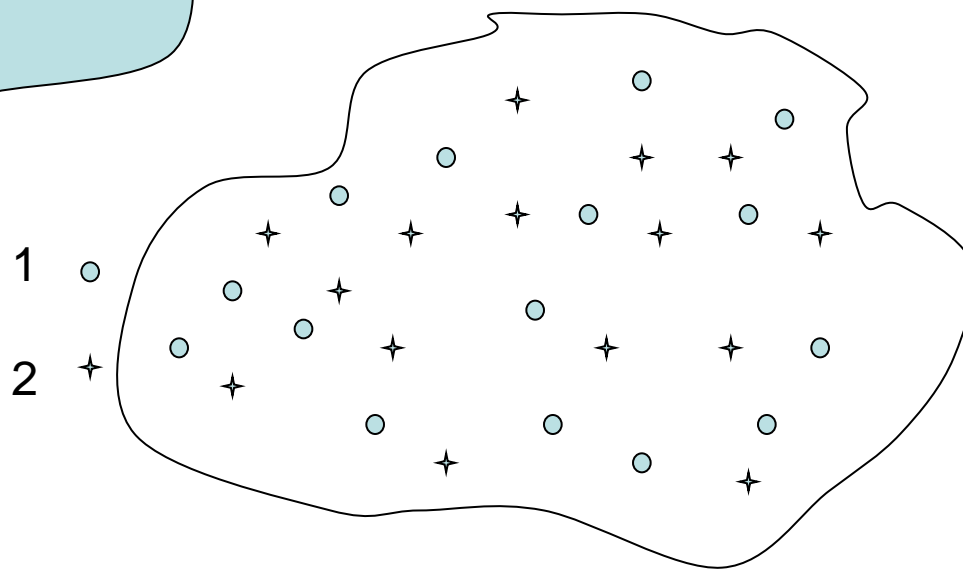
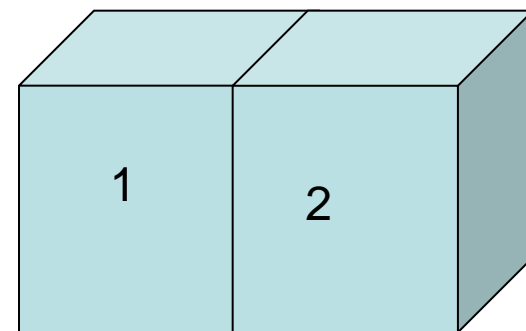
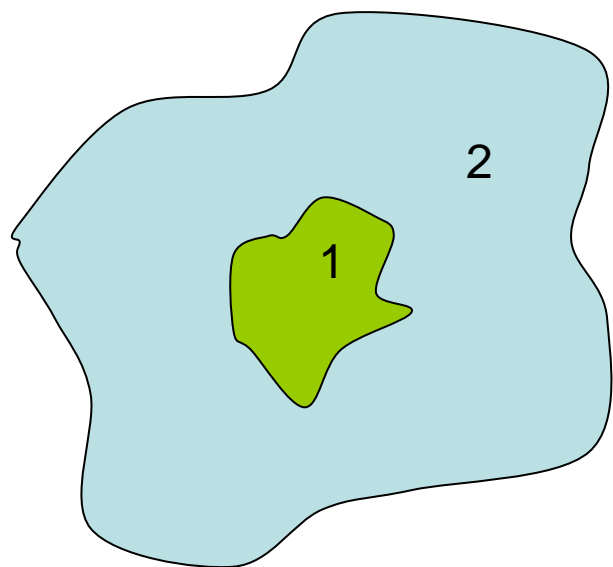


Тема 2. Основы термодинамики

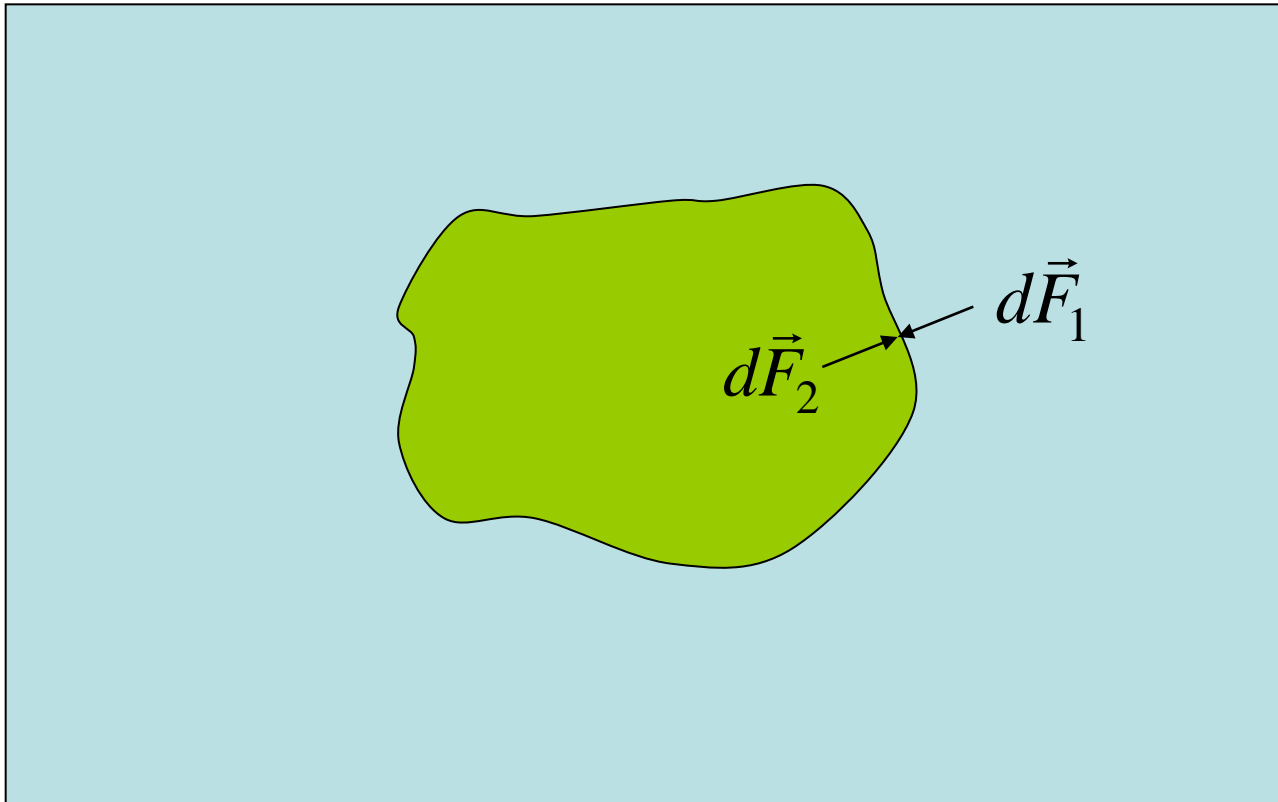
- 2.1. Контакт систем и условия равновесия

Контактом будем называть любое
воздействие одной системы на другую

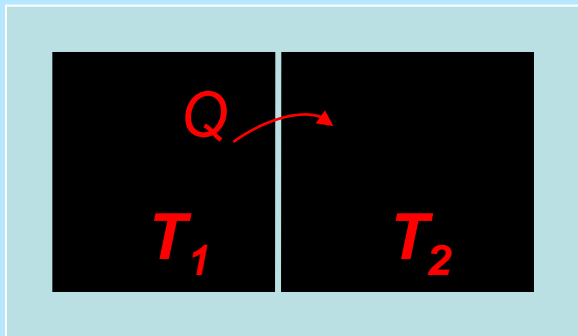


Механический контакт

В любой точке $d\vec{F}_1 = -d\vec{F}_2$



2. Тепловой (энергетический) контакт систем

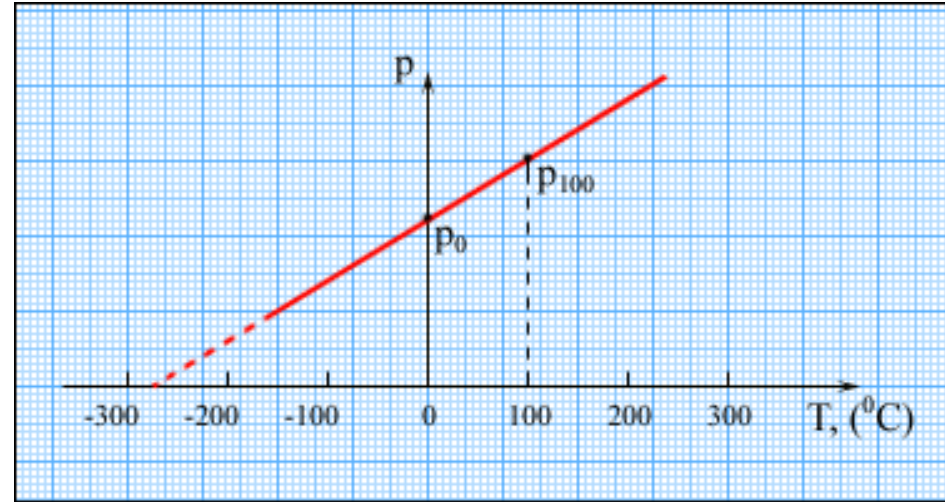
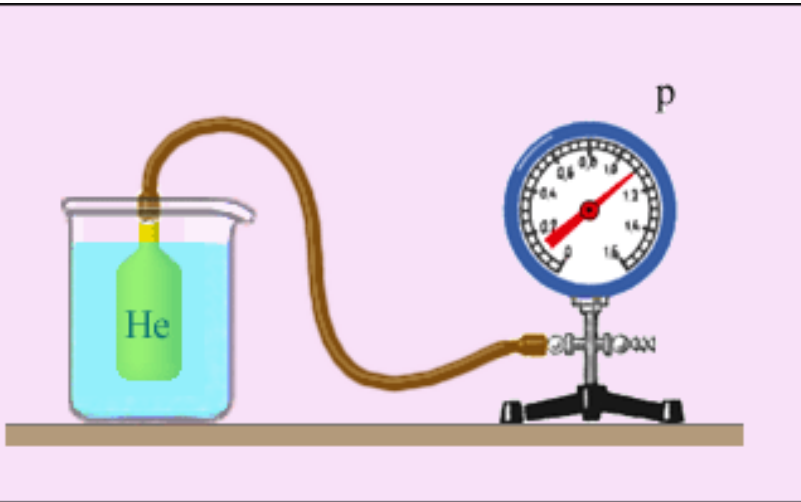


Пусть $T_1 > T_2$

Условие равновесия:

$$T_1 = T_2 \quad ??????$$

Газовый термометр с постоянным объемом



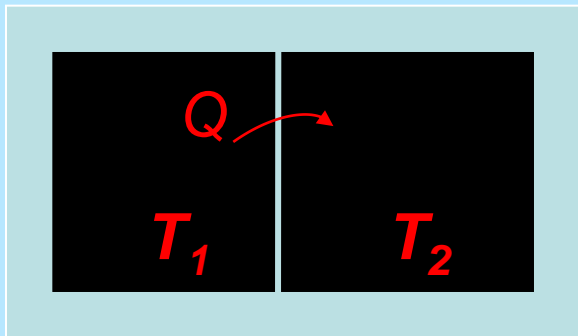
Соотношения между температурными шкалами

$$T_K = T_c + 273,15$$

$$t_p = 0,8t \text{ } ^\circ C$$

$$T_F = 1,8T_c + 32 \qquad T_c = \frac{5}{9} T_F - 32$$

2. Тепловой (энергетический) контакт систем

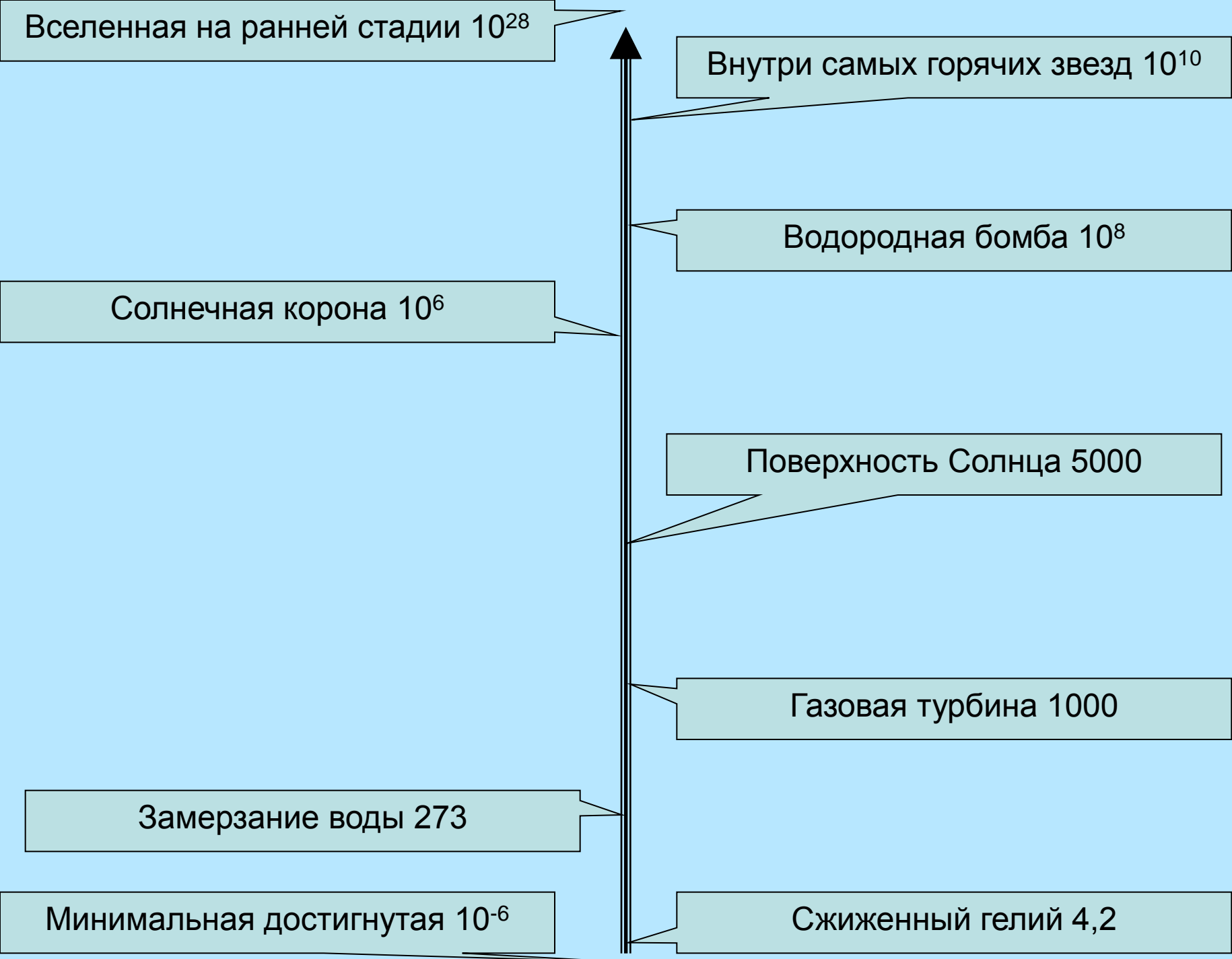


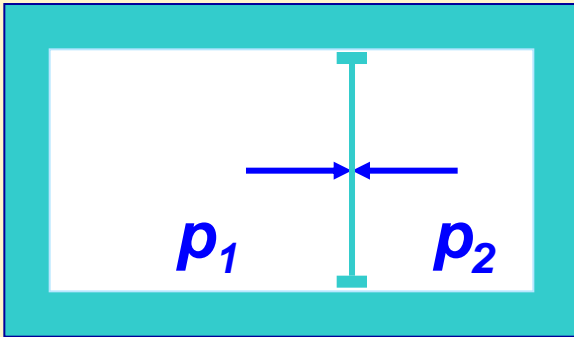
Условие равновесия:

$$T_1 = T_2 \quad ??????$$

Нулевое начало
(свойство транзитивности):

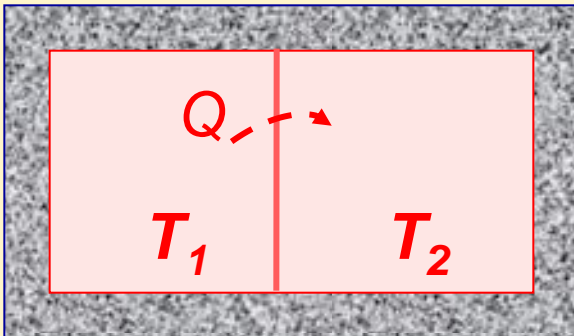
$$\left. \begin{array}{l} T_1 = T_2 \\ T_1 = T_3 \end{array} \right\} \Rightarrow T_2 = T_3$$





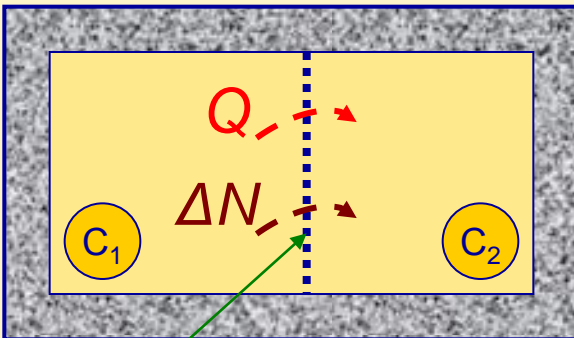
1. Механический контакт систем

Условие равновесия: $p_1 = p_2$



2. Тепловой контакт систем

Условие равновесия: $T_1 = T_2$



3. Диффузионный контакт систем

Условие равновесия: $\mu_1 = \mu_2$

проницаемая стенка

Тема 2. Основы термодинамики

- 2.2. Работа и теплота



Впуск горючей смеси

Сжатие горючей смеси

Воспламенение горючей смеси

Рабочий ход

Выхлоп

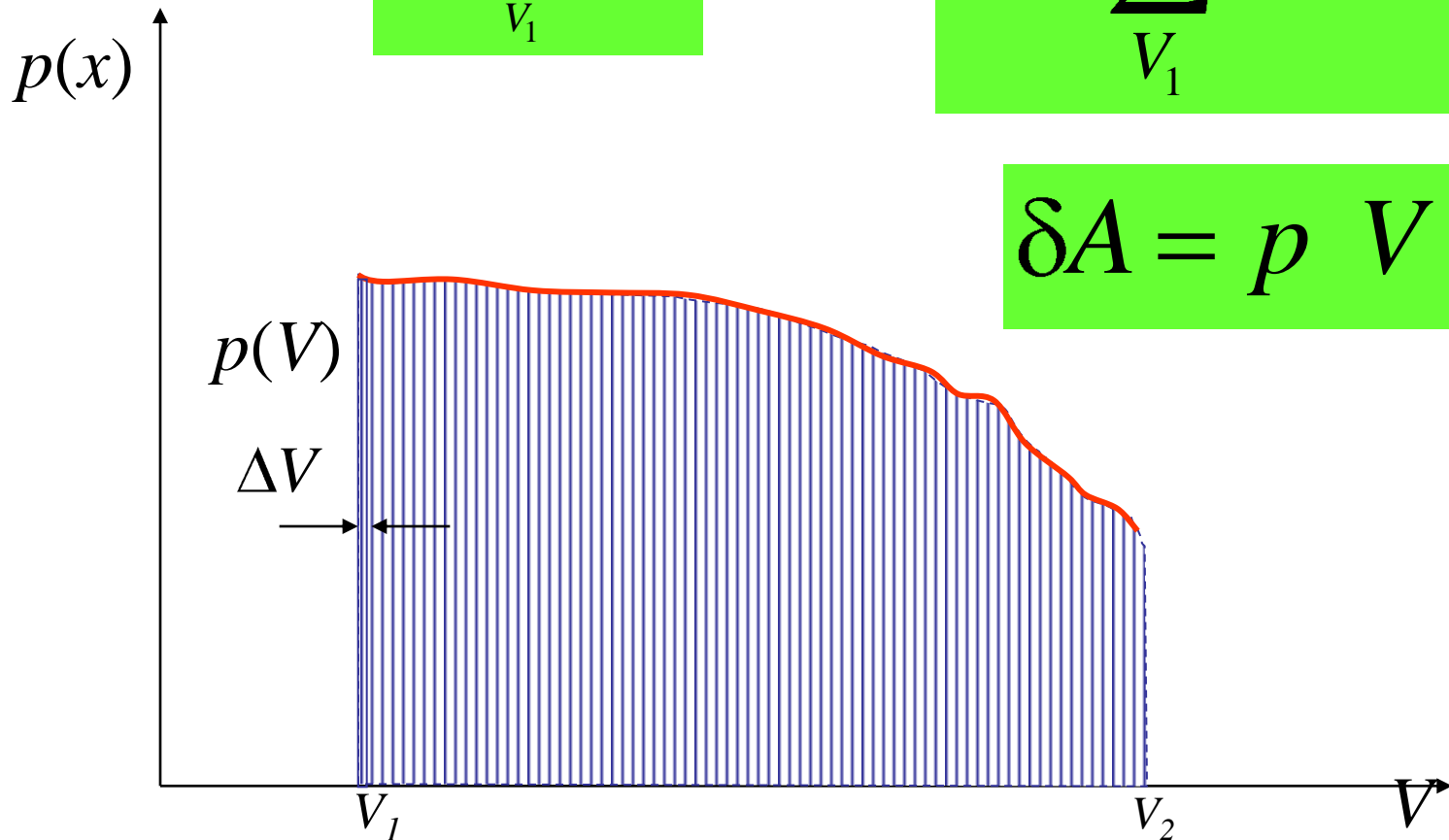
Продувка

Графическое определение работы

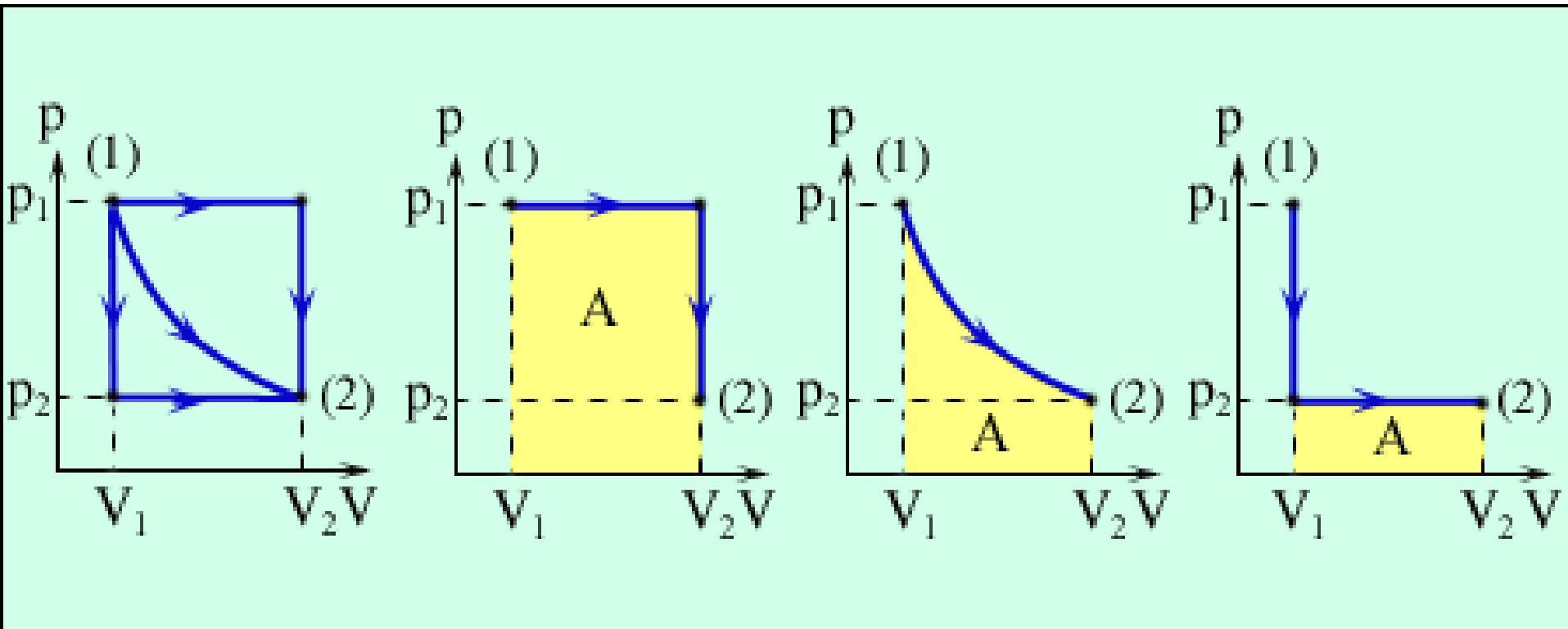
$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

$$A = \sum_{V_1}^{V_2} p \Delta V$$

$$\delta A = p \Delta V$$



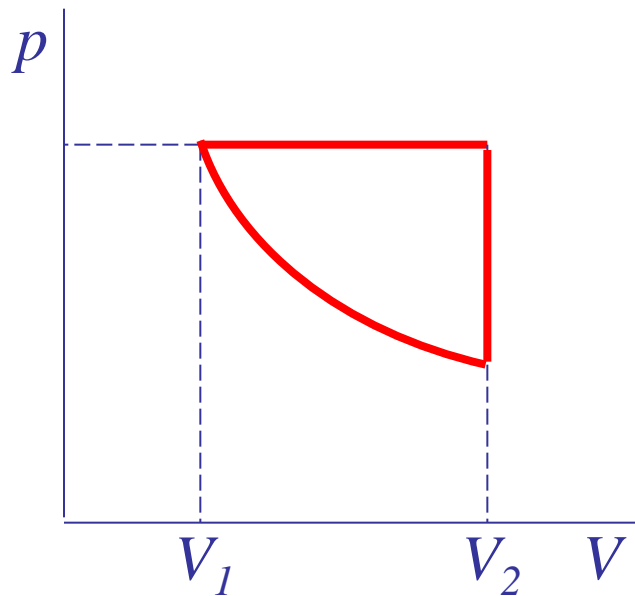
Три различных пути перехода из состояния (1) в состояние (2).



Работа – функция процесса!

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

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$



1) Изобарический процесс
($p = const$)

$$A_p = p(V_2 - V_1) = p \Delta V$$

2) Изохорический процесс
($V = const$)

$$A_V = 0$$

3) Изотермический процесс
($T = const$)

$$A_T = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Получаемое тепло $\delta Q > 0$

Теплоемкость:

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

$$[C] = \text{Дж} / \text{К}$$

Молярная теплоемкость:

$$C_{\text{мол}} = C_{\mu} \equiv \frac{C}{\nu} = \frac{\delta Q}{\nu dT} = \frac{\mu}{m} \frac{\delta Q}{dT}$$

$$[C_{\mu}] = \text{Дж} / (\text{кмоль} \cdot \text{К})$$

Удельная теплоемкость:

$$c_{\text{уд}} = \frac{C}{m} = \frac{\delta Q}{m dT} = \frac{C_{\text{мол}}}{\mu}$$

$$[c_{\text{уд}}] = \text{Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$$

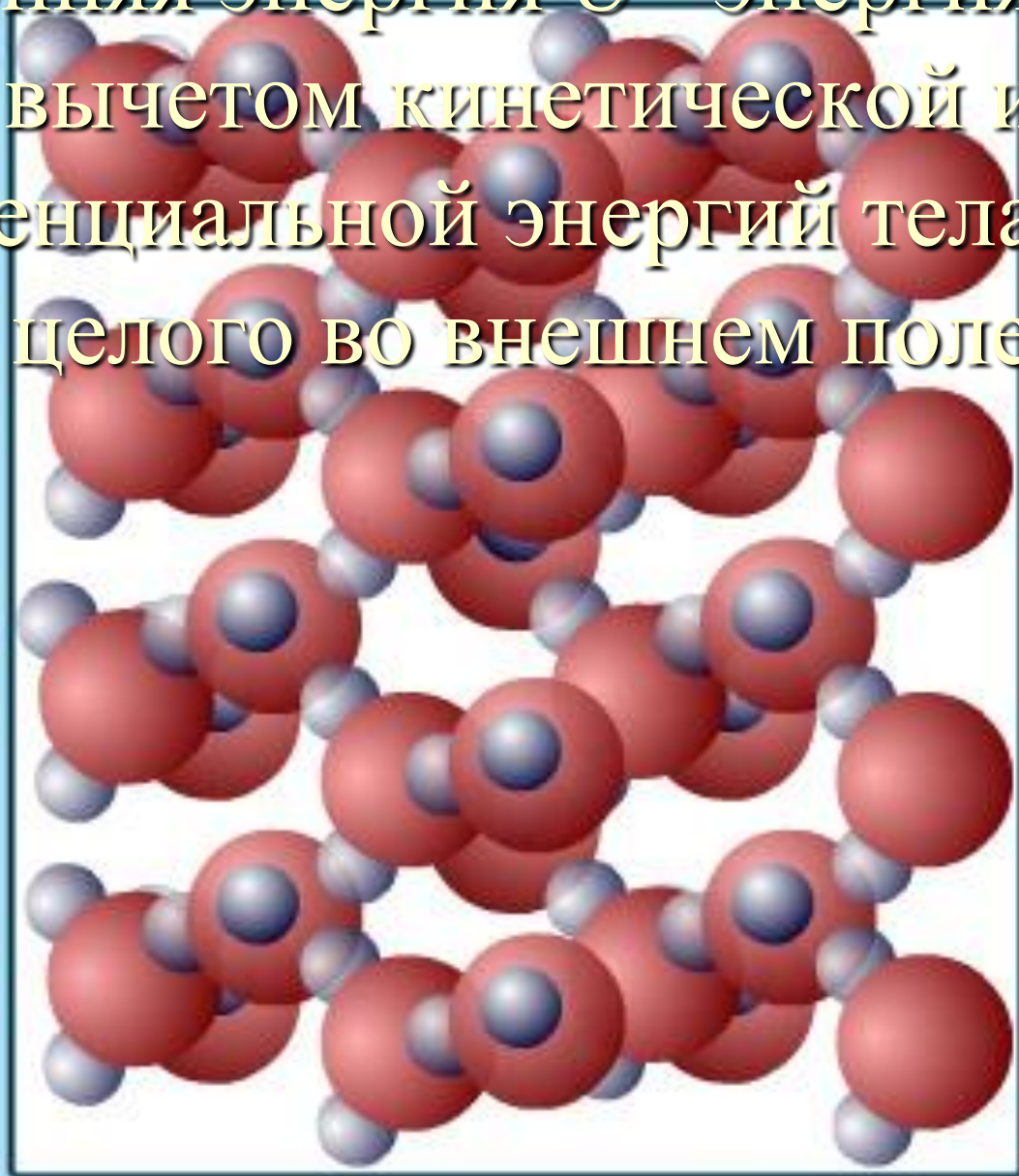
Теплота – функция процесса,
теплоемкость – функция процесса!

Контакт	Механический	Тепловой
Усл. равновесия	$P_1 = P_2$	$T_1 = T_2$
Обмен энергией	$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV$	$Q = \int_{T_1}^{T_2} CdT$

Тема 2. Основы термодинамики

- 2.3. Первое начало термодинамики

Внутренняя энергия U – энергия тела за
вычетом кинетической и
потенциальной энергий тела как
целого во внешнем поле



○ Пар

○ Вода

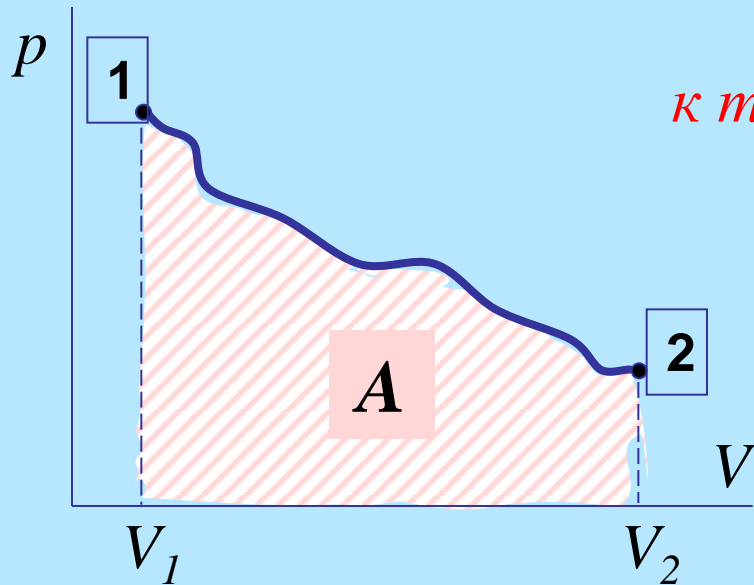
⊙ Лед

Обмен энергией



$$\Delta U = Q - A; \quad Q = \Delta U + A$$

*– 1-е начало термодинамики
(закон сохранения энергии
применительно
к термодинамическим процессам)*



Для бесконечно малого процесса:

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

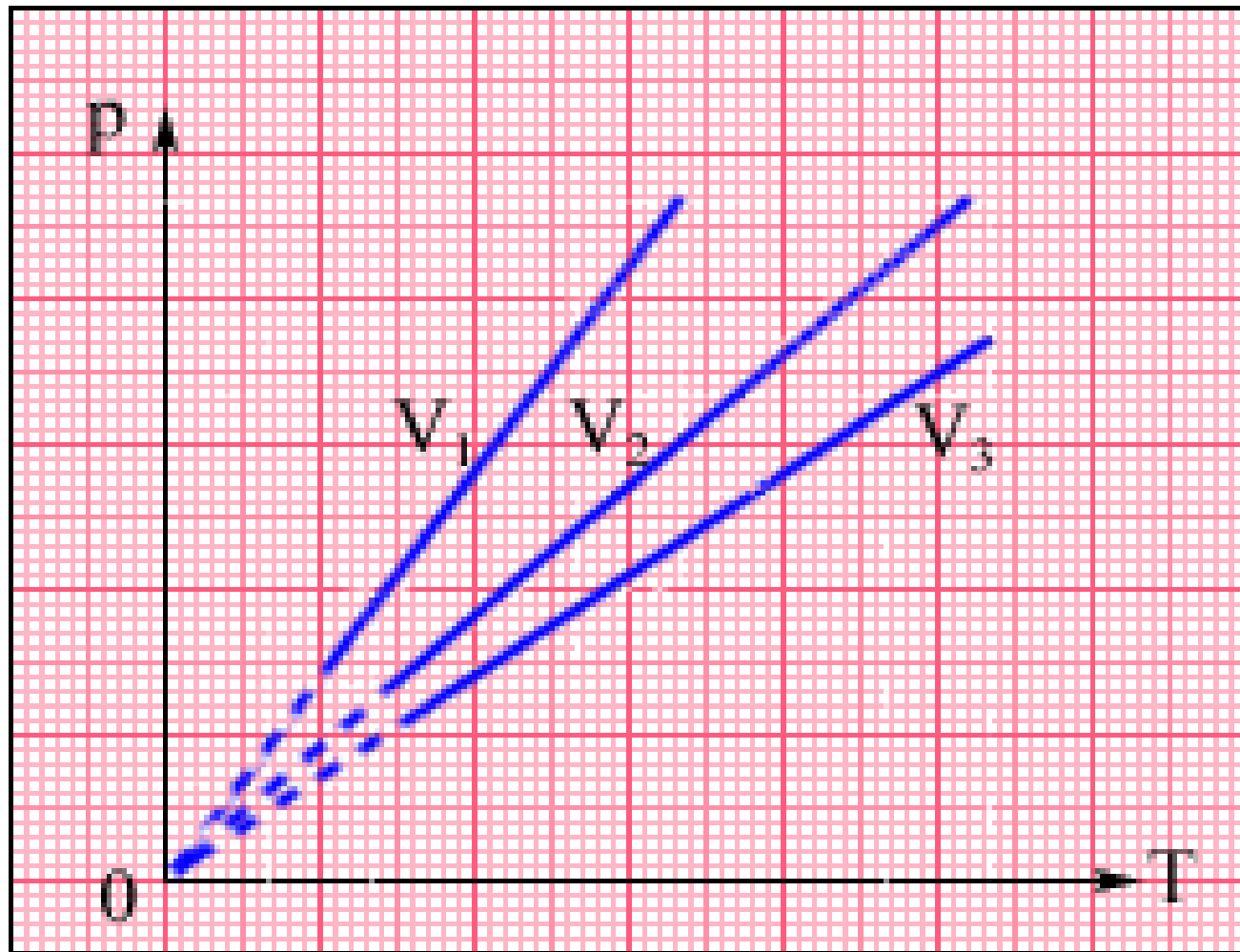
Следствия
для
идеального газа

1. Изохорический процесс: $V = const$

$$p/T = const$$

1-начало

$$\delta Q = dU$$

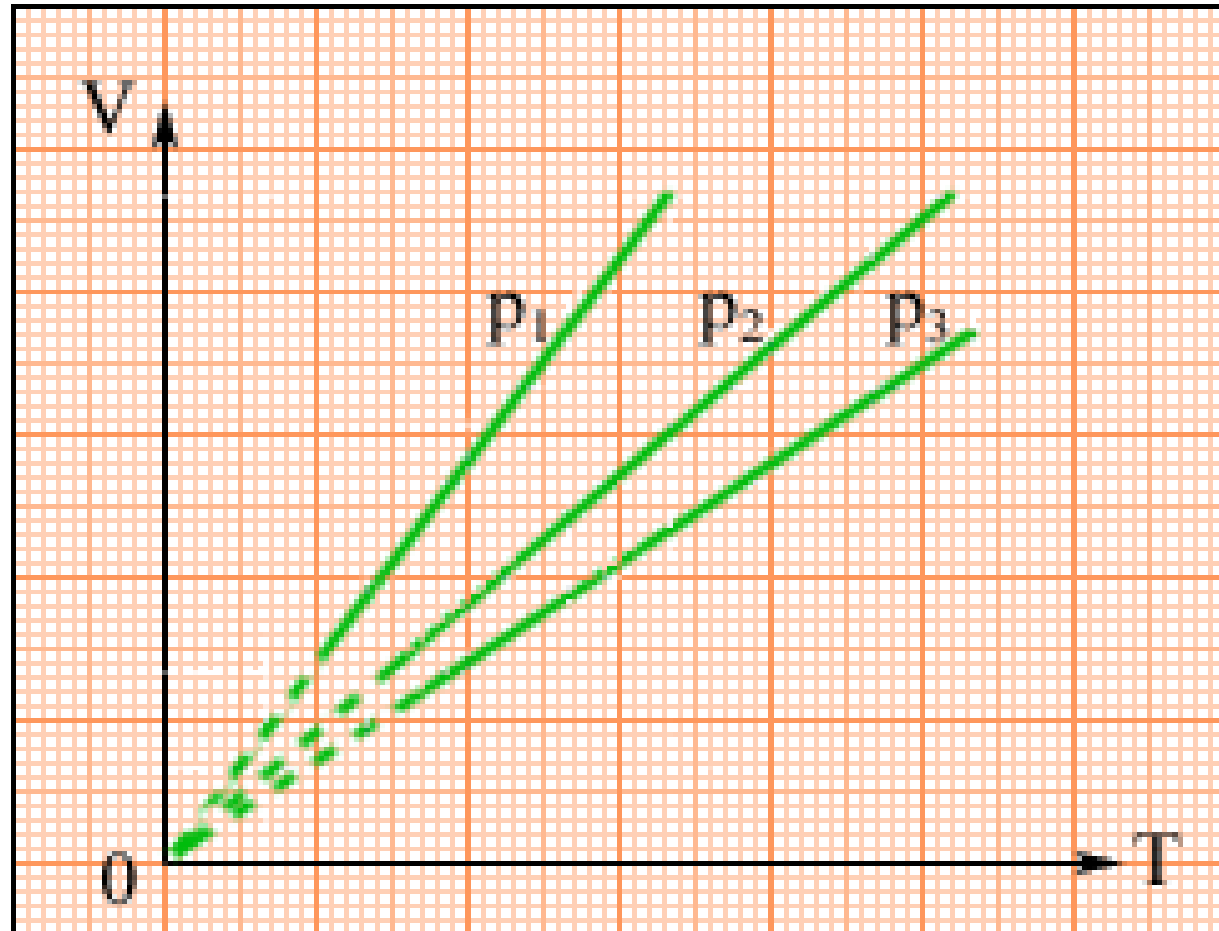


2. Изобарический процесс: $p = const$

$$V/T = const$$

1-начало

$$\delta Q = dU - pdV$$

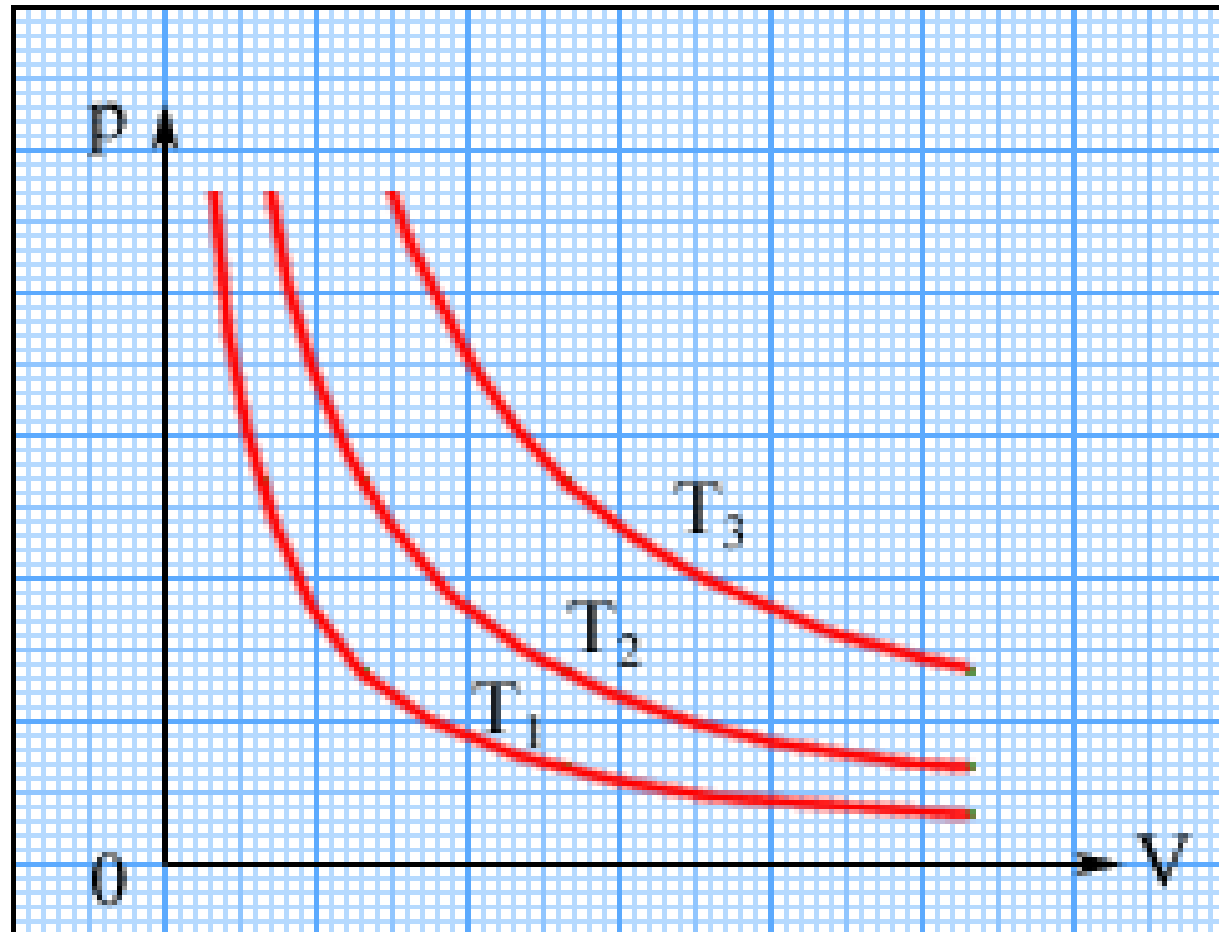


3. Изотермический процесс: $T = const$

$$pV = const$$

1-начало

$$\delta A = \delta Q$$



В адиабатическом процессе

$$\delta Q = 0$$

$$c_Q = 0$$

$$dU = -\delta A$$

- первое начало термодинамики

$$c_p / c_v = \gamma$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$pV^\gamma = \text{const}$$

уравнение Пуассона

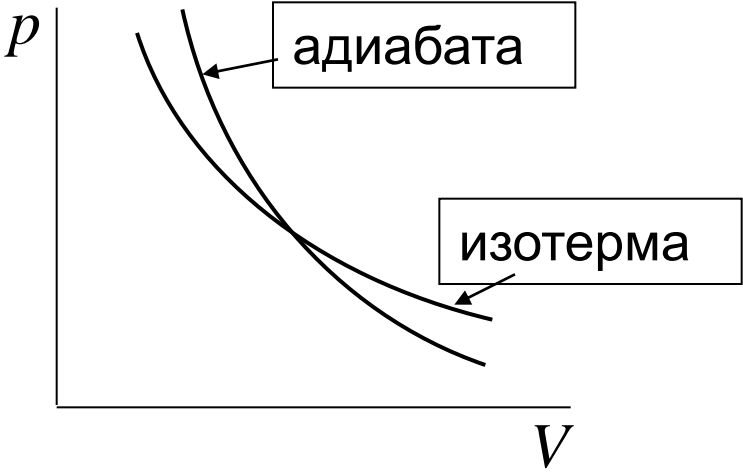
показатель адиабаты:



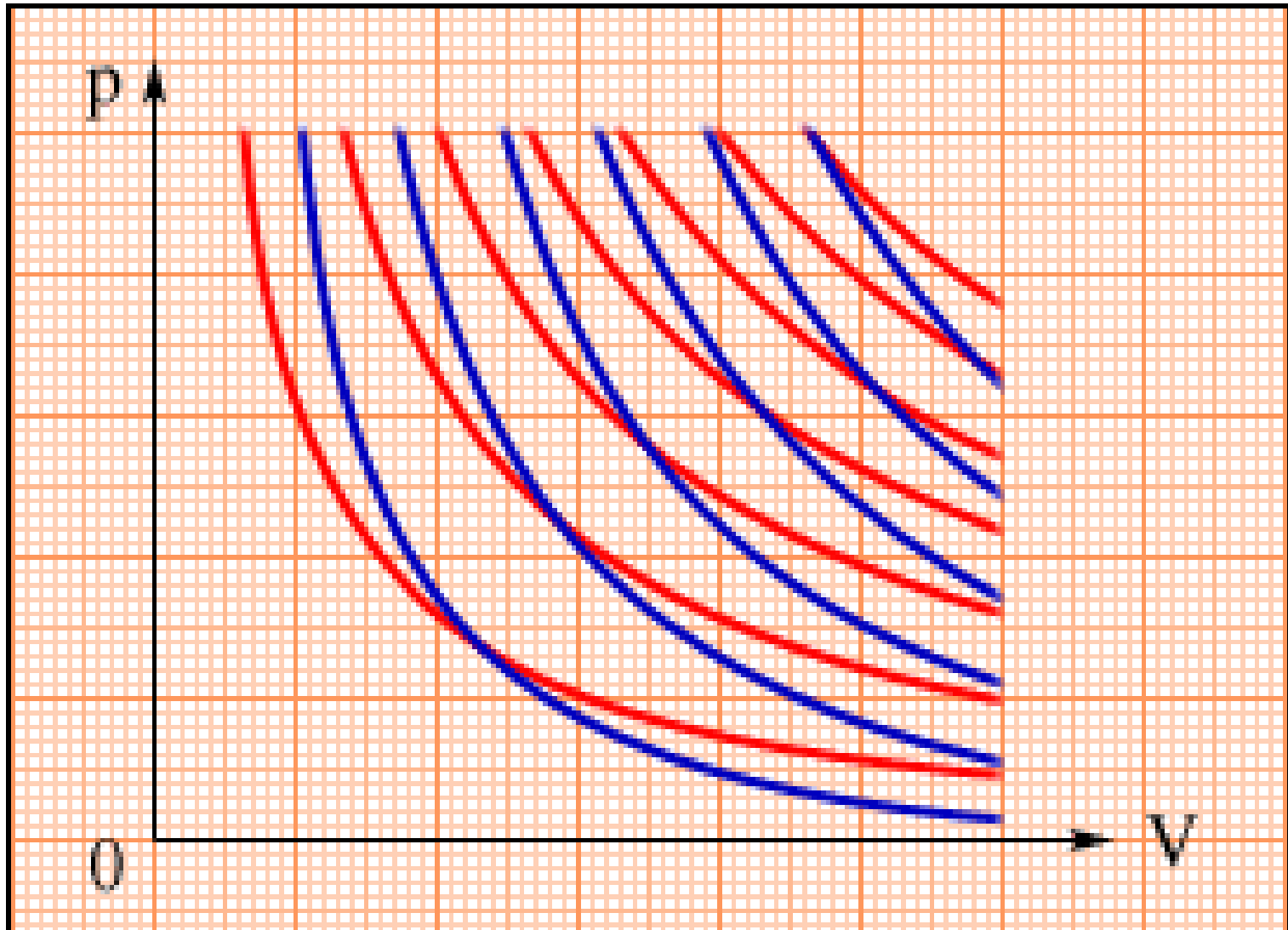
Пуассон Симон-Дени
(21.VI.1781–25.IV.1840)

$$pV^\gamma = \text{const}$$

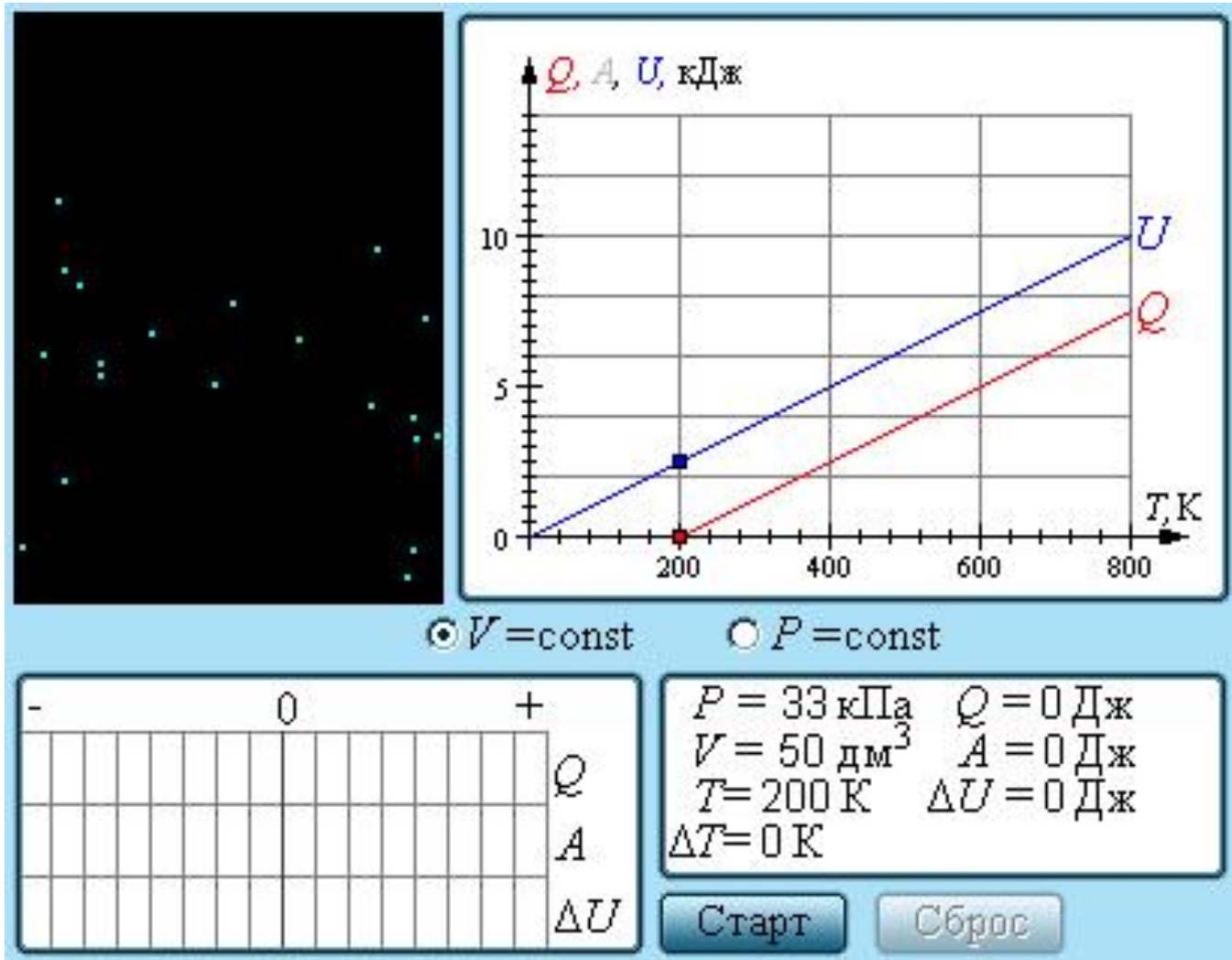
$$c_p / c_v = \gamma$$



Семейства изотерм (красные кривые) и адиабат (синие кривые) идеального газа



Теплоемкости идеального газа



Тема 2. Основы термодинамики

- 2.4. Уравнение политропы

$$n = \frac{c_p - c}{c_v - c}$$

$$p V^n = \text{const}$$

Уравнение политропы

$$pV^0 = \text{const}$$

$n = 0$ изобара

$$pV = \text{const}$$

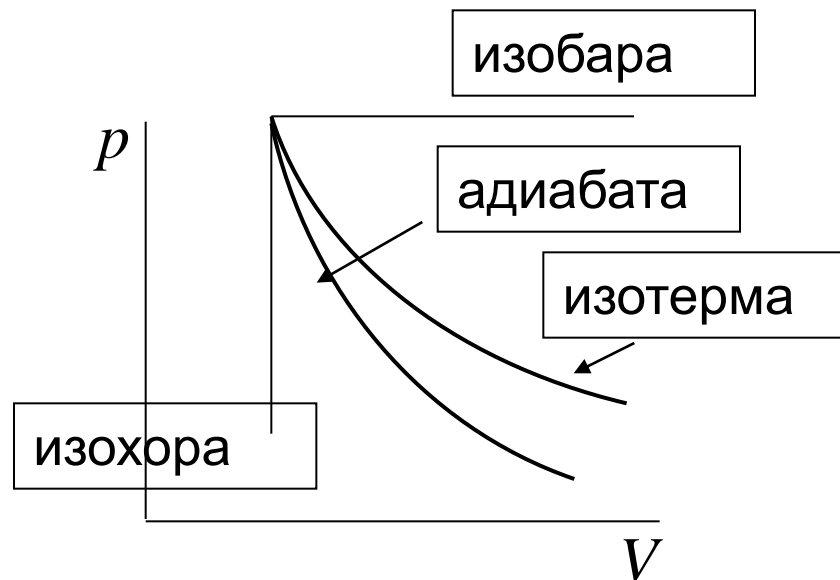
$n = 1$ изотерма

$$pV^\gamma = \text{const}$$

$n = \gamma$ адиабата

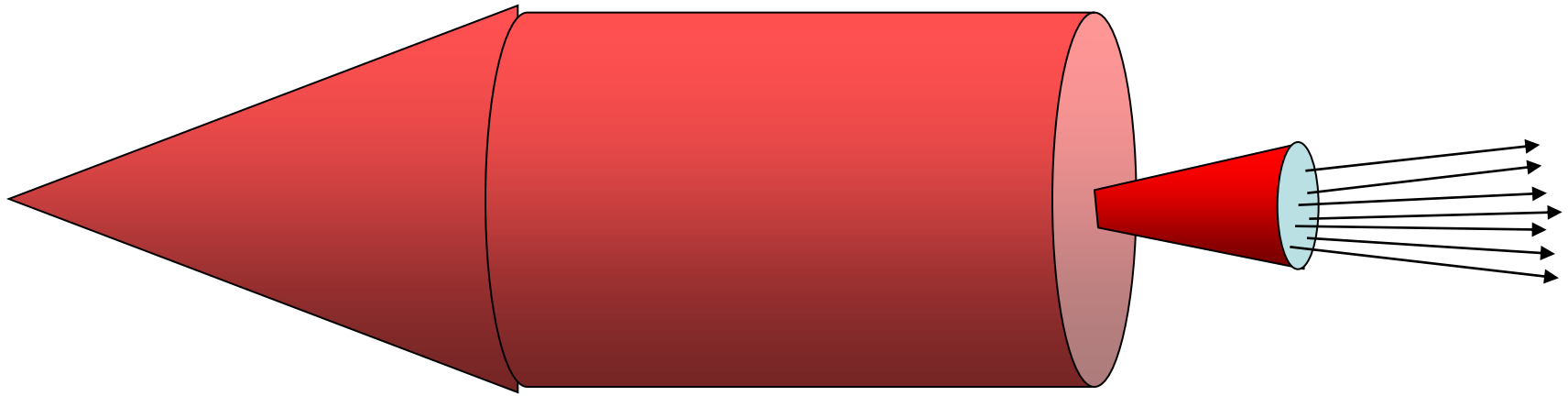
$$pV^\infty = \text{const}$$

$n = \infty$ изохора



Тема 2. Основы термодинамики

- 2.5. Скорость истечения газа из отверстия



$$U_{y\partial} + \frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{const}$$

$$v = \sqrt{2 \frac{c_p}{\mu} T}$$

Первое начало термодинамики

$$dU = \delta Q - \delta A$$

Изохора

$$dU = \delta Q$$

Изобара

$$dU = \delta Q - pdV$$

Изотерма

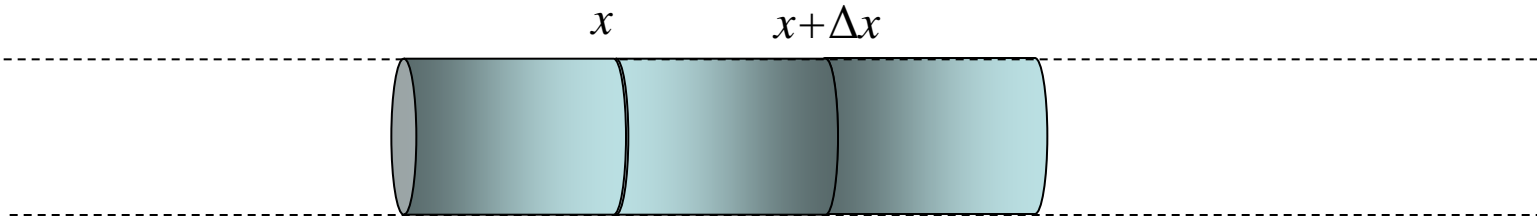
$$0 = \delta Q - \delta A$$

Адиобата

$$dU = -\delta A$$

Приложение:

Ошибка Ньютона
(расчет скорости звука в газах)



$$\sum \vec{F}_i = m\vec{a}$$

$$v_{36} = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

- Ньютон (изотермический процесс)

$$p = \frac{\rho}{\mu} RT$$

$$\frac{dp}{d\rho} = \frac{RT}{\mu}$$

$$v_{36} = \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$$

- Лаплас (адиабатический процесс)

$$pV^\gamma = \text{const}$$

$$v_{36} = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

$$v_{36} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}$$

$$v_{3в} = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

- НЬЮТОН
(изотермический процесс)

$$v_{3в} = \sqrt{\frac{RT}{\mu}}$$

- ЛАПЛАС
(адиабатический процесс)

$$v_{3в} = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}$$

