

ГЛАВА II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

§3. I начало термодинамики

**О. И. Лубенченко
НИУ МЭИ**

**Кафедра физики им. В. А. Фабриканта
2020**

I. Внутренняя энергия

Внутренняя энергия термодинамической системы — ФВ — сумма следующих составляющих:

1. Кинетическая энергия теплового движения молекул (поступательного, вращательного и колебательного)
2. Потенциальная энергия взаимодействия молекул
3. Потенциальная энергия взаимодействия атомов в молекуле
4. Энергия атомных оболочек
5. Внутряядерная энергия

II. Внутренняя энергия идеального газа

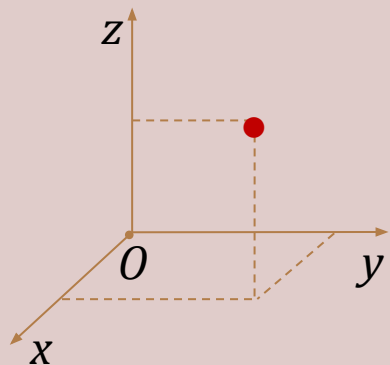
Внутренняя энергия идеального газа — ФВ — кинетическая энергия поступательного и вращательного движения молекул.

Для одноатомного газа $\langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2} kT$

$$U = N \left(NkT \frac{3}{2} \right) = \nu N kT = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

Число степеней свободы механической системы — наименьшее число независимых координат, которыми определяется положение системы в пространстве.

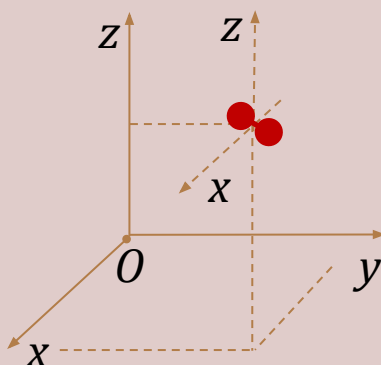
Одноатомная молекула



$$i = 3$$

3 степени свободы,
соответствующие
поступательному
движению

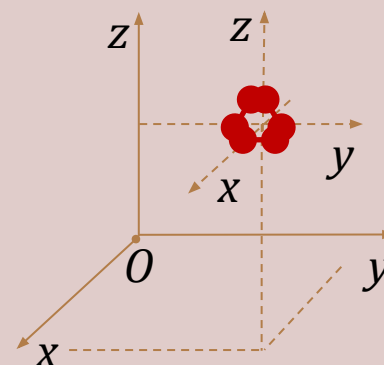
Двухатомная молекула



$$i = 5$$

3 степени свободы,
соответствующие
поступательному
движению,
+ 2 степени свободы,
соответствующие
вращательному
движению

Многоатомная молекула



$$i = 6$$

3 степени свободы,
соответствующие
поступательному
движению,
+ 3 степени свободы,
соответствующие
вращательному
движению

Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы:

в любой термодинамической системе на одну степень свободы молекулы приходится энергия, в среднем равная $\frac{kT}{2}$.

Доказательство

Для поступательного движения $\langle \varepsilon_{\text{поступ}} \rangle = \frac{3}{2}kT$

$$\langle \varepsilon_{\text{поступ}} \rangle = \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2} = \frac{m_0}{2} \langle v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \rangle = \frac{m_0 \langle v_x^2 \rangle}{2} + \frac{m_0 \langle v_y^2 \rangle}{2} + \frac{m_0 \langle v_z^2 \rangle}{2} = 3 \langle \varepsilon_1 \rangle$$

$$\langle \varepsilon_1 \rangle = \frac{kT}{2}$$

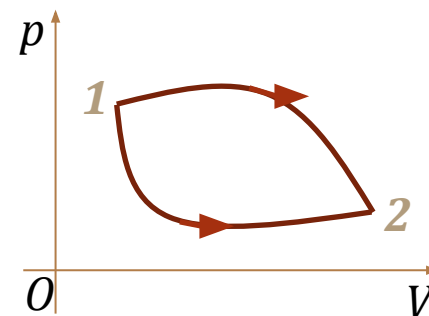
$$U = N \langle \varepsilon \rangle = N \cdot \frac{i}{2} kT = \nu N kT = \nu RT = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

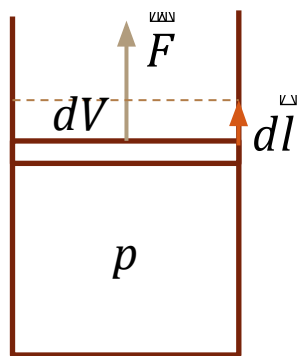
Изменение внутренней энергии при переходе системы из состояния **1** в состояние **2**

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R (T_2 - T_1) = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T$$

Внутренняя энергия — функция состояния термодинамической системы.



III. Работа газа

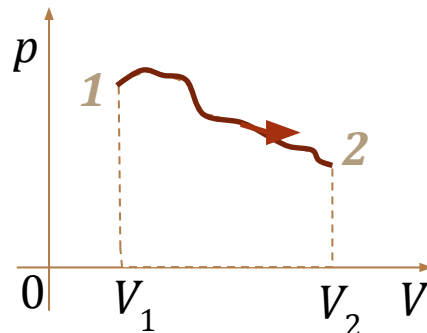


$$\delta A = \overline{F} dl = F dl = p S dl = p dV$$

$$\delta A = p dV$$

$$A = \int_1^2 p dV$$

Графический смысл работы — площадь под графиком $p(V)$.



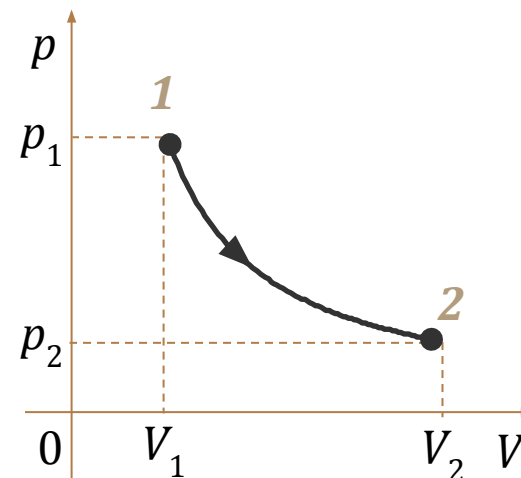
ПРИМЕР

Работа при изотермическом расширении идеального газа

Идеальный газ расширяется при постоянной температуре от объёма V_1 при давлении p_1 до объёма V_2 . Найти работу газа.

$$pV = \text{const} \implies pV = p_1V_1 \implies p(V) = \frac{p_1V_1}{V}$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV = \int_{V_1}^{V_2} p_1V_1 \frac{dV}{V} = p_1V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$



IV. Количество теплоты. Теплоёмкость

Количество теплоты — ФВ — характеристика термодинамического процесса — энергия, передаваемая термодинамической системе без совершения работы.

Теплоёмкость системы (тела) — ФВ — характеристика термодинамической системы и совершаемого ею процесса, равная количеству теплоты, которое необходимо передать системе для нагревания её на один градус:

$$C = \frac{\delta Q}{dT}$$

$$[C] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Удельная теплоёмкость вещества — ФВ — теплоёмкость вещества единичной массы:

$$c = \frac{\delta Q}{m dT}$$

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Молярная теплоёмкость вещества — ФВ — теплоёмкость одного моля вещества:

$$C_{\mu} = \frac{\delta Q}{\nu dT}$$

$$[C_{\mu}] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

V. I начало термодинамики

ЗСЭ в применении к термодинамическим процессам

I начало термодинамики: количество теплоты, переданное термодинамической системе, равно сумме изменения внутренней энергии системы и работы, совершённой системой:

в интегральной форме:

$$Q = \Delta U + A$$

в дифференциальной форме:

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