

**Задача 1. Околохимический кроссворд (автор Тишкин А.А.).**

| По горизонтали  | По вертикали    |
|-----------------|-----------------|
| 1 — лакмус      | 2 — крахмал     |
| 3 — алмаз       | 4 — земля       |
| 6 — аллотропия  | 5 — пробка      |
| 9 — гесс        | 7 — прометий    |
| 10 — серебро    | 8 — реторта     |
| 11 — соляная    | 11 — соединение |
| 13 — замещение  | 12 — воронка    |
| 14 — пробирка   | 14 — пипетка    |
| 15 — изотоп     | 16 — обмен      |
| 17 — стакан     |                 |
| 18 — разложение |                 |

**Критерий оценивания:**

Разгаданное слово – по 1 баллу за каждое ( $20 \times 1 = 20$  баллов)

**Задача 2. В начале было... (автор Чепига А.А.)**

- $\text{Cd} + 2 \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{CdCl}_2 + 2 \text{FeCl}_2$
- $\text{Au}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \rightarrow 2 \text{Au} + 3 \text{CO}_2\uparrow$
- $\text{Fe}(\text{CO})_5 \rightarrow \text{Fe} + 5 \text{CO}\uparrow$
- $\text{SbCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SbOCl}\downarrow + 2 \text{HCl}$
- $\text{NaNO}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2\uparrow$

**Критерий оценивания:**

Корректное написание **всех** веществ, вступающих в реакцию – по 2 балла за каждое полное уравнение реакции ( $5 \times 2 = 10$  баллов)

Уравнивание реакций – по 2 балла за каждое ( $5 \times 2 = 10$  баллов)

Уравнивание реакций с неправильными реагентами оценивается в 0 баллов.

**Задача 3. Твёрдые бытовые отходы (автор Алёшин Г.Ю.)**

Находим по массовой доле металла соединения А (обозначим его за  $\text{Y}_y\text{Z}_z$ ):

$$\omega(Y) = \frac{y \cdot A(Y)}{y \cdot A(Y) + z \cdot A(Z)}$$

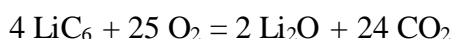
$$A(Z) = \frac{y \cdot A(Y) \cdot (1 - \omega)}{z \cdot \omega}$$

Пусть  $y = 1$ . Тогда исходя из того, что металл щелочной, можно рассчитать второй элемент по этой формуле, составив таблицу:

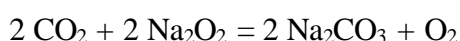
| Щелочной металл | Z => | 1       | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
|-----------------|------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Li              | 7    | 72,01   | 36,00  | 24,00  | 18,00  | 14,40  | 12,00  | 10,29  | 9,00   |
| Na              | 23   | 236,59  | 118,30 | 78,86  | 59,15  | 47,32  | 39,43  | 33,80  | 29,57  |
| K               | 39   | 401,18  | 200,59 | 133,73 | 100,30 | 80,24  | 66,86  | 57,31  | 50,15  |
| Rb              | 85,5 | 879,51  | 439,76 | 293,17 | 219,88 | 175,90 | 146,59 | 125,64 | 109,94 |
| Cs              | 133  | 1368,13 | 684,06 | 456,04 | 342,03 | 273,63 | 228,02 | 195,45 | 171,02 |

При  $z = 6$  и металле литии получается, что второй элемент – углерод, а вещество –  $\text{LiC}_6$  (**A**)

При сжигании образуются оксид лития и диоксид углерода (**реакция 1**):



После пропускания через пероксид натрия образуется кислород (**реакция 2**):



Следующий оксид считать надо по имеющейся массовой доле (обозначим оксид за  $\text{X}_x\text{O}_k$ ):

$$\omega(\text{O}) = \frac{k \cdot A(\text{O})}{x \cdot A(\text{X}) + k \cdot A(\text{O})}$$

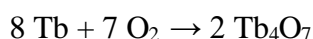
$$A(\text{X}) = \frac{90,8804 \cdot k}{x}$$

Разумно начинать перебор со степени окисления +3, поскольку вещество образует хлорид  $\text{ЭCl}_3$  и оксид  $\text{ЭO}_2$ .

| $x/k$ | 1                     | 2                     | 3      | 4                      | 5                      | 6      | 7                     | 8      |
|-------|-----------------------|-----------------------|--------|------------------------|------------------------|--------|-----------------------|--------|
| 1     | 90,88                 | 181,76                | 272,64 | 363,52                 | 454,40                 | 545,28 | 636,16                | 727,04 |
| 2     | <u>45,44</u><br>(Sc?) | 90,88                 | 136,32 | 181,76                 | <u>227,20</u><br>(Ac?) | 272,64 | 318,08                | 363,52 |
| 3     | 30,29                 | 60,59                 | 90,88  | <u>121,17</u><br>(Sb?) | <u>151,47</u><br>(Eu?) | 181,76 | 212,05                | 242,35 |
| 4     | <u>22,72</u><br>(Na?) | <u>45,44</u><br>(Sc?) | 68,16  | 90,88                  | 113,60                 | 136,32 | <u>159,04</u><br>(Tb) | 181,76 |

Это  $\text{Tb}_4\text{O}_7$  (смешанный оксид +3 и +4)

Горение тербия (**реакция 3**):



При растворении этого вещества в  $\text{HCl}$  реакция идет следующим образом (**реакция 4**):



**Критерии оценивания:**

Расчеты веществ A и D – по 2 балла за каждый ( $2 \times 2 = 4$  балла)

Вещества A–D – по 2 балла каждое ( $2 \times 4 = 8$  баллов)

Уравнения – по 2 балла каждое ( $2 \times 4 = 8$  баллов)

#### Задача 4. Термогравиметрия неизвестного соединения (автор Анохин Е.О.).

##### Расчеты:

Плотность по воздуху 1.24 соответствует средней молярной массе около 36 г/моль. Вещества **D** и **E** — газообразные бинарные соединения, образующиеся при нагревании какого-то вещества на воздухе. Можно предположить, что эти соединения содержат кислород. Если средняя молярная масса 36, значит один из газов должен весить  $\leq 36$  г/моль. Из кислородсодержащих подходит CO; тогда под среднюю молярную массу подходит смесь 1:1 CO и CO<sub>2</sub>.

Если внимательно посмотреть на график, то первая потеря массы начинается приблизительно на 150°C; можно предположить, что это потеря воды. Если предположить, что теряется одна молекула воды, то молярная масса соединения будет:

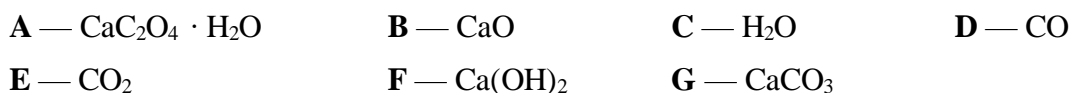
$$18 / 0.123 = 146 \text{ г/моль}$$

Потеря массы на второй стадии:  $146 * (87.7 - 68.5) / 100 \approx 28$  г/моль (соответствует CO).

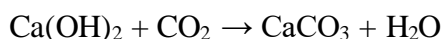
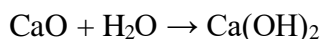
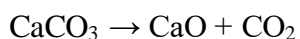
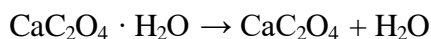
А на третьей стадии:  $146 * (68.5 - 38.5) / 100 \approx 44$  г/моль (соответствует CO<sub>2</sub>).

Молярная масса остатка:  $146 * 0.385 \approx 56$  г/моль. Вычитаем атомную массу кислорода, получается Ca.

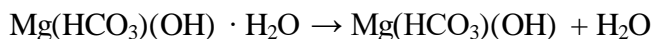
##### Вещества:



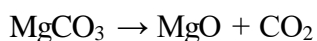
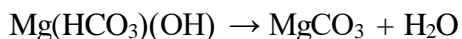
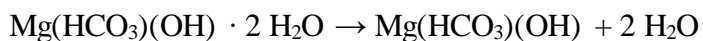
##### Уравнения реакций:



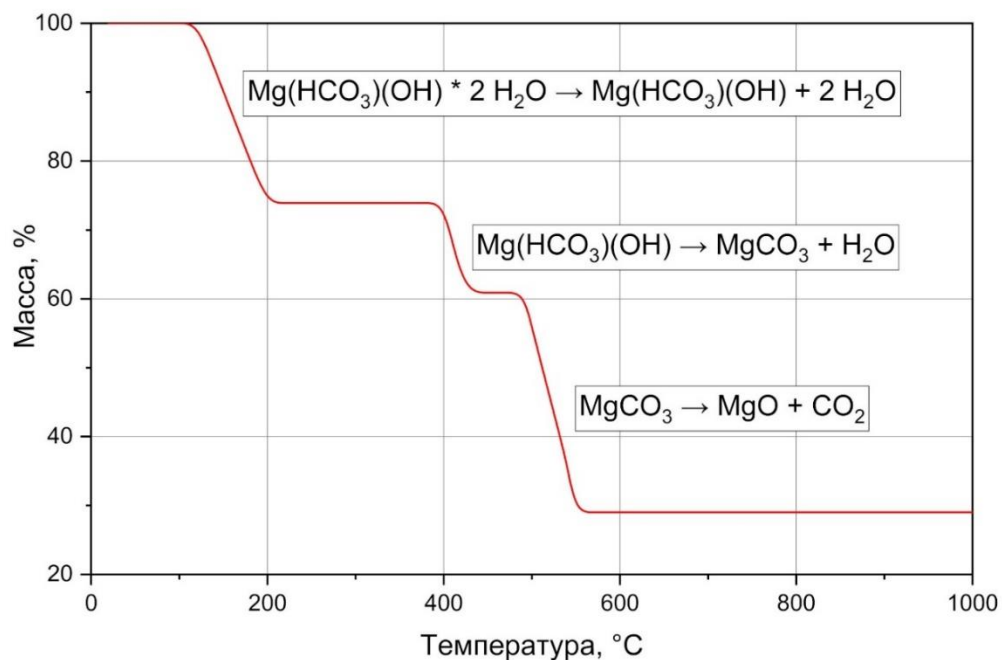
##### Уравнения реакций:



Допустимо объединять стадии отрыва воды:



Утрированный вид графика:



**Критерии оценивания:**

Вещества А–G — по 1 баллу за каждое (7 баллов в сумме).

Подробные расчеты: использование плотности по воздуху, потерь масс, уменьшения объема газовой смеси — 3 балла.

Уравнения реакций — по 1 баллу за каждое (5 баллов в сумме).

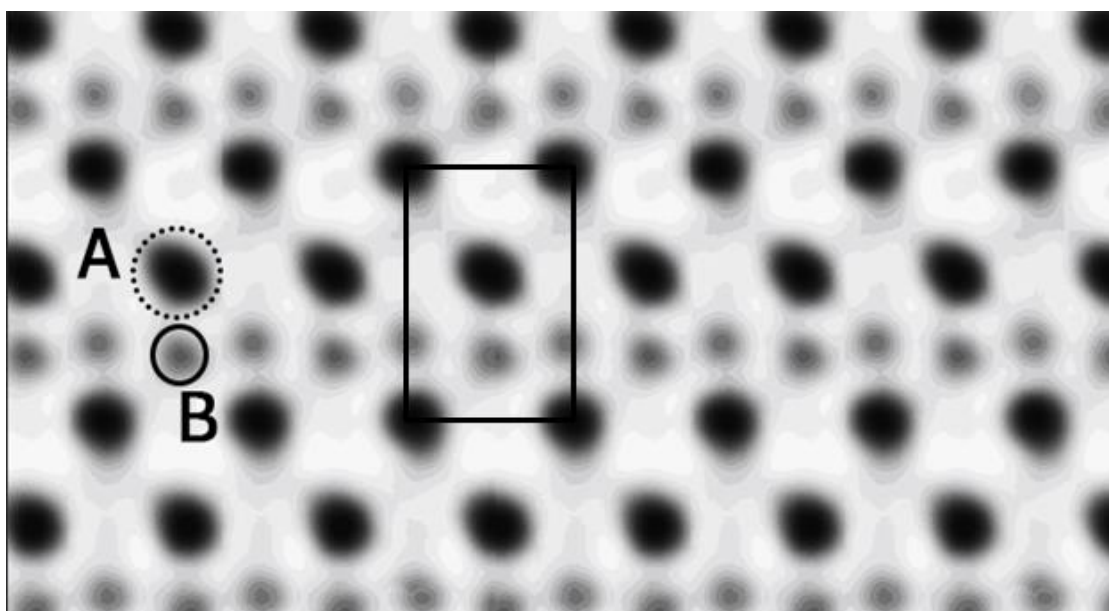
Качественный вид кривой ТГ — 3 балла.

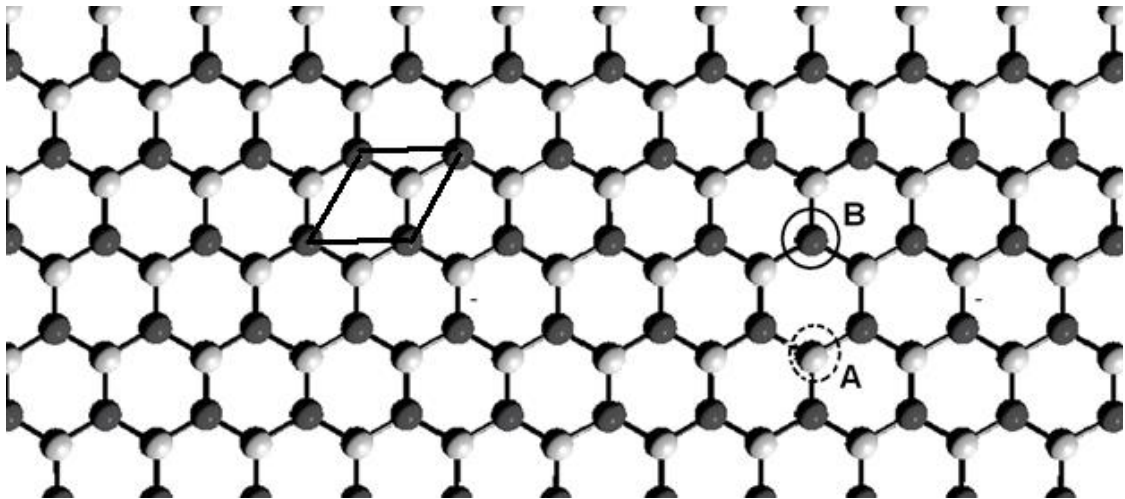
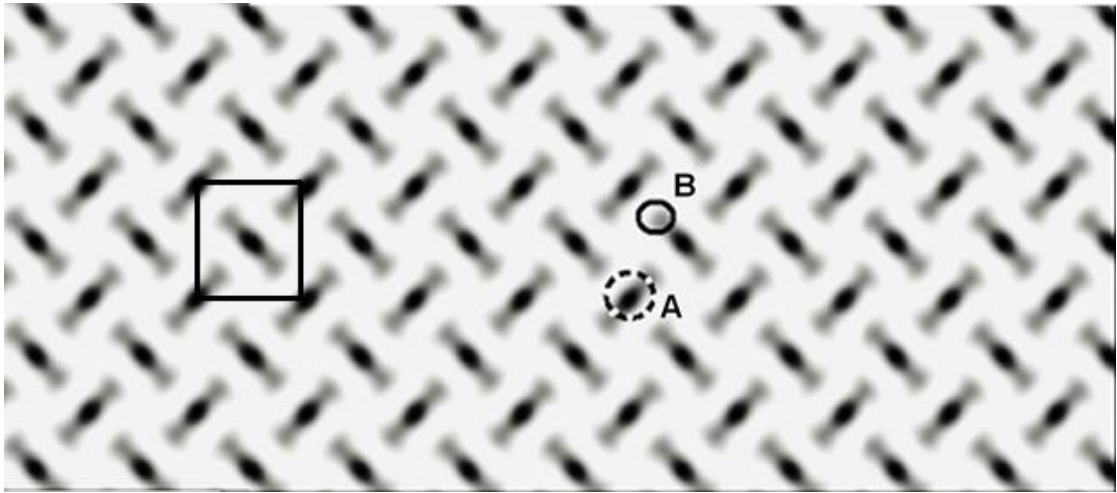
Уравнения разложения несквегонита — 2 балла за все.

**Задача 5. Атака клонов (автор Королёв В.В.).**

**1. Чертеж плоской элементарной ячейки.**

Решение построением:





В качестве правильного решения засчитывается любое положение параллелограмма плоской ячейки правильного размера вне зависимости от его положения относительно атомов.

## 2. Определение количества атомов разных типов, приходящихся на одну элементарную ячейку.

**X:** В каждой ячейке находится целиком по одному атому типа A и B, а также 4 атома типа A, каждый из которых принадлежит 4 ячейкам и 2 атома типа B, каждый из которых принадлежит 2 ячейкам. Итого  $1 + 4/4 = 2$  атома A и  $1 + 2/2 = 2$  атома B.

**Y:** В каждой ячейке находится целиком 4 атома типа B и один атом типа A, а также 4 атома типа A, каждый из которых принадлежит 4 элементарным ячейкам. Итого 4 атома B и  $1 + 4/4 = 2$  атома A.

**Z:** В каждой ячейке находится целиком один атом A, а также 4 атома B каждый из которых принадлежит 4 элементарным ячейкам. Итого 1 атом A и  $4/4 = 1$  атом B.

## 3. Определение простейшей брутто-формулы.

**X:** в одной элементарной ячейке одинаково количество атомов A и B – значит брутто-формула X это AB. Пусть A – железо. Тогда молярная масса AB:

$$M(AB) = 56 * 100\% / 30,4\% = 184 \text{ г/моль.}$$

$$M(B) = M(AB) - M(A) = 184 - 56 = 128 \text{ г/моль.}$$

Это примерно соответствует теллуру. Значит **X** = FeTe (TeFe).

**Y:** в одной элементарной ячейке 2 атома А и 4 атома В – значит брутто-формула Y это АВ<sub>2</sub>. АВ<sub>2</sub> согласно условию – оксид. Есть два варианта. Пусть А – кислород. Его доля в соединении 40%. Тогда молярная масса АВ<sub>2</sub>:

$$M(AB_2) = 16 * 100\% / 40\% = 40 \text{ г/моль.}$$

$M(B) = (M(AB) - M(A)) / 2 = (40 - 16) / 2 = 12 \text{ г/моль.}$  Это соответствовало бы углероду, но по условию второй элемент – металл. Кроме того, соединение ОС<sub>2</sub> обладает структурной формулой: C=C=O, что не соответствует микрофотографии.

Пусть В – кислород. Его доля в соединении 40%. Тогда молярная масса АВ<sub>2</sub>:

$$M(AB_2) = 32 * 100\% / 40\% = 80 \text{ г/моль.}$$

$$M(A) = M(AB) - 2 * M(B) = 80 - 2 * 16 = 48 \text{ г/моль.}$$

Это соответствует молярной массе титана. Значит **Y** = TiO<sub>2</sub> (O<sub>2</sub>Ti)

**Z:** в одной элементарной ячейке одинаково количество атомов А и В – значит брутто-формула Z это АВ. Пусть А – азот. Тогда молярная масса АВ:

$$M(AB) = 14 * 100\% / 56\% = 25 \text{ г/моль.}$$

$$M(B) = M(AB) - M(A) = 25 - 14 = 11 \text{ г/моль.}$$

Это примерно соответствует атому бора. Значит **Z** = BN (NB)

### Критерии оценивания:

За элементарные ячейки **X**, **Y**, **Z** – 2,5 балла каждая

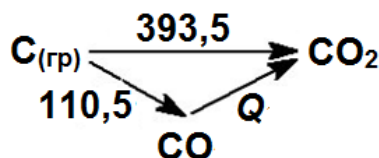
За определение количеств атомов А и В в ячейках **X**, **Y**, **Z** – по 0,75 балла за каждую А и В

За определение брутто-формул **X** и **Y** – 3 балла

За определение брутто-формулы **Z** – 2 балла

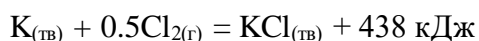
### Задача 6. Guess what (автор Соболев А.Г.).

1. В качестве реагента в данном случае выступает графит, продукта – СО<sub>2</sub>, промежуточного продукта в двухстадийном пути – угарный газ. При этом теплота превращения графита в угарный газ на один моль равна 221/2 кДж = 110,5 кДж. Таким образом, схема процесса выглядит следующим образом (засчитывается вариант без указания численных значений):

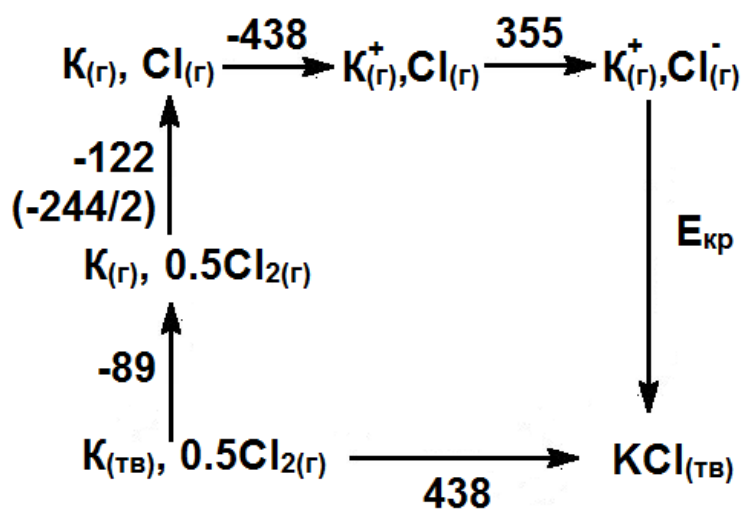


Из данной схемы понятно, как связаны между собой все тепловые эффекты:  $393,5 = Q + 110,5$ . Отсюда легко найти  $Q = 283 \text{ кДж}$  на один моль СО; на два моль получается **566 кДж**.

2. Простые вещества, образующие хлорид калия – это калий в твердом состоянии и хлор в газообразном. С учетом условия записи реакции на один моль продукта, решение следующее:



3. Схема процесса образования КСl немного сложнее, чем углекислого газа, но качественно ничем от нее не отличается:



Нетрудно видеть, что  $438 \text{ кДж} = (-89 - 122 - 438 + 355 + E_{кр}) \text{ кДж}$ , откуда  $E_{кр} = 732 \text{ кДж}$ .

4. Из пункта 3 следует, что в расчет энергии кристаллической решетки бинарных веществ входят величины энергий ионизации металлов и величины сродства к электрону неметаллов. В решетке пирита сера соединена частью связей с железом, а частью связей с другими атомами серы. Таким образом нельзя однозначно определить степень окисления элемента и численно рассчитать соответствующие тепловые эффекты. Для этого необходимо вводить поправку на неравномерное распределение электронов серы – энергию поляризации  $E_{пол}$ .

#### Критерии оценивания:

- |    |  |    |
|----|--|----|
| 1. | Схема окисления графита  | 26 |
|    | (без указания агрегатных состояний веществ – 16)                     |    |
|    | Расчет теплового эффекта $Q$   | 36 |
| 2. | Термохимическое уравнение реакции образования хлорида калия          | 46 |
|    | (без указания теплового эффекта или агрегатных состояний веществ 26) |    |
| 3. | Схема образования кристаллической решетки KCl                        | 46 |
|    | (без указания агрегатных состояний веществ и частиц – 26)            |    |
|    | Расчет энергии кристаллической решетки KCl                           | 56 |
|    | (правильное решение в общем виде с арифметической ошибкой – 2,56)    |    |
| 4. | Идея о влиянии ковалентных связей S-S в соединении                   | 26 |