

Температура. Температурна шкала Кельвіна

Ми звикли характеризувати температуру словами: гаряче, тепле, холодне. Що ж таке температура?

1. Температура

Однаково нагріті тіла, контактуючи одне з одним, не змінюють своїх властивостей, і тоді кажуть, що ці тіла перебувають у стані теплової рівноваги.

Стан теплової рівноваги – це такий стан макроскопічної системи, коли всі макроскопічні параметри системи залишаються незмінними як завгодно довго.

Температура – фізична величина, яка характеризує стан теплової рівноваги макроскопічної системи.

2. Термометри

- Як можна виміряти температуру?

Термометри – прилади для вимірювання температури через перетворення тепла в покази або в сигнали.

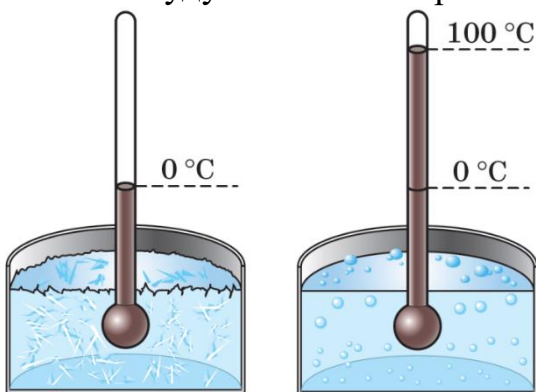
Основні частини будь-якого термометра: термометричне тіло (ртуть або спирт у рідинному термометрі, біметалева пластина в металевому деформаційному термометрі тощо) і шкала.

Дія термометрів заснована на тому, що зі зміною температури тіла змінюються певні макроскопічні параметри термометричного тіла (об'єм, електричний опір).

Види термометрів і принципи їх дії:

- рідинний (зміна об'єму рідини зі зміною температури);
- термометр опору (зміна опору провідника зі зміною температури);
- біметалевий деформаційний (зміна довжин двох різних металевих пластин зі зміною температури).

- Як будують шкали термометрів та які вони бувають?

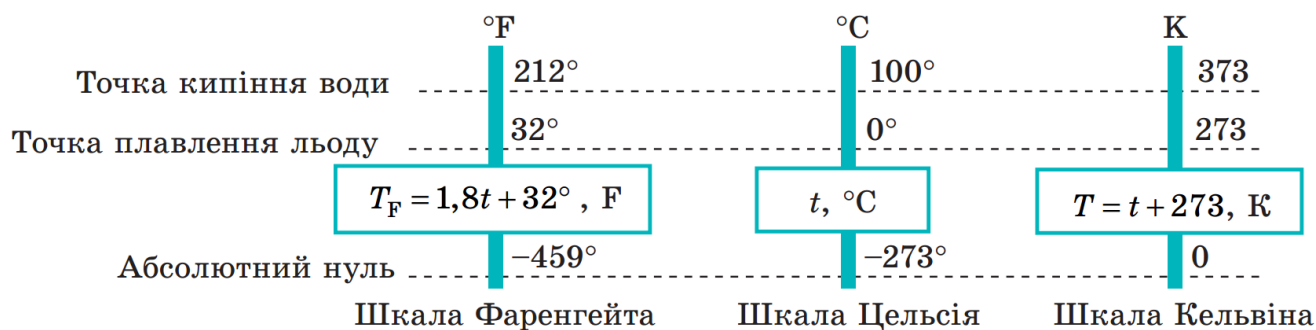


Наприклад, за нульову точку температурної шкали Цельсія взято температуру танення льоду за нормального атмосферного тиску ($t = 0\text{ °C}$). Температурі кипіння води за нормального атмосферного тиску приписують значення $t = 100\text{ °C}$.

Одиниця температури за шкалою Цельсія – градус Цельсія:

$$[t] = 1\text{ °C}$$

Найпоширенішими температурними шкалами є шкали Цельсія, Кельвіна, Фаренгейта.



3. Температура і середня кінетична енергія молекул

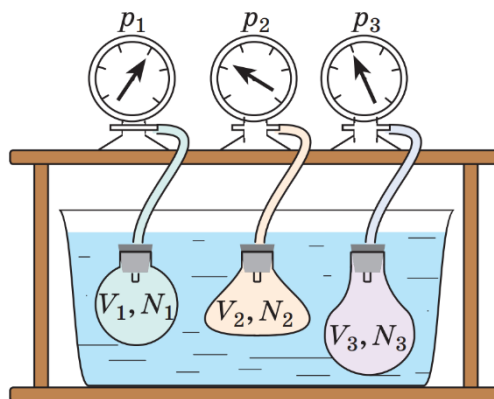
Припустимо: якщо гази перебувають у стані теплової рівноваги, то середні кінетичні енергії молекул цих газів будуть однаковими.

- Як це довести, адже безпосередньо виміряти ці енергії неможливо?

Основне рівняння МКТ ідеального газу:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k \quad n = \frac{N}{V} \quad \Rightarrow \quad \bar{E}_k = \frac{3 p V}{2 N}$$

Дослід, який дозволяє встановити зв'язок між температурою і середньою кінетичною енергією поступального руху молекул газу. Гази в посудинах перебувають у стані теплової рівноваги із середовищем, а отже, й один з одним.



Вимірювання підтверджують, що для будь-яких розріджених газів виконуються співвідношення:

$$\frac{p_1 V_1}{N_1} = \frac{p_2 V_2}{N_2} = \frac{p_3 V_3}{N_3} \quad \Rightarrow \quad \bar{E}_{k1} = \bar{E}_{k2} = \bar{E}_{k3}$$

Відношення $\frac{pV}{N}$ часто позначають літерою θ (тета). $\bar{E}_k = \frac{3 p V}{2 N} = \frac{3}{2} \theta$

4. Абсолютна шкала температур

У 1848 р. англійський фізик Вільям Томсон (лорд Кельвін) (1824–1907) запропонував абсолютну шкалу температур (зараз її називають шкалою Кельвіна).

Абсолютна температура – це температура T , виміряна за шкалою кельвіна.

Одиниця абсолютної температури – кельвін – основна одиниця СІ:

$$[T] = 1 \text{ K}$$

Шкала Кельвіна побудована таким чином, що:

- зміна температури за шкалою Кельвіна дорівнює зміні температури за шкалою Цельсія: $\Delta t = \Delta T$, тобто ціна поділки шкали Кельвіна дорівнює ціні поділки шкали Цельсія: $1^\circ \text{C} = 1 \text{ K}$;
- температури, виміряні за шкалами Кельвіна і Цельсія, пов'язані співвідношеннями:

$$T = t + 273 \quad t = T - 273$$

• температура за шкалою Кельвіна пов'язана з величиною $\theta = \frac{pV}{N}$ співвідношенням $\theta = kT$, де k – стала Больцмана – коефіцієнт пропорційності, який не залежить ані від температури, ані від складу та кількості газу:

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Середня кінетична енергія поступального руху молекул ідеального газу прямо пропорційна абсолютній температурі:

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

Абсолютний нуль температури – це абсолютна нижня межа температури, за якої рух молекул і атомів має припинитися.

Тобто, якщо газ охолодити до температури $T = 0 \text{ К}$, рух його молекул має припинитися $\bar{E}_k = 0$. Таким чином, нульова точка шкали Кельвіна – це найнижча теоретично можлива температура. Насправді рух молекул не припиняється ніколи, тому досягти температури 0 К ($-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$) неможливо.

Тиск p газу повністю визначається його абсолютною температурою T і концентрацією n молекул газу:

$$p = nkT$$

Розв'язування вправ

1. Визначте середню кінетичну енергію молекул одноатомного газу та концентрацію молекул за температури 290 К і тиску $0,8 \text{ МПа}$.

Дано:

$$T = 290 \text{ К}$$

$$p = 0,8 \text{ МПа}$$

$$= 8 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$\bar{E}_k - ?$$

$$n - ?$$

Розв'язання

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT \quad [\bar{E}_k] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot \text{К} = \text{Дж}$$

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \approx 6 \cdot 10^{-21} \text{ (Дж)}$$

$$p = nkT \quad n = \frac{p}{kT} \quad [n] = \frac{\text{Па}}{\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot \text{К}} = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}}{\text{Н} \cdot \text{м}} = \text{м}^{-3}$$

$$n = \frac{8 \cdot 10^5}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290} \approx 2 \cdot 10^{26} \text{ (м}^{-3}\text{)}$$

Відповідь: $\bar{E}_k \approx 6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$; $n \approx 2 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$.

2. Аргон перебуває за температури $27 \text{ }^\circ\text{C}$. Кінетична енергія теплового руху всіх його молекул дорівнює 10 Дж . Визначте число молекул аргону.

Дано:

$$T = (27 + 273) \text{ К}$$

$$= 300 \text{ К}$$

$$E_k = 10 \text{ Дж}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Розв'язання

$$E_k = N \bar{E}_k = N \cdot \frac{3}{2} kT \quad \Rightarrow \quad N = \frac{2E_k}{3kT}$$

$$[N] = \frac{\text{Дж}}{\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot \text{К}} = 1$$

$N - ?$

$$N = \frac{2 \cdot 10}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \approx 1,61 \cdot 10^{21}$$

Відповідь: $N \approx 1,61 \cdot 10^{21}$.

3. Знайдіть середньоквадратичну швидкість поступального руху молекул гелію за температури 1200 К.

Дано:

$$T = 1200 \text{ К}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$\bar{v} - ?$

Розв'язання

$$M_r(\text{He}) = 4 \text{ а. о. м.}$$

$$M = M_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \quad M = 4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT \quad \bar{E}_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} \quad m_0 = \frac{M}{N_A}$$

$$\frac{3}{2} kT = \frac{M \bar{v}^2}{2 N_A} \Rightarrow \bar{v} = \sqrt{\frac{3 k T N_A}{M}}$$

$$[\bar{v}] = \sqrt{\frac{\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot \text{К} \cdot \text{моль}^{-1}}{\frac{\text{кг}}{\text{моль}}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м} \cdot \text{моль}^{-1}}{\text{кг}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1200 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{4 \cdot 10^{-3}}} \approx 2730 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

Відповідь: $\bar{v} \approx 2730 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

4. Молекули якого газу за температури 7 °С мають середню квадратичну швидкість 590 м/с?

Дано:

$$T = (7 + 273) \text{ К} = 280 \text{ К}$$

$$\bar{v} = 590 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$M - ?$

Розв'язання

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT \quad \bar{E}_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} \quad m_0 = \frac{M}{N_A}$$

$$\frac{3}{2} kT = \frac{M \bar{v}^2}{2 N_A} \Rightarrow M = \frac{3 k T N_A}{\bar{v}^2}$$

$$[M] = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot \text{К} \cdot \text{моль}^{-1}}{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м} \cdot \text{моль}^{-1}}{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$M = \frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 280 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{590^2} \approx 20 \cdot 10^{-3} \left(\frac{\text{кг}}{\text{моль}} \right)$$

Відповідь: наприклад, молекули неону.