

Телепроект «МОЯ ШКОЛА в online»

ГОТОВИМСЯ К ЕГЭ

ФИЗИКА

11 класс

Урок №4

Молекулярная физика. Связь температуры со средней кинетической энергией движения молекул. Основное уравнение МКТ.

Курносов Валерий Михайлович
Учитель физики и астрономии
Физтех-лицея им. П. Л. Капицы

Молекулярная физика.

Основные положения МКТ.

Свойства молекул.

А) Вещество состоит из атомов или молекул, удаленных друг от друга на некоторое расстояние.

Б) Атомы или молекулы движутся непрерывно и хаотично.

В) Молекулы или атомы взаимодействуют друг с другом.

$d_0 \approx 10^{-8} \text{ см} = 10^{-10} \text{ м}$ — диаметр молекулы

$1 \text{ аеи} = \frac{1}{12} m_0 \text{ C}^{12}$ — атомная единица массы

$M = N_A \cdot m_0$ — молярная масса вещества

$N = \nu \cdot N_A = \frac{m}{M} N_A$ — число молекул в теле массой m

Молекулярная физика.

Основные положения МКТ.

Свойства молекул

Вещество может находиться в трех основных состояниях, называемых агрегатными: **твердом, жидком и газообразном**. Сначала мы рассмотрим газовое состояние вещества. Самая простая модель газа — идеальный газ. В этой модели молекулы — это упругие шарики, взаимодействующие друг с другом с помощью упругих ударов.

Основное уравнение МКТ

Рассмотрим небольшой цилиндрический объем газа, расположенный перпендикулярно к поверхности.

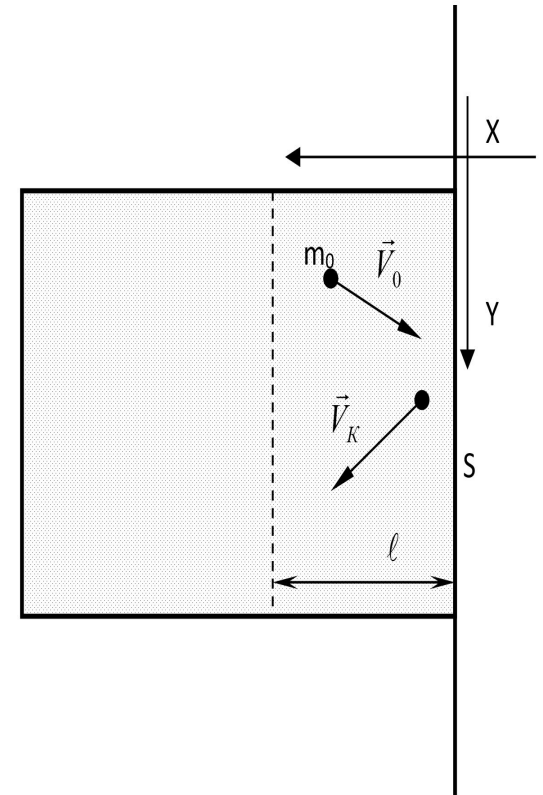
а) Выделим для рассмотрения молекулу массой m_0 , движущуюся со скоростью V_0 в сторону поверхности площадью S . Удар молекулы о поверхность абсолютно упругий, потому величина скорости не меняется. Не будут меняться и величины проекций скорости. Запишем изменение импульса молекулы:

$$\Delta \vec{p} = \vec{p}_K - \vec{p}_0$$

Т.к. проекция на ось OY не меняется и по знаку, рассмотрим проекцию изменения импульса на ось OX :

$\Delta p_x = p_{Kx} - p_{0x} = m_0 V_{Kx} - (-m_0 V_{0x})$, тогда получаем:

$\Delta p_x = 2m_0 V_{0x}$ — изменение импульса молекулы.



Основное уравнение МКТ

б) Число столкновений молекул за выделенный интервал времени записать можно, предполагая известной концентрацию молекул. За указанное время успеют долететь до стенки молекулы, удаление которых от поверхности не превышает расстояния: $l = V_{0X} \cdot \Delta t$. Тогда число столкновений будет равно **половине** числа молекул, расположенных в объеме **правее** пунктирной линии (вторая половина летит в обратном направлении):

$$Z = \frac{1}{2}nV = \frac{1}{2}nSV_{0X}\Delta t \text{ — число столкновений.}$$

в) Общее изменение импульса **всех** ударившихся молекул равно **произведению** найденных величин:

$$\Delta p_{\text{ОБЩ}} = \Delta p_X \cdot Z = 2m_0V_{0X} \cdot \frac{1}{2}nSV_{0X}\Delta t = m_0nV_{0X}^2S\Delta t$$

г) Из **второго закона Ньютона** следует, что сила, действующая на газ со стороны поверхности, равна:

$$F_{X\text{ГАЗ}} = \frac{\Delta p_{\text{ОБЩ}}}{\Delta t} = \frac{m_0nV_{0X}^2S\Delta t}{\Delta t} = m_0nV_{0X}^2S$$

По **третьему закону Ньютона** можем заключить, что сила, действующая на поверхность со стороны газа, равна силе, действующей на газ со стороны поверхности:

$$F_{X\text{ПОВ}} = F_{X\text{ГАЗ}} = m_0nV_{0X}^2S$$

Основное уравнение МКТ

д) Для нахождения давления газа на поверхность осталось найти среднее значение силы и поделить ее на площадь поверхности:

$$\overline{F_{X \text{ пов}}} = m_0 n \overline{V_{0X}^2} S;$$

$$p = \frac{\overline{F_{X \text{ пов}}}}{S} = \frac{m_0 n \overline{V_{0X}^2} S}{S} = m_0 n \overline{V_{0X}^2};$$

Настало время **применить** ранее полученное **соотношение скоростей** (соотношение получено из факта равновероятности направлений в движении молекул):

$$\overline{V^2} = 3 \cdot \overline{V_X^2}, \text{ откуда } \overline{V_X^2} = \frac{1}{3} \overline{V^2}, \text{ тогда } p = m_0 n \overline{V_{0X}^2} = \frac{1}{3} m_0 n \overline{V_0^2}$$

т.к. $\frac{m_0 \overline{V_0^2}}{2} = \overline{E_K}$ — средняя кинетическая энергия, то можно

переписать так: $p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{V_0^2} = \frac{2}{3} n \overline{E_K}$ — основное уравнение **МКТ**.

Давление газа **прямо пропорционально** средней кинетической энергии (средней квадратической скорости) молекул газа.

Связь температуры со средней кинетической энергией движения молекул

Полученное уравнение умножим на **молярный объем** и слева и справа.

$$pV_M = \frac{2}{3}nV_M\overline{E_K} = \frac{2}{3}N_A\overline{E_K}$$

Экспериментально полученное уравнение состояния Менделеева-Клапейрона может быть записано для одного **моля газа**

$$\text{так: } pV_M = RT$$

Здесь $V_M = 22,4$ л — объём 1 моль идеального газа при нормальных условиях.

Сравнивая выражения, получим: $RT = \frac{2}{3}N_A\overline{E_K}$, откуда следует,

что $\overline{E_K} = \frac{3}{2} \cdot kT$ — средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа.

Связь температуры со средней кинетической энергией движения молекул

Отметим, что речь идет об энергии поступательного движения молекулы. И, если движение может осуществляться по **трем** направлениям в **декартовой с.к.**, то на каждое направление (на каждую степень свободы) приходится энергия $\overline{\varepsilon_K} = \frac{1}{2} \cdot kT$ — средняя кинетическая энергия на **одну степень** свободы.

Не будет лишним напомнить, что существует еще энергия **вращательного и колебательного** движения молекулы.

Так же важно понимать, что все молекулы в смеси газов будут иметь **одинаковую** энергию при **одинаковой** температуре.

Связь температуры со средней кинетической энергией движения молекул

Часто встречающееся понятие **среднеквадратичной скорости** теперь вновь можно получить:

т.к. $\overline{E_K} = \frac{3}{2} \cdot kT = \frac{m(\overline{V^2})}{2}$, то, принимая во внимание, что

$V_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\overline{V^2}}$ — средняя квадратичная скорость, получим:

$V_{\text{СРКВ}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ — средняя квадратичная скорость.

Подставляя **формулу энергии** молекулы в основное уравнение МКТ, получим:

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E_K} = \frac{2}{3} n \cdot \frac{3}{2} \cdot kT = nkT$$

$p = nkT$ — **соотношение** между давлением, концентрацией и температурой.

Задачи по молекулярной физике

1. Плотность неизвестного газа $0,09 \text{ кг/м}^3$. При этом в объеме $V=0,1 \text{ м}^3$ содержится $N=2,7 \cdot 10^{24}$ молекул. Какой это газ? Определить его молярную массу.
{ $V=2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$? водород}
2. Какое давление на стенки сосуда производит кислород, если скорость его молекул $V=400 \text{ м/с}$ и в объеме $V=1 \text{ см}^3$ число молекул $N=2,7 \cdot 10^{19}$? {76кПа}
3. При давлении $p=10^5 \text{ Па}$ плотность воздуха $1,29 \text{ кг/м}^3$. Вычислите среднюю квадратичную скорость его молекул.
{482 м/с}
4. Каково давление газа, если в каждом кубическом сантиметре его содержится $n=10^6$ молекул, а температура газа $t=87 \text{ }^\circ\text{C}$? { $5 \cdot 10^{-9} \text{ Па}$ }
5. Давление газа в современной телевизионной трубке $p \approx 10^{-9} \text{ атм}$. Какое число молекул содержится в объеме 1 см^3 при комнатной температуре? { $2,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ }

Задачи по молекулярной физике

6. Сколько молекул газа находится в сосуде объемом $V=480 \text{ см}^3$ при температуре $t=20^\circ \text{ C}$ и давлении $p=250 \text{ кПа}$? $\{3 \cdot 10^{21}\}$
7. Спутник площадью поперечного сечения $S=3 \text{ м}^2$ движется по круговой орбите над Землей со скоростью $V=7,9 \text{ км/с}$. Давление воздуха на высоте орбиты $p=1,38 \cdot 10^{-4} \text{ Па}$, температура $T=120 \text{ К}$. Определить число столкновений молекул со спутником за время $t=1 \text{ с}$. $\{N= pSVt/kT= 1,98 \cdot 10^{20}\}$
8. Определить кинетическую энергию $N=10^5$ атомов гелия при температуре $t=47^\circ \text{ C}$. $\{E_k= 3kTN/2 = 6,62 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}\}$
9. Газ занимает объем $V=4 \text{ л}$ при давлении $p=5 \cdot 10^2 \text{ Па}$. Найти суммарную кинетическую энергию поступательного движения молекул. $\{E_k=3pV/2=3 \text{ Дж}\}$