

## Внутрішня енергія. Способи зміни внутрішньої енергії

- Внутрішня енергія тіла в термодинаміці — це сума всіх кінетичних енергій хаотичного руху молекул та потенціальних енергій їхньої взаємодії
- Внутрішня енергія ідеального газу визначається лише кінетичною енергією його молекул.
- Внутрішня енергія одноатомного ідеального газу пропорційна його масі та абсолютній температурі.

$$U = \frac{3m}{2M}RT = \frac{3}{2}pV$$

$m$  — маса газу,  $M$  — молярна маса речовини,  $R$  — універсальна газова стала,  $T$  — абсолютна температура,  $p$  — тиск,  $V$  — об'єм

- Внутрішню енергію тіла можна змінити за допомогою виконання роботи або теплообміну
- Існує 3 види теплообміну: теплопровідність, конвекція та випромінювання.
- Теплопровідність — це спосіб теплопередачі, під час якого відбувається обмін енергією лише за рахунок хаотичного руху молекул, але не відбувається обмін речовиною.
- Конвекція — це вид теплопередачі, під час якого тепло переноситься потоками рідини чи газу.
- Випромінювання — це вид теплопередачі, під час якого енергія переноситься за допомогою електромагнітних хвиль.
- Енергія, що переходить від одного тіла до іншого під час теплопередачі — це кількість теплоти.
- Поглинута або виділена кількість теплоти  $Q$  під час нагрівання або охолодження залежить від маси тіла  $m$ , його питомої теплоємності  $c$  та зміни його температури  $\Delta T$ .

$$Q = cm\Delta T$$

$m$  — маса тіла,  $c$  — питома теплоємність речовини,  $\Delta T$  — зміна його температури

- Питома теплоємність — це фізична величина, що дорівнює кількості теплоти, яку отримує тіло масою 1 кг під час нагрівання на 1 К.

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

- Добуток питомої теплоємності та маси часто називають теплоємністю тіла  $C$ .

$$C = cm$$

$c$  — питома теплоємність,  $m$  — маса тіла

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

- Кількість теплоти  $Q$ , яку тіло має поглинути для того, щоб перейти з кристалічного стану в рідкий, або навпаки віддати, переходячи з рідкого в кристалічний стан, можна розрахувати як добуток його маси  $m$  та питомої теплоти плавлення  $\lambda$ .

$$Q = m\lambda$$

$m$  — маса тіла,  $\lambda$  — питома теплота плавлення

- Питома теплота плавлення — це фізична величина, що дорівнює кількості теплоти, необхідної для переходу 1 кг речовини з твердого стану в рідкий за температури плавлення.

$$[\lambda] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

- Кількість теплоти  $Q$ , яку тіло має поглинути для того, щоб перейти з рідкого в газоподібний стан, або навпаки віддати, переходячи з газоподібного в рідкий стан, можна знайти як добуток маси  $m$  на питому теплоту пароутворення  $r$  чи  $L$ .

$$Q = mr$$

$m$  — маса тіла,  $r$  ( $L$ ) — питома теплота пароутворення

- Питома теплота пароутворення — це фізична величина, що дорівнює кількості теплоти, необхідної для переходу 1 кг речовини з рідкого стану в газоподібний за сталої температури.

$$[r] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

### **Задача на знаходження зміни внутрішньої енергії:**

Закоркована посудина, у якій міститься гелій масою 80 г за температури 400 К, нагрівають до температури 450 К. На скільки збільшиться внутрішня енергія гелію. (Джерело: Підручник «Фізика. 10 клас. Академічний рівень: Збірник задач»/О.О Карпукхіна, Ф. Я. Божинова, В. В. Хардіков. Харків: Ранок, 2011. — 288 с.)

Пригадаймо, що внутрішню енергію одноатомного газу (а гелій є таким газом) можна знайти за формулою:

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

$m$  — маса речовини,  $M$  — молярна маса речовини,  $R$  — універсальна газова стала,  $T$  — абсолютна температура

Молярну масу гелію можемо знайти в Періодичній системі хімічних елементів:

$$M(\text{He}) = 4 \text{ г/моль} = 0,004 \text{ кг/моль}$$

$$m(\text{He}) = 80 \text{ г} = 0,08 \text{ кг}$$

Тож можемо розрахувати зміну внутрішньої енергії гелію:

$$\begin{aligned} \Delta U &= U_2 - U_1 = \frac{3m}{2M}RT_2 - \frac{3m}{2M}RT_1 = \frac{3m}{2M}R(T_2 - T_1) = \\ &= \frac{3}{2} \frac{0,08 \text{ кг}}{0,004 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (450 - 400) = \\ &= \frac{3}{2} \frac{0,08 \text{ кг}}{0,004 \text{ кг/моль}} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 50 \text{ К} = \\ &= 12465 \text{ Дж} \approx 12,5 \text{ кДж} \end{aligned}$$

### **Задачі на знаходження кількості теплоти, витраченої на нагрівання та фазові переходи:**

Свинцевий брусок масою 1 кг і за температури 90 °С помістили в калориметр. На нього поклали шматочок льоду за температури -10 °С, після чого лід повністю розтанув. Температура, що встановилася в калориметрі, становила 0 °С. Знайти початкову масу льоду.

Для того, щоб розплавити шматок льоду, початкова температура якого становить -10 °С, його необхідно спочатку нагріти до температури плавлення — 0 °С. Необхідну для цього кількість теплоти можна розрахувати за формулою:

$$Q = c_{\text{л}}m_{\text{л}}\Delta T_{\text{л}}$$

$m_{\text{л}}$  — маса льоду,  $c_{\text{л}}$  — питома теплоємність льоду,  $\Delta T_{\text{л}}$  — зміна температури льоду

Після цього шматочок льоду має повністю розтанути, кількість теплоти, необхідну для фазового переходу, можемо розрахувати за формулою:

$$Q = m_{\text{л}}\lambda_{\text{л}}$$

$m_{\text{л}}$  — маса льоду,  $\lambda_{\text{л}}$  — питома теплота плавлення льоду

Обидва ці процеси вимагають поглинання тепла. Це тепло віддаватиме шматок свинцю. Оскільки він охолоджується, то енергія, яку він віддає, може бути розрахована за виразом:

$$Q = c_c m_c \Delta T_c$$

$m_c$  — маса свинцю,  $c_c$  — питома теплоємність свинцю,  $\Delta T_c$  — зміна температури свинцю

Тож можемо записати рівняння теплового балансу:

$$c_c m_c \Delta T_c = c_l m_l \Delta T_l + m_l \lambda_l$$

Питому теплоємність свинцю та льоду і питому теплоту плавлення льоду можемо знайти в таблицях:  $c_c = 0,13$  кДж/(кг · К),  $c_l = 2,1$  кДж/(кг · К),  $\lambda_l = 330$  кДж/кг

Початкова температура свинцю становить 90 °С, а кінцева — 0 °С. Тож  $\Delta T_c = 90^\circ\text{C}$

Початкова температура льоду -10 °С, а кінцева — 0 °С. Тож  $\Delta T_l = 10^\circ\text{C}$ .

Тож можемо виразити масу льоду з рівняння теплового балансу:

$$c_c m_c \Delta T_c = m_l (c_l \Delta T_l + \lambda_l)$$

$$m_l = \frac{c_c m_c \Delta T_c}{c_l \Delta T_l + \lambda_l} = \frac{0,13 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 1 \text{ кг} \cdot (90^\circ\text{C})}{2,1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К}) \cdot 10^\circ\text{C} + 330 \text{ кДж}/\text{кг}} \approx 0,033 \text{ кг} = 33 \text{ г}$$

### Тверді тіла

Речовина	Питома теплоємність, кДж/(кг · К)	Температура плавлення, °С	Питома теплота плавлення, кДж/кг
Алюміній	0,88	660	380
Лід	2,1	0	330
Мідь	0,38	1083	180
Олово	0,23	232	59
Свинець	0,13	327	25
Залізо	0,45	1539	247
Сталь	0,46	1400	82

### Рідини

Речовина	Питома теплоємність, кДж/(кг·К)	Температура кипіння за нормального тиску, °С	Питома теплота пароутворення за нормального тиску, МДж/кг
Вода	4,2	100	2,3
Гас	2,1	–	–
Нафта	–	–	–
Ртуть	0,12	357	0,29
Спирт	2,4	78	0,85

### Гази

Речовина	Питома теплоємність за постійного тиску, кДж/(кг·К)	Температура конденсації, °С
Азот	1,0	– 196
Водень	14	– 253
Повітря	1,0	–
Кисень	0,92	– 183

Таблиці значень питомої теплоємності, питомої теплоти плавлення та пароутворення (Джерело: Підручник «Фізика. 10 клас. Академічний рівень: Збірник задач»/О.О Карпуніна, Ф. Я. Божинова, В. В. Хардіков. Харків: Ранок, 2011. — 288 с.)

1. Пропонуємо ознайомитися з експериментом, пов'язаним із конвекцією. У ньому під двома несполученими скляними трубками помістили свічку та посудину з льодом відповідно. Після цього в трубку, де стоїть посудина з льодом, запустили дим. Унаслідок опускання холодного повітря дим опиняється в нижній частині установки, а отже, і поруч зі свічкою. Тут потік повітря і диму нагрівається і піднімається вгору по другій скляній трубці. Тож дим долає шлях, схожий на підкову: [https://www.youtube.com/watch?v=UlvGOT3tU9U&ab\\_channel=MilIsRandone](https://www.youtube.com/watch?v=UlvGOT3tU9U&ab_channel=MilIsRandone)
2. Випромінювання грає велику роль у теплообміні, і ми пропонуємо вам розглянути цікавий прилад, що підтверджує це. Радіометр Крукса — це скляна колба, з якої частково відкачали повітря. Усередині містяться маленькі шматочки паперу чи тонкого пластику. Один їхній бік пофарбовано в чорний, а інший — у білий чи срібний. Коли на такий радіометр потрапляє сонячне проміння, то чорний бік поглинає набагато більше енергії випромінювання, ніж білий, у результаті він нагрівається. Оскільки всередині посудини відкачане повітря, то навіть невелика різниця температур може викликати повітряні потоки, що штовхають лопаті пристрою, і він починає обертатися.

Демонстрацію явища можна знайти за посиланням: [https://www.youtube.com/watch?v=j7UtjEjh7k4&ab\\_channel=KevinGittemeier](https://www.youtube.com/watch?v=j7UtjEjh7k4&ab_channel=KevinGittemeier)

Детальне пояснення явища можна знайти за посиланням: [https://www.youtube.com/watch?v=llxqNcipTwA&ab\\_channel=BrainStuff-HowStuffWorks](https://www.youtube.com/watch?v=llxqNcipTwA&ab_channel=BrainStuff-HowStuffWorks)

3. Для дослідження теплопровідності матеріалів пропонуємо провести експеримент. Для цього вам знадобляться ложки схожого розміру, з різних матеріалів, наприклад, пластику, дерева та металу, шматок масла та дрібний предмет, наприклад, намистину.
  1. Помістіть ложки в одну глибоку посудину.
  2. На кожному з ложок покладіть приблизно однаковий шматок масла, на якому закріпіть намистина.
  3. Залийте глибоку посудину гарячою водою. Будьте обережні, якщо ви використовуєте пластиковий посуд, дізнайтеся максимальну температуру його використання.
  4. Ложка з найменшою питомою теплопровідністю найшвидше нагріється та почне передавати теплоту маслу. Тож з ложки з найменшою теплопровідністю намистинка впаде першою.

Покрокове проведення експеримента за посиланням: [https://www.youtube.com/watch?v=Ry8yXhCxclA&ab\\_channel=CoofScienceExperimentsHeadquarters](https://www.youtube.com/watch?v=Ry8yXhCxclA&ab_channel=CoofScienceExperimentsHeadquarters)



#### Рекомендовані джерела:

1. MON UKRAINE. 30.04.2020. Урок «10 клас. Фізика. Внутрішня енергія. Перший закон термодинаміки». YouTube. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=iJMMoT3uRIY&ab\\_channel=MONUKRAINE](https://www.youtube.com/watch?v=iJMMoT3uRIY&ab_channel=MONUKRAINE) (21.03.2021)
2. MON UKRAINE. 07.05.2020. Урок «10 клас. Фізика. Кількість теплоти під час фазових переходів». YouTube. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=Uw8CITeagOw&list=PLFVSJgZgf7h88U FK F\\_RZcv\\_Sk-WIX5mvL&index=117&ab\\_channel=MONUKRAINE](https://www.youtube.com/watch?v=Uw8CITeagOw&list=PLFVSJgZgf7h88U FK F_RZcv_Sk-WIX5mvL&index=117&ab_channel=MONUKRAINE) (21.03.2021)
3. MON UKRAINE. 12.05.2020. Урок «10 клас. Фізика. Розв'язування задач на тему: Кількість теплоти. Закон збереження енергії». YouTube. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=7DbTAE6M5bk&list=PLFVSJgZgf7h88U FK F\\_RZcv\\_Sk-WIX5mvL&index=105&ab\\_channel=MONUKRAINE](https://www.youtube.com/watch?v=7DbTAE6M5bk&list=PLFVSJgZgf7h88U FK F_RZcv_Sk-WIX5mvL&index=105&ab_channel=MONUKRAINE) (21.03.2021)
4. Підручник «Фізика. 8 клас». /В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгий. Харків: Ранок, 2016. — 240 с.