

Максимальное количество баллов за олимпиаду — 100

Задание 1. Согласно легенде, однажды в помещении, в котором хранились бочки с белой краской, возникло возгорание. После пожара люди с изумлением обнаружили, что краска приобрела другой цвет. Это связано с образованием в результате химической реакции бинарного соединения, которое также стало использоваться в качестве пигмента.

а) Запишите формулу соединения, образовавшегося в ящиках после пожара, если известно, что массовая доля металла в нём составляет 90.7 %.

Ответ: Pb_3O_4

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 6 баллов

б) Какой цвет приобрела краска?

Ответ:



Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 8

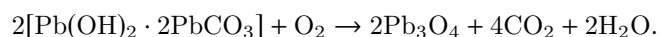
Решение.

а) Окрашенное бинарное соединение металла, которое образуется при прокаливании белой краски, вероятно, является оксидом M_xO_y . Для проверки этой гипотезы нужно воспользоваться данными о массовой доле металла и попробовать подобрать коэффициенты x и y таким образом, чтобы расчётная атомная масса металла в соединении была близка к атомной массе какого-либо металла в периодической системе:

$$\omega_M = \frac{x \cdot A_r(M)}{x \cdot A_r(M) + y \cdot A_r(O)} = 0.9067$$

$$A_r(M) = \frac{14.5072y}{0.0933x} = 155.5 \frac{y}{x}.$$

Расчёт для оксидов состава M_2O_n не даёт подходящих значений атомных масс металлов, однако при подстановке смешанного оксида M_3O_4 получаем $A_r(M) = 207.3$ г/моль, что соответствует свинцу. Следовательно, образовавшееся бинарное соединение — Pb_3O_4 . Белой краской в таком случае являлись свинцовые белила $\text{Pb}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{PbCO}_3$:



б) Pb_3O_4 имеет рыжую окраску, благодаря чему он с древних времён используется в качестве пигмента.

Задание 2. Чтобы отмыть одного далматина, нужно израсходовать 2 литра воды, предварительно нагретой до кипения. Сколько далматинов можно отмыть, использовав для нагревания воды один полный баллон с пропаном? Баллон объёмом 30 литров заполнялся пропаном при $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до давления 1.6 МПа, теплота сгорания пропана 2220 кДж/моль, теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °C), начальная температура воды $t_2 = 18^\circ\text{C}$.

Примите, что весь пропан из баллона полностью сгорает и вся выделяющаяся при этом теплота используется для нагревания воды в кастрюле. Считайте пропан идеальным газом, поведение которого описывается уравнением $pV = nRT$, где p — давление, V — объём, n — количество газа (моль), $R = 8.314$ Дж/К · моль, T — абсолютная температура (K).

Ответ: 63

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 8 баллов

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

Для определения объёма воды, который можно довести до кипения с помощью одного баллона с пропаном, нужно найти количество газа в баллоне. Для этого воспользуемся уравнением состояния идеального газа:

$$pV = nRT$$

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{1.6 \cdot 10^3 \cdot 30}{8.314 \cdot (273 + 20)} = 19.7 \text{ моль.}$$



Из условия известно, что теплота сгорания пропана равна 2220 кДж/моль, следовательно, при сгорании 19.7 моль пропана выделится теплота:

$$Q = 19.7 \cdot 2220 = 43734 \text{ кДж.}$$

Теперь возможно рассчитать массу воды, которую получится довести до кипения при условии, что вся теплота используется для нагрева воды:

$$Q = cm\Delta t,$$

где c — теплоёмкость воды, Дж/(кг · °C)

$$m = \frac{Q}{c\Delta t} = \frac{43734 \cdot 10^3}{4200 \cdot (100 - 18)} = 127 \text{ кг.}$$

Значит, одного баллона хватит для нагрева 127 л воды. Так как на каждого далматина требуется 2 л воды, одним полным баллоном пропана можно будет вскипятить воду для отмыwania 63 далматинов.

Задание 3. Юному химику на день рождения подарили древнеримскую монету. Поскольку он не интересовался историей или нумизматикой, то решил определить, из чего она сделана. Он отпилил от монеты кусок, который поместил в концентрированный раствор азотной кислоты. Кусок полностью растворился с образованием голубого раствора и выделением газа. После добавления к раствору избытка разбавленной щёлочи и фильтрования выпавшего голубого осадка юный химик получил фильтрат, подкисление которого азотной кислотой привело к образованию белого осадка, растворимого в водном аммиаке.

а) Запишите формулу голубого осадка.

Ответ: $\text{Cu}(\text{OH})_2$

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

б) Запишите химический символ металла, входящего в состав белого осадка.

Ответ: Zn

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

в) Какого цвета был выделившийся газ?

Ответ:

- Бесцветный
- ✓ Бурый
- Жёлто-зелёный
- Синий
- Циановый

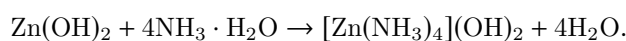
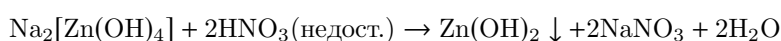
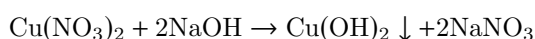
Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Для изготовления монет с древних времён использовался довольно узкий круг металлов. К ним относятся, например, золото, серебро, железо, никель, медь, олово и некоторые другие. Из перечисленных только медь может образовывать голубой раствор после помещения монеты в концентрированную азотную кислоту. Обработка полученного раствора разбавленной щёлочью приводит к выпадению голубого осадка гидроксида меди $\text{Cu}(\text{OH})_2$.

б) Способность белого осадка, образовавшегося в реакции фильтрата с азотной кислотой, растворяться в аммиаке говорит о том, что упомянутый осадок содержит цинк. Это предположение подтверждается проведёнными реакциями.



в) Растворение обоих металлов в концентрированной азотной кислоте сопровождается выделением NO_2 , окрашенного в бурый цвет.

Задание 4. Составьте из букв в фамилиях известных химиков названия химических веществ, например, БутлеРов — бор (В). Каждая буква в фамилии может быть использована только один раз.

Ответ:

Менделеев	CaCO_3
Арбузов	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Кавендиш	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$
Аррениус	AsH_3
Ломоносов	Sn
Гиллеспи	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Критерий оценивания: за каждую верную пару — 1 балл. Всего 6 баллов

Выберите фамилию учёного, впервые выделившего в чистом виде новый элемент:

Ответ:

- Менделеев
- Арбузов
- ✓ Кавендиш
- Аррениус
- Ломоносов
- Гиллеспи

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

а) Менделеев — мел — CaCO_3

Арбузов — бура — $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Кавендиш — декан — $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$

Аррениус — арсин — AsH_3

Ломоносов — олово — Sn

Гиллеспи — гипс — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

б) Кавендиш впервые выделил в чистом виде водород.

Задание 5. Студент Андрей Акинфеев, начинающий свой путь в мире нанотехнологий, нагревал графитовые электроды в электрической дуге в камере, заполненной инертным газом. В результате испарения одного из электродов на стенках камеры осела сажа, содержащая молекулы различных веществ, в том числе вещества X.

а) Запишите формулу вещества X, если известно, что его молярная масса равна 720 г/моль.

Ответ: C_{60}

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

б) В саже содержалось небольшое число молекул, масса которых на 2.8 % превышает массу молекул X. Запишите формулу газа, которым была заполнена камера.

Ответ: Ne

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

а) Большая молекулярная масса и условия получения вещества X позволяют предположить, что X — аллотропная модификация углерода C_n с большим числом атомов.

$$n = \frac{M(X)}{12} = \frac{720}{12} = 60.$$

Аллотропная модификация углерода с формулой C_{60} действительно существует — это фуллерен.

б) Масса некоторых молекул превышала массу молекул X на 2.8 %, следовательно, их масса равна:

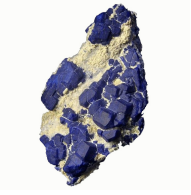
$$720 \cdot 1.028 = 740.16 \text{ г/моль.}$$

Массы молекул X и неизвестных молекул отличаются на $740.16 - 720 = 20.16$ г/моль. Нагревание электродов проводилось в атмосфере инертного газа, поэтому можно предположить, что в ходе эксперимента произошло включение атома инертного газа в молекулу фуллерена. Отличие масс на 20.16 г/моль соответствует включению в молекулу фуллерена 1 атома неона. Отсюда следует, что камера была наполнена неоном Ne.

Задание 6. Установите соответствие между изображениями и описаниями минералов.

В этом задании каждому варианту из левого столбца соответствует ровно один вариант из правого столбца. Ответы приведены ниже в нужном порядке.

Ответ:

Описание	Изображение
Драгоценный камень	
В больших количествах синтезируется в промышленности, используется как средство бытовой химии	
Распространённый минерал, иногда принимаемый за золото	
Ядовитый минерал, раньше использовавшийся в живописи	
Руда марганца	
Употребляется в пищу	

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. Всего 12 баллов

Максимальный балл за задание — 12

Решение.

Несколько из приведённых минералов имеют характерный вид. Так, кубические кристаллы с металлическим блеском свойственны пириту FeS_2 , который также иногда называют «золотом дураков» из-за его внешнего сходства с золотом.

Крупные прозрачные кристаллы насыщенного зелёного цвета свойственны изумруд, который является драгоценным камнем и активно используется при создании ювелирных изделий.

Прозрачные кубические кристаллы характерны для галита. Он представляет собой природный минерал поваренной соли NaCl , которая в свою очередь используется в большинстве блюд.

Самый известный минерал марганца — пиролюзит MnO_2 , встречается в виде маленьких чёрных кристаллов или в скрытокристаллической форме.

Отсутствие крупных кристаллов и золотисто-рыжая окраска свойственна очень узкому кругу минералов, наиболее известным из которых является аурипигмент (As_2S_3). Из-за содержащегося в составе мышьяка он токсичен, однако раньше использовался в живописи для изготовления красок.

Оставшийся минерал своим насыщенным синим цветом напоминает лазурит. Синтетический аналог лазурита — ультрамарин — используется в быту в качестве добавки к моющим средствам (синька).

Задание 7.

а) В одном химическом соединении массовые доли элементов составляют 65.3 %, 32.7 % и 2.1 %, а доли числа атомов соответствующих элементов от общего количества атомов — 57 %, 14 % и 29 %. Запишите формулу этого соединения.

Ответ: H_2SO_4

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

б) В другом соединении массовые доли элементов составляют 28.9 %, 39.2 % и 31.9 %, а доли числа атомов соответствующих элементов от общего количества атомов — 20 %, 60 % и 20 %. Запишите формулу этого соединения.

Ответ: KClO_3

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

Обозначим элементы, входящие в состав соединения, как A , B и C . Отношение атомных масс элементов можно определить делением их массовых долей на доли числа атомов соответствующего элемента от общего числа атомов:

$$A_r(A) : A_r(B) : A_r(C) = \frac{65.3}{57} : \frac{32.7}{14} : \frac{2.1}{29} = 1.146 : 2.336 : 0.072 = 15.9 : 32.44 : 1.$$

Малая масса C по отношению к элементам A и B позволяет предположить, что C — водород. Тогда исходя из соотношения атомных масс A — кислород, B — сера. Элементы присутствуют в атомном соотношении 4 : 1 : 2. Искомое соединение — серная кислота H_2SO_4 .

Аналогичный расчёт можно провести для второго соединения.

$$A_r(A) : A_r(B) : A_r(C) = \frac{28.9}{20} : \frac{39.2}{60} : \frac{31.9}{20} = 1.445 : 0.653 : 1.595 = 2.213 : 1 : 2.443.$$

Отношение числа атомов $A : B : C$ в молекуле 1 : 3 : 1. В этом соединении явно нет водорода, можно попробовать перебирать варианты элементов с наименьшей атомной массой. Если это кислород, по отношению атомных масс (35.4 : 16 : 39.1) находим, что A — хлор, C — калий. Таким образом, второе соединение — KClO_3 .

Задание 8.

Выберите оборудование, которое отсутствует на изображении:



Ответ:

- Штатив
- Делительная воронка
- Пробирка
- Холодильник
- ✓ Мензурка
- Весы

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 6 баллов

Максимальный балл за задание — 6

Задание 9. В 1980-х в СССР было начато использование синтина ($C_{10}H_{16}$) в качестве высокоэнергетического углеводородного ракетного топлива. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании 500 г синтина, если известно, что стандартные энтальпии образования синтина, H_2O (г) и CO_2 (г) равны 133, -241.81 и -393.51 кДж/моль соответственно? Ответ выразите в мегаджоулях, округлите до целых.

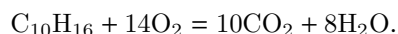
Ответ: 22

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 8 баллов

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

Зная стандартные энтальпии образования синтина, углекислого газа и воды, можно найти тепловой эффект реакции сгорания синтина. Для начала нужно записать уравнение протекающей при этом реакции:



Воспользуемся следствием из закона Гесса:

$$\Delta_r H^\circ = 10 \cdot \Delta_f H^\circ(CO_2) + 8 \cdot \Delta_f H^\circ(H_2O) - \Delta H^\circ(C_{10}H_{16}) = -10 \cdot 393.51 - 8 \cdot 241.81 - 133 = -6002.58 \text{ кДж/моль}.$$

Чтобы определить, сколько теплоты выделится при сгорании 500 г синтина, нужно найти его количество:

$$n(C_{10}H_{16}) = \frac{500}{M(C_{10}H_{16})} = \frac{500}{10 \cdot 12 + 16} \approx 3.68 \text{ моль}.$$

Тогда тепловой эффект реакции равен $3.68 \cdot 6002.58 = 22089 \text{ кДж} \approx 22 \text{ МДж}$.

Задание 10. Галогениды щелочных металлов выглядят очень похоже друг на друга — белые кристаллические соли, образующие бесцветные растворы в воде. Однако они отличаются по некоторым химическим и физическим свойствам.

Какие реагенты и оборудование помогут различить порошки $NaCl$ и KBr ?

Считайте, что в наличии также имеются дистиллированная вода и пустые ёмкости.

Ответ:

- ✓ Горелка с открытым пламенем
- Лакмусовая бумага
- ✓ Батарейка типа «Крона» (9 В)
- Na_3PO_4
- ✓ AgNO_3
- H_2SO_4 (разб)
- ✓ H_2SO_4 (конц)
- NH_3

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 2 балла. За каждую ошибку снимается 2 балла

Всего 8 баллов

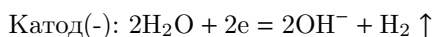
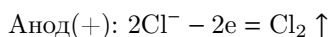
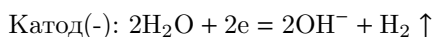
Максимальный балл за задание — 8

Решение.

NaCl и KBr можно различить с помощью горелки с открытым пламенем, так как ионы натрия окрашивают пламя в жёлто-оранжевый цвет, а ионы калия — в фиолетовый.

Лакмусовая бумага не позволяет различать NaCl и KBr , так как pH их водных растворов близки.

С помощью батарейки типа «Крона» можно различить растворы упомянутых солей. При погружении контактов батарейки в достаточно разбавленные растворы будет протекать электролиз. В случае NaCl на аноде будет в небольших количествах выделяться хлор в виде небольших пузырьков. При погружении батарейки в раствор KBr на аноде будет выделяться бром, который придаст раствору вокруг анода коричневый оттенок. При этом протекают следующие реакции:



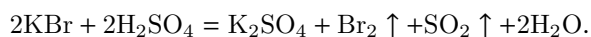
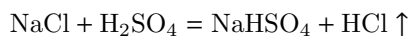
С фосфатом натрия NaCl и KBr не реагируют.

При добавлении AgNO_3 к растворам NaCl и KBr в первом случае выпадет белый творожистый осадок AgCl , а во втором — светло-жёлтый осадок AgBr . Отличающиеся цвета осадков позволяют различить NaCl и KBr .



С разбавленной серной кислотой NaCl и KBr не реагируют.

При добавлении концентрированной H_2SO_4 к твёрдому NaCl начинает выделяться хлороводород, а при добавлении её к KBr образуются бурые пары брома. Таким образом, можно различить NaCl и KBr .



С водным аммиаком NaCl и KBr не реагируют.

Задание 11. Минеральная вода содержит 250 мг/л ионов кальция, 900 мг/л ионов магния, 1300 мг/л ионов натрия, 2000 мг/л сульфат-ионов, 50 мг/л хлорид-ионов и гидрокарбонат-ионы. Других ионов в значительном количестве не содержится.

а) Определите концентрацию ионов натрия. Ответ выразите в ммоль/л, округлите до десятых.

Ответ: 56.5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

б) Определите концентрацию гидрокарбонат-ионов. Ответ выразите в мг/л, округлите до целых.

Ответ: 6158

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

Концентрация ионов натрия в воде равна 1300 мг/л. Это означает, что в 1 л воды содержится $\frac{1300}{A_r(\text{Na})} = \frac{1300}{23} = 56.5$ ммоль ионов натрия. Следовательно, его молярная концентрация равна 56.5 ммоль/л.

Согласно принципу электронейтральности, суммарный заряд катионов в растворе должен быть равен суммарному заряду анионов. Используя это утверждение, можно найти количество гидрокарбонат-ионов в 1 л воды:

$$\begin{aligned} n(\text{HCO}_3^-) &= n(\text{Na}^+) + 2n(\text{Mg}^{2+}) + 2n(\text{Ca}^{2+}) - 2n(\text{SO}_4^{2-}) - n(\text{Cl}^-) \\ &= \frac{1300}{23} + 2 \cdot \frac{900}{24} + 2 \cdot \frac{250}{40} - 2 \cdot \frac{2000}{32 + 4 \cdot 16} - \frac{50}{35.5} = 100.95 \text{ ммоль.} \end{aligned}$$

Таким образом, в 1 л воды содержится $100.95 \cdot M(\text{HCO}_3^-) = 100.95 \cdot 61 = 6158$ мг гидрокарбонат-ионов. Следовательно, их концентрация равна 6158 мг/л.

Задание 12. С каким выходом протекает обжиг пирита при производстве серной кислоты, если из 100 тонн пирита получается 95 тонн 93.6 %-ной серной кислоты, а в серную кислоту превращается 75 % молекул сернистого газа? Ответ выразите в процентах от теоретического, округлите до целых.

Ответ: 73

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 8 баллов

Максимальный балл за задание — 8

Решение.

При количественном выходе на всех стадиях из 1 моль пирита FeS_2 получается 2 моль серной кислоты H_2SO_4 . Значит, из 100 тонн пирита теоретически может получиться $100 \cdot \frac{2 \cdot 98}{120} = 163$ тонны кислоты. Реальный же выход составляет $\frac{95 \cdot 0.936}{163} \cdot 100 \% = 54.6 \%$. Значит, выход на первой стадии при обжиге пирита с образованием сернистого газа равен $\frac{0.546}{0.75} \cdot 100 \% = 73 \%$.