

# ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ТЕПЛОВИХ ВЕЛИЧИН

УДК 536.521

## ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ОБ'ЄКТІВ ЗА СПЕКТРАЛЬНОЮ ГУСТИНОЮ ПОТУЖНОСТІ ВЛАСНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В ОПТИЧНОМУ ДІАПАЗОНІ

© Гриневич Богдан, 2012

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

*Пропонується уточнена математична модель визначення довжини хвилі максимуму інтенсивності власного випромінювання об'єктів у оптичному діапазоні.*

*Предлагается уточненная математическая модель определения длины волны максимума интенсивности собственного излучения объектов в оптическом диапазоне.*

*Specified mathematical model of wavelength peak of self-radiation objects within the optical range is proposed.*

**Вступ.** Під час спектральних досліджень власного випромінювання об'єктів, виготовлених з металів за різних температур, і розв'язання задач радіаційної пірометрії виникає необхідність застосування законів випромінювання – Стефана–Больцмана, Віна та Планка. Тіла, нагріті до досить високих температур, випромінюють електромагнітні хвилі у видимому діапазоні, тобто «світяться». Свічення тіл, зумовлене високою температурою, називається тепловим випромінюванням. Теплове випромінювання є найпоширенішим у природі і відбувається за рахунок енергії теплового руху атомів і молекул речовини. Теплове випромінювання властиве всім тілам, які мають температуру, вищу за абсолютний нуль, тобто вищу за  $0\text{K}$ . Теплове випромінювання має суцільний спектр, положення максимуму якого залежить від температури. При високих температурах випромінюються ультрафіолетові й видимі електромагнітні хвилі, за нижчих температур – переважно інфрачервоні хвилі.

**Постановка задачі.** На жаль, як в науковій, так і в навчальній літературі є розбіжності в значеннях констант у галузі пірометрії випромінювання [1–5]. Це стосується значення швидкості світла  $c$ , сталої Планка  $h$ , сталої Больцмана  $k$ , коефіцієнтів  $C_1$  та  $C_2$  рівняння Планка та коефіцієнта  $b$  закону зміщення Віна. Щоб уникнути нагромадження методичної складової похибки при розрахунках та опрацюванні результатів досліджень, слід використовувати найточніші дані, що відповідають сучасному стану.

**Вибір та розрахунок значень констант.** Провівши огляд літературних джерел, ми встановили, що найточнішим варіантом буде використання значень, пропонованих Committee on Data for Science and Technology (CODATA), а саме:  $c = 299792458 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  [6],  $h = 6,62606957\cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$  [7],  $k = 1,3806488\cdot 10^{-23} \text{ Дж}\cdot\text{К}^{-1}$  [8]. Використавши ці дані, можна визначити коефіцієнти  $C_1 = 3,741771524664128\cdot 10^{-16} \text{ Вт}\cdot\text{м}^2$ ,  $C_2 = 1,438776959983815\cdot 10^{-2} \text{ м}\cdot\text{К}$ . Для визначення коефіцієнта  $b$  скористаємось виведенням математичної моделі максимуму інтенсивності випромінювання.

Вираз для спектральної густини інтенсивності випромінювання абсолютно чорного тіла (АЧТ), який отримав Макс Планк [1]:

$$B_0(I, T) = C_1 \cdot I^{-5} \cdot (e^{\frac{C_2}{I \cdot T}} - 1)^{-1} \quad (1)$$

Графічне зображення подано на рис. 1.

Як бачимо з рисунка, кожному значенню температури відповідає максимум випромінювання на певній довжині хвилі. Якщо за допомогою спектрального приладу отримати характеристику інтенсивності випромінювання у всьому діапазоні довжин хвиль (відповідно до можливостей спектрофотометра) від джерела (моделі АЧТ, температурної лампи, об'єкта дослідження) при довільній температурі, отримаємо подібну криву. Порівнявши її з кривими з рис. 1 за формою та максимумом, можемо з відповідною точністю визначити температуру джерела. Це в тому випадку, якщо за характеристиками випромінювання наш об'єкт близький до АЧТ або так званого «сірого» тіла.

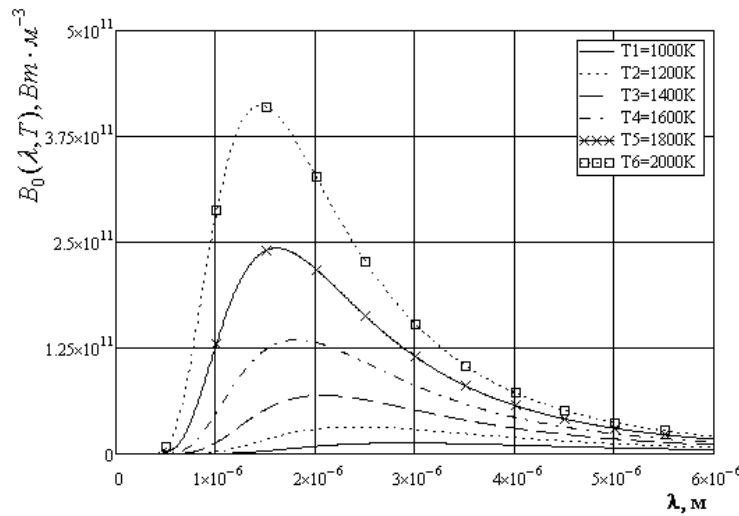


Рис. 1. Інтенсивність випромінювання як функція довжини хвилі температури

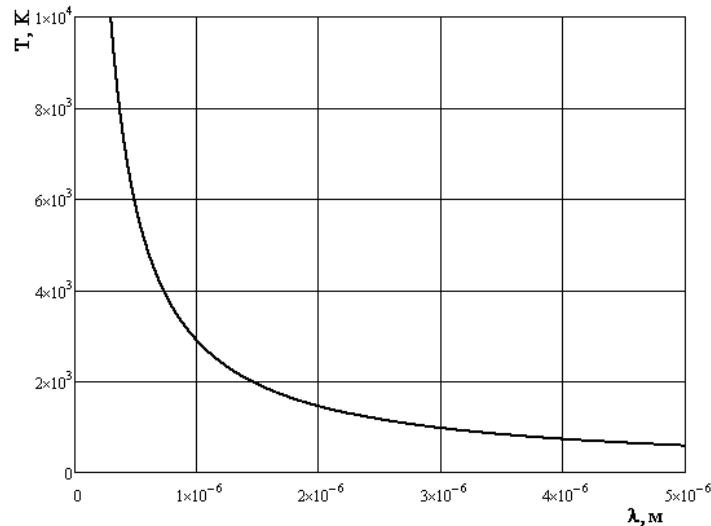


Рис. 2. Графічне зображення закону Віна

Для визначення температури нам потрібно чітко визначити максимум характеристики. Для переходу до залежності  $\lambda_{max}(T)$  треба дослідити вираз (1) на екстремуми, тобто прирівняти похідну за довжиною хвилі правої частини виразу до нуля:

$$\frac{C_1 \cdot C_2 \cdot e^{\frac{C_2}{I \cdot T}}}{I^7 \cdot \left( e^{\frac{C_2}{I \cdot T}} - 1 \right)^2 \cdot T} - \frac{5 \cdot C_1}{I^6 \cdot \left( e^{\frac{C_2}{I \cdot T}} - 1 \right)} = 0. \quad (2)$$

Зводимо до спільного знаменника:

$$\frac{C_1 \cdot C_2 \cdot e^{\frac{C_2}{I \cdot T}}}{I^7 \cdot \left( e^{\frac{C_2}{I \cdot T}} - 1 \right)^2 \cdot T} - \frac{5 \cdot C_1 \cdot I \cdot \left( e^{\frac{C_2}{I \cdot T}} - 1 \right) \cdot T}{I^7 \cdot \left( e^{\frac{C_2}{I \cdot T}} - 1 \right)^2 \cdot T} = 0. \quad (3)$$

Спростуємо:

$$C_2 \cdot e^{\frac{C_2}{I \cdot T}} - 5 \cdot I \cdot \left( e^{\frac{C_2}{I \cdot T}} - 1 \right) \cdot T = 0. \quad (4)$$

Замінімо:

$$\frac{C_2}{I \cdot T} = x \text{ і відповідно } I = \frac{C_2}{x \cdot T}. \quad (5)$$

Підставивши (5) в (4) і спростивши, отримаємо:

$$e^x \cdot x - 5 \cdot (e^x - 1) = 0, \quad (6)$$

звідки:

$$x - \frac{5}{e^x} - 5 = 0. \quad (7)$$

Розв'язавши це рівняння з максимальною точністю за допомогою програми MathCAD, одержимо:

$$x = LambertW(5 \cdot e^{-5}) + 5. \quad (8)$$

Використовуючи для розрахунку функції Ламберта вираз ряду Тейлора [9]

$$W(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-n)^{n-1}}{n!} \cdot x^n, \quad (9)$$

отримаємо:

$$x = 4.965114231744276. \quad (10)$$

Використавши значення  $C_2$  та вираз (5), маємо:

$$I_{\max} = \frac{2.8977721213039715 \cdot 10^{-3}}{T}. \quad (11)$$

Отриманий вираз являє собою закон зміщення Віна з уточненим числовим значенням  $b=2.897721213039715 \cdot 10^{-3}$ . Це значення дуже добре узгоджується з експериментальними даними.

**Висновок.** Використовуючи дослідні дані, визначивши максимум на певній довжині хвилі, можемо з високою точністю визначити температуру об'єкта за виразом:

$$T = \frac{2.8977721213039715 \cdot 10^{-3}}{I_{\max}}. \quad (12)$$

Графічне зображення формули (12) для температури до 10000 К наведено на рис. 2.

1. Свет Д.Я. *Оптические методы измерения истинных температур.* – М.: Наука, 1982. – С. 8. 2. Сос-

новский А.Г. *Измерение температур / А.Г. Сосновский, Н.И. Столярова // Издательство Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР.* – М., 1970. – С. 142. 3. *Температурные измерения : справочник / О.А. Геращенко, А.Н. Гордов, А.К. Еремина и др.* – К.: Наукова думка, 1989. – 704 с. 4. Блох, А.Г. *Теплообмен излучением / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков.* – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с. 5. Битюков В. К. *Методы и средства бесконтактного контроля теплового состояния изделий : учеб. пособие / В.К. Битюков, В.А. Петров.* – М.: МИРЭА, 1999. – 96 с. 6. *The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty // [Електронний ресурс].* – Режим доступу <http://www.bipm.org/en/CGPM/db/17/1/>. 7. *CODATA Value: Plank constant // [Електронний ресурс].* – Режим доступу <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?h>. 8. *CODATA Value: Boltzmann constant // [Електронний ресурс].* – Режим доступу <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?k>. 9. *W-функція Ламберта // [Електронний ресурс].* – Режим доступу [http://ru.wikipedia.org/wiki/W-%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F\\_%D0%9B%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0](http://ru.wikipedia.org/wiki/W-%D1%84%D1%83%D0%BD%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%9B%D0%B0%D0%BC%D0%B1%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0).

УДК 536.532

## МЕТОД КОМБІНАЦІЙНОГО РОЗСПОВАННЯ СВІТЛА В ТЕРМОМЕТРІЇ ПОВЕРХНІ МІКРООБ'ЄКТІВ

© Сегеда Олег, Яцишин Святослав, Кривенчук Юрій, 2012

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,  
вул. С.Бандери 12, 79013, Львів, Україна

*Здійснено аналіз вимірювання температури методом комбінаційного розсіювання світла та проведено оцінювання метрологічних характеристик методу. Об'єктом дослідження вибрано мікроконтролер.*

*Осуществлен анализ измерения температуры методом комбинационного рассеяния света, проведено оценивание метрологических характеристик метода. Объектом исследования выбрано микроконтроллер.*

*Errors of the temperature transducer constructed on the basis of the Raman effect are estimated applying the analysis for metrological characteristic divergence. The object of study was chosen microcontroller.*

**Вступ.** Вказаний порівняно новий метод належить до небагатьох методів первинної термометрії [1–2]. Його характеристики все ще відпрацьовуються. Зокрема, проведені експериментальні дослідження сприяють усуненню існуючих застережень щодо точності методу та можливості його метрологічної атестації.

**Постановка задачі.** Сам по собі метод належить до небагатьох методів безпосереднього вимірювання температури. Проте існують застереження стосовно точності методу, а також можливості його метрологічної атестації.

З урахуванням багаторічного досвіду колективу кафедри у дослідженні точності спроектованих і виго-