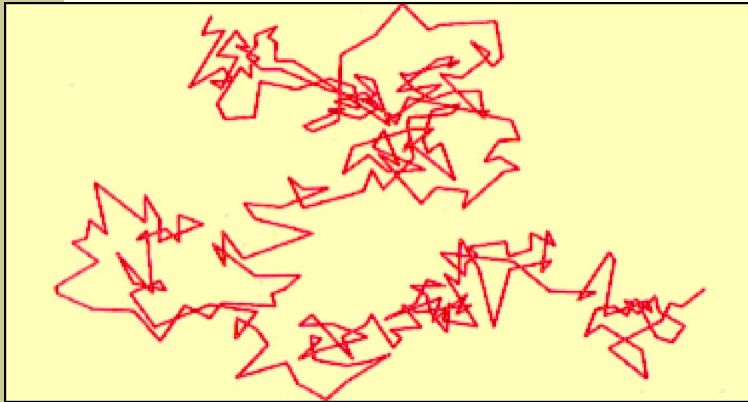


Основи МКТ

Вступ до термодинаміки

Зінчук В.М.

Основи МКТ



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

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

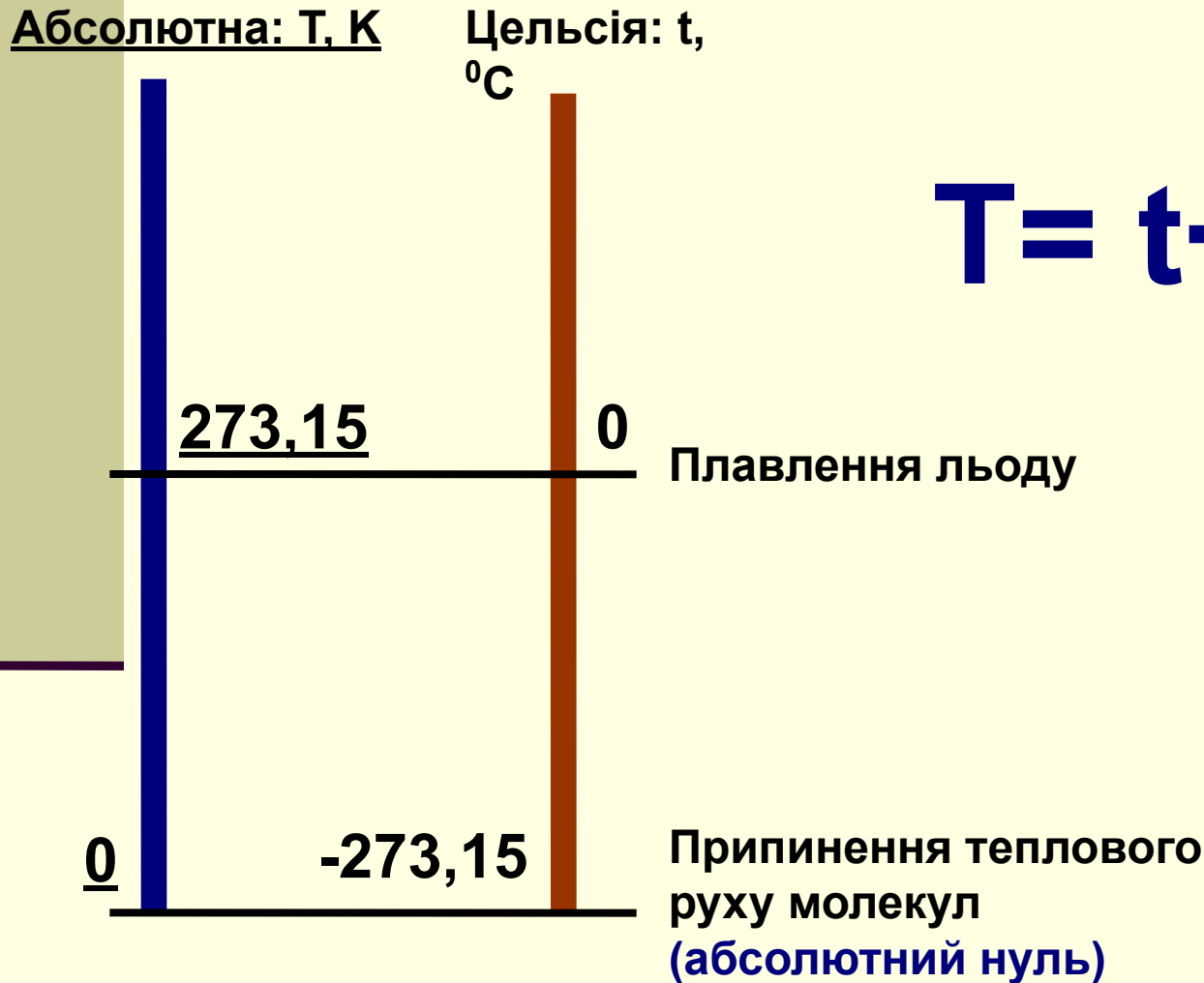
$$\bar{E}_k = \frac{m_0}{2} \frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_N^2}{N} = \frac{m V_{\text{rms}}^2}{2}$$

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

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$$

Принципи вимірювання температури

Типи температурних шкал

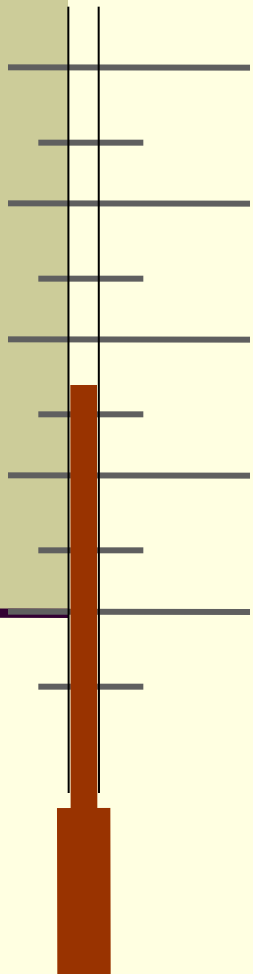


$$T = t + 273,15$$

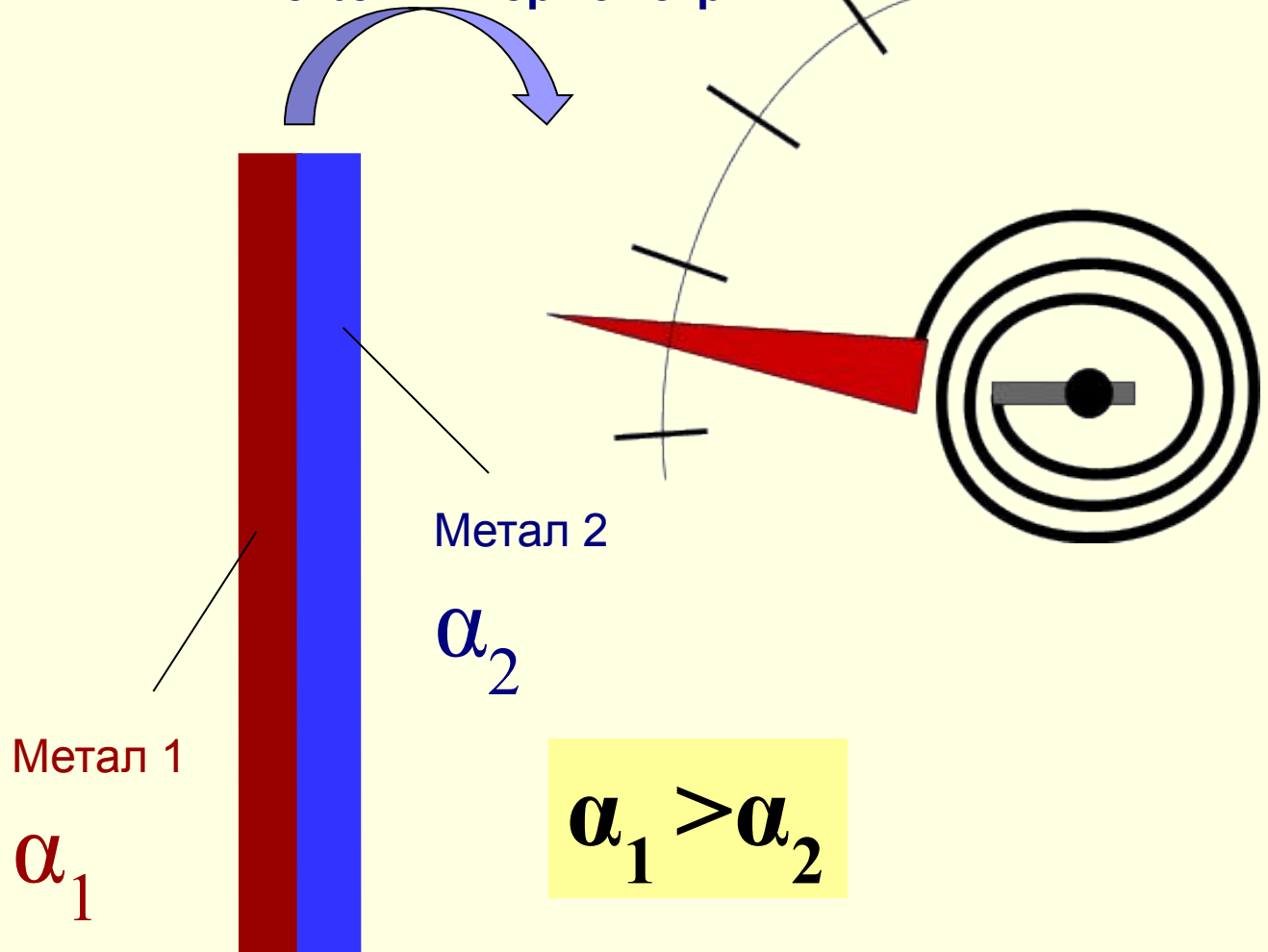
Принципи вимірювання температури

Використання теплового розширення речовин

Рідинний термометр

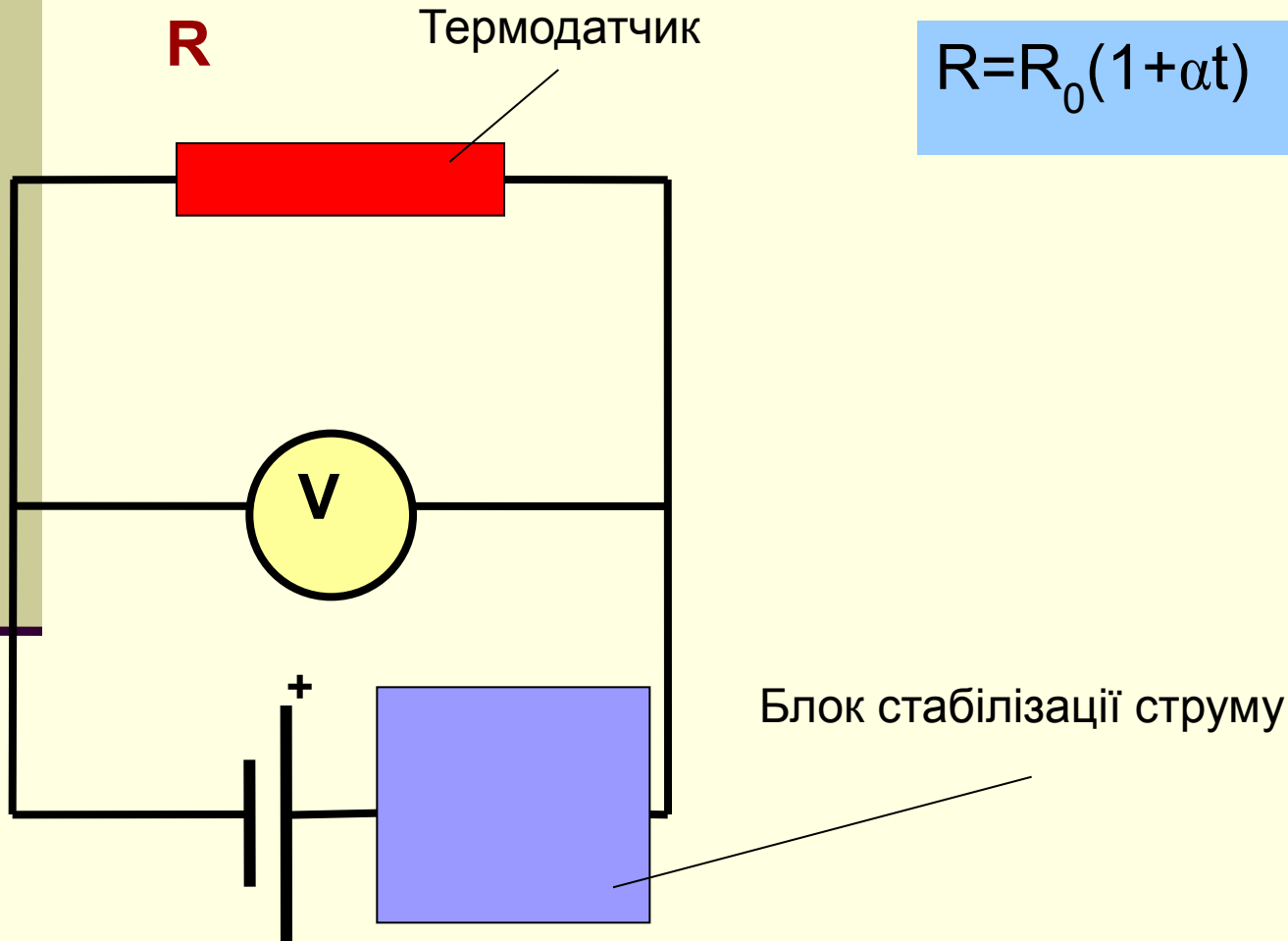


Біметалічні термометри

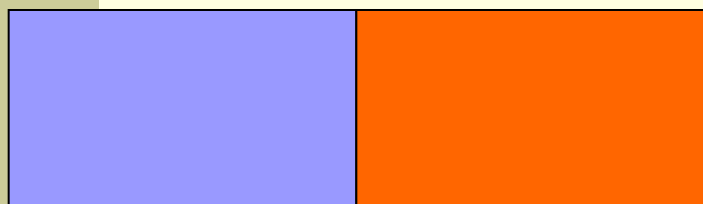


Принципи вимірювання температури

Використання залежності опору від температури



Принципи вимірювання температури Використання залежності контактної різниці потенціалів від температури (термопари)



Метал 1

Метал 2

$$A_1$$

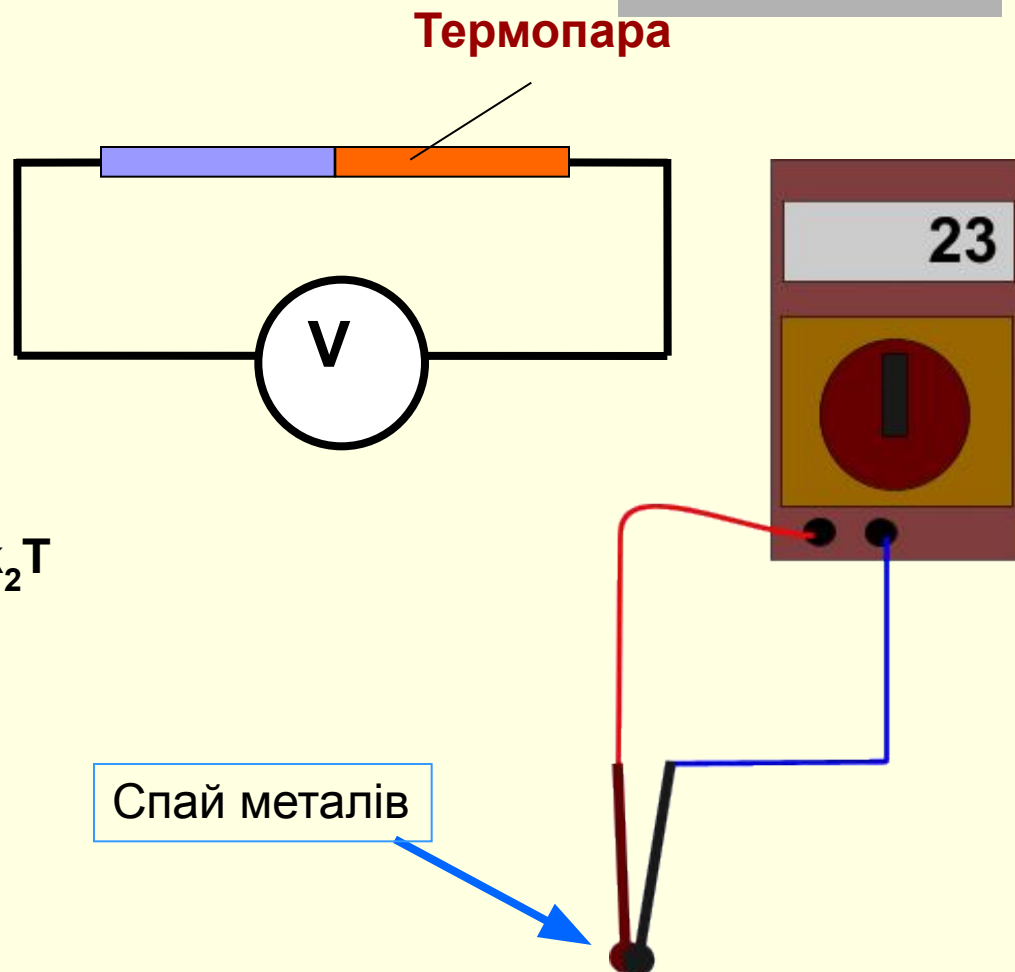
$$A_2$$

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

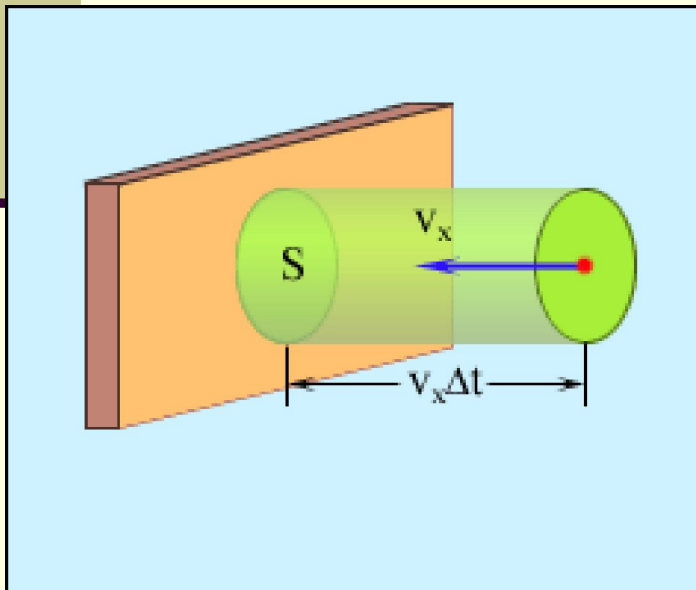
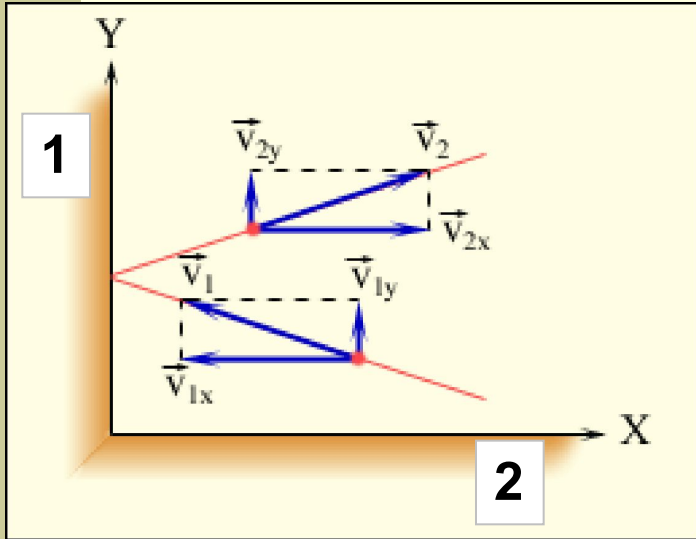
$$A_1 > A_2$$
$$A_1 = k_1 T \quad A_2 = k_2 T$$

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

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



Пояснения тиску



$$\Delta P_0 = 2m_0 V_x$$

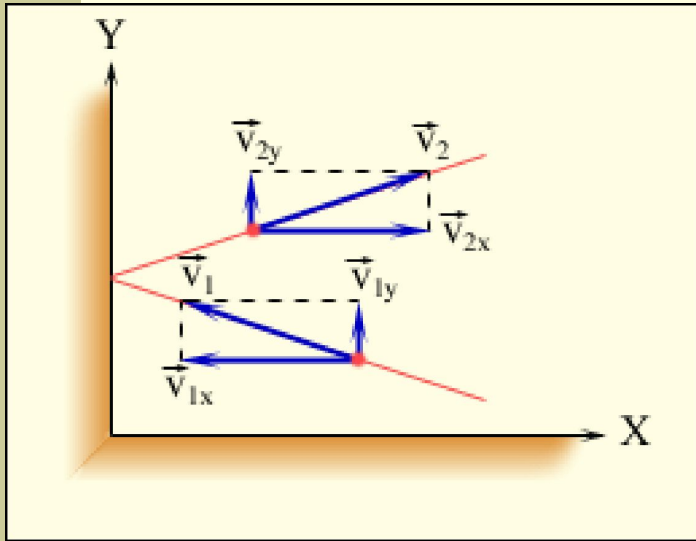
$$\Delta P = 2Zm_0 V_x$$

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

$$F_x t = \Delta P$$

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

Пояснення тиску



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

$$p_2 = nmV_y^2$$

$$p_3 = nmV_z^2$$

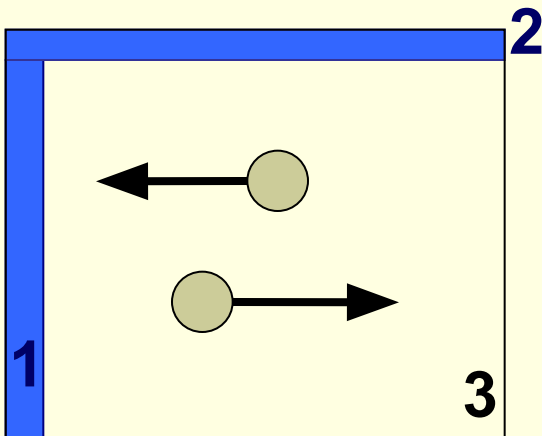
$$3p = nm(V_x^2 + V_y^2 + V_z^2)$$

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

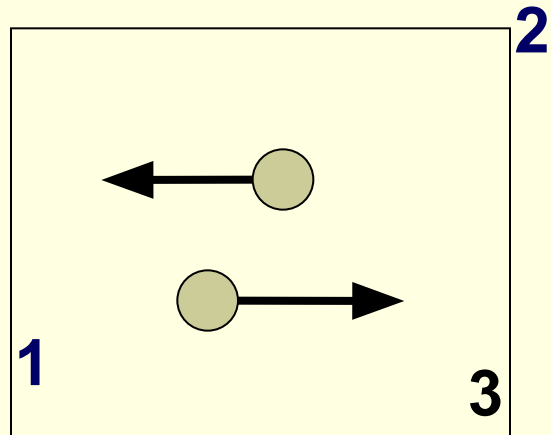
$$p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$$

- Основне рівняння МКТ

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



Основне рівняння МКТ



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

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

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

$$p = nkT$$

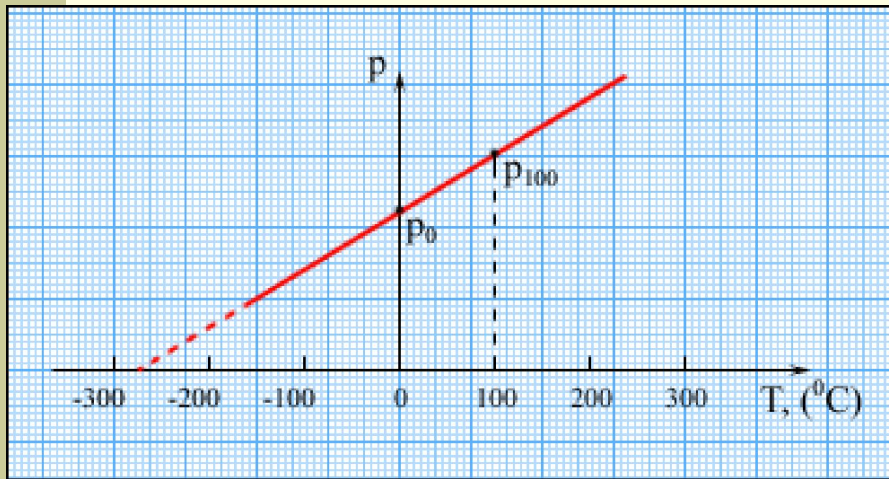
$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

Рівняння
Клайперона-
Менделєєва

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

Рівняння
Клайперона

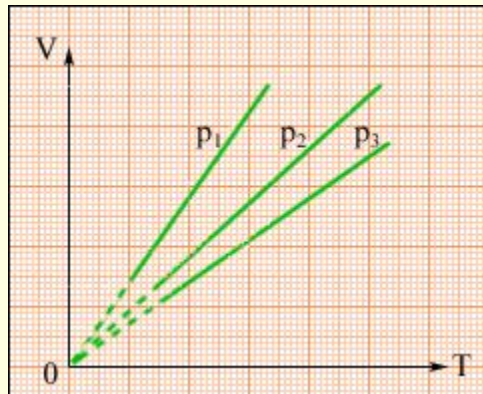
Рівняння Клапейрона-Менделєєва



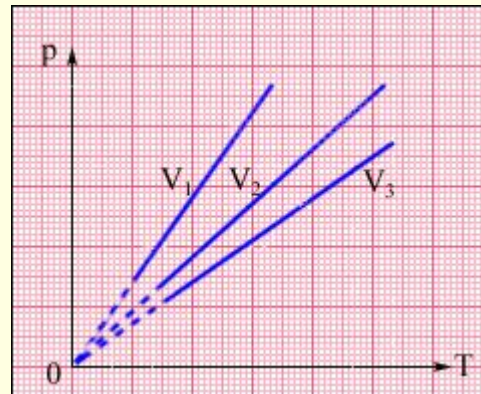
Рівняння Клапейрона

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

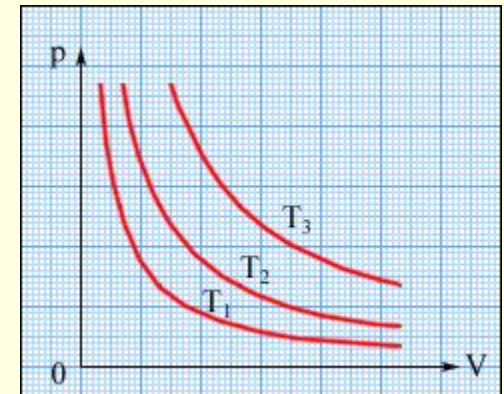
Ізопроееси



p -const



V -const

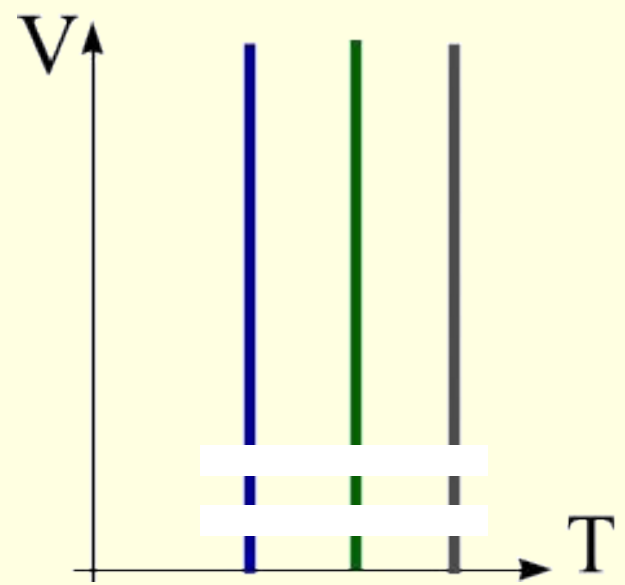
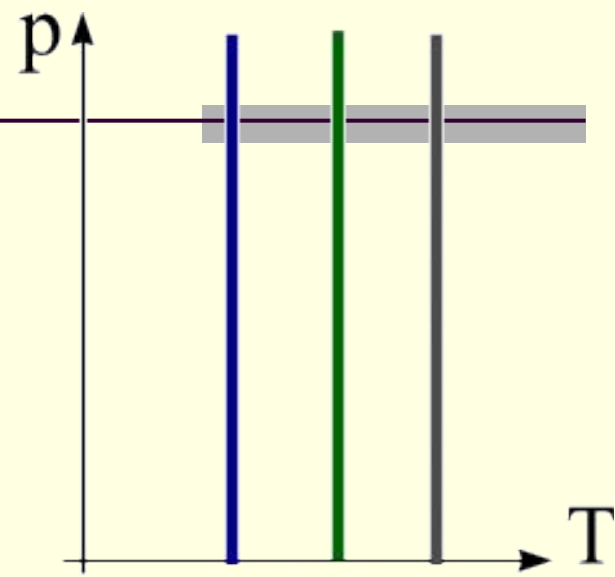
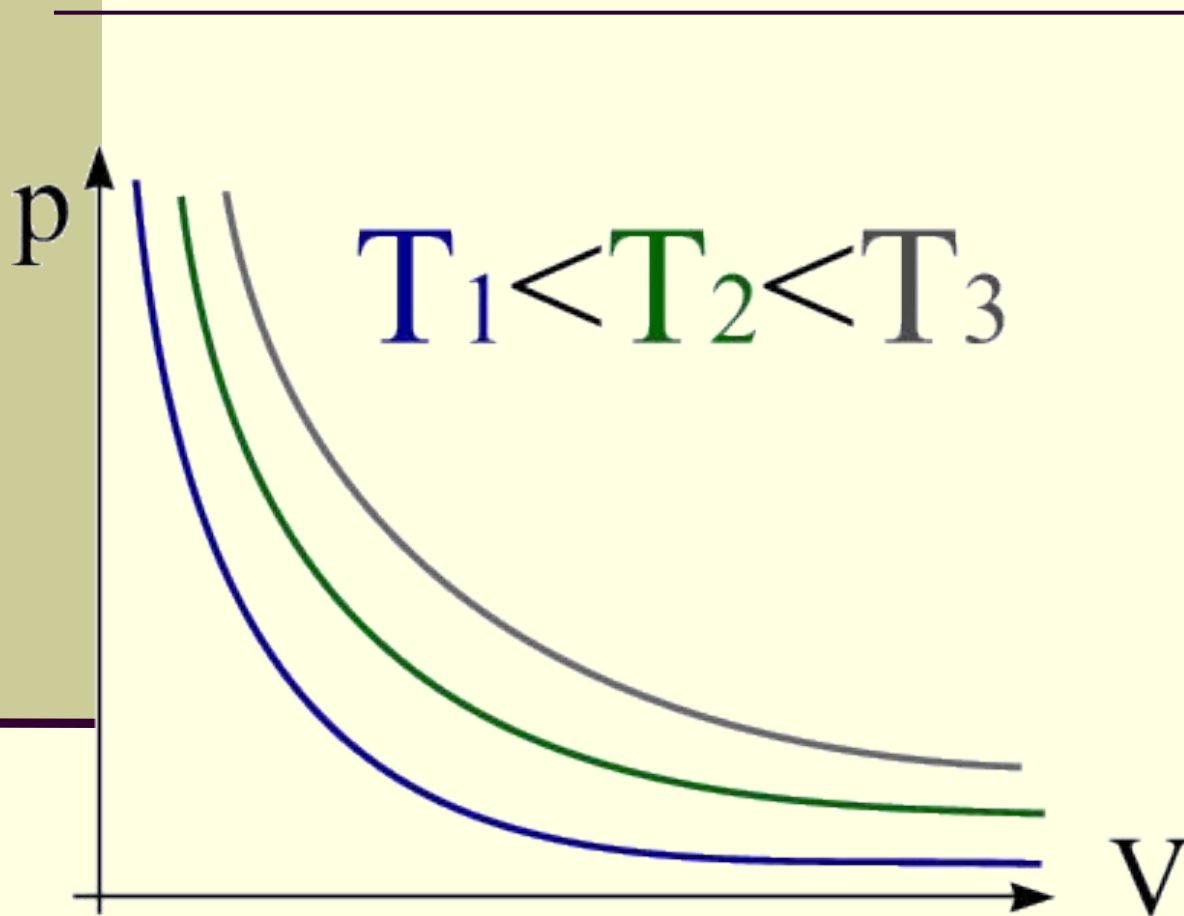


T -const

Ізопроееси

Ізотермічний. (Бойля-Маріотта)

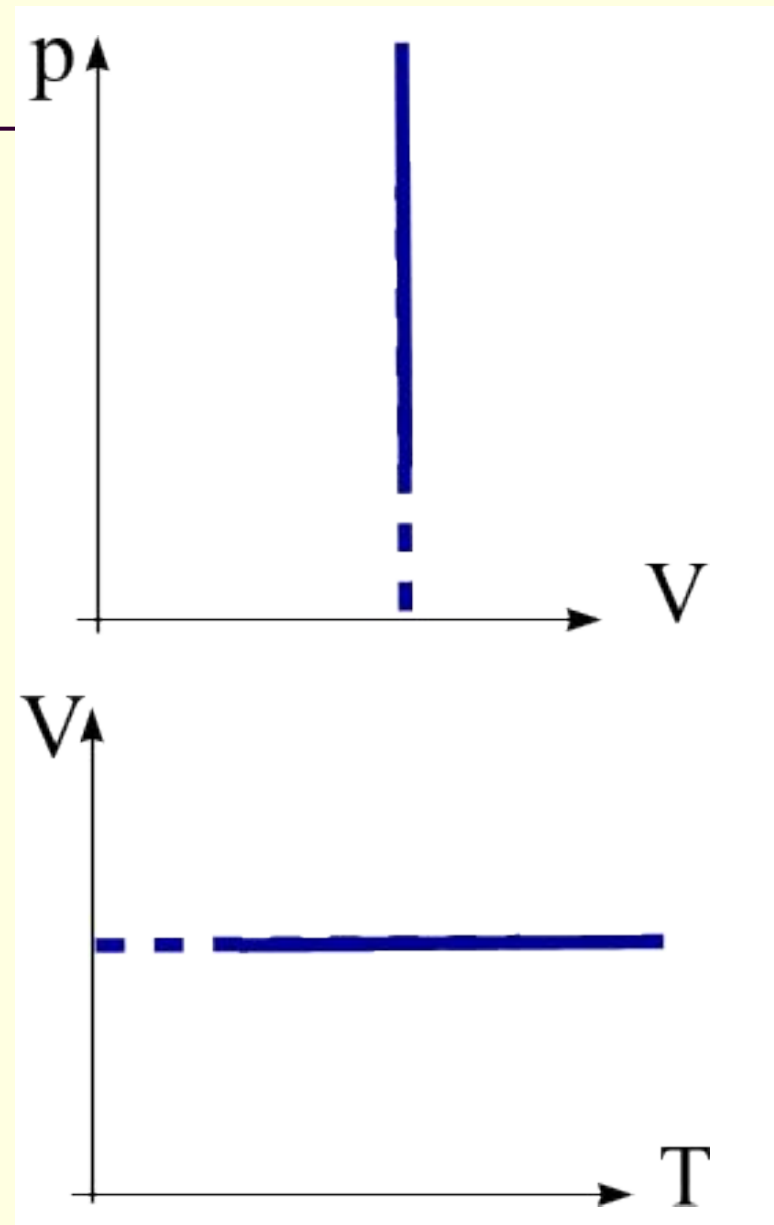
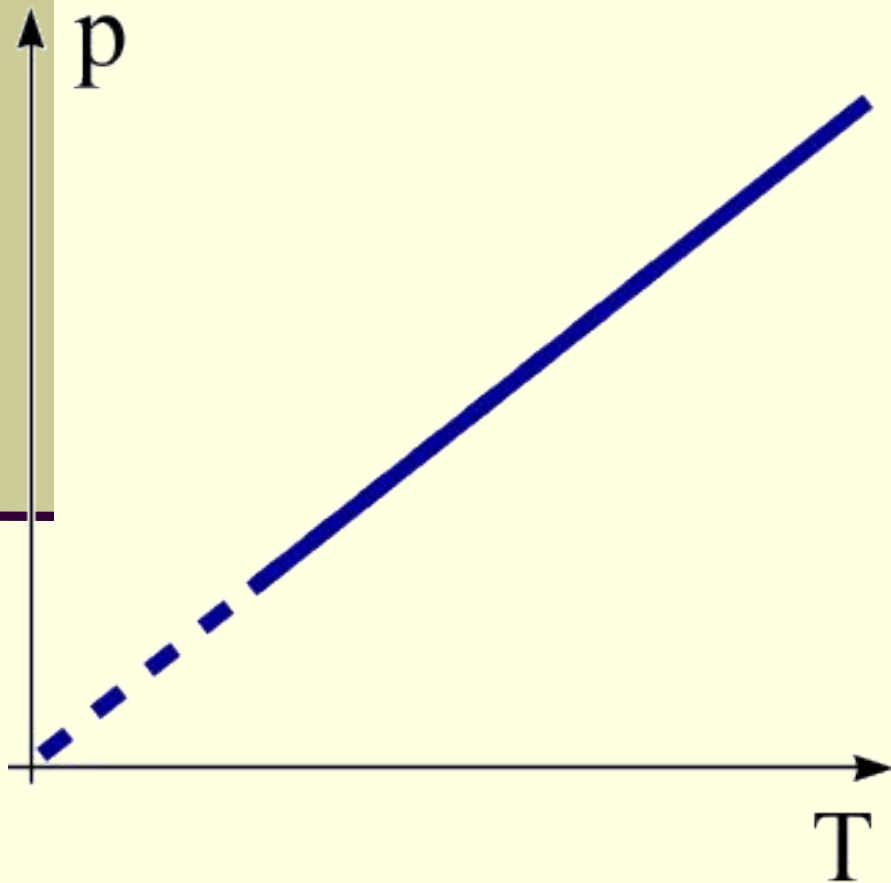
$T = \text{const}$ $pV = \text{const}$



Ізопроееси

Ізохоричний. (Гей-Люссака)

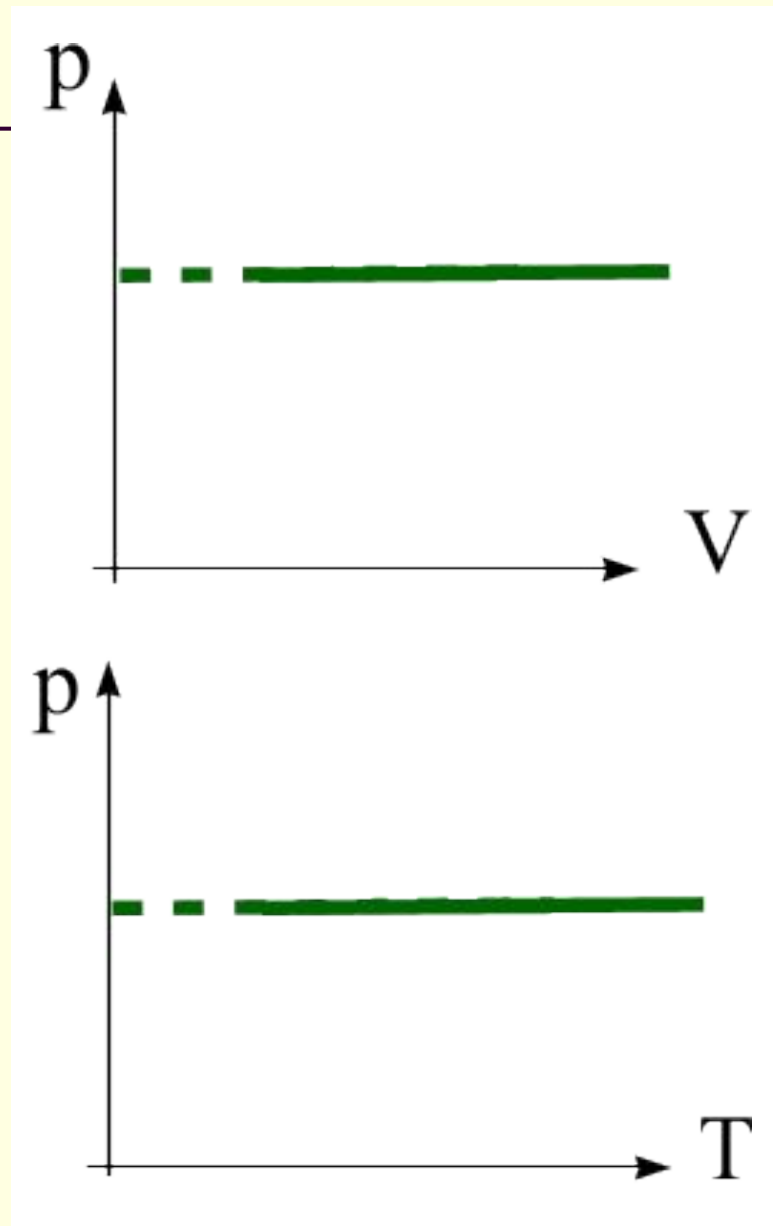
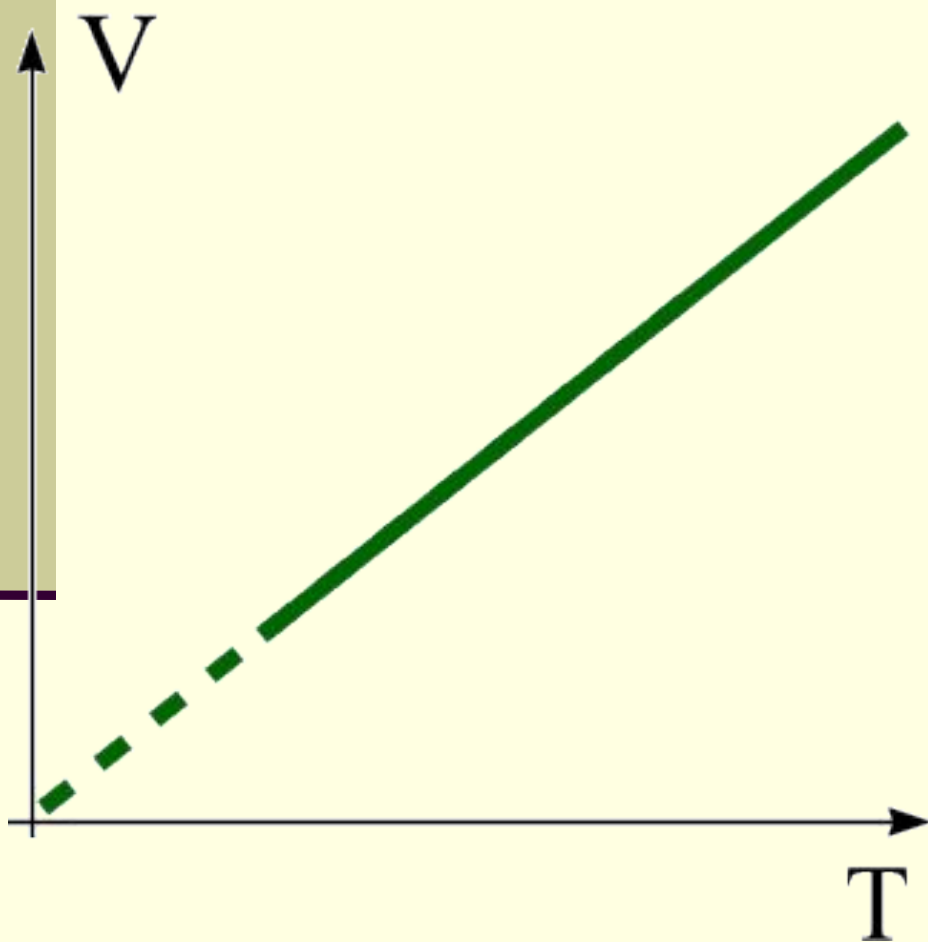
$V = \text{const}$ $p/T = \text{const}$



Ізопроееси

Ізобаричний. (Ж. Шарля)

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



Реальні гази

Ідеальний газ:

рівняння

Клапейрона-Менделєєва

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

Рівняння

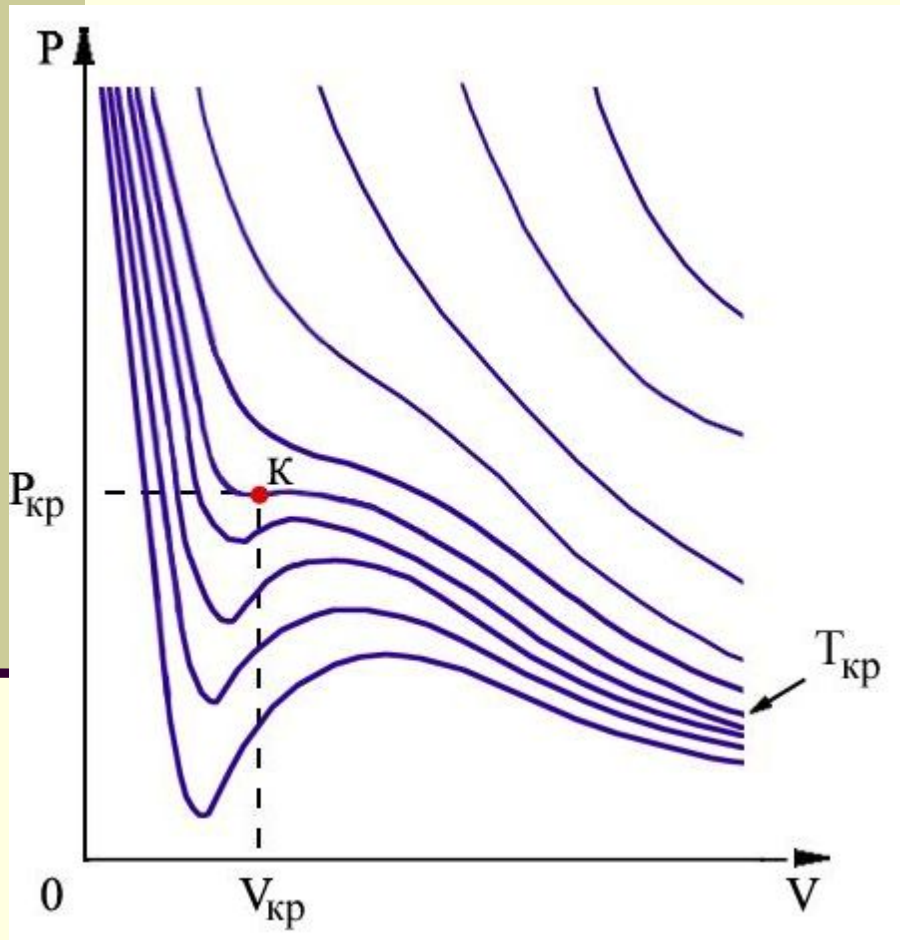
Ван-дер-Ваальса

(1873)

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

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

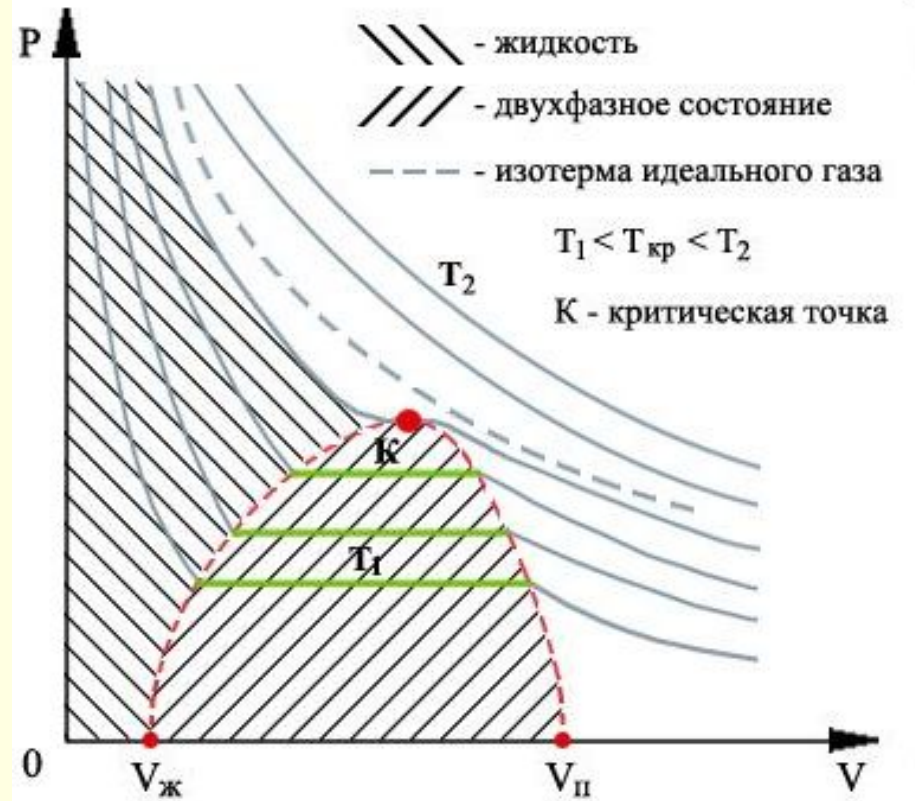
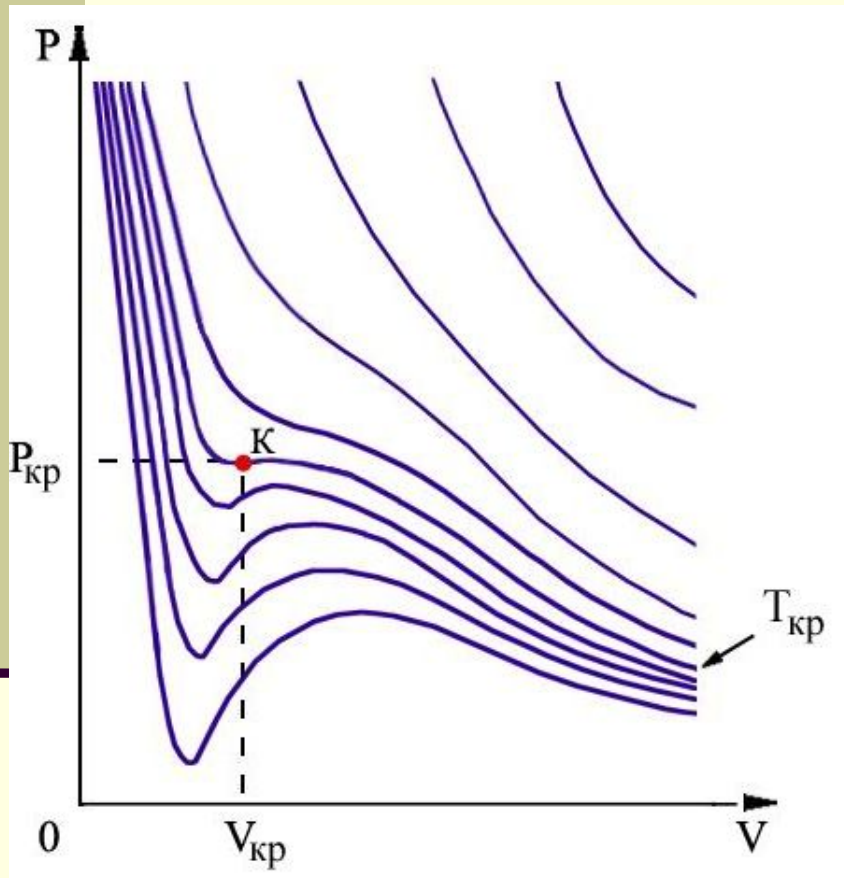
Ізотерми Ван-дер-Ваальса



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

$$P_{кр} = \frac{1}{27} \frac{a}{b^2},$$
$$V_{кр} = 3b,$$
$$T_{кр} = \frac{8}{27} \frac{a}{Rb}.$$

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:

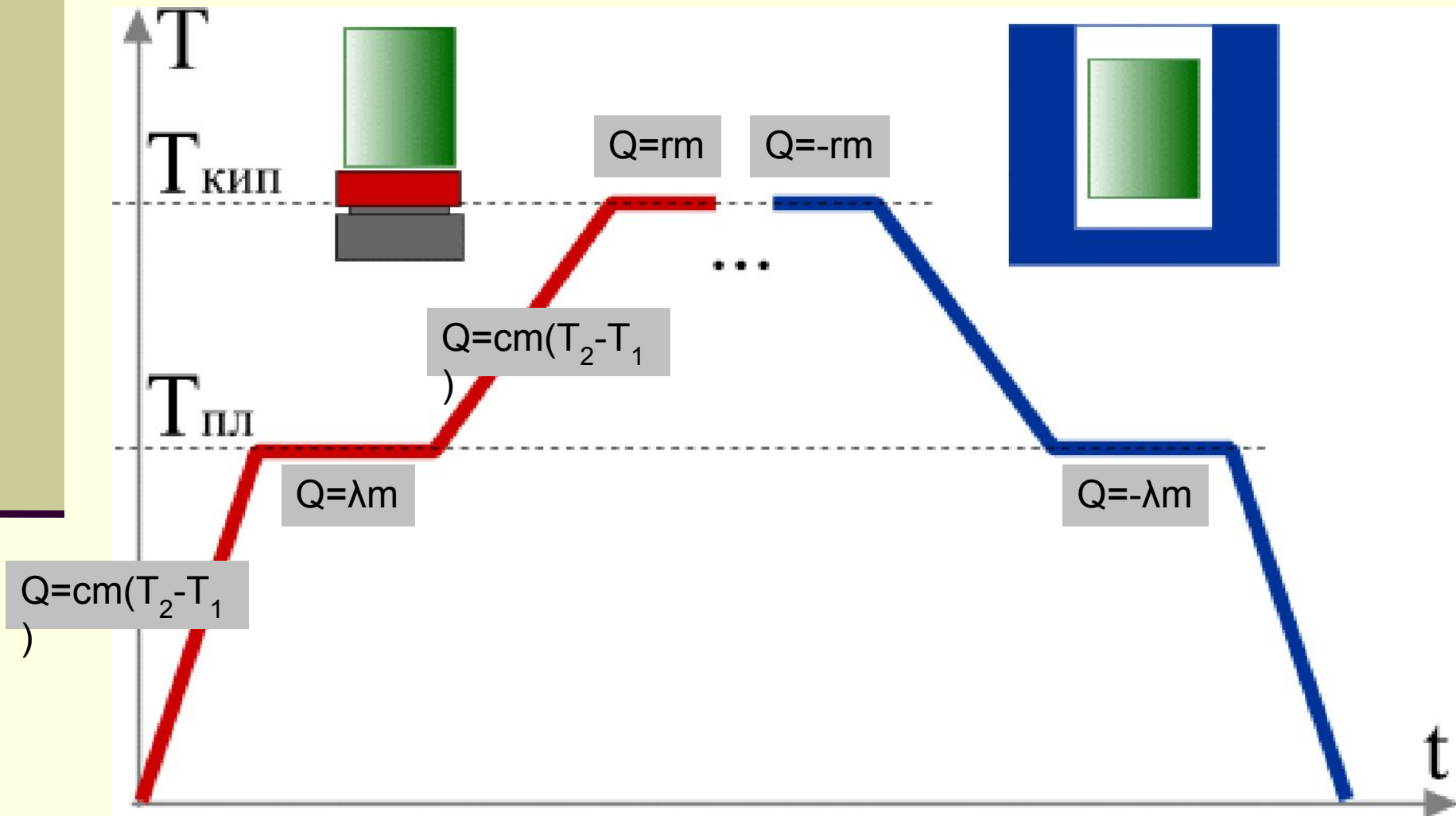
- виконанням над тілом роботи;
- теплопередачею.

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 співударень 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

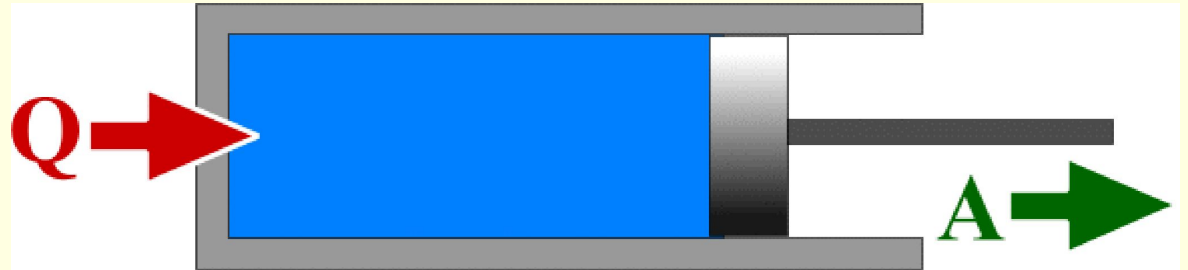


Термодинаміка

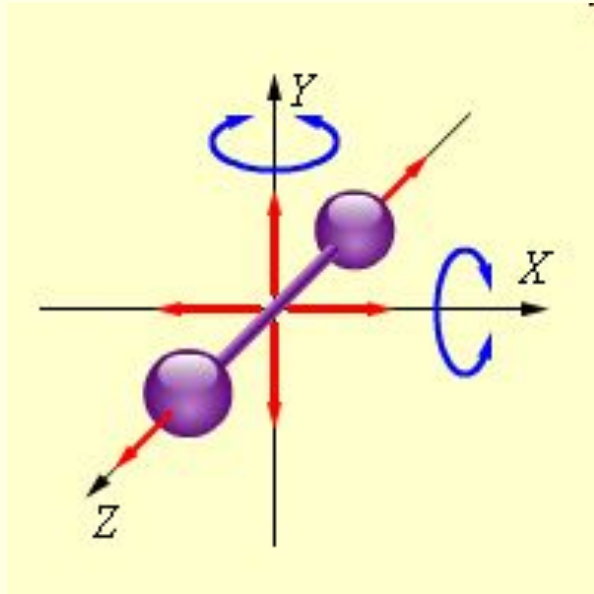
I закон термодинаміки

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: $i=3$

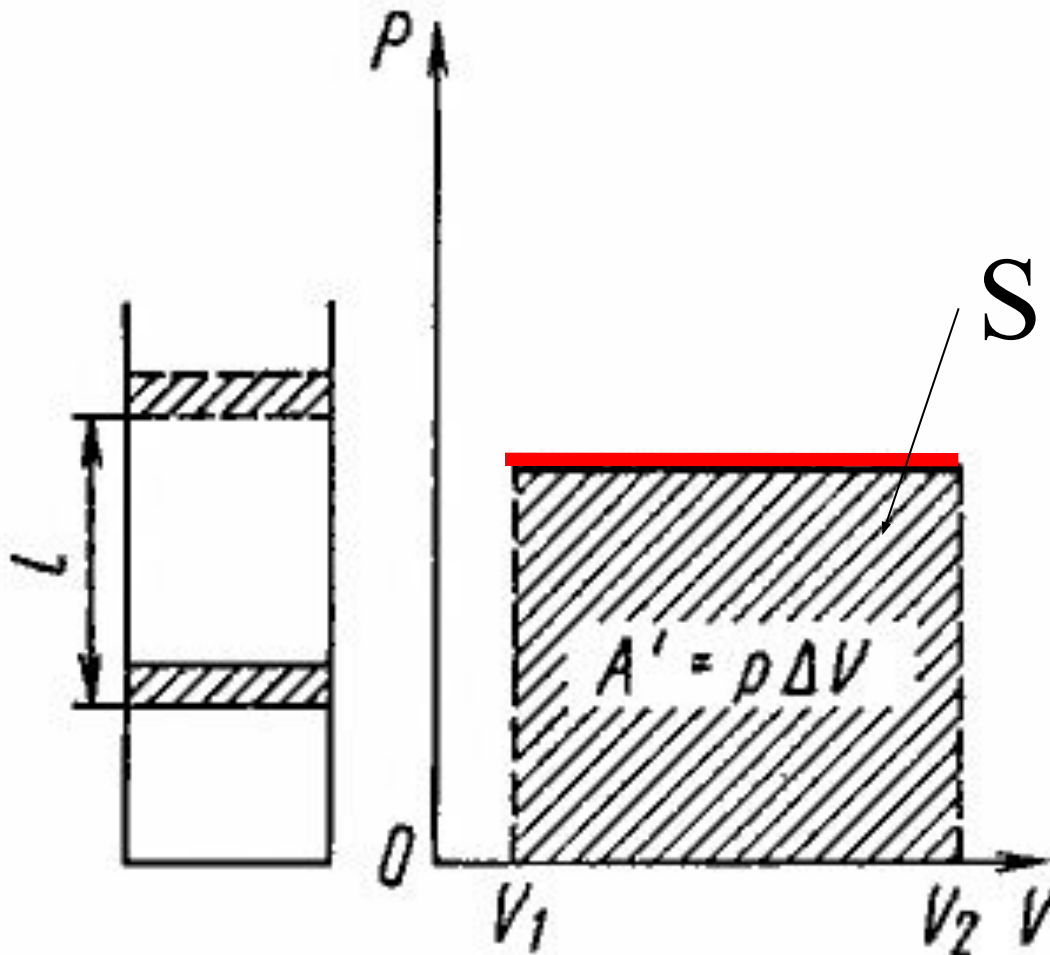
двоатомний газ: $i=5$

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.

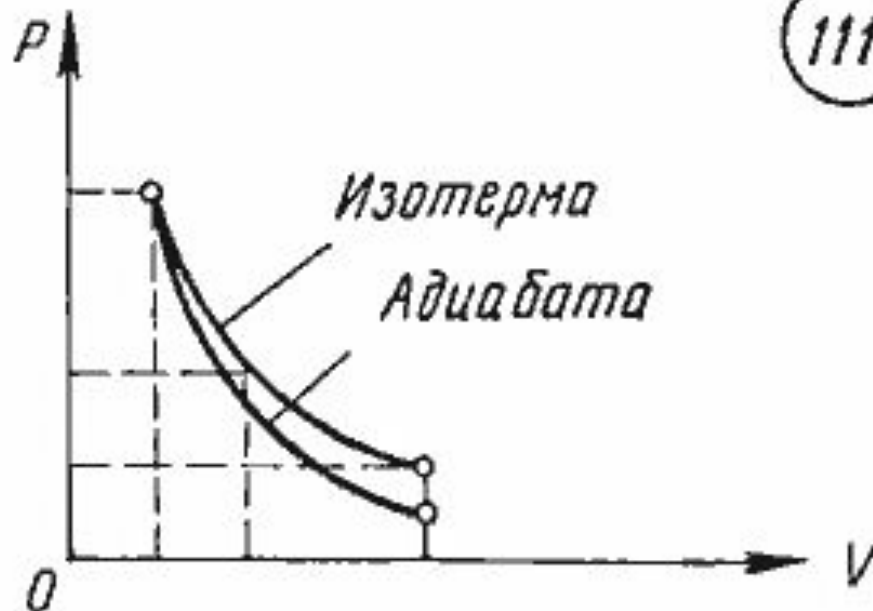
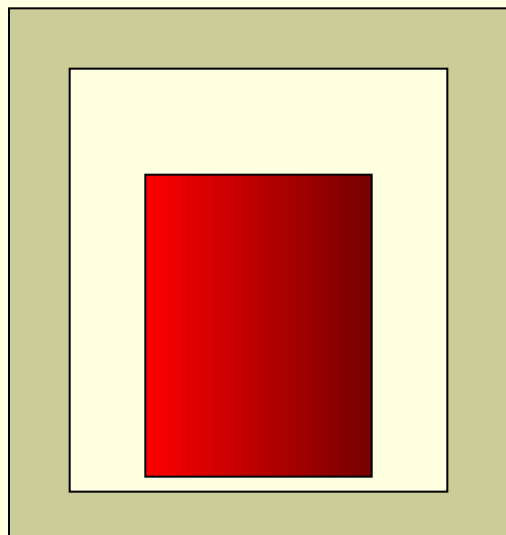
$$S = A$$

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

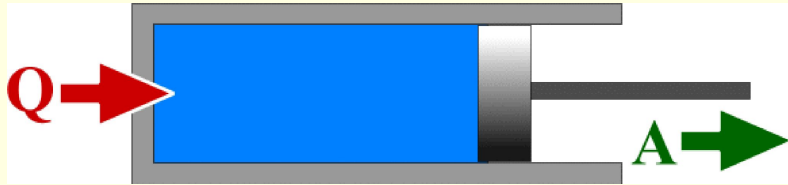
Термодинаміка

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

$$Q=0 \quad \text{або} \quad A = - \Delta U$$



Термодинаміка



Ізохоричний

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

$$Q = \Delta U$$

Ізотермічний

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

$$Q = A$$

Ізобаричний

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

$$Q = \Delta U + A$$

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:

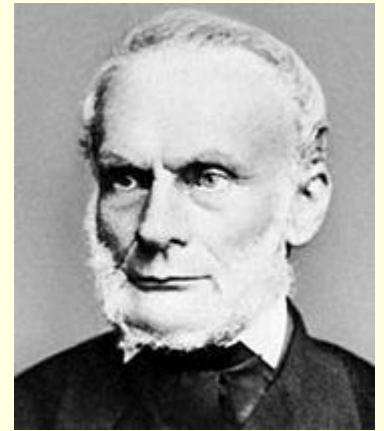
Термодинаміка

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

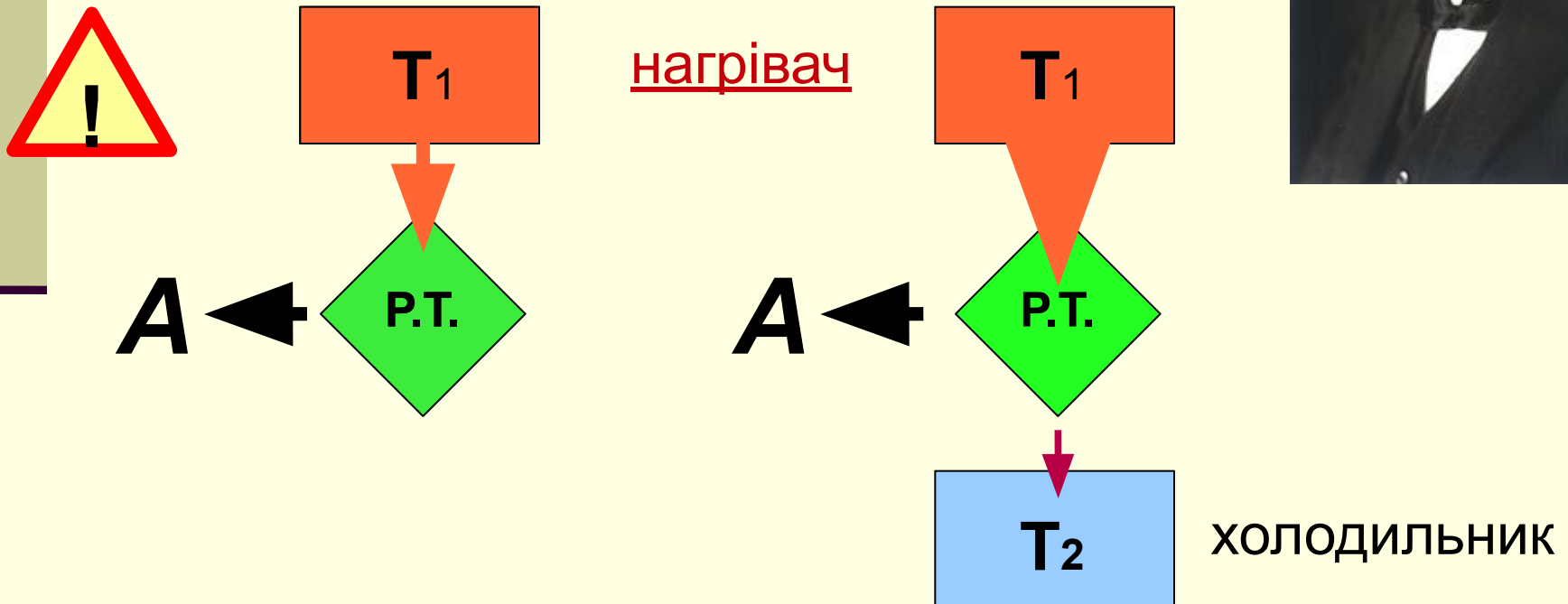
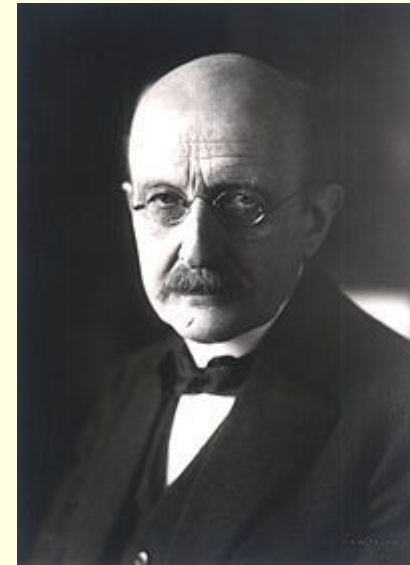
Процес, при якому теплота передається від менш нагрітих тіл до більш нагрітих без виконання роботи ззовні – неможливий.

Клаузиус Рудольф: 1850

II закон термодинаміки

Макс Планк:

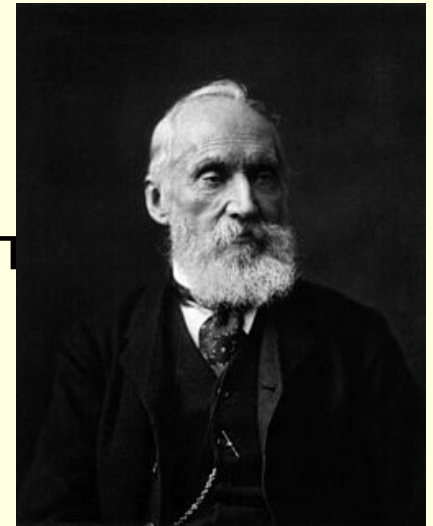
періодичний процес, єдиним результатом якого було б перетворення теплоти в роботу — неможливий.



II закон термодинаміки

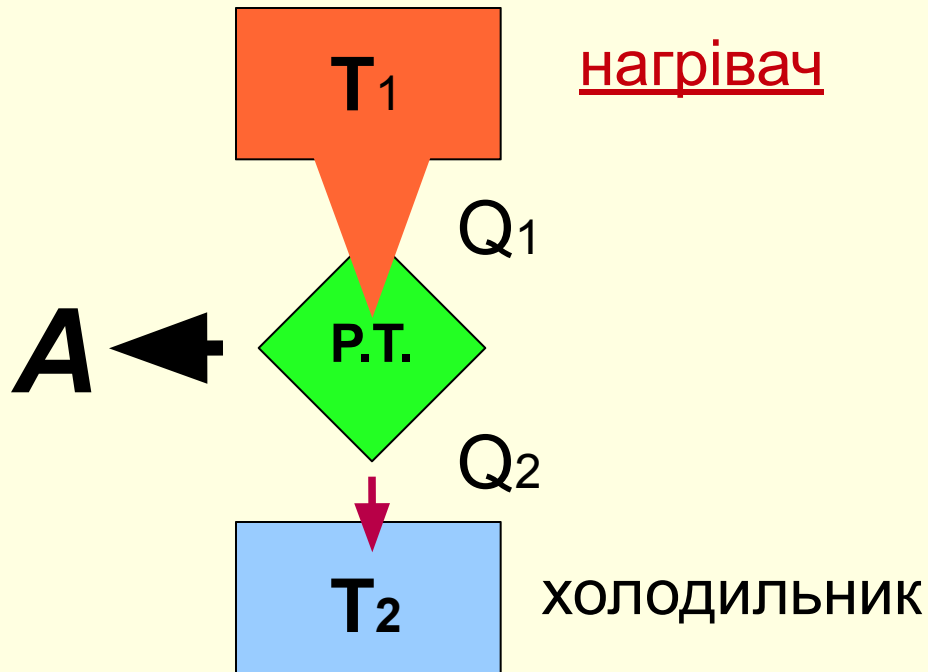
Уільям Тóмсон, лорд Кéльвін

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



// Вічний двигун 2-го роду - неможливий

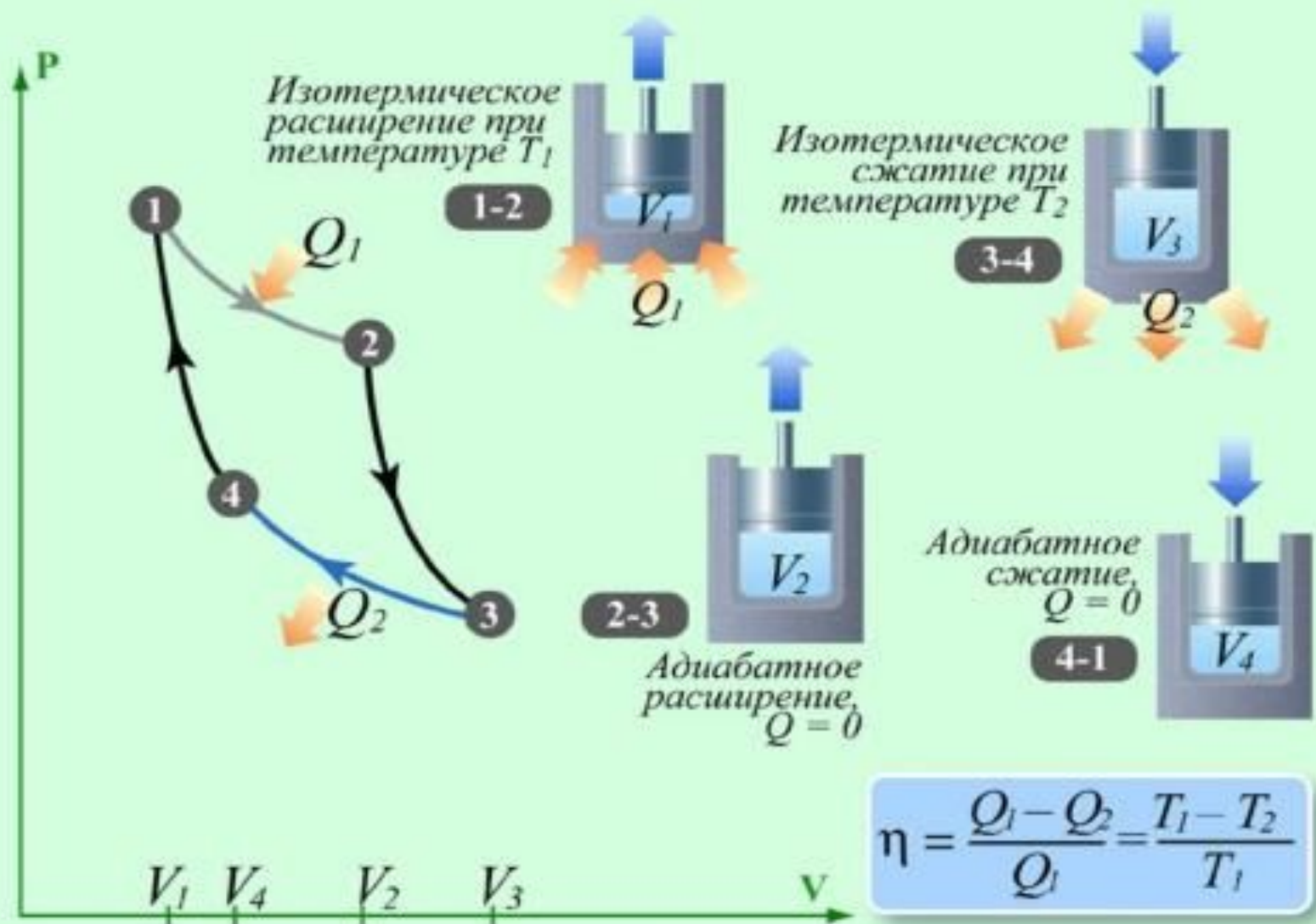
Тепловий двигун



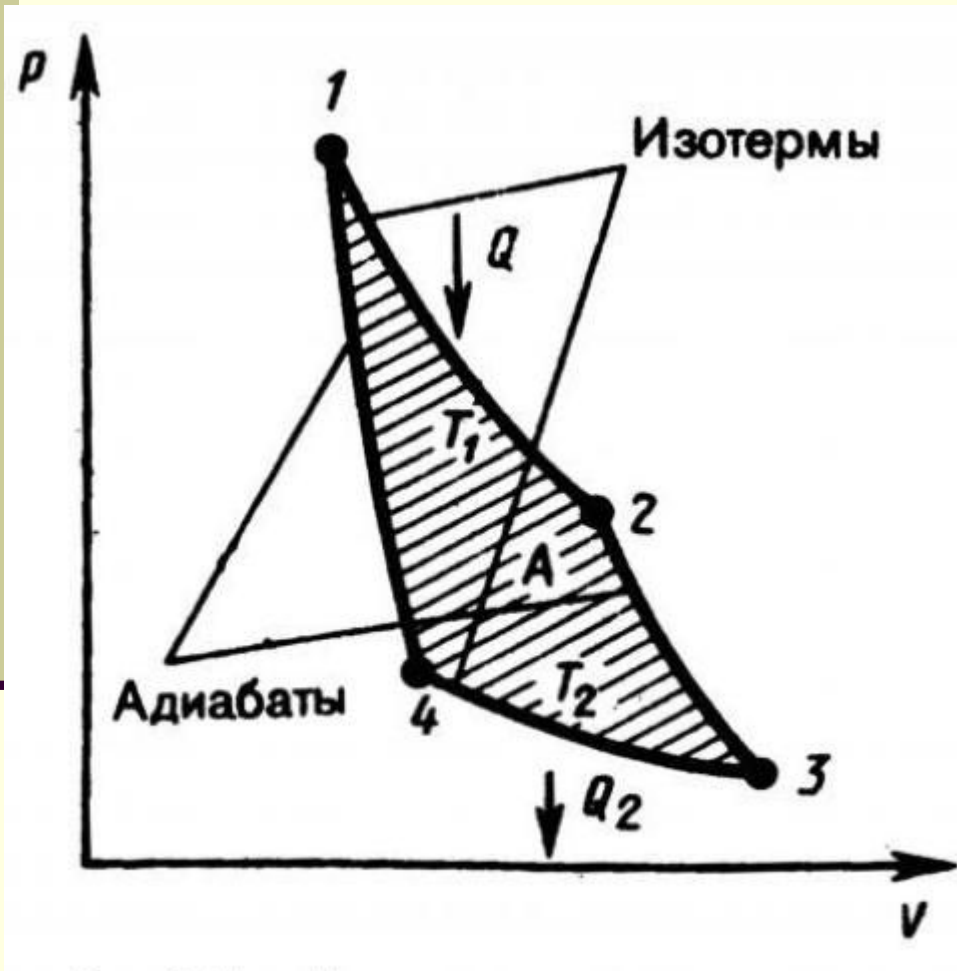
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

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

Машина Карно



Цикл Карно



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

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

Теплові машини



Теплові машини

