

Задача 1. (автор В. А. Емельянов).

1. Для того, чтобы вычислить общую массу элемента железа в каждом блюде, надо умножить массу каждого из компонентов блюда на массовую долю железа (поделенную на 100 %):

Винегрет: $60 \cdot 0,97 + 50 \cdot 0,724 + 30 \cdot 1 + 30 \cdot 0,95 + 15 \cdot 0 = 152,9$ г;

Салатик грибной: $75 \cdot 1 + 60 \cdot 0,98 + 30 \cdot 0,95 + 15 \cdot 0 = 162,3$ г;

Макароны по-флотски: $120 \cdot 0 + 150 \cdot 1 = 150$ г;

Манты «Гурман»: $100 \cdot 0,126 + 130 \cdot 1 = 142,6$ г;

Стейк: $300 \cdot 0,465 + 100 \cdot 0 = 139,5$ г;

Майонез «Лимонный»: $4 \cdot 0,629 + 26 \cdot 0 = 2,5$ г;

Кетчуп «Особый»: $15 \cdot 0,36 + 0,344 + 15 \cdot 0,65 = 1,9$ г;

Напиток газированный «Тархун»: $5 \cdot 0,482 + 200 \cdot 0,02 = 2,4$ г;

Коктейль «Турнбулева Синь»: $80 \cdot 0,08 + 0,197 + 120 \cdot 0,07 + 0,17 = 2,7$ г.

2. **Шеля:** винегрет (152,9 г Fe; 160 у.е.ш.), макароны по-флотски (150; 160), стейк (139,5; 200), две порции майонеза ($2 \cdot 2,5$; $2 \cdot 10$) и напиток «Тархун» (2,4; 24).

Общая масса железа $152,9 + 150 + 139,5 + 2 \cdot 2,5 + 2,4 = 449,8$ г.

Общая стоимость $160 + 160 + 200 + 2 \cdot 10 + 24 = 564$ у.е.ш. Получается $564 / 449,8 = 1,254$ у.е.ш. за 1 г Fe.

Зяка: салатик грибной (162,3 г Fe; 170 у.е.ш.), манты (142,6; 150), стейк (139,5; 200), две порции кетчупа ($2 \cdot 1,9$; $2 \cdot 8$) и коктейль «Турнбулева Синь» (2,7; 27).

Общая масса железа $162,3 + 142,6 + 139,5 + 2 \cdot 1,9 + 2,7 = 450,9$ г.

Общая стоимость $170 + 150 + 200 + 2 \cdot 8 + 27 = 563$ у.е.ш. Получается $563 / 450,9 = 1,249$ у.е.ш. за 1 г Fe.

Таким образом, немного больше железа (всего на 1,1 г) в результате досталось Зяке. Поскольку он потратил на 1 у.е.ш. меньше, он же и сделал относительно более выгодный заказ, в среднем получив больше железа на каждую вложенную у.е.ш. Правда разница в оплате каждого приобретенного грамма железа получилась очень и очень незначительной.

3. Посчитаем соотношения количества атомов элементов в формулах, взяв по 100 г вещества:

Хлорное железо: $n(\text{Fe}) : n(\text{Cl}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}) : m(\text{Cl})/M(\text{Cl}) = 34,4/56 : (100-34,4)/35,5 = 0,614 : 1,848 = 1 : 3$. Формула вещества FeCl_3 .

Магнетит: $n(\text{Fe}) : n(\text{O}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}) : m(\text{O})/M(\text{O}) = 72,4/56 : (100-72,4)/16 = 1,293 : 1,725 = 1 : 1,334 = 3 : 4$. Формула вещества Fe_3O_4 .

Пирит: $n(\text{Fe}) : n(\text{S}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}) : m(\text{S})/M(\text{S}) = 46,5/56 : (100-46,5)/32 = 0,830 : 1,672 = 1 : 2$. Формула вещества FeS_2 .

Поскольку в состав лимонита входит 3 элемента, а у нас есть только массовая доля железа, попробуем вычислить молекулярную массу лимонита: $M = 56/0,629 = 89$ а.е.м., из которых 56 приходится на железо. Остается $89-56 = 33$ а.е.м., что соответствует двум атомам кислорода и одному атому водорода. Тогда формула лимонита FeHO_2 или, что более привычно, FeOОН .

4. Теперь попробуем вычислить молекулярную массу сидерита: $M = 56/0,482 = 116$ а.е.м., из которых 56 приходится на железо. Остается $116-56 = 60$ а.е.м. Углекислый газ получается при растворении в кислотах карбонатов, а 60 а.е.м. как раз соответствует карбонат-иону: трем атомам кислорода и одному атому углерода. Даже не зная этого свойства карбонатов, можно догадаться, что в состав сидерита входит углерод, поскольку в напитке оказался углекислый газ. В любом случае, формула сидерита FeCO_3 . Уравнение реакции: $\text{FeCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{CO}_2 \uparrow$.

5. Самый простой и эффективный способ пассивировать стальные колечки – опустить их на

некоторое время в концентрированную азотную или серную кислоту. Как правило, пассивация металлов заключается в обработке их поверхности окислителями, в результате чего на поверхности металла образуется чрезвычайно тонкая и плотная оксидная пленка. Пассивированный металл оказывается в существенно меньшей степени подверженным процессам коррозии и заметно менее реакционно способен, чем не пассивированный.

6. Ржавлением называют процесс взаимодействия железа с кислородом в присутствии воды или влажного воздуха. Уравнение реакции: $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 + 2n\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($\text{FeO}(\text{OH})$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$).

Уравнение реакции обжига пирита: $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \xrightarrow{t, ^\circ\text{C}} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$.

7. Взаимодействие растворов, содержащих соли железа(III) и роданид-ионы, является качественной реакцией на ионы Fe^{3+} и приводит к образованию комплексных роданидов железа(III), имеющих интенсивную кроваво-красную окраску: $\text{Fe}^{3+} + n\text{SCN}^- = [\text{Fe}(\text{SCN})_n]^{3-n}$ (засчитывается реакция с любым n). Смесь наших концентрированных вязких растворов кроваво-красного цвета внешне вполне похожа на кетчуп.

А взаимодействие растворов, содержащих соли железа(II) и гексацианоферрат(III)-ионы, является качественной реакцией на ионы Fe^{2+} и приводит к образованию смеси комплексных цианидов железа(II, III), имеющих интенсивную синюю окраску: $3\text{Fe}^{2+} + 2[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} = \text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ (или любое другое уравнение с верными коэффициентами, где получается смешанновалентный комплекс).

8. Масса замазки, приготовленной по рецепту, 500 г. Железа в ней $0,126 \cdot 500 = 63$ г, причем все оно содержится в 90 г «мумии». Следовательно, массовая доля железа в «мумии» $63/90 = 0,7$. Попробуем вычислить ее формулу. Если в состав молекулы «мумии» входит 1 атом железа, то ее масса $56/0,7 = 80$ а.е.м., из которых 56 приходится на железо. Остается $80-56 = 24$ а.е.м., что могло бы соответствовать двум атомам углерода, но углерод не подходит по условию. Если в состав молекулы «мумии» входит 2 атома железа, то ее масса $56 \cdot 2/0,7 = 160$ а.е.м., из которых 112 приходится на железо. Остается $160-112 = 48$ а.е.м., что соответствует трем атомам кислорода. Таким образом, формула вещества Fe_2O_3 .

Система оценивания:

1. Расчет массы железа в каждом блюде по 1 б $1б \cdot 9 = 9 б$;
 2. Расчет массы железа у каждого робота по 1 б, вывод о том, что у Зяки железа больше 1 б, вывод о том, что его покупка выгоднее 2 б (вывод – одинаково 1 б) .. $1б \cdot 2 + 1б + 2б = 5 б$;
 - 3-4. Формулы, подтвержденные расчетом по 1 б (без расчета 0,5 б) $1б \cdot 5 = 5 б$;
 - Уравнение реакции 1 б 1 б;
 5. Способ пассивации 1 б, оксидная пленка 1 б, снижение активности 1 б $1б + 1б + 1б = 3 б$;
 6. Уравнения реакций по 1 б $1б \cdot 2 = 2 б$;
 7. Красный и синий цвет по 0,5 б, уравнения реакций по 1 б $0,5б \cdot 2 + 1б \cdot 2 = 3 б$;
 8. Формула мумии с расчетом 2 б (без расчета 1 б) 2 б;
- Всего** **30 баллов**

Задача 2. (автор В. А. Емельянов).

1. Уравнение реакции, протекающей в вулкане Лемери: $\text{Fe} + \text{S} = \text{FeS}$. Железо было взято Лемери в количестве $2/56 = 0,036$ моля, сера $2/32 = 0,063$ моля, т.е. сера была в избытке. Избыток серы во время извержения вулкана просто сгорел: $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$.

2. Если оба вещества суммарной массой 4,4 г прореагируют полностью, получится ровно 4,4 г сульфида железа, т.е. ровно $4,4/(56+32) = 0,05$ моля. В соответствии с уравнением реакции, чтобы получилось 0,05 моля FeS , должно прореагировать по 0,05 моля железа и серы. То есть надо смешать $0,05 \cdot 56 = 2,8$ г железных опилок и $0,05 \cdot 32 = 1,6$ г серы.

3. Два самых очевидных способа разделения смеси порошков железа и серы основаны на знании их особых свойств: железо притягивается к магниту, а порошок серы не смачивается водой. Поэтому 1-й способ разделения заключается в извлечении железа из смеси магнитом, а сера остается в чистом виде. Магнит можно обернуть тонкой бумагой, чтобы облегчить отделение железа уже от магнита. По 2-му способу смесь высыпается в воду, железо тонет, а сера остается на поверхности. Собрав серу, воду можно слить, а железо просушить между листами фильтровальной бумаги.

4. Уравнение реакции: $2\text{KNO}_3 + \text{C} = 2\text{KNO}_2 + \text{CO}_2\uparrow$. По следствию из закона Гесса тепловой эффект химической реакции равен сумме теплот образования продуктов реакции за вычетом суммы теплот образования реагентов с учетом их стехиометрических коэффициентов. Теплота образования угля, как и других простых веществ в их устойчивых состояниях, равна нулю.

$$Q_r = 393,5 + 2 \cdot 370,3 - 0 - 2 \cdot 393,1 = 347,9 \text{ кДж/моль.}$$

5. Из условия известно, что продуктами разложения $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ являются только N_2 , H_2O и оксид хрома. Попробуем написать состав оксида хрома, убрав из исходного соединения молекулу азота и $4 \cdot 2/2 = 4$ молекулы воды. Остается 2 атома хрома и три атома кислорода, т.е. состав оксида хрома Cr_2O_3 . Уравнение реакции: $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 = \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + \text{Cr}_2\text{O}_3$. При разложении 5 г, т.е. $5/252 = 0,02$ молей дихромата аммония получится 0,02 моля оксида хрома и $0,02 + 4 \cdot 0,02 = 0,1$ моль газовой смеси, состоящей из азота и водяных паров. Масса оксида хрома составит $0,02 \cdot 151 = 3$ г, суммарный объем газов $0,1 \cdot 100 = 10$ л.

6. В 2 чайных ложках соды содержится 10 г, т.е. $10/84 = 0,12$ моля NaHCO_3 . Углекислого газа по уравнению реакции получится тоже 0,12 моля, его объем (как и объем пены) при атмосферном давлении и комнатной температуре составит примерно $0,12 \cdot 24,4 = 2,9$ л.

Система оценивания:

1. Уравнения реакций по 1 б, избыток серы 1 б $1б \cdot 2 + 1б = 3 б$;
 2. Расчет масс железа и серы 2 б 2 б;
 3. Указания на магнит и воду (без деталей очистки) по 2 б $2б \cdot 2 = 4 б$;
 4. Уравнение реакции 1 б, тепловой эффект 2 б $1б + 2б = 3 б$;
 5. Формула Cr_2O_3 1 б, уравнение реакции 1 б, масса Cr_2O_3 и объем газа по 2 б $1б + 1б + 2б \cdot 2 = 6 б$;
 6. Объем пены 2 б 2 б;
- Всего** **20 баллов**

Задача 3. (авторы В. Н. Конев, В. А. Емельянов).

1. Из условий получения веществ **A** и **B** понятно, что они содержат только фосфор и хлор. Тогда посчитаем соотношения количества атомов элементов в формулах, взяв по 100 г вещества:

A: $n(\text{P}) : n(\text{Cl}) = m(\text{P})/M(\text{P}) : m(\text{Cl})/M(\text{Cl}) = (100 - 77,45)/31 : 77,45/35,5 = 0,727 : 2,182 = 1 : 3$. Формула вещества PCl_3 – трихлорид фосфора (хлорид фосфора(III), хлористый фосфор).

B: $n(\text{P}) : n(\text{Cl}) = m(\text{P})/M(\text{P}) : m(\text{Cl})/M(\text{Cl}) = (100 - 85,13)/31 : 85,13/35,5 = 0,480 : 2,40 = 1 : 5$. Формула вещества PCl_5 – пентахлорид фосфора (хлорид фосфора(V), хлорный фосфор).

Вещества **C** и **D** по условиям получения могут содержать фосфор, хлор, серу и кислород. Поскольку про вещество **D** известно, что оно состоит из тех же элементов, что и **F**, а вещество **F** в реакции с водой дает смесь соляной и серной кислот (см. условие), следовательно, в состав **D** и **F** входят сера, хлор и, возможно, кислород. Тогда в состав **C** обязательно входят фосфор и хлор, а также, возможно, кислород. В состав **E** могут входить хлор, углерод и кислород. Попробуем вычислить их формулы:

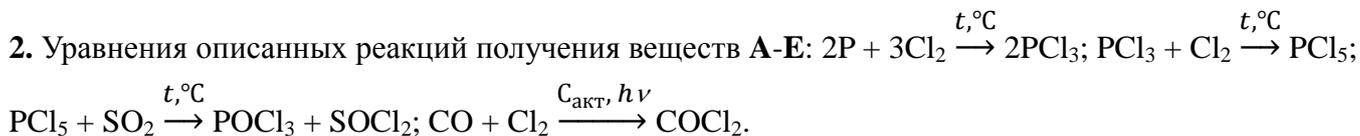
C: Поскольку молекулярная масса **C** не менее 118 а.е.м., то на хлор в этом веществе приходится не менее $0,6936 \cdot 118 = 81,8$ а.е.м. Следовательно, оно содержит не менее $81,8/35,5 = 2,3$ атомов хлора. Если в состав молекулы входит 3 атома хлора, то ее масса $35,5 \cdot 3/0,6936 = 153,5$ а.е.м., из которых $35,5 \cdot 3 = 106,5$ приходится на хлор. Остается $153,5 - 106,5 = 47$ а.е.м., что соответствует одному атому фосфора и одному атому кислорода. Таким образом, формула вещества POCl_3 – оксид-трихлорид фосфора (хлорид фосфорилла, хлористый фосфорил, хлорокись фосфора).

D: Если в состав молекулы входит 1 атом хлора, то ее масса $35,5/0,596 = 59,6$ а.е.м., из которых 35,5 приходится на хлор. Остается $59,6 - 35,5 = 24,1$ а.е.м., что меньше атомной массы серы. Если в состав молекулы входит 2 атома хлора, то ее масса $35,5 \cdot 2/0,596 = 119,1$ а.е.м., из которых 71 приходится на хлор. Остается $119,1 - 71 = 48,1$ а.е.м., что с приемлемой точностью (неточность связана с округлением атомных масс) соответствует одному атому серы и одному атому кислорода. Таким образом, формула вещества SOCl_2 – оксид-дихлорид серы (хлорид тионила, хлористый тионил).

E: Если в состав молекулы входит 1 атом хлора, то ее масса $35,5/0,7168 = 49,5$ а.е.м., из которых 35,5 приходится на хлор. Остается $49,5 - 35,5 = 14$ а.е.м., что заметно (на 2 а.е.м.) больше атомной массы углерода. Если в состав молекулы входит 2 атома хлора, то ее масса $35,5 \cdot 2/0,7168 = 99$ а.е.м., из которых 71 приходится на хлор. Остается $99 - 71 = 28$ а.е.м., что соответствует одному атому углерода

и одному атому кислорода. Таким образом, формула вещества COCl_2 – оксид-дихлорид углерода (хлорид карбонила, хлористый карбонил, хлорокись углерода, фосген).

Г: Если в состав молекулы входит 1 атом хлора, то ее масса $35,5/0,5253 = 67,6$ а.е.м., из которых 35,5 приходится на хлор. Остается $67,6-35,5 = 32,1$ а.е.м., что почти совпадает с атомной массы серы. Однако, нам известно, что вещества **Д** и **Г** состоят из одних и тех же элементов, следовательно, в состав **Г** должен входить еще и кислород. Если в состав молекулы входит 2 атома хлора, то ее масса $35,5*2/0,5253 = 135,16$ а.е.м., из которых 71 приходится на хлор. Остается $135,16-71 = 64,16$ а.е.м., что с приемлемой точностью соответствует одному атому серы и двум атомам кислорода. Таким образом, формула вещества SO_2Cl_2 – диоксид-дихлорид серы (хлорид сульфурила, хлористый сульфурил).



3. Уравнение реакции вещества **Г** с водой, приводящей к образованию смеси серной и соляной кислот: $\text{SO}_2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$.

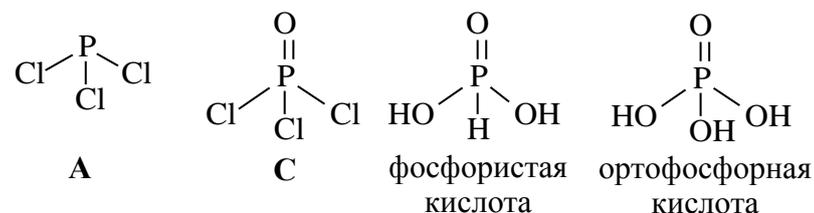
Как же получить вещество **Г**, да еще и исходя из новых знаний, полученных при чтении этой задачи? Поскольку теперь мы знаем про реакцию присоединения хлора к окиси углерода с образованием COCl_2 , ничто не мешает нам предположить, что также можно получить и SO_2Cl_2 :



(Если предложена реакция PCl_5 с SO_3 , то ее тоже нужно зачесть, т. к. ее тоже можно предположить, прочитав условие задачи).

4. Исходя из условия, при взаимодействии веществ **А-Е** с водой должна получаться смесь двух кислот: $\text{PCl}_5 + 4\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{HCl}$; $\text{PCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{HCl}$; $\text{POCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_4 + 3\text{HCl}$; $\text{SOCl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{SO}_2$ (или H_2SO_3) + 2HCl ; $\text{COCl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2$ (или H_2CO_3) + 2HCl .

5. Структурные формулы и требуемые названия:



6. Количество вещества в сосудах, которое пропорционально количеству молекул, считается как отношение массы вещества к его молекулярной массе: $\nu = m/M$. Чтобы посчитать массу вещества, надо умножить его плотность (в г/см^3) на объем (см^3), который у всех веществ одинаковый. Поэтому достаточно сравнить отношения ρ/M , чтобы дать ответ на поставленный вопрос.

Более того, ответ о наименьшем количестве молекул очевиден без расчетов: это сосуд, содержащий газообразное вещество **Е**, плотность которого ($4,12 \text{ г/л} = 0,00412 \text{ г/см}^3$) на 3 порядка меньше плотности остальных веществ.

Вычислим отношения ρ/M для остальных веществ: $1,57/137,5 = 0,0114$ (**А**); $2,1/208,5 = 0,0101$ (**В**); $1,65/153,5 = 0,0107$ (**С**); $1,64/119 = 0,0138$ (**Д**); $1,67/135 = 0,0124$ (**Г**). Получается, что наибольшее число молекул содержится в сосуде с веществом **Д**.

Система оценивания:

1. Молекулярные формулы веществ **А-Г** по 2 б, названия по 1 б $(2б+1б)*6 = 18 б$;
 2. Уравнения реакций по 1 б $1б*4 = 4 б$;
 3. Уравнение реакции 1 б, способ получения 2 б $1б+2б = 3 б$;
 4. Уравнения реакций по 1 б $1б*5 = 5 б$;
 5. Структурные формулы по 1 б, названия по 1 б..... $1б*4+1б*2 = 6 б$;
 5. Наименьшее – в сосуде с **Е**, наибольшее – в сосуде с **Д** по 2 б $2б*2 = 4 б$;
- Всего** **40 баллов**