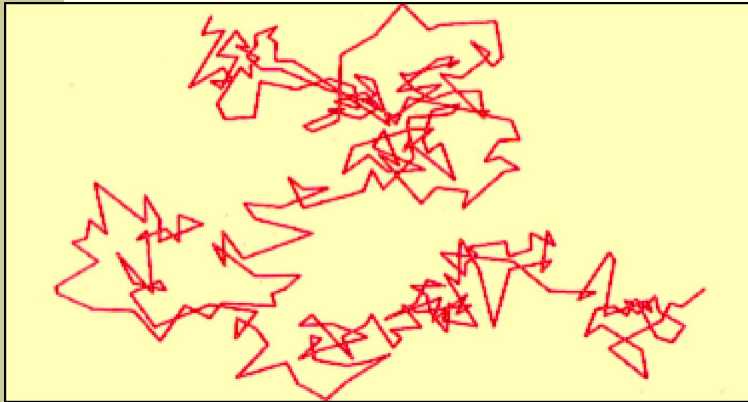


Основи МКТ

Вступ до термодинаміки

Зінчук В.М.

Основи МКТ



$$E_{k0} = \frac{m_0 V^2}{2}$$

$$E_k = \frac{m_0}{2} (V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_N^2)$$

$$\overline{E_k} = \frac{m_0}{2} \frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_N^2}{N} = \frac{m V_{\text{rms}}^2}{2}$$

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT$$

Принципи вимірювання температури

Типи температурних шкал

Абсолютна: T, K

Цельсія: t,
°C

$$T = t + 273,15$$

273,15

0

Плавлення льоду

0

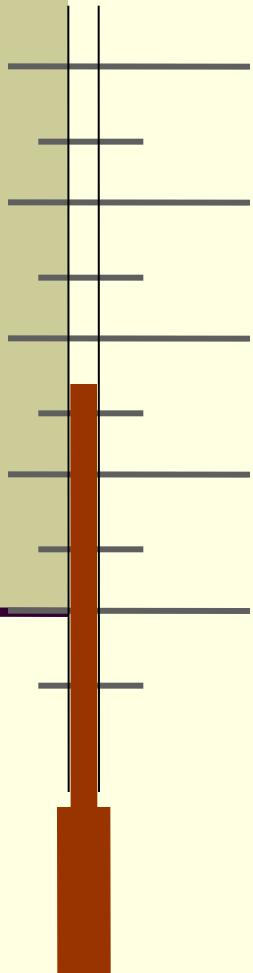
-273,15

Припинення теплового
руху молекул
(абсолютний нуль)

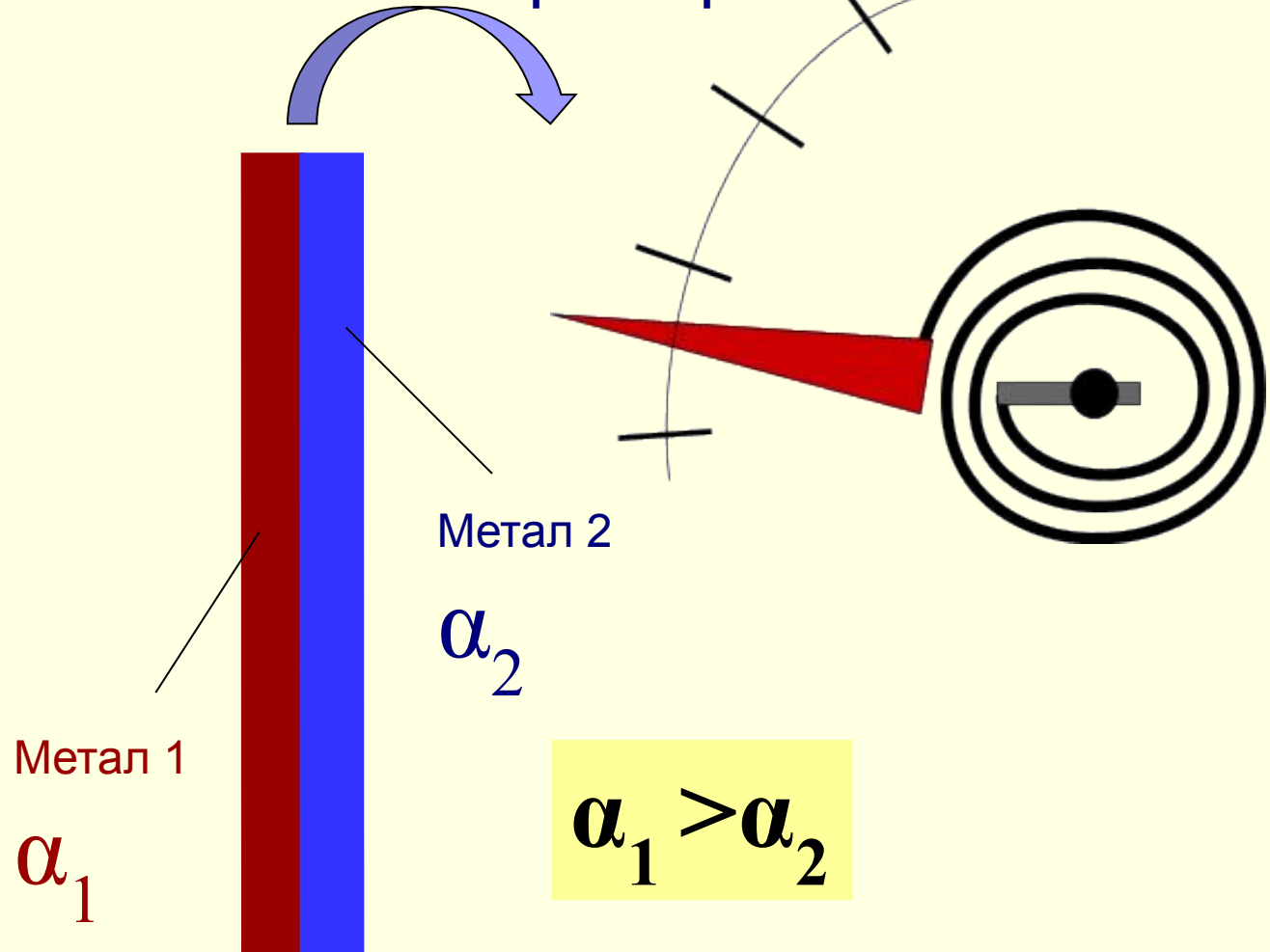
Принципи вимірювання температури

Використання теплового розширення речовин

Рідинний термометр

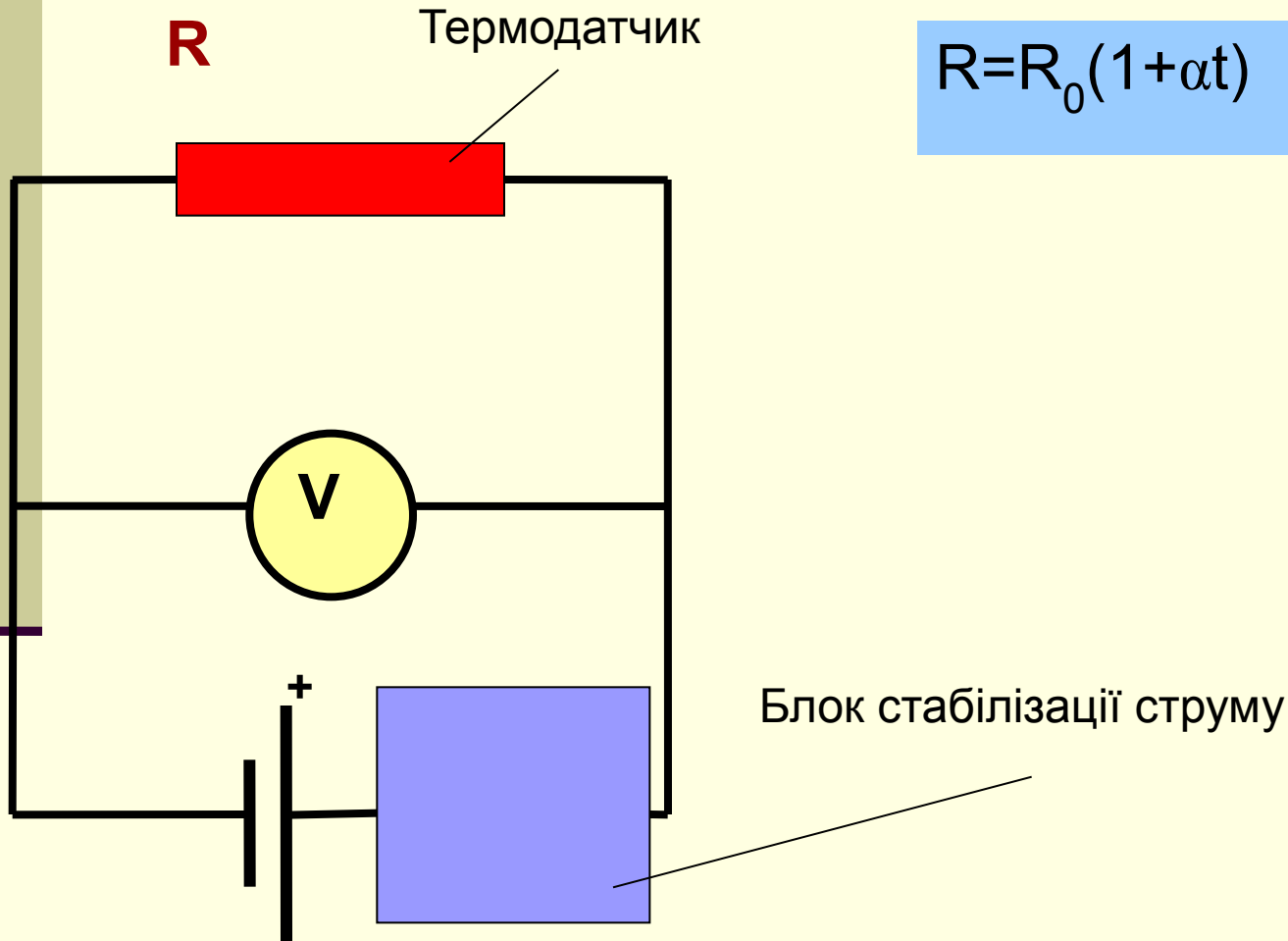


Біметалічні термометри



Принципи вимірювання температури

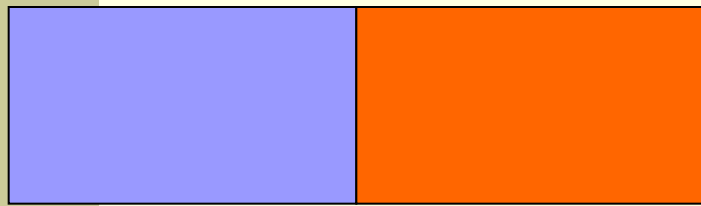
Використання залежності опору від температури



$$R = R_0(1 + \alpha t)$$

Принципи вимірювання температури

Використання залежності контактної різниці потенціалів від температури (термопари)



Метал 1

Метал 2

A_1

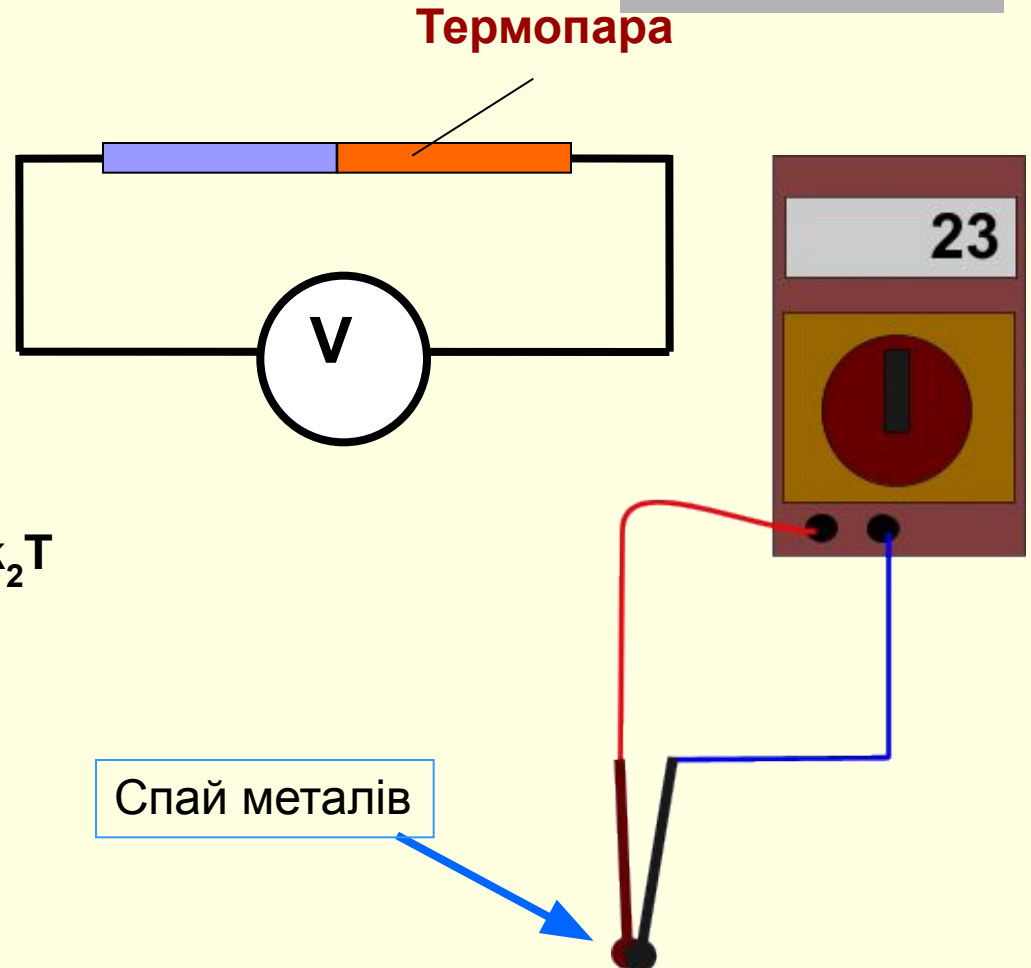
A_2

$$e\mathcal{E} = A_1 - A_2$$

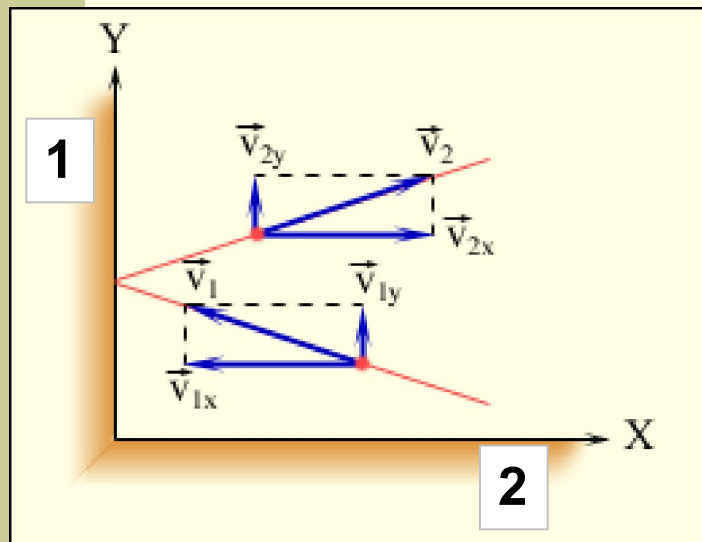
$$A_1 > A_2$$
$$A_1 = k_1 T \quad A_2 = k_2 T$$

$$\mathcal{E} \sim T$$

$\mathcal{E}$ – електрорушійна сила
 e – заряд електрона
 A – робота виходу електронів з речовини



Пояснения тиску



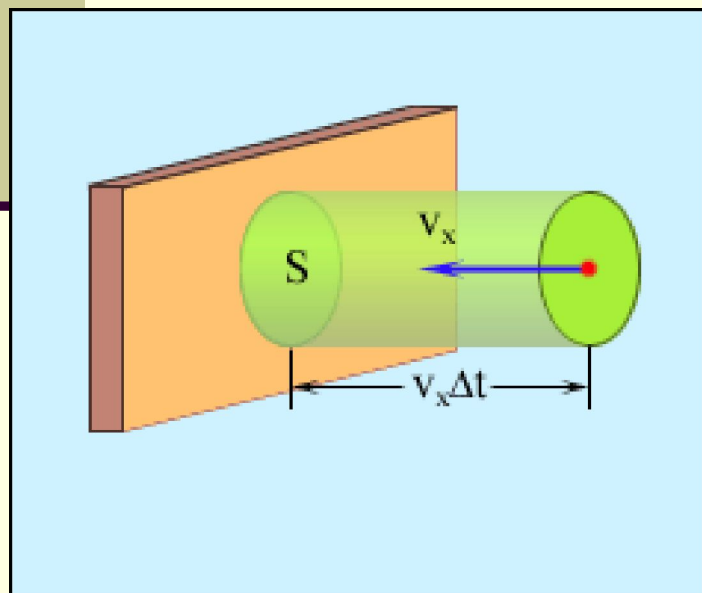
$$\Delta P_0 = 2m_0 V_x$$

$$\Delta P = 2Zm_0 V_x$$

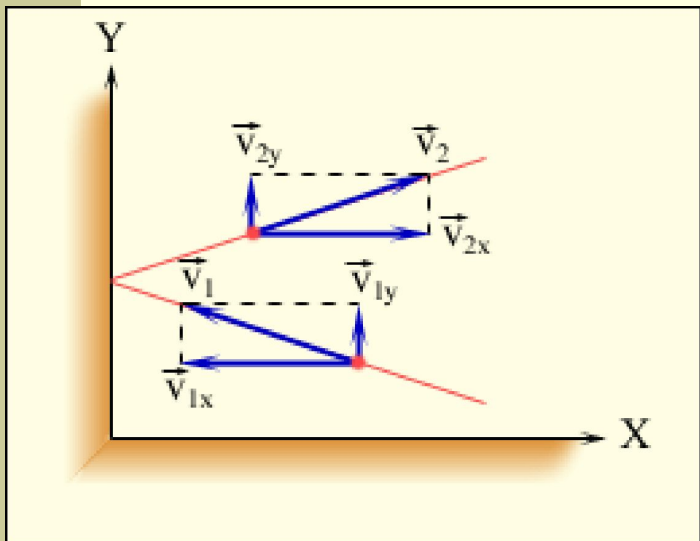
$$Z = \frac{1}{2} n S V_x t$$

$$F_x t = \Delta P$$

$$p_1 = \frac{F_x}{S} = nm V_x^2$$



Пояснення тиску



$$p_1 = \frac{F_x}{S} = nmV_x^2$$

$$p_2 = nmV_y^2$$

$$p_3 = nmV_z^2$$

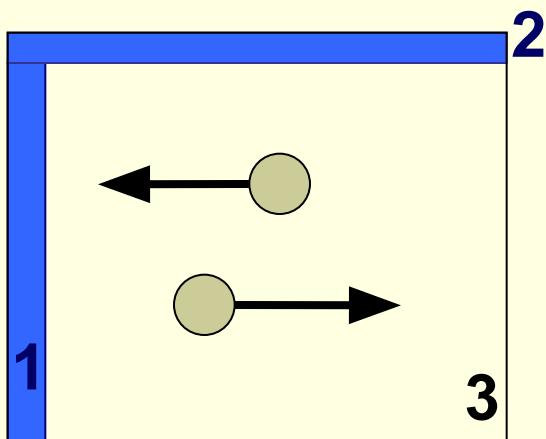
$$3p = nm(V_x^2 + V_y^2 + V_z^2)$$

$$p = \frac{1}{3} nm \overline{V^2}$$

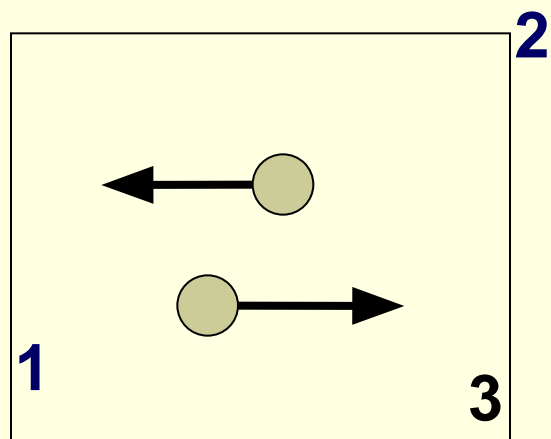
$$p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$$

- Основне рівняння МКТ

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{V^2}$$



Основне рівняння МКТ



$$p_1 = \frac{F_x}{S} = nmV_x^2$$

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$$

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{V^2}$$

$$p = nkT$$

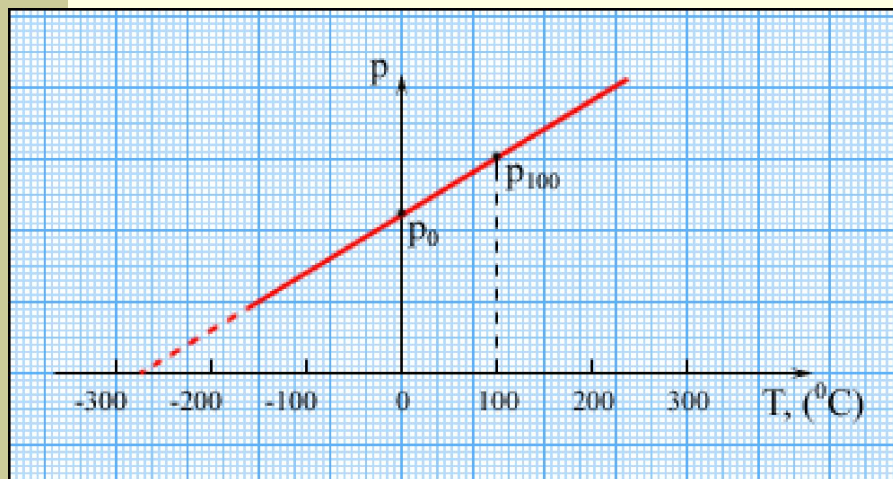
$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

Рівняння
Клайперона-
Менделєєва

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

Рівняння
Клайперона

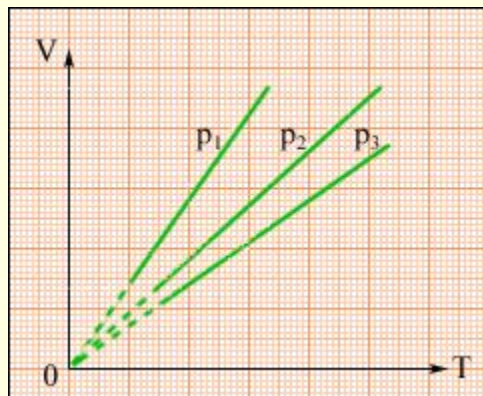
Рівняння Клапейрона-Менделєєва



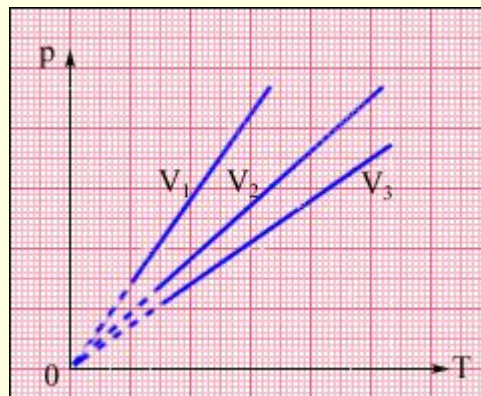
Рівняння Клайперона

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

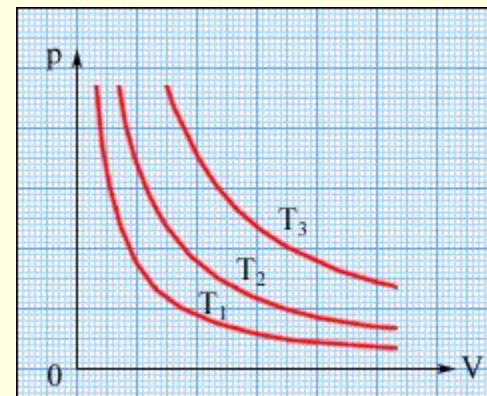
Ізопроееси



p -const



V -const

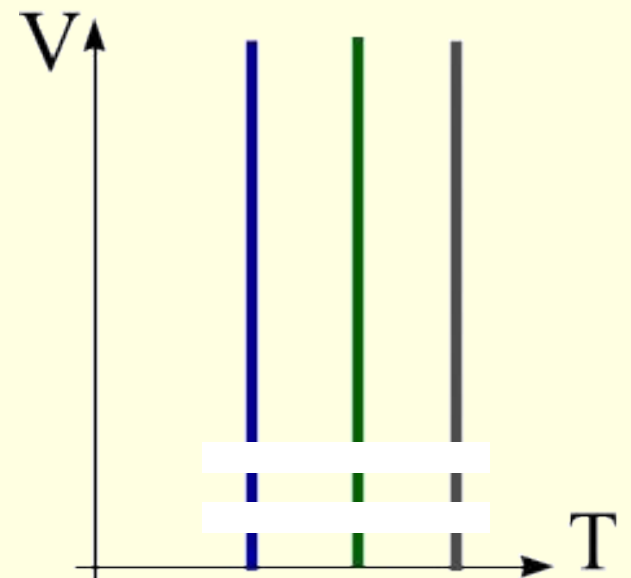
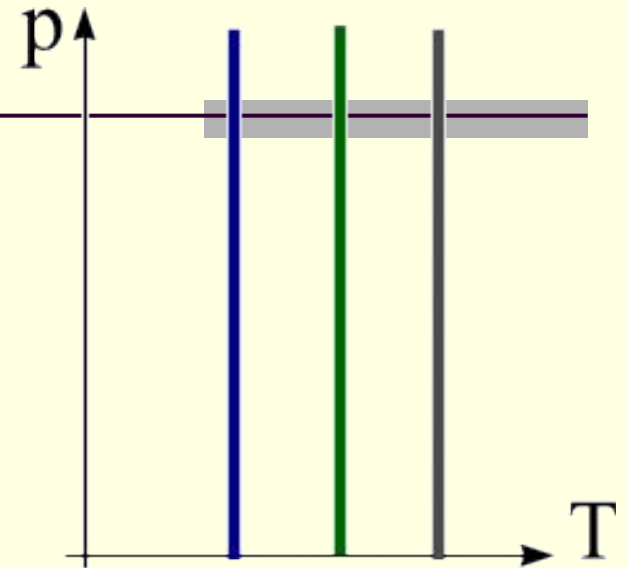
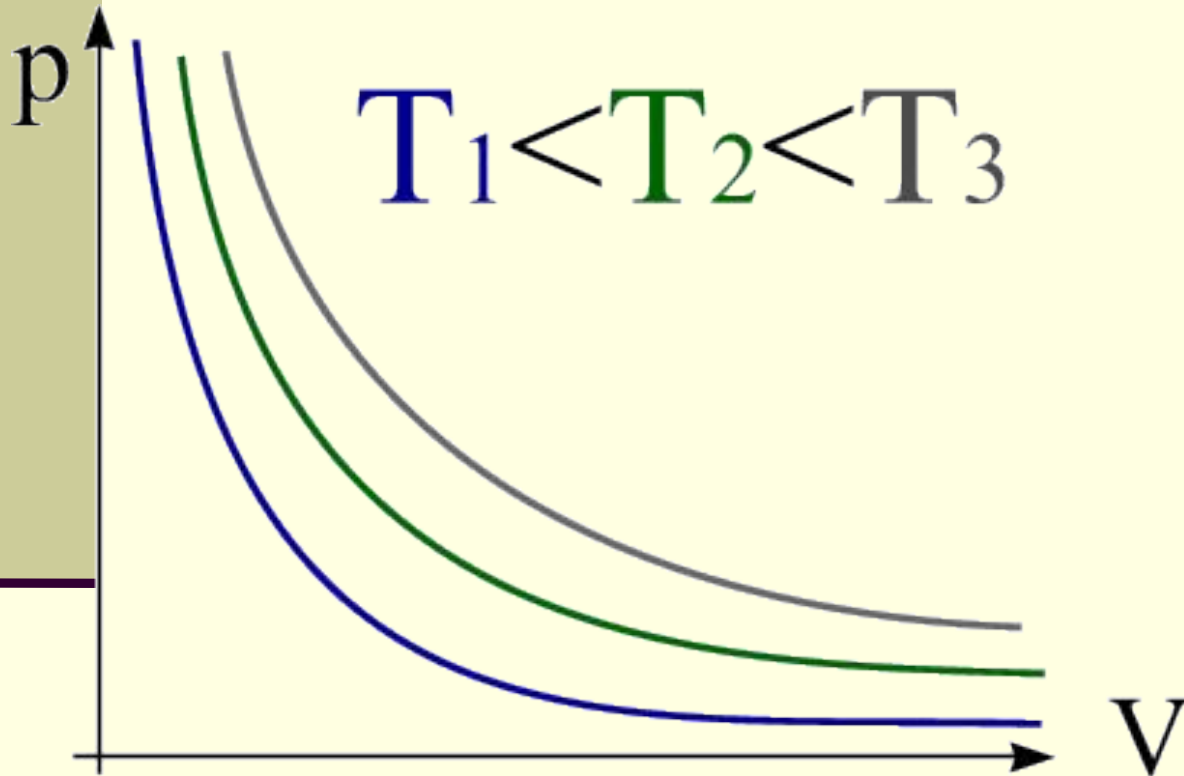


T -const

Ізопроееси

Ізотермічний. (Бойля-Маріотта)

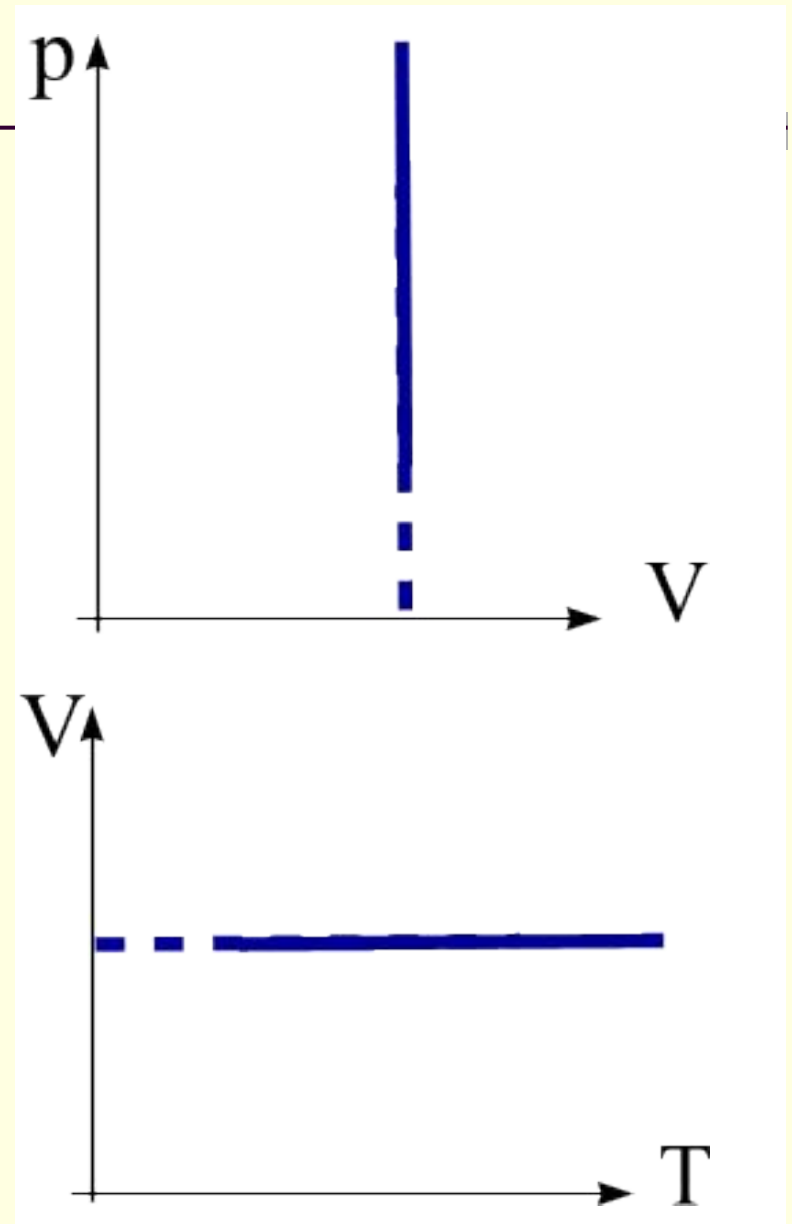
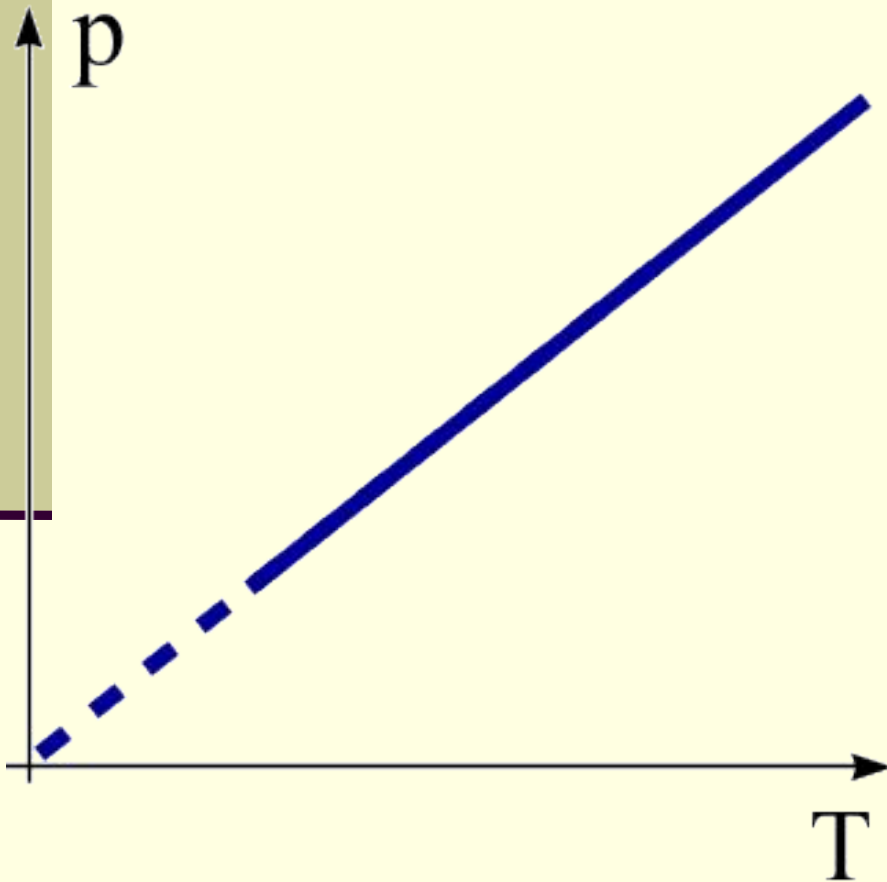
$T = \text{const}$ $pV = \text{const}$



Ізопроееси

Ізохоричний. (Гей-Люссака)

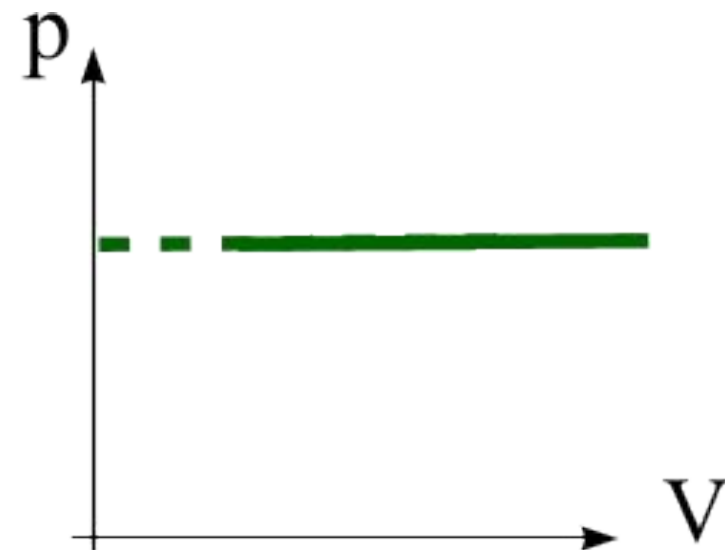
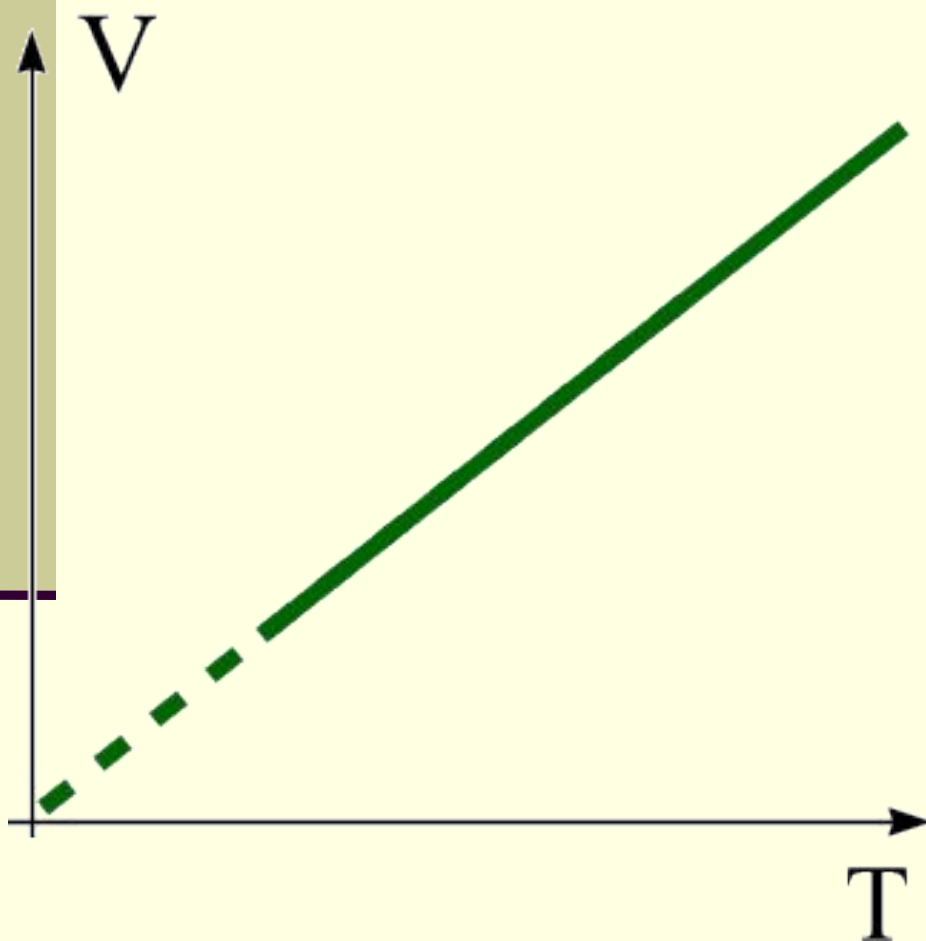
$V = \text{const}$ $p/T = \text{const}$



Ізопроееси

Ізобаричний. (Ж. Шарля)

$p = \text{const}$ $V/T = \text{const}$



Реальні гази

Ідеальний газ:

рівняння

Клапейрона-Менделєєва

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

Рівняння

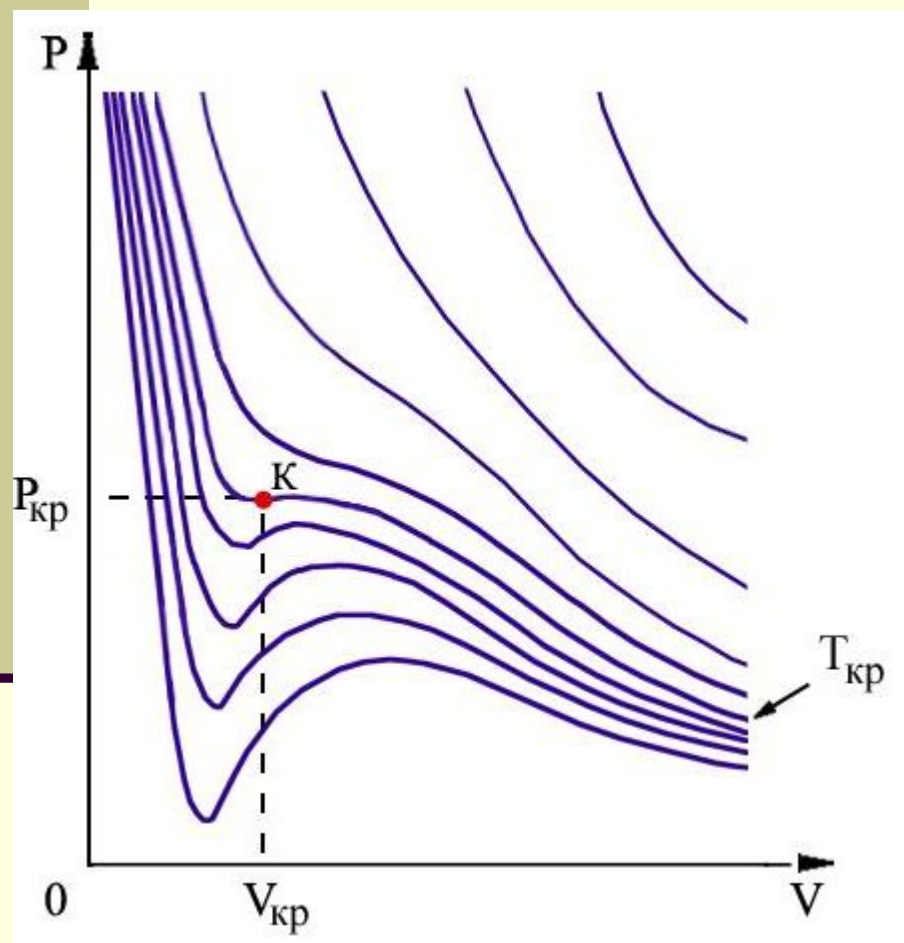
Ван-дер-Ваальса

(1873)

$$(p + a \frac{v^2}{V^2})(V - vb) = vRT$$

$$(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$$

Ізотерми Ван-дер-Ваальса



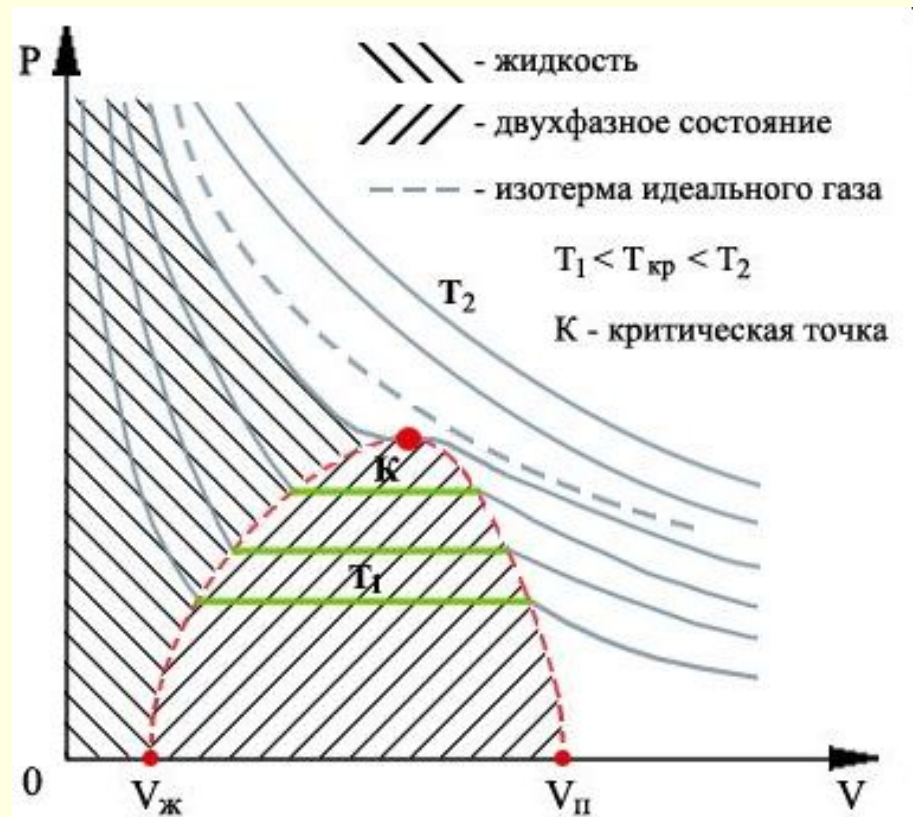
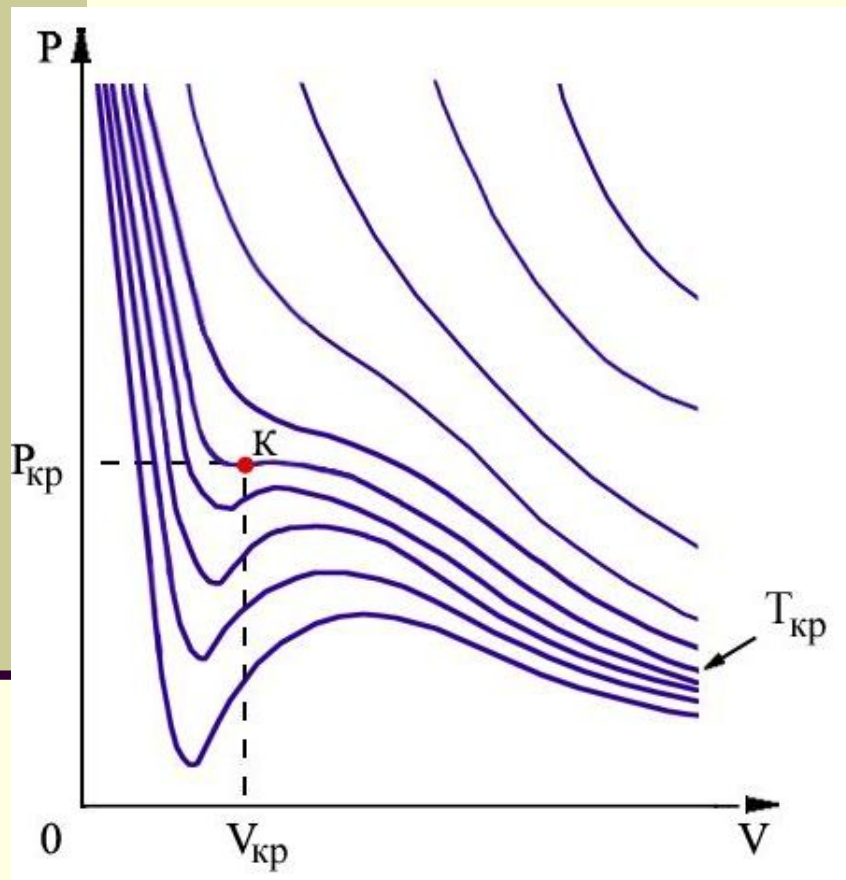
$$\left(p + a \frac{v^2}{V^2}\right)(V - vb) = vRT$$

$$P_{кр} = \frac{1}{27} \frac{a}{b^2},$$

$$V_{кр} = 3b,$$

$$T_{кр} = \frac{8}{27} \frac{a}{Rb}.$$

Изотермы Ван-дер-Ваальса



Термодинаміка

Внутрішня енергія тіла - сума всіх кінетичних та потенціальних енергій взаємодії між собою молекул тіла.

Температура - фізична величина, що є мірою внутрішньої енергії тіла.

Змінити внутрішню енергію тіла можна:

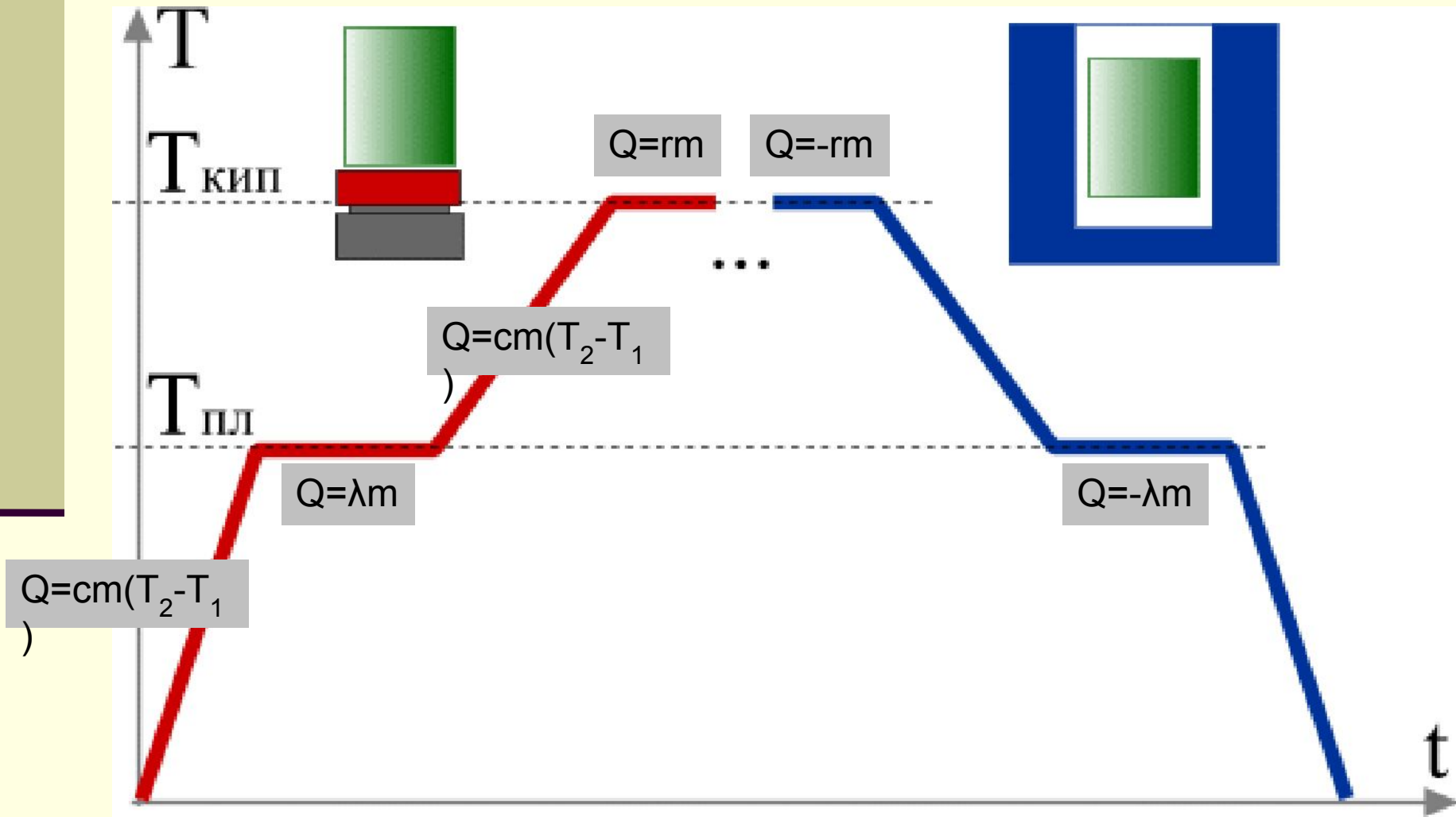
- виконанням над тілом роботи;
- теплопередачею.

Кількість теплоти – енергія, яка передається тілу за допомогою теплопередачі.

Види теплопередачі:

- **теплопровідність**: передача внутрішньої енергії від більш нагрітих ділянок тіла до менш нагрітих за рахунок співударянь молекул речовини;
- **конвекція**: перемішування теплих та холодних шарів рідини або газу за рахунок різниці їх густин;
- **випромінювання**: передача енергії за допомогою електромагнітних хвиль (світла, зокрема).

Теплопередача

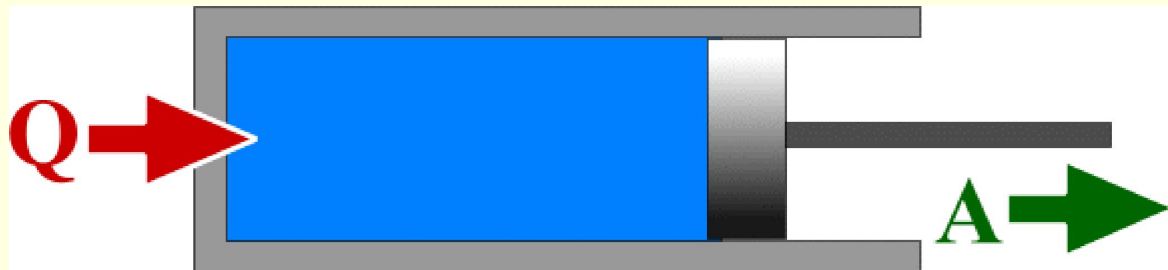


Термодинаміка

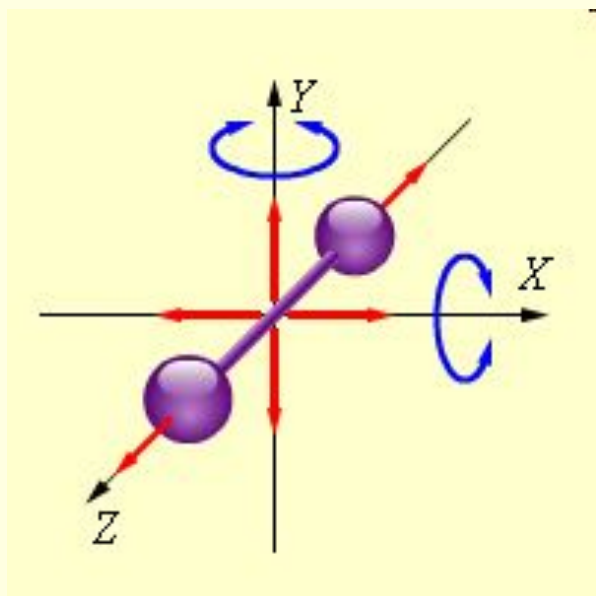
I закон термодинаміки

Кількість теплоти Q , що передано системі, частково іде на збільшення її внутрішньої енергії ΔU , а решта на виконання нею роботи A над зовнішніми тілами.

$$Q = \Delta U + A$$



Внутрішня енергія



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

i - найменше число незалежних координат, що визначають положення та конфігурацію молекули в просторі.

одноатомний газ: $i=3$

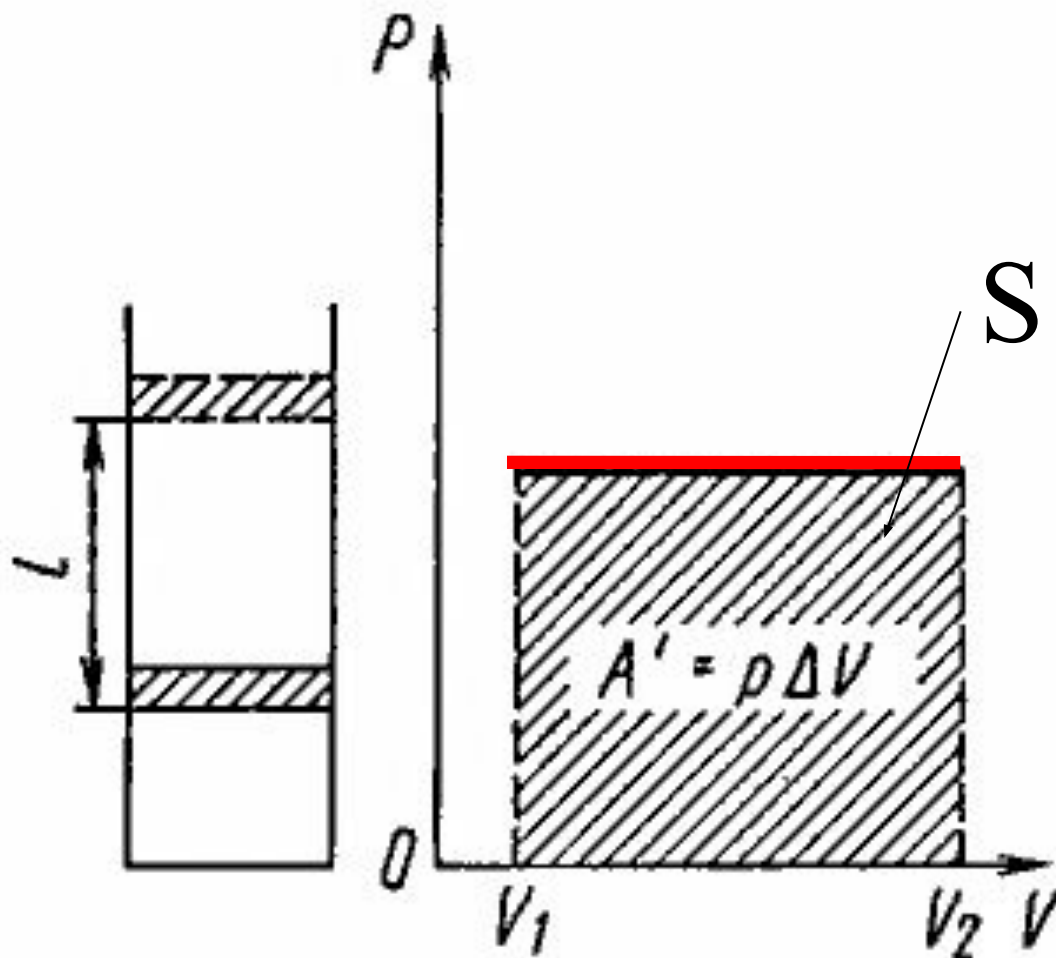
двоатомний газ: $i=5$

Теорема про рівномірний розподіл енергії за ступенями вільності:

Якщо система перебуває у тепловій рівновазі при температурі T , то середня кінетична енергія молекули рівномірно розподілена між всіма ступенями вільності і дорівнює:

$$\frac{1}{2} kT$$

Работа газа



Нехай p -const.

$$S = A$$

$$A = p (V_2 - V_1)$$

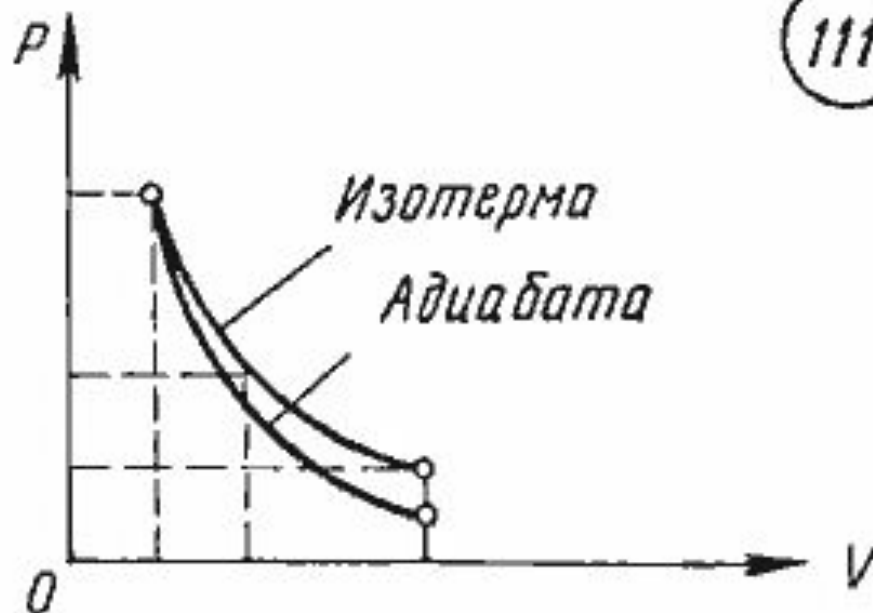
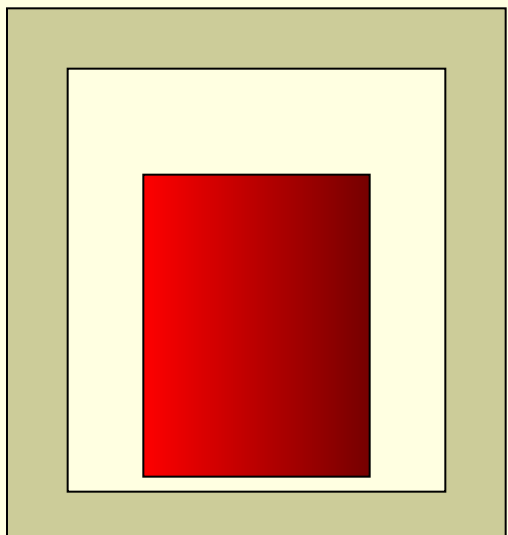
Термодинаміка

Адіабатний процес – при якому не відбувається теплообміну з зовнішніми тілами.

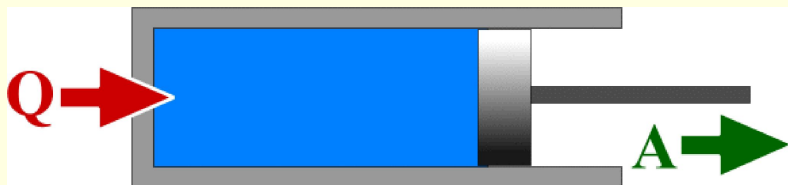
$$Q=0$$

або

$$A = - \Delta U$$



Термодинаміка



Ізохоричний

$V - \text{const} \quad A=0$

$$Q = \Delta U$$

Ізотермічний

$T - \text{const} \quad \Delta U=0$

$$Q = A$$

Ізобаричний

$p - \text{const} \quad A = p(V_2 - V_1)$

$$Q = \Delta U + A$$

Теплоємність газів

$$Q = C_v(T_2 - T_1)$$

$$p = \text{const}, \quad Q = \Delta U + p\Delta V$$

$$V = \text{const}, \quad Q = \Delta U$$

$$C_p = C_v + R$$

- співвідношення Майєра:

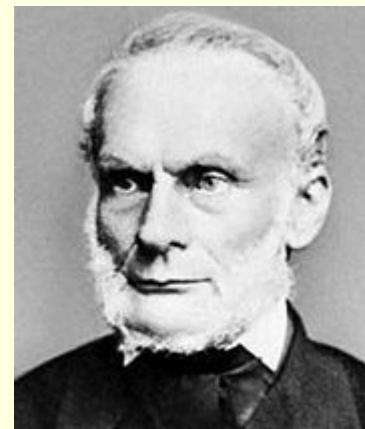
Термодинаміка

Процес наз. оборотним, якщо він допускає можливість повернення системи до початкового стану без будь-яких змін у навколишньому середовищі

Необоротні процеси:

- розширення газу у вакуум
- перехід при дії сили тертя мех. енергії у внутрішню

Термодинаміка



II закон термодинаміки

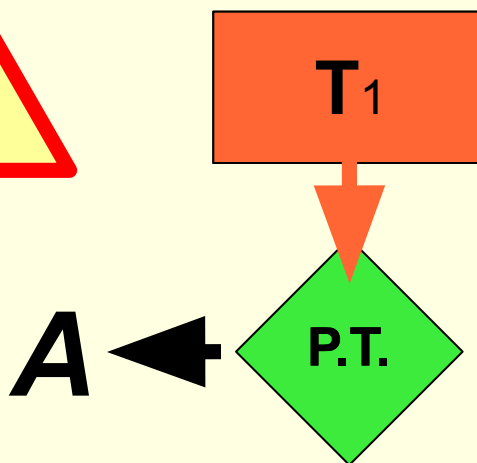
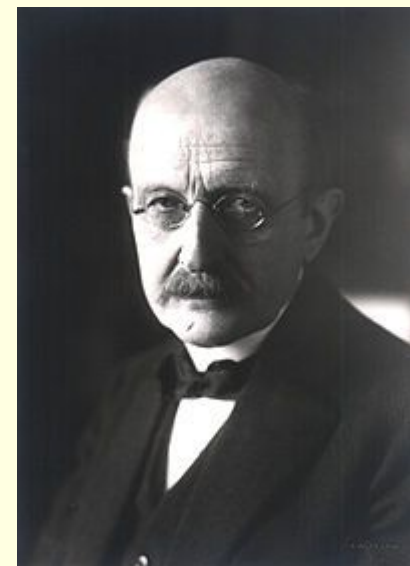
Процес, при якому теплота передається від менш нагрітих тіл до більш нагрітих без виконання роботи ззовні – неможливий.

Клаузиус Рудольф: 1850

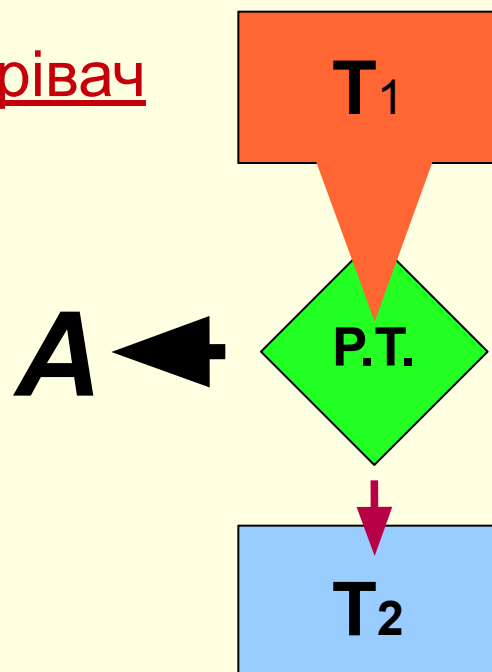
II закон термодинаміки

Макс Планк:

періодичний процес, єдиним результатом якого було б перетворення теплоти в роботу — неможливий.



нагрівач

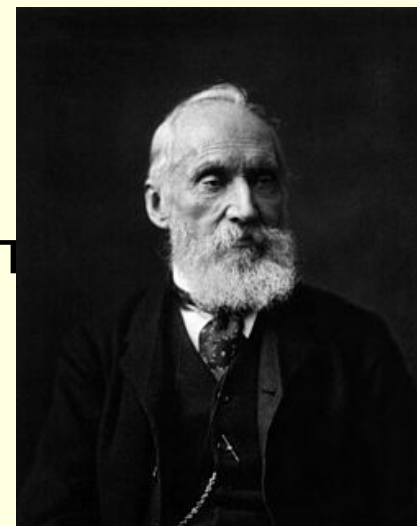


ХОЛОДИЛЬНИК

II закон термодинаміки

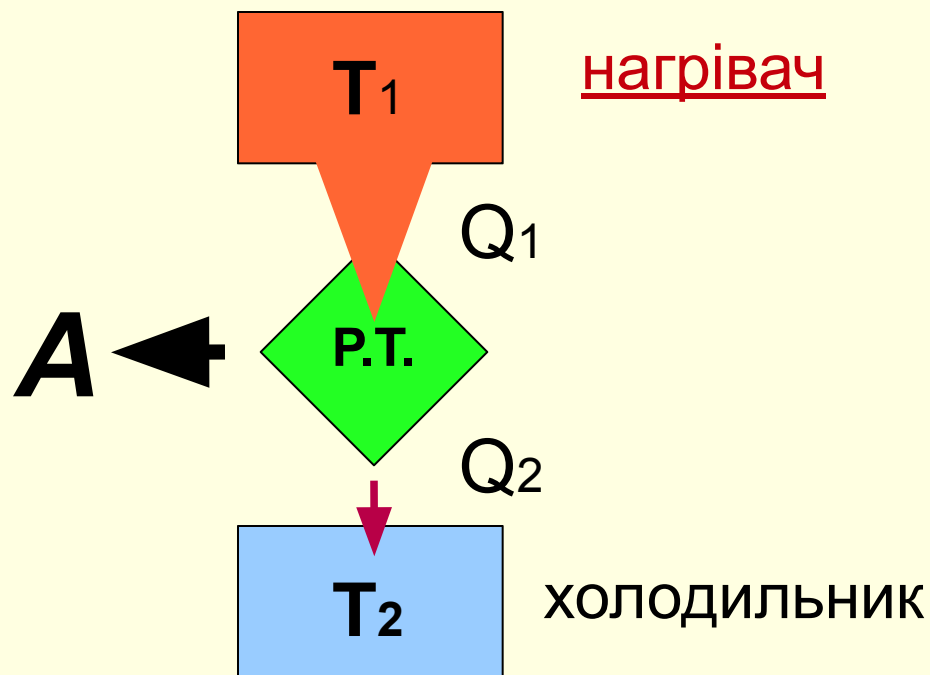
Уільям Тóмсон, лорд Кéльвін

Неможливо побудувати теплову машину, яка б виконувала роботу за рахунок внутрішньої енергії найбільш холодного тіла в системі.



// Вічний двигун 2-го роду - неможливий

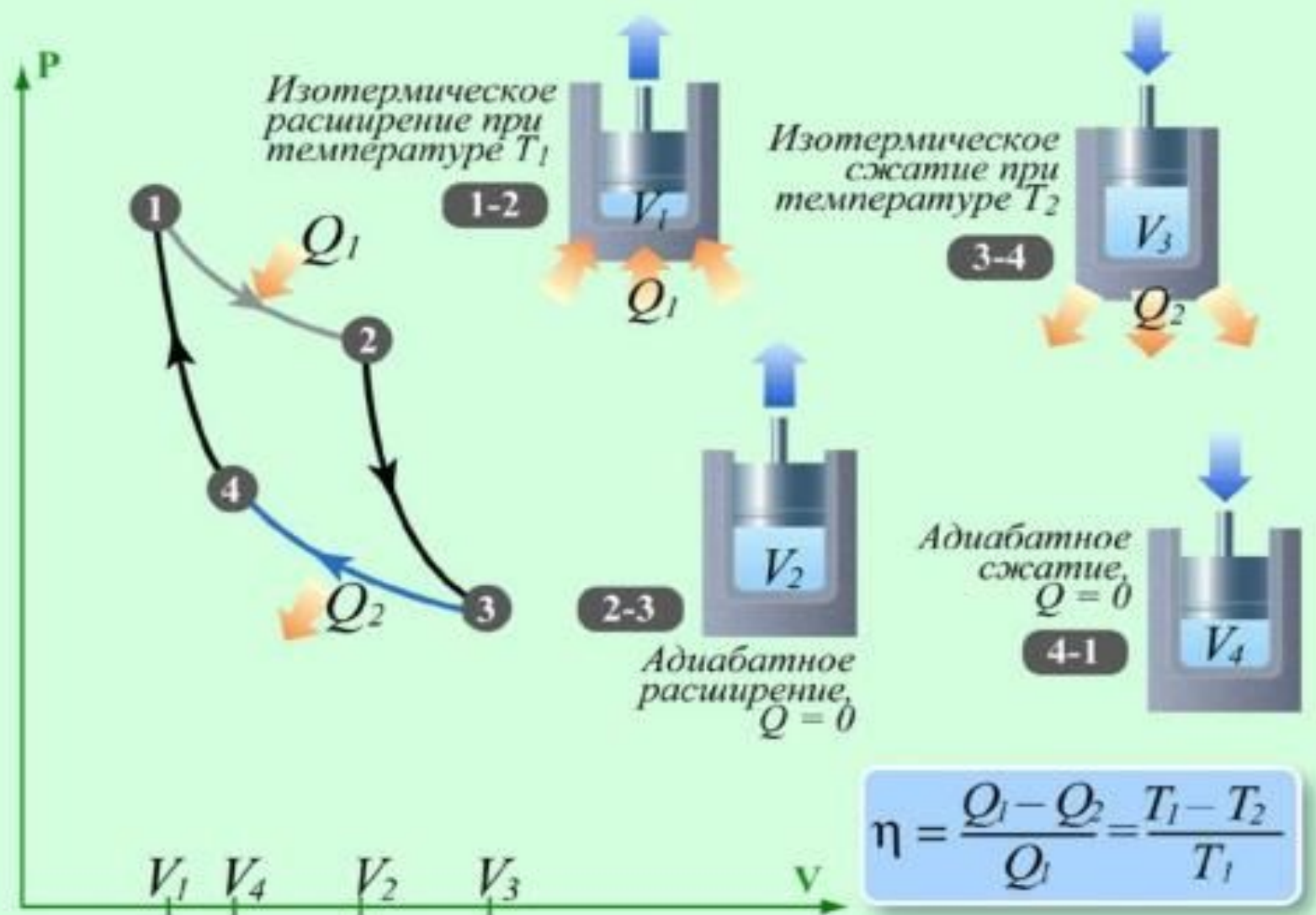
Тепловий двигун



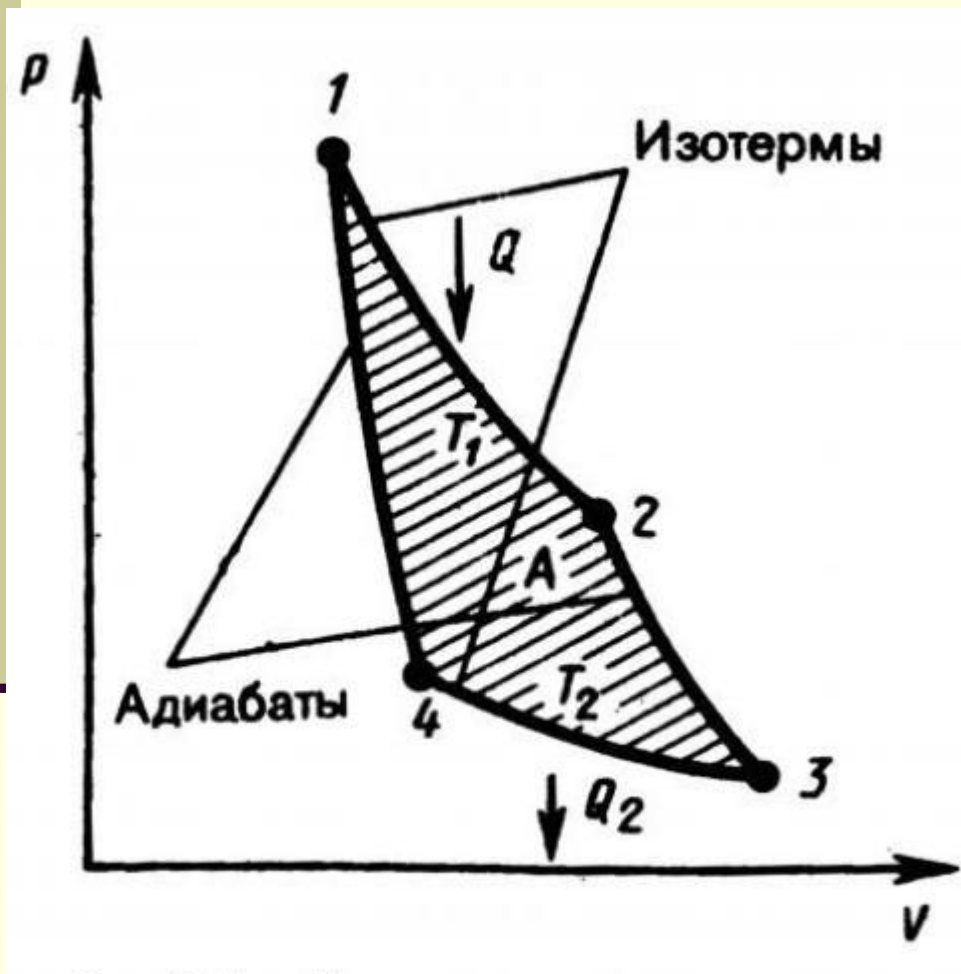
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Машина Карно



Цикл Карно



$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Теплові машини



Теплові машини

