

Химия 9 класс

1. Для приготовления 10 % спиртового раствора камфоры фармацевт использовал этанол с концентрацией 95 %. Какова массовая доля воды в полученном растворе?

ОТВЕТ: 4,5 %

(5 баллов)

2. Напишите полное уравнение реакции, для которого приведены все продукты с учетом стехиометрических коэффициентов.



ОТВЕТ: $\text{I}_2 + 10\text{HNO}_3 \rightarrow 2\text{HIO}_3 + 10\text{NO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

(5 баллов)

3. Навеску кристаллогидрата соды 0,715 г растворили в 50 мл раствора серной кислоты $C = 0,1$ моль/л. Избыток кислоты нейтрализовали с индикатором метиловым оранжевым 50 мл раствора гидроксида натрия $C = 0,1$ моль/л. Рассчитайте, сколько молекул воды содержит молекула кристаллогидрата. Приведите уравнения описанных реакций.

ОТВЕТ: Кристаллогидраты образует только кальцинированная сода, питьевая кристаллогидратов не образует. $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2 + (x+1)\text{H}_2\text{O}$ (3 балла) $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (1 балл); $n(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ общ.}) = 50 \cdot 0,1 = 5$ ммоль, $n(\text{NaOH}) = 50 \cdot 0,1 = 5$ ммоль (4 балла); $n(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ на соду}) = 2,5$ ммоль = $n(\text{соды})$ (2 балла); $M(\text{соды}) = 0,715/0,0025 = 286$ г/моль (2 балла); $106 + 18x = 286$, $x = 10$ (5 баллов); $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2 + 11\text{H}_2\text{O}$ (3 балла)

(20 баллов)

4. 48 г некоторого металла лаборант поместил в очень разбавленную HNO_3 . В процессе реакции образец растворился полностью. Лаборант отметил, что выделения газа не происходило. Образовавшийся раствор лаборант нагрел с избытком раствора каустической соды. Лаборант установил, что в последней реакции после приведения к нормальным условиям образовалось 11,2 л газа. По полученным данным лаборант смог установить, какой это металл. Приведите уравнения реакций и расчеты, позволяющие это сделать.

ОТВЕТ: При взаимодействии металла с кислотой не выделился газ, следовательно образовался нитрат аммония: $8\text{Me} + 10z\text{HNO}_3 = 8\text{Me}(\text{NO}_3)_z + z\text{NH}_4\text{NO}_3 + 3z\text{H}_2\text{O}$, где z – степень окисления металла (4 балла). $z\text{NH}_4\text{NO}_3 + z\text{NaOH} = z\text{NH}_3 + z\text{H}_2\text{O} + z\text{NaNO}_3$ – соответствует выделению газа во второй реакции (4 балла). $n(\text{NH}_3) = 11,2/22,4 = 0,5$ моль (4 балла). $n(\text{Me}) = n(\text{NH}_3) \cdot 8/z = 4/z$ моль. $M(\text{Me}) = m/n = 48 \cdot z/4 = 12 \cdot z$ (4 балла). При $z = 1$ $M = 12$ г/моль, углерод не металл. При $z = 2$ $M = 24$ г/моль, это магний Mg (4 балла).

(20 баллов)

5. Висмут, Bi, — очень интересный элемент. Он находится в VA подгруппе под двумя ядовитыми элементами: мышьяком и сурьмой, а в 6-м периоде сразу после токсичных ртути, таллия и свинца, и перед опасными радиоактивными элементами периодической таблицы. Тем не менее сам металлический висмут безопасен и использовался, например, как альтернатива свинцу в рыболовных грузилах или охотничьей дроби. Выращивать красивые кристаллы висмута относительно легко, поскольку это один из немногих элементов, чья твердая форма менее плотная, чем жидкая. Другими словами, как лёд на воде, твердый Bi плавает на поверхности жидкого. Выше показана элементарная ячейка Bi. Трёхмерная форма, обведённая чёрным, называется прямой ромбической призмой, которая состоит из четырёх прямоугольных граней и двух граней – ромбов. Расположение атомов Bi в твердой структуре определяется путём наложения элементарных ячеек друг на друга в трёх измерениях. Некоторые атомы, обозначенные в элементарной ячейке, находятся внутри неё лишь частично, но, когда они накладываются друг на

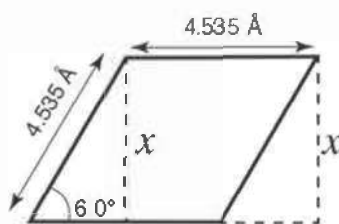
друга, образуется полный атом. Две пары атомов, соединённые пунктирными линиями, расположены друг над другом, если смотреть сверху (как и пары атомов на каждом из длинных рёбер). Линии между атомами просто указывают на ближайших соседей внутри ячейки.

1. Каково общее количество атомов висмута, содержащихся в одной элементарной ячейке? Рассчитайте массу атомов, содержащихся в одной элементарной ячейке (в г). Рассчитайте объём элементарной ячейки (в $\text{\AA}^3$ и см^3). Рассчитайте плотность твёрдого висмута (в г/см^3).

В течение многих лет висмут считался последним нерадиоактивным элементом в периодической таблице, но расчёты показали, что это не так. Наконец, в 2003 году исследователи обнаружили испускание альфа-частицы (ядра гелия) висмутом-209 и определили его период полураспада, который составил невероятные $2,01 \cdot 10^{19}$ лет (более чем в миллиард раз превышает возраст Вселенной!).

2. За сколько минут в образце висмута массой 2 кг в среднем будет распадаться один атом? Какой изотоп образуется при испускании альфа-частицы висмутом-209?

ОТВЕТ: Так как ячейка относится к тетрагональным, то атомы на ребрах входят в ячейку на $\frac{1}{4}$. Атомы на гранях и вершинах отсутствуют. Тогда число атомов в ячейке: $(4 \cdot \frac{1}{4}) + (8 \cdot \frac{1}{4}) = 6$ (3 балла). Для вычисления массы атомов нужно вспомнить, что в 1 моль вещества по определению содержится $6,02 \cdot 10^{23}$ частиц (N_A). Тогда выражение для искомой величины будет иметь вид $m = 6 \cdot M(\text{Bi}) / N_A = (6 \cdot 208,98 / 6,02 \cdot 10^{23}) = 2,08 \cdot 10^{-21} (\text{г})$ (2 балла). Объём прямоугольной



призмы равен произведению площади основания на высоту. Основание представляет собой ромб, тогда $S_{\text{осн}} = 4,535 \cdot x = 4,535 \cdot (4,535 \cdot \sin 60^\circ) = 4,535^2 \cdot \sqrt{3}/2 (\text{\AA}^2)$, а объём будет равен $11,814 \cdot 4,535^2 \cdot \sqrt{3}/2 = 210,4 (\text{\AA}^3)$ (3 балла). Для перевода в кубические сантиметры учтем, что $1 \text{\AA}^3 = 10^{-8} \text{см}^3$. $210,4 \text{\AA}^3 = 210,4 \cdot (10^{-8})^3 \text{см}^3 = 2,104 \cdot 10^{-22} \text{см}^3$ (1 балл). Чтобы найти плотность, разделим массу ячейки на её объём: $2,08 \cdot 10^{-21} / 2,104 \cdot 10^{-22} = 9,89 (\text{г/см}^3)$ (2 балла).

Так как висмут-209 имеет огромный период полураспада, минутный интервал можно считать мгновенным, а скорость за такой период постоянной. Так как каждый атом претерпевает распад независимо от другого, абсолютная скорость (активность образца, A) пропорциональна количеству атомов и вероятности распада каждого из них за единицу времени (для удобства лучше сразу взять минуту): $A = \lambda \cdot N = (0,69315 / \tau) \cdot m \cdot N_A / M(\text{Bi})$. $\tau = 2,01 \cdot 10^{19} \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 60 = 1,057 \cdot 10^{25}$ мин (1 балл). $A = 0,69315 \cdot 2000 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} / 1,057 \cdot 10^{25} \cdot 208,98 = 0,378$ (распад/мин) (4 балла). Соответственно, время, за которое в среднем распадается 1 атом $t = 1/A = 2,65$ мин (1 балл).

Для написания реакции распада висмута-209 нужно вспомнить, что альфа-частица – это ядро атома гелия, тогда с учетом закона сохранения массы и заряда получим, что продуктом является таллий-205: ${}^{209}_{83}\text{Bi} = {}^{205}_{81}\text{Tl} + {}^4_2\text{He}$ (3 балла).

(20 баллов)

6. Краски всегда составляли важную часть жизни людей, цветные следы на стенах оставляли ещё пещерные люди. Первые пигменты красок были природного происхождения, но получение синтетических уже давно привлекало внимание человека. Так, на границе второго и первого тысячелетий до нашей эры в Китае были разработаны пигменты ханьский синий и ханьский пурпурный. Они имеют сходный состав и могут образовываться совместно. При этом ханьский пурпур является менее стабильным и при нагревании превращается в ханьский синий. Интересно, что пурпурный оттенок получается как раз при частичном разложении во время синтеза, а сами красители имеют схожий синий цвет. Состав этих соединений можно представить в виде смеси оксидов кремния, меди и ещё одного металла:

Оксид	Содержание в ханьском пурпурном в массовых %	Содержание в ханьском синем в массовых %
SiO ₂	34,0	50,7
CuO	22,5	16,8
MO	43,5	66,1

В качестве исходных компонентов для синтеза пигментов могли выступать кварцевый песок (SiO₂), минерал, содержащий медь, например малахит (Cu₂CO₃(OH)₂), и источник второго металла, преимущественно в виде

сульфата. Также добавлялась свинцовая охра (PbO), которая позволяла облегчить протекание реакции. Сырье дробили и тщательно перемешивали, формируя шихту для дальнейшего спекания. Процесс проводили, тщательно контролируя температуру: немного ниже 1000 °С для пурпурного и чуть выше 1000 °С для синего красителя.

1. Определите неизвестный металл, входящий в состав ханьского пурпура, запишите брутто-формулу пигмента. К какому классу неорганических соединений его можно отнести? Все атомные массы в задаче округляйте до десятых долей.
2. Напишите уравнение взаимодействия реагентов с получением ханьского пурпурного. Определите массовые доли компонентов шихты, учитывая, что охра добавлялась в количестве 5 % от общей массы.
3. Напишите уравнение термического разложения ханьского пурпурного. Учтите истинный цвет вещества и получающийся оттенок.
4. Какова роль сурика в качестве добавки? Приведите соответствующее уравнение реакции.

ОТВЕТ: Для определения состава пигмента воспользуемся стандартной формулой для массовых долей. Запишем формулу в виде (MO)_x(CuO)_y(SiO₂)_z, тогда x:y:z = (43,5/M(MO)) : (22,5/79,6) : (34,0/60,1) = (43,5/M(MO)) : 0,283 : 0,566 = 153,7/M(MO) : 1 : 2 (3 балла). Первая дробь должна представлять собой, в общем случае, рациональное число, и требуется провести перебор вариантов, учитывая, что состав оксида дан в условии. Правильный ответ даёт самая простая версия, что M(MO) = 153,7 г/моль, которая соответствует BaO (3 балла). Тогда брутто-формула пигмента – BaO·CuO·2SiO₂ или BaCuSi₂O₆ (2 балла). Соединение можно отнести к классу двойных солей или сложных оксидов (2 балла). Уравнение взаимодействия реагентов: 4 SiO₂ + Cu₂CO₃(OH)₂ + 2 BaSO₄ = 2 BaCuSi₂O₆ + CO₂ + H₂O + 2 SO₃ (3 балла). Для установления состава шихты просто предположим, что вещества взяли в количествах, равных стехиометрическим коэффициентам: 4·60,1 = 240,4 (г) SiO₂; 221,1 г Cu₂CO₃(OH)₂; 2·233,4 = 466,8 г BaSO₄. Суммарную массу поделим на 0,95, чтобы узнать общую массу шихты 928,3/0,95 = 977,2 (г), и рассчитаем искомые массовые доли: 24,6% SiO₂; 22,6% Cu₂CO₃(OH)₂; 47,8% BaSO₄ (3 балла). Для написания реакции разложения ханьского пурпура надо рассчитать состав ханьского синего. Очевидно, в задании закралась ошибка, ведь сумма массовых долей компонентов оказалась больше 100%. Ответы, основанные на расчетах с неверной массовой долей, оценивались полным баллом. Указание на ошибку и отсутствие расчетов также оценивалось полным баллом (6 баллов за данный блок). Верное значение массовой доли BaO, 32,5%, можно получить вычитанием массовых долей других оксидов. Запишем формулу в виде (BaO)_k(CuO)_l(SiO₂)_m, тогда k:l:m = (32,5/153,3) : (16,8/79,6) : (50,7/60,1) = 0,212 : 0,211 : 0,844 = 1 : 1 : 4. Брутто-формула пигмента BaCuSi₄O₁₀ (3 балла). В уравнении реакции разложения надо учесть, что появление пурпурного оттенка не связано с самими пигментами, а должно быть связано с побочным продуктом, имеющим красный цвет (2 балла). Из элементов, которые присутствуют в составе, легче всего представить образование красного оксида меди(I) (2 балла). Тогда уравнение будет иметь следующий вид: 6 BaCuSi₂O₆ = 2 BaCuSi₄O₁₀ + 4 BaSiO₃ + 2 Cu₂O + O₂ (3 балла). Свинцовая охра служит и обычным флюсом, снижая температуру плавления шихты, и способствует разложению прочного сульфата бария (2 балла) за счет реакции: BaSO₄ + PbO = PbSO₄ + BaO (2 балла).

(30 баллов)