

**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 соединение А (обозначим его за  $Y_zZ_x$ ):

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

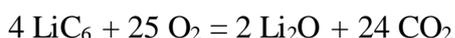
$$A(Z) = \frac{y \cdot A(Y) \cdot (1 - \omega)}{z \cdot \omega}$$

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

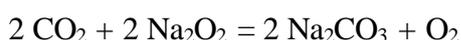
Щелочной металл	Z =>	1	2	3	4	5	6	7	8
Li	7	72,01	36,00	24,00	18,00	14,40	12,00	10,29	9,00
Na	23	236,59	118,30	78,86	59,15	47,32	39,43	33,80	29,57
K	39	401,18	200,59	133,73	100,30	80,24	66,86	57,31	50,15
Rb	85,5	879,51	439,76	293,17	219,88	175,90	146,59	125,64	109,94
Cs	133	1368,13	684,06	456,04	342,03	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  $\text{X}_x\text{O}_k$ ):

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

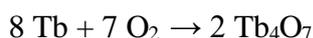
$$A(\text{X}) = \frac{90,8804 \cdot k}{x}$$

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> (Sc?)	90,88	136,32	181,76	<u>227,20</u> (Ac?)	272,64	318,08	363,52
3	30,29	60,59	90,88	<u>121,17</u> (Sb?)	<u>151,47</u> (Eu?)	181,76	212,05	242,35
4	<u>22,72</u> (Na?)	<u>45,44</u> (Sc?)	68,16	90,88	113,60	136,32	<u>159,04</u> (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 А и D – по 2 балла за каждый ( $2 \times 2 = 4$  балла)

Вещества А–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:

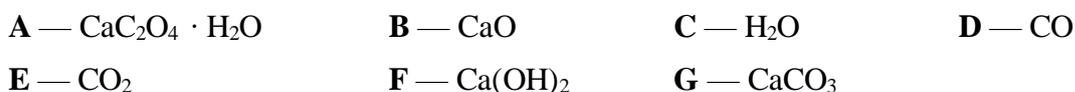
$$18 / 0.123 = 146 \text{ г/моль}$$

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

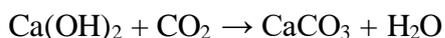
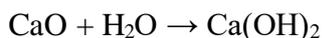
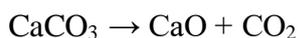
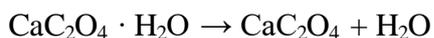
А на третьей стадии:  $146 * (68.5 - 38.5) / 100 \approx 44$  г/моль (соответствует CO<sub>2</sub>).

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

##### Вещества:



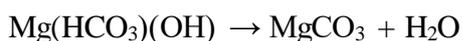
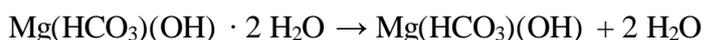
##### Уравнения реакций:



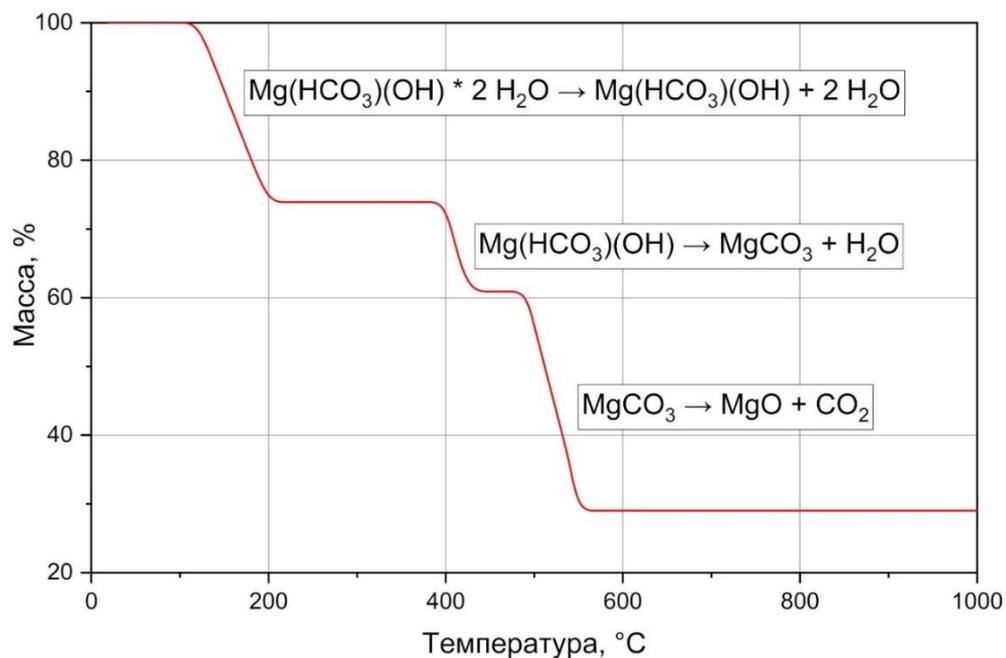
##### Уравнения реакций:



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).

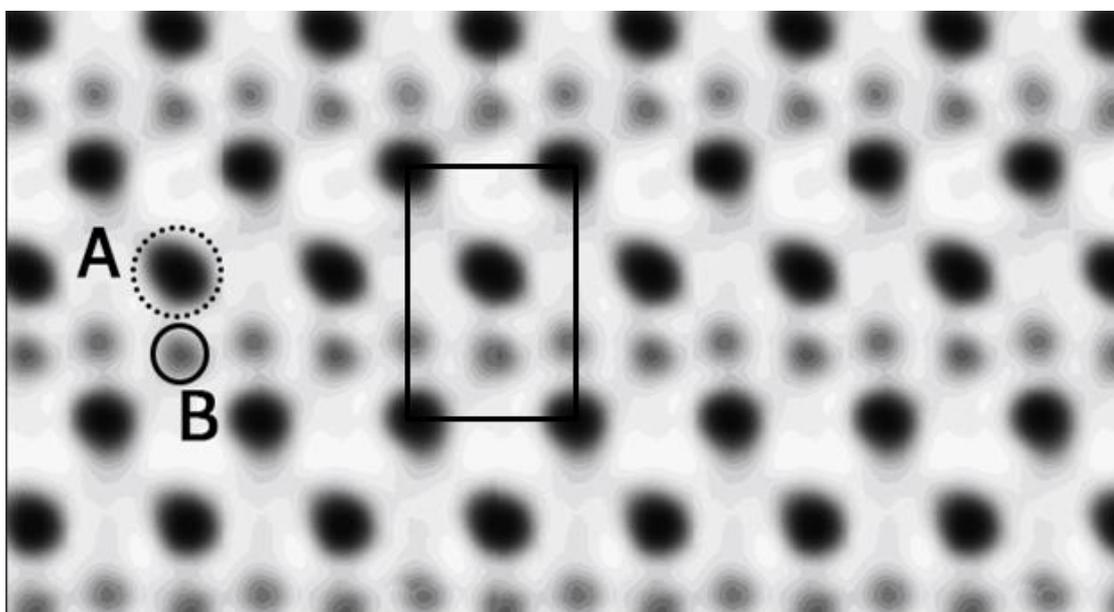
Качественный вид кривой ТГ — 3 балла.

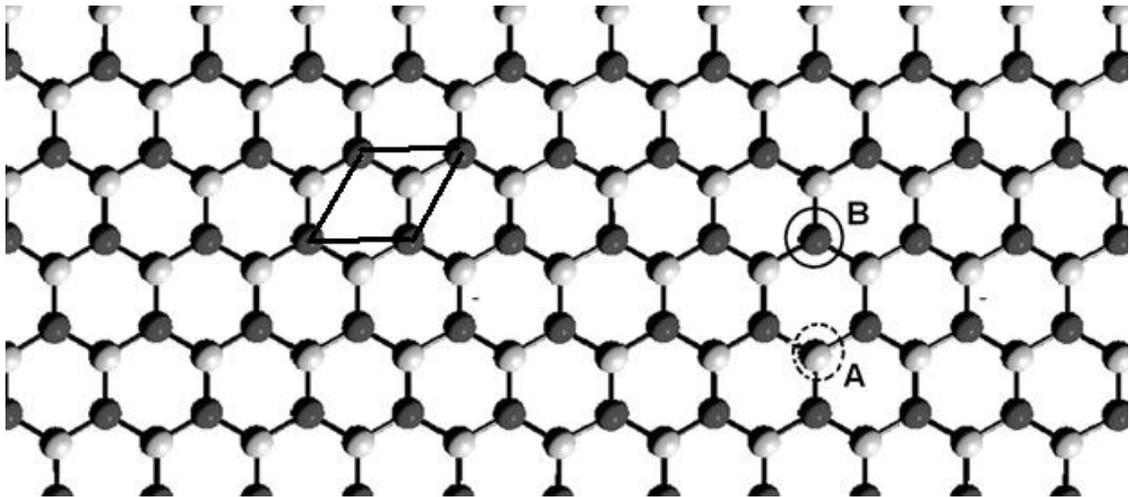
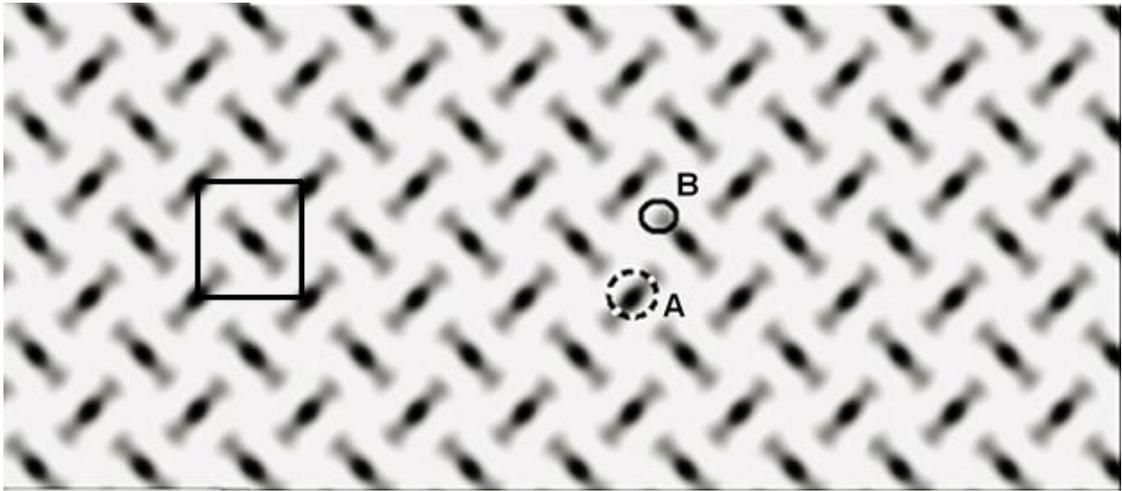
Уравнения разложения несквегонита — 2 балла за все.

**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

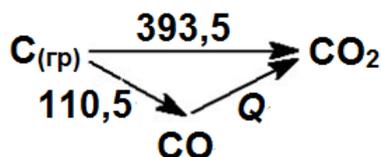
За определение количеств атомов А и В в ячейках **X**, **Y**, **Z** – по 0,75 балла за каждую А и В

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

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

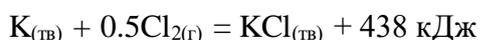
### Задача 6. Guess what (автор Соболев А.Г.).

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):

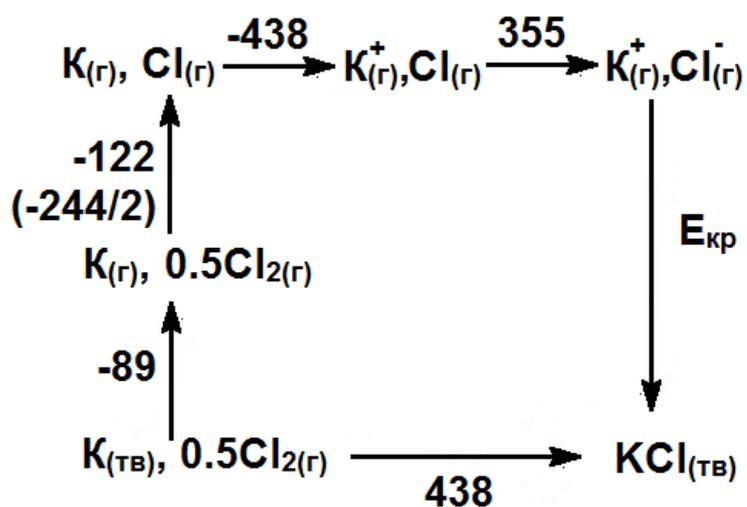


Из данной схемы понятно, как связаны между собой все тепловые эффекты:  $393,5 = Q + 110,5$ . Отсюда легко найти  $Q = 283 \text{ кДж}$  на один моль СО; на два моль получается **566 кДж**.

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 |