

Задача 9-5

Термохимия и взаимные превращения атмосферных газов

Газы **X** и **Y** в очень незначительных количествах присутствуют в атмосфере Земли. Содержание **X** равно $5.0 \cdot 10^{-5} \%$ по объёму и $3.5 \cdot 10^{-6} \%$ по массе, для **Y** значения этих же величин составляют $3.0 \cdot 10^{-5} \%$ и $5.0 \cdot 10^{-5} \%$ соответственно.

1. Определите неизвестные вещества **X** и **Y**. Ответ подтвердите расчётом.

Некоторые термохимические характеристики данных веществ приведены в таблице:

Вещество	X	Y
Теплота образования, кДж/моль	0	-142
Теплота сгорания с образованием газообразных продуктов, кДж/моль	242	—
Энергия, необходимая для диссоциации на атомы, кДж/моль	436	605

Газ **Y** может быть получен из вещества **Z** (*р-ция 1*), молекула которого содержит два атома. **Z** легко взаимодействует с **X** с образованием соединения **N** (*р-ция 2*). Вещества **N** и **Z** также содержатся в атмосфере Земли.

2. Запишите термохимические уравнения *р-ций 1* и *2*.

3. Рассчитайте энергию связи в молекуле **Z**.

4. Рассчитайте энергию каждой связи в молекуле **N**.

Одним из лабораторных способов получения **Z** является разложение вещества **M**, состоящего из тех же элементов, что и **N** (*реакция 3*).

5. Запишите уравнение *реакции 3*.

Учёными достаточно давно высказывались предположения о существовании изомера **Y** – **Y***. В 1998 году удалось зафиксировать **Y*** на поверхности оксида магния.

6. Изобразите структурные формулы **Y** и **Y***.

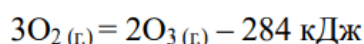
Указание: Термохимическим уравнением называется запись уравнения химической реакции с указанием агрегатного состояния веществ и теплового эффекта реакции.

Решение задачи 9-5 (автор: Болматенков Д. Н.)

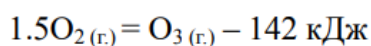
1. Возьмём 1 моль воздуха. Объёмная доля для газов совпадает с мольной, поэтому в этом количестве будет содержаться $5 \cdot 10^{-7}$ моль **X**. С учётом того, что молярная масса воздуха равна 29 г/моль, 1 моль воздуха будет иметь массу 29 г. Тогда масса **X** в воздухе составит $29 \cdot 3.5 \cdot 10^{-8} = 101.5 \cdot 10^{-8}$ г. Молярная масса **X** равна $101.5 \cdot 10^{-8} / (5 \cdot 10^{-7}) = 2.03 \approx 2$ г/моль, что может соответствовать только водороду. **X** – **H₂**.

Повторим аналогичные рассуждения для **Y**. В 1 моль воздуха содержится $3 \cdot 10^{-7}$ моль и $29 \cdot 5 \cdot 10^{-7} = 145 \cdot 10^{-7}$ г **Y**. Молярная масса составляет $145/3 = 48.33 \approx 48$ г/моль. Из хорошо известных компонентов воздуха это может соответствовать озону. **Y** – **O₃**.

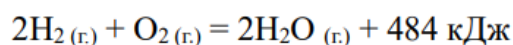
2. Озон образуется при действии ультрафиолетового излучения или электрического разряда на кислород **O₂**, который является одним из основных компонентов воздуха, и молекула которого содержит 2 атома. Поскольку стандартная энтальпия образования кислорода равна нулю, теплота реакции выражается только через теплоту образования озона:



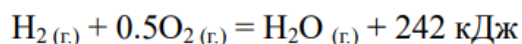
или



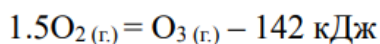
При взаимодействии кислорода с водородом образуется вода (пары воды являются компонентом атмосферы). Эта реакция – реакция сгорания водорода, поэтому теплота реакции равна теплоте сгорания **H₂**. В таблице указано, что при сгорании образуются газообразные продукты:



или



3. Представим реакцию образования одного моля озона



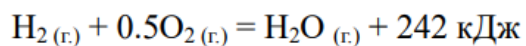
в виде последовательности превращений:



$$-142 = -1.5 \cdot E(\text{O}=\text{O}) + 605$$

$$E(\text{O}=\text{O}) = 498 \text{ кДж/моль.}$$

4. Выразим теплоту реакции



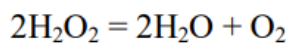
через энергии связей:

$$242 = \sum E(\text{обр.связей}) - \sum E(\text{разр.связей}) = 2E(\text{O}-\text{H}) - 0.5E(\text{O}=\text{O}) - E(\text{H}-\text{H}) =$$

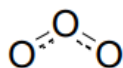
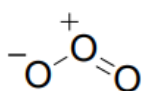
$$= 2E(\text{O}-\text{H}) - 0.5 \cdot 498 - 436$$

$$E(\text{O}-\text{H}) = 463.5 \text{ кДж/моль.}$$

5. Соединение **М** – пероксид водорода, который разлагается по уравнению:



6. Озон представляет собой угловую молекулу с делокализованной двойной связью. Вторая возможная форма – циклический изомер, который менее стабилен¹:



Y



Y*

Система оценивания:

1.	По 2 балла за расчёт и по 1 баллу за формулы X и Y.	6 баллов
2.	По 2 балла за каждое термохимическое уравнение. <i>При отсутствии теплового эффекта ставится 1 балл за каждое уравнение; отсутствие агрегатных состояний штрафуются 0.5 баллами за каждое уравнение. Размерность «кДж/моль» в термохимических уравнениях принимается.</i>	4 балла
3.	2 балла за правильное значение, 1 балл за представление реакции в виде суммы других реакций или за запись теплоты через энергии связи. <i>Принимается любой разумный способ расчета, даже отличный от того, который приведен в решении.</i>	3 балла
4.	2 балла за правильное значение, 1 балл за представление реакции в виде суммы других реакций или за запись теплоты через энергии связи. <i>Принимается любой разумный способ расчёта, даже отличный от того, который приведен в решении.</i>	3 балла
5.	2 балла за уравнение (схема – 1 балл).	2 балла
6.	По 1 баллу за структуры Y и Y*; <i>для Y засчитывается любая из структур, даже без указания зарядов.</i>	2 балла
ИТОГО: 20 баллов		