

Визначення сталої Стефана - Больцмана

Сергій Поліщук

Стала Стефана — Больцмана визначає зв'язок між потоком випромінювання й ефективною температурою тіла, що випромінює як абсолютно чорне тіло.

Мета роботи: вивчити закони теплового випромінювання.

Прилади і матеріали: пірометр з телескопом ТЕРА-50, електрична лампочка, ЛАТР, вольтметр, амперметр, лінійка.

Завдання:

1 при домашній підготовці:

- користуючись рекомендованою літературою, вивчити закономірності теплового випромінювання;
- з фізичного практикуму записати теоретичні відомості, порядок виконання роботи, зарисувати оптичну та електричну схеми;
- вивчити будову та принцип дії пірометра.

2 при виконанні роботи:

- скласти електричну схему і показати її викладачеві для перевірки;
- визначити температуру спіралі в лампи розжарювання безконтактним методом за її тепловим випромінюванням;
- визначити сталу у законі Стефана - Больцмана;
- виконати необхідні розрахунки з визначення шуканої величини та можливих похибок;
- оформити звіт і подати його викладачеві.

Правила техніки безпеки:

- бережіться пошкодження очей при роботі з ТЕРА-50;
- при складанні електричної схеми використовуйте провідники з непошкодженою ізоляцією;
- при використанні ЛАТРОм будьте уважні - напруга 220В!

Теоретичні відомості та опис установки: У становленні квантової механіки значну роль відіграло вивчення закономірностей теплового випромінювання, а в ньому – введення Г. Кірхго- фом (1862р.) абстракції абсолютно чорного тіла. Це таке ідеалізоване тіло, яке поглинає все падаюче на нього випромінювання будь-яких частот при будь- яких температурах, поглинаюча здатність для нього рівна одиниці. Кірхгофом також було встановлено, що випромінювальна здатність тіл, температури яких однакові, найбільша саме у абсолютно чорного. Ця обставина зумовила у подальшому пошук тих параметрів, від яких залежить випромінювання чорного тіла, та їх взаємозв'язку. Перший крок у цьому напрямку був зроблений Й. Стефаном (1879 р.), який, на основі виконаних ним та іншими дослідниками експериментальних вимірювань, висловив здогадку, що повна енергія, випромінювана з одиниці поверхні тіла за четвертому часу, залежить лише від температури і пропорційна четвертому степеню абсолютної температури тіла. Пізніше (1884 р.) Л. Больцман теоретичними розрахунками підтвердив це припущення. Таким чином, було встановлено, що повна (інтегральна) випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла E є функцією лише температури T і пропорційна четвертому степеню цієї температури. Тобто

$$E(T) = \sigma T^4 \quad (1)$$

Цей вираз одержав назву закону Стефана - Больцмана, а коефіцієнт σ - сталої Стефана - Больцмана. Ретельні вимірювання показали, що

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт. (м}^2 \cdot \text{K}^4) \quad (2)$$

Одним із завдань даної роботи є експериментальне визначення сталої σ .

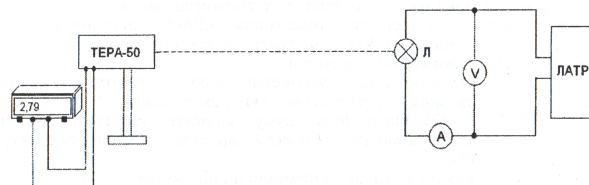


Рис. 1.

З цією метою зібрана установка (рис.1), яка складається з кола джерела випромінювання та кола приймача випромінювання. Як випромінювач застосовується лампа розжарення з широкою плоскою спіраллю. Регульована напруга на неї подається від автотрансформатора. Приймачем випромінювання слугує пірометр з телескопом ТЕРА-50. Припускається, що потужність електричного струму, яким живиться лампа, пропорційна потужності випромінювання з поверхні її спіралі. Тобто $\frac{IU}{S} \propto \sigma T^4$ де S - площа видимої у телескоп ТЕРА-50 розжареної спіралі лампи.

Якщо дослідження відбуваються у середовищі з температурою T_0 (у нашому випадку це абсолютна температура повітря у лабораторії), то $\frac{IU}{S} \propto \sigma(T^4 - T_0^4)$ або $IU = a_r S(T^4 - T_0^4) \cdot \sigma$. Звідки

$$\sigma = \frac{IU}{a_r S(T^4 - T_0^4)} \quad (3)$$

Коефіцієнт a_r - це стала приладу, яка залежить від ряду обставин, зокрема, враховує те, що спіраль лампи не є абсолютно чорним тілом, що не вся електрична енергія перетворюється у випромінювання тощо.

Крім того, a_r залежить і від температури випромінювача. Значення $a_r \cdot S$ для деяких температур наведені у таблиці 1. Тут же подано співвідношення між напругою на виході пірометра та температурою випромінювача.

Таблиця складена для випадку, коли відстань між джерелом випромінювання і приймачем становить 1 м.

Таблиця 1:

Напруга на виході пірометра, мВ	Температура випромінювача, $^{\circ}\text{C}$	Значення $a_r \cdot S$, м^2
0.41	500	$2.5 \cdot 10^{-3}$
0.82	600	$2.7 \cdot 10^{-3}$
1.56	700	$2.9 \cdot 10^{-3}$
2.79	800	$3.3 \cdot 10^{-3}$
4.58	900	$3.5 \cdot 10^{-3}$
7.05	1000	$3.8 \cdot 10^{-3}$

Послідовність виконання роботи:

- 1 Скласти електричну схему згідно рис.2.1, показати її для перевірки викладачеві.
- 2 Автотрансформатором встановити таку напругу на лампі, щоб її спіраль ледь жевріла.
- 3 Телескоп ТЕРА-50 встановити на відстані 1м від лампи і відрегулювати його таким чином, щоб спіраль лампи потрапила у центр поля зору телескопа. Площина спіралі при цьому повинна бути паралельна об'єктиву телескопа.
- 4 Поступово збільшуючи автотрансформатором напругу на лампі, домогтися, щоб напруга на виході пірметра становила 0,41 мВ, що відповідає температурі спіралі лампи 500°C .
- 5 Зняти покази вольтметра та амперметра і за формулою (3) визначити сталу σ .
- 6 Подібним чином визначити сталу Стефана – Больцмана для решти температур, що вказані у таблиці 1.
- 7 Виконати математичну обробку одержаних результатів, провести їх аналіз і порівняти експериментально юдержане значення σ з табличним.

References

- 1 Кучерук І.М., Горбачук ІТ. Загальний курс фізики: Т.3.: Оптика. Квантова фізика. – К.: Техніка, 2006. – 518с., ст. 260 - 266.
- 2 Кучерук І.М., Дущенко В.П. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика. - К.: Вища школа, 1991. – 463с., ст. 281 - 291.
- 3 Горбачук І.Т. Загальна фізика. Лабораторний практикум. - К.: Вища школа, 1992.- 512 с., ст. 424 - 429
- 4 Дущенко В.П. Фізичний практикум. - К. Вища школа, 1984. – 256с., ст. 185 - 191.
- 5 Методична розробка до роботи.

Завдання для самоконтролю:

- 1 Що таке теплове випромінювання?
- 2 Які особливості теплового випромінювання?
- 3 У чому полягає закон Стефана – Больцмана?
- 4 Які тіла можна вважати абсолютно чорними?
- 5 Який вигляд має закон Стефана - Больцмана для сірих тіл?
- 6 Що таке повна випромінювальна здатність тіла?
- 7 Який вигляд має крива розподілу енергії в спектрі чорного випромінювання?
- 8 Який фізичний зміст площі, обмеженої кривою розподілу енергії в спектрі чорного випромінювання?
- 9 Наведіть приклади моделей абсолютно чорного тіла.
- 10 Яка будова та принцип дії телескопа ТЕРА-50?

Тестові завдання для вхідного контролю:

- 1 Характерною ознакою теплового випромінювання є його:
(a) хаотичність;
(b) ізотропність;
(c) рівноважність;
(d) неполяризованість.
- 2 Яка з перелічених нижче здатностей не притаманна тепловому випромінюванню?
(a) випромінювальна;
(b) поглинальна;
(c) розсіювальна;
(d) відбивна.
- 3 Для абсолютно чорного тіла дорівнює нулеві:
(a) поглинальна здатність;
(b) поглинальна і відбивна здатність;
(c) відбивна і пропускна здатність;
(d) пропускна і поглинальна здатність.
- 4 Зв'язок між температурною шкалою Цельсія і температурною шкалою Кельвіна має вигляд:
(a) $t^{\circ}\text{C} = 273 - TK$;
(b) $t^{\circ}\text{C} = TK - 273$;
(c) $t^{\circ}\text{C} = 273 + TK$;
(d) $t^{\circ}\text{C} = -TK - 273$.
- 5 Характер випромінювання абсолютно чорного тіла залежить від:
(a) природи тіла;
(b) стану поверхні тіла;
(c) температури;
(d) агрегатного стану.
- 6 Яке співвідношення між випромінювальними здатностями реального і абсолютно чорного тіла? Тіла мають однакову температуру.
(a) випромінювальні здатності однакові;
(b) випромінювальна здатність більша у абсолютно чорного тіла;
(c) реальне тіло має більшу випромінювальну здатність;
(d) співвідношення може бути будь-яким.
- 7 Зв'язок між спектральною випромінювальною здатністю тіла $E(v, T)$ і його повною випромінювальною здатністю $E(T)$ має вигляд:
(a) $E(v, T) = \int_0^{\infty} E(T) dv$;
(b) $E(T) = \int_0^{\infty} \frac{E(v, T)}{dv}$;
(c) $E(v, T) = E(T)$;
(d) $E(T) = \int_0^{\infty} E(v, T) dv$.
- 8 Закон Стефана-Больцмана для абсолютно чорного тіла має вигляд:
(a) $E(T) = \sigma T^3$;
(b) $E(T) = \sigma T^4$;
(c) $E(T) = \sigma^4 T$;
(d) $E(T) = (\sigma T)^4$.
- 9 Стала Стефана – Больцмана σ має значення:
(a) $5.67 \cdot 10^{-8}$;
(b) $2.89 \cdot 10^{-3}$;
(c) $1.38 \cdot 10^{-23}$;
(d) $8.31 \cdot 10^3$.

10 Стала Стефана-Больцмана у цій роботі визначається виразом:

- (a) $\sigma = \frac{a_r \cdot S(T^4 - T_0^4)}{IU}$;
- (b) $\sigma = \frac{a_r \cdot S \cdot I \cdot U}{(T^4 - T_0^4)}$;
- (c) $\sigma = \frac{(T^4 - T_0^4)}{a_r \cdot S \cdot I \cdot U}$;
- (d) $\sigma = \frac{I \cdot U}{a_r \cdot S(T^4 - T_0^4)}$.

Тестові завдання для підсумкового контролю:

1 Яке з нижче наведення співвідношень між повною випромінювальною здатністю $E(T)$, спектральною випромінювальною здатністю $E(v, T)$, поглинальною здатністю $a(v, T)$, відбивною здатністю $r(v, T)$, пропускну здатністю $D(v, T)$ тіла є вірними?

- (a) $E(v, T) + a(v, T) + r(v, T) = 1$;
- (b) $r(v, T) + a(v, T) + D(v, T) = 1$;
- (c) $E(T) + D(v, T) + a(v, T) = 1$;
- (d) $E(v, T) + r(v, T) + D(v, T) = 1$.

2 Закон Кірхгофа для теплового випромінювання має вигляд:

- (a) $\frac{E(v, T)}{\varepsilon(v, T)} = a(v, T)$;
- (b) $\frac{a(v, T)}{E(v, T)} = \varepsilon(v, T)$;
- (c) $\frac{\varepsilon(v, T)}{a(v, T)} = E(v, T)$;
- (d) $\frac{E(v, T)}{a(v, T)} = \varepsilon(v, T)$.

де $E(v, T)$ і $a(v, T)$ - спектральні випромінювальна і поглинальна здатності тіла, $\varepsilon(v, T)$ - спектральна випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла.

3 Ід яких з нижче перелічених чинників залежить випромінювальна здатність реальних тіл: 1) температури, 2) хімічного складу, 3) фізичного стану, 4) чистоти поверхні?

- (a) лише від першого;
- (b) від першого і другого;
- (c) лише від третього;
- (d) від усіх чотирьох.

4 При кімнатній температурі шматок кераміки має зелений колір. Який буде його колір у розжареному стані?

- (a) зелений;
- (b) жовтогарячий;
- (c) лілово-фіолетовий;
- (d) червоно-оранжевий.

5 Закон зміщення Віна має вигляд:

- (a) $\lambda_{max} \cdot T = b$;
- (b) $\lambda_{max} \cdot T^2 = b$;
- (c) $\lambda_{max} \cdot T^3 = b$;
- (d) $\lambda_{max} \cdot T^4 = b$.

6 Константа у законі зміщення Віна рівна:

- (a) $5.67 \cdot 10^{-8}$;
- (b) $2.9 \cdot 10^{-3}$;
- (c) $1.38 \cdot 10^{-23}$;
- (d) $8.31 \cdot 10^3$.

7 У законі зміщення Віна v_{max} це:

- (a) максимальна частота, яку може випромінювати абсолютно чорне тіло;
- (b) максимальна частота, яку випромінює нагріте до температури T тіло;
- (c) частота, яка відповідає максимуму випромінювальної здатності тіла;
- (d) частота, яка відповідає короткохвильовій межі випромінювання.

8 Формула Релея-Джинса для спектральної випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла має вигляд:

- (a) $\varepsilon(v, T) = \frac{kT}{2\pi} \left(\frac{v}{c}\right)^2$;
- (b) $\varepsilon(v, T) = \frac{2\pi}{kT} \left(\frac{c}{v}\right)^2$;
- (c) $\varepsilon(v, T) = (2\pi \frac{v}{c})^2$;
- (d) $\varepsilon(v, T) = (\frac{2\pi v^2}{c^2}) \cdot kT$;

9 Формула Планка для випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла:

- (a) $\varepsilon(v, T) = 2\pi \left(\frac{v}{c}\right)^2 \cdot \frac{hv}{\exp(\frac{hv}{kT}) - 1}$;
- (b) $\varepsilon(v, T) = (2\pi \frac{v}{c})^2 \cdot \frac{kT}{\exp(\frac{kT}{hv}) - 1}$;
- (c) $\varepsilon(v, T) = \frac{hv}{2\pi} \left(\frac{v}{c}\right)^2 \cdot \frac{1}{\exp(\frac{hv}{kT}) - 1}$;
- (d) $\varepsilon(v, T) = (\frac{c}{v})^2 \cdot \frac{2\pi}{\exp(\frac{kT}{hv}) - 1}$.

10 Реальні фізичні тіла, які існують у природі, можна вважати:

- (a) чорними;
- (b) сірими;
- (c) білими;
- (d) селективними.