

# **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. Внутриядерная 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.



## **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  $\langle \varepsilon_{\text{поступ}} \rangle = \frac{3}{2}kT$

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

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

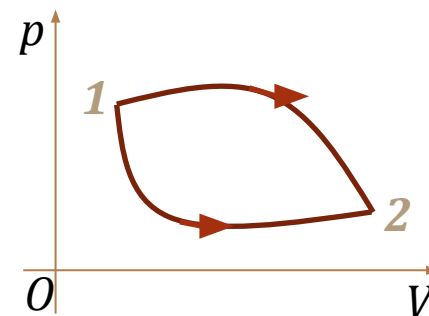
$$U = N \langle \varepsilon \rangle = N \cdot \frac{i}{2} kT = \nu N kT = \nu RT = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

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

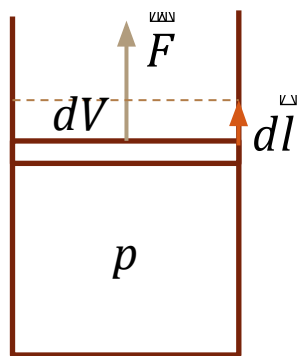
Изменение внутренней энергии при переходе системы из состояния **1** в состояние **2**

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

Внутренняя энергия — функция состояния термодинамической системы.



## III. Работа газа

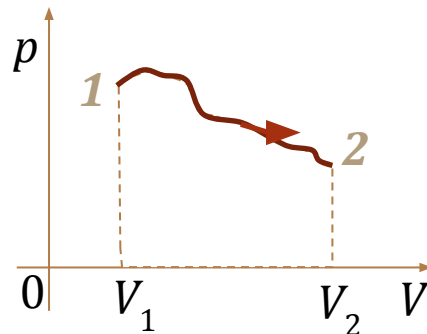


$$\delta A = \vec{F} d\vec{l} = F dl = p S dl = p dV$$

$$\delta A = p dV$$

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

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



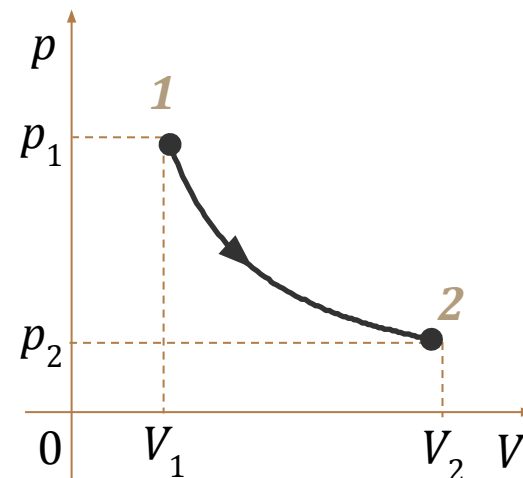
## ПРИМЕР

*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:***

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