

**Решения и разбалловка заданий заочного отборочного этапа
Химической олимпиады имени Германа Гесса 2019 года**

Методическое указание: при решении задач используйте атомные массы элементов, округлённые до сотых.

Задача 1. Не содержит ГМО

Изотонический раствор — водный раствор, обладающий таким же осмотическим давлением, что и плазма крови. Примером такого раствора является физиологический раствор (или иначе «физраствор») — 0,90%-й по массе водный раствор хлорида натрия. Рассчитайте массу хлорида натрия, необходимую для приготовления 1 л физраствора, если его плотность составляет 1,0043 г/мл. Ответ округлите до тысячных.

Решение

$$M_{\text{раствора}} = V \cdot \rho = 1000 \text{ мл} \cdot 1,0043 \text{ г/мл} = 1004,3 \text{ г}$$

$$M_{\text{NaCl}} = 1004,3 \text{ г} \cdot 0,9\% / 100\% = 9,0387 \text{ г} \approx 9,039 \text{ г}$$

Рассчитанная масса раствора — 5 баллов.

Рассчитанная масса NaCl — 5 баллов.

При решении в общем виде — 10 баллов.

Неверное округление (не до нужного знака, его отсутствие и т.д.) — минус 1 балл.

Задача 2. Чомк сочку Чосаба, Но!

Рассчитайте по известной массовой доле химических элементов простейшие брутто-формулы следующих соединений и предположите их структурные формулы:

- 5,94% H, 94,06% O
- 13,74% S, 27,42% O, 58,84% Ba
- 34,76% Mn, 40,50% O, 24,74% K
- 57,665% O, 25,45% Cu, 4,045% H, 12,84% S

Решение

Отношение количеств атомов в соединении равно отношению массовых долей элементов к их атомным массам.

В первом случае:

$$H : O = (5,94 / 1,01) : (94,06 / 16,00) = 5,88 : 5,88 = 1 : 1$$

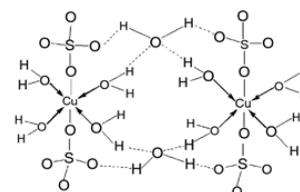
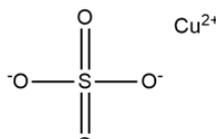
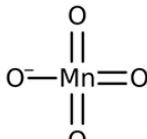
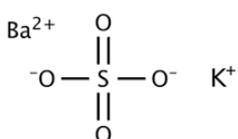
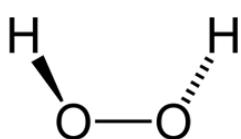
По аналогии считаются и остальные соединения.

Простейшие брутто-формулы:

- HO
- BaSO₄
- KMnO₄
- CuSO₉H₁₀

Реальные структурные формулы:

- H₂O₂
- BaSO₄
- KMnO₄
- CuSO₄ · 5 H₂O



Верно рассчитанные формулы веществ по 4×1 баллу — 4 балла в сумме.
Структуры сульфата бария и перманганата калия по 1 баллу — 2 балла в сумме.
Структуры пероксида водорода и медного купороса по 2 балла — 4 балла в сумме.

Засчитываются любые резонансные структуры; в случае медного купороса засчитывается за максимум любая формула, в которой есть указание на пять молекул кристаллизационной воды, в том числе без указания, где эти молекулы расположены.

Задача 3. Атомы за решёткой

На рисунке 1 представлена элементарная ячейка кристаллической структуры соединения NaCl; чёрными шариками изображены атомы Na, а белыми — атомы Cl, при этом в одной элементарной ячейке содержится 4 формульные единицы. Определите формулу вещества, состоящего из атомов А (чёрные шарики) и В (серые), изображенного на рисунке 2.

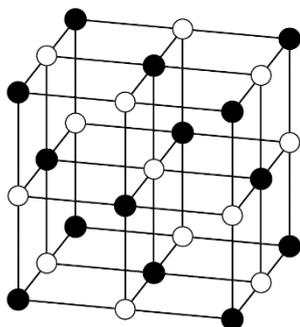
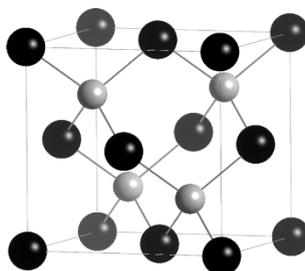
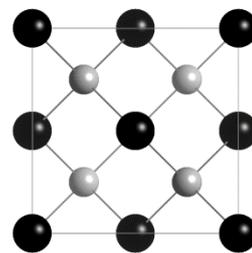


Рисунок 1



Наглядное
изображение



Вид сверху

Рисунок 2

Решение

Анализ структуры, приведённой в задании:

Чёрный цвет: 8 атомов в вершинах кубика, каждый со вкладом в решётку $1/8$, поскольку каждая вершина принадлежит одновременно 8 различным кубикам; 6 атомов в центрах граней, каждый со вкладом в решётку $1/2$, поскольку каждый центр грани принадлежит двум кубикам => на ячейку приходится $8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 = 4$ чёрных атома.

Серый цвет: 4 атома внутри куба серого цвета, каждый из них принадлежит только одному кубу => на ячейку приходится 4 серых атома.

Общая формула A_4B_4 или АВ, если привести к простейшей формуле.

Анализ чёрных атомов — 4 балла.
Анализ серых атомов — 4 балла.
Предложенная общая формула — 2 балла.
Любой ответ без объяснений — 0 баллов.

Задача 4. Мўки «барбарийской» утки

Одним из используемых в гомеопатии разведений является так называемое «сотенное», обозначаемое буквой С; 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.

Рассчитайте массу соляной кислоты HCl , содержащейся в растворе, полученном разведением 2С 100 мл раствора соляной кислоты с исходной концентрацией 1 моль/л. Приведите ответ в мкг (10^{-6} г) с точностью до десятых.

Раствор, содержащий 0,01 моль действующего вещества, был подвергнут разбавлению 200С (типичное гомеопатическое разведение), а затем из него была изготовлена партия препарата, состоящая из 10 таблеток. Рассчитайте количество молекул действующего вещества, находящихся в одной таблетке препарата, в случае, если ответ получился нецелым, округлите его до ближайшего целого числа.

Решение

Разведение 2С для соляной кислоты даёт концентрацию 10^{-4} М, количество вещества в 100 мл такого раствора — 10^{-5} моль, масса соляной кислоты $3,646 \cdot 10^{-4}$ г или 364,6 мкг.

Разведение 200С даёт количество моль 10^{-402} , он содержит молекул $6,022 \cdot 10^{-379}$, на одну таблетку тогда приходится $6,022 \cdot 10^{-380}$ молекул. Округление до целого даёт 0 молекул.

Расчёт массы соляной кислоты — 5 баллов.

Расчёт количества молекул — 5 баллов.

За ошибки в расчёте массы кислоты (к примеру, использование округлённых молярных масс, приводящее к немного другому ответу), так же, как и за отсутствие округления количества молекул до целого, — минус 1 балл за каждую ошибку.

Задача 5. Золотая клетка

Бинарное вещество сожгли в кислороде. Получившуюся смесь газов, не обладающую ни цветом, ни запахом, пропустили последовательно через растворы гидроксида натрия, серной кислоты и перманганата калия. При этом масса изменилась только у первого раствора, объём газа уменьшился в 61 раз, плотность по водороду оставшегося газа составила 1,98. Определите состав исходного вещества и предположите его строение.

Решение

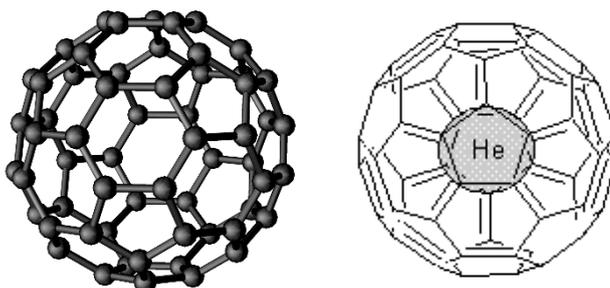
Плотность газа по водороду составляет 1,98, значит, молярная масса газа равна:

$$1,98 \cdot 2,02 = 4,00 \Rightarrow \text{это He.}$$

Дополнительным подтверждением является факт, что этот газ не реагирует ни с щелочами, ни с кислотами, ни с окислителями.

Объёмы газов соотносятся как 1 к 60, причём второй газ реагирует с щёлочью, т.е. проявляет кислотные свойства. Это может быть какой-нибудь кислотный оксид, к примеру, CO_2 или SO_2 . В отличие от диоксида серы, оксид углерода (IV) не имеет запаха, к тому же существует молекула широко известного фуллерена C_{60} .

Таким образом, первоначальное вещество представляет собой эндоэдральный фуллерен: внутри клетки из атомов углерода помещён атом гелия. При этом между гелием и фуллереном отсутствуют химические взаимодействия. Такие соединения обычно обозначаются $\text{He}@\text{C}_{60}$.



<i>Расчёт гелия из плотности газа по водороду</i>	— 2 балла.
<i>Идея о природе второго газа (кислотный оксид или кислота)</i>	— 2 балла.
<i>Вывод о соотношении между газами 1 к 60</i>	— 2 балла.
<i>Определение формулы He@C₆₀</i>	— 3 балла.
<i>Указание строения</i>	— 1 балл.

Примечание: в качестве верной формулы засчитываются любые вариации из He и C₆₀, вне зависимости от того, как написано это соединение (к примеру, C₆₀He или HeC₆₀).

Задача 6. И при чём здесь неравенства?

Белое твёрдое бинарное вещество **AB** (соотношение элементов 1:1) с массовой долей одного из элементов 10,435% растворили в воде, при этом раствор сильно нагрелся. Через раствор пропустили бесцветный бинарный газ **C**, обладающий резким запахом, с массовой долей одного из элементов 1,248%, при этом раствор дополнительно разогрелся. Определите вещества (как исходные, так и образовавшиеся в ходе реакций), напишите уравнения всех упомянутых реакций, а также приведите применение получающегося вещества.

Решение

Исходя из массовых долей элементов в бинарных соединениях можно предположить, что в каждом из них один из элементов является лёгким.

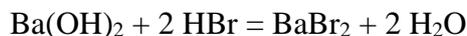
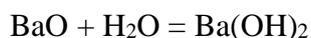
Попробуем определить границу массы лёгкого элемента бинарного газа **C**. Если лёгкий элемент имеет атомный вес 3 а.е.м. и соотношение между элементами в бинарном соединении 1 к 1, то второй элемент должен иметь вес: $3 / 0,01248 - 3 = 237$ а.е.м. Для больших атомных весов это число будет быстро расти, выходя за пределы таблицы Менделеева; таким образом, единственным адекватным вариантом на роль лёгкого элемента является водород.

Рассчитаем второй элемент в соединении **C**: из предположения отношения 1 к 1, его атомный вес равен $(1,01 / 0,01248) - 1,01 = 79,92$; по массе получается Br. Бесцветный бинарный газ с резким запахом — HBr.

Белое твёрдое бинарное вещество, которое растворяется в воде с выделением тепла, а затем реагирует с выделением теплоты с кислотой, очень сильно напоминает какой-то основной оксид, что неплохо подходит под наблюдение, что один из элементов лёгкий. Рассчитаем второй элемент исходя из предположения, что **AB** это оксид:

$16,00 / 0,10435 - 16,00 = 137,33$ — это Ba. Получается, что соединение **AB** — BaO.

Уравнения реакций:



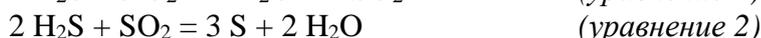
Бромид бария применялся Марией Склодовской-Кюри для получения чистого радия в процессе фракционной кристаллизации. Его также используют для очистки других бромидов от примесей сульфатов.

<i>Определение HBr</i>	— 2 балла.
<i>Идея о том, что соединение AB основное</i>	— 2 балла.
<i>Определение BaO</i>	— 3 балла.
<i>Полные уравнения реакции по 1 баллу</i>	— 2 балла в сумме.
<i>Любой разумный пример применения BaBr₂</i>	— 1 балл.

Задача 7. Летучий корабль

Газ **A**, обладающий запахом тухлых яиц, полностью прореагировал с кислородом, при этом образовались вещества **B** и **C** в соотношении 1:1. Вещество **B** — жидкость без цвета и запаха, а вещество **C** является газом с резким запахом. Вещества **A** и **C** могут прореагировать друг с другом в соотношении 2:1, образуя **B** и твёрдое вещество **D**. Вещество **D** бурно реагирует с бледно-жёлтым токсичным газом **E** с образованием бесцветного газа **F**, применяемого в качестве наполнителя в стеклопакетах. Определите все вещества **A—E** и напишите уравнения всех упомянутых реакций.

Решение



Определения веществ A-F по 1 баллу

— 6 баллов в сумме.

Уравнения 1 и 2 по 1 баллу

— 2 балла в сумме.

Уравнение 3

— 2 балла.

Задача 8. Химики учатся калориметрии

При сгорании одного килограмма графита выделяется около 32,75 МДж тепла. Оцените, сколько тепла выделится при сгорании одного моль фуллерена C_{60} , а также при сгорании одного моль фуллерена C_{50} . Приведите все необходимые расчеты, а также поясните, почему вычисления являются лишь приблизительными.

Решение

Если при сгорании 1 кг графита выделяется 32,75 МДж тепла, то при сгорании одного моль углерода будет выделяться $12,01 / 1000 \cdot 32,75 = 0,3933$ МДж.

Для одного моля фуллерена C_{60} количество теплоты будет в 60 раз больше:

$0,3933 \times 60 \approx 23,60$ МДж

Аналогично для C_{50} :

$0,3933 \times 50 \approx 19,67$ МДж

Вычисления являются приблизительными, поскольку графит и фуллерены — это различные аллотропные модификации углерода, имеющие различные кристаллические решётки. Иначе говоря, энтальпия образования фуллеренов отлична от нуля.

Расчёт теплоты C_{60}

— 4 балла.

Расчёт теплоты C_{50}

— 4 балла.

Объяснение, почему расчёты приблизительные

— 2 балла.

Задача 9. После написанного

Нагревание в запаянной ампуле грязно-жёлтой смеси простых веществ **A** (массой 2,478 г) и **B** (массой 6,414 г), смешанных в стехиометрическом соотношении, приводит к образованию вязкой жидкости тёмно-красного цвета, которая при дальнейшем нагревании реагирует с образованием тёмно-жёлтых кристаллов бинарного соединения **C**. Полученный образец вещества **C** растворили в воде. При этом образовалось две кислоты (**D** и **E**), одна из которых (**D**) является газом, с плотностью по воздуху 1,176. Известно, что объём **D** составил 4,48 л (н.у.). К полученному раствору прибавили избыток известковой воды. В результате выпал осадок **F** массой 12,407 г.

1. Определите вещества **A—F**, напишите уравнения упомянутых реакций.
2. Предложите структуры веществ **A** и **B**.
3. Напишите уравнение взаимодействия **C** с горячим раствором концентрированной азотной кислоты, если известно, что в результате данной реакции образуются две кислоты (**E** и **G**) и два оксида.

Решение

Неизвестный газ с плотностью по воздуху 1,176 имеет молярную массу: $29 \times 1,176 = 34,1$ г/моль. Под эту массу подходят H_2S и PH_3 , однако фосфин тяжело называть кислотой.

Количество сероводорода: $4,48 / 22,4 = 0,2$ моль. Проверим, совпадает ли это число с данными нам в начале массами: $2,478 / 32,07 = 0,077$ моль; $6,414 / 32,07 = 0,200$ моль. Следовательно, простое вещество **B** — сера. Второе простое вещество тоже скорее всего является неметаллом, поскольку после гидролиза бинарного соединения **C** образуются две кислоты. Кальциевая соль кислоты этого неметалла должна быть нерастворима в воде; на самом деле существует не так много доступных вариантов, из которых наиболее адекватным является фосфор. Проверим, подойдёт ли он:

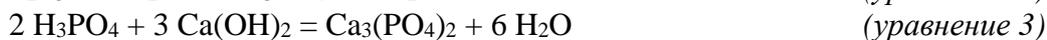
$$2,478 / 30,97 = 0,08 \text{ моль фосфора}$$

Рассчитаем массу 0,04 моль фосфата кальция (вдвое меньше, чем фосфора):

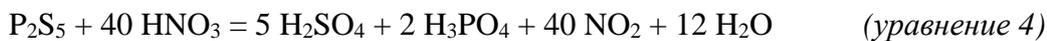
$$0,04 \times (40,08 \times 3 + (30,97 + 16 \times 4) \times 2) = 12,407 \text{ г, результат сошёлся.}$$



Уравнения реакций:



Определение **G** — H_2SO_4



Соединения **A**, **B** по 0,5 балла

— 1 балл суммарно.

Соединения **C-F** по 1 баллу

— 4 баллов суммарно.

Уравнение 1

— 1 балл.

Уравнения 2 и 3 по 0,5 балла

— 1 балл суммарно.

Структуры **A**, **B** по 0,5 балла

— 1 балл суммарно.

Определение **G**

— 0,5 балла.

Запись уравнения 4

— 1,5 балла.

Задача 10. Вишенка на торте

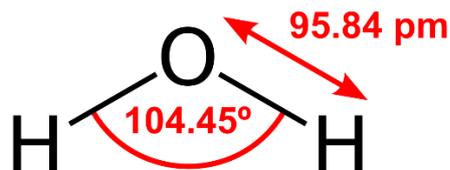
Вещество **X** в твёрдом виде не имеет максимумов поглощения в видимой области спектра, при этом оно не подвергается гидролизу, а также неограниченно растворяется в этиловом спирте. Вещество **X** широко применяется в сельском хозяйстве, а также в технике в качестве смазочного материала для подшипников. Вещество **X** является основным компонентом газировки Coca-Cola Zero со вкусом вишни. При электролизе расплава вещества **X**, проявляющего крайне слабые кислотные свойства, на одном из электродов образуется газ, не поддерживающий горение; сам расплав проявляет достаточно высокую химическую активность, разрушая кристаллические решётки множества ионных соединений. При взаимодействии прокаленного сульфата меди с веществом **X** выделяется большое количество теплоты.

Определите вещество **X**, назовите его по стандартной номенклатуре, а также определите структурную формулу и геометрию молекулы вещества **X**.

Решение

Основной компонент газировки Coca-Cola Zero со вкусом вишни, как, впрочем, и любой другой газировки — это вода. Это самый простой отборочный критерий; вода подходит и под все остальные условия — она прозрачна, не гидролизуется, неограниченно смешивается с этанолом, широко применяется в сельском хозяйстве и так далее.

X — H_2O , оксид водорода. Структурная формула с учетом геометрии:



Определение **X** с обоснованием

— 6 баллов.

Название «оксид водорода»

— 1 балл.

Структурная формула (палочками)

— 1 балл.

Геометрия молекулы: угловая

— 2 балла.