

Внутрішня енергія. Способи зміни внутрішньої енергії

Поняття внутрішньої енергії

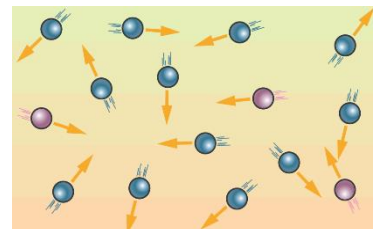
Термодинаміка – розділ фізики, що вивчає співвідношення і перетворення теплової та інших форм енергії.

Ми вже знаємо, що кожна частинка речовини:

- перебуває в стані безперервного хаотичного руху, завдяки чому має **кінетичну енергію**;
- має **потенціальну енергію**, тому що частинки взаємодіють одна з одною (притягуються та відштовхуються).

Внутрішня енергія (в термодинаміці) – це сума кінетичних енергій хаотичного (теплового) руху частинок речовини (атомів, молекул, йонів), з яких складається тіло, і потенціальних енергій їх взаємодії.

$$[U] = 1 \text{ Дж}$$



Внутрішня енергія

1. Внутрішня енергія ідеального газу дорівнює кінетичній енергії поступального та обертального рухів його частинок.

2. Внутрішня енергія даної маси ідеального газу прямо пропорційна його абсолютній температурі.

Доведемо це твердження для одноатомного газу.

$$\begin{aligned}\bar{E}_k &= \frac{3}{2} kT & N &= \frac{m}{M} N_A \\ U &= \bar{E}_k \cdot N = \frac{3}{2} kT \cdot \frac{m}{M} N_A = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT \\ U &= \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT\end{aligned}$$

Рівняння Менделєєва – Клапейрона $pV = \frac{m}{M} RT$

$$U = \frac{3}{2} pV$$

3. Внутрішня енергія – функція стану системи, тобто вона однозначно визначається основними макроскопічними параметрами (p, V, T) , що характеризують систему, і незалежно від того, яким чином систему переведено з одного стану в інший, зміна внутрішньої енергії буде однаковою.

4. Внутрішню енергію можна змінити двома способами: виконанням роботи і теплопередачею.

Процес теплопередачі

Теплопередача (теплообмін) – процес зміни внутрішньої енергії тіла або частин тіла без виконання роботи.

Довільно внутрішня енергія завжди передається від більш нагрітого тіла до менш нагрітого.

Види теплопередачі: *теплопровідність, конвекція, випромінювання.*

Теплопровідність – вид теплопередачі, який зумовлений хаотичним рухом частинок речовини та не супроводжується перенесенням цієї речовини.

Найкращими провідниками тепла є метали, погано проводять тепло дерево, скло, шкіра, рідини (крім рідких металів); найгірші провідники тепла – гази.

Передача енергії від гарячої води до батареї опалення, від поверхні води до її нижніх шарів тощо відбувається завдяки теплопровідності.

Конвекція – вид теплопередачі, за якого тепло переноситься потоками рідини або газу.

Теплі потоки рідини або газу мають меншу густину, тому під дією архімедової сили піднімаються, а холодні потоки – опускаються. Завдяки конвекції здійснюється циркуляція повітря в приміщенні, нагрівається рідина в каструлі, що стоїть на плиті, існують вітри і морські течії та ін.

У твердих тілах конвекція неможлива.

Випромінювання – вид теплопередачі, за якого енергія передається за допомогою електромагнітних хвиль.

Найуніверсальніший вид теплопередачі: тіла завжди випромінюють і поглинають інфрачервоні (теплові) електромагнітні хвилі. Це *єдиний вид теплообміну, який можливий у вакуумі* (енергія від Сонця передається тільки випромінюванням). *Краще випромінюють і поглинають енергію тіла з темною поверхнею.*

Кількість теплоти

Кількість теплоти Q – це фізична величина, що дорівнює енергії, яку тіло одержує (або віддає) в ході теплопередачі.

$$[Q] = 1 \text{ Дж}$$

Кількість теплоти, яка поглинається при нагріванні речовини (або виділяється при її охолодженні):

$$Q = cm\Delta T = cm\Delta t$$

c – питома теплоємність речовини

m – маса речовини

$\Delta T = \Delta t$ – зміна температури

Теплоємність тіла – це добуток питомої теплоємності і маси речовини, з якої виготовлено тіло.

$$C = cm$$

$$Q = C\Delta T$$

Кількість теплоти в разі фазових переходів	
Кристалічний стан ↔ Рідкий стан	Рідкий стан ↔ Газоподібний стан
Кількість теплоти, яка поглинається при плавленні кристалічної речовини (або виділяється при кристалізації рідини), обчислюють за формулою: $Q = \lambda m$	Кількість теплоти, яка поглинається при пароутворенні (або виділяється при конденсації), обчислюють за формулою: $Q = rm$

λ – питома теплота плавлення m – маса речовини	r – питома теплота пароутворення за даної температури m – маса речовини
Під час плавлення, і під час кипіння температура речовини не змінюється	

Кількість теплоти, яка виділяється в ході *повного згоряння палива*:

$$Q = qm$$

q – питома теплота згоряння палива; m – маса палива.

Коефіцієнт корисної дії нагрівника:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}$$

η – коефіцієнт корисної дії нагрівника;

$Q_{\text{кор}}$ – корисно спожита теплота;

$Q_{\text{повна}}$ – теплота, яка виділяється в процесі повного згоряння палива.

Рівняння теплового балансу:

$$Q_1^- + Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_n^+$$

Q^+ – кількість теплоти, одержана тілом

Q^- – кількість теплоти, віддана тілом

ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Знайдіть внутрішню енергію 2 кмоль ідеального одноатомного газу, взятих за температури 300 К.

Дано:

$$\begin{aligned} \nu &= 2 \text{ кмоль} \\ &= 2 \cdot 10^3 \text{ моль} \\ T &= 300 \text{ К} \end{aligned}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$U = ?$$

Розв'язання

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT \quad \nu = \frac{m}{M} \quad \Rightarrow \quad U = \frac{3}{2} \nu RT$$

$$[U] = \text{моль} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \text{К} = \text{Дж}$$

$$U = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 8,31 \cdot 300 = 7,479 \cdot 10^6 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $U = 7,5 \text{ МДж}$.

2. Закоркована посудина, у якій міститься 80 г гелію за температури 400 К, нагрівають до 450 К. На скільки збільшилася внутрішня енергія гелію?

Дано:

$$\begin{aligned} m &= 80 \text{ г} \\ &= 8 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \end{aligned}$$

$$T_1 = 400 \text{ К}$$

$$T_2 = 450 \text{ К}$$

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

Розв'язання

$$\begin{aligned} \Delta U &= U_2 - U_1 \\ \Delta U &= \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT_2 - \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT_1 = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R(T_2 - T_1) \end{aligned}$$

$$[\Delta U] = \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (\text{К} - \text{К}) = \text{Дж}$$

$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$	$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \frac{8 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot (450 - 400) = 12465 \text{ (Дж)}$
$\Delta U - ?$	Відповідь: $\Delta U = 12,5 \text{ кДж.}$

3. Який об'єм займає аргон за тиску 0,2 МПа, якщо його внутрішня енергія дорівнює 6 кДж?

Дано: $p = 0,2 \text{ МПа}$ $= 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $U = 6 \text{ кДж}$ $= 6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$	Розв'язання $U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT$ Рівняння Менделєєва – Клапейрона: $pV = \frac{m}{M} RT$ $U = \frac{3}{2} pV \Rightarrow V = \frac{2}{3} \frac{U}{p}$ $[V] = \frac{\text{Дж}}{\text{Па}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}} = \text{м}^3$ $V = \frac{2}{3} \cdot \frac{6 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = 20 \cdot 10^{-3} (\text{м}^3)$
$V - ?$	Відповідь: $V = 20 \text{ л.}$

4. Шматок свинцю масою 0,5 кг нагріли від 25 °С до 250 °С, при цьому його внутрішня енергія збільшилася на 14,5 кДж. Знайдіть питому теплоємність свинцю.

Дано: $m = 0,5 \text{ кг}$ $T_1 = (25 + 273) \text{ К}$ $= 298 \text{ К}$ $T_2 = (250 + 273) \text{ К}$ $= 523 \text{ К}$ $\Delta U = 14,5 \text{ кДж}$ $= 14,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$	Розв'язання $\Delta U = Q$ $\Delta U = cm(T_2 - T_1) \Rightarrow c = \frac{\Delta U}{m(T_2 - T_1)}$ $[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot (\text{К} - \text{К})} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ $c = \frac{14,5 \cdot 10^3}{0,5 \cdot (523 - 298)} \approx 129 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right)$
$c - ?$	Відповідь: $c \approx 129 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

5. Знайдіть внутрішню енергію суміші, що складається з гелію масою 20 г і неону масою 10 г, за температури 27 °С.

Дано: $m_1 = 20 \text{ г}$ $= 2 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$ $m_2 = 10 \text{ г} = 10^{-2} \text{ кг}$ $T = (27 + 273) \text{ К}$ $= 300 \text{ К}$ $M_1(\text{He}) = 4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	Розв'язання Гелій та Неон – одноатомні гази, для суміші таких газів внутрішню енергію визначимо так: $U = U_1 + U_2$ $U = \frac{3}{2} \frac{m_1}{M_1} RT + \frac{3}{2} \frac{m_2}{M_2} RT = \frac{3}{2} \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) RT$
--	---

$$M_2(\text{Ne}) = 20 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$U = ?$$

$$[U] = \left(\frac{\frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{\text{кг}}{\text{моль}}} + \frac{\frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{\text{кг}}{\text{моль}}} \right) \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \text{К} = \text{Дж}$$

$$U = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-3}} + \frac{10^{-2}}{20 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 8,31 \cdot 300$$

$$= 20567 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $U = 20,6 \text{ кДж}$.

6. Ідеальний одноатомний газ ізохорно нагрівається так, що його внутрішня енергія зростає на 3 кДж. Визначте тиск газу після нагрівання, якщо об'єм газу 4 л, а початковий тиск 300 кПа.

Дано:

$$\Delta U = 3 \text{ кДж}$$

$$= 3 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

$$V = 4 \text{ л}$$

$$= 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$p_1 = 300 \text{ кПа}$$

$$= 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$p_2 = ?$$

Розв'язання

$$\Delta U = \frac{3}{2} p_2 V - \frac{3}{2} p_1 V = \frac{3}{2} V (p_2 - p_1)$$

$$\frac{2 \Delta U}{3 V} = p_2 - p_1$$

$$p_2 = \frac{2 \Delta U}{3 V} + p_1$$

$$[p_2] = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}}{\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}} + \text{Па} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} + \text{Па} = \text{Па} + \text{Па} = \text{Па}$$

$$p_2 = \frac{2}{3} \cdot \frac{3 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^{-3}} + 3 \cdot 10^5 = 8 \cdot 10^5 \text{ (Па)}$$

Відповідь: $p_2 = 800 \text{ кПа}$.