

Лабораторна робота № 2.20

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ЧЕРВОНОЇ ЦЕГЛИ

Приналежності: досліджуваний зразок, електрична плитка, пароутворювач, ізолятор тепла, калориметр, штангенциркуль, термометр, барометр, годинник.

Мета роботи: ознайомитися з явищем теплопровідності і визначити дослідним шляхом теплопровідність цегли.

Теоретичний вступ

Теплопровідність твердих тіл. Якщо різні ділянки тіла нагріті неоднаково, то відбувається самовільний процес перенесення енергії (в формі тепла) від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих частин.

Цей процес називається **теплопровідністю**.

Перенесення енергії відбувається через взаємодію між молекулами, атомами і електронами. Оскільки температура пропорційна енергії руху молекул, молекули в більш нагрітих частинах тіла рухаються швидше і передають енергію за допомогою зіткнень повільним частинкам в більш холодних частинах тіла.

Більшість твердих тіл має кристалічну будову. У кристалах атоми і молекули займають певні впорядковані положення в просторі, утворюючи так звану *просторову кристалічну решітку*.

Сили, які прагнуть утримати атоми в положенні рівноваги, наближено можна вважати пропорційними їх зміщенням, ніби то атоми пов'язані пружними «пружинками».

У загальному випадку в твердих тілах мають місце два основних механізми перенесення теплоти: перенесення теплової енергії вільними електронами і перенесення теплової енергії атомними коливаннями.

Діелектрики - це речовини, в яких дуже мало вільних електричних зарядів, тому діелектрики практично не проводять електричного струму. До них відносяться такі тверді тіла, як пластмаси, скла, кераміка, вогнетривкі матеріали, кристали солей, суха деревина і т.п ..

Якщо в кристалі створити різницю температур, то атоми в області, де температура більше, будуть коливатися з великими амплітудами. Збільшення амплітуди коливань частинок в більш нагрітому місці завдяки силам взаємодії викликає збільшення амплітуди коливань сусідніх частинок (рис. 1).

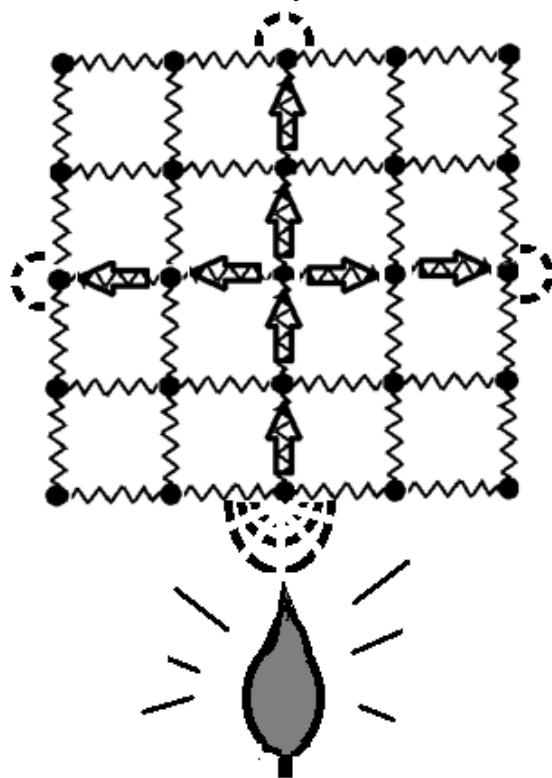


Рис. 1.

Узгоджені коливання атомів кристала зручно розглядати як поширення в ньому системи звукових хвиль, квантами яких є особливі квазічастинки - **фонони**. (Термін був введений за аналогією з квантом електромагнітного поля - фотоном).

Вважаючи, що кристал містить фононний газ, зручно розглядати явище теплопровідності як явище переносу енергії окремими фононами.

У діелектриках, які практично не мають вільних електричних зарядів, перенесення енергії теплового руху здійснюється фононами.

В **металах** на відміну від діелектриків перенесення теплоти здійснюється не тільки фононами, а й вільними електронами.

За передачу теплоти через метал в основному відповідальні вільні електрони, концентрація яких в металі дуже велика ($n \sim 10^{22} - 10^{23} \cdot 1/\text{см}^3$). Тому теплопровідність металу набагато більше теплопровідності діелектрика.

Коефіцієнти теплопровідності більшості металів в області температур, близьких до 300 К, мають значення в межах від 20 до 400 (Вт / (м · К)). Коефіцієнти теплопровідності будівельних та теплоізоляційних матеріалів знаходяться в межах від 0,02 до 3 (Вт / (м · К)).

Рівняння теплопровідності. Якщо в двох сусідніх точках тіла температури становлять T і $T + dT$, а точки містяться на відстані dx , то швидкість зміни температури вздовж осі x характеризується похідною dT/dx . Похідну dT/dx , яка являє собою зміну температури на одиницю довжини в напрямку передачі теплоти, (не зовсім строго) називають **градієнтом температури**.

Насправді градієнт температури - це векторна величина, спрямована в бік якнайшвидшого збільшення температури, яка дорівнює

$$\text{grad}T = \frac{\partial T}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial T}{\partial z} \mathbf{k} . \quad (1)$$

Частинні похідні $\frac{\partial T}{\partial x}$, $\frac{\partial T}{\partial y}$, $\frac{\partial T}{\partial z}$ являють собою проекції градієнта на координатні осі x , y , z .

Кількість теплоти, що переходить з однієї ділянки тіла в інший через деяку уявну поверхню в одиницю часу, називається **тепловим потоком**. Тепловий потік позначається літерою q і вимірюється в джоулях за секунду, тобто в ватах.

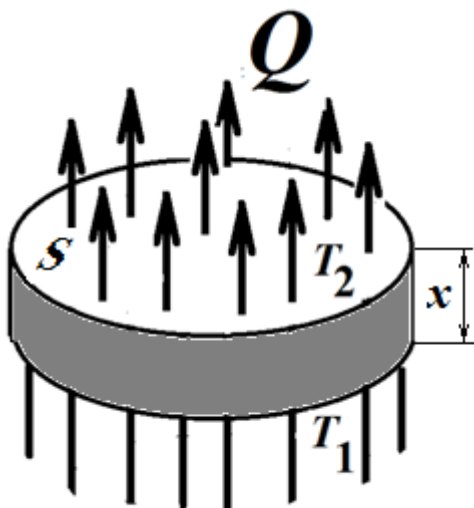


Рис. 2.

Основний закон теплопровідності (встановлений експериментально в 1822 році французьким математиком і фізиком Ж. Фур'є) стверджує, що **тепловий потік q пропорційний градієнту температури**:

$$q = -\lambda (dT/dx) S. \quad (2)$$

Тут q - тепловий потік через поверхню S , перпендикулярну до осі x , dT/dx - градієнт температури, λ - коефіцієнт пропорційності, що залежить від властивостей середовища і названий **теплопровідністю**.

Знак мінус в рівнянні відображає той

факт, що теплота проходить в напрямку зменшення температури, а градієнт спрямований в бік зростання температури.

Оскільки одиницею теплового потоку є ват, λ вимірюється в ватах на метр•кельвін (Вт/(м•К)).

Опис установки

У роботі розглядається проходження теплоти через диск, виготовлений з цегли (рис. 2). Червона цегла відноситься до керамічних матеріалів, виготовлених з природних глин. Вона має щільну спечену структуру полікристалічної будови. З кристалічною будовою пов'язана крихкість цегли. На її теплопровідність впливає також наявність пір.

Визначення теплопровідності здійснюється в роботі за допомогою калориметра (рис. 3).

Калориметр - це прилад для вимірювання кількості теплоти, що виділяється або поглинається в різних процесах. Він складається з оточеної теплоізоляційними стінками мідної посудини циліндричної форми з дистильованою водою, мішалки і термометра.

Термометр використовується для вимірювання зміни температури води.

Цегляний диск поміщається на мідний бачок *C*, в який по трубці *B* надходить пара киплячої води з пароутворювача *A*. Отже, температура T_1 нижньої поверхні диска дорівнює температурі киплячої води і підтримується сталою. А зверху на диск становиться калориметр *D* з термометром, і температура верхньої поверхні диска T_2 таким чином вимірюється термометром.

Для зменшення втрат тепла через бічні поверхні все тіла оточуються утеплювачем,

для чого поміщаються всередину порожнього дерев'яного циліндра *E*. Крім того, цегляний диск має товщину, малу в порівнянні з

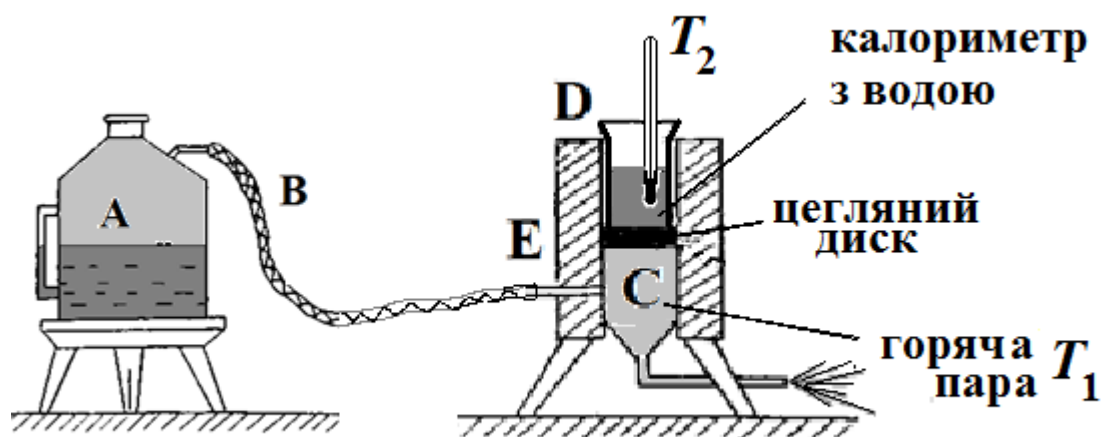


Рис.3.

діаметром, що також дозволяє знехтувати втратами тепла через бічні поверхні.

Можна покласти, що потік тепла відбувається знизу вгору тільки перпендикулярно основам диска (рис. 2).

Кількість теплоти Q , що перенесена від нижньої основи диска до верхньої (рис. 2) за деякий час за законом Фур'є становить

$$Q = qt = -\lambda \frac{T_2 - T_1}{x} S \cdot t, \quad (3)$$

де T_1 - температура нижньої основи диска, T_2 - температура верхньої основи диска, S – площа основи диска, x – товщина диска, t – проміжок часу, протягом якого відбувався перенос тепла.

У формулі (3) за температуру нижньої основи диска приймають температуру водяної пари, що дорівнює температурі кипіння води $T_1 = T_{\text{кип}}$. Температура кипіння води $T_{\text{кип}}$ залежить від атмосферного тиску і визначається за таблицею.

За той самий же проміжок часу температура калориметра і води в ньому змінилася від деякого початкового значення T_0 до кінцевого T .

Температуру верхньої основи диска беремо як середнє значення температури води в калориметрі на початку і в кінці досліджу:

$$T_2 = \frac{T_0 + T}{2}.$$

Щоб нагріти калориметр і воду в ньому від T_0 до T , необхідно затратити кількість теплоти

$$Q_1 = (mc + m_1c_1)(T - T_0) \quad (4)$$

де: m - маса води, c - питома теплоємність води, m_1 - маса калориметра, c_1 - питома теплоємність матеріалу калориметра.

Вважаючи, що кількість теплоти Q_1 , отримана калориметром з водою, дорівнює кількості теплоти Q , перенесеної від нижньої основи тіла до верхньої,

$$Q_1 = Q, \quad (5)$$

з формул (3), (4) і (5) отримуємо

$$(mc + m_1c_1)(T - T_0) = \lambda \frac{T_1 - \frac{T_0 + T}{2}}{x} S \cdot t,$$

Звідки

$$\lambda = \frac{(mc + m_1c_1)(T - T_0) \cdot x}{(T_1 - \frac{T_0 + T}{2}) \cdot S \cdot t}. \quad (6)$$

Це робоча формула, за якою обчислюють теплопровідність λ .

Вимірювання та обробка результатів

1. Налити воду в кип'ятильник, контролюючи її рівень по водомірному склу, і включити електроплитку.

2. Виміряти штангенциркулем діаметр D і товщину x цегляного диска в декількох місцях і записати результат в таблицю. Обчислити площу диска $S = \pi D^2/4$.

3. Через 5 хв. після початку кипіння води в кип'ятильнику налити в калориметр холодної водопровідної води. Визначити зважуванням масу калориметра і води.

4. Помістити цегляний диск на парову коробку C , а на диск зверху поставити калориметр з водою. Теплоізолювати тіла дерев'яним циліндром.

5. Змішуючи воду в калориметрі мішалкою, заміряти її температуру T_0 . Цей момент вважати початком досліду. Почати відлік часу за годинником.

6. Виміряти і записати проміжок часу t_1 , за який температура води в калориметрі підвищиться на 2°C , тобто до температури T .

7. Дослід повторити ще 2 рази, кожен раз визначаючи проміжок часу, за який температура води збільшиться на 2°C . Записати t_2 і t_3 в таблицю.

8. Виміряти атмосферний тиск барометром і в таблиці знайти відповідну температуру кипіння води $T_{\text{кп}} = T_1$.

9. Обчислити теплопровідність за формулою (6), результати вимірювань і обчислень занести в таблиці 1 і 2.

10. Розрахувати похибку за стандартною методикою.

Таблиця 1

m , кг	m_1 , кг	c , Дж/(кг· К)	c_1 , Дж/(кг· К)	D , м	S , м ²	l , м	$T_{\text{к}}$, °С
		4190	386				

Таблиця 2

№ п/п	t , сек	T'_1 , °С	T'_2 , °С	K_i Вт/(м· К)	$\langle K \rangle$ Вт/(м· К)	ΔK_i Вт/(м· К)	$S_{\langle \lambda \rangle}$ Вт/(м· К)	ΔK Вт/(м· К)	E , %
1									
2									
3									

Остаточний результат записати у вигляді '

$$\lambda = \langle \lambda \rangle \pm \Delta \lambda, \text{ (Вт/м·К) при } \alpha =$$

Контрольні питання

1. Як з точки зору молекулярно - кінетичної теорії пояснюється явище теплопровідності в твердих кристалічних тілах?
2. Який фізичний зміст поняття "кількість теплоти"?
3. Сформулюйте закон теплопровідності Фур'є. Який зміст має градієнт температури?
4. Що називається теплопровідністю?
5. Як досягається зменшення втрат тепла через бічні поверхні? Для чого це робиться?
6. Розв'яжіть задачу.

Визначити втрати тепла через стінку довжиною 5 м, висотою 3 м, товщиною $d = 0,25$ м, якщо на поверхнях стінки підтримуються температури $t_1 = +20$ °С, $t_2 = -5$ °С, теплопровідність стінки $\lambda = 0,6$ Вт/(м·К).

Рекомендована література

1. Кучерук І. М., Горбачук І. Т, Луцік П. П. Загальний курс фізики у трьох томах: навч. посіб. Київ: Техніка, 2006. Т. 1: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. 536 с.
2. Курс фізики (під редакцією Лопатинського І.Є.). – Львів. – ”Бескід Біт”. – 2002.
3. Бушок Г.Ф., Венгер Е.Ф. Курс фізики. Кн.2. Оптика. Фізика атома і атомного ядра. Молекулярна фізика і термодинаміка. К. «Либідь»2001. – 422 с.
4. І.П.Гаркуша, В.П.Курінний. Фізика. Навч. посібник у 7 частинах. Ч.2 Молекулярна фізика. Д. НГУ. 2011.

Укладач І.П. Гаркуша