

# LXXV МОСКОВСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

ПО ХИМИИ 2018–2019 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.*

## Задача №1.

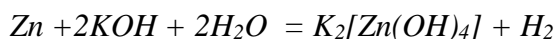
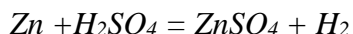
Латунь - сплав меди и цинка, по некоторым данным, применявшийся еще в Древнем Риме для чеканки монет. В настоящее время медно-никелевые сплавы широко распространены в машиностроении и теплотехнике.

1. Как химическим путем, имея в распоряжении лабораторное оборудование и любые твердые или жидкие реактивы, выделить чистые медь и цинк из латуни? Напишите уравнения реакций.

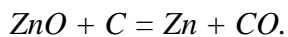
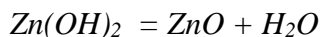
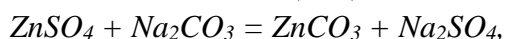
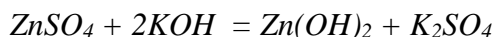
2. Как химическим путем можно доказать, что массовая доля цинка в образце латуни марки Л80 составляет 20 %, не выделяя чистых металлов? Напишите уравнения реакций и укажите все измеряемые величины (например, «масса цинка» или «объем кислорода»).

## Решение

*1. Обрабатываем сплав кислотой-неокислителем или щелочью. Растворится только цинк. Медь выделена в чистом виде.*



*из раствора сульфата цинка металл можно выделить электролитически, или (в обоих случаях) можно осадить гидроксид цинка, прокалить его, восстановить оксид, например, углем. Также можно произвести осаждение цинка в виде карбоната, который при прокаливании также может быть переведен в оксид.*



*Особо отметим, что напрашивающийся способ выделения чистого цинка из раствора его соли с помощью вытеснения путем добавления более активного металла (магния или алюминия, например,  $\text{ZnSO}_4 + \text{Mg} = \text{MgSO}_4 + \text{Zn}$ ) в данном случае не подходит, так как осаждение цинка будет происходить на твердом магнии и будет затруднительно довести эту реакцию до конца. Использование еще более активных металлов (например, натрия) приведет к тому, что металл сначала прореагирует с водой, что приведет к образованию гидроксида натрия, а затем и цинка.*

*2. Возьмем, например, 10 г латуни. Обрабатываем раствором разбавленной серной кислоты или щелочи (см выше). Самый простой способ – высушить нерастворившуюся медь,*

удостовериться, что ее масса составляет 8 г, тогда масса цинка 2 г, массовая доля цинка 20%.

Второй подход – измерить объем выделившегося водорода при нормальных условиях, он должен составить 0,69 л. тогда,  $n(\text{H}_2) = n(\text{Zn}) = 0.69/22.4 = 0.0308$  моль. Масса цинка равна  $m = 0.0308 \cdot 65 = 2$  г. Массовая доля 20%.

### Критерии оценивания

Отделение меди – 2 балла

Любой химически грамотный способ выделения цинка из раствора – 10 баллов (за каждую неосуществимую реакцию минус 1 балл, за каждое неуравненное уравнение имеющей смысл реакции минус 0,5 баллов).

Доказательство состава латуни – 8 баллов (без прямого указания измеряемых величин – 6 баллов).

### Задача №2.

В таблице приведен типичный газовый состав атмосферного (вдыхаемого) и выдыхаемого воздуха (в объемных процентах), очищенного от водяных паров.

	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Ar
Атмосферный воздух	78.17	20.90	0.03	0.9
Выдыхаемый воздух	78.80	16.30	4.00	0.9

Известно, что в среднем в состоянии покоя взрослый человек вдыхает и выдыхает примерно одинаковый объем газа, равный 500 мл, с частотой 20 вдохов в минуту. Используя приведенные данные, ответьте на вопросы:

1. Какой воздух тяжелее - вдыхаемый или выдыхаемый? Поясните свой ответ. Считайте, что температура вдыхаемого и выдыхаемого воздуха одинакова.
2. Рассчитайте, какую массу кислорода потребляет организм человека за 1 час при атмосферном давлении и температуре 0 °С.

### Решение

1. Анализируя данные таблицы, можно увидеть, что основное отличие вдыхаемой и выдыхаемой смеси состоит в том, что в выдыхаемом воздухе становится примерно на 4% больше углекислого газа и на те же 4% меньше суммарно азота и кислорода. Кислород и азот являются основными компонентами воздуха, близкими по массе, поэтому замена любого количества этой смеси на равное количество ощутимо более тяжелого газа (1 моль CO<sub>2</sub> имеет массу 44 г против 32 г у 1 моль кислорода) неминуемо приведет к утяжелению всей смеси, значит, выдыхаемый воздух более тяжелый.

К такому же выводу можно прийти и с помощью расчета средних молярных масс вдыхаемого и выдыхаемого воздуха:

$$M_{\text{cp}} (\text{вдых.}) = 28 \cdot 0.7817 + 32 \cdot 0.2090 + 44 \cdot 0.0003 + 40 \cdot 0.009 = 28.95 \text{ г/моль}$$

$$M_{\text{cp}} (\text{выдых.}) = 28 \cdot 0.7880 + 32 \cdot 0.1630 + 44 \cdot 0.04 + 40 \cdot 0.009 = 29.40 \text{ г/моль}$$

2. В 1 часе 60 минут, количество циклов вдох-выдох за это время составляет  $N = 60 \cdot 20 = 1200$  штук. Объем вдыхаемого за 1 цикл кислорода составляет  $V_0 = 500 \cdot (0.209 - 0.163) = 23$  мл, за все время -  $V = V_0 \cdot N = 23 \text{ мл} \cdot 1200 = 27.6$  л. В нормальных условиях  $n(O_2) = V/V_m = 27.6/22.4 = 1.232$  моль,  $m(O_2) = 32 \cdot 1.232 = 39.43$  г

### **Критерии оценивания**

Любое разумное объяснение, содержащее сравнение масс порций воздуха одинакового объема, плотностей или средних молярных масс газов - 8 баллов

Полный и верный расчет - 12 баллов, ошибка из-за перевода единиц измерения - 8 баллов, если не учтен выдыхаемый кислород - 4 балла, найдена неверная итоговая величина при правильно посчитанном количестве газа или остановка на этом шаге - 6 баллов, расчет только объема газа - 6 баллов, расчет исходя из предположения, что вдыхаемый воздух является чистым кислородом - 4 балла.

### **Задача №3.**

Водный раствор серной кислоты содержит в своем составе одинаковое число атомов водорода и кислорода.

- 1) Какова массовая доля растворенной серной кислоты в таком растворе? Ответ подтвердите расчетами
- 2) Опишите процесс приготовления 100 г такого раствора (с точностью до 2 массовых процентов) из 100%-ной серной кислоты и воды в условиях химической лаборатории, если плотность чистой серной кислоты составляет  $1.84 \text{ г/см}^3$ . Проследите, чтобы Ваше описание содержало ответы на вопросы а) какие точные массы или объемы используются б) в каком порядке смешиваются реагенты в) какая химическая посуда должна использоваться г) какие меры предосторожности нужно принять.
- 3) 50 г такого раствора разбавили водой до 1 литра и в полученный раствор добавляли гранулы цинка до тех пор, пока выделение пузырьков газа не прекратилось. Какой объем (н.у.) займет выделившийся газ? Напишите уравнения реакции. Предположите, что может измениться, если положить цинк в неразбавленный раствор серной кислоты.

### **Решение**

1. Пусть  $x$  моль - количество  $H_2SO_4$  в данном растворе,  $y$  моль - количество  $H_2O$ . Тогда условие равенства количества атомов кислорода и водорода можно записать в виде  $2x + 2y = 4x + y$ , откуда  $y = 2x$ , что означает, что такой раствор получится, если, например, смешать 1 моль  $H_2SO_4$  и 2 моль  $H_2O$  мы как раз получим требуемый раствор. В нем будет содержаться 98 г  $H_2SO_4$  и  $2 \cdot 18 = 36$  г воды. Массовая доля серной кислоты в растворе составит при этом  $\omega(H_2SO_4) = 98/(98+36) = 73.13\%$

2. Точность требуемой концентрации позволяет нам округлять значения масс и объемов до целых граммов и миллилитров. Для приготовления 100 г такого раствора потребуется взять 73 г 100%-ной  $H_2SO_4$ . Поскольку жидкости взвешивать неудобно, то можно воспользоваться мерным цилиндром и отмерить с его помощью объем  $73/1.84 = 40$  мл. Данный объем кислоты нужно постепенно, тонкой струйкой влить в стакан, где находится 27 мл чистой воды (именно такой порядок!), при этом, поскольку смесь будет сильно разогреться (кислоты в

этом растворе больше, чем воды), необходимо позаботиться об охлаждении смеси, иначе возможно растрескивание стеклянной посуды, а также погрешность вследствие вскипания раствора.

3. Запишем уравнение реакции разбавленной серной кислоты с цинком:  $Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2$ . В 50 г данного раствора, а также в 1 л полученного после разбавления раствора будет содержаться  $m(H_2SO_4) = 50 \cdot 0.731 = 36.55$  г и  $n(H_2SO_4) = 36.55 / 98 = 0.373$  моль. Из уравнения следует, что  $n(H_2) = n(Zn)$ , тогда  $V(H_2) = 22.4 \cdot 0.373 = 8.35$  л. Если раствор кислоты не разбавлять, возможно протекание химической реакции по другой схеме, где серная кислота проявляет свои окислительные свойства за счет атома серы, из-за чего возможно выделение, например, сероводорода или сернистого газа вместо водорода.

### **Критерии оценивания**

Полностью верный расчет - 6 баллов. Арифметическая ошибка - минус 2 балла, найдена другая доля - всего 4 балла

Наличие каждого элемента в описании - 2 балла: 1) расчет количеств/объемов/масс обоих компонентов 2) использование мерного цилиндра для измерения объема или использование весов 3) порядок смешения компонентов указан и верный (кислоту в воду) 4) идея использования средств защиты и/или необходимости охлаждения смеси в процессе приготовления

Уравнение - 2 балла, верный расчет - 2 балла, идея о новых свойствах кислоты в случае концентрирования (без уравнения и объяснения механизма) - 2 балла

Примечание. Если в п.1 получено неправильное значение концентрации серной кислоты и оно далее используется в п.2 и 3, то следует снижать баллы только за п.1 («принцип отсутствия двойного наказания»)

### **Задача №4.**

В трех стаканах без подписей находятся кусочки лития, кальция и бария одинаковой массы. Каждый из них по отдельности аккуратно растворили в воде, а затем добавили 63 г 5%-ного раствора азотной кислоты и несколько капель раствора лакмуса. В результате в одном стакане наблюдалось синее окрашивание, во другом - красное, а в третьем - фиолетовое.

- 1) Напишите уравнения реакций, произошедших в каждом из стаканов.
- 2) Можно ли на основании данных опыта сказать, в каком из стаканов какой металл находился? Ответ поясните.
- 3) Пользуясь данными задачи, рассчитайте массу кусочков металла.
- 4) Предложите другой способ распознавания этих металлов химическим путем. Напишите уравнения реакций.

### **Решение**



Кусочки металлов имели одинаковую массу, однако, будучи изготовлены из разных металлов, содержали разное количество вещества: наибольшее - лития, среднее - кальция и наименьшее - бария; таким же стало и количество образовавшейся щелочи. Нейтральная

среда могла образоваться во третьем стакане в случае, если количество вещества азотной кислоты было таким, что вся кислота и вся щелочь прореагировали. Поскольку количество добавляемой кислоты было одинаковым, то факт синего окрашивания в первом стакане говорит об избытке в нем щелочи (литий), а во втором - кислоты (барий). В третьем стакане находится кальций.

Рассчитаем массу кальция:  $n(\text{HNO}_3) = (m \cdot \omega) / M = 63 \cdot 0.05 / 63 = 0.05$  моль,  $n(\text{Ca}) = n(\text{Ca}(\text{OH})_2) = n(\text{HNO}_3) / 2 = 0.025$  моль, откуда  $m(\text{Ca}) = 40 \cdot 0.025 = 1$  г

Самая простая схема распознавания основана на растворимости сульфатов металлов.

Сульфат лития растворим хорошо, поэтому реакция не пойдет вообще, сульфат кальция - малорастворим, а сульфат бария не растворим вовсе. При больших разбавлениях можно будет видеть, что сульфат кальция растворился, а сульфат бария - нет. То же можно сказать и о гидроксидах. Также можно пользоваться различием в окраске пламени соединений щелочных металлов: соединения лития будут окрашивать его в малиновый цвет, кальция - в карминово-красный, а бария - в зеленый.

### **Критерии оценивания**

Уравнения реакций - 1.5 балла каждое (неверные коэффициенты - 0 баллов), итого 9 баллов

Обоснование соответствия металлов номеру стакана - 4 балла

Расчет - 3 балла

Работающая схема идентификации с уравнениями реакций или использование пламенного анализа (в этом случае - без уравнений реакций) - 4 балла, без уравнений - 2 балла

### **Задача №5.**

Название элемента **A** в таблице Д. И. Менделеева связано с именем скандинавской богини любви и красоты, а название элемента **B** происходит от имени древнегреческой богини радуги. Массовая доля элемента **A** в его высшем оксиде оставляет 56,04%. Известно, что образец простого вещества **B** имеет массу в 32 раза, а объем в 1,413 раза больший, чем образец воды, содержащий такое же количество атомов.

1. Определите элементы **A** и **B**.
2. Определите плотность простого вещества **B**.
3. В честь каких богинь названы элементы **A** и **B**? Как вы думаете, почему?

### **Решение**

Пусть  $x$  - валентность элемента **A**. Тогда высший оксид имеет формулу  $\text{A}_2\text{O}_x$ ,  $\omega(\text{A}) = 2M(\text{A}) / (2M(\text{A}) + 16x) = 0,5604$ , откуда  $M(\text{A}) = 10.2 \cdot x$ . Перебором целых значений  $x$  при  $x = 5$  получаем  $M(\text{A}) = 51$ , это ванадий.

Возьмем 1 моль воды, тогда общее число атомов - 3 моль. Масса такой порции воды составляет 18 г, тогда  $m(\text{B}) = 18 \cdot 32 = 576$  г,

$M(\text{B}) = m/n = 192$  г/моль. Это иридий.

Объем взятого количества воды  $18 \text{ см}^3$ , тогда объем вещества **B** -  $25,38 \text{ см}^3$  и плотность **B** составляет  $\rho = m/V = 22,65 \text{ г/см}^3$

Ванадис и Ирида - скандинавская и греческая богини, являвшиеся, в том числе, богинями радуги. Многие соли ванадия и иридия имеют яркие цвета.

### **Критерии оценивания**

Верное и обоснованное расчетом определение элемента А исходя из массовой доли элемента в оксиде – 8 баллов, без расчета (в том числе «угадывание» оксида и проверка) – 1 балл.

Верное и обоснованное расчетом определение элемента В – 6 баллов, без расчета (в том числе «угадывание» оксида и проверка) - 1 балл

Определение плотности иридия – 5 баллов

Указание на Ванадис и Ириду – 1 балл.

### **Задача №6.**

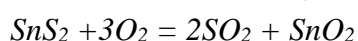
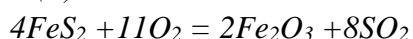
Два бинарных соединения А и В содержат по три атома в формульной единице и по внешнему виду напоминают один из драгоценных металлов. Одно и тоже количество бесцветного газа с резким запахом (28,8 г, 10,08 л при н.у.) образуется при обжиге на воздухе 27 г вещества А и 41.18 г вещества В.

1. Определите состав веществ А и В.
2. Напишите уравнения обжига.
3. Какие тривиальные названия имеют вещества А и В?

*Решение.*

*Количество вещества газа 0,45 моль. Тогда  $M = 64$  г/моль. Это сернистый газ с резким запахом. Тогда состав вещества А это  $A_nS_m$ , а вещества В –  $B_nS_m$ . При одном атоме серы в формульной единице расчет не дает адекватных значений. При двух атомах серы получим, что количества веществ равны 0,225 моль. Тогда  $M(A) = 120$  г/моль. Это  $FeS_2$  (пирит, кошачье золото, золото дураков).*

*$M(B) = 183$  г/моль. Это  $SnS_2$ . (муссивное золото).*



### **Критерии оценивания**

определение количества вещества газа – 1 балл

определение молярной массы газа – 1 балл

определение формулы газа 2 балла

вывод о наличии серы в минералах – 1 балл

определение молярных масс - по 2,5 балла

определение формул минералов по 2 балла

уравнения реакций обжига - по 2 балла, не уравненные – по 1 баллу

тривиальные названия – по 1 баллу за каждое вещество