

## 10.02.2022 Г. Тема. Идеальный газ. Основное уравнение МКТ.

Посмотрите видео по ссылке [https://vk.com/video-40390872\\_456241083](https://vk.com/video-40390872_456241083) .Идеальный газ в МКТ.

В жизни мы встречаем вещества в газообразном состоянии, когда чувствуем запахи. Запах очень легко распространяется, потому что газ не имеет ни формы, ни объема (**занимает весь предоставленный объем**) и состоит из хаотично движущихся молекул, расстояние между которыми больше, чем размеры молекул. Агрегатных состояний точно три?

На самом деле есть еще **четвертое** — **плазма**. Звучит как что-то из научной фантастики, но это просто ионизированный газ — газ, в котором, помимо нейтральных частиц, есть еще и заряженные. Ионизаторы воздуха как раз строятся на принципе перехода из газообразного вещества в плазму.

### Модель идеального газа

В физике есть такое понятие, как модель. **Модель** — это что-то идеализированное, она нужна в случаях, когда можно пренебречь некоторыми параметрами объекта или процесса.

**Идеальный газ** — это модель реального газа. Молекулы идеального газа представляют собой материальные точки, которые не взаимодействуют друг с другом на расстоянии, но взаимодействуют при столкновениях друг с другом или со стенками сосуда. При работе с идеальным газом можно пренебречь потенциальной энергией молекул (но не кинетической).

#### Важно знать

Модель идеального газа не может описать ситуацию, когда газ сжимают так сильно, что он конденсируется — переходит в жидкое состояние.

В повседневной жизни идеальный газ, конечно, не встречается. Но реальный газ может вести себя почти как идеальный. Такое случается, если среднее расстояние между молекулами во много раз больше их размеров, то есть если газ очень разреженный.

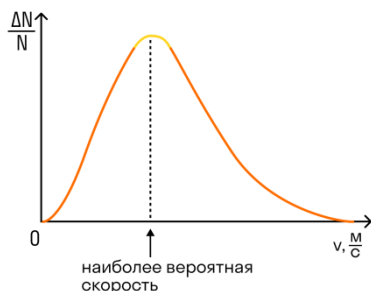
### Свойства идеального газа

- 1. Расстояние между молекулами значительно больше размеров молекул.*
- 2. Молекулы газа очень малы и представляют собой упругие шары.*
- 3. Силы притяжения между молекулами пренебрежимо малы.*
- 4. Молекулы взаимодействуют только при соударениях.*
- 5. Молекулы движутся хаотично.*
- 6. Молекулы движутся по законам Ньютона.*

### Среднеквадратичная скорость

Потенциальной энергией молекул газа пренебречь можно, а вот кинетической — никак нельзя. Потому что кинетическая энергия — это энергия движения, а мы не можем пренебрегать скоростью движения молекул.

На графике показано **распределение Максвелла** — то, как молекулы распределяются по скоростям. Судя по графику, большинство молекул движутся со средним значением скорости. Хотя есть и быстрые, и медленные молекулы, просто их значительно меньше.



Но наш газ идеальный, а в идеальном газе случаются чудеса. Одно из таких чудес — то, что все молекулы идеального газа двигаются с одинаковой скоростью. Эта скорость называется **средней квадратичной**.

. Пусть внутри сосуда, площадь стенки которой  $S$ , содержится идеальный одноатомный газ, масса каждой молекулы  $m_0$ , они хаотично движутся со скоростями  $v$ .

Общее число молекул в сосуде  $N$ , а через  $\sqrt{\bar{v}^2}$  обозначим среднюю квадратичную скорость их движения:

$$\bar{v} = \sqrt{\bar{v}^2} = \frac{\sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}}{N}. \quad (1)$$

Эксперимент свидетельствует, что в случае неизменной температуры сосуда и газа, скорость молекул газа также является постоянной и определяется по формуле (1).

Квадрат вектора скорости связан с его компонентами следующим соотношением:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2. \quad (2)$$

Полная хаотичность движения позволяет утверждать, что движение по всем направлениям происходит с одинаковой скоростью, поэтому

$$v_x^2 = v_y^2 = v_z^2.$$

Поэтому формула 2 будет иметь вид:

$$v^2 = 3v_x^2, \quad v_x^2 = \frac{1}{3} \cdot v^2. \quad (3)$$

Предположим, что молекулы газа движутся от одной грани к другой без столкновений.

Это упрощение вследствие большого количества молекул  $N$  и хаотичности их движения не влияет на точность расчетов. Во время столкновения со стенками сосуда молекулы идеального газа взаимодействуют с ними по законам механики как абсолютно упругие тела. Молекула действует на стенку с силой  $F_2$ , равная, согласно третьему закону

Ньютона, силе  $F_1$ , с которой стенка сосуда действует на молекулу и противоположная ей по направлению.

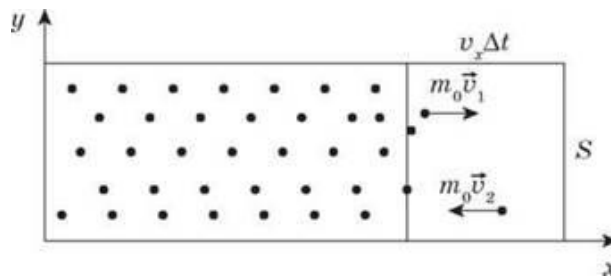
Пусть молекула массой  $m_0$  движется в направлении стенки сосуда, площадь которой  $S$ .

Упруго ударившись о стенку, она передает ей импульс:

$$F_1 \Delta t = m_0 v_{2x} - m_0 v_{1x} = m_0 v_x - (-m_0 v_x) = 2m_0 v_x. \quad (4)$$

За время  $\Delta t$  стенки сосуда могут достичь лишь те молекулы, которые содержатся в объеме:

$$V = S v_x \Delta t. \quad (5)$$



Поскольку в этом объеме половина молекул движется к стенке, а половина от нее, то количество молекул  $Z$ , которые ударятся о стенку за время  $\Delta t$ , равна:

$$Z = \frac{N}{2} = n \cdot \frac{V}{2}, \quad (6)$$

где  $n = \frac{N}{V}$  - концентрация молекул,  $[n] = \text{м}^{-3}$ . Подставив значения объема  $V$  из уравнения (5) в уравнение (6) получим:

$$Z = n V_2 \Delta t \cdot \frac{S}{2}.$$

Все эти молекулы передают стенке сосуда импульс, что, согласно второму закону Ньютона, равно импульсу силы:

$$F_1 \Delta t = 2m_0 v_x Z = 2m_0 v_x^2 n v_x \frac{S}{2} = m_0 v_x^2 n \Delta t S.$$

После упрощения сила  $F$ , с которой молекулы действуют на стенку  $S$ , равна:

$$F = m_0 n S v_x^2.$$

Так  $v_x^2 = \frac{1}{3} v'^2$ , а давление  $P = \frac{F}{S}$ , то получим выражение основного уравнения МКТ газов:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v^2. \quad (7)$$

Учтем то, что квадрат модуля скорости движения молекул равна среднему значению квадрата скорости  $(\overline{v^2} = \overline{v^2})$ , поэтому уравнение (7) будет иметь вид:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}. \quad (8)$$

**Это и есть основное уравнение МКТ.**

Давление молекул на стенки сосуда равна 1/3 произведению концентрации молекул на массу одной молекулы и на средний квадрат скорости движения молекул.

Основное уравнение МКТ связывает макроскопические величины - давление, которое можно измерить манометром, с микроскопическими величинами, характеризующими молекулы, и является как бы мостом между двумя мирами - макроскопическим и микроскопическим.

Если через  $\overline{E}_0$  обозначим среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул

$$E = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2},$$

то уравнение (8) примет следующий вид:

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E}_0 \quad (9)$$

давление молекул идеального газа пропорционален произведению числа молекул в единице объема на среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул.

Так  $n = \frac{N}{V}$ , а  $m_0 n = \frac{m_0 N}{V} = \frac{m}{V} = \rho$ , уравнение (8) примет следующий вид:

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}, \quad (10)$$

где  $\rho$  - плотность газа.

## УРАВНЕНИЕ МЕНДЕЛЕЕВА – КЛАПЕЙРОНА уравнение состояния идеального газа

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad \text{или} \quad pV = \nu RT$$

$m$  – масса газа,  $\mu$  – молярная масса газа (масса одного моля),

$m/\mu = \nu$  – количество вещества (молей)

Согласно **закону Авогадро**: 1 моль любого вещества содержит одно и то же число молекул (число Авогадро)  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> и 1 моль идеального газа занимает при нормальных условиях объем  $V = 22,4$  дм<sup>3</sup> =  $22,4 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>

$R$  – универсальная газовая постоянная **8.31 Дж/моль К**

$$R = kN_A \qquad N = \nu N_A$$

### III. Закрепление изученного материала

Задача. Плотность газа в баллоне газопаливной электрической лампочки  $\rho = 0,9$  кг/м<sup>3</sup>. Когда лампочка светится, давление газа возрастает с  $p_1 = 8 \cdot 10^4$  Па до  $p_2 = 1,1 \cdot 10^5$  Па. На сколько увеличилась при этом средняя скорость молекул газа?

Дано:  $\rho = 0,9$  кг/м<sup>3</sup>,  $p_1 = 8 \cdot 10^4$  Па,  $p_2 = 1,1 \cdot 10^5$  Па.

Найти:  $\bar{v}_2 - \bar{v}_1 - ?$

Решение:  $\bar{v} = \sqrt{\bar{v}^2}$  ;

$$\rho = m_0 n = \frac{m_0 N}{V} = \frac{m}{V} ;$$

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2 ; \quad \bar{v}^2 = \frac{3p}{\rho} ;$$

$$\bar{v}_2^2 = \frac{3p_2}{\rho} ; \quad \bar{v}_1^2 = \frac{3p_1}{\rho} ;$$

$$\bar{v}_2 - \bar{v}_1 = \frac{\sqrt{3}}{\rho} (\sqrt{p_2} - \sqrt{p_1}) .$$

### IV. Домашнее задание

**Выучить конспект. Решить задачу.**

Задача. Под каким давлением находится газ в сосуде, если средний квадрат скорости его молекул  $\bar{v}_2^2 = 106$  м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>. Концентрация молекул  $n = 3 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>, масса каждой молекулы  $m_0 = 5 \cdot 10^{-26}$  кг.

Выполненные работы *отправьте Шиловой Н.Н. на электронную почту*  
[yflzibkjdf@yandex.ru](mailto:yflzibkjdf@yandex.ru)