

МОСКОВСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ХИМИИ 2016–2017 уч. г.
ОЧНЫЙ ЭТАП
8 класс

1. Белое кристаллическое при нормальных условиях вещество **X** при незначительном нагревании превращается в бесцветную подвижную жидкость. В полученной жидкости раствор лакмуса имеет фиолетовый цвет, а при добавлении к этому раствору металлического натрия протекает бурная реакция; цвет раствора при этом меняется на синий. Под действием электрического тока жидкость, образующаяся при нагревании вещества **X**, разлагается с образованием двух простых веществ.

а) Назовите вещество **X**, приведите его формулу.

б) Приведите уравнения реакций для всех описанных химических процессов.

в) Объясните, почему меняется цвет раствора лакмуса при добавлении к жидкости металлического натрия?

РЕШЕНИЕ

а) Описанные в задаче химические свойства жидкости, полученной при нагревании вещества **X**, указывают на то, что это вода. Значит, веществом **X** является вода в твердом агрегатном состоянии, т.е. **X** – H₂O, лед или вода.

б) $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Na} = 2\text{NaOH} + \text{H}_2$

$2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ (электролиз)

в) Среда в чистой воде нейтральная, раствор лакмуса в нейтральной среде имеет фиолетовый цвет. При реакции с натрием в растворе образуется щелочь NaOH, среда раствора становится щелочной, а в щелочной среде раствор лакмуса приобретает синий цвет.

Критерии оценивания:

а) Формула вещества **X** – 3 балла, название вещества **X** – 2 балла

б) 3 балла за каждое верное уравнение; уравнение с неверными коэффициентами, но верными продуктами – 1 балл; неполное уравнение – 0 баллов.

в) указание цвета лакмуса в соответствии со средой раствора и обоснованием, чем обусловлена среда – 2 балла, всего – 4 балла.

Всего за задачу – 15 баллов

2. Смесь для воздушного шара объемом 112 м³ состоит из водорода и гелия. В каком объемном соотношении взяты эти газы, если при нормальных условиях шар способен оторвать от земли одного воздухоплатателя массой 75 кг? Масса незаполненного шара с корзиной составляет 55 кг. Чтобы шар оторвался от земли, необходимо, чтобы его общая масса не превышала 145 кг.

РЕШЕНИЕ

Общая масса шара складывается из массы пустого шара с корзиной, массы воздухоплатателя и массы газовой смеси *m*. Зная величины первых двух масс и условия отрыва шара от земли, находим, что $m = 145 - 55 - 75 = 15$ кг. Общее количество вещества газов составляет $v = V/V_m = 112\ 000\ \text{л} / 22,4\ \text{л/моль} = 5000$ моль, откуда средняя молярная масса смеси равна $M_{\text{ср}} = 15000/5000 = 3$ г/моль. Можно заметить, что это число является средним арифметическим между молярными массами гелия (4 г/моль) и водорода (2 г/моль) - это означает, что газы должны быть взяты в равном мольном, а значит, и объемном соотношении.

Критерии оценивания:

Расчет массы газа - 2 балла

Расчет средней молярной массы смеси или верно составленная система уравнений относительно мольных долей или количеств газов - 5 баллов.

Расчет искомого соотношения (верное решение системы уравнений) – 8 баллов, неверное решение уравнения – 4 балла, если при этом задействованы неверные молекулярные массы газов (например, H или He₂) – 0 баллов.

Альтернативное полностью верное решение (без системы уравнений или без явного нахождения средней молярной массы) -15 баллов.

Всего за задачу – 15 баллов

3. Кристаллогидраты - кристаллические вещества, содержащие молекулы связанной воды в своем составе. Молекулы воды в составе кристаллогидратов обычно связаны с веществом непрочно, поэтому при нагревании кристаллогидраты зачастую теряют всю или часть воды.

Медный купорос - это кристаллогидрат сульфата меди (II), CuSO₄·5H₂O.

а) При нагревании до 105°С образец медного купороса теряет 14,4% своей массы. Приведите формулу образующегося при этом вещества, ответ подтвердите расчетом. Приведите уравнение реакции, происходящей при прокаливании медного купороса при 105°С.

б) При продолжительном выдерживании медного купороса при 150°С образуется слабоокрашенное, почти белое вещество, которое иногда используется в качестве осушителя некоторых органических жидкостей (например, спирта или уксусной кислоты). Что это за вещество и на чем основано его действие как осушителя?

РЕШЕНИЕ

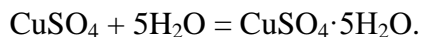
а) Уменьшение массы образца кристаллогидрата вызвано потерей кристаллизационной воды. Пусть количество вещества исходного образца CuSO₄·5H₂O составляет *x* моль. Тогда масса такого образца будет 250*x* г, где 250 – молярная масса кристаллогидрата, г/моль.

По условию уменьшение массы образца составляет 14,4%. Значит, при нагревании теряется 0,144×250*x* = 36*x* г или 2*x* моль воды. Таким образом, количества вещества кристаллогидрата и воды, которая образуется при его нагревании до 105°С, соотносятся как 1:2, и уравнение разложения кристаллогидрата имеет вид



Образующееся вещество - CuSO₄·3H₂O.

б) Длительное нагревание при более высокой, чем в предыдущем случае, температуре вероятно приводит к потере всей связанной воды кристаллогидратом. В таком случае веществом, о котором идет речь, является безводный сульфат меди, CuSO₄. Его осушающее действие основано на поглощении им воды из осушаемого вещества с образованием кристаллогидрата CuSO₄·5H₂O:



Критерии оценивания:

Нахождение соотношения количеств веществ кристаллогидрата и выделившейся воды – 4 балла

Нахождение формулы тригидрата сульфата меди (II) – 4 балла

Нахождение формулы тригидрата сульфата меди (II) прочими верными способами – 8 баллов

Уравнение разложения пентагидрата сульфата меди (II) – 2 балла

Предположение об образовании безводного сульфата меди (II) (или CuSO₄·H₂O) – 3 балла

Объяснение осушающего действия безводного сульфата меди (II) – 2 балла

Всего за задачу – 15 баллов

4. Органическими называют соединения на основе углерода (кроме его оксидов и еще некоторых простых соединений). Часто эти соединения также содержат в своем составе атомы азота, водорода, кислорода, где все элементы проявляют наиболее характерные для себя валентности.

Долгое время считалось, что органические соединения могут образовываться только внутри живых организмов, однако в 1828 году немецким химиком Ф. Вёлером был осуществлен синтез органического вещества мочевины. Мочевина может быть получена, например, в результате реакции соединения при пропускании газообразного аммиака (NH_3) через водный раствор, содержащий циановую кислоту (HNCO).

а) Установите формулу образующегося соединения, если для получения раствора данного вещества с концентрацией 1 моль/л требуется пропустить 4,5 л (н.у) аммиака через 200 мл раствора, содержащего 8,61 г циановой кислоты. Ответ подтвердите расчетом.

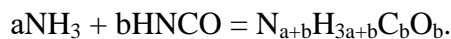
б) Предложите пять возможных структурных формул данного соединения. Структурная формула – способ записи формулы вещества, при котором можно видеть, какой атом с каким связан в соответствии с их валентностями. Связи между атомами обозначаются черточками.

в) Какой объем воздуха (при н.у.) потребуется для полного сгорания 1 моль данного вещества?

г) Каким образом до Вёлера могли получать это соединение?

РЕШЕНИЕ

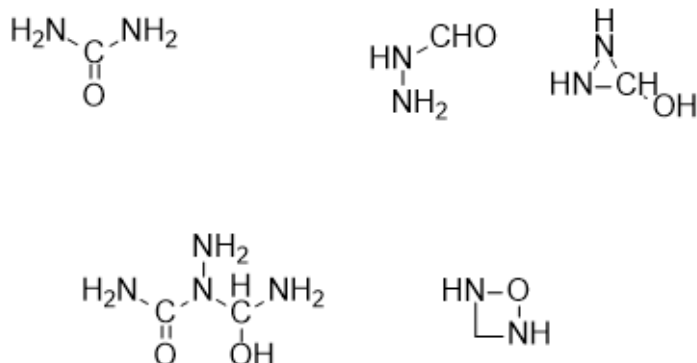
а) В условии задачи сказано, что полученное вещество является результатом реакции соединения - в случае, когда число соединяющихся веществ равно двум, уравнение реакции можно записать как



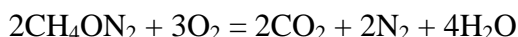
Найдем соотношение $a:b$. Для этого достаточно подсчитать количества веществ аммиака и циановой кислоты: $\nu(\text{NH}_3) = 4,5/22,4 = 0,2$ моль, $\nu(\text{HNCO}) = 8,61/43 = 0,2$ моль. Следовательно, вещества взяты в мольном соотношении 1:1, и простейшая формула соединения - $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$.

б) В качестве структурных принимаются любые варианты формул, составленные с соблюдением валентностей атомов углерода (валентность IV), водорода (валентность I), кислорода (валентность II) и азота (валентность III). Структур на самом деле гораздо больше, учитывая, что искомое вещество может быть представлено как димер или тример мочевины.

Примеры возможных структурных формул:



в) Из уравнения горения мочевины



следует, что $\nu(\text{O}_2) = 3/2\nu(\text{CH}_4\text{ON}_2)$, поэтому на сгорание 1 моль мочевины уйдет 1,5 моль или 33,6 л чистого кислорода, или $33,6/0,21 = 160$ л воздуха.

г) Исходя из названия “мочевина” можно предположить, что исходное соединение или его производное содержится в моче, откуда и была получена мочевина ранее.

Критерии оценивания:

а) Расчет простейшей формулы - 5 баллов

б) За каждую верную структурную формулу – 2 балла, всего – 10 баллов

в) Расчет объема воздуха (принимается также содержание кислорода в воздухе равное 20%) - 4 балла. Если вместо объема верно рассчитано количество воздуха - 3 балла. Если

вместо воздуха указан объем кислорода - 2 балла. Если присутствует уравнения сгорания мочевины с правильно поставленными коэффициентами - 1 балл.

г) Идея о сырье для получения мочевины - 1 балл.

Итого за задачу – 20 баллов

5. Одной из древнейших техник позолоты, применяемой на Руси с IX века, является метод огневого золочения. Для этого, согласно древнему рецепту, 7 частей (по массе) металла **Z** смешивают с 1 частью золота, нагревают до 300°C, дают остыть (при этом сплав остается жидким) и наносят на покрываемую поверхность, после чего поверхность прокаливается с помощью открытого огня. При этом масса металла **Z** в сплаве уменьшается в 48 раз, а в образующемся покрытии число атомов **Z** в 7 раз меньше числа атомов золота.

а) Определите металл **Z**. Ответ подтвердите расчетами.

б) Для лучшего сцепления перед нанесением позолоты покрываемую (обычно железную) поверхность обрабатывали раствором нитрата металла **Z**. Какая реакция могла при этом идти?

в) Огневое золочение – очень опасный метод, если не принимать мер предосторожности. Известно, что при проведении работ по золочению куполов Исаакиевского собора в Петербурге в 1838—1841 годах погибло около 60 мастеров. В чем причина опасности? Как можно защититься от нее?

РЕШЕНИЕ

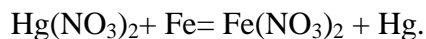
а) Пусть z г/моль - молярная масса неизвестного металла **Z**, а масса золота, использованная для приготовления смеси для позолоты – 1 г. Тогда масса неизвестного металла в этой смеси равна 7 г, а количество вещества неизвестного металла - $7/z$ моль. После прокаливании это количество сокращается до $7/(48 \times z)$ моль, в то время, как количество золота остается неизменным и равным $1/M(\text{Au})=1/197$ моль. По условию атомов **Z** после прокаливании в 7 раз меньше атомов золота, значит

$$7 \times 7 / (48 \times z) = 1 / 197,$$

откуда $z = 201$, что наиболее соответствует молярной массе ртути. Этот металл удовлетворяет условиям задачи, поскольку ртуть способна растворять большинство металлов, образуя амальгамы.

Таким образом, **Z** – это ртуть.

б) Железо - более активный металл, чем ртуть, поэтому имеет место реакция вытеснения ртути из ее соли, что, возможно, приводит к частичному амальгамированию покрываемого железа и, соответственно, улучшению сцепления наносимого покрытия с металлической поверхностью:



в) Засчитываются любые разумные идеи, например, работа в противогазе с коробкой, содержащей активированный уголь или другой сорбент, улавливающий вредоносные пары ртути. Работа на открытом пространстве является частично верным ответом - стоит учитывать, что пары ртути довольно тяжелы и это является недостаточно эффективной мерой (мастера-золотильщики знали о вреде паров ртути и работали на открытом пространстве)

Критерии оценивания:

а) Полностью верный ответ и расчет - 10 баллов. Ответ без подтверждения расчетом - 1 балл, верно записанное, но неверно решенное уравнение - 6 баллов.

б) Приведено уравнение реакции - 5 баллов, без коэффициентов - 2 балла. В качестве правильного ответа принимается, в том числе, реакция образования нитрата трехвалентного железа: $3\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{Fe} = 2\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{Hg}$.

в) *Объяснение причины опасности применения метода - 2 балла. Любая разумная и работающая идея защиты от паров ртути - 3 балла, предложение работать на открытом пространстве - 1 балл.*

Итого за задачу – 20 баллов

6. Как соотносятся молярные массы элементов **Q** и **R**, если их соединение состава **RQ₂** содержит 19 г **Q** и 81 г **R**? Приведите формулу соединения, если **Q** - кислород.

а) При действии на указанное соединение раствора серной кислоты образуется раствор нестойкого сложного вещества **Y**, широко используемого в лабораторной практике, в том числе для получения кислорода. Назовите вещество **Y** и приведите уравнение описанного процесса его получения.

б) Концентрированные растворы вещества **Y** используются при проведении эффективного опыта, иногда называемого “Зубная паста для слона”. Для проведения этого опыта раствор **Y** смешивают с раствором мыла, смесь помещают в высокий узкий сосуд и туда же приливают раствор иодида калия. Почти сразу же в сосуде начинает образовываться пена, которая мощной струей, похожей на зубную пасту, вырывается наружу. Дайте объяснение всем наблюдаемым эффектам и приведите уравнение протекающего процесса.

РЕШЕНИЕ

Из состава соединения следует, что количества веществ элементов в этом соединении относятся как 2:1. Это значит, что

$$\frac{m(Q)}{M(Q)} : \frac{m(R)}{M(R)} = 2:1$$

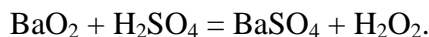
Отсюда следует, что

$$\frac{M(R)}{M(Q)} = \frac{2m(R)}{m(Q)} = \frac{2 \times 81}{19} = 8,53$$

Где m и M – масса и молярная масса соответствующего элемента.

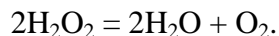
Если элементом **Q** является кислород, то $M(R) = 8,53 \times 16 = 136$ г/моль. Самый близкая по значению молярная масса у бария, $M(\text{Ba}) = 137$ г/моль. Таким образом, искомое соединение – **BaO₂**.

а) По аналогии с оксидом, можно предположить, что реакция идет согласно следующему уравнению:



Вещество **Y**, используемое для лабораторного получения кислорода – это пероксид водорода, **H₂O₂**.

б) Под действием иодида калия, который катализирует процесс, происходит разложение пероксида водорода:



Реакция сопровождается выделением газообразного кислорода и является сильно экзотермическим процессом. Газообразные продукты вспенивают мыло и выбрасывают образующуюся пену из сосуда, в том числе за счет термического расширения газов.

Критерии оценивания:

*Нахождение отношения молярных масс элементов **Q** и **R** – 3 балла*

*Определение элемента **R** – 2 балла*

Указание формулы соединения – 1 балл. За указание оксида в качестве формулы – 0 баллов.

Уравнение взаимодействия пероксида бария с серной кислотой – 2 балла. За указание в качестве продуктов реакции воды или воды и кислорода – 0 баллов.

*Название соединения **Y** – 1 балл.*

Московская олимпиада школьников по химии.

Очный этап. 8 класс

Уравнение разложения пероксида водорода – 2 балла (в качестве верных принимаются варианты уравнений, включающих взаимодействие иодида калия с пероксидом водорода)

Указание каталитического эффекта иодида калия – 2 балла, объяснение образования пены за счет образования газов – 1 балл, объяснение выбрасывания пены из сосуда за счет образования большого количества газов и/или экзотермического эффекта реакции – 1 балл.

Итого за задачу – 15 баллов