

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ХИМИЯ. 2024 г. ПРИГЛАСИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП. 9 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальное количество баллов – 55

Задания № 1–2.

Д. И. Менделеев на основе сформулированного им периодического закона предсказал существование некоторых ещё не открытых к тому времени химических элементов.

Установите соответствия между названиями таких элементов, данными Менделеевым, и их современными названиями.

Ответ:

Экаалюминий	Галлий
Экасилиций	Германий
Тримарганец	Рутений
Экамарганец	Технеций
Двигеллур	Полоний
Экатантал	Протактиний

За каждую верную пару – 1 балл.

Максимальный балл за задание – 6

Решение.

Упоминание того факта, что Д. И. Менделеев предсказал существование галлия и германия, есть в школьной программе. Эти элементы по электронной конфигурации аналогичны алюминию и кремнию соответственно. «Силиций» – русифицированный вариант латинского слова «силициум». Используя ту же логику, понимаем, что экамарганец должен располагаться в периодической системе под марганцем. Это технеций. Тримарганец – следующий при движении вниз по группе аналог марганца с более чем утроенной атомной массой, рений. Двигеллур – аstat, а экатантал – протактиний.

Задание № 2.

Помимо предсказания новых, для некоторых уже известных элементов Менделеев скорректировал определённые ранее атомные веса, указав, что эти элементы на самом деле находятся в другой группе периодической системы и имеют другую валентность. Так, двухвалентный элемент, для которого атомный вес предполагался равным 75, оказался на самом деле трёхвалентным. Что это за элемент?

Ответ:

- Кадмий
- Индий
- Мышьяк
- Ванадий
- Алюминий
- Самарий
- Актиний

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Атомные массы элементов в XIX веке определяли на основе массовых соотношений, в которых они соединяются с другими элементами, например, кислородом. Это позволяет найти отношение атомной массы к валентности – так называемый эквивалент элемента, а вот сама атомная масса могла быть ошибочной, если были сделаны неверные предположения о валентности. Считая, что эквивалент $75 \div 2 = 37.5$ был определён приблизительно верно, найдём атомную массу трёхвалентного элемента: $37.5 \cdot 3 = 112.5$ а.е.м. Это ближе всего к кадмию, но он двухвалентен, а ближайший трёхвалентный элемент – индий.

Максимальный балл за задания №1-2 – 5

Задания № 3–4.

Бинарное соединение X имеет молярную массу 110 г/моль и состоит из трёх ионов с одинаковой электронной конфигурацией.

Запишите формулу X.

Ответ: K₂S

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Идентичная электронная конфигурация ионов говорит о том, что их молярные массы сходны, поэтому приблизительная молярная масса каждого из ионов близка к $110 \div 3 = 37$ г/моль. Такую молярную массу имеют анионы третьей группы (S^{2-} , Cl^-) и катионы четвёртой группы (K^+ , Ca^{2+} , Sc^{3+}). Если иона в составе три, то состав вещества либо A_2B , либо AB_2 (A – катион, B – анион), что соответствует либо K_2S , либо $CaCl_2$. Из этих веществ молярная масса 110 г/моль соответствует K_2S .

Задание № 4.

Запишите формулу другого бинарного соединения, состоящего из трёх ионов с той же самой электронной конфигурацией.

Ответ: CaCl₂

Точное совпадение ответа – 2 балла

Максимальный балл за задания №3-4 – 4

Задания № 5–7.

Томторское месторождение редкоземельных металлов, находящееся на севере Якутии, является одним из самых богатых в мире, но из-за своей удалённости только начинает осваиваться.



Установлено, что образец руды содержит 0.016 % Er, 0.37 % Tb, 0.008 % Y и 0.008 % Yb по массе.

Заполните пропуски целыми числами.

Это означает, что в образце руды на 1 атом иттербия приходится ... атомов иттрия, ... атомов тербия и ... атомов эрбия.

Это означает, что в образце руды на 1 атом иттербия приходится ... атомов иттрия

Ответ: 2

Точное совпадение ответа – 1 балл

Это означает, что в образце руды на 1 атом иттербия приходится ... атомов тербия

Ответ: 50

Точное совпадение ответа – 1 балл

Это означает, что в образце руды на 1 атом иттербия приходится ... атомов эрбия

Ответ: 2

Точное совпадение ответа – 1 балл

Максимальный балл за задание – 3

Решение.

Рассмотрим произвольную массу руды, например, 100000 г. Тогда такой образец будет содержать $x = \frac{100000 \cdot 0.016\%}{100\%} = 16$ г Er. Проведя аналогичный расчёт, получим, что массы Tb, Y и Yb составляют 370, 8 и 8 г соответственно. Используя атомные массы элементов ($M_r(\text{Er}) = 167$ г/моль, $M_r(\text{Tb}) = 159$ г/моль, $M_r(\text{Y}) = 89$ г/моль и $M_r(\text{Yb}) = 173$ г/моль), рассчитаем количества вещества элементов и их соотношения:

$$n(\text{Yb}) = 8 \text{ г} \div 173 \text{ г/моль} = 0.0462 \text{ моль}$$

$$n(\text{Y}) = 8 \text{ г} \div 89 \text{ г/моль} = 0.0900 \text{ моль}$$

$$n(\text{Tb}) = 370 \text{ г} \div 159 \text{ г/моль} = 2.327 \text{ моль}$$

$$n(\text{Er}) = 16 \text{ г} \div 167 \text{ г/моль} = 0.0958 \text{ моль}$$

Их соотношение равно $n(\text{Yb}) : n(\text{Y}) : n(\text{Tb}) : n(\text{Er}) = 1 : 2 : 50 : 2$

Задание № 6.

Сколько килограммов руды нужно переработать, чтобы получить по 1 кг всех четырёх вышеперечисленных редкоземельных элементов? Ответ округлите до целых.

Ответ: 12500

Точное совпадение ответа – 1 балл

Решение.

Для ответа на второй вопрос необходимо рассмотреть элементы, содержание которых в руде наименьшее по массе – это Y и Yb. Чтобы получить по 1 кг каждого из этих элементов, необходимо переработать $1 \div 0.00008 = 12500$ кг. Массы Er и Tb, добытых из той же массы руды, значительно превысят 1 кг.

Задание № 7.

Как называется семейство элементов, к которой относится большинство редкоземельных элементов?

Ответ: лантаноиды

Точное совпадение ответа – 1 балл

Максимальный балл за задание №5-7 – 5

Задания № 8-9.

Если в летучем водородном соединении X все атомы водорода заместить дейтерием, то массовая доля водорода в полученном соединении Y станет выше в 1.6 раза.

Запишите формулу водородного соединения X.

Ответ: CH₄

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Обозначим формулу летучего водородного соединения как XH_n, где X – неизвестный элемент.

Молярная масса такого соединения равна $M(\text{MX}_n) = M(\text{X}) + n$, а массовая доля водорода в этом веществе составляет:

$$\omega(\text{H}) = \frac{n}{M(\text{X}) + n}$$

Аналогичное соединение с дейтерием будет иметь формулу XD_n и молярную массу $M(\text{X}) + 2n$, а массовая доля дейтерия в веществе составит:

$$\omega(\text{D}) = \frac{2n}{M(\text{X}) + 2n}$$

Поделив эти выражения друг на друга, получим:

$$\frac{\omega(\text{D})}{\omega(\text{H})} = \frac{2n(M(\text{X}) + n)}{n(M(\text{X}) + 2n)} = 1.6$$

Выразив из данного уравнения $M(\text{X})$ через n , получим $M(\text{X}) = 3n$, что при $n = 4$ даёт 12 – молярную массу углерода. Это соответствует валентности данного элемента. Тогда искомое вещество – CH₄.

Задание № 9.

Вещество Y может быть получено при реакции между жидким при комнатной температуре бинарным соединением Z и бинарным соединением металла с углеродом. Запишите формулу Z.

Ответ: D₂O

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Соединения металлов с углеродом – карбиды – подвергаются гидролизу. Это самый простой способ получить соответствующее водородное соединение. Чтобы получить CD₄, вместо воды следует использовать D₂O – тяжёлую воду.

Максимальный балл за задания №8-9 – 4

Задания № 10–11.

Работая в Казанском университете, Карл Клаус открыл новый химический элемент, названный им рутением в честь латинского названия России (*Ruthenia*).



В процессе отделения рутения от других благородных металлов Клаус осадил его в виде соли, содержащей, помимо рутения, 20.2 % калия, 45.9 % хлора, 4.1 % кислорода и 3.6 % ещё одного элемента по массе.

Запишите символ этого элемента.

Ответ: N

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Запишем формулу соли как $\text{Ru}_a\text{K}_b\text{Cl}_c\text{O}_d\text{X}_e$, где $a-e$ – индексы, X – неизвестный элемент. Отношение индексов может быть связано с молярными массами элементов и их массовыми долями следующим образом:

$$a : b : c : d : e = \frac{\omega(\text{Ru})}{M(\text{Ru})} : \frac{\omega(\text{K})}{M(\text{K})} : \frac{\omega(\text{Cl})}{M(\text{Cl})} : \frac{\omega(\text{O})}{M(\text{O})} : \frac{\omega(\text{X})}{M(\text{X})}$$

$\omega(\text{Ru})$ составляет $100 - 20.2 - 45.9 - 4.1 - 3.6 = 26.2 \%$

Расчёт индексов по приведённому выше уравнению даёт $a : b : c : d = 1 : 2 : 5 : 1$, то есть формула вещества имеет вид $\text{RuK}_2\text{Cl}_5\text{OX}_e$. Если e равно 1, то $M(\text{X})$ из уравнения выше даёт 14, что соответствует азоту.

Задание № 11.

Сколько всего атомов всех элементов содержится в 1 формульной единице этой соли?

Ответ: 10

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Тогда формула вещества K_2RuCl_5NO . Символ элемента – N. Формульная единица соли содержит 10 атомов.

Максимальный балл за задания №10-11 – 4

Задания № 12–13.

В ходе работы с рутением Карл Клаус неоднократно ощущал резкий запах, который помог ему понять, что он имеет дело с неизвестным элементом.

Выберите формулу летучего вещества, являющегося сильным окислителем и источником этого запаха:

Ответ:

- RuO_4
- O_3
- Ru
- K_2RuCl_6
- $NaRuO_4$
- NO_2

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Неизвестное летучее вещество должно содержать новый элемент – рутений. Ионные соединения обладают крайне низкой летучестью, как и металлический рутений. Верный ответ – RuO_4 .

Задание № 13.

Помимо запаха, открыть рутений помог необычный вкус его соединений. Для Клауса, как и для многих других известных химиков того времени, язык был самым чувствительным аналитическим инструментом. Можно ли пробовать вещества на вкус в химической лаборатории?



Ответ:

- Можно
- Можно, если они имеют нейтральную реакцию раствора
- Можно, если это соединения благородных металлов
- Нельзя ни в коем случае

Точное совпадение ответа – 1 балл

Решение.

Любое вещество, находящееся в химической лаборатории, может оказаться опасным само по себе или содержать примеси опасных веществ, поэтому пробовать вещества на вкус в лаборатории нельзя ни в коем случае.

Максимальный балл за задания №12-13 – 3

Задания № 14–15.

Выберите вещества, 1 г которых можно употребить внутрь без нежелательных последствий для организма:

Ответ:

- H_2O
- H_2O_2
- NaCl
- BaCl_2
- BaSO_4
- CaCO_3
- BaCO_3
- RuCl_4

**За каждый верный ответ – 1 балл. За каждую ошибку снимается – 1 балл
Максимальный балл за задание – 4**

Решение.

Из приведённого списка человек ежедневно употребляет в количествах, превышающих 1 г, хлорид натрия и воду. Карбонат кальция в небольших количествах также не представляет вреда для организма. Соли бария ядовиты, однако малорастворимый сульфат бария в больших количествах принимают внутрь при перед рентгенографией кишечника в качестве контрастного агента. Остальные вещества в списке ядовиты.

Карбонат бария тоже малорастворим в воде, но образован слабой кислотой, поэтому будет растворяться в кислой среде в желудке, а ядовитые ионы бария будут переходить в раствор.

Задание № 15.

Суточная норма иода для человека составляет 0.15 мг. В аптеках иод продаётся в форме раствора в водно-спиртовой смеси с плотностью 0.926 г/мл, содержащего 5 % иода и 2 % иодида калия по массе, разлитого во флаконы ёмкостью 25 мл. Какое минимальное число таких флаконов потребуется, чтобы обеспечить суточную норму иода для человека от его рождения до выхода на пенсию в 65 лет? Прочими источниками иода в расчётах пренебречь.

Ответ: 3

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

За 65 лет человеку потребуется $0.15 \cdot 10^{-3} \cdot 65 \cdot 365 = 3.56$ г иода. Масса содержимого одного флакона равна $0.926 \cdot 25 = 23.15$ г; масса иода во флаконе равна $0.05 \cdot 23.15 = 1.16$ г, масса иодида – $0.02 \cdot 23.15 = 0.46$ г, а масса иода в иодиде – $0.46 \cdot 0.765 = 0.35$ г, где 0.765 – массовая доля иода в KI.

Всего 1 флакон содержит $1.16 + 0.35 = 1.51$ г иода, а 3.56 г соответствует 2.36 флакона. Значит, потребуется минимум 3 флакона.

Максимальный балл за задания №14-15 – 6

Задания № 16–17.

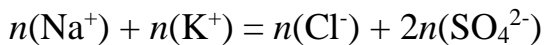
1.5 л некоторого раствора содержат 0.9 моль ионов натрия, 0.6 моль сульфат-ионов, 0.3 моль хлорид-ионов и ионы калия. Чему равна молярная концентрация ионов калия в растворе? Ответ округлите до десятых.

Ответ: 0.4

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Заряд положительных ионов в растворе должен быть скомпенсирован зарядом отрицательных ионов, так как раствор электронейтрален. Отсюда получаем следующее:



Коэффициент 2 перед количеством сульфат-иона возникает из-за того, что этот ион двухзарядный.

Решение данного уравнения даёт $n(\text{K}^+) = 0.6$ моль. Молярная концентрация ионов $C = n \div V = 0.6 \div 1.5 = 0.4$ моль/л.

Задание № 17.

Какая масса твёрдого остатка может быть получена при выпаривании раствора с последующим прокаливанием остатка? Считайте, что при этом кристаллогидраты теряют кристаллизационную воду. Ответ выразите в граммах, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [112; 113]

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

В остатке после упаривания будут твёрдые соли, не содержащие воды. Их общая масса может быть найдена суммированием масс образующих их ионов:

$$m = 0.9 \cdot 23 + 0.6 \cdot 39 + 0.6 \cdot 96 + 0.3 \cdot 35.5 = 112 \text{ г.}$$

Максимальный балл за задания №16-17 – 4

Задания № 18–20.

В бутылку с водой было помещено твёрдое бинарное соединение, содержащее 62.5 % кальция по массе.



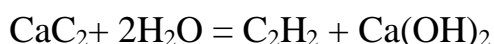
Выделившимся газом наполнили воздушные шары и подвесили их на верёвке. После поджигания шары лопнули, а их содержимое загорелось и взорвалось. Запишите формулу газа, которым были наполнены воздушные шары.

Ответ: C₂H₂

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Рассчитаем молярную массу неизвестного вещества, предположив, что оно содержит в составе 1 атом кальция: $M = 40 \div 0.625 = 64$ г/моль. За вычетом кальция получаем остаток 24 г/моль, который соответствует двум атомам углерода (магний не подходит, так как не образует летучих соединений). Искомое вещество имеет формулу CaC₂. При гидролизе такого вещества образуется соответствующее водородное соединение – C₂H₂ – ацетилен.



Задание № 19.

Воздушный шар наполнили газом из бутылки с водой, в которую было помещено твёрдое бинарное соединение, содержащее 95.2 % кальция по массе.



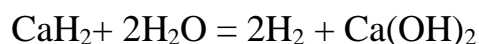
Запишите формулу этого соединения кальция.

Ответ: CaH₂

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Рассчитаем молярную массу другого неизвестного вещества, предположив, что оно содержит в составе 1 атом кальция: $M = 40 \div 0.952 = 42$ г/моль. За вычетом кальция получаем остаток 2 г/моль, который может соответствовать только двум атомам водорода. Искомое вещество имеет формулу CaH₂. При его гидролизе выделяется водород.



Задание № 20.

Что произойдёт с содержимым этого шара после попытки его поджечь?

Ответ:

- Загорится и взорвётся
- Не загорится
- Потушит пламя

Точное совпадение ответа – 1 балл

Максимальный балл за задания №18-20 – 5

Задания № 21–22.

Соль X при нагревании обратимо разлагается с образованием двух газообразных веществ Y и Z, не оставляя твёрдого остатка. Газ Y не окрашивает раствор фенолфталеина. В какой цвет окрашивает раствор фенолфталеина газ Z?

Ответ:

- красный
- оранжевый
- жёлтый
- зелёный
- голубой
- синий
- фиолетовый
- розовый

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Обратимое разложение соли на два газообразных вещества указывает на то, что это соль аммония, которая разлагается на аммиак и летучую кислоту. Кислоты не окрашивают раствор фенолфталеина, а аммиак будет создавать щелочную среду и окрашивать раствор фенолфталеина в розовый цвет.

Задание № 22.

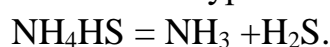
Плотность газа Y превышает плотность газа Z в 2 раза. Запишите формулу Y.

Ответ: H₂S

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Плотность газа пропорциональна его молярной массе. Если плотность Y вдвое превышает плотность аммиака (Z), то же справедливо и для молярных масс. Таким образом, необходимо найти летучую кислоту с молярной массой $17 \cdot 2 = 34$ г/моль. Это H₂S (фосфин PH₃ не образует солей с аммиаком). Соль X – NH₄HS, которая разлагается по уравнению:



Максимальный балл за задания №21-22 – 4

Задания № 23–24.

Диоксид титана TiO_2 широко используется в качестве белого пигмента. В зависимости от способа получения его точный стехиометрический состав может различаться из-за наличия дефектов в кристаллической структуре, что можно описать общей формулой TiO_{2-x} .

Определите среднюю степень окисления титана в оксиде при $x = 0.16$. Ответ округлите до сотых.

Ответ: 3.68

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

При $x = 0.16$ формула вещества $\text{TiO}_{1.84}$. Соединение электронейтрально, обозначим степень окисления титана за y . Получаем уравнение:

$$y - 2 \cdot 1.84 = 0,$$

решением которого является $y = 3.68$.

Задание № 24.

Дефектный оксид титана TiO_{2-x} можно представить как смесь двух оксидов: $\text{Ti}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$. Определите значение n для дефектного оксида титана с $x = 0.16$. Ответ округлите до сотых.

Ответ: 4.25

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Объединим индексы в формуле $\text{Ti}_2\text{O}_3 \cdot n\text{TiO}_2$, представив её как $\text{Ti}_{(2+n)}\text{O}_{(3+2n)}$. Отношение индекса кислорода к индексу титана должно составлять 1.84:

$$1.84 = \frac{3 + 2n}{2 + n}$$

Решением данного уравнения будет $n = 4.25$

Максимальный балл за задания №23-24 – 4

Задания № 25–26.

Добавление избытка раствора нитрата серебра в стакан с раствором, содержащим 13.2 г смеси хлорида и иодида одновалентного металла, привело к выпадению 20.5 г осадка. Запишите химический символ этого металла.

Ответ: К

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Предположим, что в растворе был только хлорид MeCl . Тогда его количество совпадает с количеством полученного из него хлорида серебра, то есть:

$$\frac{13.2}{M(\text{MeCl})} = \frac{20.5}{143.5}$$

Откуда $M(\text{MeCl}) = 92.4$ г/моль, а $M(\text{Me}) = 57.4$ г/моль.

Теперь предположим, что в растворе был только иодид MeI . Тогда справедливо:

$$\frac{13.2}{M(\text{MeI})} = \frac{20.5}{235}$$

Откуда $M(\text{MeI}) = 151.3$ г/моль, а $M(\text{Me}) = 24.3$ г/моль.

Мы установили граничные значения молярной массы металла. Если в растворе окажется смесь хлорида и иодида, молярная масса металла будет заключена между 24 и 57 г/моль. Среди щелочных металлов в этом диапазоне находится только калий.

Задание № 26.

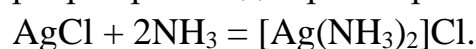
Запишите формулу вещества, которое останется на дне стакана после промывания осадка водным раствором аммиака.

Ответ: AgI

Точное совпадение ответа – 2 балла

Решение.

Осадок состоит из AgCl и AgI . Второй обладает гораздо меньшей растворимостью, поэтому не может быть растворён в присутствии аммиака. В случае же хлорида серебра происходит растворение в результате реакции:



Максимальный балл за задания №25-26– 4

Максимальный балл за работу – 55.