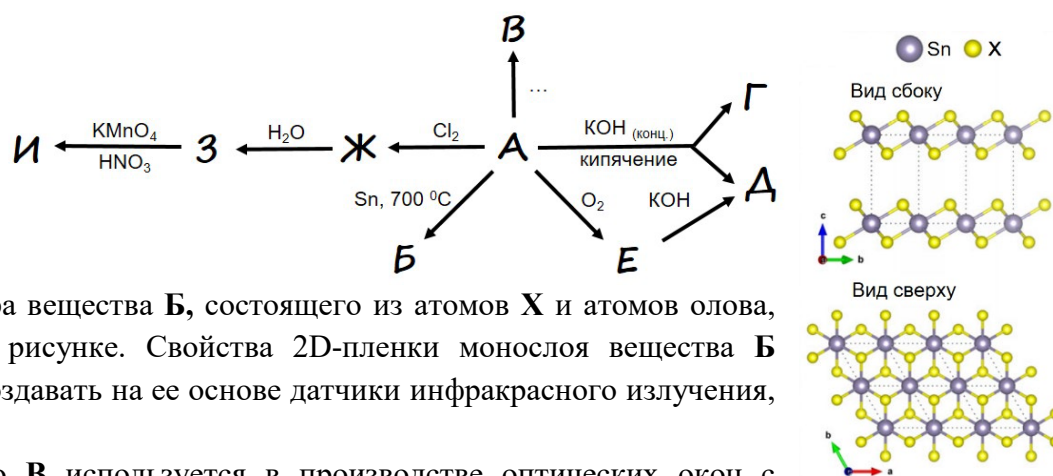


Вариант II

1. Выпускники МФТИ Андрей Гейм и Константин Новоселов начали исследование двумерных материалов в 2004 году, за что впоследствии получили Нобелевскую премию. Такие 2D-материалы имеют толщину всего в несколько атомных слоев, что и определяет их уникальные свойства.

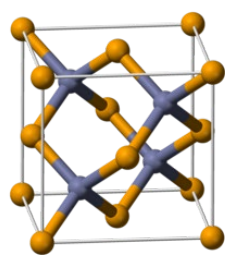
Активно развиваются исследования перспективных 2D-материалов на основе соединений элемента X. Простое вещество A элемента X и многие его соединения являются полупроводниками, а их проводимость увеличивается при воздействии тепла и света, что придает особые свойства получаемому материалу. Приведенная схема описывает превращения веществ A-И, содержащих X.

Массовая доля X в веществе E равна 80,0 %, а плотность паров вещества Ж составляет 12,0 г/л (н.у.).



Структура вещества B, состоящего из атомов X и атомов олова, показана на рисунке. Свойства 2D-пленки монослоя вещества B позволяют создавать на ее основе датчики инфракрасного излучения, биосенсоры.

Вещество B используется в производстве оптических окон с широким пропусканием в инфракрасном спектре, а из его тонких пленок изготавливают солнечные панели. По некоторым данным, такие панели обладают меньшим углеродным следом и более дешевы, чем кремниевые. Плотность B составляет 5,86 г/см³. В приведенной на рисунке кубической элементарной ячейке B атомы X находятся в вершинах и центрах граней, а атомы второго элемента занимают тетраэдрические пустоты внутри ячейки, при этом длина ребра куба (параметр решетки) составляет 6,478 Å (1 Å = 10⁻¹⁰ м).



Элементарная ячейка B

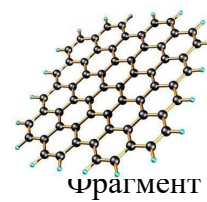
Справка: Частицы кристаллических веществ имеют строго определенное расположение, что можно представить в виде пространственного каркаса – кристаллической решетки. Кристаллическая решетка состоит из фрагментов – элементарных ячеек, имеющих минимальный объем и обладающих всеми свойствами решетки. Во всех направлениях ячейки повторяются, и каждый атом входит в состав одной или нескольких ячеек.

Структура B

- 1) Какой материал исследовали А. Гейм и К. Новосёлов?
- 2) Установите формулы веществ А-И.
- 3) Напишите уравнения реакций, приведенных на схеме.

Решение:

1. Двумерный материал, который исследовали ученые – графен, двумерная аллотропная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом, обладающий проводимостью, прочностью, стабильностью, гибкостью.



Фрагмент структуры графена

2. Установить **X** можно различными рассуждениями. Например, можно начать с того, что **E** – оксид вида X_2O_n , где n – степень окисления **X**. В таком случае массовая доля **X** в нем составляет:

$$\omega(X) = \frac{2A_r(X)}{2A_r(X) + nA_r(O)} = 0,80, \text{ откуда } A_r(X) = 32 \cdot n.$$

Хорошее соответствие степени окисления и атомной массы получаем при $n = 4$, **X** – теллур, **E** – TeO_2 . Это подтверждается молярной массой хлорида **Ж** – $TeCl_4$:

$$M(XCl_n) = V_m \rho = 22,4 \cdot 12,0 = 269 = 128 + 35,5 \cdot 4.$$

Реакция кислотного оксида и щелочи приводит к образованию соли – теллурита натрия **Д** – Na_2TeO_3 . Его образование в реакции теллура со щелочью указывает на диспропорционирование, тогда **Г** – теллурид натрия Na_2Te . Гидролиз хлорида приводит к получению гидратированного оксида **З** – $TeO_2 \cdot nH_2O$, окислением которого можно получить соединение теллура в высшей степени окисления – ортотеллуровую кислоту **И** – H_6TeO_6 .

Вещество **Б** – очевидно, некоторый теллурид олова. Из его структуры видно, что каждый атом теллура взаимодействует с 3 атомами олова, а 1 атом олова связан с 6 атомами теллура: таким образом, на 1 атом олова приходится 2 атома теллура, это $SnTe_2$.

Проанализируем ячейку вещества **В**: в ее состав полностью входят 4 атома некоторого элемента **Y**, 6 атомов теллура в центрах граней (каждый из которых принадлежит 2 ячейкам, то есть на 1 ячейку приходится 3 атома) и 8 атомов теллура в вершинах (каждый из которых принадлежит 8 ячейкам, то есть на 1 ячейку приходится 1 атом). Таким образом, 1 ячейка содержит 4 формульные единицы вида **XY**. Тогда на 1 единицу приходится

$$m(XY) = \frac{(6,478 \cdot 10^{-10} \text{ м})^3 \cdot (5,86 \cdot 10^6 \text{ г/м}^3)}{4} = 3,98 \cdot 10^{-22} \text{ г, что соответствует}$$

$$M(XY) = m(XY) \cdot N_A = 3,98 \cdot 10^{-22} \text{ г} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 239,7 \text{ г/моль}$$

Это теллурид кадмия $CdTe$.

Ответ

1. Графен

2. Зашифрованные вещества:

1. **A** – Te

Г – K_2Te

Ж – $TeCl_4$

Б – $SnTe_2$

Д – K_2TeO_3

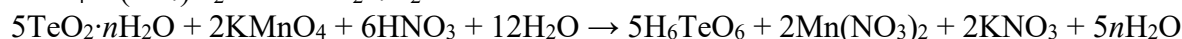
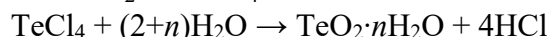
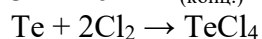
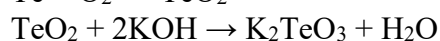
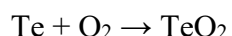
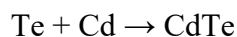
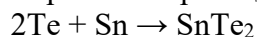
З – $TeO_2 \cdot nH_2O$ (принимается H_2TeO_3)

В – $CdTe$

Е – TeO_2

И – H_6TeO_6 (принимается H_2TeO_4)

3. Уравнения реакций:



Критерии оценивания

1. Указание на графен - 1 балл

2. Определение формул:

А - 2 балла

Б - 2 балла

В - 3 балла

Г, Д, Е, Ж, З, И по 1 баллу - всего 6 баллов.

3. Уравнения реакций:

$A \rightarrow \Gamma + Д$ - 1 балл

$E \rightarrow Д$ - 1 балл

$Ж \rightarrow З$ - 2 балла

$З \rightarrow И$ - 2 балла

2. Известный минерал имеет состав $A_aB_bC_cD_dE_e$. Установите элементный состав минерала, учитывая следующие факты.

1) Четыре элемента, входящие в состав минерала, являются неметаллами.

2) Элемент **В** следует непосредственно за элементом **А** в Периодической системе.

Простые вещества, состоящие из атомов **А** и из атомов **В**, реагируют с водным раствором NaOH, и в этих реакциях образуется газообразное простое вещество, состоящее из атомов **Д**.

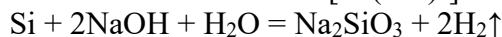
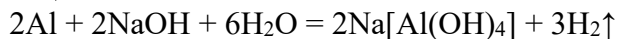
3) Смесь двух газообразных простых веществ: вещества, состоящего из атомов **Д** и вещества, состоящего из атомов **С** - взрывоопасна и называется так же, как очень ядовитая змея.

4) Элемент **Е** характеризуется большим значением электроотрицательности, чем элемент **С**.

Определите простейшую формулу минерала $A_aB_bC_cD_dE_e$, если массовые доли элементов **А**, **В**, **С** и **Д** соответственно равны 24,77 %, 12,84 %, 44,04 %, 0,92 %. Напишите уравнения реакций **А** и **В** с раствором NaOH, и реакции, проходящей при взрыве смеси веществ **Д** и **С**.

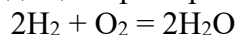
Решение:

По крайней мере один из элементов **А** и **В** является неметаллом (металл в минерале по условию только один). С водным раствором щелочи реагирует кремний, он непосредственно следует в периодической системе за алюминием. **А** - алюминий, а **В** - кремний. Уравнения реакций:



Образующееся газообразное вещество - водород. Элемент **Д** - водород.

Смесь водорода с кислородом взрывоопасна и называется гремучим газом. Элемент **С** - кислород. Уравнение реакции, проходящей при взрыве гремучего газа:



Единственный элемент, имеющий большее, чем кислород, значение электроотрицательности - это фтор. Элемент **Е** - фтор.

| A | B | C | D | E |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| Al | Si | O | H | F |

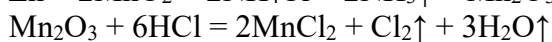
Формула минерала: $\text{Al}_2\text{SiO}_6\text{H}_2\text{F}_2$

Критерии оценивания

1. За определение каждого из элементов А, В, С и Е по **2 балла**; всего **12 баллов**.
За определение элемента D - **1 балл**.
2. Уравнение реакции водорода с кислородом - **1 балл**.
За каждое из уравнений реакций со щелочью по **2 балла**; всего **4 балла**.
3. За расчет индексов и определение формулы $\text{Al}_2\text{SiO}_6\text{H}_2\text{F}_2$ - **2 балла**.
3. Порошок цинка смешали с кристаллическим диоксидом марганца и избытком твердого хлорида аммония. Полученную смесь нагрели до $250\text{ }^\circ\text{C}$ в вакууме. В результате реакции образовалось четыре вещества (А,В,С,Д), одно из которых - вещество А газообразно (при нормальных условиях), а другое - вещество В выделили в виде бурых кристаллов. Вещество В, представляющее собой оксид с массовой долей кислорода 30,38 %, обработали избытком концентрированной соляной кислоты при нагревании. В реакции вещества В с соляной кислотой выделился газ Е, объем которого при температуре $50\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 90 кПа составил 59,48 л. Определите все вещества, образующиеся в ходе взаимодействий. Составьте уравнения двух проведенных реакций, используя метод электронного баланса. Вычислите, какая масса хлорида аммония прореагировала в первой реакции.

Решение:

Уравнения реакций:



Вычисления

$$V_0 = VPT_0/P_0T = 59,48 \cdot 90 \cdot 273 / 101 \cdot 323 = 44,8 \text{ л}$$

$$n(\text{Cl}_2) = 44,8 / 22,4 = 2 \text{ моль}$$

$$n(\text{Mn}_2\text{O}_3) = n(\text{Cl}_2) = 2 \text{ моль}$$

$$n(\text{NH}_4\text{Cl}) = 2n(\text{Mn}_2\text{O}_3) = 4 \text{ моль}$$

$$m(\text{NH}_4\text{Cl}) = 53,5 \cdot 4 = \mathbf{214 \text{ г}}$$

Критерии оценивания

1. Первая реакция:
Баланс – **1балл**;
Написание уравнения с коэффициентами -**1балл**;
Определение 4 веществ – **по 0.5 балла**;
2. Вторая реакция:
Баланс – **1балл**;
Написание уравнения с коэффициентами -**1балл**;
Определение 2 веществ – **по 1 баллу**;
4. Правильные расчеты – **2 балла**.
4. Гоша увлекся химией и обратился к своему учителю с просьбой о работе в лаборатории. Учитель решил поддержать интерес ученика и попросил любознательного юношу

разобрать шкаф с неопознанными реактивами и установить их состав. В первой склянке Гоша обнаружил твердое кристаллическое вещество (**X**) белого цвета, без запаха. Будучи умным и начитанным мальчиком, Гоша действовал следующим образом – проверил действие воды и кислоты на вещество, а также изучил свойства образующихся продуктов. Все наблюдения он представил в виде таблицы.

| Реагент | Наблюдения |
|---------|---|
| H_2O | Бурная реакция с выделением газа без цвета и запаха (реакция 1). После реакции фенолфталеин в растворе окрасился в малиновый цвет, $pH = 11$. |
| HCl | Бурная реакция с выделением газа без цвета и запаха (реакция 2). |

Опытным путем Гоша установил, что газ (**Y**), выделяющийся в реакциях 1 и 2 одинаковый – имеет плотность по кислороду 0,0625 и загорается с характерным хлопком (**реакция 3**).

- 1) Предложите возможный состав вещества **X**, газа **Y**. Известно, что для первой реакции была взята навеска **X** массой 0,0042 г и объем конечного раствора составил 200 мл.
- 2) Напишите уравнения **реакций 1-3**.
- 3) Вычислите массу вещества **X**, взятого для второй реакции, если общий объем выделившегося газа **Y** по реакциям 1 и 2 при температуре 25 °С и давлении 98 кПа составил 31 мл.

При расчетах считайте, что все реакции протекают полностью.

Решение:

1. Молярная масса газа **Y** = $0.0625 \cdot 2 = 2$ г/моль, что соответствует **N₂**. Поскольку после реакции с водой в растворе щелочная реакция, то неизвестное вещество **X** – гидрид металла.

Реакция с водой в общем виде:



$$pOH = 14 - 11 = 3, [OH^-] = 0.001 \text{ M,}$$

Перебор атомной массы металла по степени окисления:

Если n=1, то

$$C(MOH) = [OH^-] = 0.001 \text{ M}$$

$$n(MH) = n(MOH) = 0.2 \cdot 0.001 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

Тогда, масса гидроксида:

$$(Ar(M) + Ar(H)) \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 0.0042 \text{ г}$$

$$M(MH) = 21 \text{ г/моль}$$

$Ar = 20$ – это неон, что не соответствует условиям задачи

Если n=2, то

$$C(M(OH)_2) = 0.5 \cdot [OH^-] = 0.0005 \text{ M}$$

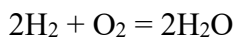
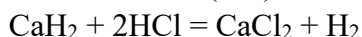
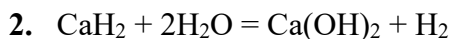
$$n(MH_2) = n(M(OH)_2) = 0.2 \cdot 0.0005 = 10^{-4} \text{ моль}$$

Тогда, масса гидроксида:

$$(Ar(M) + 2 Ar(H)) \cdot 10^{-4} = 0.0042 \text{ г}$$

$$M(MH_2) = 42 \text{ г/моль}$$

Подходит металл с $Ar=40$ – это кальций, тогда формула X – CaH_2



3. Общее количество выделившегося H_2 по реакции 1 и 2 вычисляется по уравнению Менделеева-Клапейрона

$$PV = nRT$$

$$n(H_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{98 \cdot 0.031}{8.31 \cdot 298} = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$\text{Количество водорода по реакции 1 } n(H_2)_1 = 2n(CaH_2) = 2 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

$$\text{Количество водорода по реакции 2 } n(H_2)_2 = 1.2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4} = 10^{-3} \text{ моль}$$

$$\text{Масса } CaH_2 \text{ для реакции 2 } - m(CaH_2) = 10^{-3} \cdot 42 = 0.042 \text{ г}$$

Критерии оценивания

1. Расчет молярной массы Y и установление формулы вещества – 2 балла.

Расчет концентрации $[OH^-]$ – 1 балл.

Установление, что соединение X гидрид – 2 балла.

Установление расчетным путем вещества X – 5 баллов (без расчета 2 балла)

2. За каждое уравнение реакции по 1 баллу (3 балла).

3. Расчет общего количества водорода – 3 балла.

Расчет количества водорода по реакции (1) – 1,5 балла.

Расчет количества водорода по реакции (2) – 1,5 балла.

Расчет массы гидрида калия – 1 балл.

4. Порошок железа смешали с порошком серы в массовом соотношении 7:4. Смесь нагрели. Полученную соль растворили в избытке концентрированной азотной кислоты. При этом восстановитель отдал $1,084 \cdot 10^{23}$ электронов, а выпадение осадка не наблюдали.

1) Запишите уравнения химических реакций

2) Рассчитайте массу соли, которая прореагировала с азотной кислотой.

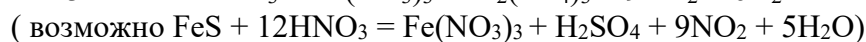
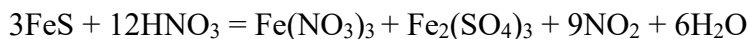
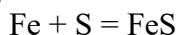
3) Рассчитайте минимальный объем 3%-го раствора гидроксида бария с плотностью 1,04 г/мл, который потребуется для полного поглощения выделившегося газа.

Решение:

$$1) n(Fe) = \frac{m}{M} = \frac{7}{56} = 0,125 \text{ моль}$$

$$n(S) = \frac{m}{M} = \frac{4}{32} = 0,125 \text{ моль}$$

$n(Fe): n(S) = 1:1$ следовательно реакция

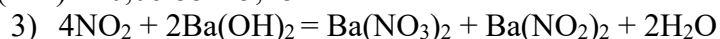


3)

$$n(e) = \frac{N}{Na} = \frac{1,084 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,18 \text{ моль}$$

По уравнению реакции восстановитель FeS отдал 9 электронов и образовалось 9 моль NO₂, а по условия восстановитель отдал 0,18 моль электронов, следовательно $n(\text{NO}_2) = 0,18$ моль
 $n(\text{FeS}) = n(\text{NO}_2)/3 = 0,18/3 = 0,06$ моль

$$m(\text{FeS}) = 0,06 \cdot 88 = 5,28 \text{ г}$$



$$n(\text{Ba}(\text{OH})_2) = n(\text{NO}_2)/2 = 0,18/2 = 0,09 \text{ моль}$$

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,09 \cdot 171 = 15,39 \text{ г}$$

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2)_{\text{р-р}} = 15,39/0,03 = 513 \text{ г}$$

$$V(\text{Ba}(\text{OH})_2)_{\text{р-р}} = \frac{m}{\rho} = \frac{513}{1,04} = 493,27 \text{ мл}$$

Критерии оценивания:

1. Установление соотношения $n(\text{Fe}) : n(\text{S})$ – **3 балла**.
Написание уравнения (1) – **1 балл**.
Написание уравнения (2) – **3 балла**.
Написание уравнения (3) – **2 балла**.
2. Расчет количество моль электронов – **1 балл**.
Расчет количества NO₂ – **4 балла**.
Расчет массы исходной соли – **2 балла**.
3. Расчет количества гидроксида бария – **1 балл**.
Расчет массы гидроксида бария – **1 балл**.
Расчет массы раствора – **1 балл**.
Расчет объема раствора – **1 балл**.