

Лекция № 10

Основы классической термодинамики. Первое начало термодинамики

The background of the slide is a solid blue color. In the bottom right corner, there are several faint, concentric circles that resemble ripples on water, rendered in a slightly lighter shade of blue.

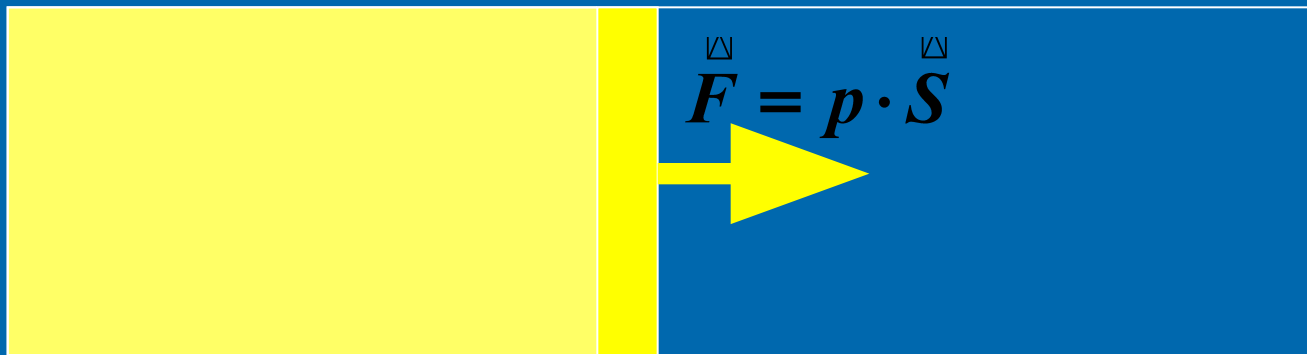
Внутренняя энергия

$$\langle \varepsilon_{i \text{ см.св.}} \rangle = \frac{i}{2} \cdot k_B \cdot T$$

$$U = \langle \varepsilon_{i \text{ см.св.}} \rangle \cdot N = \frac{i}{2} \cdot k_B \cdot T \cdot N = \frac{i}{2} \cdot k_B \cdot T \cdot \nu \cdot N_A$$

$$U = \frac{i}{2} \cdot R \cdot T \cdot \nu$$

Работа газа

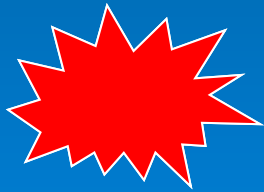
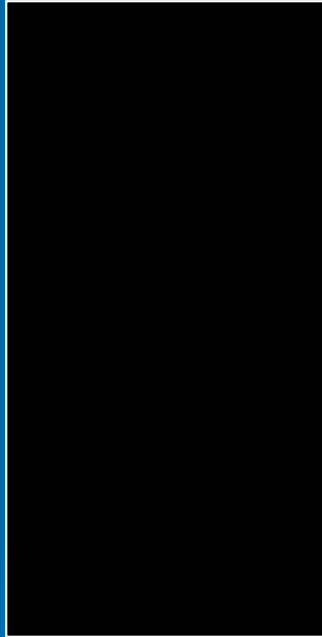


$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{x} \quad dA = F \cdot dx \quad dA = p \cdot S \cdot dx$$

$$dA = p \cdot dV \quad A = \int_1^2 dA = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

$$A_{\text{над_газом}} = -A_{\text{газа}}$$

Теплота



Теплота – это
количество энергии,
которое тело
получает или теряет
в процессе
теплопередачи.
Измеряется в Дж.

Теплоёмкость

Полная : $C_{пол} = \frac{dQ}{dT}$ $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

Удельная : $C_{уд} = \frac{dQ}{m \cdot dT}$ $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

Молярная : $C_m = \frac{dQ}{\nu \cdot dT}$ $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

$$C_{уд} = \frac{C_m}{\mu}$$

Первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A$$

$$dQ = dU + dA$$

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

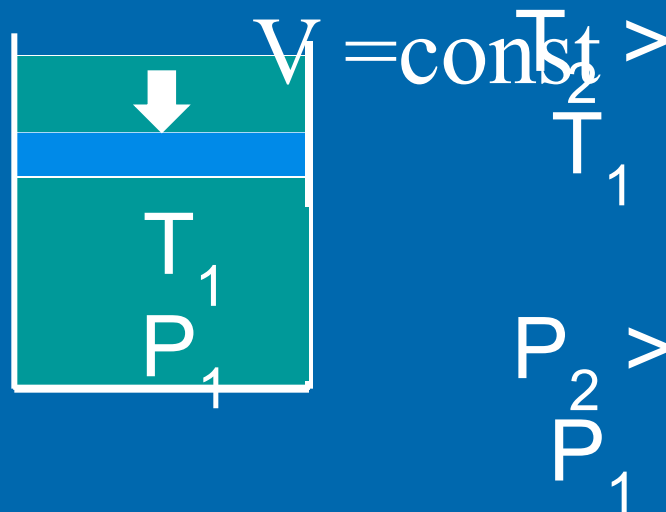
Изопроцессы

$$pV = \nu RT$$

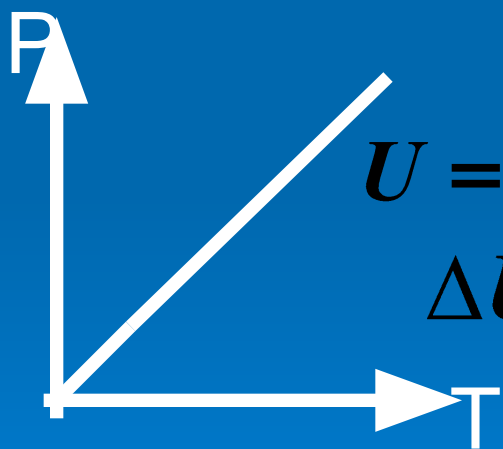
$$\frac{pV}{T} = \nu R = \textit{const}$$

Изопроцессы – термодинамические процессы, во время которых масса и ещё одна из физических величин – параметров состояния – остаются неизменными.

Изохорический процесс (закон Шарля)



Jacques
Alexandre
Césaire **Charles**
1746–1823



$$Q = Q_U \Delta U$$

$$U = \frac{i}{2} \cdot R \cdot T \cdot \nu$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot R \cdot \Delta T \cdot \nu = \frac{i}{2} \cdot V \cdot \Delta p$$

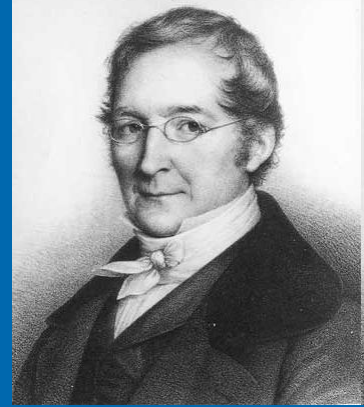
$$A = 0$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

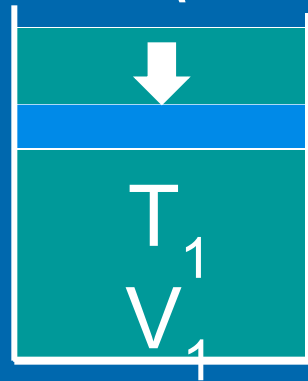
$$C_{mV} = \frac{\delta Q}{\nu \cdot dT} = \frac{i}{2} \cdot R$$

Изобарический процесс

(Закон Гей-Люссака)

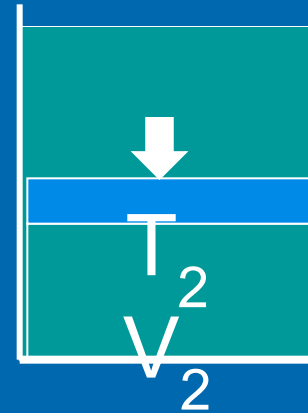


Joseph Louis
Gay-Lussac
1778 – 1850



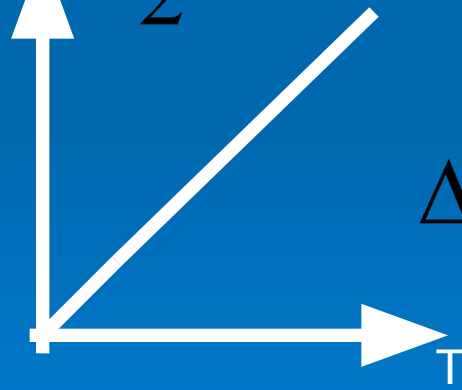
$$P = \text{const}$$

$$\frac{T_2}{T_1}$$



$$\frac{V_2}{V_1} < 1$$

$$C_{mp} = \frac{i+2}{2} \cdot R$$



$$Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot R \cdot \Delta T \cdot \nu = \frac{i}{2} p \cdot \Delta V$$

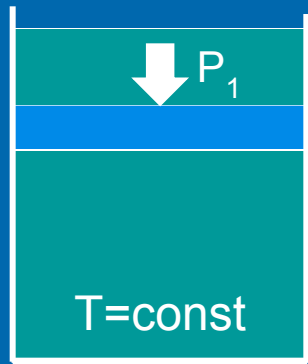
$$A = p \cdot \Delta V = \nu \cdot R \cdot \Delta T$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = Q = \left(\frac{i+2}{2} \right) \cdot R \cdot \Delta T \cdot \nu = \frac{i+2}{2} \cdot p \cdot \Delta V$$

Изотермический процесс (Закон Бойля – Мариотта)



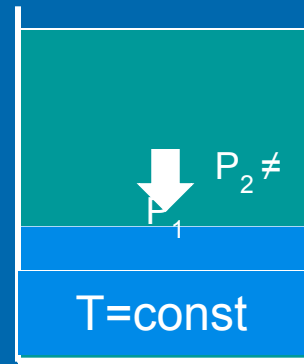
англ. *Robert Boyle*,
ирл. *Robaird Ó
Bhaill*;
1627 — 1691



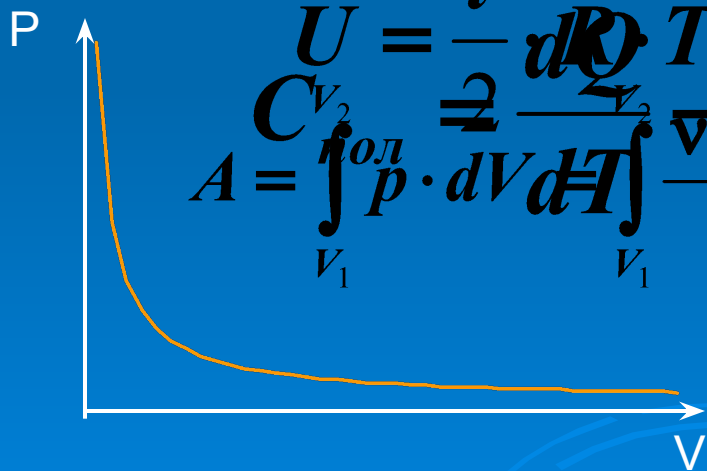
$$T = \text{const}$$

$$p_1$$

$$V_2 < V_1$$



Edme Mariotte
1620 – 1684



$$U = \frac{i}{2} \nu R T$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

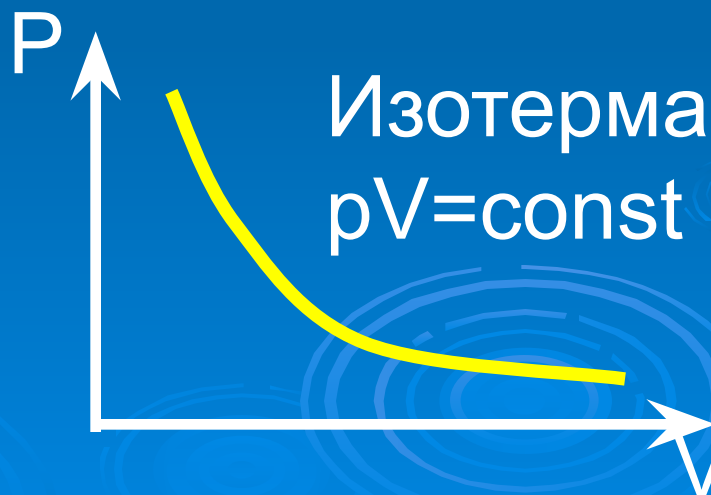
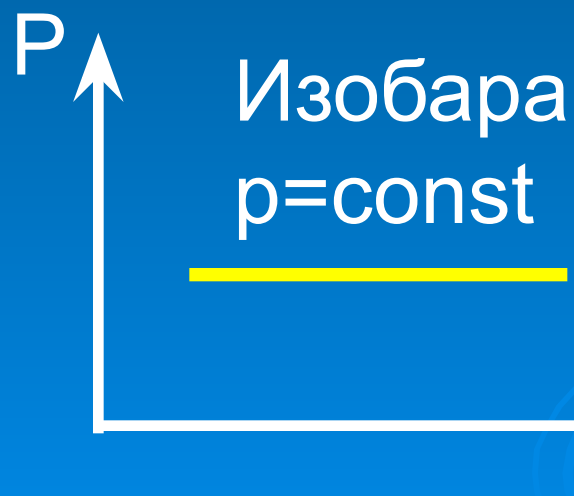
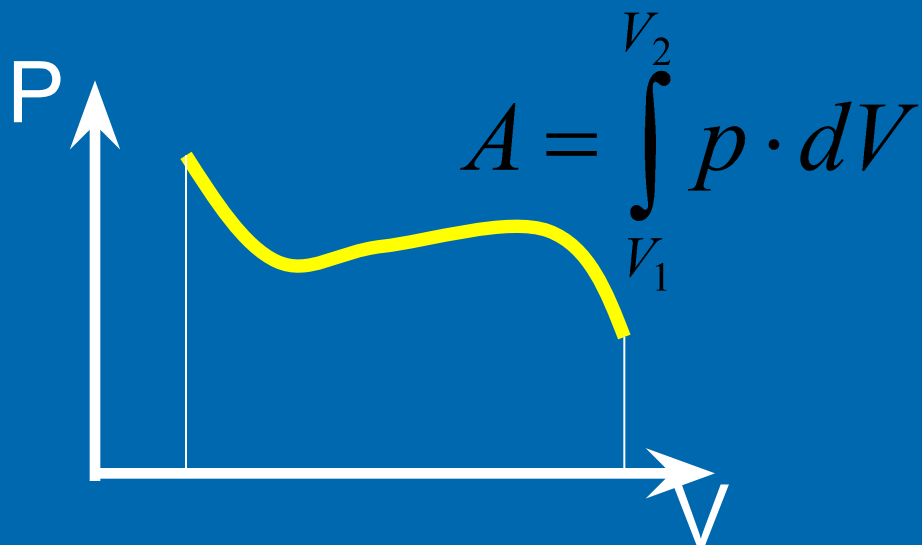
$$\Delta U = 0$$

$$A = \nu \cdot R \cdot T \cdot \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

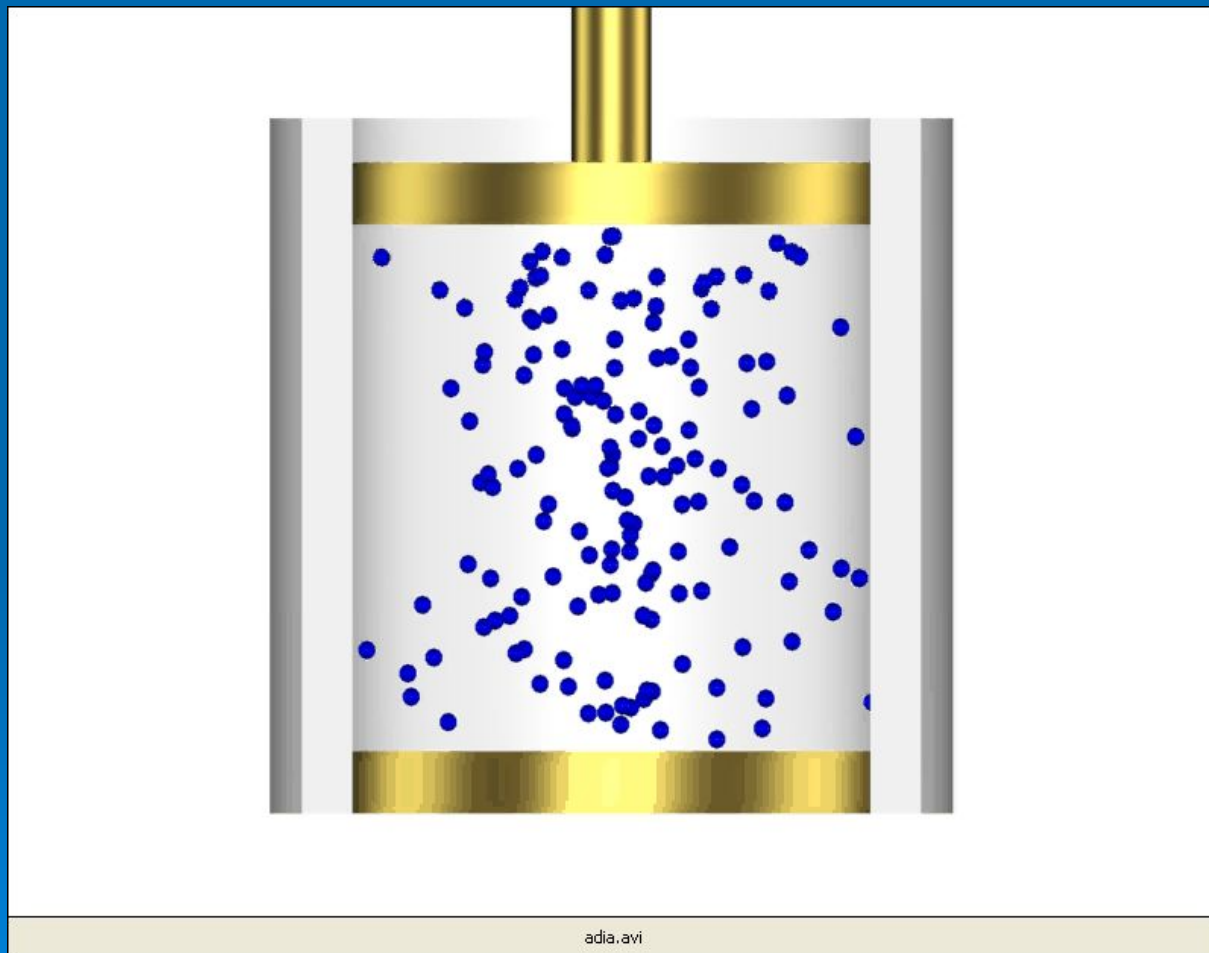
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}$$

$$\nu \cdot R \cdot T = p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

p - V диаграмма



Адиабатический процесс



Адиабатический процесс

$$Q = 0$$

$$\delta Q = 0$$

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

$$\frac{i}{2} \nu R dT + p dV = 0$$

$$pV = \nu RT$$

$$p dV + V dp = \nu R dT$$

$$\frac{i}{2} p dV + \frac{i}{2} V dp + p dV = 0$$

$$\frac{i+2}{2} p dV = -\frac{i}{2} V dp$$

Адиабатический процесс

$$\frac{i+2}{2} p dV = -\frac{i}{2} V dp$$

$$\frac{i+2}{i} \frac{dV}{V} = -\frac{dp}{p}$$

$$\frac{i+2}{i} \int \frac{dV}{V} = -\int \frac{dp}{p}$$

$$\frac{i+2}{i} = \gamma$$

$$\gamma \cdot \ln V = -\ln p + \text{const}'$$

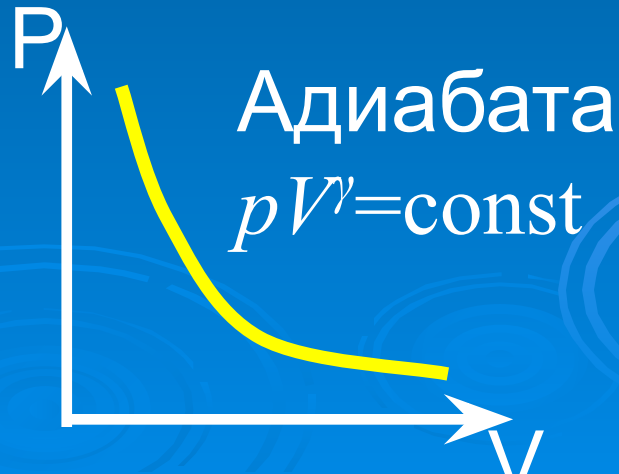
$$\ln(pV^\gamma) = \text{const}'$$

Адиабатический процесс

$$\ln(pV^\gamma) = \text{const}'$$

$pV^\gamma = \text{const}$ – уравнение адиабаты

$$\gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{C_p}{C_v} \text{ – показатель адиабаты}$$



Политропический процесс

$$C = \text{const} \quad \delta Q = C \cdot dT \quad \delta Q = dU + \delta A$$

$$\frac{i}{2} \nu R dT + p dV = C dT$$

$$pV = \nu RT \quad p dV + V dp = \nu R dT$$

$$\frac{i}{2} p dV + \frac{i}{2} V dp + p dV = C \frac{p dV + V dp}{\nu R}$$

$$\left(\frac{i+2}{2} \nu R - C\right) p dV = -\left(\frac{i}{2} \nu R - C\right) V dp$$

Политропический процесс

$$\left(\frac{i+2}{2}\nu R - C\right)p dV = -\left(\frac{i}{2}\nu R - C\right)V dp \quad n = \frac{C - C_p}{C - C_V}$$

$$n \frac{dV}{V} = -\frac{dp}{p} \quad n \int \frac{dV}{V} = -\int \frac{dp}{p}$$

$$n \cdot \ln V = -\ln p + \text{const}'$$

$$\ln(pV^n) = \text{const}'$$

Политропический процесс

$$\ln(pV^n) = \text{const}'$$

$$pV^n = \text{const} - \text{уравнение политропы}$$

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v} - \text{показатель политропы}$$