Лабораторна робота **№ 2.27**

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ

Мета роботи: вивчення явища теплопровідності і визначення теплопровідності різних гірських порід.

Теоретичний вступ

За різної температури різних ділянок тіла виникає самовільний процес перенесення енергії (в формі тепла) від ділянок з більш високою температурою до ділянок з низькою температурою.

Здатність матеріальних тіл проводити енергію (теплоту) від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих частин тіла шляхом хаотичного руху частинок тіла називається ***теплопровідністю.***

Перенесення енергії відбувається через взаємодію між молекулами, атомами, електронами. Молекули в більш нагрітих частинах тіла рухаються швидше і передають енергію за допомогою зіткнень повільним частинкам в більш холодних частинах тіла.

Тверді тіла поділяються на кристалічні і аморфні. У кристалах атоми і молекули займають певні впорядковані положення в просторі, утворюючи так звану *просторову кристалічну решітку.*

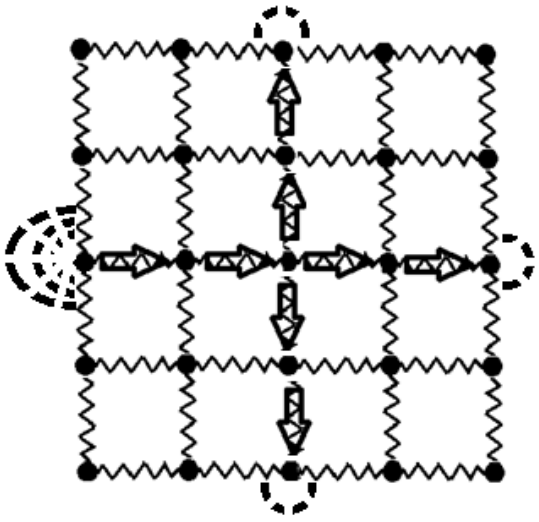

Рис. 1.

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

Теплопровідність кристалів пояснюється тим, що збільшення амплітуди коливань частинок в більш нагрітому місці завдяки силам взаємодії викликає збільшення амплітуди коливань сусідніх частинок (рис. 1). Завдяки зв'язку між частинками теплота прагне до рівномірного розподілу за об’ємом кристала. Це призводить до вирівнювання температур.

Таким чином, механізм передачі тепла теплопровідністю в твердих тілах - це передача кінетичної енергії коливаннями вузлів кристалічної решітки.

Якщо в двох сусідніх точках тіла температури дорівнюють T і $T + dT$, а точки знаходяться 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 тепла, (не зовсім строго) називають ***градієнтом температури.***

Насправді градієнт температури - це векторна величина, спрямована в бік якнайшвидшого збільшення температури (рис. 2), що дорівнює

$$gradT = \frac{\partial T}{\partial x}\boldsymbol{i} + \frac{\partial T}{\partial y}\boldsymbol{j} + \frac{\partial T}{\partial z}\boldsymbol{k}. \qquad (1)$$

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*.

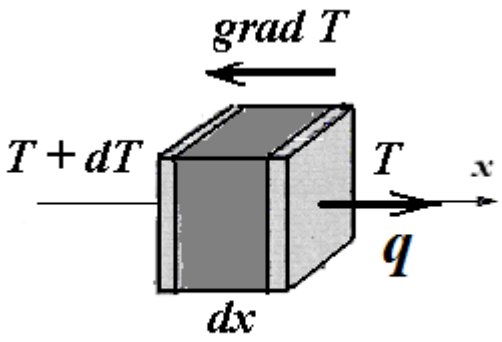

Рис.2.

Кількість теплоти, що переходить з однієї ділянки тіла в іншу через *деяку* уявну *поверхню в одиницю часу*, називається ***тепловим потоком.***

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

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

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

Знак мінус в рівнянні відображає той факт, що теплота «тече» в напрямку зменшення температури, а градієнт спрямований в бік зростання температури.

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

У теплотехніці *тепловий потік* називають також *тепловою потужністю* (позначають буквою *P*, рис. 3).

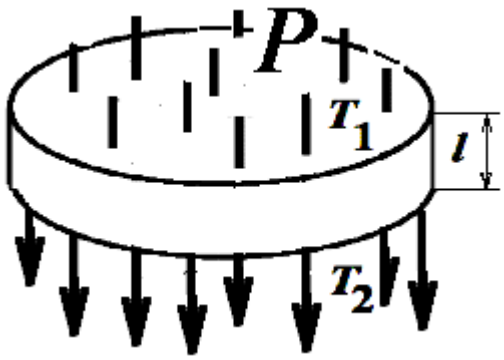

Рис. 3.

Можна підтримувати **стаціонарний**, тобто такий, що не змінюється з часом тепловий потік через плоский досліджуваний зразок. Для цього до однієї його поверхні (на рис. 3 - до верхньої) необхідно підводити незмінну теплову потужність *P*. Нижня поверхня зразка буде мати більш низьку температуру $T_2 < T_1$.

З рівняння (2), замінюючи $q = P$, отримаємо вираз для теплопровідності

$$\lambda = -\frac{P}{(\frac{dT}{dx})S} \qquad (3)$$

Оскільки за визначенням диференціал температури, тобто її приріст $dT = T_2 - T_1$ (від другого відняти перше), то $-dT = T_1 - T_2$ (від першого відняти друге). Замінивши $dx = l$, отримаємо формулу для визначення теплопровідності

$$\lambda = \frac{Pl}{(T_1 - T_2)S} = \frac{Pl}{\Delta TS}. \qquad (4)$$

Опис установки

Лабораторна установка виконана у вигляді двох вузлів: робочого елемента і приладового блоку.

Робочий елемент (рис. 4) призначений для створення стаціонарного теплового потоку через зразок і вимірювання різниці температур на торцях зразка-диска.

Приладовий блок призначений для отримання постійної напруги на нагрівачу і обробки інформації, що надходить з датчиків температури.

Випробуваний зразок у вигляді тонкого диска (рис.4) затиснутий гвинтом між нагрівачем (електронагрівач + мідний диск) і холодильником.

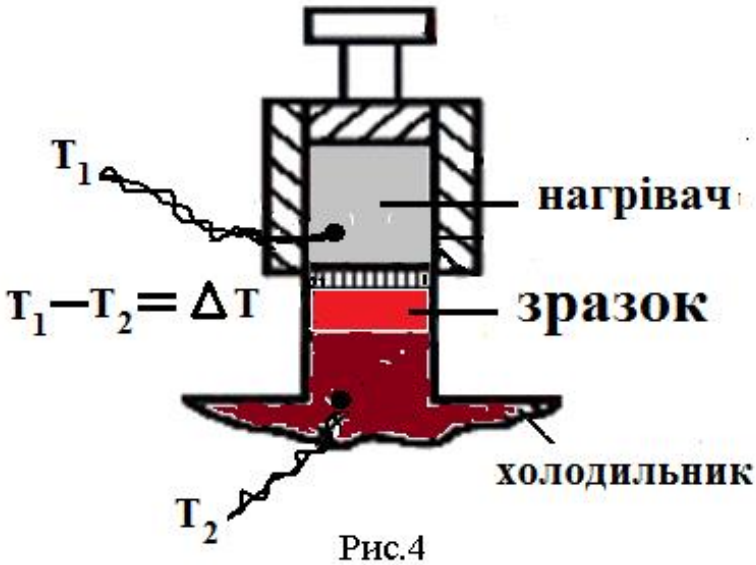

Рис.4

Нагрівач створює тепловий потік. Холодильник призначений для відводу теплоти, що пройшла через досліджуваний зразок і підтримки температури нижньої поверхні зразка постійною.

Температура T_1 на верхній і T_2 на нижній поверхнях зразка вимірюється датчиками температури (термопарами).

Робочий елемент сконструйований таким чином, що майже все тепло, що виділяє нагрівач, проходить через плоскопаралельний зразок перпендикулярно до площі його основи. Зовні елемент теплоізольований. Однак частина тепла йде через теплоізоляцію, а також бічну поверхню диска внаслідок теплового випромінювання. Врахування втрат тепла зменшує передану через зразок теплову потужність і дає таку робочу формулу для визначення теплопровідності

$$\lambda = \frac{(P - P_{\text{втрат}})l}{\Delta TS}, \qquad (5)$$

де $P_{\text{втрат}}$ - потужність втрат. Потужність втрат пропорційна перепаду температур ΔT, її визначають за графіком, що додається до приладу.

Порядок виконання роботи

1. За допомогою штангенциркуля або мікрометра до початку дослідження **виміряють** значення **товщини** l зразка в декількох місцях поверхні і знаходять середнє значення цієї товщини. Вимірюють також **діаметр** диска D і розраховують площу $S = \pi D^2/4$. Дані заносять в таблицю.

2. **Перевіряють правильність показань термометра**. **Для цього** включають прилад в мережу, потім переводять тумблер "Мережа" в верхнє положення. Прогрівають прилад протягом 5 - 10 хвилин і ***знімають показання приладу без зразка:***

- притискають мідний диск нагрівача до холодильника-радіатора;
- регулятор потужності при цьому встановлюють в нульове положення.

Внаслідок прямого контакту нагрівача (який не гріє) і холодильника температури їх мають бути однаковими.

На індикаторі повинні висвітитися показники різниці температур ΔT.

Допускаються показання 0.0 ± 0.05(град).

3. **Встановлюють** досліджуваний **зразок** між нагрівачем і холодильником за допомогою центрувального кільця. Для цього за допомогою притискного гвинта піднімають мідний диск на 6 - 8 мм, вставляють зразок і щільно його затискають. Для зменшення теплового опору на поверхню зразка наносять тонкий шар гліцерину.

4. Встановлюють **ручку регулятора потужності** в положення 1 Вт.

Зачекавши 10 - 15 хвилин, **зчитують показання індикатора різниці температур між верхньою і нижньою поверхнями зразка ΔT**. Дані вимірювань заносять в таблицю.

5. Повторюють вимірювання для значень теплових потоків 2 Вт і 3 Вт.

6. У кожному разі знаходять за графіком, що прикладається до роботи, потужність втрат $P_{втрат}$ і обчислюють теплопровідність за формулою (5).

7. Розраховують похибку вимірювань за стандартною процедурою.

Кінцевий результат записують у вигляді:

$$\lambda = \left(\langle\lambda\rangle \pm \Delta\lambda\right)\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} \text{ при } \alpha=.....$$

Таблиця

№	P, Вт	$P_{пот}$, Вт	l, м	S, м^2	ΔT, K	λ_i, Вт/(м·К)	$\langle\lambda\rangle$, Вт/(м·К)	$\Delta\lambda_i$ Вт/(м·К)	$S_{\langle\lambda\rangle}$	$t_{\alpha,n}$	$\Delta\lambda$, Вт/(м·К)	E, %
1												
2												
3												

Контрольні питання

1. Яка фізична картина передачі тепла шляхом теплопровідності для твердих, рідких і газоподібних речовин?
2. Що таке градієнт температури?
3. Сформулюйте закон теплопровідності Фур'є.
4. Який фізичний зміст теплопровідності?
5. Який тепловий потік називається стаціонарним?

6. Які основні джерела похибок при визначенні теплопровідності в даній роботі?

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