

2. Металл **X** – важный конструкционный материал. Хлорирование минерала **A**, являющегося оксидом элемента **X**, в присутствии углерода приводит к образованию летучего высшего хлорида **B**. Восстановление **B** магнием позволяет получить простое вещество **X**. При взаимодействии **A** с водородом происходит лишь частичное восстановление **A** до соединения **C** ($\omega(\text{X}) = 64.22\%$).

Для получения высокочистого металла **X** его нагревают в вакуумированном сосуде с небольшим количеством галогена **D**. Пары образующегося галогенида **E** ($\omega(\text{X}) = 8.62\%$) соприкасаются с раскаленной вольфрамовой нитью и разлагаются, а **X** осаждается в виде крупных кристаллов.

- 1) Определите вещества **X**, **A–E**. Напишите уравнения реакций, указанных в условии.
- 2) Скорость осаждения **X** на нити немонотонно зависит от температуры системы: достигает максимума при 200 °С, затем резко падает при 400 °С и снова поднимается при 520 °С. Объясните данное явление.
- 3) Почему для получения металла высокой степени чистоты достаточно использовать небольшое количество галогена **D**?

№ 2

- 1) Т.к. **A** является оксидом металла **X**, то при частичном восстановлении водородом образуется другой оксид – **C**. Представим его формулу как X_aO_b , тогда:

$$\omega(\text{X}) = \frac{aA_r(\text{X})}{aA_r(\text{X}) + 16b} = 0.6422$$

откуда

$$A_r(\text{X}) = 28.72 \cdot \frac{b}{a}$$

Займёмся перебором целочисленных значений a и b :

$a \backslash b$	1	2	3	4	5
1	28,7	57,4	86,2	114,9	143,6
2	14,4	28,7	43,1	57,4	71,8
3	9,6	19,1	28,7	38,3	47,9

Среди полученных значений молярных масс только одно соответствует химическому элементу – титану: $a = 3$, $b = 5$, $A_r(\text{X}) = 48$. Вещество **C** – Ti_3O_5 (смешанный оксид $\text{TiO}_2 \cdot \text{Ti}_2\text{O}_3$).

Аналогичным путем можно было определить искомый элемент через массовую долю металла в галогениде **E**, представив его формулу как $\text{X}\Gamma_n$:

$$\omega(\text{X}) = \frac{A_r(\text{X})}{A_r(\text{X}) + nA_r(\Gamma)} = 0.0862$$

откуда

$$M(\text{X}) = 0.094 \cdot n \cdot A_r(\Gamma)$$

Перебирая целочисленные значения n и атомные массы галогенов

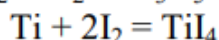
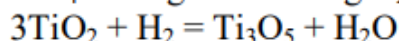
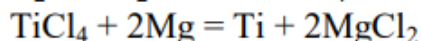
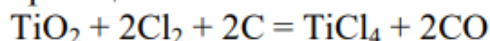
$n \backslash A_r(\Gamma)$	19	35,5	80	127
1	1,8	3,3	7,5	11,9
2	3,6	6,7	15,0	23,9
3	5,4	10,0	22,6	35,8
4	7,1	13,3	30,1	47,8

приходим к тому же выводу: $n = 4$, $A_r(\Gamma) = 127$. Вещество **Е** – TiI_4 .

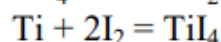
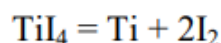
Поскольку **С** образуется за счет восстановления **А**, оно должно содержать титан в более высокой степени окисления, т.е. +4. Таким образом, зашифрованные соединения:

А	В	С	Д	Е
TiO_2	$TiCl_4$	Ti_3O_5	I_2	TiI_4

Уравнения протекающих реакций:



- 2) Немонотонность скорости осаждения титана от температуры стенок реактора объясняется образованием различных веществ. При низких температурах образуется тетраидрид титана TiI_4 , который обладает высокой летучестью. При температуре выше $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ образуется диидрид титана TiI_2 , имеющий гораздо более низкую летучесть, которая становится существенной лишь при температуре выше $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- 3) После осаждения титана на нити выделившийся иод вступает в реакцию с новыми порциями металла:



В ходе процесса иод практически не расходуется, а выполняет роль переносчика металла из холодной зоны в горячую. Такие процессы называются *химическими транспортными реакциями*.

Рекомендации к оцениванию:

- | | |
|---|----------------------------|
| 1. Определение элемента Х с обоснованием (расчет или проверка) – 1.5 балла. | 1.5 балла |
| 2. Определены вещества А-Е – каждое по 0.5 балла. | $0.5 \times 5 = 2.5$ балла |
| 3. Записаны 6 уравнений реакции – каждое по 0.5 балла (если в уравнении неверно расставлены коэффициенты, за него ставится 0.25 балла). | $0.5 \times 6 = 3$ балла |
| 4. Обоснование немонотонности скорости осаждения – 2 балла. | 2 балла |
| 5. Дан верный ответ на вопрос о количестве галогена – 1 балл. | 1 балл |
| ИТОГО: | 10 баллов |

