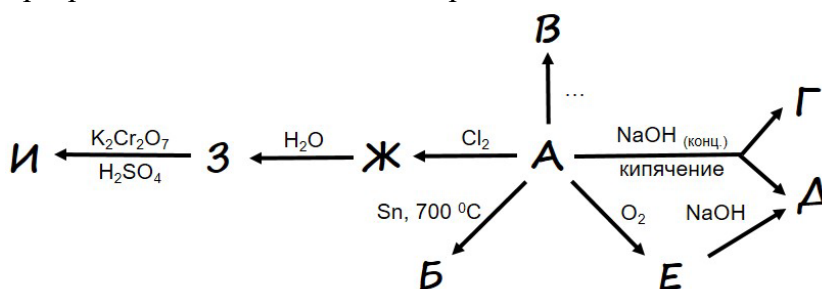


## Вариант I

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 А 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 А-И, содержащих X.

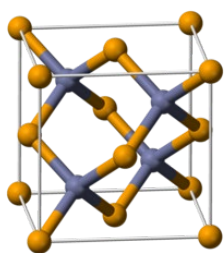
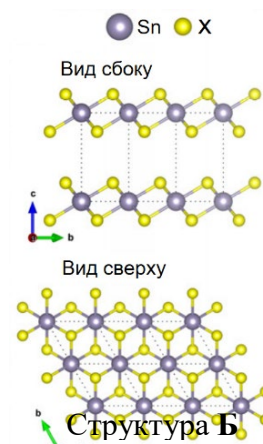


Массовая доля X в веществе Е равна 71,2 %, а плотность паров вещества Ж составляет 9,87 г/л (н.у.).

Структура вещества Б, состоящего из атомов X и атомов олова, показана на рисунке. 2D-пленка монослоя вещества Б имеет высокий показатель преломления, который позволяет создавать на ее основе ультратонкие линзы, биосенсоры и транзисторы.

Вещество В используется в производстве стекла, детекторов излучения, углекислотных лазеров, а из его монокристаллов изготавливают линзы и зеркала для инфракрасной техники. Вещество В применяется в приборах ночного видения и досмотра багажа, флюорографах и системах слежения. Плотность В составляет 5,26 г/см<sup>3</sup>. В приведенной на рисунке кубической элементарной ячейке В 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 5,668 Å (1 Å = 10<sup>-10</sup> м).

*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.*

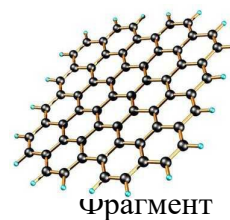


Элементарная ячейка В

- 1) Какой материал исследовали А. Гейм и К. Новосёлов?
- 2) Установите формулы 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:

$$\omega(X) = \frac{2A_r(X)}{2A_r(X) + nA_r(O)} = 0,712, \text{ откуда } A_r(X) = 19,78 \cdot n.$$

Хорошее соответствие степени окисления и атомной массы получаем при  $n = 4$ , **X** – селен, **E** –  $SeO_2$ . Это подтверждается молярной массой хлорида **Ж** –  $SeCl_4$ :

$$M(XCl_n) = V_m \rho = 22,4 \cdot 9,87 = 221 = 79 + 35,5 \cdot 4.$$

Реакция кислотного оксида и щелочи приводит к образованию соли – селенита натрия **Д** –  $Na_2SeO_3$ . Его образование в реакции селена со щелочью указывает на диспропорционирование, тогда **Г** – селенид натрия  $Na_2Se$ . Гидролиз хлорида приводит к получению соответствующей кислоты **З** –  $H_2SeO_3$ , окислением которой можно получить соединение селена в высшей степени окисления – селеновую кислоту **И** –  $H_2SeO_4$ .

Вещество **Б** – очевидно, некоторый селенид олова. Из его структуры видно, что каждый атом селена взаимодействует с 3 атомами олова, а 1 атом олова связан с 6 атомами селена: таким образом, на 1 атом олова приходится 2 атома селена, это  $SnSe_2$ .

Проанализируем ячейку вещества **В**: в ее состав полностью входят 4 атома некоторого элемента **Y**, 6 атомов селена в центрах граней (каждый из которых принадлежит 2 ячейкам, то есть на 1 ячейку приходится 3 атома) и 8 атомов селена 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 формульную единицу приходится

$$m(XY) = \frac{(5,668 \cdot 10^{-10} \text{ м})^3 \cdot (5,26 \cdot 10^6 \text{ г/м}^3)}{4} = 2,39 \cdot 10^{-22} \text{ г}, \text{ что соответствует}$$

$$M(XY) = m(XY) \cdot N_A = 2,39 \cdot 10^{-22} \text{ г} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 144 \text{ г/моль}.$$

Это селенид цинка  $ZnSe$ .

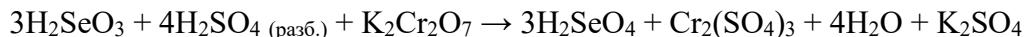
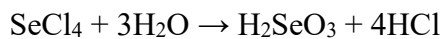
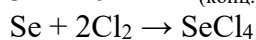
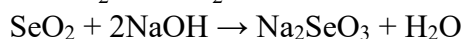
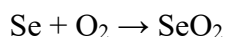
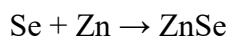
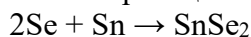
### Ответ

1. Графен

2. Зашифрованные вещества:

<b>A</b> – Se	<b>Г</b> – $Na_2Se$	<b>Ж</b> – $SeCl_4$
<b>Б</b> – $SnSe_2$	<b>Д</b> – $Na_2SeO_3$	<b>З</b> – $H_2SeO_3$
<b>В</b> – $ZnSe$	<b>Е</b> – $SeO_2$	<b>И</b> – $H_2SeO_4$

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) Два элемента, входящие в состав минерала, являются металлами.

2) Простое вещество, состоящее из атомов А, реагирует с водой, при этом образуется вещество, которое используется для побелки и штукатурки, и выделяется газообразное простое вещество, состоящее из атомов Е.

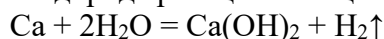
3) Простое вещество, состоящее из атомов Е, образуется также при реакциях с водным раствором NaOH простых веществ, состоящих из атомов В, и из атомов С (со щелочью активно реагирует только аморфная разновидность вещества С). Элементы В и С являются соседними в периоде.

4) Соединение элемента Е с элементом D при стандартных условиях (25 °С, 101 кПа) представляет собой жидкость, в отличие от всех остальных простейших бинарных соединений, в состав которых входит элемент Е.

Определите простейшую формулу минерала  $A_aB_bC_cD_dE_e$ , если массовые доли элементов А, В, С и D соответственно равны 17,62 %, 17,84 %, 18,50 %, 45,82 %. Напишите уравнения трех химических реакций, описанных в условии задачи.

**Решение**

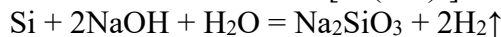
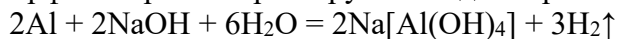
Для побелки и штукатурки используется гидроксид кальция, который получается при протекающей с выделением водорода реакции кальция с водой:



Элемент А - кальций, элемент Е - водород.

Водород выделяется при взаимодействии со щелочью некоторых металлов, оксиды и гидроксиды которых амфотерны. Это, например, цинк, алюминий, бериллий. По условию, металлов в минерале два, один из них кальций, и, следовательно, один из элементов В и С является неметаллом. Условию удовлетворяет кремний, находящийся рядом с алюминием в Периодической системе. В – алюминий, С – кремний.

Алюминий и аморфный кремний реагируют с водным раствором щелочи:



Среди простейших водородных соединений при обычных условиях в жидком состоянии находится только вода. Следовательно, элемент D – кислород.

A	B	C	D	E
Ca	Al	Si	O	H

Формула минерала  $Ca_2Al_3Si_3O_{13}H$

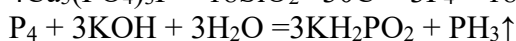
**Критерии оценивания**

1. За определение каждого из элементов А, В, С и D по 3 балла.

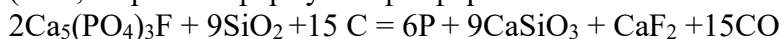
- За определение элемента Е - 1 балл.
2. Уравнение реакции кальция с водой - 1 балл.  
За каждое из уравнений реакций со щелочью по 2 балла; всего 4 балла.
3. За расчет индексов и определение формулы  $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{13}\text{H}$  - 2 балла.
3. Фторапатит  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  сплавили с кремнеземом и коксом в электропечи. В результате реакции образовались четыре вещества (А,В,С,Д). Пары одного из них - вещества А, сконденсировали, после чего прибавляли к нему подогретый раствор гидроксида калия с концентрацией 5 моль/л до прекращения выделения газа Е. Объем добавленного раствора гидроксида калия составил 3 л. Вещество Е является водородным соединением. Определите все вещества, образующиеся в ходе взаимодействий. Составьте уравнения двух проведенных реакций, используя метод электронного баланса. Определите массу прореагировавшего фторапатита, учитывая, что выход вещества А составил 84 %.

**Решение:**

Уравнения реакций:



(Или, с простой формулой фосфора:



Вычисления:

$$n(\text{KOH}) = 5 \cdot 3 = 18 \text{ моль}$$

$$n(\text{P}_4)_{\text{практ. обр. по р-ии 1}} = 18/3 = 6 \text{ моль}$$

$$n(\text{P}_4)_{\text{теор. р-ии 1}} = 6/0,84 = 7,14 \text{ моль}$$

$$n(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}) = 4 \cdot 7,14 / 3 = 28,56 \text{ моль}$$

$$m(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}) = 28,56 \cdot 504 = \mathbf{14,39 \text{ кг.}}$$

**Критерии оценивания**

1. Первая реакция:  
Баланс – **1 балл**;  
Написание уравнения с коэффициентами - **1 балл**;  
Определение 4 веществ – **по 0,5 балла**;
2. Вторая реакция:  
Баланс – **1 балл**;  
Написание уравнения с коэффициентами - **1 балл**;  
Определение 2 веществ – **по 1 баллу**;  
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. Наблюдения он представил в виде таблицы.

Реагент	Наблюдения
---------	------------

$H_2O$	Бурная реакция с выделением газа без цвета и запаха ( <b>реакция 1</b> ). После реакции фенолфталеин в растворе окрасился в малиновый цвет, $pH = 12$ .
$HCl$	Бурная реакция с выделением газа без цвета и запаха ( <b>реакция 2</b> ).

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 0,040 г и объем конечного раствора составил 100 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 20 °C и давлении 100 кПа составил 98 мл.

При расчетах считайте, что все реакции протекают полностью.

#### Решение:

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

Реакция с водой в общем виде:

$MH_n + nH_2O = M(OH)_n + nH_2$ , где  $n$  – степень окисления металла.

$pOH = 14 - 12 = 2$ ,  $[OH^-] = 0.01$  М,

Перебор атомной массы металла по степени окисления:

**Если  $n=1$** , то

$C(MOH) = [OH^-] = 0.01$  М

$n(MH) = n(MOH) = 0.1 \times 0.01 = 10^{-3}$  моль

Тогда, масса гидрида:

$(Ar(M) + Ar(H)) \times 10^{-3} = 0.040$  г

$M(MH) = 40$  г/моль

**$Ar=39$  – это калий**, тогда формула **X** - **KH**

Подходит металл с  **$Ar=39$  – это калий**, тогда формула **X** - **KH**

**Если  $n=2$** , то

$C(M(OH)_2) = 0.5 [OH^-] = 0.005$  М

$n(MH_2) = n(M(OH)_2) = 0.1 \times 0.005 = 5 \times 10^{-4}$  моль

Тогда, масса гидрида:

$(Ar(M) + 2Ar(H)) \times 10^{-4} = 0.040$  г

$M(MH_2) = 80$  г/моль

**$Ar=80-2=78$  – это платина**,  $PtH_2$  – не соответствует условиям задачи.

2. Уравнения реакций

$KH + H_2O = KOH + H_2$

$KH + HCl = KCl + H_2$

$2H_2 + O_2 = 2H_2O$

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

$$PV = nRT$$

$$n(H_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{100 \cdot 0,098}{8,31 \cdot 293} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Количество водорода по реакции 1  $n(H_2)_1 = n(KH) = 10^{-3}$  моль

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

Масса KH для реакции 2 –  $m(KH) = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 40 = 0,120$  г

### Критерии оценивания

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

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

Установление, что соединение Х гидрид – **2 балла.**

Установление расчетным путем вещества Х – **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.**

5. Порошок меди смешали с порошком серы в массовом соотношении 4:1. Смесь нагрели в вакууме. Полученную соль растворили в избытке концентрированной азотной кислоты. При этом восстановитель отдал  $1,204 \cdot 10^{23}$  электронов, а выпадение осадка не наблюдали.

- 1) Запишите уравнения химических реакций.

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

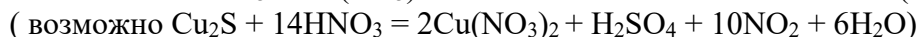
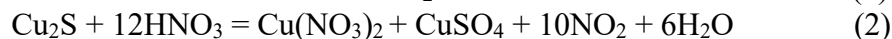
- 3) Рассчитайте минимальный объем 15%-го раствора гидроксида калия с плотностью 1,14 г/мл, который потребуется для полного поглощения выделившегося газа.

### Решение:

$$1) n(Cu) = \frac{m}{M} = \frac{4}{64} = 0,0625 \text{ моль}$$

$$n(S) = \frac{m}{M} = \frac{1}{32} = 0,03125 \text{ моль}$$

$n(Cu) : n(S) = 2 : 1$  следовательно реакция



$$2) n(e) = \frac{N}{Na} = \frac{1,204 \cdot 10^{23}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 0,2 \text{ моль}$$

По уравнению реакции восстановитель  $Cu_2S$  отдал 10 электронов и образовалось 10 моль  $NO_2$ , а по условия восстановитель отдал 0,2 моль электронов, следовательно  $n(NO_2) = 0,2$  моль

$$n(Cu_2S) = n(NO_2) / 10 = 0,2 / 10 = 0,02 \text{ моль}$$

$$m(Cu_2S) = 0,02 \cdot 160 = 3,2 \text{ г}$$



$$n(KOH) = n(NO_2) = 0,2 \text{ моль}$$

$$m(KOH) = 0,2 \cdot 56 = 11,2 \text{ г}$$

$$m(\text{KOH})_{\text{р-р}} = 11,2/0,15 = 74,7 \text{ г}$$

$$V(\text{KOH})_{\text{р-р}} = \frac{m}{\rho} = \frac{74,7}{1,14} = 65,5 \text{ мл}$$

***Критерии оценивания:***

**1. Установление соотношения  $n(\text{Cu})$ :  $n(\text{S})$  – 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  $\text{NO}_2$  – 4 балла.

Расчет массы исходной соли – 2 балла.

**3. Расчет количества гидроксида калия – 1 балл.**

Расчет массы гидроксида калия – 1 балл.

Расчет массы раствора – 1 балл.

Расчет объема раствора – 1 балл.