

ЛЕКЦИЯ 1

**Термодинамическая система. Идеальный газ. Температура.
Адиабатический процесс**

Механика изучает закономерности движений тел, их перемещений в пространстве. Тел не так много, и начальные условия определяют их траекторию. В термодинамике движение частиц не зависит от начальных условий, так как частиц очень много.

Термодинамика оперирует параметрами, описывающими состояние вещества: давление, температура, объем, плотности, концентрации.

- **Система** — это совокупность рассматриваемых тел — частиц, взаимодействующих между собой и внешней средой посредством обмена веществом и энергией.
- **Замкнутая система** — система, не обменивающаяся энергией и веществом с внешней средой.
- **Закрытая система** обменивается с внешней средой только энергией.
- **Открытая система** обменивается и веществом и энергией одновременно.
- **Термодинамическая система:**

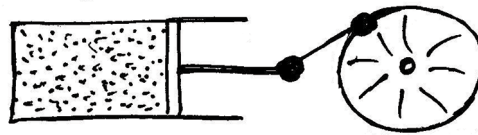


Рис. 1.1.

Состояние этой системы может быть описано по-разному:

- **Микроскопическое состояние системы** — состояние, определяемое заданием координат и импульсов всех составляющих систему частиц;
- **Макроскопическое состояние системы** — состояние, характеризуемое макроскопическими параметрами: давление, объем, температура и т.д. Среди них выделяется внешний параметр V (определяется положением поршня), а также электрическое, магнитное, гравитационное поля — тоже внешние параметры системы.
- **Нулевое начало термодинамики:** всякая изолированная система сама приходит в состояние **термодинамического равновесия** — это когда нет обмена с внешней средой ни веществом ни энергией, и внутри не происходит изменения параметров P, V, T .

Пример 1.1. Если взять стекловидное вещество и охладить до абсолютного нуля температур, то оно не будет находиться в состоянии термодинамического равновесия. Стекло не кристаллическое вещество, а аморфное, и к равновесию оно идет очень долго.

Идеальный газ — основная модель газа в термодинамике, имеющая к газу реальному слабое отношение. Идеальный газ не может быть сконденсирован, превращен в жидкое и твердое тело.

- Идеальный газ — газ не взаимодействующих друг с другом частиц. То есть, энергия их взаимодействия много меньше кинетической энергии этих частиц

Лекция 1. Термодинамическая система

или газ достаточно разрежен — среднее расстояние между молекулами много больше размеров самих молекул. Идеальный газ — газ исчезающе-малого размера частиц.

Пусть есть поршень S . Рассчитаем давление, оказываемое газом на поршень.

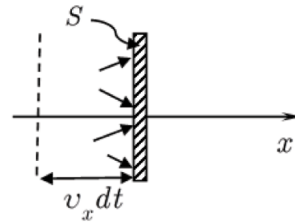


Рис. 1.2.

Число частиц, упавших на поршень за время dt в рассматриваемом объеме:

$$\frac{1}{2}v_x dt \cdot S \cdot n, \quad n = \frac{N}{V} [\text{см}^{-3}] \text{ — концентрация}$$

Упадут не все, а только половина частиц, и берем частицы из диапазона скоростей: $(v_x, v_x + dv_x)$. Молекулы ударяются абсолютно упруго, поэтому изменение импульса:

$$dp = 2mv_x,$$

$$dp_\Sigma = \left(\frac{1}{2}v_x dt \cdot S \cdot n \right) \cdot 2mv_x = n \cdot mv_x^2 S dt,$$

$$F_{v_x} = \frac{dp_\Sigma}{dt} = n \cdot m \cdot v_x^2 \cdot S$$

— сила удара, которую воспринимает поршень.

$$P_{v_x} = \frac{F_{v_x}}{S} = n \cdot m \cdot v_x^2,$$

$$P = \frac{1}{3}n \cdot m \cdot \overline{v^2}, \quad v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2, \quad \overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}.$$

Молекул много, газ в состоянии термодинамического равновесия, поэтому не важно, как направлены оси, следовательно $\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$.

$$P = \frac{2}{3}n \left\langle \frac{mv^2}{2} \right\rangle$$

Рассмотрим одноатомный газ

$$U = N \cdot \left\langle \frac{mv^2}{2} \right\rangle + u_0$$

— полная внутренняя энергия газа, будем считать для удобства в одноатомном газе $u_0 = 0$.

$$P = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \left\langle \frac{mv^2}{2} \right\rangle = \frac{2}{3} \cdot \frac{U}{V}$$

Калорическое уравнение состояния одноатомного газа:

$$PV = \frac{2}{3}U$$

Общая формула: $PV = (\gamma - 1)U$, где γ — показатель адиабаты (калорическое уравнение уже для двух-трех-атомного газа). Для одноатомного газа $\gamma = 5/3$.

- **Адиабатическая система** — это система теплоизолированная, то есть она не обменивается энергией, не обменивается работой:

$$\delta A = F dx = PS dx = P dV < 0$$

— мы сжимаем газ, мы работаем над ним. Работа идет на увеличение внутренней энергии.

$$dU = -P dV, \quad U = \frac{PV}{\gamma - 1},$$

$$dU = \frac{P dV + V dP}{\gamma - 1} = -P dV, \quad P dV + V dP = -\gamma P dV + P dV,$$

$$\frac{dP}{P} = -\gamma \frac{dV}{V},$$

$$\ln P = -\gamma \ln V + \text{const},$$

Уравнение адиабаты:

$$pV^\gamma = \text{const},$$

где γ — показатель адиабаты.

- **Квазистатический процесс** — бесконечно медленный процесс, в котором в каждое мгновение система находится в равновесии.

Пример 1.2 (неквазистатического процесса). Расширение газа в вакуум.

- **Температура** — характеристика теплового равновесия.

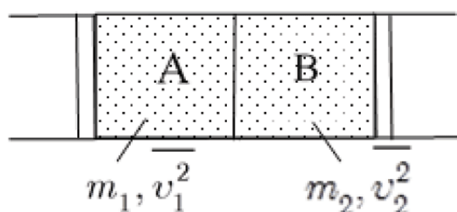


Рис. 1.3.

При длительном контакте двух систем:

$$\frac{\overline{m_1 v_1^2}}{2} = \frac{\overline{m_2 v_2^2}}{2}$$

— средние кинетические энергии поступательного движения молекул как целого (это и можно назвать температурой).

Закон распределения (равномерно) кинетической энергии по степеням свободы (число независимых координат, с помощью которых можно показать расположение тела в пространстве).

У твердого тела 6 степеней свободы.

У материальной точки 3 степени свободы.

У гантели 5 степеней свободы (модель двухатомного идеального газа).

$$\frac{\overline{mv^2}}{2} = 3 \frac{KT}{2}.$$

На каждую степень свободы приходится $\frac{KT}{2}$. Следовательно,

$$KT = \frac{2}{3} \left\langle \frac{mv^2}{2} \right\rangle.$$

Абсолютная шкала температур — градусы Кельвина. $1K = 1^\circ C$.

При 1 атм.=760 мм рт.ст.=101 325 Па температура затвердевания воды $0^\circ C$, а кипения $100^\circ C$.

$$P = \frac{2}{3} mn \frac{\overline{v^2}}{2} = \frac{2}{3} n \cdot \frac{3}{2} KT.$$

– Уравнение состояния идеального газа

$$P = nKT$$

$$K = 1,38 \cdot 10^{-16} \frac{\text{эрг}}{K} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{K},$$

$K = t^\circ + 273,15(K)$ — температура в кельвинах.

$$PV = NKT = \nu N_A KT = \nu RT,$$

где N — полное число молекул в системе,

$R = N_A K = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$ — универсальная газовая постоянная,

$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$ (m — масса газа, M — молярная масса).

– Два способа изменить состояние системы:

1. Работа: $\delta A = P dV$.

$A > 0$, если газ работает сам;

$A < 0$, если работу совершают над газом.

2. Теплообмен: δQ — количество теплоты, равное энергии, переданной газу или взятой от него через теплообмен.

Правило знаков: $\delta Q > 0$, если газ поглощает тепло; $\delta Q < 0$ — газ отдает тепло.

– **Внутренняя энергия** — потенциальная энергия, отсчитанная от какого-то уровня.

$$dU = +\delta Q - \delta A$$

где δ — неполный дифференциал, приращение функции двух переменных.

$dQ \neq Q_2 - Q_1$, $dA \neq A_2 - A_1$, так как это процессы.