



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ХИМИИ 2019–2020 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
9 КЛАСС

Общие указания: если в задаче требуются расчёты, они обязательно должны быть приведены в решении. Ответ, приведённый без расчётов или иного обоснования, не засчитывается.

Задание 1. Теплота нейтрализации

К 100 мл 2,5 М раствора гидроксида калия добавили 200 мл 1,5 М раствора азотной кислоты. Запишите ионное уравнение происходящей реакции. В результате реакции выделилось 14,0 кДж теплоты. Сколько теплоты выделится при добавлении 200 мл 2 М соляной кислоты к раствору, содержащему: а) 0,3 моль гидроксида натрия; б) 0,3 моль гидроксида бария?

Задание 2. Прокаливание гидроксида бария

При прокаливании гидроксида бария на воздухе сначала образуется расплав, который при дальнейшем нагревании вновь затвердевает. Для проведения опыта гидроксид бария, не содержащий в своём составе кристаллизационной воды, прокалили на воздухе до постоянной массы при температуре 650 °С и охладили в сухой инертной атмосфере. При этом масса твёрдого вещества уменьшилась на 5 % по сравнению с исходной.

1. Объясните результат опыта и запишите уравнения реакций.
2. Определите состав твёрдого остатка после прокаливания (в массовых %), если известно, что он не содержит исходного вещества.
3. Предложите четыре принципиально различных способа получения гидроксида бария. Запишите уравнения реакций.

Задание 3. Химический анализ металла

Кусочек серебристого мягкого металла подвергли анализу. 1,00 г металла в виде фольги оставили окисляться на воздухе. Через некоторое время металл превратился в вещество чёрного цвета, которое растворили в разбавленной азотной кислоте. При осторожном выпаривании бесцветного раствора получили 1,303 г безводного нитрата. Раствор полученного нитрата металла при добавлении раствора щёлочи не даёт видимых результатов, с раствором иодида калия даёт жёлтый осадок, с раствором сульфида натрия – чёрный осадок.

1. Какой металл взяли для анализа?
2. Почему нитрат металла не взаимодействует с раствором щёлочи?
3. Какие степени окисления характерны для этого металла?
4. Запишите уравнения всех упомянутых реакций.

Задание 4. Превращение металла в кристаллогидрат

При взаимодействии неизвестного металла X с простым веществом жёлтого цвета Y образовался продукт Z, в котором на 2 массовые части элемента X приходится одна массовая часть элемента Y. При сжигании Z на воздухе получили твёрдый остаток M, представляющий собой порошок чёрного цвета. При действии на M 20 %-ной серной кислоты образовался окрашенный раствор, из которого при охлаждении выделились кристаллы L, который представляет собой пентагидрат.

1. Определите неизвестные вещества, запишите уравнения реакций.
2. Сколько граммов L выделится из 100 г раствора, насыщенного при 60 °С, при его охлаждении до 0 °С, если растворимость L в расчёте на безводную соль составляет 39,5 г / 100 г воды при 60 °С и 14,3 г / 100 г воды при 0 °С?
3. Предложите способ получения X из раствора L. Запишите уравнение реакции.

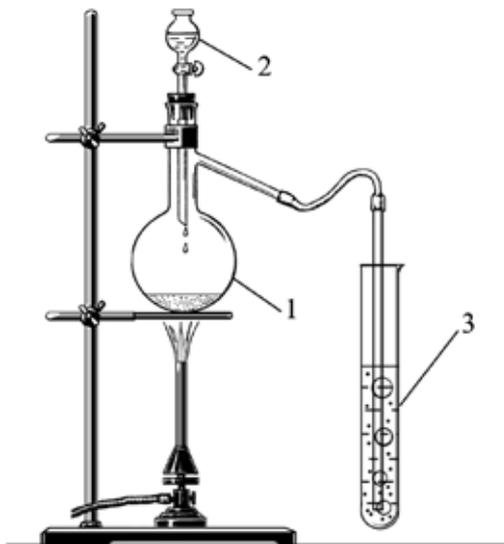
Задание 5. Ряд урана

Образец радиоактивного изотопа урана-238 массой 80 г распадается со скоростью 1 миллион атомов в секунду. Продукты его распада – тоже радиоактивные, причём распадаются во много раз быстрее. Конечным продуктом распада является устойчивый свинец-206, а среди промежуточных продуктов распада есть уран-234.

1. Объясните, как из урана-238 образовался уран-234. Напишите уравнения ядерных реакций.
2. Сколько α - и β -распадов происходит на пути от урана-238 к свинцу-206?
3. Чему равен объём гелия (н. у.), который образуется из образца урана за 10 миллионов лет? Считайте, что скорость распада остаётся постоянной в течение этого времени.

Задание 6. Бинарные соединения свинца

Три бинарных* соединения свинца (A, B и C) имеют одинаковый качественный состав, но отличаются количественно. С веществами A и B провели следующий эксперимент. Собрали установку, как показано на рисунке.



В колбу Вюрца (на рис. показана цифрой 1) поместили порошок вещества **A**. Из капельной воронки (2) в колбу приливали концентрированную соляную кислоту и аккуратно нагревали. Из колбы выделялся газ жёлто-зелёного цвета с резким запахом. Этот газ пропускали в пробирку (3). В этой пробирке находилась тонкая суспензия** вещества **B** в растворе гидроксида натрия. Постепенно в пробирке (3) выделялся осадок вещества **A** тёмно-коричневого цвета.

Некоторые сведения о веществах **A**, **B** и **C** приведены в таблице.

Вещество	Массовая доля свинца, %	Способы получения
A	86,61	Способ 1 описан в условии выше. Вещество A образуется в пробирке (3). Способ 2. Вещество C обрабатывают азотной кислотой. После отделения раствора в осадке остаётся вещество A
B	92,83	Способ 1. Прокаливание свинца на воздухе при 650–700°C. Способ 2. Прокаливание гидроксида свинца (II) при 750–800°C
C	90,66	Способ 1. Прокаливание тонкого порошка B на воздухе при 450–500°C. Способ 2. Нагревание вещества A при 380–400°C.

1. Определите вещества **A**, **B** и **C**. Ответ подтвердите расчётом.
2. Напишите уравнение реакции, которая протекает в колбе (1) при действии концентрированной соляной кислоты на вещество **A**.
3. Проиллюстрируйте уравнениями химических реакций все способы получения веществ **A**, **B** и **C**, описанные в таблице выше.

* Бинарными называют соединения, состоящие только из двух элементов.

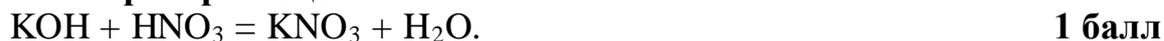
** Суспензия — взвесь частичек твёрдого вещества в жидкости. Тонкой называется суспензия, в которой частички твёрдого вещества имеют очень маленькие размеры.

Решения и критерии оценивания олимпиадных заданий

В итоговую оценку из 6 задач засчитываются 5 решений, за которые участник набрал наибольшие баллы, то есть одна из задач – с наименьшим баллом – не учитывается.

Задание 1. Теплота нейтрализации

Решение и критерии оценивания:



Ионное уравнение:



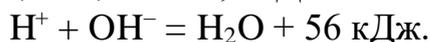
Определим теплоту реакции в расчёте на моль иона, находящегося в недостатке.

$$n(\text{OH}^-) = n(\text{KOH}) = 0,1 \times 2,5 = 0,25 \text{ моль}, \quad \mathbf{0,5 \text{ балла}}$$

$$n(\text{H}^+) = n(\text{HNO}_3) = 0,2 \times 1,5 = 0,3 \text{ моль} - \text{избыток}. \quad \mathbf{0,5 \text{ балла}}$$

Теплоту реакции считаем по OH^- :

$$Q = 14,0 / 0,25 = 56,0 \text{ кДж}. \quad \mathbf{2 \text{ балла}}$$



Нейтрализация соляной кислотой:

$$n(\text{H}^+) = n(\text{HCl}) = 0,2 \times 2 = 0,4 \text{ моль}. \quad \mathbf{0,5 \text{ балла}}$$

$$\text{а) } n(\text{OH}^-) = n(\text{NaOH}) = 0,3 \text{ моль} - \text{недостаток}. \quad \mathbf{0,5 \text{ балла}}$$

$$Q = 0,3 \times 56,0 = 16,8 \text{ кДж}. \quad \mathbf{1,5 \text{ балла}}$$

$$\text{б) } n(\text{OH}^-) = 2n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,6 \text{ моль} - \text{избыток, расчёт по } \text{H}^+. \quad \mathbf{1 \text{ балл}}$$

$$Q = 0,4 \times 56,0 = 22,4 \text{ кДж}. \quad \mathbf{1,5 \text{ балла}}$$

Всего за задачу – 10 баллов

Задание 2. Прокаливание гидроксида бария

Решение:

1. Затвердевание расплава гидроксида бария при повышении температуры свидетельствует о его разложении с образованием тугоплавкого продукта. При разложении гидроксидов металлов происходит их дегидратация с образованием оксидов. Так как известно, что разложение прошло полностью, рассчитаем потерю массы вещества:



Из одного моля гидроксида бария (171 г) выделяется 1 моль (18 г) воды. Это соответствует потере массы 10,5 %. В условии задачи потеря массы оказывается меньше, хотя разложение гидроксида прошло полностью. Это позволяет предположить, что часть образующегося оксида вступает в реакцию с кислородом воздуха, превращаясь в пероксид:



Присоединение кислорода увеличивает массу твёрдого вещества, поэтому потеря массы при прокаливании оказывается меньше ожидаемой.

2. Пусть разложился 1 моль $\text{Ba}(\text{OH})_2$. При этом образовалось x молей BaO ($M = 153$ г/моль) и $(1-x)$ молей BaO_2 ($M = 169$ г/моль). Их общая масса составляет 95 % от массы $\text{Ba}(\text{OH})_2$:

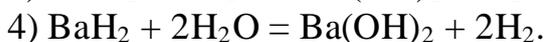
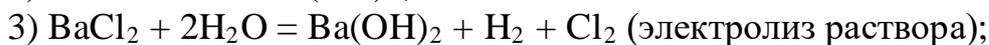
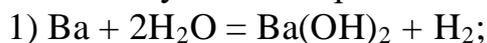
$$153x + 169 \times (1 - x) = 171 \times 0,95;$$

$$x = 0,409.$$

$$w(\text{BaO}) = 153 \times 0,409 / (171 \times 0,95) = 0,385 = 38,5 \ %;$$

$$w(\text{BaO}_2) = 100 \ % - 38,5 \ % = 61,5 \ %.$$

3. Способы получения гидроксида бария:



Критерии оценивания:

Уравнения реакций при прокаливании – по 2 балла, всего

4 балла

Расчёт состава твёрдого остатка

2 балла

Получение гидроксида бария – 4 уравнения по 1 баллу, всего

4 балла

Всего за задачу – 10 баллов

Задание 3. Химический анализ металла

Решение и критерии оценивания:

1. Вычислим молярную массу металла. 1,00 г металла образует 1,303 г нитрата. Масса нитрат-ионов в составе соли равна 0,303 г.

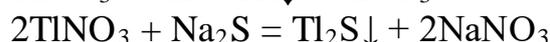
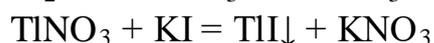
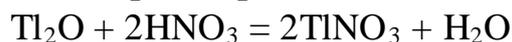
Если металл – одновалентный, то в составе одного моля соли содержится 1 моль нитрат-ионов ($M(\text{NO}_3^-) = 62$ г/моль);

$$M(\text{Me}) = 62 \times 1,00 / 0,303 = 204,62 \text{ г/моль}.$$

Близкую молярную массу имеет только один элемент – таллий. **4 балла**

2. Гидроксид таллия (I) хорошо растворим в воде, поэтому реакция ионного обмена не происходит **1 балл**

3. Для таллия характерны степени окисления +1 и +3. **1 балл**



Всего за задачу – 10 баллов

Задание 4. Превращение металла в кристаллогидрат

Решение:

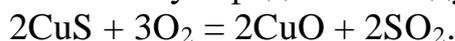
1. Из описания можно предположить, что простое вещество Y – сера. Тогда продукт Z – это сульфид металла. Из массового отношения следует, что на металл приходится масса в два раза большая, чем на серу. Этому соотношению удовлетворяет сульфид меди(II) CuS.

Итак, X – Cu, Y – S, Z – CuS.

Уравнения реакций:

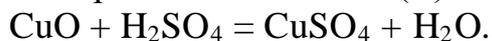


При сжигании сульфидов на воздухе образуются оксиды:



Вещество M – CuO.

При растворении оксида меди(II) в серной кислоте образуется сульфат меди(II):



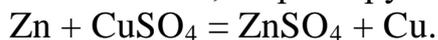
При охлаждении выделяется L – кристаллогидрат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

2. В 100 г раствора CuSO_4 , насыщенного при 60 °С, содержится $100 \cdot 39,5 / (100 + 39,5) = 28,31$ г безводного CuSO_4 ($M = 160$ г/моль). Пусть из раствора при охлаждении до 0 °С выделится x моль $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($M = 250$ г/моль). Тогда в полученном насыщенном растворе

$$w(\text{CuSO}_4) = 14,3 / (100 + 14,3) = (28,31 - 160x) / (100 - 250x).$$

$$x = 0,123. m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250x = 30,7 \text{ г}.$$

3. Выделить медь из раствора сульфата меди проще всего действием более активного металла, не реагирующего с водой:



Критерии оценивания:

Вещества X, Y, Z, M, L – по 1 баллу, всего

5 баллов

За каждое уравнение реакций (4 уравнения) – по 0,5 балла, всего

2 балла

(Принимается любой разумный способ извлечения меди.)

Расчёт массы кристаллогидрата

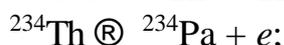
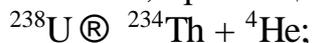
3 балла

Всего за задачу – 10 баллов

Задание 5. Ряд урана

Решение:

1. При α -распаде заряд ядра уменьшается на 2, при β -распаде увеличивается на 1. По условию, заряд ядра остался прежним, изменилось только массовое число, следовательно, происходят один α -распад и два β -распада. Уравнения реакций:



(Поскольку школьники не обязаны знать радиоактивные ряды, принимается любая последовательность из одного **a**- и двух **b**-распадов.)

2. Массовое число от урана-238 до свинца-206 уменьшилось на 32. Это означает, что произошло $32 / 4 = 8$ **a**-распадов (при **b**-распаде массовое число не меняется). За 8 **a**-распадов заряд ядра уменьшается на 16, а в ряду от урана ($Z = 92$) до свинца ($Z = 82$) он уменьшается всего на 10. Следовательно, дополнительно к **a**-распадам произошло ещё $16 - 10 = 6$ **b**-распадов.

3. За 10 миллионов лет распадётся:

$$N_{\text{расп.}}(\text{U}) = 10^6 \text{ атомов/с} \times (10^7 \times 365 \times 24 \times 3600) \text{ с} = 3,15 \times 10^{20} \text{ атомов урана};$$

$$n_{\text{расп.}}(\text{U}) = 3,15 \times 10^{20} / (6,02 \times 10^{23}) = 5,24 \times 10^{-4} \text{ моль.}$$

При распаде одного атома в течение всей цепочки распадов образуется 8 атомов гелия, поэтому

$$n(\text{He}) = 5,24 \times 10^{-4} \times 8 = 4,19 \times 10^{-3} \text{ моль};$$

$$V(\text{He}) = 4,19 \times 10^{-3} \times 22,4 = 0,094 \text{ л} = 94 \text{ мл.}$$

Критерии оценивания:

1. Уравнения ядерных реакций – по 1 баллу, всего **3 балла**

2. Число **a**- и **b**-распадов **3 балла**

3. Расчёт объёма гелия **4 балла**

из них

расчёт числа атомов урана – 2 балла,

расчёт числа молей гелия – 1 балл,

расчёт объёма гелия – 1 балл.

Всего за задачу – 10 баллов

Задание 6. Бинарные соединения свинца

Решение и система оценивания:

1. Из описания способов получения вещества **B** следует, что в условии задачи речь идёт об оксидах свинца. Таким образом, все вещества, **A**, **B** и **C**, являются оксидами свинца.

$$\text{A} - \text{Pb}_x\text{O}_y \quad x : y = \frac{86,61}{207} : \frac{13,39}{16} = 0,418 : 0,837 = 1 : 2$$



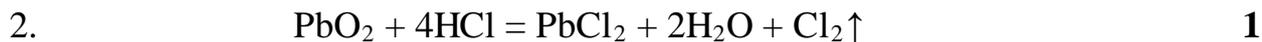
$$\text{B} - \text{Pb}_x\text{O}_y \quad x : y = \frac{92,83}{207} : \frac{7,17}{16} = 0,448 : 0,448 = 1 : 1$$



$$\text{C} - \text{Pb}_x\text{O}_y \quad x : y = \frac{90,66}{207} : \frac{9,34}{16} = 0,438 : 0,584 = 1 : 1,333 = 3 : 4$$



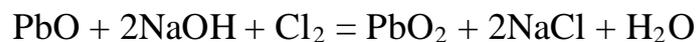
По 1 баллу за каждое вещество, всего 3 балла



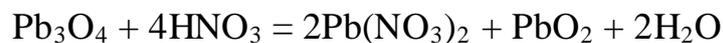
балл

3. Получение вещества **A**, PbO_2 .

Способ 1



Способ 2

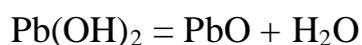


Получение вещества **B**, PbO .

Способ 1

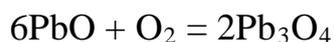


Способ 2



Получение вещества **C**, Pb_3O_4 .

Способ 1



Способ 2



**По 1 баллу за каждое верное уравнение реакции, всего 6 баллов.
Всего за задачу – 10 баллов**