

20. Число степеней свободы молекулы. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы Рассмотрим понятие **числа степеней свободы молекулы** и **закон равномерного распределения энергии по степеням свободы**.

---

## 1. Число степеней свободы молекулы

Число степеней свободы — это число независимых координат, необходимых для описания движения молекулы.

Виды степеней свободы:

1. **Поступательные** (3 степени свободы):

- о Движение вдоль осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

2. **Вращательные**:

- о Для одноатомной молекулы: 0 степеней свободы (нет вращения).
- о Для двухатомной молекулы: 2 степени свободы (вращение вокруг двух осей, перпендикулярных оси молекулы).
- о Для многоатомной молекулы: 3 степени свободы (вращение вокруг трёх осей).

3. **Колебательные**:

- о Для двухатомной молекулы: 1 степень свободы (колебание вдоль оси молекулы).
- о Для многоатомной молекулы:  $3N - 6$  степеней свободы, где  $N$  — число атомов в молекуле.

Примеры:

- **Одноатомная молекула** (например, аргон): 3 поступательные степени свободы.
  - **Двухатомная молекула** (например,  $O_2$ ): 3 поступательные + 2 вращательные = 5 степеней свободы.
  - **Многоатомная молекула** (например,  $H_2O$ ): 3 поступательные + 3 вращательные = 6 степеней свободы.
-

## 2. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы

Закон утверждает, что энергия теплового движения равномерно распределяется по всем степеням свободы молекулы.

Формулировка:

**На каждую степень свободы молекулы приходится в среднем энергия, равная  $\frac{1}{2}kT$ , где  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — абсолютная температура.**

Энергия молекулы:

- Для  $i$  степеней свободы средняя энергия молекулы:

$$\langle E \rangle = \frac{i}{2} k T.$$

Внутренняя энергия газа:

- Для  $\nu$  молей газа:

$$U = \nu \frac{i}{2} R T,$$

где:

о  $R$  — универсальная газовая постоянная ( $R \approx 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$ ).

---

## 3. Примеры

Пример 1: Одноатомный газ

Одноатомный газ (например, аргон) имеет 3 поступательные степени свободы.

1. Средняя энергия молекулы:

$$\langle E \rangle = \frac{3}{2} k T.$$

2. Внутренняя энергия  $\nu$  молей газа:

$$U = \nu \frac{3}{2} R T.$$

## Пример 2: Двухатомный газ

Двухатомный газ (например,  $O_2$ ) имеет 5 степеней свободы (3 поступательные + 2 вращательные).

1. Средняя энергия молекулы:

$$\langle E \rangle = \frac{5}{2} kT.$$

2. Внутренняя энергия  $\nu$  молей газа:

$$U = \nu \frac{5}{2} RT.$$

## Пример 3: Многоатомный газ

Многоатомный газ (например,  $H_2O$ ) имеет 6 степеней свободы (3 поступательные + 3 вращательные).

1. Средняя энергия молекулы:

$$\langle E \rangle = \frac{6}{2} kT = 3kT.$$

2. Внутренняя энергия  $\nu$  молей газа:

$$U = \nu \cdot 3RT.$$

---

## 4. Итог

- **Число степеней свободы:**
  - о Одноатомная молекула: 3.
  - о Двухатомная молекула: 5.
  - о Многоатомная молекула: 6.
- **Закон равномерного распределения энергии:**
  - о На каждую степень свободы приходится  $\frac{1}{2} kT$ .
  - о Внутренняя энергия газа:  $U = \nu \frac{i}{2} RT$ .

Эти понятия важны для анализа тепловых свойств газов и их внутренней энергии.