



**Олимпиада школьников «Ломоносов» по высоким технологиям
2024/25 учебный год. Отборочный этап. 11 класс
Решения задач. Критерии оценивания**

Задача по химии. Умный оксид (5 баллов)

Вариант 1



Умные стекла способны затемняться или наоборот становиться прозрачными при подаче электрического тока или при изменении температуры. В последнем случае речь идет о свойстве стекла, называемом термохромизмом. Умные стекла представляют собой материалы, состоящие из нескольких слоев, один из которых – это пленка термохромного вещества. В качестве одного из них используется оксид химического элемента, в формульной единице которого содержится 39 протонов.

Запишите химическую формулу этого оксида (подтвердите расчётом) и приведите уравнение реакции его получения.

Всего – 5 баллов: формула – 3 балла (без обоснования – 0 баллов), уравнение – 2 балла.

Решение варианта 1

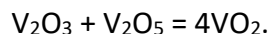
Общая формула оксидов – $\text{Э}_2\text{O}_n$ для нечётного n и $\text{ЭO}_{n/2}$ – для чётного. Первый вариант не подходит, так как в атоме кислорода – 8 электронов, следовательно, общее число протонов в формульной единице $\text{Э}_2\text{O}_n$ – чётное. Проверяем чётное n :

$$n = 2, \text{ЭO}, \text{ число протонов в атоме Э} = 39 - 8 = 31.$$

31-й элемент – галлий, не подходит по валентности в оксиде и к тому же не является переходным металлом.

$$n = 4, \text{ЭO}_2, \text{ число протонов в атоме Э} = 39 - 16 = 23.$$

23-й элемент – ванадий, по валентности подходит, оксид – VO_2 . Способ получения – нагревание смеси оксидов ванадия(III) и ванадия(V):



Ответ. VO_2

Вариант 2

Электрохромные материалы – "умные", они способны изменять свои оптические свойства под действием внешнего напряжения. Одним из веществ, используемых в таких материалах, является оксид переходного металла. В формульной единице оксида содержится 98 протонов.

Запишите химическую формулу этого оксида (подтвердите расчётом) и приведите уравнение реакции его получения.

Всего – 5 баллов: формула – 3 балла (без обоснования – 0 баллов), уравнение – 2 балла.

Решение варианта 2

Общая формула оксидов – E_2O_n для нечётного n и $\text{EO}_{n/2}$ – для чётного. Подбором находим решение, удовлетворяющее всем условиям – оксид вольфрама(VI) WO_3 .

Число протонов в формульной единице: $74 + 3 \cdot 8 = 98$.

Самый простой способ получения WO_3 – разложение вольфрамовой кислоты:



Ответ. WO_3

Вариант 3

Электрохромные материалы – "умные", они способны изменять свои оптические свойства под действием внешнего напряжения. Одним из веществ, используемых в таких материалах, является высший оксид переходного металла. В формульной единице оксида содержится 86 протонов.

Запишите химическую формулу этого оксида (подтвердите расчётом) и приведите уравнение реакции его получения.

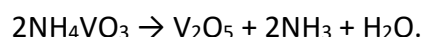
Всего – 5 баллов: формула – 3 балла (без обоснования – 0 баллов), уравнение – 2 балла.

Решение варианта 3

Общая формула оксидов – $\text{Э}_2\text{O}_n$ для нечётного n и $\text{ЭO}_{n/2}$ – для чётного. Подбором находим решение, удовлетворяющее всем условиям – оксид ванадия(V): V_2O_5 .

Число протонов в формульной единице: $2 \cdot 23 + 5 \cdot 8 = 86$.

Самый простой способ получения V_2O_5 – разложение метаванадата аммония на воздухе:



Ответ. V_2O_5

Вариант 4



Электрохромные материалы – "умные", они способны изменять свои оптические свойства под действием внешнего напряжения. Одним из веществ, используемых в таких материалах, является высший оксид переходного металла. В формульной единице оксида содержится 122 протона.

Запишите химическую формулу этого оксида (подтвердите расчётом) и приведите уравнение реакции его получения.

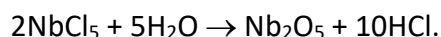
Всего – 5 баллов: формула – 3 балла (без обоснования – 0 баллов), уравнение – 2 балла.

Решение варианта 4

Общая формула оксидов – $\text{Э}_2\text{O}_n$ для нечётного n и $\text{ЭO}_{n/2}$ – для чётного. Подбором находим решение, удовлетворяющее всем условиям – оксид ниобия(V): Nb_2O_5 .

Число протонов в формульной единице: $2 \cdot 41 + 5 \cdot 8 = 122$.

Самый простой способ получения Nb_2O_5 – гидролиз хлорида ниобия(V):



Ответ. Nb_2O_5

Задача по химии. Горячее питание (8 баллов)

Вариант 1

В Китае часто нужно быстро разогреть пищу, для этого используют специальные пакеты типа тех, которые показаны на рисунках:



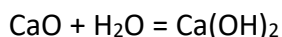
1. Предположите, как можно использовать пакет для разогрева пищи. (2 балла)
2. Напишите все возможные химические реакции, которые при этом протекают. (5 баллов)
3. Зачем вместе с этим пакетом обычно кладут пакет с обычной водой? (1 балл)

Всего – 8 баллов

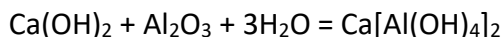
Решение варианта 1

На пакете написано, что разогревающая смесь содержит порошок металлического алюминия, оксид кальция (“негашеную известь”) и бикарбонат натрия (пищевую соду).

1. Для того, чтобы разогреть пищу, нужно, чтобы произошло максимальное количество экзотермических реакций со всеми компонентами пакета (с выделением тепла), при этом желательно, чтобы добавляемый реагент был дешевым и в свободном доступе, а также чтобы он не был бы токсичным. Идеально подходит под это описание вода. Таким образом, чтобы процесс разогрева пищи начался, пакет без внешней полимерной оболочки (внутренняя оболочка представляет собой проницаемую ткань) был просто брошен в воду. Можно, конечно, высыпать содержимое в воду, но лучше поместить в воду внутренний водонепроницаемый пакет.
2. С водой легче всего (и сразу же) начинает реагировать оксид кальция, происходит его гидратация:

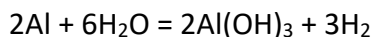


Раствор гидроксида кальция в воде является щелочью и легко снимает оксидную пленку с порошка алюминия, которая всегда присутствует на поверхности алюминия:



(условная формула, состав реальных продуктов гораздо сложнее).

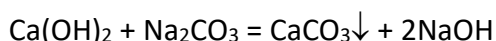
После этого алюминий легко реагирует с водой (реально – с раствором щелочи Ca(OH)_2)



При разогреве смеси выше примерно 60 °C (на практике смесь разогревается выше температуры кипения воды!) начинает разлагаться бикарбонат натрия:



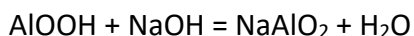
При этом формирование карбонат-иона может вызвать осаждение малорастворимого карбоната кальция:



При нагревании (особенно в присутствии щелочи) аморфный гидроксид алюминия частично кристаллизуется и частично дегидратируется («стареет») с образованием различных аморфных, а затем и кристаллических форм AlOOH (скорее всего, полной потери воды при этих температурах не произойдет):



В качестве побочного возможно взаимодействие щелочи с гидратированным оксидом алюминия, например, такое:



3. Прилагающийся пакет воды может быть использован для регидратации сублимированных лапши или отварного риса при нагревании химической грелкой снизу и выдерживании, или же его можно использовать для работы «химической грелки».

Вариант 2

В Китае часто нужно быстро разогреть пищу, для этого используют специальные пакеты типа тех, которые показаны на рисунках:



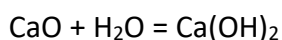
1. Предположите, как можно использовать пакет для разогрева пищи. (2 балла)
2. Напишите все возможные химические реакции, которые при этом протекают. (5 баллов)
3. Какие из реакций являются сильно экзотермическими? (1 балл)

Всего – 8 баллов

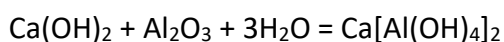
Решение варианта 2

На пакете написано, что разогревающая смесь содержит порошок металлического алюминия, оксид кальция (“негашеную известь”) и бикарбонат натрия (пищевую соду).

1. Для того, чтобы разогреть пищу, нужно, чтобы произошло максимальное количество экзотермических реакций со всеми компонентами пакета (с выделением тепла), при этом желательно, чтобы добавляемый реагент был дешевым и в свободном доступе, а также чтобы он не был бы токсичным. Идеально подходит под это описание вода. Таким образом, чтобы процесс разогрева пищи начался, пакет без внешней полимерной оболочки (внутренняя оболочка представляет собой проницаемую ткань) был просто брошен в воду. Можно, конечно, высыпать содержимое в воду, но лучше поместить в воду внутренний водонепроницаемый пакет.
2. С водой легче всего (и сразу же) начинает реагировать оксид кальция, происходит его гидратация:

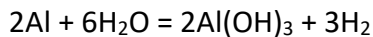


Раствор гидроксида кальция в воде является щелочью и легко снимает оксидную пленку с порошка алюминия, которая всегда присутствует на поверхности алюминия:

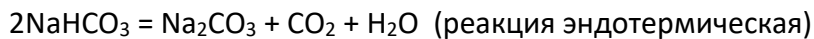


(условная формула, состав реальных продуктов гораздо сложнее).

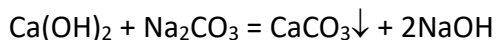
После этого алюминий легко реагирует с водой (реально – с раствором щелочи Ca(OH)_2)



При разогреве смеси выше примерно 60 °C (на практике смесь разогревается выше температуры кипения воды!) начинает разлагаться бикарбонат натрия:



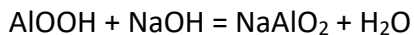
При этом формирование карбонат-иона может вызвать осаждение малорастворимого карбоната кальция:



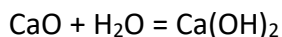
При нагревании (особенно в присутствии щелочи) аморфный гидроксид алюминия частично кристаллизуется и частично дегидратируется («стареет») с образованием различных аморфных, а затем и кристаллических форм AlOOH (скорее всего, полной потери воды при этих температурах не произойдет):



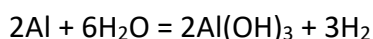
В качестве побочного возможно взаимодействие щелочи с гидратированным оксидом алюминия, например, такое:



3. Из всех возможных реакций самых экзотермических только две: гидратация оксида кальция



и реакция алюминия с водой



Обе эти реакции по отдельности (а тем более совместно) могут довести воду до кипения.

Вариант 3

В Китае часто нужно быстро разогреть пищу, для этого используют специальные пакеты типа тех, которые показаны на рисунках:



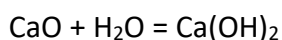
1. Предположите, как можно использовать пакет для разогрева пищи. (2 балла)
2. Напишите все возможные химические реакции, которые при этом протекают. (5 баллов)
3. Почему содержимое пакета запрещено сыпать в горячую воду? (1 балл)

Всего – 8 баллов

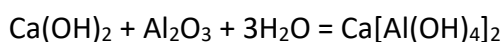
Решение варианта 3

На пакете написано, что разогревающая смесь содержит порошок металлического алюминия, оксид кальция (“негашеную известь”) и бикарбонат натрия (пищевую соду).

1. Для того, чтобы разогреть пищу, нужно, чтобы произошло максимальное количество экзотермических реакций со всеми компонентами пакета (с выделением тепла), при этом желательно, чтобы добавляемый реагент был дешевым и в свободном доступе, а также чтобы он не был бы токсичным. Идеально подходит под это описание вода. Таким образом, чтобы процесс разогрева пищи начался, пакет без внешней полимерной оболочки (внутренняя оболочка представляет собой проницаемую ткань) был просто брошен в воду. Можно, конечно, высыпать содержимое в воду, но лучше поместить в воду внутренний водонепроницаемый пакет.
2. С водой легче всего (и сразу же) начинает реагировать оксид кальция, происходит его гидратация:



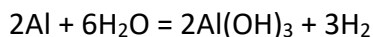
Раствор гидроксида кальция в воде является щелочью и легко снимает оксидную пленку с порошка алюминия, которая всегда присутствует на поверхности алюминия:



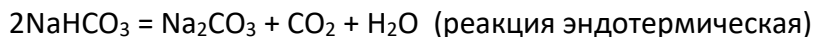


(условная формула, состав реальных продуктов гораздо сложнее).

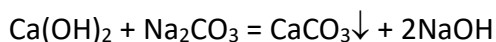
После этого алюминий легко реагирует с водой (реально – с раствором щелочи $\text{Ca}(\text{OH})_2$)



При разогреве смеси выше примерно 60 °C (на практике смесь разогревается выше температуры кипения воды!) начинает разлагаться бикарбонат натрия:



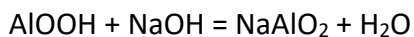
При этом формирование карбонат-иона может вызвать осаждение малорастворимого карбоната кальция:



При нагревании (особенно в присутствии щелочи) аморфный гидроксид алюминия частично кристаллизуется и частично дегидратируется («стареет») с образованием различных аморфных, а затем и кристаллических форм AlOOH (скорее всего, полной потери воды при этих температурах не произойдет):



В качестве побочного возможно взаимодействие щелочи с гидратированным оксидом алюминия, например, такое:



3. При взаимодействии с горячей водой реакции происходят слишком бурно, с образованием большого количества водяного пара, особенно сильно ускоряется реакция взаимодействия алюминия с водой (раствором щелочи). Кроме того, бикарбонат натрия начинает сразу разлагаться до карбоната, гидроксид кальция в меньшей степени нейтрализуется до карбоната кальция, поэтому конечный раствор, получающийся при нагревании воды “химической грелкой”, приобретет сильно щелочной характер и может быть опасен для рук и глаз голодного человека (при парообразовании и при сливании конечного раствора из посуды).

Вариант 4

В Китае часто нужно быстро разогреть пищу, для этого используют специальные пакеты типа тех, которые показаны на рисунках:



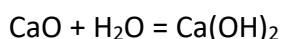
1. Предположите, как можно использовать пакет для разогрева пищи. (2 балла)
2. Напишите все возможные химические реакции, которые при этом протекают. (5 баллов)
3. Предположите, почему при использовании этого пакета обычно срабатывают потолочные пожарные датчики? (1 балл)

Всего – 8 баллов

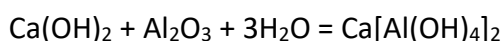
Решение варианта 4

На пакете написано, что разогревающая смесь содержит порошок металлического алюминия, оксид кальция (“негашеную известь”) и бикарбонат натрия (пищевую соду).

1. Для того, чтобы разогреть пищу, нужно, чтобы произошло максимальное количество экзотермических реакций со всеми компонентами пакета (с выделением тепла), при этом желательно, чтобы добавляемый реагент был дешевым и в свободном доступе, а также чтобы он не был бы токсичным. Идеально подходит под это описание вода. Таким образом, чтобы процесс разогрева пищи начался, пакет без внешней полимерной оболочки (внутренняя оболочка представляет собой проницаемую ткань) был просто брошен в воду. Можно, конечно, высыпать содержимое в воду, но лучше поместить в воду внутренний водопроницаемый пакет.
2. С водой легче всего (и сразу же) начинает реагировать оксид кальция, происходит его гидратация:



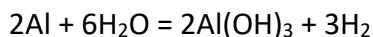
Раствор гидроксида кальция в воде является щелочью и легко снимает оксидную пленку с порошка алюминия, которая всегда присутствует на поверхности алюминия:



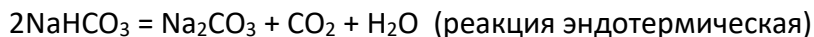


(условная формула, состав реальных продуктов гораздо сложнее).

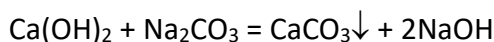
После этого алюминий легко реагирует с водой (реально – с раствором щелочи $\text{Ca}(\text{OH})_2$)



При разогреве смеси выше примерно 60 °C (на практике смесь разогревается выше температуры кипения воды!) начинает разлагаться бикарбонат натрия:



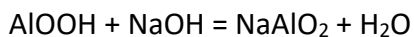
При этом формирование карбонат-иона может вызвать осаждение малорастворимого карбоната кальция:



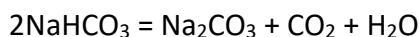
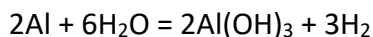
При нагревании (особенно в присутствии щелочи) аморфный гидроксид алюминия частично кристаллизуется и частично дегидратируется («стареет») с образованием различных аморфных, а затем и кристаллических форм AlOOH (скорее всего, полной потери воды при этих температурах не произойдет):



В качестве побочного возможно взаимодействие щелочи с гидратированным оксидом алюминия, например, такое:



3. Пожарные датчики бывают различных типов, обычно они реагируют на продукты горения (CO_2), изменение прозрачности воздуха из-за наличия взвешенных частиц, то есть дыма (иногда реагируют даже на сконденсировавшиеся в воздухе пары воды из носика кипящего чайника). В помещениях с газовыми плитами ставят специальные высокочувствительные датчики (обычно термokatалитические или полупроводникового типа), которые реагируют на утечку топлива (горючего газа типа метана CH_4) и также легко могут реагировать на небольшие примеси в воздухе легкого, поднимающегося к потолку (где находится датчик) водорода (он тоже очень легко горит), то есть причиной срабатывания датчика могут быть следующие реакции:



Задача по химии (12 баллов)**Вариант 1. Нанодетектор**

Вещество С в нанокристаллической форме можно использовать в качестве детектора ультрафиолетового излучения. Оно состоит из трёх элементов, причём массовая доля элемента с наименьшей атомной массой в С составляет 25.5%. Вещество С можно получить твердофазным спеканием бинарных веществ А и В. При добавлении 0.400 г вещества А к раствору нитрата серебра образуется 0.353 г светло-жёлтого осадка вещества D, которое использовалось в прошлом столетии в качестве фоточувствительного материала (*реакция 1*). Вещество В получают при пропускании газа F через раствор, содержащий медный купорос и вещество E, являющееся аналогом хлорида натрия (*реакция 2*). При пропускании 840 мл (н.у.) газа F через известковую воду образуется 4.50 г осадка вещества G (*реакция 3*). Вещество В окисляется горячей концентрированной серной кислотой, при этом выделяются бурые пары простого вещества H (*реакция 4*).

Определите вещества А-Н. Напишите уравнения реакций 1-4.

(В расчётах используйте целочисленные атомные массы).

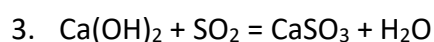
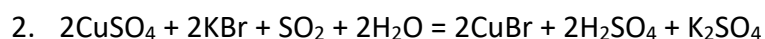
8 веществ и 4 реакции по 1 баллу – всего 12 баллов.

Решение варианта 1

А – CsBr, В – CuBr, С – CsCu₂Br₃ ($\omega(\text{Cu}) = 2 \cdot 64 / 501 = 0.255$),

D – AgBr, E – KBr, F – SO₂, G – CaSO₃, H – Br₂.

Уравнения реакций:



Вариант 2. Наноизлучатель

Вещество С, которое возможно использовать в качестве люминесцентного материала, состоит из трёх элементов. Массовая доля элемента с наименьшей атомной массой в С составляет 13.8%. Одним из способов получения данного вещества является твердофазное спекание бинарных веществ А и В. При добавлении 0.400 г вещества А к раствору нитрата серебра образуется 0.353 г светло-жёлтого осадка вещества D, которое использовалось в прошлом столетии в качестве фоточувствительного материала (*реакция 1*). Вещество В получают при пропускании газа F через раствор, содержащий медный купорос и вещество Е, являющееся аналогом хлорида натрия (*реакция 2*). При пропускании 840 мл (н.у.) газа F через известковую воду образуется 4.50 г осадка вещества G (*реакция 3*). Вещество В окисляется горячей концентрированной серной кислотой, при этом выделяются бурые пары простого вещества Н (*реакция 4*).

Определите вещества А-Н. Напишите уравнения реакций 1-4.

(В расчётах используйте целочисленные атомные массы).

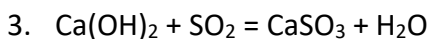
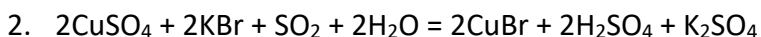
8 веществ и 4 реакции по 1 баллу – всего 12 баллов.

Решение варианта 2

А – CsBr, В – CuBr, С – Cs₃Cu₂Br₅ ($\omega(\text{Cu}) = 2 \cdot 64 / 927 = 0.138$),

D – AgBr, Е – KBr, F – SO₂, G – CaSO₃, Н – Br₂.

Уравнения реакций:



Вариант 3. Нанодетектор

Вещество С в нанокристаллической форме можно использовать в качестве детектора ультрафиолетового излучения. Оно состоит из трёх элементов, причём массовая доля элемента с наименьшей атомной массой в С составляет 19.9%. Вещество С можно получить твердофазным спеканием бинарных веществ А и В. При добавлении 0.300 г вещества А к раствору нитрата серебра образуется 0.271 г желтого осадка вещества D, которое применяют для разгона облаков (*реакция 1*). Вещество В получают при пропускании газа F через раствор, содержащий медный купорос и вещество Е, которое используют в качестве добавки к поваренной соли (*реакция 2*). При пропускании 840 мл (н.у.) газа F через известковую воду образуется 4.50 г осадка вещества G (*реакция 3*). Вещество В окисляется горячей концентрированной серной кислотой, при этом выделяются фиолетовые пары простого вещества H (*реакция 4*).

Определите вещества А-Н. Напишите уравнения реакций 1-4.

(В расчётах используйте целочисленные атомные массы).

8 веществ и 4 реакции по 1 баллу – всего 12 баллов.

Решение варианта 3

A – CsI, B – CuI, C – CsCu₂I₃ ($\omega(\text{Cu}) = 2 \cdot 64 / 642 = 0.199$),

D – AgI, E – KI, F – SO₂, G – CaSO₃, H – I₂.

Уравнения реакций:

1. $\text{CsI} + 2\text{CuI} = \text{CsCu}_2\text{I}_3$
2. $2\text{CuSO}_4 + 2\text{KI} + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuI} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$
3. $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SO}_2 = \text{CaSO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
4. $2\text{CuI} + 4\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{CuSO}_4 + \text{I}_2 + 2\text{SO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$

Вариант 4. Нанодиод

Вещество С в нанокристаллической форме можно использовать в качестве материала для светодиодов. Оно состоит из трёх элементов, причём массовая доля элемента с наименьшей атомной массой в С составляет 11.0%. Вещество С можно получить твердофазным спеканием бинарных веществ А и В. При добавлении 0.300 г вещества А к раствору нитрата серебра образуется 0.271 г желтого осадка вещества D, которое применяют для разгона облаков (*реакция 1*). Вещество В получают при пропускании газа F через раствор, содержащий медный купорос и вещество Е, которое используют в качестве добавки к поваренной соли (*реакция 2*). При пропускании 840 мл (н.у.) газа F через известковую воду образуется 4.50 г осадка вещества G (*реакция 3*). Вещество В окисляется горячей концентрированной серной кислотой, при этом выделяются фиолетовые пары простого вещества Н (*реакция 4*).

Определите вещества А-Н. Напишите уравнения реакций 1-4.

(В расчётах используйте целочисленные атомные массы).

8 веществ и 4 реакции по 1 баллу – всего 12 баллов.

Решение варианта 4

А – CsI, В – CuI, С – $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$ ($\omega(\text{Cu}) = 2 \cdot 64 / 1162 = 0.110$),

D – AgI, Е – KI, F – SO_2 , G – CaSO_3 , Н – I_2 .

Уравнения реакций:

1. $3\text{CsI} + 2\text{CuI} = \text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$
2. $2\text{CuSO}_4 + 2\text{KI} + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuI} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$
3. $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SO}_2 = \text{CaSO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
4. $2\text{CuI} + 4\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{CuSO}_4 + \text{I}_2 + 2\text{SO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$