



ЗДРАВСТВУЙТЕ!

Лекция 15. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ЕДИНИЦЫ И ПАРАМЕТРЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ.

1. Основные понятия и определения молекулярной физики и термодинамики.
2. Давление. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.
3. Температура. Единицы измерения температуры.
4. Изопроцессы идеальных газов.
5. Уравнение состояния газа (уравнение Менделеева-Клапейрона).

1. Основные понятия и определения молекулярной физики и термодинамики

Молекулярная физика – раздел физики, изучающий свойства тел в зависимости от характера движения и взаимодействия частиц, образующих тело.

Термодинамика анализирует условия и количественные соотношения превращения энергии.

Эти разделы физики взаимно дополняют друг друга и, как вы поняли из определений, отличаются различным подходом к изучаемым явлениям.

Исторически раньше сложилась термодинамика, или общая теория теплоты. Термодинамика является феноменологической наукой. Она не вводит никаких конкретных представлений и специальных гипотез о строении вещества и физической природы теплоты. Ее выводы основаны на общих принципах или началах, являющихся обобщением опытных фактов.

Термодинамика — термин, не соответствующий сути. Точнее было бы название термостатика, так как ни в одно уравнение термодинамически равновесных процессов не входит время.


Молекулярная физика, напротив, исходят из представления об атомно-молекулярном строении вещества, рассматривает теплоту как беспорядочное движение атомов и молекул.

Молекулярная физика, называется молекулярно – кинетической теорией строения вещества. Эта теория базируется на законах классической механики. Однако число молекул в любом теле невероятно велико: в газах $\sim 10^{25}$ шт/м³, в жидкостях и твердых телах $\sim 10^{28}$ шт/м³.

Вот тут то на помощь приходит **статистический метод**. Он основан на законах вероятности и математической статистики. Дело в том, что в совокупном движении огромного числа частиц, координаты и скорости которых в любой момент случайны, появляются определенные (статистические) закономерности. **Молекулярная физика рассматривает поведение частиц в совокупности (статистически)**.

Термодинамика возникла в XIX веке как теоретическая основа начавшей развиваться теплотехники.

Её первоначальная задача — изучение закономерностей превращения тепла в работу (в тепловых машинах). Основным содержанием современной физической термодинамики является изучение закономерностей тепловой формы движущейся материи и связанных с ней физических явлений. **Тепловая форма движения материи** — это хаотическое движение атомов и молекул в макроскопических телах.



О тепловом движении можно говорить только в тех случаях, когда рассматриваемая система является макроскопической, то есть состоит из огромного числа атомов и молекул. Не имеет смысла говорить о тепловом движении, когда система состоит из одного или нескольких атомов.

Особое положение термодинамики связано с тем, что любая форма энергии при ее превращениях в конце концов переходит в тепловую форму движения материи: электрическая, механическая, химическая энергии становятся в конце концов тепловыми энергиями.

Несколько терминов и понятий, широко используемых в термодинамике и молекулярной физике.

Совокупность тел, составляющих макроскопическую систему, называется **термодинамической системой**.

Система может находиться в различных состояниях. Величины, характеризующие состояние системы называются **параметрами состояния: давление, температура, объём**.

Любой параметр, имеющий определённое значение для каждого равновесного состояния, является **функцией состояния** (направление значения внутренней энергии при определенной температуре).

Равновесной называется такая **система**, параметры состояния которой одинаковы во всех точках системы и не изменяются со временем (**при неизменных внешних условиях**).

Термодинамическое равновесие существенно отличается от механического тем, что хотя параметры системы остаются неизменными, частицы, из которых состоит система, находятся в непрерывном движении.

Например, рассмотрим газ равномерно распределенный по всему объему. Но даже при большом числе молекул, некоторые отклоняются от равномерного распределения.

Параметры состояния не остаются строго постоянными, а испытывают небольшие колебания внутри своих равновесных состояний. Такие колебания называются **флуктуациями**.

Процесс — переход из одного равновесного состояния в другое.

Релаксация — возвращение системы в равновесное состояние. Если система выведена из состояния равновесия и предоставлена самой себе, то есть не подвержена внешним воздействиям, то самопроизвольно происходит процесс перехода к равновесному состоянию.

Время перехода – время релаксации. Если равновесие установилось, то система самопроизвольно не сможет выйти из него. Горячий камень опустили в воду. Наступит равновесное состояние: температуры одинаковы, и сколько не жди, температура не увеличится.

Атомная единица массы (а.е.м.) – $m_{\text{ед}}$ – единица массы, равная 1/12 массы изотопа углерода C^{12} .

$$1 \text{ а.е.м.} = m_{\text{ед}} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Атомная масса химического элемента A – есть отношение массы атома этого элемента к 1/12 изотопа углерода C^{12} (**Атомная масса – безразмерная величина**).

$$m_0 = Am_{\text{ед}} \quad (15.1)$$

Количество вещества, в котором содержится число молекул, равное числу атомов в 12 г ^{12}C (изотопа углерода) называется **молем** (в 12 кг – киломолем).

Число молекул в одном моле называется **числом Авагадро**

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 6,02 \cdot 10^{26} \text{ кмоль}^{-1}.$$

Молярная масса – масса одного моля (μ)

$$\mu = A m_{\text{ед}} N_A \quad (15.2)$$

При одинаковых температурах и давлениях все газы содержат в единице объёма одинаковое число молекул. Число молекул, содержащихся в 1 м^3 при нормальных условиях, называется **числом Лошмидта**:

$$N_L = p_0/kT_0 = 2,68 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

Нормальные условия: $p_0=10^5$ Па; $T_0=273$ К; k — постоянная Больцмана равная $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

2. Давление. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

Рассмотрим подробнее, что представляет собой один из основных параметров состояния давление (p). Ещё в 18 веке Даниил Бернулли предположил, что давление газа – есть следствие столкновения газовых молекул со стенками сосуда. Именно давление чаще всего является единственным сигналом присутствия газа. Вообще давление определяется по формуле:

$$p = \frac{dF_n}{dS} \quad (15.3)$$

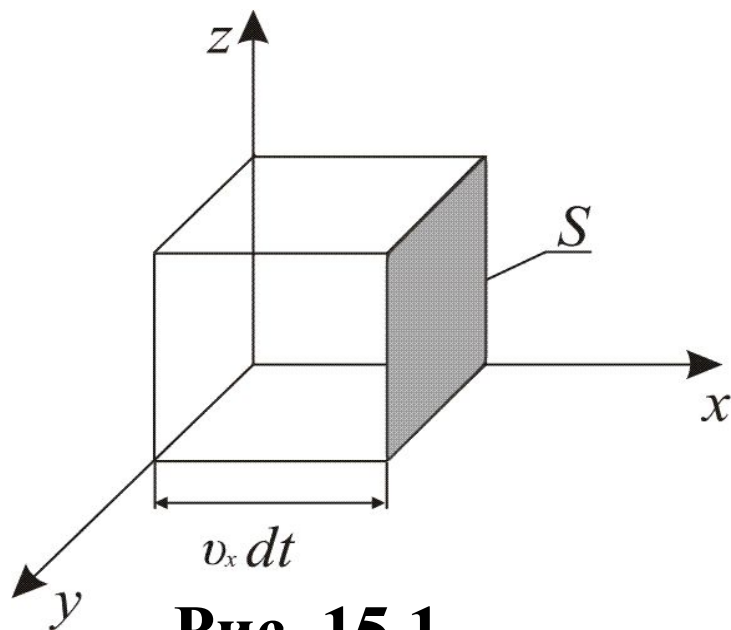


Рис. 15.1

Вычислим давление, оказываемое газом на одну из стенок сосуда (рис. 15.1). Рассуждения простейшие, но конечная формула верна. Обозначим n – концентрация молекул в сосуде; m_0 – масса одной молекулы.

Каждая молекула обладает импульсом $m_0 v_x$, но стенка получает импульс $2m_0 v_x$ (при абсолютно-упругом ударе $m_0 v_x - (-m_0 v_x) = 2m_0 v_x$). За время dt о стенку, площадью S , успеет удариться число молекул, которое заключено в объёме V .

$$n = S v_x dt. \quad (15.4)$$

Общий импульс, который получит стенка S :

$$F dt = \frac{1}{6} n 2 m_0 v_x v_x S dt = \frac{1}{3} m_0 n v_x^2 S dt. \quad (15.5)$$

Разделим обе части равенства на S и dt :

$$\frac{F}{S} = \frac{1}{3} n m_0 v_x^2 = p \text{ (давление)} \quad (15.6)$$

то есть определили давление, как силу, действующую в единицу времени на единицу площади:

$$p = dF/dS.$$

Наивно полагать, что все молекулы подлетают к стенке S (Рис. 15.1) с одной и той же скоростью v_x .

На самом деле молекулы имеют разные скорости, направленные в разные стороны, то есть скорость газовых молекул – **случайная величина**.

Более точно **случайную величину** характеризует **среднеквадратичная величина**. Поэтому под скоростью v_x^2 понимаем среднеквадратичную скорость. Вектор скорости, направленный произвольно, можно разложить на три составляющие:

$$\langle v^2 \rangle = \langle v_x^2 \rangle + \langle v_y^2 \rangle + \langle v_z^2 \rangle \quad (15.7)$$

Ни одной из этих проекций нельзя отдать предпочтение из-за хаотичного теплового движения молекул, т.е. $\langle v_x^2 \rangle = \langle v_y^2 \rangle = \langle v_z^2 \rangle$. Следовательно, на другие стенки будет точно такое же давление.

Тогда можно записать в общем случае:

$$p = \frac{1}{3} m_0 n v_{\text{KB}}^2 = \frac{2}{3} n \frac{m_0 v_{\text{KB}}^2}{2}, \quad (15.8)$$

т.е.

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 v_{\text{KB}}^2}{2} = \frac{2}{3} n \langle E_k \rangle, \quad (15.9)$$

где $\langle E_k \rangle$ – средняя энергия одной молекулы. Это и есть

основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов.

Итак, давление газов определяется средней кинетической энергией поступательного движения молекул.

Почему называется основное уравнение? Давление p – макроскопический параметр, связанный с микроскопическими параметрами: массой, скоростью молекул, – основные характеристики. Иногда за основное уравнение принимают $p = nkT$.

Единицы измерения давления:

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2; 1 \text{ ат.} = 9,8 \text{ Н/см}^2 = 98066 \text{ Па} \approx 10^5 \text{ Па}$$

$$1 \text{ мм.рт.ст.} = 1 \text{ Тор} = 1/760 \text{ ат.} = 133,3 \text{ Па}$$

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}; 1 \text{ ат.} = 0,98 \text{ бар.}$$