

**LXXIV МОСКОВСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ХИМИИ 2017–2018 уч. г.
ОЧНЫЙ ЭТАП
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР
8 класс**

В зачёт идут только пять задач из шести. Задача с минимальным числом баллов при подсчёте суммы баллов не учитывается.

1. При анализе вещества **X**, применяемого в качестве дешёвого антигололедного средства, выяснилось, что его водный раствор мутнеет при добавлении раствора гидроксида натрия, а с раствором серной кислоты образует белый осадок. Пропускание постоянного электрического тока через раствор вещества **X** приводит к выделению желто-зеленого газа.

1. Определите неизвестное вещество **X**, напишите уравнения упомянутых в тексте задачи реакций.

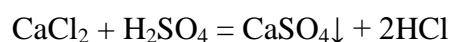
2. На каких эффектах может быть основано действие антигололедных материалов? Приведите примеры веществ, которые работают по такому принципу.

3. В СМИ часто рассуждают о вредном воздействии антигололедных средств на окружающую среду. В чем именно может заключаться вред применения вещества **X**?

Решение:

Вещество **X** хорошо растворимо в воде, при этом реагирует одновременно и с кислотой, и с щелочью. Такое возможно только если вещество **X** - соль, поскольку амфотерные оксиды и гидроксиды нерастворимы в воде. Кроме того, его электролиз приводит к образованию желто-зеленого газа (Cl_2), что дает нам основания предполагать, что соль - хлорид. Металл, участвующий в образовании этой соли, должен одновременно иметь нерастворимые или малорастворимые сульфат и гидроксид. Таким условиям удовлетворяют только стронций и кальций, из которых выбираем кальций из соображений дешевизны реагента (по условию), поскольку стронций, очевидно, гораздо менее распространен в природе, чем кальций. Поэтому искомая соль - хлорид кальция.

Уравнения реакций: $\text{CaCl}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Ca(OH)}_2 \downarrow + 2\text{NaCl}$



1) Сделан вывод, что вещество **X** - соль - 2 балла

Указано, что зеленый газ - это хлор - 2 балл

Каждое уравнение - 4 балла, если не уравнено - 2 балла

Нет уравнений, но обоснованно выбран именно хлорид кальция в качестве вещества **X** - 6 баллов за весь пункт

2) За каждый эффект с примером - по 2 балла, максимально – 4 балла

3) За разумное объяснение урона природе - 4 балла

Максимальный балл за задачу – 20 баллов

2. Смесь двух термически неустойчивых оксидов металлов поместили в пробирку, закрепленную в лапке штатива вертикально, и осторожно нагрели до прекращения выделения газа.

После охлаждения в пробирке собралась тяжелая серебристая жидкость массой 11,13 г. Сильное нагревание этой жидкости в открытой пробирке привело к уменьшению массы содержимого до 1,08 г, при этом количество вещества в пробирке уменьшилось в 6 раз.

1. Установите качественный и количественный состав (в масс.%) исходной смеси оксидов. Ответ подтвердите расчетами.

2. Приведите еще три способа получения газа, образовавшегося при нагревании смеси оксидов.

Решение:

1. Газ, образующийся при разложении оксидов – очевидно, кислород. Остаток после разложения оксидов – по всей видимости, металлы, их образующие. Жидкий при стандартных условиях металл, образующий сплавы (в том числе, и жидкие) с другими металлами – ртуть. Таким образом, одним из оксидов, подвергнутых разложению, являлся оксид ртути (II), HgO.

При нагревании ртуть довольно легко переходит в газообразное состояние. Значит, 1,08 г – это масса второго металла, образовавшегося при разложении смеси оксидов. Поскольку при удалении ртути из смеси количество вещества уменьшается в 6 раз, то $\nu(\text{металла}):\nu(\text{Hg}) = 1:5$

$$\nu(\text{Hg}) = (11,13 - 1,08)/201 = 0,05 \text{ моль} \Rightarrow \nu(\text{металла}) = 0,05/5 = 0,01 \text{ моль}$$

$$M(\text{металла}) = 1,08/0,01 = 108 \text{ г/моль} - \text{это Ag.}$$

Таким образом, исходная смесь оксидов содержала HgO и Ag₂O.

$$\nu(\text{HgO}) = \nu(\text{Hg}) = 0,05 \text{ моль} \Rightarrow m(\text{HgO}) = 0,05 \times 217 = 10,85 \text{ г}$$

$$\nu(\text{Ag}_2\text{O}) = \frac{1}{2} \nu(\text{Ag}) = 0,005 \text{ моль} \Rightarrow m(\text{Ag}_2\text{O}) = 0,005 \times 232 = 1,16 \text{ г}$$

$$\omega(\text{HgO}) = 10,85/(10,85+1,16) = 0,903 \text{ или } 90,3\% \Rightarrow \omega(\text{Ag}_2\text{O}) = 9,7\%$$

За определение ртути в качестве одного из металлов, образующих оксид – 3 балла

Расчетное определение серебра как второго металла – 5 балла

Верное нахождение массы оксида ртути (II) – 2 балла

Верное нахождение массы оксида серебра – 4 балла

Верное вычисление массовой доли – 3 балла

За каждый разумный способ получения кислорода – по 1 баллу

Максимальный балл за задачу – 20 баллов

3. После известия о том, что корона Гиерона, царя Сиракуз, сделана не из чистого золота, Архимед получил новое задание: выяснить, какой именно металл использовал мастер в

качестве примеси при выплавке короны. Для этого греческий ученый погрузил корону массой 2,06 кг не в воду, а в большой объем 10%-ной соляной кислоты, при этом объем вытесненной жидкости после того, как выделение пузырьков газа прекратилось, составил 100 мл. После этого Архимед выпарил содержимое получившегося раствора и получил твердое вещество, которое после высушивания и прокаливания имело массу 272 г.

1. Какой металл использовал мастер для сплава? Ответ подтвердите расчетами, уравнениями реакций. Плотность золота примите равной $19,3 \text{ г/см}^3$.
2. Для всех ли металлов применим такой способ? Ответ обоснуйте.
3. Мог ли Архимед определить неизвестный металл, не прибегая к выпариванию раствора? Считайте, что в его времена можно было изготовить мерный сосуд любой формы и объема. Как для этого ему надо было действовать? Какие недостатки есть у этого способа (не более 2)? Ответ обоснуйте

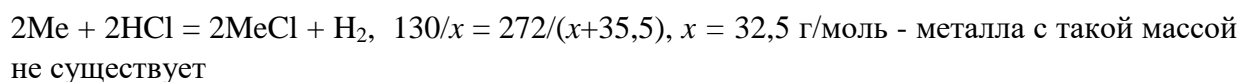
Решение

1. Так как золото не растворяется соляной кислотой, выделение пузырьков газа связано с растворением в ней примесного металла. При этом образуется хлорид этого металла и газообразный водород. После полного протекания этой реакции (по условию, выделение пузырьков газа закончилось) в сосуде с кислотой осталось только золото, поэтому по закону Архимеда, объем, занимаемый золотом в исходном сплаве, равен объему вытесненной жидкости, т.е. также равен 100 мл. Отсюда можно найти массу примесного металла:

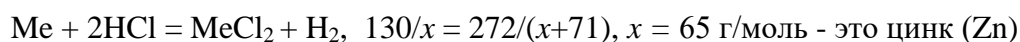
$$m(\text{Me}) = 2060\text{г} - 19,3 \text{ г/мл} \times 100 \text{ мл} = 130 \text{ г.}$$

Поскольку соляная кислота - раствор газообразного хлороводорода в воде, при выпаривании раствора твердым остатком будет являться только хлорид неизвестного металла, который может быть одно-, двух- и трехвалентным. При этом всякий раз количество вещества металла будет равно количеству вещества его хлорида. С помощью перебора находим молярную массу неизвестного металла, обозначив ее за x :

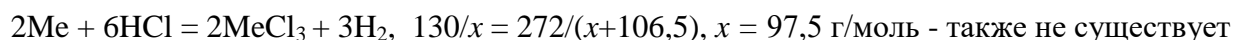
Если металл одновалентен, то



Если металл двухвалентен, то



Если металл трехвалентен, то



Ответ: Zn

2. Данный способ годится, только если второй металл растворим в соляной кислоте. Если бы второй металл был, например, серебром (как, согласно легенде, оно и было), то данный способ оказался бы бесполезен, поскольку Архимед не знал, какова массовая доля примеси.
3. Вместо измерения массы образовавшегося хлорида можно было бы измерить объем выделившегося за все время растворения водорода, для этого потребовался бы очень

большой мерный сосуд (в данном эксперименте объем выделяющегося водорода - 44,8 л!). Кроме того, водород образует с кислородом взрывоопасные смеси, поэтому собирание такого большого объема водорода довольно опасно вблизи нагретых поверхностей или источников огня, т.е. необходимо соблюдать меры предосторожности.

1. Нахождение массы примесного металла - 2 балла

Написание уравнения реакции (хотя бы одного), указание на продукты реакции - 2 балла

Расчет: только для двухвалентного металла - 2 балла, полный перебор или обоснование того, что одно- или трехвалентных металлов в задаче быть не может - 6 баллов, всего за полностью правильно сделанный первый пункт - 10 баллов

2. Обоснование - 4 балла

3. Предложение измерения объема газа - 2 балла, каждая из трудностей - по 2 балла. Если приведена какая-либо другая трудность и предложено разумное обоснование - также 2 балла.

Максимальный балл за задачу – 20 баллов

4. Три гидроксида - **D**, **F** и **G** - имеют одинаковую молярную массу. Гидроксид **D** при стандартных условиях - твердое, нерастворимое в воде вещество. Гидроксиды **F** – жидкость, а **G** – твердое вещество, соответственно; оба неограниченно смешиваются с водой. Массовая доля кислорода в соединениях **F** и **G** одинаковая и составляет 65,31%, тогда как в **D** массовая доля кислорода равна 32,65%. Гидроксид **D** вступает в реакции нейтрализации как с веществом **F**, так и с веществом **G**. Водные растворы гидроксидов **F** и **G** друг с другом не взаимодействуют.

1. Установите формулы гидроксидов **D**, **F** и **G**, приведите их названия. Ответ подтвердите расчетами. Приведите уравнения описанных реакций.

Из школьного курса вам известны как минимум три кислотно-основных индикатора: лакмус, фенолфталеин и метиловый оранжевый. Число индикаторов, используемых на практике, существенно больше и не ограничивается указанными тремя. Кислотно-основный индикатор бромтимоловый синий окрашивает водный раствор **F** в желтый цвет, а суспензии **D** – в зеленый.

2. На основании приведенных данных, предположите, каков будет цвет водного раствора гидроксида **G** в присутствии бромтимолового синего? Водного раствора гидроксида натрия? Ответ обоснуйте.

Решение:

1. Гидроксиды содержат в своем составе одну или несколько групп –ОН, поэтому в состав искомым гидроксидов должно входить три элемента: кислород, водород и некоторый элемент Э. При этом число атомов водорода в составе гидроксида не превышает числа атомов кислорода.

Переберем возможные варианты молярных масс неизвестного элемента, образующего гидроксид **D**, в зависимости от соотношения числа атомов кислорода и водорода в этом гидроксиде:

	1 атом Н	2 атома Н	3 атома Н	4 атома Н
1 атом О	$M(D) = 1 \times 16 / 0,3265 = 49$ г/моль $M(\text{Э}) = 32$ г/моль – S?	$M(\text{Э}) = 31$ г/моль P?	$M(\text{Э}) = 30$ г/моль	$M(\text{Э}) = 29$ г/моль
2 атома О	$M(D) = 2 \times 16 / 0,3265 = 98$ г/моль $M(\text{Э}) = 65$ г/моль – Zn?	$M(\text{Э}) = 64$ г/моль Cu!	$M(\text{Э}) = 63$ г/моль	$M(\text{Э}) = 62$ г/моль
3 атома О	$M(D) = 3 \times 16 / 0,3265 = 147$ г/моль $M(\text{Э}) = 98$ г/моль	$M(\text{Э}) = 97$ г/моль	$M(\text{Э}) = 96$ г/моль	$M(\text{Э}) = 95$ г/моль
4 атома О	$M(D) = 4 \times 16 / 0,3265 = 196$ г/моль $M(\text{Э}) = 131$ г/моль – Xe?	$M(\text{Э}) = 130$ г/моль	$M(\text{Э}) = 129$ г/моль	$M(\text{Э}) = 128$ г/моль

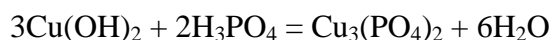
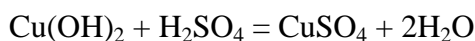
Таким образом, наиболее вероятным вариантом гидроксида **D** является гидроксид меди – $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

Массовая доля кислорода в гидроксидах **F** и **G** в два раза больше, чем в **D**. При условии равенства молярных масс, это означает, что в гидроксидах **F** и **G** содержится 4 атома кислорода на структурную единицу. Если число атомов водорода, приходящееся на структурную единицу **F** или **G**, составляет 1, то $M(\text{Э}) = 33$ г/моль, такого элемента нет.

Если атомов водорода 2, то $M(\text{Э}) = 32$ г/моль – это сера, а соответствующий гидроксид – H_2SO_4 , серная кислота. Согласно описанию, серная кислота – это гидроксид **F**.

Если число атомов водорода в гидроксиде **G** равно 3, то $M(\text{Э}) = 31$ г/моль, фосфор. Гидроксид **G** – фосфорная кислота, H_3PO_4 .

Полученные результаты соответствуют описанным взаимодействиям между гидроксидами: основание $\text{Cu}(\text{OH})_2$ вступает в реакции нейтрализации с кислотами H_2SO_4 и H_3PO_4 :



Определение формулы и названия какого-либо из гидроксидов с проверкой возможных соотношений числа атомов кислорода и водорода – 8 баллов

Определение формулы и названия какого-либо из гидроксидов без проверки возможных вариантов соотношений кислорода и водорода – 4 балла

Определение формулы и названия оставшихся гидроксидов – по 1 баллу

Верные уравнения реакций – по 1 баллу

2. Гидроксид **F** – кислота. Значит, бромтимоловый синий в кислой среде окрашивается в желтый цвет. Поскольку гидроксид **G** также является кислотой, то цвет окраски индикатора в его водном растворе тоже должен быть желтым.

Нерастворимые гидроксиды не влияют на окраску индикаторов. Это означает, что зеленый цвет бромтимолового синего соответствует нейтральной среде. Таким образом, исходя из

данных задачи, невозможно указать, какую окраску будет иметь указанный индикатор в щелочной среде раствора гидроксида натрия. Однако во многих случаях цвет окраски индикаторов в нейтральной среде представляет собой наложение цветов форм индикатора, существующих в кислой и щелочной среде. Исходя из того, что зеленый цвет представляет собой смешение желтого с синим, можно предположить, что в щелочной среде (в растворе гидроксида натрия) бромтимоловый синий имеет синий цвет.

Верное указание цвета индикатора в растворе гидроксида G с обоснованием – 2 балла

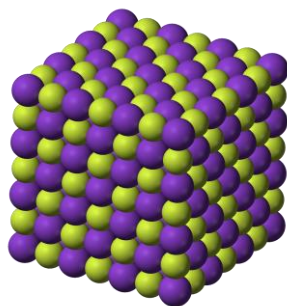
Невозможность определения цвета индикатора в щелочной среде с обоснованием – 3 балла

Предположение о синем цвете индикатора в щелочной среде с обоснованием – 3 балла

Любое указание цвета индикатора без обоснования – 0 баллов

Максимальный балл за задачу – 20 баллов

5. Твердые кристаллические вещества формируют структуры, в которых частицы, их образующие, располагаются в правильном повторяющемся порядке по всему объему кристалла (говорят, что кристаллические вещества обладают дальним порядком). Такие упорядоченные структуры называются кристаллическими решетками. Ниже приведен фрагмент кристаллической решетки фторида калия:



Считая частицы в узлах решетки касающимися жесткими сферами с радиусами 138 и 133 пм ($1 \text{ пм} = 10^{-12} \text{ м}$), рассчитайте плотность кристаллического фторида калия.

Решение:

Видно, что кристалл фторида калия состоит из кубиков. Возьмем наименьшую единицу объема - кубик – 2×2 атома. В нем каждая вершина принадлежит одновременно 8 таким кубикам, поэтому каждый кубик 2×2 содержит «собственных» 0,5 атома калия и 0,5 атома фтора. Объем этого кубика равен a^3 , где a - расстояние между атомами, равное сумме радиусов этих атомов: $a = 138 + 133 = 271 \text{ пм}$ ($2,71 \times 10^{-10} \text{ м}$), $V = 1,99 \times 10^{-29} \text{ м}^3$. Масса этого кубика равна $(19 + 39) / 2 = 29 \text{ г/моль}$. Понимая, что 1 моль ($6,02 \times 10^{23}$) таких кубиков весит 29 г или $2,9 \times 10^{-2} \text{ кг}$, масса одного кубика – $4,82 \times 10^{-26} \text{ кг}$.

Зная объем и массу кубика, находим его плотность: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{4,82 \cdot 10^{-26}}{1,99 \cdot 10^{-29}} = 2422 \text{ кг/м}^3$.

Представление о том, сколько частиц содержит одна единица объема - 5 баллов

Верный по сути расчет, с использованием обоснованного, но неверного количества атомов в элементарной ячейке - 10 баллов

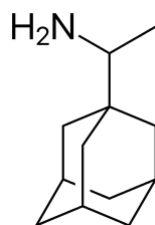
Верный по сути расчет с арифметической или физической ошибкой (не переведены или неправильно переведены величины) - 15 баллов

Максимальный балл за задачу – 20 баллов

6. При сжигании 24,00 г вещества, используемого в качестве снотворного, образовалось (при н.у.): 26,66 л углекислого газа, 6,03 мл воды, по 3,14 л хлороводорода и азота.

1. На основании приведенных данных, рассчитайте массовые доли всех элементов, входящих в состав этого лекарственного средства.

Другой лекарственный препарат **Y** используется в качестве противовирусного средства. Ниже приведена скелетная структурная формула этого вещества. В этой структурной формуле на конце каждого отрезка - если не указано иное - подразумевается атом углерода, линиями обозначены связи между атомами. Предполагается, что каждый атом углерода и азота связан с необходимым числом атомов водорода так, чтобы валентность углерода составляла IV, а азота – III:



2. Приведите молекулярное уравнение сжигания **Y** в кислороде.

При протекании химической реакции разрушаются связи между атомами, входящими в состав реагентов, и образуются новые связи. Процесс разрушения химических связей протекает с поглощением энергии, образование же новых связей – экзотермический процесс. Ниже приведены величины энергии, которые поглощаются или выделяются при разрыве или образовании соответствующих связей:

Связь	O=O	C-C	H-H	N≡N	C-H	O-H
Энергия, кДж/моль	498	347	432	945	413	467
Связь	N-H	C-O	C=O	N-O	N=O	C-N
Энергия, кДж/моль	391	358	799	201	607	305

3. На основании представленных данных приведите термохимическое уравнение сгорания **Y** в кислороде. Ответ подтвердите расчетом.

Решение:

1. Найдем количества веществ атомов всех элементов, входящих в состав продуктов сгорания:

$$v(\text{C}) = v(\text{CO}_2) = 26,66/22,4 = 1,19 \text{ моль}$$

$$v(\text{Cl}) = v(\text{HCl}) = 0,14 \text{ моль}$$

$$v(\text{N}) = 2v(\text{N}_2) = 2 \times 0,14 = 0,28 \text{ моль}$$

Атомы водорода содержатся одновременно в двух веществах, образовавшихся при горении – в воде и хлороводороде:

$$v(\text{H}) = 2v(\text{H}_2\text{O}) + v(\text{HCl}) = 2 \times 6,03/18 \text{ (поскольку при н.у. речь идет, по-видимому, о жидкой воде)} + 3,14/22,4 = 0,67 + 0,14 = 0,81 \text{ моль}$$

Проверим, не содержится ли кислород в составе исходного соединения:

$$m(\text{O}) = m(\text{вещества}) - m(\text{C}) - m(\text{H}) - m(\text{Cl}) - m(\text{N}) = 24,0 - 1,19 \times 12 - 0,81 \times 1 - 0,14 \times 35,5 - 0,28 \times 14 = 0,02 \text{ г.}$$

Атомы всех элементов, входящих в состав продуктов сгорания (за исключением кислорода), входили в состав исходного вещества, причем в том же количестве. Тогда не составляет труда найти их массовые доли:

$$\omega(\text{C}) = 1,19 \times 12 / 24,0 = 0,595 \text{ или } 59,5\%$$

$$\omega(\text{H}) = 0,81 \times 1 / 24,0 = 0,034 \text{ или } 3,4\%$$

$$\omega(\text{Cl}) = 0,14 \times 35,5 / 24 = 0,207 \text{ или } 20,7\%$$

$$\omega(\text{N}) = 0,28 \times 14 / 24 = 0,163 \text{ или } 16,3\%$$

$$\omega(\text{O}) = 0,02 / 24 = 0,008 \text{ или } 0,08\%$$

Расчет количества веществ атомов углерода и хлора – по 1 баллу

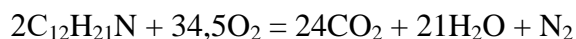
Расчет количества вещества атомов азота - 2 балла

Расчет количества вещества водорода – 3 балла

Проверка наличия кислорода в составе соединения – 3 балла

Верный расчет массовой доли элементов в соединении – 2 балла

2. Молекулярная формула вещества – $\text{C}_{12}\text{H}_{21}\text{N}$, уравнение сгорания:



Определение верной молекулярной формулы вещества Y – 2 балла

Верное уравнение сгорания вещества Y – 2 балла

Верное уравнение сгорания для неверной молекулярной формулы вещества Y – 1 балл

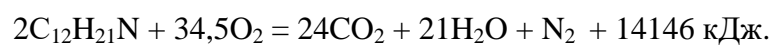
3. При сгорании 1 моль вещества Y рвется 14 моль связей С-С, 19 моль связей С-Н, 2 моль связей Н-Н, 1 моль связей С-Н и 17,25 моль связей О=О. Энергия, которую необходимо затратить на разрыв всех перечисленных связей:

$$E_{\text{разрыв}} = 14 \times 347 + 19 \times 413 + 2 \times 391 + 1 \times 305 + 17,25 \times 498 = 22382,5 \text{ кДж.}$$

В то же время образуется 2×12 моль связей С=О (12 моль молекул CO_2), $2 \times 10,5$ моль связей Н-О (10,5 моль молекул H_2O) и 0,5 моль связей $\text{N} \equiv \text{N}$. При образовании перечисленных связей выделяется энергия равная:

$$E_{\text{образ}} = 24 \times 799 + 21 \times 467 + 0,5 \times 945 = 29455,5 \text{ кДж}$$

Таким образом, при сгорании 1 моль вещества Y должно выделяется $29455,5 - 22382,5 = 7073$ кДж энергии. С учетом коэффициентов, термохимическое уравнение имеет вид:



Верный расчет теплоты сгорания – 3 балла

Верный подход к расчету теплоты сгорания при наличии арифметической ошибки в расчетах – 2 балла

Верная запись термохимического уравнения с учетом коэффициентов – 1 балл

Максимальный балл за задачу – 20 баллов

Всего 100 баллов