Сумський державний університет

Квантові властивості світла. Закони теплового випромінювання

Практичне заняття № 12

Повторення теоретичного матеріалу

1. Основні характеристики теплового випромінювання.

Енергетичний потік

$$\Phi_e = \frac{dW}{dt}.$$

Для середніх величин $\boxed{\Phi_e = \frac{W}{t}.}$

Енергетична світність (випромінюваність)

$$R_e = \frac{d\Phi}{dS}.$$

Для середніх величин $\boxed{R_e = \frac{W}{St}.}$

Повторення теоретичного матеріалу

Абсолютно чорне тіло – фізична абстракція, що вживається у термодинаміці; тіло, яке цілком поглинає проміння (всіх довжин хвиль), що падає на нього. Не зважаючи на назву, абсолютно чорне тіло може випускати теплове випромінювання.

Закон Стефана-Больцмана:

Енергетична світність абсолютно чорного тіла пропорційна четвертому степеню термодинамічної температури:

$$\overset{R}{\cancel{W}} = \sigma T^4,$$

де σ = 5,67 · 10^{-8} Вт м^2·К^4 – стала Больцмана, W – енергетична світність – кількість енергії, випромінюваної з одиничної поверхні за одиницю часу у всьому інтервалі частот від 0 до ∞ при даній температурі T.

Алгоритми розв`язання задач та методичні поради

Якщо тіло ***сіре***, то закон Стефана-Больцмана можна використовувати у вигляді

$$R_e = \alpha \sigma T^4$$

де α – коефіцієнт монохроматичного поглинання (поглинальна здатність).

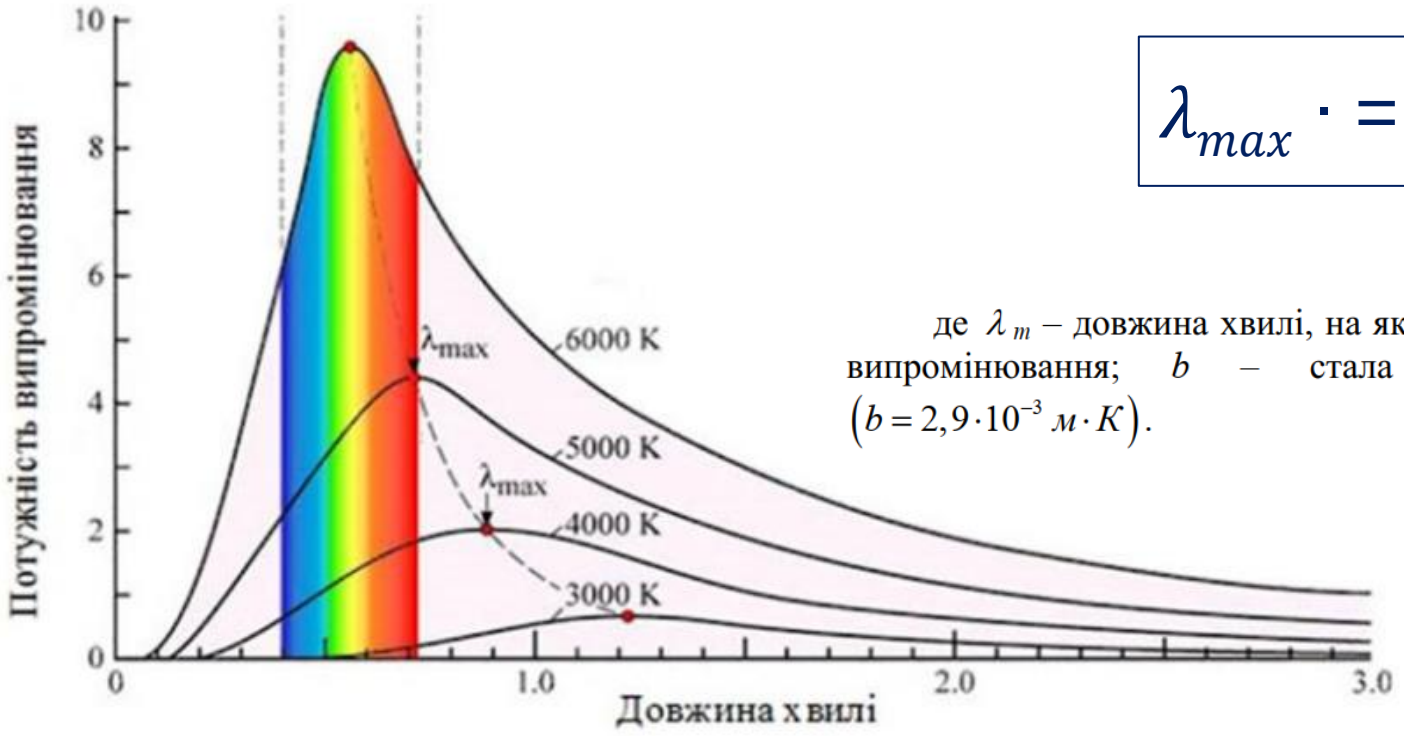
Відносно фізичних величин, які характеризують теплове випромінювання, у фізичній літературі немає єдиної термінології, тому для характеристик теплового випромінювання в дужках приведена альтернативна назва фізичної величини.

Строго кажучи, цей коефіцієнт залежить від температури.

При розв’язанні задач будемо вважати, що він заданий або визначається для зазначеної температури

Повторення теоретичного матеріалу

Закон зміщення Віна: Довжина хвилі, для якої потік випромінювання чорного тіла досягає свого максимуму, обернено пропорційна абсолютній температурі чорного тіла:



$$\lambda_{max} \cdot = \frac{b}{T}$$

де λ_m – довжина хвилі, на яку припадає максимум енергії випромінювання; b – стала закону зміщення Віна $\left(b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}\ м \cdot K\right)$.

1. Потік енергії, що випромінюється з оглядового віконця плавильної печі, дорівнює 34 Вт. Визначити температуру печі, якщо площа отвору 6 см^2. На яку довжину хвилі припадає максимум спектральної густини енергетичної світності цієї печі? Вважати, що віконце плавильної печі випромінює як абсолютно чорне тіло.

$T - ?\ \lambda_m - ?$

$\Phi_e = 34$ Вт

$S = 6\ см^2 = 6 \cdot 10^{-4}\ м$

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ Вт \cdot м^{-2} \cdot K^{-4}$

$b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}\ м \cdot K$

1)

$$R = \sigma T^4 \Rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{R}{\sigma}}$$

$$R_e = \frac{W}{S t}$$

$$\Phi_e = \frac{W}{t} \Rightarrow W = \Phi_e t$$

$$R_e = \frac{\Phi_e \cancel{t}}{S \cdot \cancel{t}} = \frac{\Phi_e}{S}$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{\Phi_e}{S\sigma}} \quad ; \quad T = \sqrt[4]{\frac{34}{6 \cdot 10^{-4} \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8}}} \approx 999{,}8\ (K)$$

2)

$$\lambda_m = \frac{b}{T} \quad ; \quad \lambda_m = \frac{2{,}9 \cdot 10^{-3}}{999{,}8} = 2{,}9 \cdot 10^{-6}\ (м).$$

2. Визначити енергію, яку випромінює поверхня розплавленої платини площею $S = 50\,см^2$ за $t = 1\,хв$, якщо поглинальна здатність платини $a_T = 0{,}8$. Температура плавлення платини дорівнює $T = 1770^0 C$.

$W - ?$

$S = 50\,см^2 = 5 \cdot 10^{-3}\,м^2$

$t = 60\,с$

$\alpha = 0{,}8$

$T = 1770^\circ C = 2043\,K$

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\,Вт/м^2 \cdot K$

$$\varphi_e = \frac{W}{t} \Rightarrow W = \varphi_e t$$

$$R = \frac{\varphi_e}{S} \Rightarrow \varphi_e = R \cdot S = \alpha \sigma T^4 S$$

$$R = \alpha \sigma T^4$$

$$W = \alpha \sigma T^4 S t$$

$$W = 0{,}8 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 2043^4 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = \cancel{2370651{,}8 \cdot 10^{-11}} = \cancel{2{,}4 \cdot 10^{-6}}\ 2{,}37 \cdot 10^6\ (Дж)$$

В: 2,37 кДж.

3. Чорне тіло має температуру $T_1 = 500\,K$. Якою буде температура T_2 тіла, якщо в результаті нагрівання енергетична світність тіла збільшиться в $n = 5$ разів?

$T_2 - ?$

$T_1 = 500\,K$

$R_2 = 5R_1$

$R_1 = \sigma T_1^4$ $\qquad$ $R_2 = \sigma T_2^4 = 5\sigma T_1^4$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\cancel{\sigma} T_1^4}{\cancel{\sigma} T_2^4} = \frac{\cancel{\sigma T_1^4}}{\cancel{5\sigma T_1^4}} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{T_1^4}{T_2^4} = \frac{1}{5}$$

$$T_2^4 = 5T_1^4$$

$$T_2 = \sqrt[4]{5T_1^4}$$

$$T_2 = \sqrt[4]{5 \cdot 500^4} = 747{,}6\ (K)$$

4. Максимум випромінювальної здатності Сонця припадає на довжину хвилі $\lambda_m = 0,48\,мкм$. Вважаючи, що Сонце випромінює, як чорне тіло, визначити: а) температуру його поверхні; б) потужність, що випромінюється поверхнею.

$T - ?$ $P - ?$

$\lambda_m = 4,8 \cdot 10^{-7}\,м$

$b = 2,9 \cdot 10^{-3}\,В \cdot м$

1)

$$\lambda_m = \frac{b}{T}$$

$$T = \frac{b}{\lambda_m}$$

$$T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{4,8 \cdot 10^{-7}} = 0,6 \cdot 10^{+4} = 6 \cdot 10^{3}\ (K)$$

2)

$$P = \frac{W}{t}$$

$$W = \frac{\Phi_e}{t} \qquad R_e = \frac{W}{St} \Rightarrow W = R_e S t = \sigma T^4 S t$$

$$P = \frac{\sigma T^4 S \cdot \cancel{t}}{\cancel{t}} = \sigma T^4 S = 4\pi R^2 \sigma T^4.$$

з таблиць (696 340 км).

Задача для самостійного розв’язування

Яку кількість енергії випромінює Сонце за $t = 1\,хв$? Випромінювання Сонця вважати близьким до випромінювання абсолютно чорного тіла. Температуру поверхні Сонця взяти такою, що дорівнює $T = 5{,}8\,кК$.