

Разбалловка и решения второго тура заочного отборочного этапа Химической олимпиады имени Германа Гесса 2021

Задача 1. Добро пожаловать на олимпиаду по химии (автор — Евгений Анохин)

Туристическая группа из трёх человек запланировала двухнедельный поход по Кольскому полуострову. В день на человека для приготовления пищи и питья необходимо кипятить примерно по 2,5 литра воды. Для кипячения воды туристы планируют использовать газовую горелку, подключаемую к баллонам, и котелок; газовые баллоны наполнены следующей газовой смесью: изобутан — 72%, пропан — 22%, бутан — 6% (все проценты считайте массовыми).

Теплота сгорания бутана (C_4H_{10}) — 2878 кДж/моль, изобутана (C_4H_{10}) — 2869 кДж/моль, пропана (C_3H_8) — 2220 кДж/моль. КПД нагрева воды в котелке при помощи туристической горелки примите за 50%, а удельную теплоемкость воды — за 4200 Дж/кг·К, средняя окружающая температура на Кольском полуострове в это время года — 10°C. Плотность воды примите за 1 г/мл.

Поскольку туристы не просто доводят воду до кипения, а еще и варят в ней еду, вам придется учесть и тепло, которое пойдет на поддержание кипения. Считайте, что с учетом всех тепловых потерь на необходимое для приготовления блюда кипячение суммарно уходит 5% от тепла, необходимого для превращения этой воды в пар. Удельную теплоту парообразования воды примите за 2260 кДж/кг.

Рассчитайте минимально необходимую массу газа в граммах, которой хватит туристам для похода.

Решение.

Суммарное количество воды, которое потребуется туристам за все время похода:

$$3 \cdot 14 \cdot 2,5 = 105 \text{ л}$$

Поскольку плотность можно принять за единицу, масса 105 л воды будет равна 105 кг.

Посчитаем количество теплоты, которое потребуется туристам для нагрева воды от 10°C до 100°C. Поскольку в формуле для подсчета количества теплоты фигурирует разность температур, нам не нужно пересчитывать градусы Цельсия в Кельвины, ведь линейный сдвиг шкалы не изменяет разность.

$$Q = cm\Delta T = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 105 \text{ кг} \cdot 90 \text{ К} = 39\,690\,000 \text{ Дж} = 3,969 \cdot 10^7 \text{ Дж}$$

С учетом реального КПД горелки, туристам потребуется вдвое больше тепла:

$$Q_{\text{реальное}} = \frac{Q_{\text{теор}} \cdot 100\%}{\eta} = \frac{3,969 \cdot 10^7 \cdot 100\%}{50\%} = 7,938 \cdot 10^7 \text{ Дж}$$

Посчитаем количество теплоты, которое пойдёт на кипячение воды во время приготовления пищи. Для этого посчитаем, сколько тепла необходимо для испарения 105 кг воды, а затем возьмем от этого количества 5%. Обратите внимание, что в условии сказано «с учетом всех тепловых потерь», поэтому учитывать КПД горелки здесь уже не надо.

$$Q = Lm \cdot \frac{5\%}{100\%} = 2260 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \cdot 105 \text{ кг} \cdot 0,05 = 11\,865 \text{ кДж} = 1,1865 \cdot 10^7 \text{ Дж}$$

Просуммируем количества теплоты, которые мы рассчитали:

$$Q_{\text{суммарное}} = Q_{\text{нагрев до } 100} + Q_{\text{кипячение}} = 7,938 \cdot 10^7 \text{ Дж} + 1,1865 \cdot 10^7 \text{ Дж} = 9,1245 \cdot 10^7 \text{ Дж}$$

Теперь вычислим массу газа, которую потребуется взять с собой туристам. Здесь существует несколько способов расчета, можно использовать любой корректный. Рассмотрим один из них.

Пусть есть 1 кг газовой смеси. Тогда в нем содержится 720 г изобутана, 220 г пропана и 60 г бутана. Посчитаем количества вещества для каждого из компонентов (постараемся лишний раз не округлять количества для повышения точности):

$$\nu_{\text{изобутана}} = \frac{m_{\text{изобутана}}}{M_{\text{изобутана}}} = \frac{720 \text{ г}}{58 \text{ г/моль}} = 12,4137931 \text{ моль}$$

$$\nu_{\text{пропана}} = \frac{m_{\text{пропана}}}{M_{\text{пропана}}} = \frac{220 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 5 \text{ моль}$$

$$\nu_{\text{бутана}} = \frac{m_{\text{бутана}}}{M_{\text{бутана}}} = \frac{60 \text{ г}}{58 \text{ г/моль}} = 1,034482759 \text{ моль}$$

Вычислим количество теплоты, которое выделяется при сжигании таких количеств газов:

$$\begin{aligned} Q &= Q_{\text{изобутана}} + Q_{\text{пропана}} + Q_{\text{бутана}} = \\ &= 12,4137931 \text{ моль} \cdot 2869 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} + 5 \text{ моль} \cdot 2220 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} + 1,034482759 \text{ моль} \\ &\cdot 2878 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} = 35615,1724 + 11100 + 2977,241379 \text{ кДж} = 49\,692,41378 \text{ кДж} \approx \\ &\approx 49\,692\,414 \text{ Дж} \end{aligned}$$

Теперь посчитаем отношение суммарного количества теплоты, которое необходимо туристам, к количеству теплоты, которое выделяется из килограмма газовой смеси:

$$\frac{9,1245 \cdot 10^7 \text{ Дж}}{49\,692\,414 \text{ Дж}} = 1,836195762 \approx 1,836$$

Получается, что туристам будет достаточно $1 \text{ кг} \cdot 1,836 = 1,836 \text{ кг}$ газовой смеси, или, иначе говоря, 1 836 г.

Разбалловка.

Расчет количества теплоты, которое потребуется для нагрева воды — 2 балла.

Расчет количества теплоты, которое пойдет на кипячение — 2 балла.

Расчет мольного состава газовой смеси — 3 балла.

Расчет удельного количества теплоты, выделяемого при сгорании смеси — 2 балла.

Расчет конечной массы газа — 1 балл.

Правильный ответ с любым другим верным порядком рассуждений — полный балл.

Правильный ответ без расчётов и пояснений — 0 баллов.

При арифметической ошибке в расчетах в промежуточном пункте за этот пункт ставится половина баллов, все последующие пункты оцениваются независимо от этой ошибки (двойное наказание не применяется).

При логической ошибке (идейно неверный расчет) в расчетах промежуточного пункта за этот пункт ставится ноль баллов, все последующие пункты, использующие эти результаты расчетов, оцениваются со штрафным коэффициентом $\times 0,5$ (набранный балл уменьшается вдвое).

Задача 2. Запрещённые вещества (автор — Алексей Тишкин)

Неизвестное бинарное вещество **A** было получено путём сплавления двух простых веществ **X** и **Y**. Образец вещества **A** массой 2,41 г растворили в 100 мл 2,5 М раствора соляной кислоты. При этом выделилось 2,489 л (при н.у.) бесцветного горючего газа **B**. При добавлении к полученному раствору 100 мл 2,5 М раствора гидроксида натрия выпал белый осадок двух веществ (**C** и **D**), который при дальнейшем добавлении раствора щёлочи частично растворился. Кроме того, оставшийся осадок постепенно приобрёл бурю окраску из-за образования вещества **E**. Полученные раствор и бурый осадок отделили друг от друга. К осадку прилили эквимольный раствор оксалата калия и щавелевой кислоты, при этом образовалось комплексное вещество **F**.

Определите неизвестные вещества и запишите уравнения всех протекающих реакций, если известно следующее:

1. Исходные простые вещества взяты в мольном соотношении 6:1.
2. Соляная кислота для растворения вещества **A** была взята с избытком в 12,5%.
3. Массовые доли элементов в **F**: калия – 26,89%; углерода — 16,51%; кислорода — 44,02%.

Решение.

Разбираться с веществами проще всего с последнего пункта: массовые доли элементов в **F**. Несмотря на то, что там один из элементов неизвестен, можно записать формулу вещества в общем виде: $K_xC_yO_zЭ_t$.

Массовую долю Э легко посчитать – 12,58%. Тогда запишем соотношение для индексов:

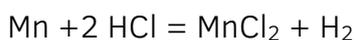
$$x : y : z : t = 26,89/39,1 : 16,51/12 : 49,02/16 : 12,58/M(Э)$$

Данное соотношение легко упростить до следующего вида:

$$x : y : z : t = 1 : 2 : 4 : 18,29/M(Э)$$

Поскольку данное вещество образовано из щавелевой кислоты, то логично предположить наличие в нём фрагмента $C_2O_4^{2-}$. Однако данное вещество комплексное, а значит в нём может быть несколько лигандов. Тогда простым перебором легко получить, что если в этом веществе таких групп три, то молярная масса элемента подходит под массу марганца. Соответственно итоговая формула: $K_3[Mn(C_2O_4)_3]$. Кроме того, данное рассуждение подтверждают и экспериментальные факты: получается, что в изначальном веществе был марганец, который растворился в соляной кислоте с образованием хлорида марганца, который впоследствии прореагировал с гидроксидом натрия – получился $Mn(OH)_2$, который бурлит на воздухе из-за окисления кислородом воздуха.

По первому дополнительному фактору можно понять, что формула исходного вещества может быть либо: AMn_6 , либо A_6Mn . Чтобы минимизировать перебор, можно рассмотреть, как бы растворился чистый марганец в соляной кислоте:



Количество водорода можно посчитать из условия: $2,489/22,4 = 1/9$ моль.

Тогда количество Mn будет таким же, а его масса составит: $1/9 \cdot 54,9 = 6,1$ г – больше, чем дано по условию. Тогда логичнее предположить, что изначальный сплав содержит меньшее количество марганца: A_6Mn .

Введём обозначения: пусть $v(A_6Mn) = a$ моль.

Тогда $v(Mn) = a$ моль; $v(A) = 6a$ моль.

Поскольку второй элемент неизвестен, то придётся записать реакцию растворения в общем виде:



Значит можно записать уравнение связи: $3ax + a = 1/9$ (на этом этапе можно проверить, что количество кислоты также подходит под уравнение).

С другой стороны, количество изначального вещества можно выразить через массу сплава и молярные массы элементов:

$$a = 2,41 / (6M(A) + 54,9)$$

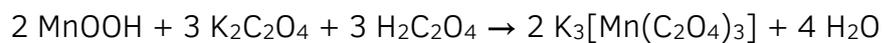
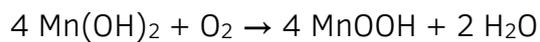
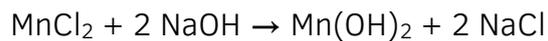
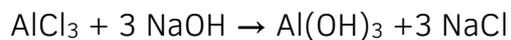
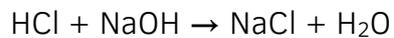
Тогда составим соотношение:

$$\frac{1}{9(3x + 1)} = \frac{2,41}{6M(A) + 54,9}$$

Упрощая данное выражение получается следующее:

$$M(A) = 10,845x - 5,535$$

Простым перебором получаем, что при $x = 3$ молярная масса составит 27 г/моль – алюминий. Также хорошо подходит под условие, и можно теперь записать все уравнения реакций.



Разбалловка.

3 балла за расчёт всех неизвестных веществ.

7 баллов за все уравнения реакций (по 1 баллу за каждое). Первое уравнение может быть записано как 2 отдельных уравнения по 0,5 балла каждое.

Задача 3. Пропатчено (автор — Александр Соболев)

Первый компонент вакцины «Спутник V» в своем составе содержит действующее вещество — рекомбинантные аденовирусные частицы 26 серотипа, содержащие ген белка S и вируса SARS-CoV-2, а также вспомогательные вещества — трис(гидроксиметил)аминометан, хлорид натрия, гексагидрат хлорида магния, сахараза, ЭДТА динатриевая соль дигидрат, этанол 95% и вода. Состав компонентов в одной дозе приведен в таблице:

Компонент	Содержание
Аденовирусные частицы	10^{11} частиц
Трис(гидроксиметил)аминометан	1,21 мг
Натрия хлорид	2,19 мг
Сахароза	25 мг
Магния хлорида гексагидрат	102 мкг
ЭДТА динатриевая соль дигидрат	19 мкг
Этанол 95%	2,5 мл
Вода	0,5 мл

1. Рассчитайте массовую долю углерода в одной дозе вакцины «Спутник V».
2. Сравните стоимость углерода в вакцине и в древесном угле для гриля. Предельную отпускную стоимость дозы вакцины примите равной 1000 рублей. 5 кг угля стоят 430 рублей (считайте, что уголь в магазине состоит только из углерода).

Справочная информация:

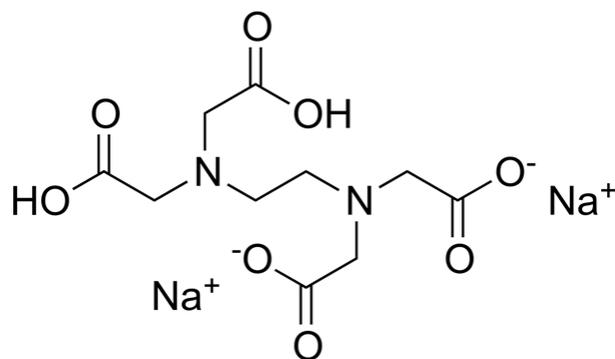
Массу частицы аденовируса считайте равной $25 \cdot 10^6$ Да. Массовая доля углерода в одной частице равна 20%.

Формулы незнакомых веществ:

Трис(гидроксиметил)аминометан



ЭДТА динатриевая соль



Плотность 95%-го раствора спирта $\rho = 0,81$ г/см³. Плотность воды примите равной 1 г/см³.

Решение

Аккуратно рассчитаем общую массу дозы вакцины и массу углерода в ней для нахождения массовой доли. Также рассчитаем предварительно массы всех жидких компонентов. 0,5 мл воды при плотности 1 г/см³ имеют массу 0,5 г. 2,5 мкл раствора спирта при плотности 0,81 г/см³ имеют массу 2,025 мг. Таким образом масса всей дозы вакцины составляет сумму следующих слагаемых:

$$10^{11} \cdot 25 \cdot 10^6 / N_a \text{ г} + 1,21 \text{ мг} + 2,19 \text{ мг} + 25 \text{ мг} + 102 \text{ мкг} + 19 \text{ мкг} + 2,025 \text{ мг} + 0,5 \text{ г}$$

Подставим $N_a = 6,02 \cdot 10^{23}$ в слагаемое, соответствующее частицам, получим $4,153 \cdot 10^{-6}$ г. Для удобства переведем все слагаемые в мг:

$$0,004153 \text{ мг} + 1,21 \text{ мг} + 2,19 \text{ мг} + 25 \text{ мг} + 0,102 \text{ мг} + 0,019 \text{ мг} + 2,025 \text{ мг} + 500 \text{ мг} \approx 530,55 \text{ мг}.$$

(Массу дозы вакцины можно посчитать и проще, если пренебречь компонентами, которые весят несколько мкг)

Теперь перейдем к расчету суммарной массы углерода в таблетке. Для расчета массовых долей углерода в конкретных соединениях нужно определить их брутто-формулы и молекулярные массы. Например, трис(гидроксиметил)аминометан имеет брутто-формулу $C_4H_{11}NO_3$. Его молекулярная масса равна $4 \cdot 12,0 + 11 \cdot 1,0 + 1 \cdot 14,0 + 3 \cdot 16,0 = 121$ г/моль. Массовая доля углерода в соединении составляет $4 \cdot 12,0 / 121 = 0,397$.

Повторим расчет для сахарозы: формулы сахарозы – $C_{12}H_{22}O_{11}$, молекулярная масса сахарозы составляет 342 г/моль, массовая доля углерода $12 \cdot 12 / 342 = 0,421$.

Для ЭДТА брутто-формула $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8$, однако по условию у нас дигидрат соли, поэтому итоговая брутто-формула $C_{10}H_{18}N_2Na_2O_{10}$, молекулярная масса 368 г/моль, массовая доля углерода 0,326.

Последним остается этанол – формула спирта C_2H_6O , молекулярная масса 46, массовая доля углерода в спирте составляет $(24/46) \cdot 0,95 = 0,496$, дополнительный множитель появился из-за того, что спирт неабсолютный.

Компонент	Содержание	Формула	$\omega(C)$	$m(C)$
Аденовирусные частицы	0,004 мг	-	0,2 (условие)	0,0008 мг
Трис(гидроксиметил)аминометан	1,21 мг	$C_4H_{11}NO_3$	0,397	0,4804 мг
Натрия хлорид	2,19 мг	NaCl	0	0 мг
Сахароза	25 мг	$C_{12}H_{22}O_{11}$	0,421	10,525 мг

Магния хлорида гексагидрат	0,102 мг	MgCl ₂ ·6H ₂ O	0	0 мг
ЭДТА динатриевая соль дигидрат	0,019 мг	C ₁₀ H ₁₈ N ₂ Na ₂ O ₁₀	0,326	0,0062 мг
Этанол 95%	2,025 мг	C ₂ H ₆ O	0,496	1,044 мг
Вода	500 мг	H ₂ O	0	0 мг

Просуммируем получившиеся массы углерода из разных соединений и получим значение 12,017 мг. Осталось только поделить массу углерода на массу дозы вакцины:

$$\omega(\text{C}) = \frac{12,017}{530,55} \approx 0,0227 = 2,27\%$$

Несложно заметить, что основным компонентом, который «отвечает» за наличие углерода является сахароза – потому что ее по количеству больше, чем любого другого компонента (кроме воды). Расчет с учетом только сахарозы привел бы к значению $10,525/525 = 2\%$, что описывает реальный результат с погрешностью примерно 10%. Увеличить точность можно учетом этанола, хлорида натрия и трис(гидроксиметил)аминометана.

Для расчета второго пункта нужно привести углерод в вакцине и в магазине к единой массе. Если 12 мг углерода в вакцине стоят 1000 рублей, то чтобы получить 5 кг, нужно взять $N = 5 \text{ кг} / 12 \text{ мг} = 416667$ доз вакцин, суммарной стоимостью 416667000 рублей. Очевидно, что это гораздо дороже угля из магазина, примерно в миллион раз.

Разбалловка:

- | | |
|---|-----------|
| 1. Точное нахождение массовой доли углерода в вакцине | 8 |
| <i>Нахождение массы вакцины</i> | 2 |
| <i>Установление брутто-формул соединений</i> | 2 |
| <i>Нахождение массовых долей углерода в соединениях</i> | 2 |
| <i>Нахождение суммарной массы углерода в вакцине</i> | 2 |
| При решении с аргументированным пренебрежением некоторыми компонентами можно получить до 8 баллов за этот пункт (зависит от погрешности). | |
| 2. Численное сравнение стоимости углерода в вакцине и угле | 2 |
| <i>Определение более дорогого объекта</i> | 1 |
| <i>Определение численного соотношения цен</i> | 1 |
| Итого за задачу | 10 |

Задача 4. Преступление (авторы — Анна Шалыбкова и Никита Крысанов)

*«Если бы человека скрестили с котом,
это улучшило бы человека, но ухудшило бы кота»*

Марк Твен

В лаборатории у химика Колбочкина была большая коллекция различных камней. Однажды, очень устав после тяжёлого рабочего дня, он оставил дверь незакрытой, и туда тёмной ночью просочился его любимый кот. Перевернув коллекцию вверх дном, пушистый негодяй с чувством выполненного долга удалился по своим важным делам.

Придя утром, химик очень расстроился и решил восстановить подписи к своей коллекции. За помощью он обратился к своему другу, лаборанту Приборочкину, от которого получил следующую таблицу:

Образец	Данные спектрального анализа о мольном содержании элементов в образце	Массовая доля элемента D
1	A – 10,4% B – 6,9% C – 20,7% D – 62,0%	0,5357
2	E – 15,0% B – 25,0% D – 60,0%	0,3234
3	F – 16,7% C – 16,7% D – 66,6%	0,3492
4	C – 33,3% D – 66,7%	0,5325
5	G – 15,0% B – 10,0% C – 15,0% D – 60,0%	0,4762
6	B – 40,0% D – 60,0%	0,4706

Помогите химику Колбочкину восстановить коллекцию — расшифруйте неизвестные элементы **A–G** и определите химический состав каждого камня.

Решение.

Исходя из данных о мольных долях элементов в образцах установим брутто-формулы данных химических веществ:

- 1) $A : B : C : D = 10,4 : 6,9 : 20,7 : 62,0 = 1,5 : 1 : 3 : 9 = 3 : 2 : 6 : 18$
- 2) $E : B : D = 15,0 : 25,0 : 60,0 = 3 : 5 : 12$
- 3) $F : C : D = 16,7 : 16,7 : 66,6 = 1 : 1 : 4$
- 4) $C : D = 33,3 : 66,7 = 1 : 2$
- 5) $G : B : C : D = 15,0 : 10,0 : 15,0 : 60,0 = 3 : 2 : 3 : 12$
- 6) $B : D = 40,0 : 60,0 = 2 : 3$

Исходя из того, что каждый из 6 образцов содержит элемент D, а наиболее распространённым в земной коре является кислород, можно предположить, что $D = O$. Рассчитаем молярные массы образцов 1–6 исходя из нашего предположения:

Образец	Химическая формула	Молярная масса, г/моль
1	$A_3B_2C_6O_{18}$	537,01
2	$E_3B_5O_{12}$	593,70
3	FCO_4	183,22
4	CO_2	60,00
5	$G_3B_2C_3O_{12}$	402,94
6	B_2O_3	102,00

Очевидно, что исходя из полученных данных для образцов 4 и 6 можно легко установить, что молярная масса C составляет 28,00 г/моль, что соответствует $C = Si$, а для B — 27,00 г/моль, то есть $B = Al$.

Расшифруем оставшиеся неизвестные элементы:

На 1 атом F приходится 91,22 г/моль — $F = Zr$.

На 3 атома A приходится 27,01 г/моль, то есть молярная масса A составляет 9,03 г/моль — $A = Be$.

На 3 атома E приходится 266,70 г/моль, то есть молярная масса E — 88,90 г/моль — $E = Y$.

На 3 атома G приходится 72,94 г/моль, то есть молярная масса G — 24,31 г/моль — $G = Mg$.

Таким образом, у химика Колбочкина в коллекции находились следующие камни:

Образец	Химическая формула
1	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$
2	$Y_3Al_5O_{12}$
3	$ZrSiO_4$
4	SiO_2
5	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$
6	Al_2O_3

Разбалловка.

- | | |
|---|-------------------------|
| 1) За определение количественного состава образцов (в формате $A_3B_2C_6D_{18}$) | 6 × 0,5 балла = 3 балла |
| 2) За определение каждого из элементов | 7 × 1 балл = 7 баллов |
| Итого | 10 баллов |

Задача 5. Наказание (авторы — Анна Шалыбкова и Никита Крысанов)

*«Иногда обругаешь кошку, взглянешь на неё,
и возникает неприятное ощущение,
будто она поняла всё до последнего слова.*

И запомнила...»

Шарлотта Грей

Обиженный химик Колбочкин решил наказать кота за порчу коллекции: он закрыл его в кладовке, в которой, однако, по рассеянности оставил вещество **A** в количестве 5 моль, которое, самопроизвольно разлагаясь, выделяет крайне ядовитый для кота газ **B**, причём из 1 молекулы **A** получаются ровно 2 молекулы **B**.

Экспериментируя с этим веществом за день до происшествия, он установил:

- 1) Если в изначальной кладовке находятся 4 моля вещества **A**, то его количество уменьшается вдвое за 3 часа.
- 2) При уменьшении изначального количества **A** в 4 раза начальная скорость реакции разложения снижается вдвое.

Через 3 часа и 20 минут химик Колбочкин осознал свою ошибку. Предельно допустимая концентрация вещества **B** составляет $0,5 \text{ моль/м}^3$, а кладовка представляет собой прямоугольный параллелепипед со сторонами $2,5 \times 2 \times 2 \text{ м}$.

1. Определите порядок реакции разложения вещества **A**.
2. Определите, за какое время в кладовке разложится половина вещества **A**.
3. *Оцените* концентрацию ядовитого газа **B** в кладовке в момент, когда Колбочкин осознал ошибку.
4. В порядке ли кот?

Справочная информация:

- 1) Для реакции n -го порядка скорость реакции прямо пропорциональна концентрации вещества в степени n .
- 2) Период полураспада обратно пропорционален концентрации вещества в степени $n-1$.

Решение.

Определим порядок реакции исходя из следующих соображений:

- 1) $r \sim C(A)^n \rightarrow r = k \cdot C(A)^n$ (исходя из справочных данных)
- 2) Разделим одно уравнение на другое и решим уравнение относительно n как переменной. Вместо концентраций будем оперировать с количествами вещества, поскольку объём постоянен (кладовка).

$$2 = \frac{r_1}{r_2} = \frac{k \cdot C(A)_1^n}{k \cdot C(A)_2^n} = \left(\frac{C(A)_1}{C(A)_2}\right)^n = 4^n$$

Откуда $n = 0,5$.

Поскольку известно, что при начальном количестве вещества 4 моль период полураспада составлял 3 часа, а он обратно пропорционален концентрации вещества в степени $-0,5$, то исходя их пропорции:

$$\tau_5 = \tau_4 \cdot \frac{4^{-0,5}}{5^{-0,5}} = 3 \cdot 1,118 \text{ ч} = 3,354 \text{ часа}$$

За 3 часа и 20 минут (поскольку период полураспада составляет 3 часа и 21,3 минуты) разложится меньше половины всего вещества А. То есть концентрация образовавшегося В будет менее $C(B) < 2 \cdot \frac{C(A)_0}{2} = \frac{\nu(A)_0}{V} = \frac{5 \text{ моль}}{2 \cdot 2,5 \text{ м}^3} = 0,5 \text{ моль/м}^3$.
Значит, химик Колбочкин успеет вернуться в кладовку и спасти кота, а вот прожди он ещё 80 секунд...

Разбалловка.

- | | |
|--|---------|
| 1) За расчёт порядка реакции | 3 балла |
| 2) За пересчёт периода полураспада | 3 балла |
| 3) За оценку концентрации вещества В через 3 часа 20 минут (достаточно лишь верхней оценки, как в авторском решении) | 3 балла |
| 4) За ответ на вопрос о судьбе кота | 1 балл |

Итого 10 баллов

Задача 6. Натронный камень (авторы — Евгений Анохин и Владимир Королёв)

Впечатленный разнообразием «химии ...» Колбочкин решил добиться своих успехов в этой области. При этом он решил действовать как истинный юный химик-экспериментатор — стал сливать все подряд растворы, которые были в лаборатории у него под рукой.

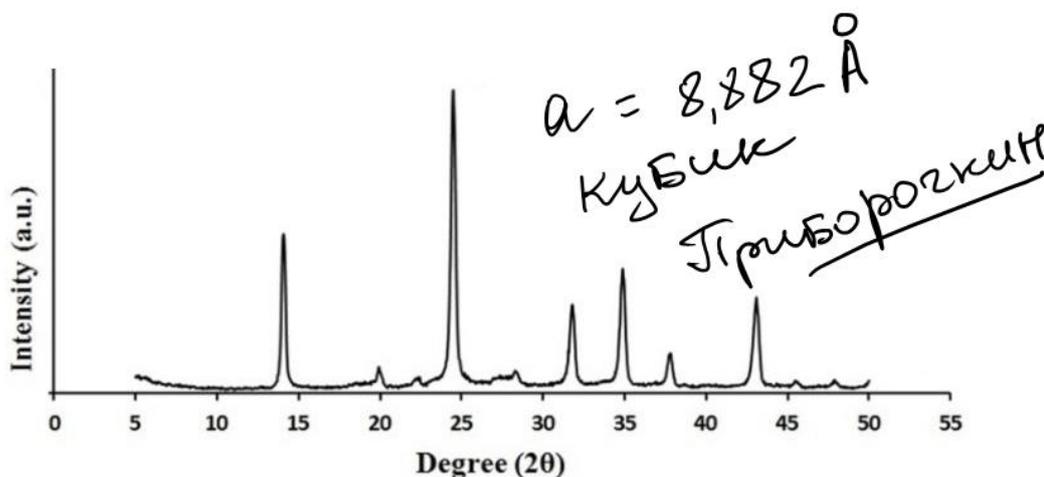
В первый стакан он добавил немного алюминиевого порошка и щедро залил крепким раствором щелочи. Раствор забурлил и запенился, что не могло не обрадовать юного учёного. Колбочкин, хотя и был юный, знал, что рано или поздно порошок целиком растворится, поэтому он решил поставить стакан на электрическую плиту, а в это время заняться вторым стаканом.

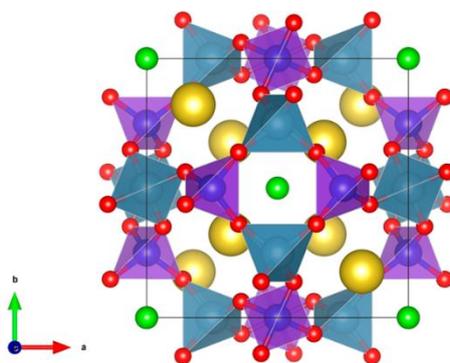
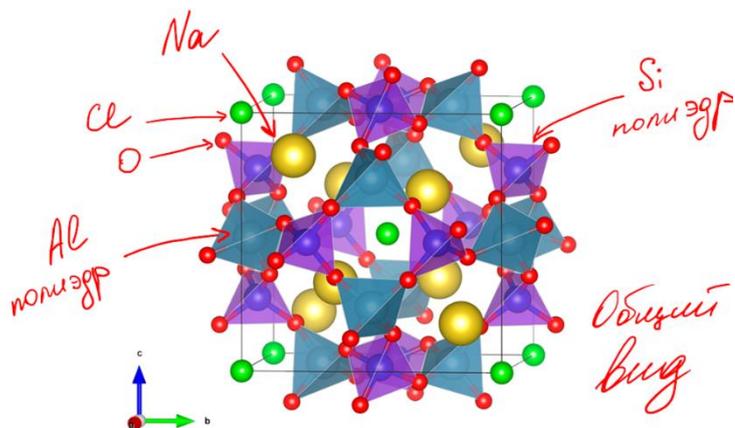
Поскольку после инцидента с котом химическую лабораторию Колбочкина изрядно проредили родители, во второй стакан ему пришлось добавлять подручные реактивы. Он взял всё ту же натриевую щёлочь, добавил к ней чистого речного песка и поставил стакан на плиту по соседству с первым. В какой-то момент экспериментатору этого показалось мало, и он решил щедро добавить во второй стакан соли. Через некоторое время вещества в обоих стаканах растворились полностью, и Колбочкин решил слить их между собой, а затем хорошенько перемешал полученный раствор.

В этот момент Бабушка позвала Колбочкина на обед. Затем юный экспериментатор засмотрелся новым сезоном Смешариков, время пролетело как-то незаметно, про науку он вспомнил только к вечеру. Вернувшись в лабораторию, юный химик обнаружил, что в стакане образовался осадок. Колбочкин удивился этому и решил исследовать полученное вещество уже на следующий день.

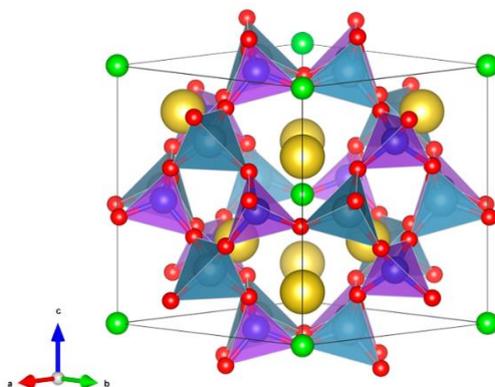
Утром экспериментатор отфильтровал вещество, несколько раз промыл его дистиллированной водой, а затем высушил. За помощью в исследовании порошка Колбочкин вновь обратился к Приборочкину. Тот сказал, что проще всего определить вещество с помощью рентгенофазового анализа. Колбочкин в этом ничего не понимал, но решил, что легко разберётся.

Через несколько дней Приборочкин прислал результаты анализов в виде двух картинок с какими-то набросками ручкой, а из пояснений только аудиосообщение «все натрия внутри ячейки, формульная единица одна».

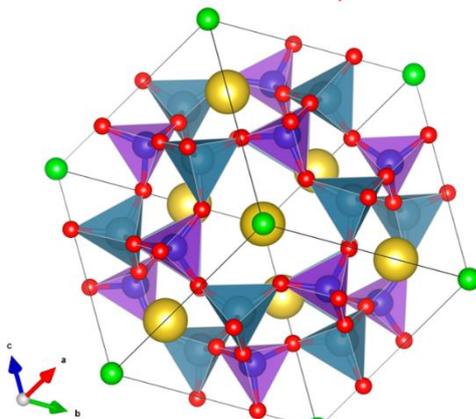




вид сбоку



вид вдоль диагонали грани

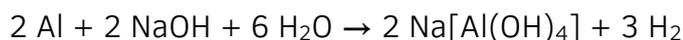


вид вдоль главной диагонали

1. Напишите уравнения всех упомянутых в задаче реакций.
2. Определите формулу полученного вещества, исходя из присланных Приборочкиным данных. Приведите подробные объяснения расчета формулы.
3. По дифракционным данным рассчитайте плотность полученного вещества.
4. Какой химией был так впечатлен Колбочкин в 2021 году?

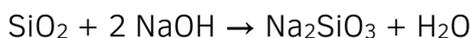
Решение.

Попробуем для начала разобраться с реакциями, протекающими в различных стаканах. В первом стакане будет происходить растворение алюминия в щелочи:



(как верные варианты принимаются также гексагидроксоалюминат и диакватетрагидроксоалюминат)

Во втором стакане речной песок (SiO_2) будет растворяться в щелочи, а добавленный хлорид натрия никак не мешает этому процессу (ортосиликат тоже полный балл):



Разобраться с реакцией, которая протекает при сливании двух стаканов между собой, достаточно трудно. Кажется, что сперва необходимо расшифровать результаты анализов, а затем уже вернуться к написанию реакции.

Присланные Приборочкиным изображения элементарной ячейки позволяют посчитать брутто-формулу вещества. Для этого нам придется лишь аккуратно смотреть на картинки и считать атомы или структуры, учитывая вклады этих объектов в различные элементарные ячейки. Звучит сложно, но давайте попробуем разобраться с этим постепенно, начиная с простого. Проще всего разобраться с атомами натрия, ведь как сказал Приборочкин «все натрии внутри ячейки».

Суммарно на общем виде изображены 8 различных атомов натрия (жёлтые большие шарики), вклад каждого из которых составляет 1, ведь все они лежат *внутри ячейки*, т.е. принадлежат только одной элементарной ячейке. Если внимательно присмотреться к этим атомам натрия, то можно обнаружить, что их можно разбить на две группы атомов по 4 атома в каждой. Эти четверки атомов образуют два разных по размеру тетраэдра (один большой, другой маленький), центры которых совпадают с центром кубика.

Теперь разберемся с атомами хлора. Они расположены во всех восьми вершинах куба, а также в центре куба. Вклад каждой вершины куба в элементарную ячейку составляет $1/8$, поскольку одна вершина куба принадлежит одновременно восьми различным элементарным ячейкам (если мы будем достраивать бесконечную кристаллическую решетку путём повторения этой элементарной ячейки, то одна вершина куба будет вершиной одновременно восьми различных кубов). Таким образом, восемь разных вершин со вкладом $1/8$ дают один единственный атом на одну элементарную ячейку: $8 \cdot 1/8 = 1$ атом. При этом атом, находящийся в центре элементарной ячейки, принадлежит только одной ячейке, поэтому его вклад будет

единичным. Таким образом, суммарно во всей ячейке находятся два атома хлора (один в центре и один во всех вершинах со вкладом $1/8$).

Теперь разберемся с атомами кремния и алюминия. Будем рассматривать картинку комплексно, не будем считать отдельно атомы этих элементов, будем считать их полиэдры. В данной ситуации их полиэдры это тетраэдры, причем мы можем заметить, что эти тетраэдры лежат на *гранях* куба, при этом на каждой грани куба находятся по два тетраэдра с кремнием и по два тетраэдра с алюминием. Тетраэдры соединяются между собой через кислородные вершины, при этом каждая из кислородных вершин принадлежит одновременно двум различным тетраэдрам, т.е. имеет вклад $1/2$.

Попробуем разобраться, сколько же алюминиевых и кремниевых тетраэдров содержится в элементарной ячейке. Всего в кубике 6 различных граней, в каждой из которых лежит по два различных тетраэдра. Каков же вклад в элементарную ячейку от структуры, лежащей в грани? Каждая из граней куба принадлежит двум различным элементарным ячейкам в кристаллической структуре, таким образом, вклад каждого элемента грани будет равен $1/2$.

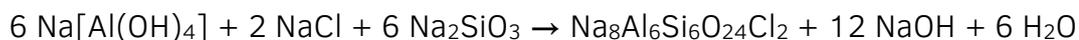
Получается, что $6 \text{ граней} \times 2 \text{ тетраэдра в грани} \times 1/2 \text{ вклад} = 6 \text{ тетраэдров}$ в элементарной ячейке. Получается, что в одной элементарной ячейке содержится по 6 атомов кремния и алюминия.

Посчитаем количество атомов кислорода в ячейке. Можно заметить, что атомы кислорода содержатся только в кремниевых и алюминиевых тетраэдрах. Суммарно таких тетраэдров в ячейке мы уже насчитали 12 штук (6 с алюминием и 6 с кремнием). Сколько же атомов кислорода приходится на 1 тетраэдр? Если каждый кислород имеет вклад $1/2$ (как мы уже сказали ранее, каждый из кислородов принадлежит одновременно двум различным тетраэдрам), то суммарно у нас получается $12 \text{ тетраэдров} \times 4 \text{ атома кислорода} \times 1/2 \text{ вклад} = 24 \text{ атома кислорода}$ на ячейку.

Таким образом, формула вещества будет $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$. Мы даже можем проверить свои вычисления структуры путем подстановки ожидаемых степеней окисления для каждого из элементов (+1 для натрия, +3 для алюминия, +4 для кремния, -2 для кислорода и -1 для хлора), и заметить, что суммарный заряд структуры будет нулевым. Поскольку Приборочкин сообщил, что «формульная единица одна», эта формула и является формулой вещества, ее не нужно сокращать или как-либо преобразовывать.

С такой формулой существует минерал, который называется *содалит* или же *sodalite*. Название происходит от *sodium* или же *soda* — натрий, и греческого *líthos* — камень. Таким образом, содалит — *натриевый камень*.

Теперь мы способны написать последнюю протекающую химическую реакцию:



Рассчитаем плотность вещества по дифракционным данным. Плотность по определению представляет собой отношение массы к объему. То же самое будет верно и для одной единственной элементарной ячейки: отношение её массы к объему должно быть равно плотности вещества.

$$\rho = \frac{m_{\text{ячейки}}}{V_{\text{ячейки}}}$$

Масса ячейки будет складываться из массы всех формульных единиц, которые присутствуют в ячейке. Представим массу ячейки как произведение количества формульных единиц (N) на массу формульной единицы; объем кубической ячейки легко вычислить, зная ребро куба (a):

$$\rho = \frac{m_{\text{ячейки}}}{V_{\text{ячейки}}} = \frac{N \cdot m_{\text{формульной единицы}}}{a^3}$$

Масса одной формульной единицы вещества может быть легко вычислена, если вспомнить определение молярной массы. Молярная масса — масса одного моля формульных единиц; таким образом, если разделить молярную массу вещества на число Авогадро (количество формульных единиц в одном моле), мы найдём массу одной формульной единицы:

$$\rho = \frac{N \cdot \frac{M_{\text{содалита}}}{N_A}}{a^3} = \frac{N \cdot M_{\text{содалита}}}{a^3 \cdot N_A}$$

Мы знаем, что количество формульных единиц в нашем случае равно одному, поэтому нам остается только подставить все числа в формулу выше, не забыв перевести ангстремы в см:

$$\rho = \frac{1 \cdot (8 \cdot 23,0 + 6 \cdot 27,0 + 6 \cdot 28,1 + 24 \cdot 16,0 + 2 \cdot 35,5) \frac{\text{г}}{\text{МОЛЬ}}}{(8,882 \cdot 10^{-8} \text{ см})^3 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = \frac{969,6 \text{ г}}{421,962 \text{ см}^3} \approx 2,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Какой же химией мог быть так впечатлен Колбочкин в 2021 году? Учитывая специфику задачи (химия силикатов) и год олимпиады (2021) остается только ответить «химией **цемента**» или бетона, стройматериалов, вяжущих веществ и др. по смыслу.

Разбалловка.

Пункты 1–3:

Уравнения протекающих реакций — $3 \times 0,5 = 1,5$ балла.

Расчет количества атомов элементов в элементарной ячейке (с пояснениями) — $5 \text{ элементов} \times 1 \text{ балл} = 5$ баллов.

Корректное указание конечной формулы ($\text{Na}_8\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$ в любой форме) без сокращения на два — 0,5 балла.

Расчет плотности из дифракционных данных — 3 балла.

Правильные ответы с любым другим верным порядком рассуждений — полный балл.

Правильные ответы без расчётов и пояснений — 0 баллов.

Пункт 4 оценивается в ноль баллов за любой ответ. Если вы написали правильный с точки зрения составителей задачи ответ, то вы получаете их безграничный респект.

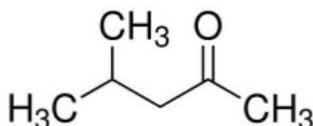
Задача 7. Абранакурсик детригнус ордралфабетикса (автор — Глеб Алёшин)

«Французский» металл Σ растворили в избытке концентрированной соляной кислоты (*реакция 1*). При этом растворение протекало хорошо, но достаточно медленно. Затем к получившемуся раствору вещества Ω по каплям прибавляли раствор едкого кали, в результате наблюдая сначала выпадение осадка Δ , а затем его растворение (*реакции 2–4*).

Если вещество Ω прокалить, то образуется вещество Ψ (*реакция 5*). При этом прокаливание Ω с Σ в вакууме дает другое вещество – Θ (*реакция 6*). Массовая доля металла в Θ равна 89,7%.

1. Определите все неизвестные вещества. Ответ подтвердите расчетом.
2. Запишите все уравнения упомянутых химических реакций.

Интересно отметить, что если металл Σ содержит радиоактивные атомы данного металла, то при растворении в избытке соляной кислоты и последующем встряхивании с метилизобутилкетонем (структурная формула приведена ниже) радиоактивность фиксируется преимущественно в органической фазе, в то время как водная фаза практически не содержит радионуклидов.



3. Дайте объяснение данному факту, изобразите структуру частицы, находящейся в органической фазе и содержащей атом металла Σ .

Решение.

Растворение металлов в соляной кислоте приводит к образованию хлоридов. При добавлении к раствору хлорида щелочи может выпадать нерастворимый гидроксид. Последующее его растворение говорит об образовании комплексной соли.

Прокаливание на воздухе приводит к образованию высшего оксида. При этом прокаливание в присутствии металла приводит к образованию оксида с меньшей степенью окисления, чем высшая. Таким образом, определившись, что Θ это оксид (общая формулу оксида выразим как X_aO_b мы можем рассчитать элемент:

$$\omega(X) = \frac{A_r(X) \times a}{A_r(O) \times b + A_r(X) \times a}$$

$$A_r(X) = \frac{\omega(X)A_r(O) \times b}{a - \omega(X) \times a}$$

Перебирая значения a между 1 и 3 и значения b между 1 и 2, получаем таблицу:

	a	1	2	3
b				
1		139,34	69,67	46,45
2		278,68	139,34	92,89

, и при значении степени окисления металла 1 получаем элемент галлий. Таким образом:



Количество реакций говорит об образовании комплекса в избытке соляной кислоты.



Таким образом, уравнения реакций:

Уравнение 1: $2 \text{Ga} + 8 \text{HCl} = 2 \text{H}[\text{GaCl}_4] + 3 \text{H}_2$ (за вариант с GaCl₃ – половинный балл, за две реакции – растворение до GaCl₃ и образование комплекса – полный балл)

Уравнение 2: $\text{H}[\text{GaCl}_4] + \text{KOH} = \text{GaCl}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{KCl}$

Уравнение 3: $\text{GaCl}_3 + 3 \text{KOH} = \text{Ga}(\text{OH})_3 + 3 \text{KCl}$

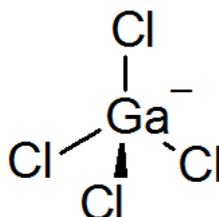
Уравнение 4: $\text{Ga}(\text{OH})_3 + \text{KOH} = \text{K}[\text{Ga}(\text{OH})_4]$

Уравнение 5: $2 \text{H}[\text{GaCl}_4] + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Ga}_2\text{O}_3 + 8 \text{HCl}$ (так как комплекс неустойчив не в растворе)

Уравнение 6: $2 \text{H}[\text{GaCl}_4] + 3 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{Ga} = 3 \text{Ga}_2\text{O} + 8 \text{HCl}$

Структура аниона [GaCl₄]⁻ исходя из метода Гиллеспи — тетраэдр. Следовательно, данный анион является неполярной частицей и растворим лучше в органических растворителях, чем в воде, из-за чего он экстрагируется кетоном. Так как свойства радиоактивных атомов и нерадиоактивных с точки зрения химии абсолютно идентичны, то мы наблюдаем переход радиоактивности в органическую фазу вместе с основной частью атомов галлия.

Структура:



Разбалловка.

Пункт 1 — за каждое неизвестное вещество по одному баллу (5 веществ) + 1 балл за расчет элемента (галлий) — **6 баллов суммарно**

Правильные вещества без расчета – 0 баллов за все вышеперечисленное.

Пункт 2 — шесть уравнений реакций по 0,5 баллов за каждое — **3 балла суммарно**

Пункт 3 — по 0,5 балла за объяснение и структуру — **1 балл суммарно**

Задача 8. Вода живая и мёртвая (автор — Владимир Королёв)

В ряде экспериментов необходимо знать с высокой точностью плотность используемой дистиллированной воды. Для этого обычно используют табличные данные, приводимые авторитетными метрологическими институтами. При составлении одного из таких справочников в 70-х годах XX века возникла проблема: Международный союз чистой и прикладной химии рекомендовал использовать для этих целей дистиллировать воду из океана, а большую часть экспериментов химики ставили с использованием речной воды. В итоге, между таблицами ИЮПАК и таблицами ГОСТ возникло расхождение: кубометр советской социалистической дистиллированной воды был на $3 \cdot 10^{-3}$ кг легче, чем кубометр западной капиталистической дистиллированной воды.

Оказалось, что все дело в изотопах. Хотя соотношения протия и дейтерия в советской и океанической воде совпадало, соотношение ^{18}O и ^{16}O в водах океана было примерно равно 1:501. А в реках СССР среднее соотношение было другим. Определите среднее соотношение ^{18}O и ^{16}O в реках СССР, если:

- 1) Плотность воды при 25°C и давлении 1 атмосфера равна 997,045 кг/м³ по данным советских метрологов и 997,048 кг/м³ по данным западных метрологов.
- 2) Соотношение атомов дейтерия и протия в воде 1:650.
- 3) Вкладом других изотопов в расчете можно пренебречь.
- 4) Влиянием изотопного состава молекулы на ее размеры можно пренебречь

Решение

Итак, все что нам известно, это соотношение плотностей, а найти нам надо соотношение масс изотопов кислорода. Из условия известно, что изотопный состав не влияет на средние размеры молекулы воды, а значит объем, приходящийся на одну молекулу воды, одинаков и в океанической воде, и в речной воде. А значит объемы, которые занимают один моль и той и другой воды, равны. Значит, соотношение плотностей равно соотношению молярных масс

$$\frac{\rho(\text{H}_2\text{O})_{\text{река}}}{\rho(\text{H}_2\text{O})_{\text{океан}}} = \frac{M(\text{H}_2\text{O})_{\text{река}}/V_m(\text{H}_2\text{O})_{\text{река}}}{M(\text{H}_2\text{O})_{\text{океан}}/V_m(\text{H}_2\text{O})_{\text{океан}}} = \frac{M(\text{H}_2\text{O})_{\text{река}}}{M(\text{H}_2\text{O})_{\text{океан}}} = \frac{997,045}{997,048} = 1 - 3,01 \cdot 10^{-6}$$

С другой стороны, соотношение молярных масс можно определить из распространенности изотопов. Например, если в природе на 1 атом дейтерия ($M=2$ а.е.м.) 650 атомов протия ($M=1$ а.е.м.), то средняя масса водорода $M_{\text{cp}}(\text{H}) = (1/651) \cdot 2 + (650/651) \cdot 1$.

$$M(\text{H}_2\text{O})_{\text{океан}} = 2 \cdot M_{\text{средняя}}(\text{H}) + M_{\text{средняя}}(\text{O}) =$$

$$2 \cdot \left(\frac{1}{651} \cdot 2 + \frac{650}{651} \cdot 1 \right) + 1 \cdot \left(\frac{1}{502} \cdot 18 + \frac{501}{502} \cdot 16 \right) = \frac{2 \cdot 652}{651} + \frac{1 \cdot 8034}{502}$$

Пусть на 1 атом кислорода-18 в речной воде приходится x атомов кислорода-16. Тогда средняя молярная масса кислорода в речной воде:

$$M_{\text{cp}}(\text{O})_{\text{река}} = \frac{1}{x+1} \cdot 18 + \frac{x}{x+1} \cdot 16$$

Запишем целиком выражение для отношения молярных масс воды:

$$\frac{M(\text{H}_2\text{O})_{\text{река}}}{M(\text{H}_2\text{O})_{\text{океан}}} = \frac{2 \cdot \left(\frac{1}{651} \cdot 2 + \frac{650}{651} \cdot 1 \right) + 1 \cdot \left(\frac{1}{x+1} \cdot 18 + \frac{x}{x+1} \cdot 16 \right)}{\frac{1304}{651} + \frac{8034}{502}} = 1 - 3,01 \cdot 10^{-6}$$

$$= \frac{2.003072 + \frac{18 + 16x}{x+1}}{18.007056}$$

$$(1 - 3,01 \cdot 10^{-6}) \cdot 18.007056 = 2.003072 + \frac{18 + 16x}{x+1}$$

$$16,003984 - 54 \cdot 10^{-6} = \frac{18 + 16x}{x+1}$$

$$16,003984 - 54 \cdot 10^{-6} + 16,003984x - 54 \cdot 10^{-6}x = 18 + 16x$$

$$0,00393x = 1,99607, x \approx 508$$

Ответ: в речной воде приходится в среднем 508 атомов кислорода-16 на один атом кислорода-18 или соотношение $1:508 = 0,00197$

Разбалловка.

Верная запись выражений для молярной массы речной и океанической воды

2×2,5 б. = 5 баллов

Верные вычисления

5 баллов

Ошибка в вычислениях меньше чем на порядок

3 балла

Ошибка в вычислениях больше, чем в 10 раз

1 балл

Задача 9. Бесконечная штука (автор — Владимир Королёв)

В колбу с желтым порошком простого вещества **A** пропустили желтый газ **B**, представляющий собой простое вещество. В результате образовалась оранжево-коричневая жидкость, в действительности являющаяся смесью двух: золотисто-желтой (**B**₁) и красной (**B**₂). Если разделить две жидкости при помощи перегонки, то оказывается, что пропусканием дополнительных порций желтого газа можно превратить золотисто-желтую жидкость в красную. Соотношение атомных долей элементов, составляющих золотистую жидкость равно 1:1.

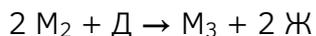
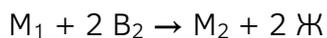
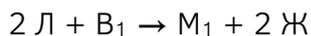
В результате реакции **A** с газом **Г**, также представляющим собой простое и очень горючее вещество, можно получить газ **Д**, обладающий неприятным запахом. Охладим газ **Д** с помощью сухого льда до -78°C — он станет жидкостью. Проведем следующие реакции:

1. $2 \text{Д} + \text{В}_1 \rightarrow \text{Е}_1 + 2 \text{Ж}$
2. $\text{Д} + 2 \text{В}_1 \rightarrow \text{Е}_2 + 2 \text{Ж}$
3. $2 \text{Д} + \text{В}_2 \rightarrow \text{Е}_3 + 2 \text{Ж}$
4. $\text{Д} + 2 \text{В}_2 \rightarrow \text{Е}_4 + 2 \text{Ж}$
5. $\text{Е}_3 + 2 \text{В}_2 \rightarrow \text{Е}_2 + 2 \text{Ж}$
6. $2 \text{Е}_3 + \text{В}_2 \rightarrow \text{Е}_5 + 2 \text{Ж}$
7. $2 \text{Д} + \text{Е}_2 \rightarrow \text{Е}_5 + 2 \text{Ж}$
8. $\text{Е}_1 + \text{Д} \rightarrow$ нет реакции
9. $\text{Е}_3 + \text{Е}_5 \rightarrow$ нет реакции
10. $\text{Е}_4 + \text{В}_2 \rightarrow$ нет реакции
11. $\text{Е}_2 + \text{В}_1 \rightarrow$ нет реакции

Все вещества **B**₁, **B**₂, **E**₁–**E**₅, **Ж** — бинарные, **A**, **B**, **Г** — простые. *Определите, что собой представляют все перечисленные вещества.*

Определили? Не время расслабляться! Немного усложним условие: возьмем вместо желтого порошка **A** красный порошок **K** — простое вещество, соответствующее более тяжелому элементу — близкому аналогу **A** в таблице Менделеева. Его химические свойства во многом совпадают с **A**. Давайте предположим, что во все перечисленные выше реакции он вступает абсолютно аналогичным образом.

Пусть **K** ввели в реакцию с **Г**, получив газообразный **Л**, который затем немедленно ввели в следующие превращения:



*Определите формулу вещества **Л** и запишите структурные формулы **М**₁, **М**₂ и **М**₃.*

Решение

Начнем с простого. Конечно, из описания, **А** и **Б** это сера и хлор, а газ **Г** — это водород. **А** это точно неметалл, потому что его соединение с водородом — явно очень летучее вещество, а желтых неметаллов очень мало.

В₁ и **В₂** это хлориды серы, причем в **В₁** отношение числа атомов серы к хлору 1:1. Напрашивается формула SCl, но валентность серы II, а значит единственная разумная формула S₂Cl₂. Второй хлорид серы (из валентности) — это SCl₂. Газ **Д**, из описания — это сероводород, H₂S.

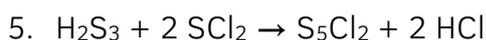
Далее нужно внимательно присмотреться к схеме реакций. Первые четыре реакции — это реакции между сероводородом и разными количествами S₂Cl₂ и SCl₂. Бинарные продукты могут содержать серу, водород или хлор. Можно высказать предположение, что продукт, образующийся вне зависимости от соотношения реагентов — это HCl. Тогда можно просто вычислить брутто формулы E1, E2, E3, E4

1. $2 \text{H}_2\text{S} + \text{S}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S}_4 + 2 \text{HCl}$
2. $\text{H}_2\text{S} + 2 \text{S}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{S}_5\text{Cl}_2 + 2 \text{HCl}$
3. $2 \text{H}_2\text{S} + \text{SCl}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S}_3 + 2 \text{HCl}$
4. $\text{H}_2\text{S} + 2 \text{SCl}_2 \rightarrow \text{S}_3\text{Cl}_2 + 2 \text{HCl}$

С учетом типичной валентности серы II, можно предположить строение этих молекул — нам все равно пригодятся структурные формулы во второй части задачи.

H-S-S-S-S-H, Cl-S-S-S-S-S-Cl, H-S-S-S-H, Cl-S-S-S-Cl

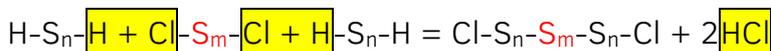
Посмотрим на реакцию номер 5:



Можно предположить, что базовая логика, по которой происходят реакции, такая: если берем 1 моль водородного соединения и 2 моль хлоридного,



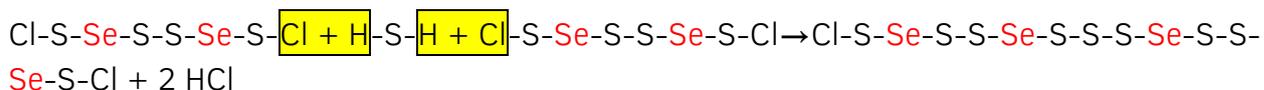
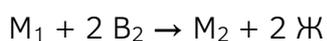
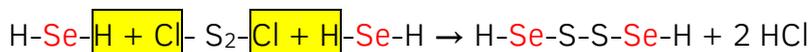
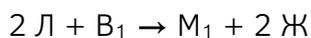
И наоборот



Соответственно, когда мы смешиваем водородное соединение с водородным и хлорид серы с хлоридом серы, то реакция не идет (это видно по реакциям 8-11). Тогда:

6. $2 \text{H}_2\text{S}_3 + \text{SCl}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S}_7 + 2 \text{HCl}$
7. $2 \text{H}_2\text{S} + \text{S}_5\text{Cl}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{S}_7 + 2 \text{HCl}$

Вторая часть задачи посвящена близкому соседу серы – селену (**К**). Селен с водородом образует токсичный селеноводород H_2Se (**Л**), который затем вводят в реакцию с S_2Cl_2



Разбалловка

А, Б, Г, Д, Е ₁ –Е ₅ , Ж, К, Л	12 × 0,5 б. = 6 баллов
В ₁ , В ₂	2 × 1 б. = 2 балла
М ₁ , М ₂ , М ₃	2 балла
М ₁ , М ₂ , М ₃ , но без структурной формулы	1 балл

Задача 10.  (авторы — Евгений Анохин, Владимир Королёв и Александр Соболев)

Юный Колбочкин был против социальных условностей и ограничений родителей, поэтому он решил собрать новые реактивы для лаборатории. Для этого он отправился в слесарную мастерскую, где работал коллега Приборочкина, слесарь шестого разряда Деталькин. Там возле фрезерного станка он собрал с пола с помощью магнита стружку серебристого металла и забрал ее домой. Дома Колбочкин решил освежить свои знания о свойствах этого давно известного человечеству металла и для этого полез рыться в библиотеку. В умных книжках он прочитал, что этот металл применяется в основном в производстве нержавеющей стали, легко растворяется в разбавленной соляной кислоте с выделением бесцветного газа, а также при нагревании и высоком давлении может реагировать с угарным газом с образованием жидкости (*реакция 1*). Эта бесцветная жидкость обычно используется для производства пиррофорного порошка металла, применяемого в качестве катализатора.

Самостоятельно Колбочкин проводить такую реакцию побоялся, все же угарный газ показался ему слишком ядовитым. Он решил проверить базовые химические свойства металла и отправился в лабораторию. По традиции он хотел взять с собой на дело кота, но, к сожалению, мы не знаем, все ли с котом в порядке, поэтому опустим эту неважную подробность. Колбочкин залил стружку разбавленным раствором аккумуляторной кислоты, и она действительно растворилась (*реакция 2*). Обрадованный химик решил воспользоваться своим любимым методом исследований — заливать в полученный раствор все, что попадет под руку. Он разделил раствор на две части: в первую он щедро добавил раствор аммиака (*реакция 3*), а во вторую — раствор пищевой соды (*реакция 4*).

Определите металл, напишите уравнения реакций 1–4.

Решение

К металлам, которые легко собрать магнитом, относится определенная группа элементов, в которую входят железо, кобальт, никель и некоторые редкоземельные элементы – гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий и т.д. В производстве сталей логичнее всего предположить использование железа, кобальта или никеля, т.е. оставить только 3d-элементы. В разбавленной соляной кислоте каждый из этих металлов будет растворяться с выделением водорода. Определить, какой из металлов является верным, может помочь реакция с угарным газом – образование карбониллов:

$\text{Ni} + 4\text{CO} \rightarrow \text{Ni}(\text{CO})_4$ – тетракарбонилникель – бесцветная жидкость,

$\text{Fe} + 5\text{CO} \rightarrow \text{Fe}(\text{CO})_5$ – пентакарбонилжелезо – желто-оранжевая жидкость,

$2\text{Co} + 8\text{CO} \rightarrow \text{Co}_2(\text{CO})_8$ – октакарбонилдикобальт – белые или оранжевые кристаллы.

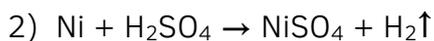
Кобальт отсекаем сразу, т.е. его комплекс кристаллический, в выборе между никелем и железом помогает цвет жидкости – это скорее именно никель. В пользу этого также

говорит факт о применении металла – никель действительно в основном применяется для получения нержавеющей стали, тогда как железо в основном применяется в качестве строительного материала.

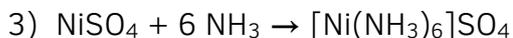
Зная металл, записать реакции не составляет никакого труда. Первая реакция у нас уже, по сути, записана выше:



Во второй реакции никель растворяют в аккумуляторной кислоте, коей является разбавленная серная кислота:



При реакции с аммиаком никель, как и другие d-металлы, образует комплексы. Для никеля характерно координационное число 6:



При взаимодействии с пищевой содой образуется осадок зеленого цвета – карбонат никеля:

**Разбалловка:**

Определение никеля	6 баллов
Уравнения реакций	4 × 1 = 4 балла
Итого за задачу	10 баллов