Лекция 15

Изопроцессы в рамках первого начала термодинамики.

Адиабатический процесс.

Уравнение адиабаты и политропы.

Скорость звука в газах.

Изохорный процесс и первое начало термодинамики

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

$$dV = 0 \longrightarrow dA = PdV = 0$$

Вся поступившая в термодинамическую систему теплота идет на изменение ее внутренней энергии.

$$U = \frac{i}{2}\nu RT = \nu c_V T$$

$$\Delta Q = \Delta U = \nu c_V \Delta T$$

Изобарный процесс и первое начало термодинамики

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

$$P = const$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P\left(V_2 - V_1\right) = P \triangle V$$

$$P \triangle V = \nu R \triangle T \longrightarrow A = \nu R \triangle T$$

$$\triangle Q = \nu c_P \triangle T$$

$$\triangle U = \triangle Q - A = \nu\left(c_P - R\right) \triangle T$$

$$\triangle U = \nu c_V \triangle T$$

Изотермический процесс и первое начало термодинамики

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

$T = const$ → $\vartriangle U = 0$ → $\vartriangle Q = A$

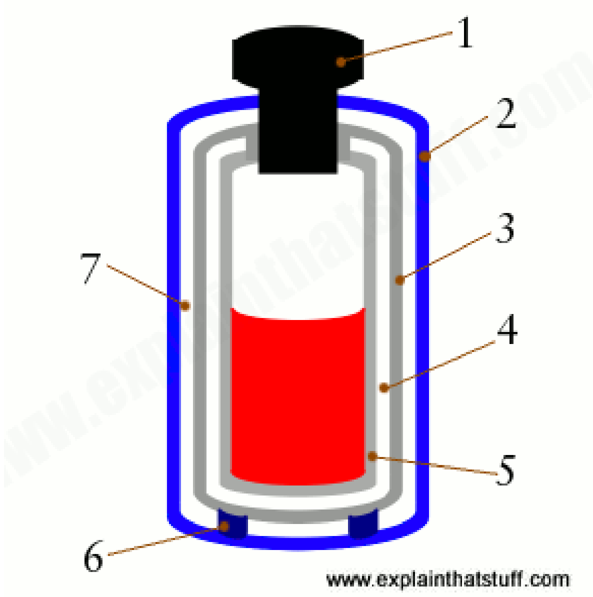
Вся поступившая в термодинамическую систему теплота идет на совершение работы.

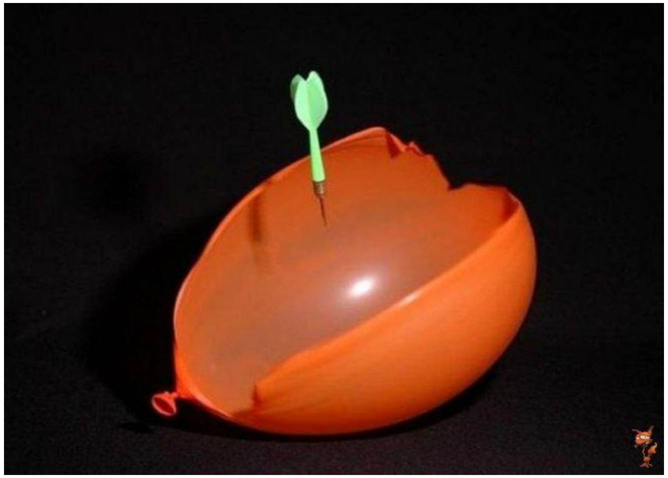
$$P = \nu RT/V$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \nu RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Адиабатический процесс

Адиабатический процесс – процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой.





Сосуд Дьюара

Быстропротекающий процесс

Адиабатический процесс и первое начало термодинамики

$$\delta Q = \delta A + dU \qquad \delta Q = 0 \longrightarrow dA = -dU$$

Работа в адиабатическом процессе совершается за счет изменения внутренней энергии

$$U = \nu c_V T \qquad dA = -\nu c_V dT \qquad dA = PdV$$

$$\boxed{PdV = -\nu c_V dT}$$

Адиабатический процесс и уравнение состояния

$$PV = \nu RT \quad \longrightarrow \quad \boxed{d(PV) = PdV + VdP = \nu RdT}$$

$$\boxed{PdV = -\nu c_V dT}$$

$$1 + \frac{VdP}{PdV} = -\frac{R}{c_V}$$

$$1 + \frac{R}{c_V} = 1 + \frac{2}{i} = \frac{i+2}{i} = \gamma$$

$$\frac{dP}{P} = -\gamma \frac{dV}{V} \quad \longrightarrow \quad \ln P = -\gamma \ln V + const$$

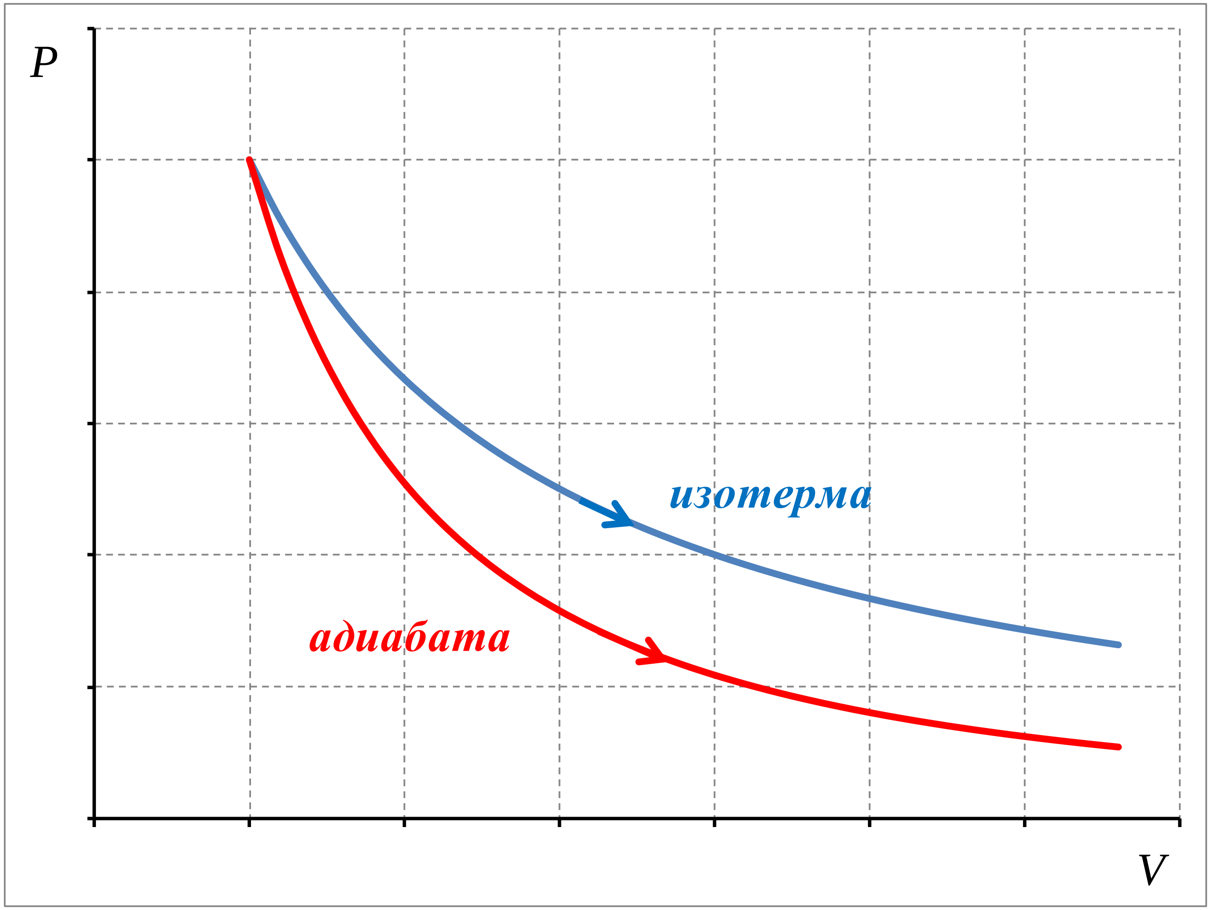
$$\downarrow$$

Уравнение Пуассона $\boxed{PV^{\gamma} = const}$

Адиабата и изотерма

Коэффициент Пуассона

$$\gamma = \frac{i+2}{i} > 1$$



$$\boxed{P \sim V^{-1}}$$

$$\boxed{P \sim V^{-\gamma}}$$

Адиабата в переменных T,V

$$\left.\begin{aligned} &PV = \nu RT \\ &PV^{\gamma} = const \end{aligned}\right\} \qquad TV^{\gamma-1} = const$$

$$T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$$

$$V_2 > V_1 \quad \longrightarrow \quad T_2 < T_1$$

Расширяясь адиабатически, газ охлаждается.

Работа при адиабатическом расширении

$$V_1 \longrightarrow V_2 \qquad\qquad PV^{\gamma} = P_1V_1^{\gamma}$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{P_1V_1^{\gamma}}{V^{\gamma}}\,dV = \frac{P_1V_1^{\gamma}}{-\gamma+1}\left(V_2^{-\gamma+1} - V_1^{-\gamma+1}\right)$$

$$A = \frac{P_1V_1}{\gamma-1}\left(1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right)$$

Политропный процесс

Политропный (политропический) процесс – термодинамический процесс, во время которого теплоёмкость газа остаётся постоянной.

$$C = const$$

Уравнение политропы

$$PV^n = const$$

Показатель политропы

$$n = \frac{C - C_P}{C - C_V}$$

Процесс	***Уравнение***	***Показатель***
адиабатный	$PV^{\gamma}=const$	$n=\gamma$
изобарный	$P=const$	$n=0$
изотермический	$PV=const$	$n=1$
изохорный	$V=const$	$n=\infty$

$$P_1V_1^n = P_2V_2^n \longrightarrow \frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}}$$

Изохорный процесс

$$\frac{V_1}{V_2} = 1 \longrightarrow \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} = 1$$

$$n = \infty$$

Скорость звука в газах

$$V_{зв} = \sqrt{dP/d\rho}$$

Сжатие – разрежение происходит достаточно быстро, а теплопроводность газов мала. Поэтому этот процесс можно считать адиабатическим.

$$PV^{\gamma} = const \qquad \rho = m/V \quad \longrightarrow \quad P\rho^{-\gamma} = const$$

$$d\left(P\rho^{-\gamma}\right) = \rho^{-\gamma}dP - \gamma\rho^{-\gamma-1}Pd\rho = 0 \quad \longrightarrow \quad \frac{dP}{d\rho} = \gamma\frac{P}{\rho}$$

$$\frac{P}{\rho} = \frac{PV}{m} = \frac{\nu RT}{m} = \frac{RT}{\mu} \qquad V_{зв} = \sqrt{\gamma\frac{RT}{\mu}}$$