газа уходит в окружающую среду и не получается количественно вытеснить воздух из колбы рассчитанным объемом углекислого газа. Взвешивания проводят до тех 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.):

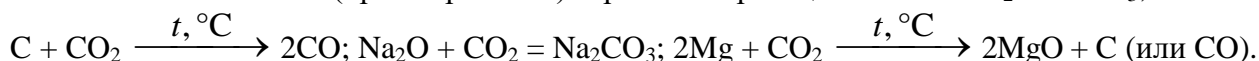


После того, как Буратино отвлекся и снова посмотрел на колбу, он увидел, что количество мути стало уменьшаться (осадок растворяться, жидкость снова стала светлеть и т. п.), поскольку при избытке углекислого газа карбонат кальция растворяется, вновь давая прозрачный бесцветный раствор: $\text{CaCO}_3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

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 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 CO_2 4 б. (масса CO_2 2 б., мысль об учете массы воздуха 1 б, расчет массы воздуха 1 б.)	4 б.
4. Погасла 1 б., не поддерживает горение (изолирует от 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.	$1 + 0,5 \times 2 = 2 \text{ б.}$
Всего	31 балл

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

1. Попробуем представить формулу магнетита как Fe_xO_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 Fe_3O_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 Fe_xA_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 FeS . По классической классификации это соль, но можно отнести его и к классу сульфидов, восстановителей и даже оснований.

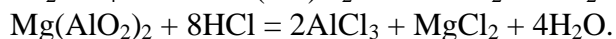
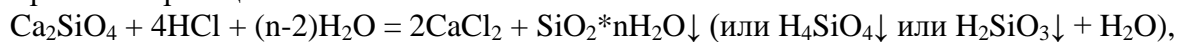
4. Уравнения реакций: а) $\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + 2\text{FeCl}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeS} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$.

5. Метасиликат кальция – CaSiO_3 , ортосиликат кальция – Ca_2SiO_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:





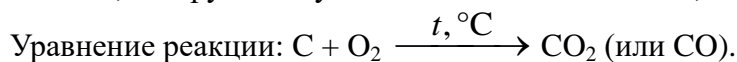
В 100 кг концентрата содержится $m_{\text{CaO}} = 0,3$ кг и $m_{\text{SiO}_2} = 5$ кг.

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 SiO₂ 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.

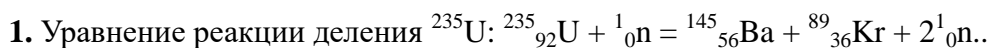
7. Так как массовая доля коксика в аглошихте составляет 0,042, то $m_{\text{кокс.}} / (100 + m_{\text{кокс.}}) = 0,042$. Масса коксика, которую следует добавить к 100 кг смеси, составит $m_{\text{кокс.}} = 100 \cdot 0,042 / (1 - 0,042) = 4,38$ кг.



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.
Всего	28 баллов

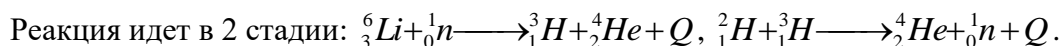
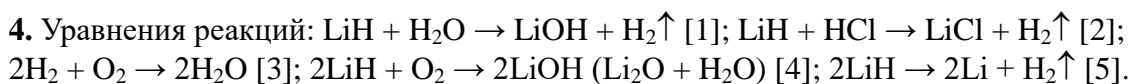
Задание 3. (авторы А.В. Задесенец, В.А. Емельянов)



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

2. Изотопы водорода: ^1H – протий, ^2H (символ D) – дейтерий, ^3H (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 ^1H) – из воды, другой (дейтерия $D \equiv ^2\text{H}$) – 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. (H_2 и H_2O 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.
Всего	20 баллов

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 πr^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.

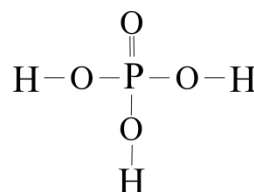
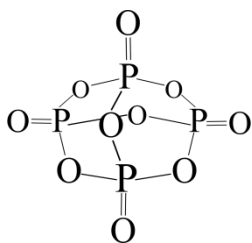
5. Если собака съедает за час примерно 5,7 г фосфора, это соответствует $5,7/60 = 0,095 \text{ г/мин}$. Следовательно, собака съест летальную дозу за $0,15/0,095 = 1,6 \text{ мин}$.

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 X 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 и C по 0,5 б., уравнение реакции 1 б.	0,5×2+1 = 2 б.
7. Структурные формулы веществ B и C 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.
Всего	21 балл