

Решения и разбалловка второго тура заочного отборочного этапа
Химической олимпиады имени Германа Гесса 2020 года

Задача 1. О растворимости углекислого газа в жидкостях (автор Евгений Анохин)

Рассчитайте, сколько будет весить оставленная открытой полулитровая бутылка Coca-Cola Zero со вкусом вишни, после того как из нее испарится растворённый углекислый газ (испарением воды пренебрегите). Начальная степень карбонизации напитка, то есть соотношение объёма растворенного углекислого газа и объёма раствора, составляет 5. Считайте, что степень карбонизации рассчитана при н.у., исходная плотность напитка равна 1,045 г/мл, вес пустой пластиковой бутылки без пробки составляет 25 г.

Решение

Начальная масса бутылки без крышки равна:

$$500 \cdot 1.045 + 25 = 547.5 \text{ г}$$

Объём углекислого газа, растворенного в кока-коле, составляет: $0.5 \cdot 5 = 2.5 \text{ л}$

Количество этого углекислого газа при н.у.: $2.5 / 22.4 = 0.1116 \text{ моль}$

Масса углекислого газа: $0.1116 \cdot 44 \approx 4.91 \text{ г}$

Конечная масса бутылки: $547.5 - 4.9 = 542.6 \text{ г}$

Ответ: 542.6 г

Разбалловка

Верно рассчитана начальная масса бутылки — 2 балла

Верно вычислен объём растворенного углекислого газа — 2 балла

Верно вычислено количество вещества углекислого газа — 2 балла

Верно вычислена масса углекислого газа — 2 балла

Верно посчитана конечная масса бутылки — 2 балла

Правильный ответ с другим порядком рассуждений — полный балл

Правильный ответ без расчётов и пояснений — 0 баллов

Задача 2. Спасение экономики от коронавируса (автор Евгений Анохин)

Одним из используемых в гомеопатии разведений является так называемое «сотенное», обозначаемое буквой C ; при таком разведении концентрацию вещества уменьшают в сто раз. К примеру, если есть 100 мл раствора любого вещества, то для разведения $1C$ необходимо взять 1 мл исходного раствора и добавить к нему 99 мл чистой воды. В случае, если эти манипуляции произвести дважды последовательно (взять 1 мл нового раствора и добавить к нему ещё 99 мл чистой воды), получается разбавление $2C$, трижды — $3C$, и так далее.

Гомеопатический препарат *Oscillococcinum* по утверждению изготовителя содержит в себе экстракт печени и сердца барбарийской утки, при этом каждая доза препарата содержит в себе 0,01 мл экстракта с разведением $200C$. Предположим, что из одной утки можно изготовить 10 мл исходного концентрированного экстракта. Рассчитайте стоимость одной такой барбарийской утки, в предположении, что она стоит столько же, сколько из неё можно изготовить гомеопатического препарата. Сравните полученную стоимость утки с ВВП России за 2018 год (во сколько раз больше или меньше стоит утка?). ВВП России за 2018 год примите равным 100 трлн рублей, т.е. 10^{14} рублей. Упаковка препарата, содержащая 30 доз, стоит в аптеке полторы тысячи рублей.

Решение

Рассчитаем, сколько доз препарата можно приготовить из 10 мл экстракта:

Разведение | полученный объём

$$0C = 10 \text{ мл}$$

$$1C = 10^3 \text{ мл}$$

$$2C = 10^5 \text{ мл}$$

$$3C = 10^7 \text{ мл}$$

...

$$NC = 10^{2N+1} \text{ мл}$$

$$\Rightarrow 200C = 10^{401} \text{ мл экстракта с таким разведением}$$

$$\Rightarrow 10^{403} \text{ доз препарата можно приготовить (в каждой дозе } 0.01 \text{ мл)}$$

Посчитаем, сколько будет стоить такое количество доз препарата:

$$10^{403} / 30 \cdot 1500 = 5 \cdot 10^{404} \text{ рублей (делим на количество таблеток в пачке, умножаем на стоимость пачки)}$$

Сравним эту сумму с ВВП России за 2018 год:

$$5 \cdot 10^{404} / 10^{14} = 5 \cdot 10^{390}$$

Получается, что стоимость одной утки в $5 \cdot 10^{390}$ раз больше, чем годовой ВВП России; т.е. потребуется суммарный ВВП за $5 \cdot 10^{390}$ лет, чтобы сравнять эти величины. Для сравнения, по современным представлениям, возраст Вселенной составляет немногим менее 14 млрд лет (т.е. $14 \cdot 10^9$ лет).

Разбалловка

Расчет числа доз препарата с разведением 200С — 4 балла

Расчет стоимости такого числа доз — 3 балла

Правильное сравнение с ВВП — 3 балла

Правильный ответ с другим порядком рассуждений — полный балл

Правильный ответ без расчётов и пояснений — 0 баллов

Задача 3. Корова вырабатывает кубометр метана за два с половиной часа (автор Евгений Анохин)

Для ускорения протекания реакций химии часто используют нагревание реакционной смеси, обычно для этого применяют различные вариации газовых горелок. При сжигании 10 л (н.у.) метана выделяется приблизительно 358 кДж тепла. Рассчитайте, сколько тепла выделится при сжигании одного кубометра метана, взятого при давлении 745 мм рт. ст. и температуре 23°C.

Решение

$$10 / 22.4 = 0.4464 \text{ моль}$$

$$358 / 0.4464 \approx 802 \text{ кДж/моль метана}$$

$$pV = \nu RT$$

$$101325 * 745 / 760 = \nu * 8.314 * 296$$

$$\nu \approx 40.36 \text{ моль метана в кубометре}$$

$$Q = 40.36 * 802 = 32\,369.20 \approx 32,37 \text{ МДж}$$

Ответ: 32,37 МДж.

Разбалловка

Правильно рассчитано количество теплоты, выделяющейся при горении одного моль метана — 3 балла

Правильно рассчитано количество метана в кубометре при нестандартных условиях — 4 балла

Правильно рассчитано количество теплоты, выделяющейся при горении одного кубометра метана — 3 балла

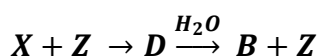
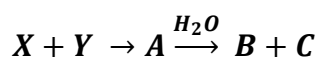
Правильный ответ с другим порядком рассуждений — полный балл

Правильный ответ без расчётов и пояснений — 0 баллов

Задача 4. Загадка для всех (автор Алексей Тишкин)

Взаимодействие двух простых веществ **X** и **Y** приводит к образованию соединения **A**, с массовой долей **X** в нём 59,65%. Растворение вещества **A** является обменной реакцией, в результате которой образуются растворимое вещество **B** и газообразное **C** (плотность газа **C** по гелию составляет 4,25). Массовая доля кислорода в соединении **B** составляет 66,95%.

Взаимодействие двух простых веществ **X** и **Z** при нагревании приводит к образованию соединения **D**, которое при растворении в воде даёт вещества **B** и **Z**. Кроме того, при взаимодействии при повышенном давлении веществ **Y** и **Z** получается вещество **C**. Данные превращения можно описать следующей схемой:



1. Определите зашифрованные вещества, напишите уравнения протекающих реакций.
2. Напишите уравнения реакций взаимодействия простых веществ **X**, **Y** и **Z** с кислородом, укажите условия протекания этих реакций.

Решение

Поскольку растворение вещества **A** является обменной реакцией, а образующееся вещество **B** остаётся в растворе, то логично предположить, что **B** – гидроксид некоторого металла.

Тогда общая формула **B** – $Me(OH)_x$.

Можно составить уравнение относительно массовой доли кислорода в данном соединении:

$$\frac{16x}{M(Me) + 17x} = 0,6695$$

Упрощая данное выражение, приходим к следующему: $M(Me) = 6,9x$.

Методом перебора находим, что единственное подходящее решение будет при $x = 1$. Тогда $M(\text{Me}) = 6,9$ г/моль – это литий. Соответственно, вещество **B** – LiOH.

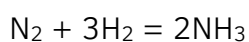
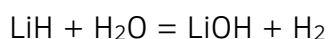
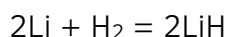
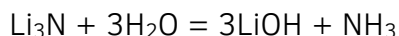
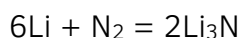
Плотность по гелию вещества **C** составляет 4,25. Отсюда легко можно найти молярную массу вещества **C**: $M(\text{C}) = D_{\text{He}}(\text{C}) \cdot 4 = 17$ г/моль.

Так как **C** образовался при взаимодействии с водой, а другое полученное в реакции вещество – гидроксид лития, то **C** является бинарным водородсодержащим соединением. Единственное такое соединение, удовлетворяющее молярной массе – это аммиак NH_3 . Соответственно, вещество **C** – NH_3 .

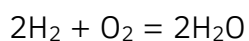
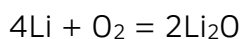
Тогда очевидно, что исходные элементы – это литий и азот. Значит вещество **A** – это нитрид лития Li_3N . Поскольку массовая доля **X** в **A** составляет 59,65%, а в Li_3N такая массовая доля у лития, то **X** – Li, **Y** – N_2 .

Последнее зашифрованное уравнение показывает, что азот взаимодействует с **Z** с образованием аммиака. Очевидно, что **Z** – водород H_2 . Тогда неизвестное вещество **D** – LiH.

Уравнения упомянутых реакций:



С кислородом данные простые вещества реагируют следующим образом:



Разбалловка

Определение простых веществ X, Y, Z – по 1 баллу, суммарно 3 балла

Определение веществ A, B, C, D – по 0,5 балла, суммарно 2 балла

Запись 5 зашифрованных уравнений реакций – по 0,5 балла, суммарно 2,5 балла

Запись 3 уравнений реакций с кислородом – по 0,5 балла, суммарно 1,5 балла

Указание условий проведения реакций – 1 балл

Задача 5. Глейпнир (автор Никита Крысанов)

Памяти величайшего русского химика.

X представляет собой серебристый металл, легкорастворимый в кислотах и щёлочах. Наиболее распространённым его источником в земной коре сейчас служат бокситы, из которых путём очистки и химических превращений получают чистый металл, обладающий довольно низкой плотностью — около $2,8 \text{ г/см}^3$. Большая часть производимого металла расходуется на создание сплавов, обладающих повышенной прочностью и твёрдостью, что позволяет использовать их в авиационном строении.

В лаборатории с образцом **X** провели некоторые химические превращения.

Навеску металла **X** растворили в соляной кислоте, при этом образовался бесцветный раствор вещества **A** (*реакция 1*), при добавлении к которому водного раствора аммиака выпал белый осадок вещества **B** (*реакция 2*), который может быть растворён в избытке концентрированного водного раствора гидроксида калия с образованием комплексного соединения **C** (*реакция 3*). При прокаливании вещества **B** образуется оксид **D** (*реакция 4*), причём из $1,00 \text{ г}$ металла **X** может быть получено $1,53 \text{ г}$ оксида **D**. Этот оксид обладает невероятно высокой температурой плавления — более 2000°C . При прокаливании вещества **D** с углем в атмосфере хлора получают безводный хлорид **A** (*реакция 5*), при добавлении к которому раствора фторида натрия образуется малорастворимое в воде бинарное вещество **E** (*реакция 6*).

- 1) Определите элемент **X** и вещества **A–E**, напишите уравнения протекающих реакций.
- 2) По какой причине **X** пассивируется в концентрированной серной и азотной кислотах?

Решение

На первый взгляд под условие отлично подходит алюминий, однако, из 1 г алюминия получается $1,89 \text{ г}$ оксида, поэтому этот вариант не годится. Найти подходящий элемент можно подбором по имеющейся массовой доле: составим общую формулу оксида как XO_n , где n принимает целые и полуцелые значения. Массовая доля металла в оксиде, очевидно, равна $1:1,53 = 0,6536$. По определению, массовую долю можно записать так:

$$\omega(X) = \frac{M(X)}{M(X) + 16n}$$

После приведения подобных слагаемых получаем связь: $M(X) = 30n$.

n	M(X)	Элемент
0,5	15	-
1	30	-
1.5	45	Sc
2	60	-
2,5	75	As
3	90	-

По массам подходят только Sc_2O_3 и As_2O_5 , однако, мышьяк – неметалл и не подходит под остальные условия задачи. Таким образом, **X** – это скандий, элемент, предсказанный Д.И. Менделеевым и имеющий схожие химические свойства с алюминием. Запишем все реакции упомянутые в задаче:

- 1) $2Sc + 6HCl(p-p) \rightarrow 3H_2\uparrow + 2ScCl_3$ (A)
- 2) $ScCl_3 + NH_3 \cdot H_2O \rightarrow 3NH_4Cl + Sc(OH)_3\downarrow$ (B)
- 3) $Sc(OH)_3 + 3KOH_{(конц.)} \rightarrow K_3[Sc(OH)_6]$ (C)
- 4) $2Sc(OH)_3 \rightarrow Sc_2O_3 + 3H_2O$ (D)
- 5) $Sc_2O_3 + 3C + 3Cl_2 \rightarrow 2ScCl_3 + 3CO$
- 6) $ScCl_3 + 3NaF \rightarrow 3NaCl + ScF_3\downarrow$ (E)

Пассивация скандия в кислотах происходит из-за образования устойчивой тонкой оксидной пленки на поверхности металла.

Разбалловка

Определение элемента X и оксида D – по 1.5 балла, итого – 3 балла

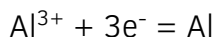
Определение веществ A, B, C, E – по 0.5 балла, итого – 2 балла

Уравнения реакций 1-6 – по 0.5 балла, итого – 3 балла

Разумное пояснение пассивации скандия – 2 балла

Задача 6. Электронные весы (автор Владимир Королёв)

Компания «РусАл» производит в год 4,15 миллиона тонн алюминия. Для получения алюминия используется электрохимический процесс: путем электролиза раствор Al_2O_3 в криолите восстанавливают до металла на графитовых электродах. На одном из электродов процесс можно упрощенно записать так:



Воспользовавшись уравнением химической реакции, определите, сколько тонн электронов в год расходуется «РусАлом» на промышленное получение алюминия? Примите массу электрона 550 мкг/моль. Ответ приведите с точностью до десятых.

Решение

Из уравнения видно, что на получение 1 моль алюминия требуется 3 моль электронов. Молярная масса алюминия 27 г/моль. В 1 тонне 1 миллион грамм. Тогда

$$\nu(\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})} = \frac{4,15 * 10^6 * 10^6 \text{Г}}{27 \text{ г/моль}} = 1,537 * 10^{11} \text{ моль}$$

$$\nu(\text{e}^-) = 3 * \nu(\text{Al}) = 4,611 * 10^{11} \text{ моль}$$

$$m(\text{e}^-) = \nu(\text{e}^-) * M(\text{e}^-) = 4,611 * 10^{11} \text{ моль} * 550 * 10^{-6} \frac{\text{Г}}{\text{моль}} = 2,54 * 10^8 \text{Г} = 253,6 \text{ тонн}$$

Разбалловка

Верно рассчитано количество вещества электронов — 5 баллов

Верно рассчитана масса электронов — 5 баллов

Правильный ответ с другим порядком рассуждений — полный балл

Каждая арифметическая ошибка — минус 2 балла

Ошибка округления — минус 1 балл

Правильный ответ без расчётов и пояснений — 0 баллов

Задача 7. С любовью из Кобальта, Онтарио (автор Алексей Тишкин)

Неизвестный минерал X имеет гексагональную кристаллическую структуру, представленную на рисунке 1. В ней можно различить атомы двух различных химических элементов (синие шарики — атомы A и зелёные шарики — атомы B), принадлежащих одному периоду таблицы Менделеева. Известно, что плотность данного минерала составляет $7,884 \text{ г/см}^3$, а параметры ячейки: $a = 3,602 \text{ \AA}$, $c = 5,009 \text{ \AA}$ (считайте, что данная ячейка представляет собой призму с ромбом в основании, a — сторона ромба, c — вертикальное ребро призмы). $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$.

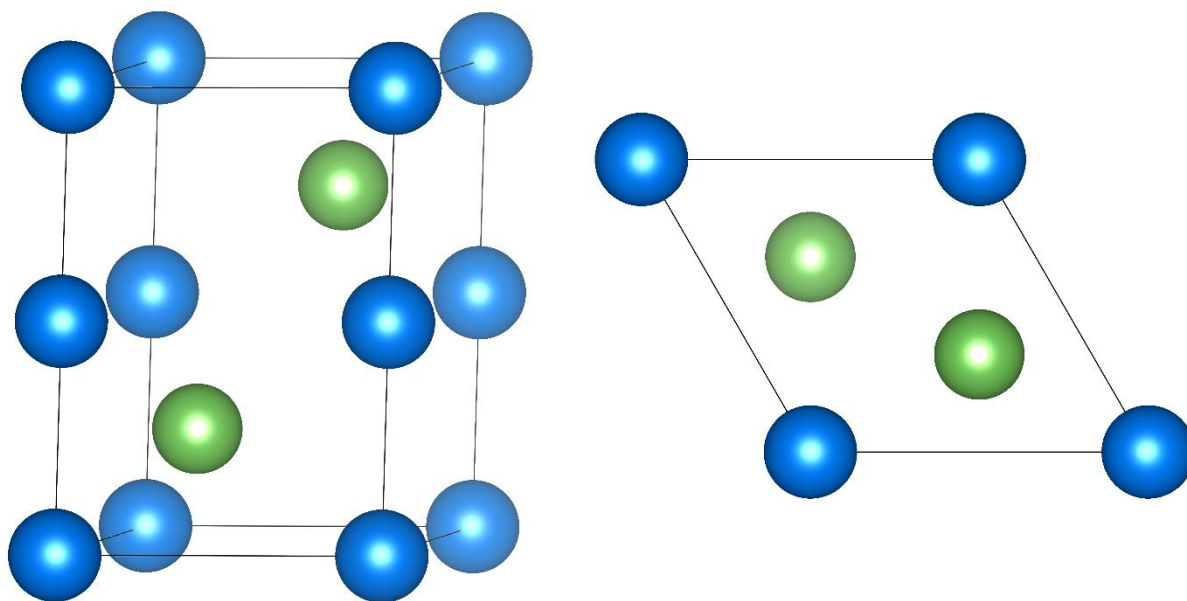


Рисунок 1. Элементарная ячейка X. Слева — общий вид ячейки, справа — вид сверху.

- 1) Определите простейшую формулу данного соединения и число формульных единиц.
- 2) По приведённым в условии задачи данным определите неизвестные элементы A и B.

Решение

Изображение структуры показывает, что в элементарной ячейке соединения два зелёных шарика находятся внутри призмы, т.е. они полностью ей принадлежат. Синие шарики при этом различаются между собой: 4 шарика находятся на рёбрах призмы, а 8 шариков — в вершинах. Находящиеся на рёбрах пересекаются между 4-мя призмами, в вершинах — между 8-ью. Соответственно, общее количество синих шариков, приходящихся на ячейку, рассчитывается следующим образом:

$$4 \cdot 1/4 + 8 \cdot 1/8 = 2$$

Таким образом ячейку можно определить формулой **A₂B₂**.

Значит, простейшая формула соединения **AB**, а число формульных единиц **Z = 2**.

Объём призмы можно определить по формуле: $V = Sc$, где c – вертикальное ребро призмы, а S – площадь параллелограмма в основании. Поскольку ячейка является гексагональной, то угол между сторонами параллелограмма составляет 120° .

Тогда справедлива следующая формула: $V = a^2c \cdot \sin(120^\circ)$

Соответственно, масса элементарной ячейки: $m = \rho a^2c \cdot \sin(120^\circ)$

С помощью данной формулы найдём молярную массу для простейшей формулы соединения:

$$M(\text{AB}) = m \cdot N_A / Z$$

При подставлении всех численных данных в эту формулу мы получим, что:

$$M(\text{AB}) = 133,6 \text{ г/моль.}$$

По условию задачи, элементы **A** и **B** принадлежат одному периоду таблицы Менделеева. Очевидно, что речь идёт о 4-ом периоде, поскольку в остальных периодах атомные массы элементов никак в сумме не могут дать полученное значение. Единственная пара, удовлетворяющая такой сумме – это никель и мышьяк. Соответственно, итоговая формула соединения: NiAs .

Разбалловка

Определение простейшей формулы соединения и числа формульных единиц – 5 баллов

(при определении формулы A_2B_2 и $Z = 1$) – 3 балла

Расчёт итоговой молярной массы соединения – 4 балла

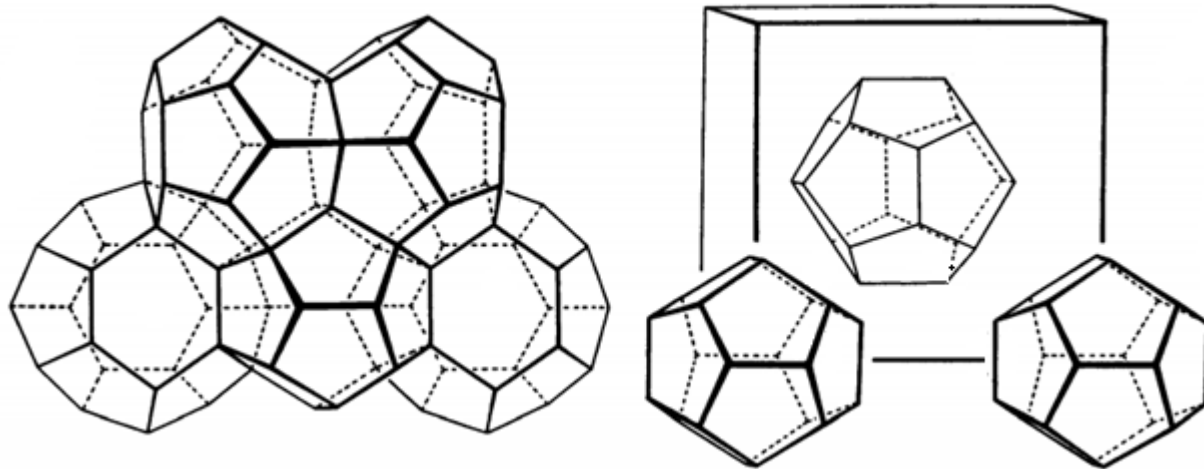
Определение искоемых элементов – 1 балл

Задача 8. Твердый хлор (автор Владимир Королёв)

В 1811 году Хэмфри Дэви обнаружил, что вещество, долгое время считавшееся «твёрдым хлором», на самом деле содержит в своем составе и воду и хлор. В 1951 году Лайнус Полинг определил кристаллическую структуру этого соединения. В его основе лежит кубическая элементарная ячейка с длиной ребра $11,82 \text{ \AA}$. Бесконечно повторив такую элементарную ячейку в пространстве мы получим объёмный кристалл.

Атомы кислорода из молекул воды стоят в вершинах правильных додекаэдров и четырнадцатигранников (12 пятиугольных и 2 шестиугольных грани). Расположение

атомов водорода не принципиально для решения задачи. Каждый додекаэдр из атомов кислорода делит общую грань с 12 четырнадцатигранниками. Каждый четырнадцатигранник соединен с десятью четырнадцатигранниками шестиугольными и некоторыми пятиугольными гранями, а оставшиеся четыре пятиугольные грани поделены с додекаэдрами. По одному додекаэдру из атомов кислорода находятся в вершинах кубической элементарной ячейки и еще один додекаэдр находится в центре ячейки. Молекулы хлора находятся внутри четырнадцатигранников, додекаэдры пусты.



На рисунке слева изображен додекаэдр, окруженный четырьмя из 12 четырнадцатигранников. На рисунке справа изображено расположение додекаэдров в элементарной ячейке.

Определите, сколько молекул хлора и воды содержатся в одной элементарной ячейке. Поясните ответ.

В 50-литровом баллоне содержится примерно 62,5 килограмма сжиженного хлора. Оцените, сколько килограмм хлора содержится в 50 литрах «твердого хлора»? В ответе на этот вопрос вам пригодится соотношение $1 \text{ дм} = 10^9 \text{ \AA}$.

Решение:

Сначала разберемся с многогранниками в кристаллической решетке. Будем обозначать додекаэдры буквой **D**, 14-гранники буквой **T**. На 1 **D** приходится 12 **T**. Каждый **T** соединен ровно с 4 **D**. Попробуем посчитать, сколько **T** приходится на один **D**. Если у нас в кристаллической решетке есть какое-то очень большое число **D**, например миллион, то вычислим число **T**. На первый взгляд их 12 миллионов, ведь на 1 **D** приходится 12 **T**. Но каждый **T** мы посчитали 4 раза, потому что он связан с 4 **D**.

Значит нам надо поделить это число на 4. Значит на миллион **D** приходится три миллиона **T**, а на один **D** приходится три **T**.

В одной элементарной ячейке есть 8 **D** в вершинах и 1 **D** в середине. Каждая вершина в бесконечной сетке из кубиков принадлежит восьми кубикам, значит каждый из 8 **D** поделен между 8 ячейками. Значит на одну ячейку приходится ровно

$$2D = \frac{8 D \text{ в вершинах}}{8 \text{ ячеек}} + \frac{1D \text{ в центре}}{1 \text{ ячейка}}$$

А, следовательно, на одну ячейку приходится 6 **T**.

Теперь перейдем к подсчету молекул. Молекулы хлора сидят в **T**, значит на одну элементарную ячейку приходится 6 молекул хлора.

В одном **D** 20 вершин, в одном **T** 24 вершины. Каждая вершина – атом кислорода, значит, зная сколько у нас атомов кислорода приходится на ячейку мы знаем, сколько приходится на одну ячейку молекул воды (столько же). Видно, что каждая вершина принадлежит трем граням, а значит каждая вершина принадлежит четырем многогранникам (трем контактирующим с исходным многогранником по граням и собственно исходному многограннику). Значит в одной элементарной ячейке $(20 * 2 + 24 * 6) / 4 = 46$ вершин

Значит в элементарной ячейке «твердого хлора» содержится 6 молекул хлора и 46 молекул воды.

Теперь оценим вместительность «твердого хлора» по сравнению с баллоном газа. В объеме элементарной ячейки содержится 6 молекул хлора. Определим, сколько грамм хлора приходится на кубический дециметр «твердого хлора»:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{M * \nu}{V} = \frac{M}{V} * \frac{N}{N_A} = \frac{71 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}}{11,82^3 * 10^{-27} \text{ дм}^3} * \frac{6 \text{ штук}}{6,02 * 10^{23} \frac{\text{ШТУК}}{\text{МОЛЬ}}} = \frac{71 * 0,9967}{1651,4 * 10^{-4}} \frac{\text{Г}}{\text{дм}^3} = 428,5 \frac{\text{Г}}{\text{дм}^3}$$

1 дм³ = 1 л, значит в 50 литрах «твердого хлора» содержится примерно 21,4 кг хлора.

Разбалловка:

Верно определено число молекул хлора в ячейке	4 балла
Верно определено число молекул воды в ячейке	4 балла
Верно определена масса хлора в 50 литрах «твердого хлора»	2 балла
Любые ответы без пояснений и вычислений	0 баллов
Решение построением принимается за правильное	

Задача 9. Kek! (авторы Энни Хульт и Александр Соболев)

Соединение **A**, содержащее металл **X**, издревле применялось при производстве стекол, однако во второй половине 20-ого века изготовление посуды с **A** стало постепенно затухать. Параллельно с этим стало развиваться производство другого соединения **F**, которое также содержит металл **X**. **F** можно получить из **A** в несколько стадий. На первой **A** растворяют в азотной кислоте, при этом образуется **B** - нитрат составного катиона. Затем к **B** добавляют раствор аммиака, после чего выделяют соль аммония **C**. Восстановление **C** в атмосфере водорода позволяет выделить вещество **D**, относящееся к тому же классу соединений, что и **A**. Обработка **D** кислотой **G**, содержащей элемент **Y**, приводит к образованию соединения **E**. Окисление **E** газом Y_2 позволяет получить конечный продукт **F**. Известно, что соединения **A**, **D**, **E**, **F**, **G** – бинарные.

Данные о содержании **X** и **Y** в указанных соединениях приведены в таблице.

Соединение	A	B	C	D	E	F	G
Массовая доля X, %	84,80	60,41	76,28	88,15	75,80	67,61	0
Массовая доля Y, %	0,00	0,00	0,00	0,00	24,20	32,39	95

1. Установите элементы **X**, **Y**, а также соединения **A-G**.
2. Напишите реакцию взаимодействия **B** с водным раствором аммиака, в ходе которой получается **C**.

Решение

Проще всего начать с кислоты **G**, которое является бинарной, т.е. имеет формулу H_nY . Массовая доля **Y** определяется по формуле:

$$\frac{M(Y)}{M(Y) + n} = 0,95$$

Откуда: $M(Y) = 19n$. Перебором n получаем, что единственный адекватно подходящий вариант достигается при $n=1$; $M(Y) = 19$ – это **фтор**. Окисление **E** газом Y_2 таким образом – это фторирование. Заметим, что и **E**, и **F** содержат только элемент **X** и фтор, так как суммы их массовых долей равны единице. Формулу **E** или **F** тогда можно записать как XF_m . Массовая доля элемента **X** равна:

$$\omega(X) = \frac{M(X)}{M(X) + 19m}$$

Для **E** получаем уравнение: $M(X) = 59,5m$. Составим таблицу и переберем значения m . Отметим, что брать $m = 5$ и выше не имеет смысла, так как элементы с массой ~ 300 или не существуют или еще не открыты.

Значение m	$M(X)$	X	XF_m
1	59,5	-	-
2	119	Sn	SnF_2
3	178,5	Hf	HfF_3
4	238	U	UF_4

Чтобы однозначно выбрать из трех вариантов (хотя фторид гафния (III) можно не рассматривать всерьез), проведем аналогичные манипуляции для соединения **F**, уравнение для которого имеет вид: $M(X) = 39,66m$. Также очевидно, что массовая доля фтора в **F** вырастает относительно **E**, поэтому можно начать подбор с $m=3$.

Значение m	$M(X)$	X	XF_m
3	119	Sn	SnF_3
4	158,6	Tb	TbF_4
5	198,3	-	-
6	238	U	UF_6
7	277,6	-	-

Как видим, остались возможными только два варианта X: Sn и U. Однако у олова наиболее устойчивая степень окисления в окислительной атмосфере – +4, то есть при окислении SnF_2 образовывался бы SnF_4 . Таким образом, элемент X – это уран, соединение **E** – UF_4 , **F** – UF_6 . Поиск остальных соединений можно провести аналогичным способом. Для начала найдем бинарные соединения **A** и **D**. С высокой долей вероятностью это оксиды, так как в производстве стекол в основном применяются именно оксиды различных элементов. Предполагая общий состав оксида UO_k , получим формулу:

$$\omega(U) = \frac{238}{238 + 16k}$$

Для **A** $k = 2,67$, т.е. $UO_{2,67}$. Приводя индексы к целым, получим U_3O_8 - оксид урана (VI, V), имеющий тривиальное название желтый кек.

Для **D** $k = 2$, т.е. это UO_2 , оксид урана (IV).

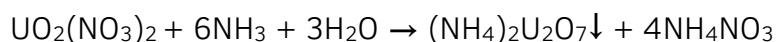
Осталось определить **B** и **C**. Про **B** известно, что это нитрат составного катиона. Предположим, что в **B** один атом урана, тогда $M(B) = 238:0,6041 = 394$. За вычетом урана остается 156. Нитрат-анион имеет массу 62, судя по оставшейся массе в **B**

содержится минимум два, тогда остается еще $156 - 62 \cdot 2 = 32$ единицы массы. Вспомним, что по условию **B** – это соль с составным катионом, т.е. $(UЭ_x)(NO_3)_2$. С учетом наличия у урана степени окисления +6, остатка 32 и факта, что при растворении U_3O_8 в азотной кислоте в структуру **B** могут войти максимум кислород и водород, логично сделать вывод, что соль **B** – это $UO_2(NO_3)_2$ – нитрат уранила. **C** по условию – соль аммония, следовательно, уран содержится в ее анионе. Вновь предположим, что в формульной единице **C** один атом урана. Тогда $M(C) = 238 : 0,7628 = 312$. Остаток: $312 - 238 = 74$. Возможны различные варианты заполнения остатка катионами аммония. Логично предположить, что помимо катионов аммония в соединении есть кислород, который образует с ураном анион.

Катионов аммония	Остаток массы на кислород	Формула
1	56	$NH_4UO_{3,5}$
2	38	$(NH_4)_2UO_{2,375}$
3	20	$(NH_4)_3UO_{1,25}$

В любом случае видно, что целое значение не получается, поэтому в состав **C** входит точно не один атом урана. Чтобы разобраться, какая простейшая формула подходит лучше, вспомним о степенях окисления урана. В нитрате уранила $CO + 6$, в оксиде урана (IV) $+4$. При этом стадия восстановления явно указана именно при переходе от **C** к **D**, следовательно степень окисления урана в **C** тоже $+6$. Под это условие идеально подходит первая формула. Удваивая все индексы, получим: $(NH_4)_2U_2O_7$ – диуранат аммония, который имеет формулу аналогичную известному дихромату аммония.

Для написания реакции $B \rightarrow C$ нужно просто несложно подобрать коэффициенты, так как реакция не является окислительно-восстановительной:



Разбалловка

Верно определен фтор и фтороводород – по 0.5 балла каждый – итого **1 балл**

Верно определен уран – **1,5 балла**

Верно определены **A-F** - по 1 балл каждый – итого **6 баллов**

Верно записано уравнение реакции – **1,5 балла**

Верные реагенты и продукты, но неверные коэффициенты – **0.5 балла**

Решение без всяких пояснений или численных расчетов – **0 баллов**

Задача 10. Обратите внимание! (авторы Александр Соболев и Владимир Королев)

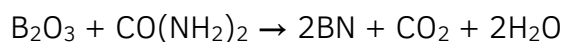
Вещество X представляет собой слоистое соединение, каждый слой которого представляет собой шестиугольную сетку, на манер пчелиных сот. X является диэлектриком и не имеет максимумов поглощения в видимой области спектра. Этот материал не проводит электрический ток, находит применение в качестве смазки, обладает высокой термической устойчивостью, а под действием высоких температур и давления переходит в кубическую аллотропную модификацию, прозрачную и обладающую высокой твердостью. Кубическая модификация применяется в инструментах для металлообработки. Средний атомный номер для вещества X, который показывает, как легко проникает сквозь него мягкое рентгеновское излучение, близок к 6. В одном из нестандартных методов синтеза X используется мочевины в качестве одного из реагентов.

- 1) Определите вещество X, назовите его по стандартной номенклатуре.
- 2) Предложите, какое еще вещество может применяться в качестве реагента в синтезе X из мочевины и напишите уравнение реакции.

Решение

Условие задачи может ввести в заблуждение о том, что вещество X – графит, однако, графит неплохо проводит электрический ток и даже используется для изготовления электродов в современных устройствах. Искать решение следует из условия о мочевины и среднем атомном номере. В мочевины помимо углерода содержится водород, кислород и азот. Судя по тому, что вещество имеет шестиугольную сетку, оно состоит из атомов двух типов, симметрично занимающих элементарный шестиугольник сетки. Средний атомный номер искомым атомов 6, следовательно, это могут быть следующие пары: BN, BeO, NaH (*nota bene*, LiF не рассматривается, так как в мочевины нет таких элементов). Чрезвычайно высокая токсичность оксида бериллия и химическая неустойчивость гидрида натрия не позволяют им быть использованным в качестве инструментов для металлообработки (и это лишь одно из противоречий условиям). Таким образом X – BN, белый графит или, по стандартной номенклатуре, нитрид бора.

Очевидно, что для получения BN из мочевины нужен источник бора. Весьма распространенным реагентом для получения соединений бора является его оксид B_2O_3 :



Данная реакция проводится при высокой температуре в инертной атмосфере.

Разбалловка

Определение формулы вещества X – 6 баллов

Указание названия X – 1 балл

Указание подходящего реагента (борная кислота также принимается) – 1 балл

Правильное уравнение реакции – 2 балла