

ЛЕКЦИЯ 2

1. Модель идеального газа
2. Среднее значение квадрата модуля скорости
3. Основное уравнение МКТ

1. Модель идеального газа

Молекулы представляют собой сложные объемные образования, между которыми действуют силы притяжения и отталкивания. Поэтому при изучении газообразного состояния вещества следует учитывать как размеры частиц газа, так и силы, действующие между ними.

Но так как у газов молекулы малы по сравнению с расстояниями между ними и очень малы силы взаимодействия, то для упрощения рассуждений и расчетов можно пренебречь объемом молекул и силами, действующими между ними, и считать, что их взаимодействие сводится только к соударениям и что соударения частиц друг с другом и со стенками сосуда происходят без потерь энергии.

Вводя такие упрощения мы заменяем изучение реальных газов изучением их приближенной модели - так называемого идеального газа.

В природе идеального газа не существует.

В 1857г. немецкий физик Р. Клаузиус, используя модель идеального газа, впервые систематически изложил кинетическую теорию газов. Он ввел понятие о средних величинах, длине свободного пробега молекул, вычислил давление газа на стенке сосуда и среднюю длину пути между двумя столкновениями молекул.

Идеальным Клаузиус назвал газ, удовлетворяющий следующим условиям:

1. *Объемом всех молекул газа можно пренебречь по сравнению с объемом сосуда, в котором этот газ находится.*

2. *Время столкновения молекул друг с другом пренебрежимо мало по сравнению со временем между двумя столкновениями (т.е. времени свободного пробега молекул).*

3. *Молекулы взаимодействуют между собой только при непосредственном соприкосновении, при этом они отталкиваются.*

4. *Силы притяжения между молекулами идеального газа малы и ими можно пренебречь.*

Исходя из этих положений, Клаузиус смог вывести все свойства идеального газа и установить соотношения между его микроскопическими и макроскопическими параметрами.

Микроскопические параметры это индивидуальные характеристики газа.

К ним относятся:

-масса молекулы

-ее скорость

-импульс

-кинетическая энергия поступательного движения.

Макроскопические параметры это параметры газа как физического тела. К ним относятся:

-температура газа

-объем газа

-давление газа.

2. Среднее значение квадрата модуля скорости

С самого начала нужно отказаться от попыток проследить за движением всех молекул, из которых состоит газ. Их слишком много, и они движутся очень сложно. Нам и не нужно знать, как движется каждая молекула. Мы должны выяснить, к какому результату приводит движение всех молекул.

Молекулы участвуют в хаотическом (тепловом) движении. Это означает, что скорость любой молекулы может оказаться как очень большой, так и очень малой, а направления движения молекул беспрестанно меняется при их столкновении друг с другом.

Скорости отдельных молекул могут быть любыми, однако среднее значение модуля их скорости вполне определенное. (Точно также рост учеников в классе не одинаков, но среднее значение роста - определенная величина).

В дальнейшем нам понадобится среднее значение не самой скорости, а квадрата скорости. От этой величины зависит средняя кинетическая энергия молекул.

Обозначим модули скоростей отдельных молекул через $V_1; V_2; V_3; \dots V_N$;

тогда среднее значение квадрата скорости определится следующей формулой

$$\overline{V^2} = \frac{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_N^2}{N}; \text{ где } N - \text{ число молекул};$$

Квадрат модуля любого вектора на оси Ox, Oy, Oz равен:

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2 + V_z^2$$

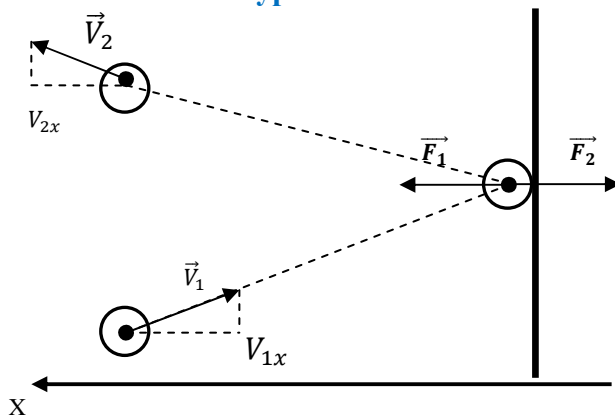
Среднее значение квадратов проекций скоростей:

$$\overline{V^2} = \overline{V_x^2} + \overline{V_y^2} + \overline{V_z^2}$$

Оси Ox, Oy, Oz равноправны. Следовательно,

$$\overline{V_x^2} = \overline{V_y^2} = \overline{V_z^2}; \quad \overline{V_x^2} = \frac{1}{3} \overline{V^2}$$

3. Основное уравнение МКТ газов.



Рассмотрим газ в сосуде, одна из стенок которого представляет собой поршень, способный перемещаться без трения. Вычислим давление газа на поршень, имеющий площадь S .

Поверхность поршня расположена перпендикулярно оси Ox .

Давление газа возникает в результате столкновений молекул с поршнем.

1. при столкновении молекулы со стенкой сосуда проекция V_x изменяет свой знак, но считается постоянной по модулю, поэтому изменяется и импульс молекулы

$$\text{от } mV_{1x} = -mV_x \text{ до } mV_{2x} = mV_x$$

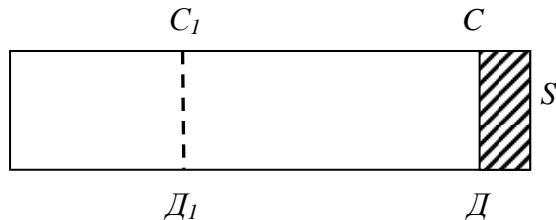
Изменение импульса молекулы показывает, что на нее действует сила \vec{F}_1 . Изменение импульса молекулы равно импульсу силы

$$F_1 = m_0 V_{2x} - m_0 V_x = m_0 V_x - (-m_0 V_x) = 2m_0 V_x$$

2. За время t все молекулы Z изменят свое направление, т.е.

$$F t = Z 2 m_0 V_x$$

3. Рассчитаем это число молекул



$$C_1 C = V_x \Delta t$$

$$C_1 C D_1 D = V_x \Delta t S \text{ — объем}$$

$$n V_x \Delta t S \text{ — число молекул в объеме}$$

Из этого числа молекул к стенке движется только половина, т.к. по любому направлению движутся в среднем равные количества, значит за время t со стенкой взаимодействуют

$$Z = \frac{1}{2} n V_x \Delta t S$$

тогда

$$F_t = \frac{1}{2} n V_x \Delta t S 2 m_0 V_x$$

отсюда

$$F = n m_0 V_x^2 S$$

4. Рассчитаем давление на стенки сосуда

$$p = \frac{F}{S} = \frac{n m_0 V_x^2 S}{S} = n m_0 V_x^2$$

Скорости всех молекул различны, для учета этого нужно взять среднее по всем направлениям значение квадрата скорости \bar{V}_x^2 вместо V_x^2 , тогда

$$p = m_0 n V_x^2, \text{ но } \bar{V}_x^2 = \frac{1}{3} V^2, \text{ тогда}$$

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{V}^2$$

Эта формула носит название **основного уравнения МКТ**.

5. Выразим основное уравнение МКТ через среднюю кинетическую энергию

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{V}^2}{2} = \frac{2}{3} n \bar{E}$$

6. Выразим основное уравнение МКТ через плотность газа

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{V}^2; \quad m_0 = \frac{m}{N}; \quad n = \frac{N}{V}; \quad p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} \frac{m}{N} \bar{V}^2 = \frac{1}{3} \frac{m}{V} \bar{V}^2 = \frac{1}{3} \rho \bar{V}^2$$

Таким образом, с помощью модели идеального газа была установлена связь макроскопического параметра (давления) с микроскопическими параметрами - массой молекулы, концентрацией и средним значением квадрата скорости их хаотического движения.