

УДК 535.231.2

ВИВЕДЕННЯ ФОРМУЛИ ТЕПЛООВОГО НЕПЕРЕРВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

О. П. Онуфрик

Старший викладач

Кафедра радіофізики і електроніки

Прикарпатський національний університет

ім. Василя Стефаника

вул. Шевченка, 57, м. Івано – Франківськ,

Україна, 76025

Контактний тел.: (0342) 59-60-07, 067-944-05-53

E: mail: kre@pu.if.ua

На основі фізичного механізму теплового випромінювання виведена формула спектральної густини потужності теплового випромінювання, яка виражає добуток кількості джерел одиниці об'єму в одиничному спектральному інтервалі на середню кількість випромінювань одного джерела за секунду помножена на енергію одного випромінювання

Ключові слова: густина, випромінювання, збурення, кількість, потужність

На основе физического механизма теплового излучения получена формула спектральной плотности мощности теплового излучения, которая выражается произведением количества источников единицы объема в единичном спектральном интервале на среднее количество излучений одного источника за секунду умноженную на энергию одного излучения

Ключевые слова: возбуждение, излучение, количество мощность, плотность

1. Вступ

В сучасній теорії теплового випромінювання джерелом теплової енергії прийнято умовний осцилятор. Згідно цієї теорії осцилятор випромінює енергію в вигляді гармонічних пакетів коливань, які поширюються в просторі як одне ціле з швидкістю світла.

Виходячи з фізичного механізму теплового випромінювання [1] джерелом теплового випромінювання являються зіткнення «квазівільних» [2] електронів з атомами твердого тіла. Внаслідок зіткнення одного електрона з атомом випромінюється електромагнітна енергія ϵ .

2. Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження було виведення формули спектральної густини потужності теплового випромінювання на основі розробленого автором фізичного механізму теплового випромінювання.

3. Виведення загальної формули спектральної густини потужності теплового випромінювання.

Теплове випромінювання визначається поверхневою або об'ємною спектральною густиною, яка виражає енергію випромінювання створену відповідно одиницею поверхні або об'єму твердого тіла в одиничному спектральному інтервалі впродовж однієї секунди [3].

Об'ємну спектральну густину можна виразити формулою:

$$\rho_{v,T} = \frac{W}{v} \cdot \frac{1}{t}, \quad (1)$$

де W – енергія випромінювання одиниці об'єму; v – частота випромінювання; t – час випромінювання.

В твердому тілі «квазівільні» електрони розподілені за енергіями згідно розподілу Больцмана [2]. Оскільки зіткнення електронів в твердому тілі здійснюються з атомами, енергія яких в середньому однакова, то розподіл енергії джерел випромінювання можна прийняти, також згідно розподілу Больцмана.

Згідно цього розподілу в кожен момент часу, кількість джерел в одиниці об'єму з енергією ϵ визначається згідно виразу:

$$N(\epsilon) = N_0 e^{-\frac{\epsilon}{kT}}, \quad (2)$$

де N – кількість джерел в одиниці об'єму з енергією випромінювання одного джерела рівною ϵ ; N_0 – загальна кількість джерел в одиниці об'єму; k – постійна Больцмана; T – абсолютна температура.

Припустимо, що всі N джерела з енергією ϵ є активними, тобто такими, що випромінюють енергію.

Враховуючи, що рух електронів в твердому тілі здійснюється постійно при будь якій температурі, то в кожен момент часу буде утворюватись нова кількість N активних джерел з загальної кількості джерел N_0 , які будуть випромінювати енергію.

На протязі певного часу кожне активне джерело здійснить n випромінювань, внаслідок чого умовно можна прийняти, що n виражає кількість випромінювань здійснених одним активним джерелом за деякий час.

Таким чином енергія випромінювання одиниці об'єму за деякий час буде дорівнювати добутковій кількості активних джерел в одиниці об'єму N на кількість n випромінювань здійснених одним активним джерелом і помножену на енергію одного випромінювання ϵ :

$$W = Nn\epsilon. \quad (3)$$

Тоді формулу (1) можна записати як:

$$\rho_{v,T} = \frac{W}{v} \cdot \frac{1}{t} = \frac{N}{v} \cdot \frac{n\varepsilon}{t} = N_v n_0 \varepsilon, \quad (4)$$

де $N_v = \frac{N}{v}$ – кількість активних джерел одиниці об'єму в одиничному спектральному інтервалі; $n_0 = \frac{n}{t}$ – кількість випромінювань одного активного джерела за одну секунду.

Спектральну густину (4) можна виразити через загальну кількість джерел одиниці об'єму в одиничному спектральному інтервалі і середню кількість випромінювань одним загальним джерелом за одну секунду:

$$\rho_{v,T} = \frac{N_0}{v} \cdot \frac{\bar{n}\varepsilon}{t} = N_{0v} \bar{n}_0 \varepsilon = N_{0v} \bar{p}_0, \quad (5)$$

де N_{0v} – кількість загальних джерел одиниці об'єму в одиничному спектральному інтервалі; \bar{n} – середня кількість випромінювань одним загальним джерелом; \bar{n}_0 – середня кількість випромінювань одним загальним джерелом за одну секунду; \bar{p}_0 – середня потужність випромінювання одним загальним джерелом.

Таким чином, для визначення спектральної густини потужності випромінювання потрібно визначити загальну кількість джерел одиниці об'єму в одиничному спектральному інтервалі і середню потужність випромінювання одного загального джерела.

4. Визначення загальної кількості джерел одиниці об'єму в одиничному спектральному інтервалі

Виходячи з того, що теплове випромінювання є сферичним, то утворене об'ємне електромагнітне випромінювання, або збурення внаслідок зіткнення електрона з атомом повинно бути в виді кулі, діаметр якої визначається довжиною хвилі випромінювання. Утворена сферична хвиля розповсюджується в просторі згідно теорії поширення електромагнітних хвиль Максвела. Умовним об'ємом одного збурення можна прийняти об'єм кулі з діаметром, що дорівнює довжині хвилі випромінювання λ .

Загальну кількість збурень одиниці об'єму в одиничному спектральному інтервалі можна визначити розділивши одиницю об'єму на умовний об'єм одного збурення і на частоту випромінювання.

Визначимо об'єм одного збурення. Підставивши радіус кулі збурення $R = \frac{\lambda}{2}$ в формулу об'єму кулі $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, отримаємо об'єм одного збурення або об'єм джерела теплового випромінювання:

$$V = \frac{4}{3}\pi \frac{\lambda^3}{8} = \frac{\pi\lambda^3}{6}. \quad (6)$$

Загальна кількість джерел випромінювання визначається як частка від ділення одиниці об'єму на об'єм одного збурення згідно формули:

$$N_0 = \frac{1}{V} = \frac{6}{\pi\lambda^3} = \frac{6\nu^3}{\pi c^3}. \quad (7)$$

Загальна кількість джерел випромінювання в одиничному спектральному інтервалі N_{0v} визначається як частка від ділення загальної кількості джерел в одиниці об'єму на частоту випромінювання згідно співвідношення:

$$N_{0v} = \frac{N_0}{\nu} = \frac{6\nu^2}{\pi c^3} \quad (8)$$

або

$$N_{0\omega} = \frac{3\omega^2}{2\pi^3 c^3}, \quad (9)$$

де ω – кругова частота випромінювання.

Таким чином ми отримали формулу, яка виражає загальну кількість джерел електромагнітного випромінювання в одиниці об'єму твердого тіла в одиничному спектральному інтервалі або формулу густини станів.

5. Визначення середньої кількості випромінювань одним загальним джерелом за одну секунду.

Середню кількість випромінювань одним загальним джерелом за одну секунду визначимо з рівності спектральної густини випромінювання, визначеної з допомогою активної і загальної кількості джерел в одиниці об'єму згідно формул (4) і (5).

$$\rho_{v,T} = N n_0 \varepsilon = N_0 \bar{n}_0 \varepsilon \quad (10)$$

або

$$N n_0 = N_0 \bar{n}_0. \quad (11)$$

Звідки кількість випромінювань здійснених одним активним джерелом за одну секунду буде рівна:

$$n_0 = \frac{N_0 \bar{n}_0}{N}. \quad (12)$$

Виразимо середню кількість випромінювань одного загального джерела за одну секунду через кількість активних і загальних джерел. Для цього визначимо різницю кількості випромінювань одного активного і середню кількість випромінювань одного загального джерела за одну секунду.

Так як n_0 і \bar{n}_0 можуть приймати довільні значення, тому їх різниця також може приймати довільні значення в тому числі і значення рівні одиниці.

$$n_0 - \bar{n}_0 = \frac{N_0 \bar{n}_0}{N} - \bar{n}_0 = \bar{n}_0 \frac{N_0 - N}{N} = 1. \quad (13)$$

Звідси середня кількість випромінювань, здійснених одним загальним джерелом за одну секунду визначається згідно виразу:

$$\bar{n}_0 = \frac{N}{N_0 - N}. \quad (14)$$

Підставивши значення виразу N згідно (2) в формулу (14) отримаємо:

$$\bar{n}_0 = \frac{N_0 e^{-\alpha}}{N_0 - N_0 e^{-\alpha}} = \frac{e^{-\alpha}}{1 - e^{-\alpha}} = \frac{1}{e^{\alpha} - 1}, \quad (15)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{\varepsilon}{kT}.$$

Отже, формула (15) виражає середню кількість випромінювань одного загального джерела за одну секунду.

6. Визначення середньої потужності випромінювання одним загальним джерелом

Середню потужність випромінювання одного загального джерела отримуємо помноживши середню кількість випромінювань одного загального джерела за одну секунду на енергію одного випромінювання:

$$\bar{p} = \frac{1}{e^{\alpha} - 1} \varepsilon. \quad (16)$$

7. Формула спектральної густини потужності теплового випромінювання

Згідно формули (5) спектральна густина потужності теплового випромінювання визначається добутком кількості загальних джерел одиниці об'єму в одиничному спектральному інтервалі на середню потужність випромінювання одного загального джерела.

Кількість загальних джерел в одиничному спектральному інтервалі визначається згідно формули (9).

Середня потужність випромінювання одного загального джерела визначається згідно формули (16).

Підставивши вирази (9) і (16) в формулу (5) отримуємо формулу спектральної густини потужності теплового неперервного випромінювання:

$$p_{\omega,T} = \frac{3\omega^2}{2\pi^3 c^3} \frac{1}{e^{\alpha} - 1} \varepsilon. \quad (17)$$

Таким чином, спектральна густина потужності теплового неперервного випромінювання визначається добутком кількості загальних джерел випромінювання одиниці об'єму в одиничному спектральному інтервалі на середню потужність випромінювання одного загального джерела.

Висновки

На основі фізичного механізму теплового випромінювання виведена нова формула теплового неперервного випромінювання.

Дана формула складається з двох частин, в першій з яких визначається кількість загальних джерел або густина станів, а в другій частині визначається середня потужність випромінювання одного загального джерела, яка дорівнює добуткові кількості випромінювань одного загального джерела за одну секунду помножену на енергію одного випромінювання.

Виведена формула повністю узгоджується з визначенням спектральної густини потужності теплового випромінювання.

Отримані результати можуть бути використані при розробці мікро – і наноелектронних пристроїв, на основі поєднання властивостей електронів провідності з фізичним механізмом теплового нагріву твердих тіл.

Література

1. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 29521 Україна. Науковий твір «Фізичний механізм теплового випромінювання твердих тіл»/ Онуфрик О. П. – Дата реєстрації 21.07.2009.
2. Спроул, Р.С. Современная физика. [Текст] / Р. С. Спроул. – М.: Физматгиз, 1961. 121с.
3. Ландсберг, Г. С. Оптика. [Текст] / Г. С. Ландсберг – М.: Наука, 1976 г. 99с.

Abstract

On the ground of physical mechanism, according to which heat radiation is a result of collision of quasi-free electrons with solid body atoms, the formula of spectral power density of heat continuous irradiation is deduced. The formula expresses the product of unit volume quantity in the unit spectral interval and average number of rays of one source in a second multiplied by the power of one ray. The formula derivation is implemented according to the spectral volume density of heat radiation, which expresses the power of radiation volume unit for one second (the power in the unit spectral interval). Pursuant to that fact, that heat radiation is spherical, the produced volume source of electromagnetic radiation is regarded as a sphere which diameter is determined by the length of radiation wave. Created spherical wave propagates in space according to the Maxwell's theory. Total number of sources of radiation unit volume in the unit spectral interval is determined by division of volume unit on the conditional volume of one source and the radiation frequency. The distribution of radiation sources according to power in solid body in each time station is assumed according to Boltzmann distribution. For one second each source makes a certain number of rays. The product of source number of volume unit in the unit spectral interval on the average rays' number of one source for a second multiplied by the power of one ray determines the spectral density of radiation power

Key words: radiation, number, power, density