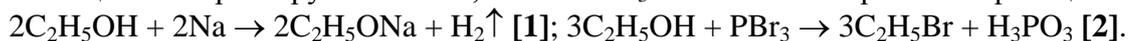
**Задача 1.** (авторы И. А. Заякин, М. А. Ильин).

1. Элемент, являющийся основой всего живого, – это углерод. В состав молекул воды входят кислород и водород. Более легким элементом является водород. Рассчитаем соотношение атомов элементов в соединениях **A** и **B**: $C : H : O = 52,1/12 : 13,1/1 : 34,8/16 = 2 : 6 : 1$, т.е. простейшая формула веществ C_2H_6O . По условию плотность паров этих соединений по воздуху не превышает 2, т.е. молекулярная масса не должна превышать $2 \cdot 29 = 58$ а.е.м., что не противоречит найденной простейшей формуле ($M_r = 46$ а.е.м.). Тогда молекулярная формула соединений **A** и **B** – C_2H_6O .

2. Вещество **A** реагирует как с Na, так и с PBr_3 – это этанол. Уравнения реакций:



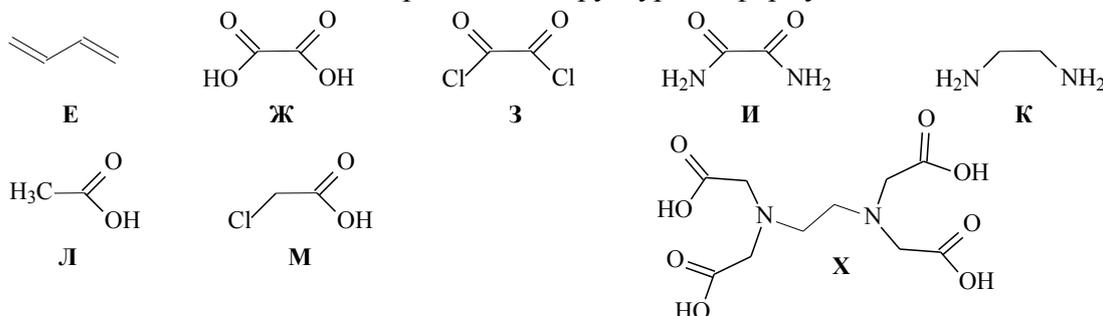
Изомер **B** – диметилловый эфир – $(CH_3)_2O$ – он не реагирует ни с натрием, ни с трибромидом фосфора. При взаимодействии **B** с концентрированной иодоводородной кислотой, взятой в недостатке, образуются метилиодид (**Г**) и метанол (**B**) (который реагирует с металлическим натрием подобно этанолу с выделением водорода и образованием метилата натрия (**Д**)). Реакция между алкоголятом (соединение **Д**) и первичным алкилгалогенидом (соединение **Г**) – наиболее известный синтез простых эфиров "по Вильямсону" – в данном случае, – диметилового эфира (**B**).

Уравнения реакций: $(CH_3)_2O + HI \rightarrow CH_3OH + CH_3I [3]; CH_3ONa + CH_3I \rightarrow (CH_3)_2O + NaI [4].$

3. У этанола температура кипения выше, чем у диметилового эфира из-за того, что между молекулами спирта имеются прочные водородные связи.

4. Этанол при нагревании в присутствии катализатора ZnO/MgO (синтез Лебедева) превращается в бутadiен-1,3 (**E**). При озонолизе и последующем гидролизе (в окислительной среде, т.е. в отсутствие цинковой пыли) бутadiена-1,3 образуется щавелевая кислота (**Ж**), которая при обработке тионилхлоридом превращается в соответствующий хлорангидрид (**З**, $C_2O_2Cl_2$). Взаимодействие хлорангидрида **З** с избытком аммиака приводит к образованию диамида щавелевой кислоты (**И**), который после восстановления (с помощью $Li[AlH_4]$) превращается в этилендиамин (**К**, $C_2H_8N_2$).

При кипячении этанола с раствором $KMnO_4$ в сернокислой среде образуется уксусная кислота (**Л**), которая в присутствии красного фосфора подвергается монохлорированию в α -положение с образованием 1-хлоруксусной кислоты (**М**, $C_2H_3O_2Cl$). Взаимодействие этилендиамина (**К**) с α -хлоруксусной кислотой (**М**) в мольном соотношении 1:4 приводит к образованию **этилендиаминтетрауксусной кислоты (X)**, динатриевая соль которой широко используется в аналитической химии под названием "трилон Б". Структурные формулы соединений **E-M** и **X**.

**Система оценивания:**

- Молекулярная формула **A** и **B** с расчетами 2 б (без расчетов 1 б) 2 б;
 - Соединения **A-D** (названия и/или формулы) по 1 б, уравнения реакций по 1 б $1б \cdot 5 + 1б \cdot 4 = 9 б$;
 - Межмолекулярные водородные связи 1 б 1 б;
 - Структурные формулы соединений **E-M** и **X** по 1 б, название **X** 1 б $1б \cdot 8 + 1б = 9 б$;
- Всего** **21 балл**

Задача 2. (автор В. А. Емельянов).

1. Перманганат калия – KMnO_4 , глицерин – $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$. При окислении глицерина, как и любого органического вещества, должны образовываться CO_2 и H_2O . Бурая смесь, судя по цвету, содержит нерастворимый в воде MnO_2 , и, судя по вскипанию, растворимые в воде K_2CO_3 и KHCO_3 .

Уравнения реакций: $14\text{KMnO}_4 + 3\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3 = 5\text{K}_2\text{CO}_3 + 4\text{KHCO}_3 + 14\text{MnO}_2 + 10\text{H}_2\text{O}\uparrow$ или $14\text{KMnO}_4 + 3\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3 = 7\text{K}_2\text{CO}_3 + 14\text{MnO}_2 + 2\text{CO}_2\uparrow + 12\text{H}_2\text{O}\uparrow$;

$\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$.

2. Для приготовления смеси используют $1/56 \approx 0,02$ моль железа и $4/101 \approx 0,04$ моль нитрата калия, т.е. их стехиометрическое соотношение 1:2. Бесцветный газообразный продукт реакции, бурящийся на воздухе, безусловно, NO . После мысленного удаления 2NO из смеси $2\text{KNO}_3 + \text{Fe}$ остается состав $\text{K}_2\text{O}_4\text{Fe}$, который как раз соответствует феррату калия K_2FeO_4 (отсюда и название вулкана). На ту же мысль наталкивают и красно-фиолетовый раствор, и образование осадка, похожего на сульфат бария, и выделение хлора в реакции с соляной кислотой.

Уравнения реакций: $2\text{KNO}_3 + \text{Fe} = 2\text{NO}\uparrow + \text{K}_2\text{FeO}_4$; $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$;

$\text{K}_2\text{FeO}_4 + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 = \text{BaFeO}_4\downarrow + 2\text{KNO}_3$; $2\text{K}_2\text{FeO}_4 + 16\text{HCl} = 4\text{KCl} + 2\text{FeCl}_3 + 3\text{Cl}_2\uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$.

3. $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ - дихромат аммония. 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 $V = \nu RT/P = 0,1 \cdot 0,082 \cdot (1000 + 273)/1 = 10,4$ л.

4. Формула уксусной кислоты CH_3COOH , образующаяся соль называется ацетат натрия. Уравнение реакции: $\text{NaHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} = \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$. В 2 чайных ложках соды ее содержится около 10 г, т.е. $10/84 = 0,12$ моля NaHCO_3 . Углекислого газа получится тоже 0,12 моля, его объем (как и объем пены) при атмосферном давлении и комнатной температуре составит примерно $V = \nu RT/P = 0,12 \cdot 0,082 \cdot (25 + 273)/1 = 2,9$ л.

Система оценивания:

1. Формулы веществ по 0,5 б, уравнения реакций по 1 б $0,5\text{б} \cdot 6 + 1\text{б} \cdot 2 = 5$ б;
 2. Формулы продуктов по 0,5 б, феррат калия 0,5 б, уравнения реакций по 1 б . $0,5\text{б} \cdot 3 + 1\text{б} \cdot 4 = 5,5$ б;
 3. Название 0,5 б, уравнение реакции 1 б, масса Cr_2O_3 2 б, объем газа 2 б $0,5\text{б} + 1\text{б} + 2\text{б} + 2\text{б} = 5,5$ б;
 4. Формула кислоты 0,5 б, название соли 0,5 б, уравнение реакции 1 б, объем пены 2 б (ответ при н.у. 2,7 л 1 б) $0,5\text{б} + 0,5\text{б} + 1\text{б} + 2\text{б} = 4$ 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 фосфорил, 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 $35,5*2/0,596 = 119,1$ 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 $35,5*2/0,7168 = 99$ 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). (Поскольку в условии есть плотность газа при 20°C , можно сразу вычислить его молекулярную массу: $M = (m/V)*(RT/P)$).

F: 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 **D** и **F** состоят из одних и тех же элементов, следовательно, в состав **F** 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).

2. Уравнения описанных реакций получения веществ **A-E**: $2\text{P} + 3\text{Cl}_2 \xrightarrow{t,^\circ\text{C}} 2\text{PCl}_3$; $\text{PCl}_3 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{t,^\circ\text{C}} \text{PCl}_5$;

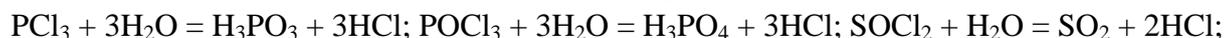


3. Уравнение реакции вещества **F** с водой, приводящей к образованию смеси серной и соляной кислот: $\text{SO}_2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$.

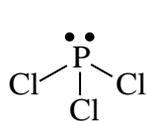
Как же получить вещество **F**, да еще и исходя из новых знаний, полученных при чтении этой задачи? Поскольку теперь мы знаем про реакцию присоединения хлора к окиси углерода с образованием COCl_2 , ничто не мешает нам предположить, что также можно получить и SO_2Cl_2 :

$\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{C_{\text{акт}}, h\nu} \text{SO}_2\text{Cl}_2$. Собственно, так его обычно и получают. (Если предложена реакция PCl_5 с SO_3 , то ее тоже нужно зачесть, т. к. ее тоже можно предположить, прочитав условие задачи).

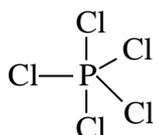
4. Исходя из условия, при взаимодействии веществ **A-E** с водой должна получаться смесь двух кислот (кроме тех случаев, когда кислота сразу разлагается): $\text{PCl}_5 + 4\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{HCl}$;



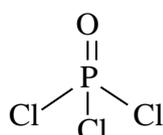
5. Строение и геометрия молекул:



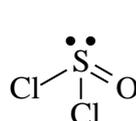
тригональная пирамида



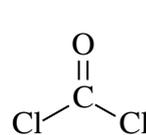
пентагональная бипирамида



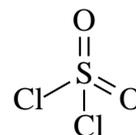
тетраэдр



тригональная пирамида

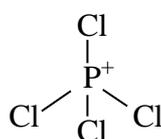


треугольник

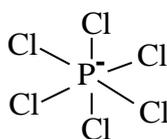


тетраэдр

6. Для всех веществ, кроме **B**, в твердом состоянии реализуется молекулярная кристаллическая решетка. А у **B** кристаллическая решетка ионная, в ее узлах находятся катионы $[\text{PCl}_4]^+$ и $[\text{PCl}_6]^-$:



тетраэдр



октаэдр

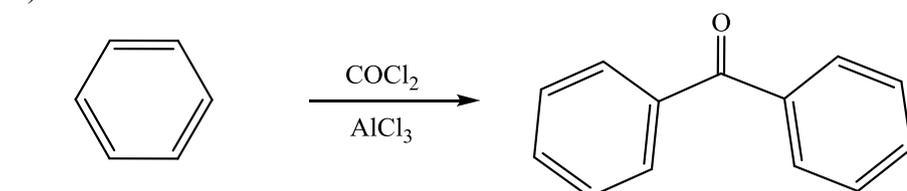
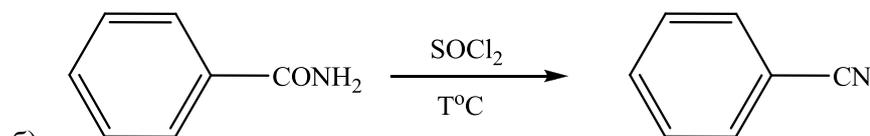
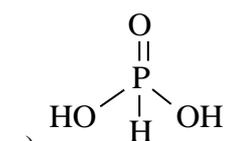
7. Молярная масса PCl_5 составляет 208,5 г/моль, следовательно, для растворения взяли $4,17/208,5 = 0,02$ моля пентахлорида фосфора. По уравнению реакции гидролиза **В** образуется 0,1 моль HCl и 0,02 моля H_3PO_4 . Концентрация HCl 1 моль/л, концентрация H_3PO_4 0,2 моль/л. Диссоциация фосфорной кислоты в этих условиях идет менее, чем на 0,7 %, т.к. $7 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot [\text{H}_2\text{PO}_4^-]/[\text{H}_3\text{PO}_4]$, поэтому ее вкладом в pH можно пренебречь. Тогда в полученном растворе $pH = -\lg[\text{H}^+] \approx -\lg 1 = 0$.

8. 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/см³) на объем (см³), 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 г/л = 0,00412 г/см³) 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 (**Е**). Получается, что наибольшее число молекул содержится в сосуде с веществом **Д**.

9. Структурные формулы:



Система оценивания:

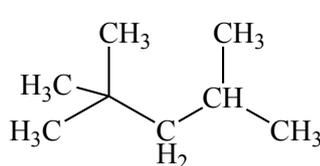
1. Молекулярные формулы веществ А-Е по 1 б, названия по 0,5 б (1б+0,5б)*6 = 9 б;
 2. Уравнения реакций по 1 б 1б*4 = 4 б;
 3. Уравнение реакции 1 б, способ получения 2 б 1б+2б = 3 б;
 4. Уравнения реакций по 1 б 1б*5 = 5 б;
 5. Строение по 0,5 б, названия фигур по 0,5 б (0,5б+0,5б)*5 = 5 б;
 6. Типы решетки по 1 б, формулы и геометрия частиц по 0,5 б 1б*2+(0,5б+0,5б)*2 = 4 б;
 7. Оценка pH 3 б 3 б;
 8. Наименьшее – в сосуде с Е, наибольшее – в сосуде с D по 1 б 1б*2 = 2 б;
 9. Структурные формулы по 1 б 1б*3 = 3 б;
- Всего 38 баллов**

Задача 4. (автор В. Н. Конев).

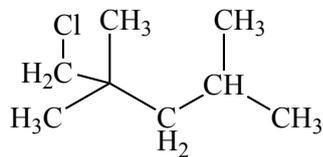
1. Структурные формулы А-Д:



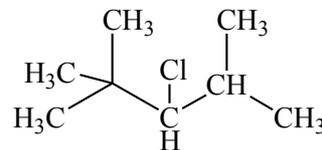
2. Структурные формулы 2,2,4-триметилпентана и его монохлорпроизводных:



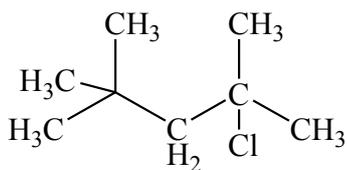
2,2,4-триметилпентан



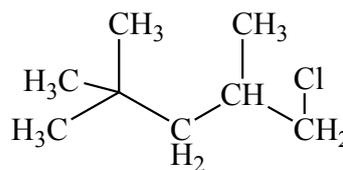
2,2,4-триметил-1-хлорпентан (И₁)



2,2,4-триметил-3-хлорпентан (И₂)



2,2,4-триметил-4-хлорпентан (И₃)



2,4,4-триметил-1-хлорпентан (И₄)

3. Определим относительные скорости монохлорирования по вторичным (x) и третичным (y) атомам водорода. Общая скорость по всем атомам будет $W_{\Sigma} = 15 \cdot 1 + 2 \cdot x + 1 \cdot y$.

Тогда $W(I_1) = 0,29 = 9 \cdot 1 / (15 \cdot 1 + 2 \cdot x + 1 \cdot y)$. Отсюда $2x + y + 15 = 9 / 0,29 = 31,0 = W_{\Sigma}$.

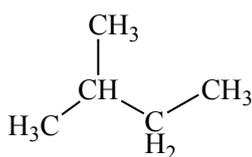
$W(I_2) = 0,28 = 2 \cdot x / (15 \cdot 1 + 2 \cdot x + 1 \cdot y)$. Отсюда $2x + y + 15 = 2x / 0,28 = 7,14x = W_{\Sigma}$.

$W(I_3) = 0,23 = 1 \cdot y / (15 \cdot 1 + 2 \cdot x + 1 \cdot y)$. Отсюда $2x + y + 15 = y / 0,23 = 4,35y = W_{\Sigma}$.

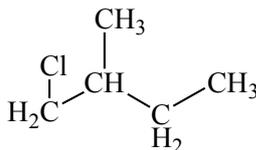
$W(I_4) = 0,20 = 6 \cdot 1 / (15 \cdot 1 + 2 \cdot x + 1 \cdot y)$. Отсюда $2x + y + 15 = 6 / 0,20 = 30,0 = W_{\Sigma}$.

Видно, что W_{Σ} , полученные из значений $W(I_1)$ и $W(I_4)$ различаются на единицу, что связано с ошибками округления (состав продуктов в условии приведен всего с двумя значащими цифрами). Для дальнейших вычислений логичнее использовать среднее значение $W_{\Sigma} = 30,5 = 7,14x = 4,35y$. Отсюда $x = 4,3$ (относительная скорость хлорирования по вторичным атомам водорода), а $y = 7,0$ (относительная скорость хлорирования по третичным атомам водорода).

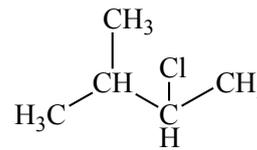
4. Продукты монохлорирования 2-метилбутана:



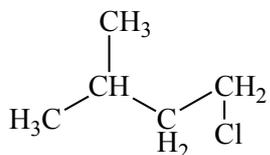
2-метилбутан



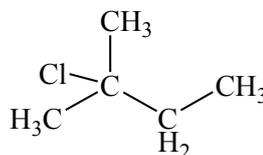
2-метил-1-хлорбутан (И₁)



3-метил-2-хлорбутан (И₂)



3-метил-1-хлорбутан (И₃)



2-метил-2-хлорбутан (И₄)

Используя данные об относительных скоростях монохлорирования при той же температуре, найденные в п. 3, найдем состав продуктов галогенирования 2-метилбутана:

$W(I_1) = 6 \cdot 1 / (9 \cdot 1 + 2 \cdot 4,3 + 1 \cdot 7) = 0,24$ (24%);

$W(I_2) = 2 \cdot 4,3 / 24,6 = 0,35$ (35%);

$W(I_3) = 3 \cdot 1 / 24,6 = 0,12$ (12%);

$W(I_4) = 1 \cdot 7 / 24,6 = 0,29$ (29%).

Система оценивания:

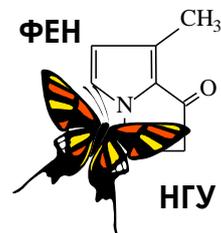
1. Структурные формулы А-Д по 0,5 б $0,5б \cdot 5 = 2,5 б$;

2. Структурные формулы 2,2,4-триметилпентана и производных по 0,5 б $0,5б \cdot 5 = 2,5 б$;

3. Относительные скорости хлорирования по 4 б $4б \cdot 2 = 8 б$;

4. Структурные формулы по 0,5 б, названия по 0,5 б, % состав по 1 б $(0,5б + 0,5б + 1б) \cdot 4 = 8 б$;

Всего **21 балл**



Задача 1. (автор В. А. Емельянов).

1. Вычислим общую массу элемента железа в каждом блюде.

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»: $15 \cdot 0,36 \cdot 0,344 + 15 \cdot 0,65 \cdot 0 = 1,9$ г. Напиток «Тархун»: $5 \cdot 0,482 + 200 \cdot 0,02 \cdot 0 = 2,4$ г;

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

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.

2. Проще всего с хлорным железом, для которого считаем соотношения количества атомов:

$n(\text{Fe}) : n(\text{Cl}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}) : m(\text{Cl})/M(\text{Cl}) = 34,4/56 : (100-34,4)/35,5 = 0,614 : 1,848 = 1 : 3 - \text{FeCl}_3$.

Для остальных веществ пробуем вычислить молекулярные массы:

Магнетит: Если в состав молекулы входит 1 атом железа, то ее масса $56/0,724 = 77,3$ а.е.м., из которых 56 приходится на железо. Остается $77,3 - 56 = 21,3$ а.е.м., что не кратно атомной массе ни одного из элементов ПС. Если в состав молекулы входит 2 атома железа, то ее масса $56 \cdot 2/0,724 = 154,6$ а.е.м., из которых 112 приходится на железо. Остается $154,6 - 112 = 42,6$ а.е.м., что с натяжкой могло бы соответствовать 3 атомам азота, но соединения Fe_2N_3 не существует. Если в состав молекулы входит 3 атома железа, то ее масса $56 \cdot 3/0,724 = 232$ а.е.м., из которых 168 приходится на железо. Остается $232 - 168 = 64$ а.е.м., что соответствует двум атомам серы или 4 атомам кислорода. Но соединения Fe_3S_2 не существует, а вот Fe_3O_4 – известный смешанный оксид железа.

Пирит: $M = 56/0,465 = 120,4$ а.е.м., из которых 56 приходится на железо. Остается $120,4 - 56 = 64,4$ а.е.м., что с приемлемой точностью (неточность связана с округлением атомных масс) соответствует двум атомам серы или четырём атомам кислорода. Но соединения FeO_4 не существует, а вот FeS_2 – известный дисульфид железа.

Лимонит: $M = 56/0,629 = 89$ 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 .

Сидерит: $M = 56/0,482 = 116$ а.е.м., из которых 56 приходится на железо. Остается $116 - 56 = 60$ а.е.м. «Тархун» – напиток газированный, следовательно, 60 а.е.м. должны соответствовать остатку слабой кислоты, образующей газообразный продукт в реакции с сильной кислотой. Первая кислота, которую стоит проверить, – угольная, а 60 а.е.м. как раз соответствуют карбонат-иону: трем атомам

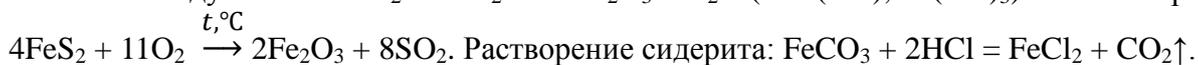
кислорода и одному атому углерода. Формула сидерита – FeCO_3 .

Соль Мора безводная: $M = 56/0,197 = 284$ а.е.м., из которых 56 приходится на железо. Остается $284 - 56 = 228$ а.е.м. Остаток довольно большой, поэтому логично предположить, что в состав вещества входят два сульфат-иона с массой $2 \cdot 96$ а.е.м. Это логично, учитывая, что один из них пойдет на компенсацию заряда катиона железа, а второй – катионов аммония. Остается $228 - 192 = 36$ а.е.м., что как раз соответствует двум катионам NH_4^+ . Состав безводной соли Мора $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$. У кристаллогидрата $M = 56/0,1424 = 393$ а.е.м., что на $393 - 284 = 109$ а.е.м. больше. Это с приемлемой точностью соответствует 6 молекулам воды ($109/18 = 6,06$). Таким образом, формула соли Мора $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Красная кровяная соль: $M = 56/0,17 = 329$ а.е.м., из которых 56 приходится на железо. Остается $329 - 56 = 273$ а.е.м. Наличие азота, углерода и калия наводят на мысль о том, что это калиевая соль цианидного комплекса железа. При координационном числе железа, равном 6, в состав комплекса должны входить 6 цианидных лигандов ($6 \cdot 26 = 156$ а.е.м.) и $(273 - 156)/39 = 3$ катиона калия. Таким образом, формула красной кровяной соли $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

3. 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.

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



5. 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: $\text{Fe}^{3+} + \text{nSCN}^- = [\text{Fe}(\text{SCN})_n]^{3-n}$ (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).

6. 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 соединения FeC_2 не существует. 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, это известный оксид железа Fe_2O_3 .

Система оценивания:

1. Расчет массы железа у каждого робота по 3 б (если суммарная масса неверная, то по 0,5 б за массу железа в каждом блюде), вывод о том, что у Зяки железа больше 1 б, вывод о том, что его покупка выгоднее 2 б (вывод – одинаково 1 б) $3\text{б} \cdot 2 + 1\text{б} + 2\text{б} = 9$ б;
 3. Формулы веществ по 1 б (можно без расчета, на знание) $1\text{б} \cdot 7 = 7$ б;
 4. Способ пассивации 1 б, оксидная пленка 1 б, снижение активности 1 б $1\text{б} + 1\text{б} + 1\text{б} = 3$ б;
 5. Уравнения реакций по 1 б $1\text{б} \cdot 3 = 3$ б;
 6. Красный и синий цвет по 1 б, уравнения реакций по 1 б $1\text{б} \cdot 2 + 1\text{б} \cdot 2 = 4$ б;
 7. Формула мумии с расчетом 2 б (без расчета 1 б) 2 б;
- Всего 28 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. 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 $V = \nu RT/P = 0,1 \cdot 0,082 \cdot (1000+273)/1 = 10,4$ л.

6. Уравнение реакции: $\text{NaHCO}_3 + \text{HOAc} = \text{NaOAc} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$. В 2 чайных ложках соды содержится около 10 г, т.е. $10/84 = 0,12$ моля NaHCO_3 . Углекислого газа получится тоже 0,12 моля, его объем (как и объем пены) при атмосферном давлении и комнатной температуре составит примерно $V = \nu RT/P = 0,12 \cdot 0,082 \cdot (25+273)/1 = 2,9$ 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. Уравнение реакции 1 б, масса Cr_2O_3 и объем газа по 2 б $1б + 2б \cdot 2 = 5 б$;
6. Уравнение реакции 1 б, объем пены 2 б (ответ при н.у. 2,7 л 1 б) $1б + 2б = 3 б$;
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).

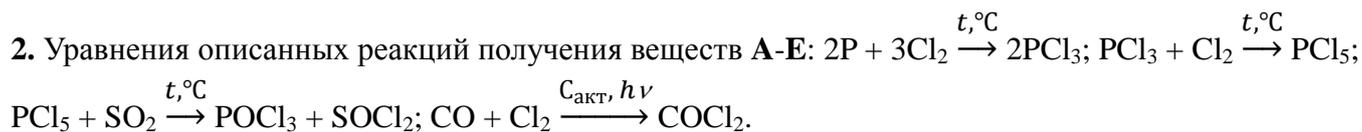
Вещества **C** и **D** по условиям получения могут содержать фосфор, хлор, серу и кислород. Поскольку про вещество **D** известно, что оно состоит из тех же элементов, что и **F**, а вещество **F** в реакции с водой дает смесь соляной и серной кислот (см. условие), следовательно, в состав **D** и **F** 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.

С: Поскольку молекулярная масса **С** 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 фосфорила, хлористый фосфорил, хлорокись фосфора).

Д: 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).

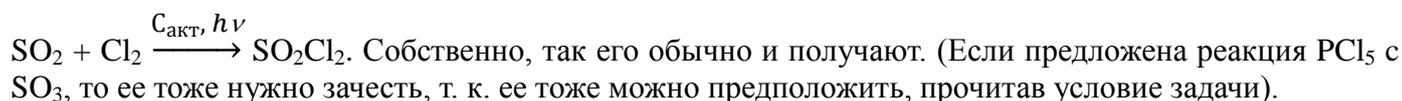
Е: Если в состав молекулы входит 1 атом хлора, то ее масса $35,5/0,7168 = 49,5$ а.е.м., из которых 35,5 приходится на хлор. Остается $49,5 - 35,5 = 14$ а.е.м., что заметно (на 2 а.е.м.) больше атомной массы углерода. Если в состав молекулы входит 2 атома хлора, то ее масса $35,5 \cdot 2/0,7168 = 99$ 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). (Поскольку в условии есть плотность газа при 20°C , можно сразу вычислить его молекулярную массу: $M = (m/V) \cdot (RT/P)$).

Ф: 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 **Ф** состоят из одних и тех же элементов, следовательно, в состав **Ф** должен входить еще и кислород. Если в состав молекулы входит 2 атома хлора, то ее масса $35,5 \cdot 2/0,5253 = 135,16$ 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 сульфурла, хлористый сульфурил).

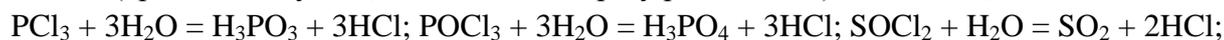


3. Уравнение реакции вещества **Ф** с водой, приводящей к образованию смеси серной и соляной кислот: $\text{SO}_2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$.

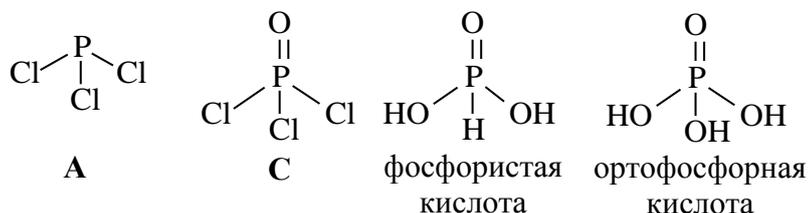
Как же получить вещество **Ф**, да еще и исходя из новых знаний, полученных при чтении этой задачи? Поскольку теперь мы знаем про реакцию присоединения хлора к окиси углерода с образованием COCl_2 , ничто не мешает нам предположить, что также можно получить и SO_2Cl_2 :



4. Исходя из условия, при взаимодействии веществ **А-Е** с водой должна получаться смесь двух кислот (кроме тех случаев, когда кислота сразу разлагается): $\text{PCl}_5 + 4\text{H}_2\text{O} = \text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{HCl}$;



5. Структурные формулы и требуемые названия:



6. Молярная масса PCl_5 составляет 208,5 г/моль, следовательно, для растворения взяли $4,17/208,5 = 0,02$ моля пентахлорида фосфора. По уравнению реакции гидролиза **В** образуется 0,1 моль HCl и 0,02 моля H_3PO_4 . Концентрация HCl 1 моль/л, концентрация H_3PO_4 0,2 моль/л. Диссоциация фосфорной кислоты в этих условиях идет менее, чем на 0,7 %, т.к. $7 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot [\text{H}_2\text{PO}_4^-]/[\text{H}_3\text{PO}_4]$, поэтому ее вкладом в pH можно пренебречь. Тогда в полученном растворе $pH = -\lg[\text{H}^+] \approx -\lg 1 = 0$.

7. Количество вещества в сосудах, которое пропорционально количеству молекул, считается как отношение массы вещества к его молекулярной массе: $v = m/M$. Чтобы посчитать массу вещества, надо умножить его плотность (в г/см³) на объем (см³), 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 г/л = 0,00412 г/см³) на 3 порядка меньше плотности остальных веществ.

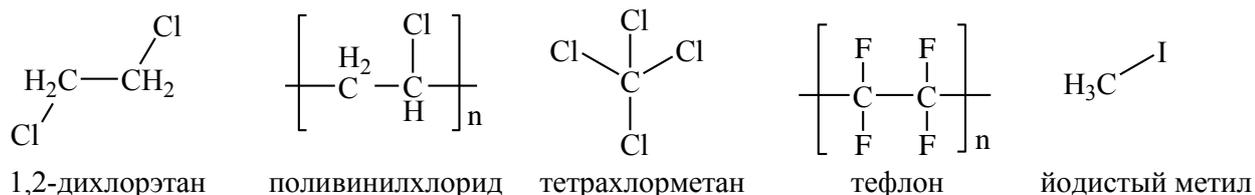
Вычислим отношения ρ/M для остальных веществ: 1,57/137,5 = 0,0114 (**А**); 2,1/208,5 = 0,0101 (**В**); 1,65/153,5 = 0,0107 (**С**); 1,64/119 = 0,0138 (**Д**); 1,67/135 = 0,0124 (**Е**). Получается, что наибольшее число молекул содержится в сосуде с веществом **Д**.

Система оценивания:

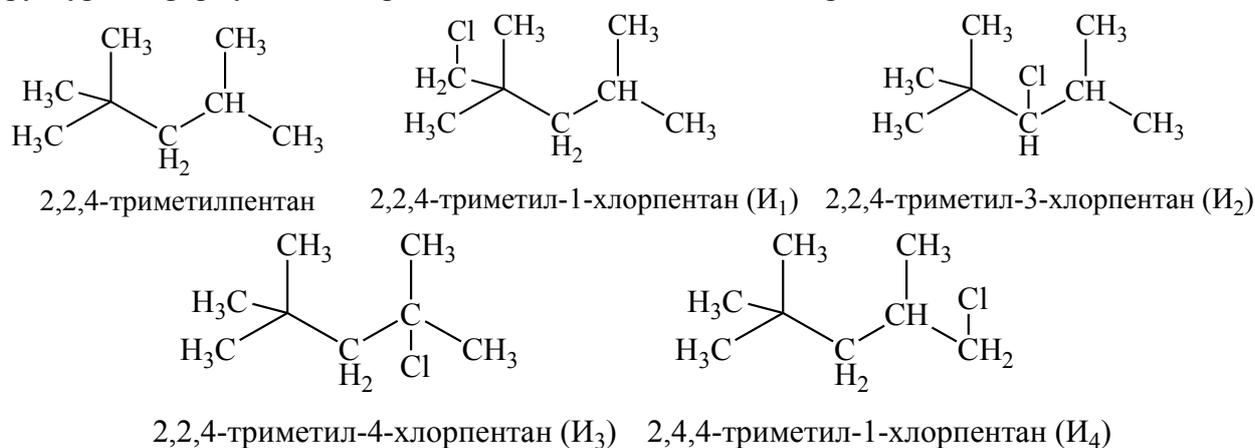
- Молекулярные формулы веществ А-Е по 1 б, названия по 0,5 б (1б+0,5б)*6 = 9 б;
 - Уравнения реакций по 1 б 1б*4 = 4 б;
 - Уравнение реакции 1 б, способ получения 2 б 1б+2б = 3 б;
 - Уравнения реакций по 1 б 1б*5 = 5 б;
 - Структурные формулы по 1 б, названия по 0,5 б 1б*4+0,5б*2 = 5 б;
 - Оценка pH 3 б 3 б;
 - Наименьшее – в сосуде с Е, наибольшее – в сосуде с Д по 1 б 1б*2 = 2 б;
- Всего** **31 балл**

Задача 4. (автор В. Н. Конев).

1. Структурные формулы А-Д:



2. Структурные формулы 2,2,4-триметилпентана и его монохлорпроизводных:



3. Определим относительные скорости монохлорирования по вторичным (x) и третичным (y) атомам водорода. Общая скорость по всем атомам будет $W_{\Sigma} = 15 \cdot 1 + 2 \cdot x + 1 \cdot y$.

Тогда $W(I_1) = 0,29 = 9 \cdot 1 / (15 \cdot 1 + 2 \cdot x + 1 \cdot y)$. Отсюда $2x + y + 15 = 9 / 0,29 = 31,0 = W_{\Sigma}$.

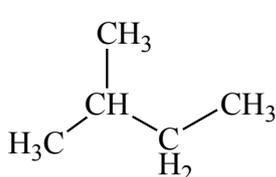
$W(I_2) = 0,28 = 2 \cdot x / (15 \cdot 1 + 2 \cdot x + 1 \cdot y)$. Отсюда $2x + y + 15 = 2x / 0,28 = 7,14x = W_{\Sigma}$.

$W(I_3) = 0,23 = 1 \cdot y / (15 \cdot 1 + 2 \cdot x + 1 \cdot y)$. Отсюда $2x + y + 15 = y / 0,23 = 4,35y = W_{\Sigma}$.

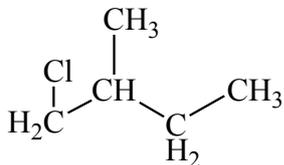
$W(I_4) = 0,20 = 6 \cdot 1 / (15 \cdot 1 + 2 \cdot x + 1 \cdot y)$. Отсюда $2x + y + 15 = 6 / 0,20 = 30,0 = W_{\Sigma}$.

Видно, что W_{Σ} , полученные из значений $W(I_1)$ и $W(I_4)$ различаются на единицу, что связано с ошибками округления (состав продуктов в условии приведен всего с двумя значащими цифрами). Для дальнейших вычислений логичнее использовать среднее значение $W_{\Sigma} = 30,5 = 7,14x = 4,35y$. Отсюда $x = 4,3$ (относительная скорость хлорирования по вторичным атомам водорода), а $y = 7,0$ (относительная скорость хлорирования по третичным атомам водорода).

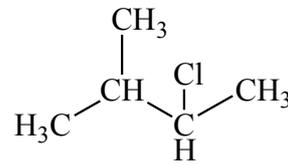
4. Продукты монохлорирования 2-метилбутана:



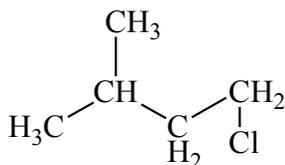
2-метилбутан



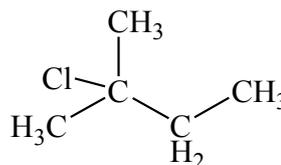
2-метил-1-хлорбутан (I_1)



3-метил-2-хлорбутан (I_2)



3-метил-1-хлорбутан (I_3)



2-метил-2-хлорбутан (I_4)

Используя данные об относительных скоростях монохлорирования при той же температуре, найденные в п. 3, найдем состав продуктов галогенирования 2-метилбутана:

$W(I_1) = 6 \cdot 1 / (9 \cdot 1 + 2 \cdot 4,3 + 1 \cdot 7) = 0,24$ (24%);

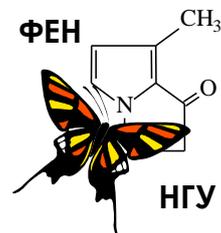
$W(I_2) = 2 \cdot 4,3 / 24,6 = 0,35$ (35%);

$W(I_3) = 3 \cdot 1 / 24,6 = 0,12$ (12%);

$W(I_4) = 1 \cdot 7 / 24,6 = 0,29$ (29%).

Система оценивания:

1. Структурные формулы А-Д по 0,5 б $0,56 \cdot 5 = 2,5$ б;
 2. Структурные формулы 2,2,4-триметилпентана и производных по 0,5 б $0,56 \cdot 5 = 2,5$ б;
 3. Относительные скорости хлорирования по 4 б $46 \cdot 2 = 8$ б;
 4. Структурные формулы по 0,5 б, названия по 0,5 б, % состав по 1 б $(0,56 + 0,56 + 16) \cdot 4 = 8$ б;
- Всего** **21 балл**



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:

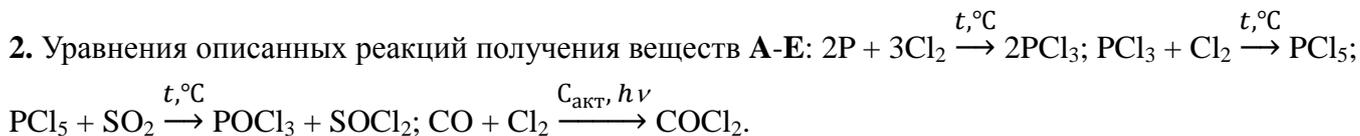
C: Поскольку молекулярная масса **C** не менее 118 а.е.м., то на хлор в этом веществе приходится не менее $0,6936 \cdot 118 = 81,8$ а.е.м. Следовательно, оно содержит не менее $81,8/35,5 = 2,3$ атомов хлора. Если в состав молекулы входит 3 атома хлора, то ее масса $35,5 \cdot 3/0,6936 = 153,5$ а.е.м., 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 фосфорил, 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).

F: 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 **D** и **F** состоят из одних и тех же элементов, следовательно, в состав **F** 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 **F** с водой, приводящей к образованию смеси серной и соляной кислот: $\text{SO}_2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$.

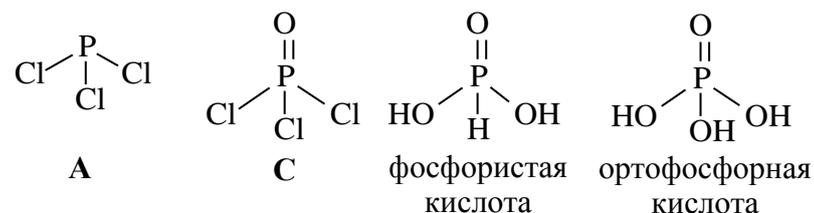
Как же получить вещество **F**, да еще и исходя из новых знаний, полученных при чтении этой задачи? Поскольку теперь мы знаем про реакцию присоединения хлора к окиси углерода с образованием COCl_2 , ничто не мешает нам предположить, что также можно получить и SO_2Cl_2 :



(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 **A-E** 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 **E**, плотность которого ($4,12 \text{ г/л} = 0,00412 \text{ г/см}^3$) на 3 порядка меньше плотности остальных веществ.

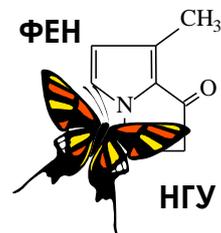
Вычислим отношения ρ/M для остальных веществ: $1,57/137,5 = 0,0114$ (**A**); $2,1/208,5 = 0,0101$ (**B**); $1,65/153,5 = 0,0107$ (**C**); $1,64/119 = 0,0138$ (**D**); $1,67/135 = 0,0124$ (**F**). Получается, что наибольшее число молекул содержится в сосуде с веществом **D**.

Система оценивания:

1. Молекулярные формулы веществ **A-F** 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 **E**, наибольшее – в сосуде с **D** по 2 б $2б*2 = 4 б$;
- Всего** **40 баллов**



54-я Всесибирская открытая олимпиада школьников
Первый отборочный этап 2015-2016 уч. года
Решения заданий по химии
8 класс



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

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

Коктейль «Турнбулева Синь»: $80 \cdot 0,08 \cdot 0,197 + 120 \cdot 0,07 \cdot 0,17 = 2,7$ 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: $FeCO_3 + 2HCl = FeCl_2 + CO_2\uparrow$.

5. Масса замазки, приготовленной по рецепту, 500 г. Железа в ней $0,126*500 = 63$ 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 $56*2/0,7 = 160$ 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 $1б*9 = 9 б$;
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) .. $1б*2+1б+2б = 5 б$;
- 3-4. Формулы, подтвержденные расчетом по 1 б (без расчета 0,5 б) $1б*5 = 5 б$;
- Уравнение реакции 1 б 1 б;
5. Формула мумии с расчетом 2 б (без расчета 1 б) 2 б;
- Всего** **22 балла**

Задача 2. (автор В. А. Емельянов).

1. Уравнение реакции, протекающей в вулкане Лемери: $Fe + S = FeS$. 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: $S + O_2 = SO_2$.

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 $0,05*56 = 2,8$ г железных опилок и $0,05*32 = 1,6$ 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: $2KNO_3 + C = 2KNO_2 + CO_2\uparrow$. Количество углерода в кусочке угля массой 1,2 г составляет 0,1 моля, следовательно, углекислого газа получится тоже 0,1 моля. Его объем при атмосферном давлении и температуре ярко-красного каления составит около $0,1*100 = 10$ л.

5. Из условия известно, что продуктами разложения $(NH_4)_2Cr_2O_7$ являются только N_2 , H_2O и оксид хрома. Попробуем написать состав оксида хрома, убрав из исходного соединения молекулу азота и $4*2/2 = 4$ молекулы воды. Остается 2 атома хрома и три атома кислорода, т.е. состав оксида хрома Cr_2O_3 . Уравнение реакции: $(NH_4)_2Cr_2O_7 = N_2 + 4H_2O + Cr_2O_3$. При разложении 5 г, т.е. $5/252 = 0,02$ молей дихромата аммония получится 0,02 моля оксида хрома и $0,02 + 4*0,02 = 0,1$ моль газовой смеси, состоящей из азота и водяных паров. Масса оксида хрома составит $0,02*151 = 3$ г, суммарный объем газов $0,1*100 = 10$ 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 $0,12*24,4 = 2,9$ л.

Система оценивания:

1. Уравнения реакций по 1 б, избыток серы 1 б $1б*2+1б = 3 б$;
 2. Расчет масс железа и серы 2 б 2 б;
 3. Указания на магнит и воду (без деталей очистки) по 2 б $2б*2 = 4 б$;
 4. Уравнение реакции 1 б, объем газа 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 $1б+1б+2б*2 = 6 б$;
 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: $n(P) : n(Cl) = m(P)/M(P) : m(Cl)/M(Cl) = (100-77,45)/31 : 77,45/35,5 = 0,727 : 2,182 = 1 : 3$. Формула вещества PCl_3 .

B: $n(P) : n(Cl) = m(P)/M(P) : m(Cl)/M(Cl) = (100-85,13)/31 : 85,13/35,5 = 0,480 : 2,40 = 1 : 5$. Формула вещества PCl_5 .

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 $0,6936*118 = 81,8$ 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 $35,5*3/0,6936 = 153,5$ а.е.м., из которых $35,5*3 = 106,5$ 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 $POCl_3$.

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 $35,5*2/0,596 = 119,1$ 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 $SOCl_2$.

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 $35,5*2/0,7168 = 99$ 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 $COCl_2$.

F: 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 **D** и **F** состоят из одних и тех же элементов, следовательно, в состав **F** 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 .

2. Уравнения описанных реакций получения веществ **A-E**: $2P + 3Cl_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} 2PCl_3$; $PCl_3 + Cl_2 \xrightarrow{t, ^\circ C} PCl_5$;



3. Уравнение реакции вещества **F** с водой, приводящей к образованию смеси серной и соляной кислот: $SO_2Cl_2 + 2H_2O = H_2SO_4 + 2HCl$.

Как же получить вещество **F**, 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 **A-E** 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. 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 **E**, 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: $1,57/137,5 = 0,0114$ (**A**); $2,1/208,5 = 0,0101$ (**B**); $1,65/153,5 = 0,0107$ (**C**); $1,64/119 = 0,0138$ (**D**); $1,67/135 = 0,0124$ (**F**). Получается, что наибольшее число молекул содержится в сосуде с веществом **D**.

Система оценивания:

- 1. Молекулярные формулы веществ A-F по 2 б $2\text{б} \cdot 6 = 12 \text{ б}$;
- 2. Уравнения реакций по 1 б $1\text{б} \cdot 4 = 4 \text{ б}$;
- 3. Уравнение реакции 1 б, способ получения 2 б $1\text{б} + 2\text{б} = 3 \text{ б}$;
- 4. Уравнения реакций по 1 б $1\text{б} \cdot 5 = 5 \text{ б}$;
- 5. Наименьшее – в сосуде с E, наибольшее – в сосуде с D по 2 б $2\text{б} \cdot 2 = 4 \text{ б}$;
- Всего** **28 баллов**