Лекция № 10

Основы классической термодинамики. Первое начало термодинамики

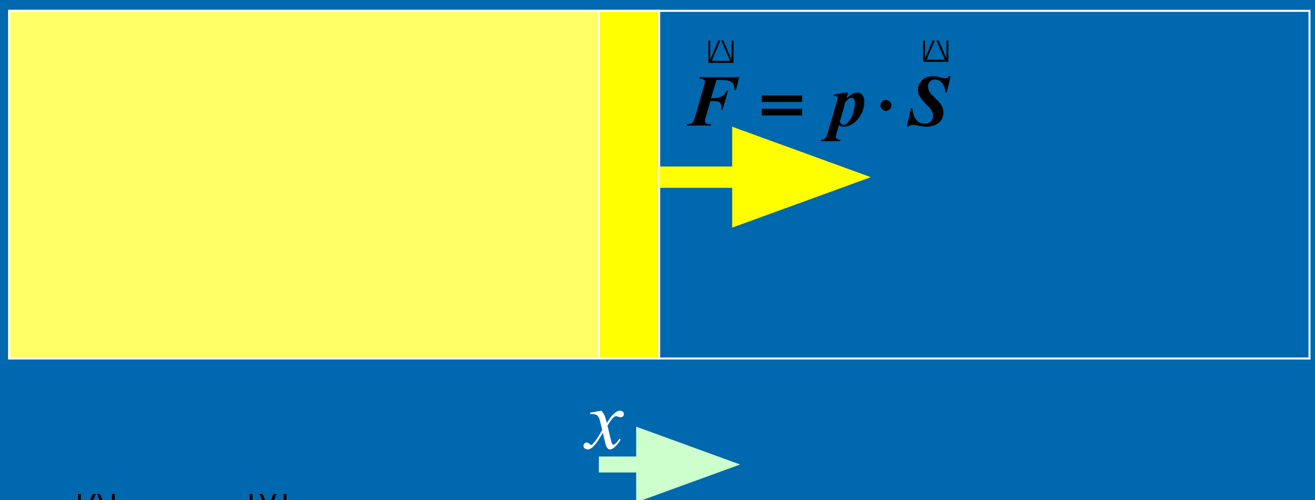
Внутренняя энергия

$$< \varepsilon_{i\, ст.св.} > = \frac{i}{2} \cdot k_B \cdot T$$

$$U = < \varepsilon_{i\, ст.св.} > \cdot N = \frac{i}{2} \cdot k_B \cdot T \cdot N = \frac{i}{2} \cdot k_B \cdot T \cdot \nu \cdot N_A$$

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

Работа газа



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

$$dA = p \cdot dV$$

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

$$A_{над\_газом} = -A_{газа}$$

Теплота

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

Теплоёмкость

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

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

Молярная: $C_{м} = \dfrac{dQ}{\nu \cdot dT}$ $\quad \dfrac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

$$C_{уд} = \frac{C_{м}}{\mu}$$

Первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A$$

$$dQ = dU + dA$$

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

Изопроцессы

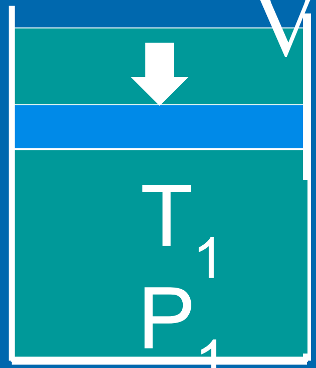
$$pV = \nu RT$$

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

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

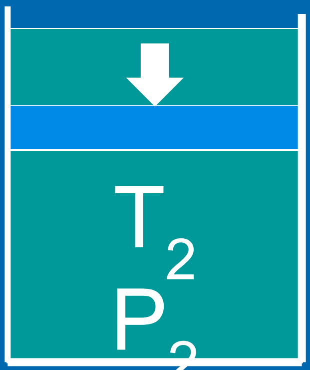
Изохорический процесс (закон Шарля)

$V = const$

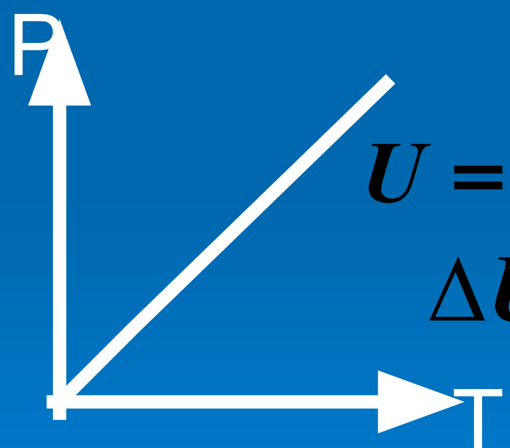


$T_2 > T_1$

$P_2 > P_1$



Jacques Alexandre César **Charles**
1746–1823



$$Q = \Delta U + A$$

$$Q = \Delta U$$

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

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

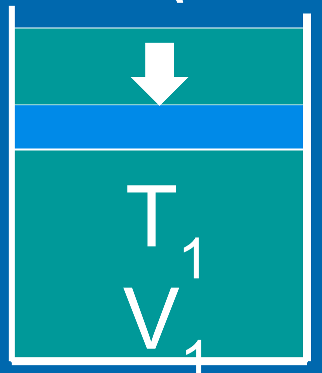
$$A = 0$$

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

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

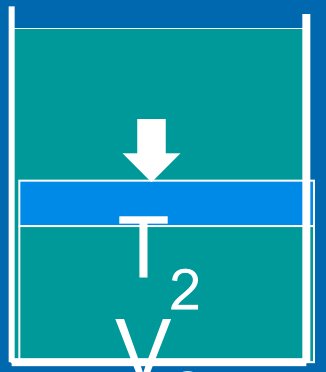
Изобарический процесс

(*Закон Гей-Люссака*)



P = const

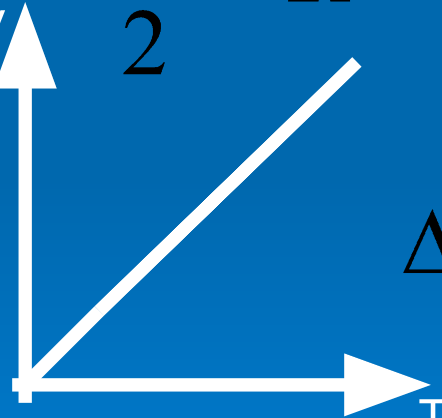
$T_2 < T_1$



Joseph Louis Gay-Lussac 1778 – 1850

$V_2 < V_1$

$$C_{\text{м}\,p} = \frac{i+2}{2} \cdot R$$



$$Q = \Delta U + A$$

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

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

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

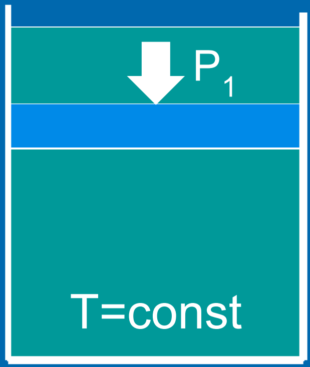
$$Q = \frac{i+2}{2} \cdot R \cdot \Delta T \cdot \nu = \frac{i+2}{2} \cdot p \cdot \Delta V$$

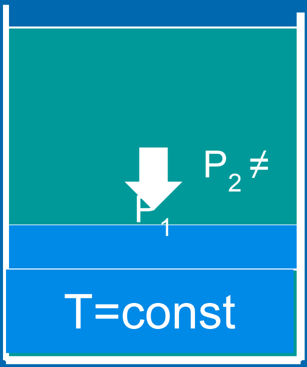
Изотермический процесс (***Закон Бойля – Мариотта***)

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

$T = const$

$p_2 > p_1$





$V_2 < V_1$

Edme Marriott 1620 – 1684

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

$$C_{пол} = \frac{dQ}{dT} \to \infty$$

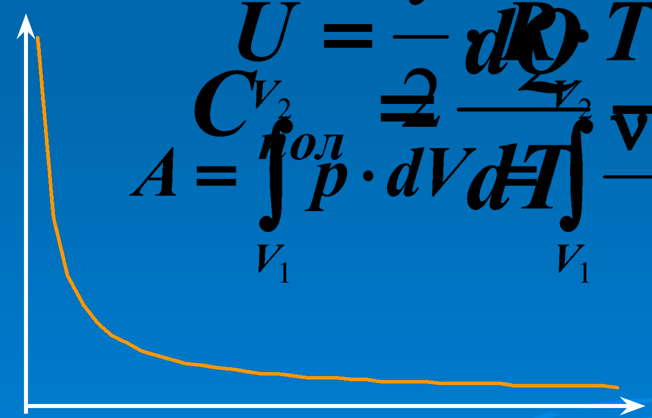
$$A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{\nu \cdot R \cdot T}{V} \cdot dV$$

$$Q = \Delta U + A$$

$$Q = A$$

$$\Delta U = 0$$

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

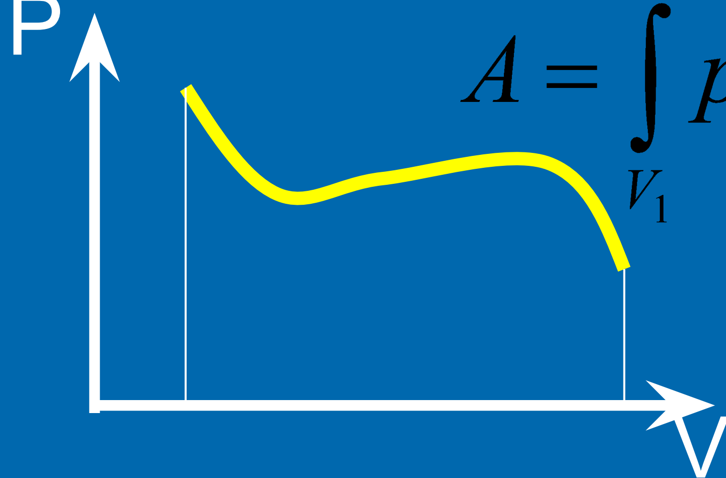


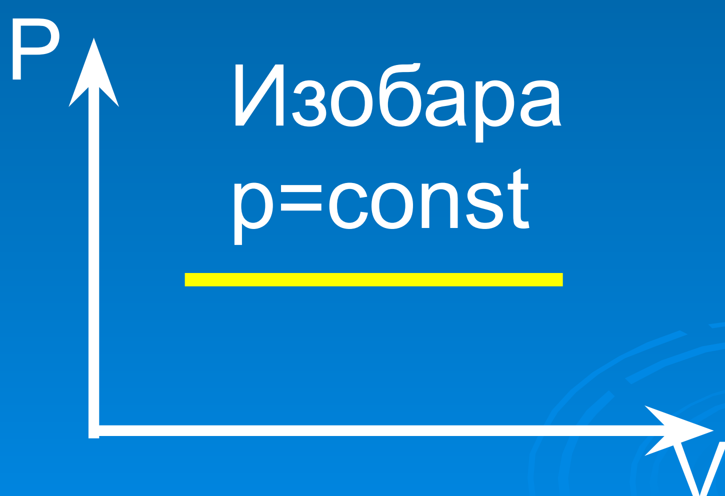
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}$$

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

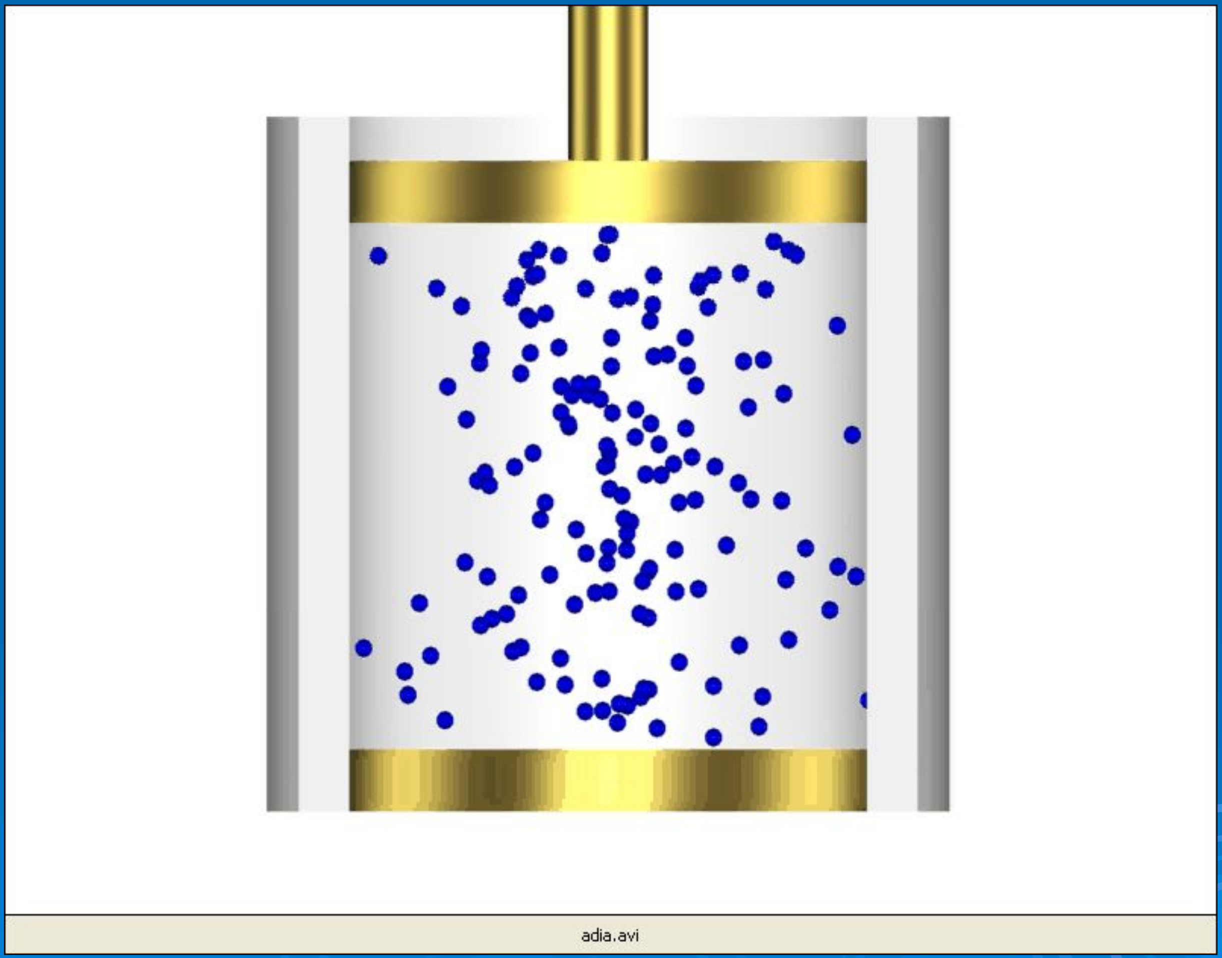
p-V диаграмма

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





Адиабатический процесс



Адиабатический процесс

$$Q = 0 \qquad \delta Q = 0 \qquad \delta Q = dU + \delta A$$

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

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

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

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

Адиабатический процесс

$$\frac{i+2}{2} pdV = -\frac{i}{2} Vdp$$

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

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

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

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

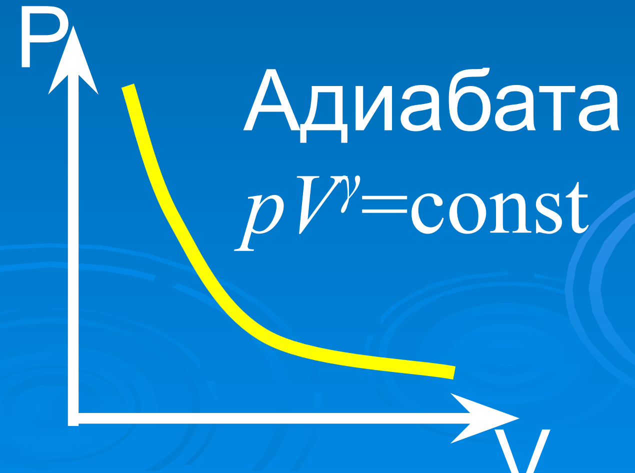
$$\ln(pV^{\gamma}) = const'$$

Адиабатический процесс

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

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

$$\gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{C_p}{C_V} - \text{показатель адиабаты}$$



Политропический процесс

$$C = const \qquad \delta Q = C \cdot dT \qquad \delta Q = dU + \delta A$$

$$\frac{i}{2}\nu R dT + pdV = CdT$$

$$pV = \nu RT \qquad pdV + Vdp = \nu RdT$$

$$\frac{i}{2}pdV + \frac{i}{2}Vdp + pdV = C\frac{pdV + Vdp}{\nu R}$$

$$(\frac{i+2}{2}\nu R - C)pdV = -(\frac{i}{2}\nu R - C)Vdp$$

Политропический процесс

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

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

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

$$\ln(pV^n) = const'$$

Политропический процесс

$$\ln(pV^n) = const'$$

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

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