

Wyznaczanie stałej C_2 we wzorze Plancka i sprawdzanie prawa Stefana-Boltzmann

Streszczenie

Celem ćwiczenia jest sprawdzenie dwóch podstawowych praw dotyczących promieniowania cieplnego ciał. Poprzez pomiar pirometrem została wyznaczona temperatura barwowa w zależności od jasności dostępnego źródła światła. Sprawdzone przy tym, czy prawo Plancka jest słuszne, wyznaczając stosunek dwóch fundamentalnych stałych (stałej Plancka do stałej Boltzmann). Dla emisyjności włókna pirometru 0.6 wynik był najbliższy prawdy i wyniósł $h:k = (4.7 \pm 0.1) \cdot 10^{11} \text{ s K}^{-1}$. W drugiej części sprawdzono prawo Stefana-Boltzmann badając straty mocy na promieniowanie. Wyznaczono wykładnik potęgi $n = 3.1(0.1)$.

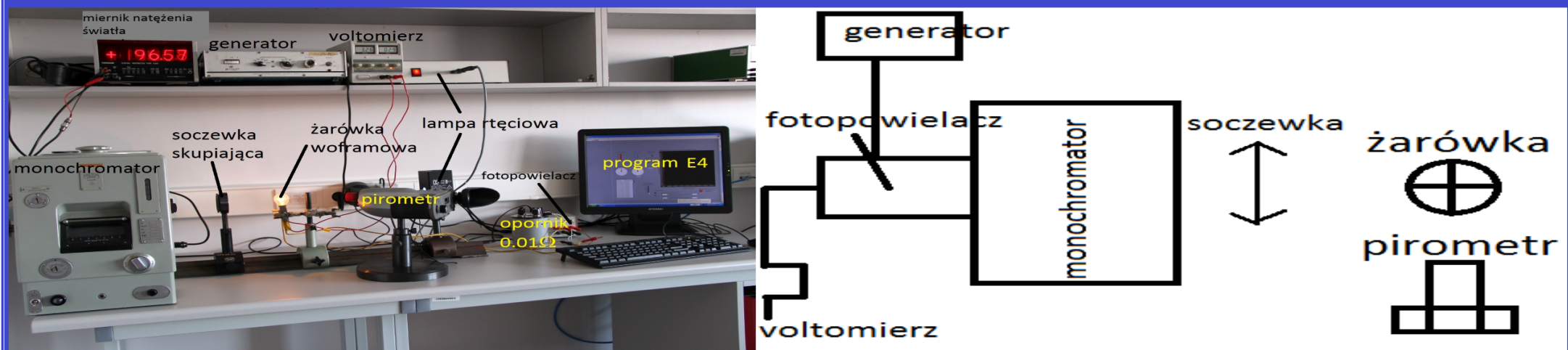
Prawo Plancka i Stefana-Boltzmann

Prawo Plancka

Prawo to opisuje moc promieniowania na jednostkę długości fali promieniowania ciała doskonale czarnego wysyłanego izotropowo przez jednostkową powierzchnię. Wielkość ta jest zdolnością emisyjną $R(\lambda, T)$ i zależy od temperatury i długości fali światła w następujący sposób:

$$R(\lambda, T) = \frac{2c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k T}\right) - 1} = \frac{C_1}{\exp\left(\frac{C_2}{T}\right) - 1}$$

Sprzęt i schemat niezbędny do wykonania doświadczenia przedstawiono na Rys.1:



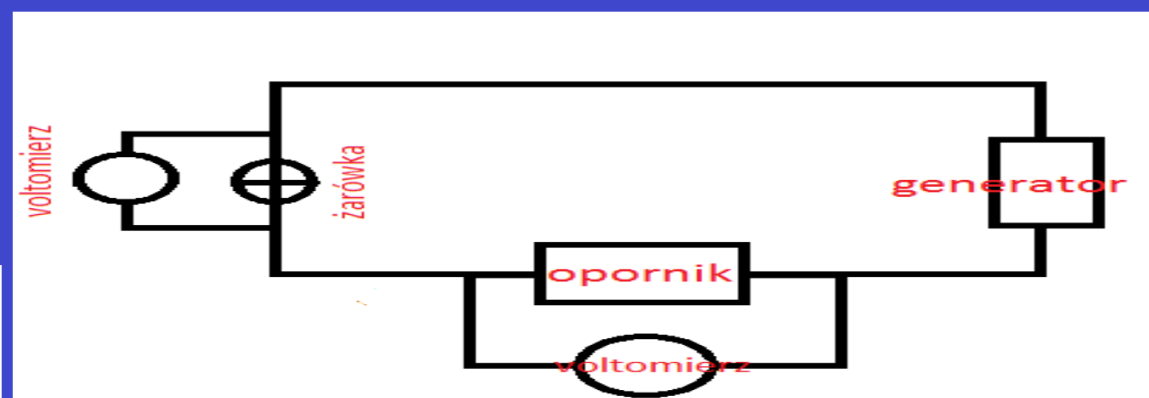
Rys. 1. Sprzęt użyty w eksperymencie i schemat potrzebny do sprawdzenia prawa Plancka.

Prawo Stefana - Boltzmann

Prawo Stefana – Boltzmann mówi, że zdolność emisyjna ciała doskonale czarnego w zakresie wszystkich możliwych częstotliwości jest proporcjonalna do czwartej potęgi temperatury. W rzeczywistych układach elektrycznych występują dodatkowo straty energii na przewodnictwo prądu. Stąd całkowita moc w obwodzie jest sumą mocy związanej z emisją promieniowania i przewodnictwem prądu:

$$P(T) = \sigma(T^4 - T_0^4) + A(T - T_0)$$

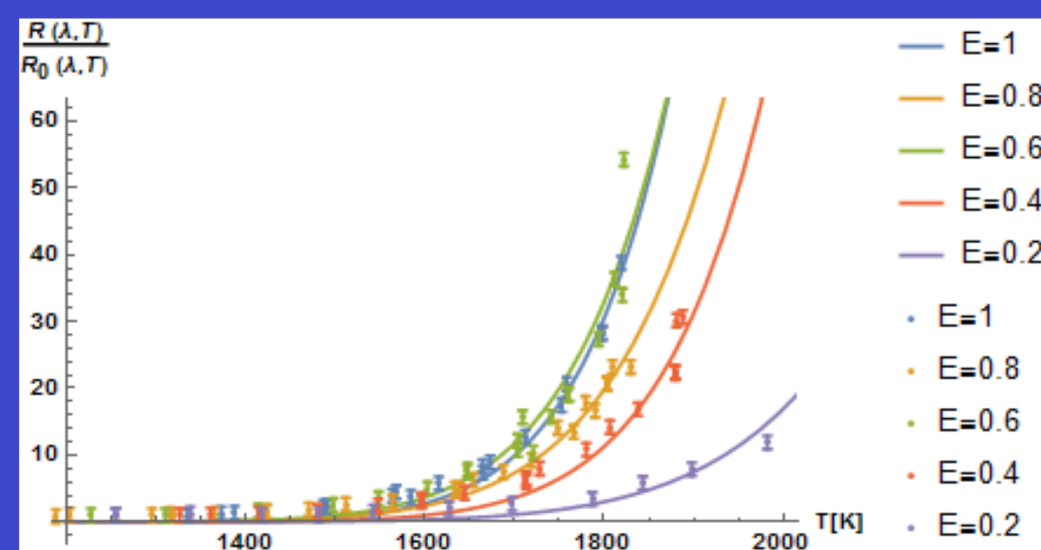
Schemat układu do wyznaczenia prawa Stefana - Boltzmann:



Rys. 2. Schemat obwodu do badania prawa Stefana - Boltzmann.

Prawo Plancka. Wyniki

- Wyznaczono zależność względnej zdolności emisyjnej $R(\lambda, T)/R_0(\lambda, T)$ od temperatury (T).
 - względna zdolność emisyjna mówi, ile razy moc promieniowania żarówki przy danej temperaturze jest większa od najniższej zmierzonej wartości
 - temperatura włókna żarówki jest tzw. temperaturą barwową, którą zmierzono wizualnie, obserwując, czy włókno pirometru złoży się z włóknem żarówki w jego polu widzenia
- Wykonano 5 serii pomiarów zmieniając parametr E opisujący emisyjność włókna pirometru. Okazuje się, że pomiary temperatury były różne. Wpłynęło to na zależność $R(\lambda, T)/R_0(\lambda, T)$ i wartość stałej C_2 . Przedstawiono ten fakt na wykresie 2.



Wyk. 2. Zależność względnej zdolności emisyjnej od zmierzonej temperatury.

Dla współczynników E = 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 otrzymano następujące wartości C_2 :

$$E=1: C_2 = 34425 \pm 265 \text{ K}^{-1}$$

$$E=0.8: C_2 = 30281 \pm 238 \text{ K}^{-1}$$

$$E=0.6: C_2 = 31486 \pm 428 \text{ K}^{-1}$$

$$E=0.4: C_2 = 34779 \pm 420 \text{ K}^{-1}$$

$$E=0.2: C_2 = 31048 \pm 376 \text{ K}^{-1}$$

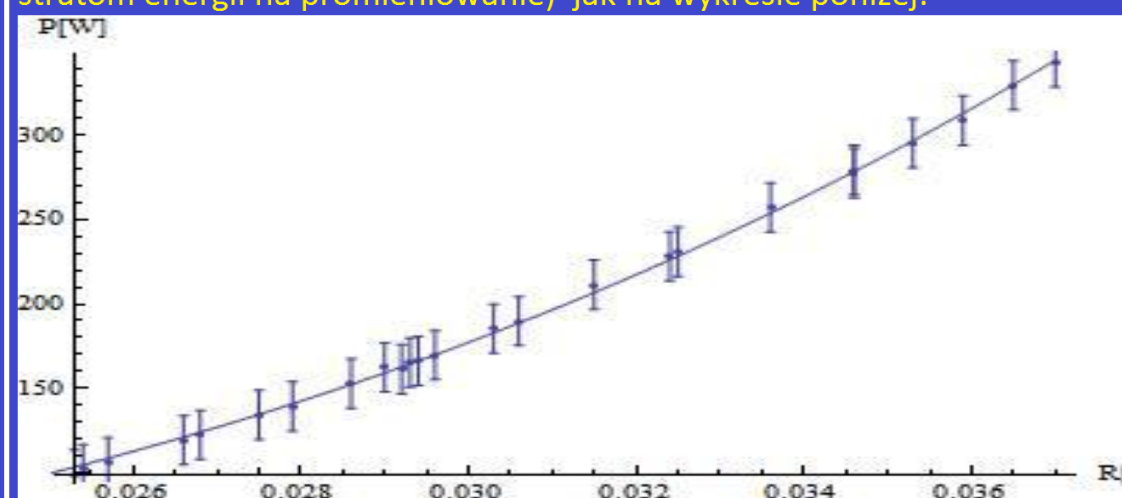
Stała C_2 da się opisać przez stosunek stałej Plancka do stałej Stefana-Boltzmann. Przewidywania teoretyczne

dają wynik $h:k = 4.80145 \cdot 10^{-11} \text{ s K}^{-1}$. Dla E=0.6 otrzymano wynik najbliższy tej wartości, wyniósł on:

$$h:k = (4.7 \pm 0.1) \cdot 10^{-11} \text{ s K}^{-1}$$

Prawo Stefana - Boltzmann. Wyniki

W tej części wyznaczono wykładnik potęgi temperatury. Odseparowano część liniową (straty na przewodnictwo) z zależności mocy na obwodzie od oporu. Dla wysokich temperatur zaobserwowano trend potęgowy (odpowiada to stratom energii na promieniowanie) jak na wykresie poniżej:



Wyk. 3. Zależność mocy wydzielanej na obwodzie od całkowitego oporu elektrycznego w Ω .

Z krzywej najlepszego dopasowania na wykresie wynika, że:

$$n = 3.1(0.1)$$

Opór jest wprost proporcjonalny do temperatury, zatem zależność mocy od oporu jest taka sama.

XX STUDENCKA SESJA PLAKATOWA

INSTYTUT FIZYKI
WYDZIAŁ FIZYKI, ASTRONOMII
I INFORMATYKI STOSOWANEJ UJ



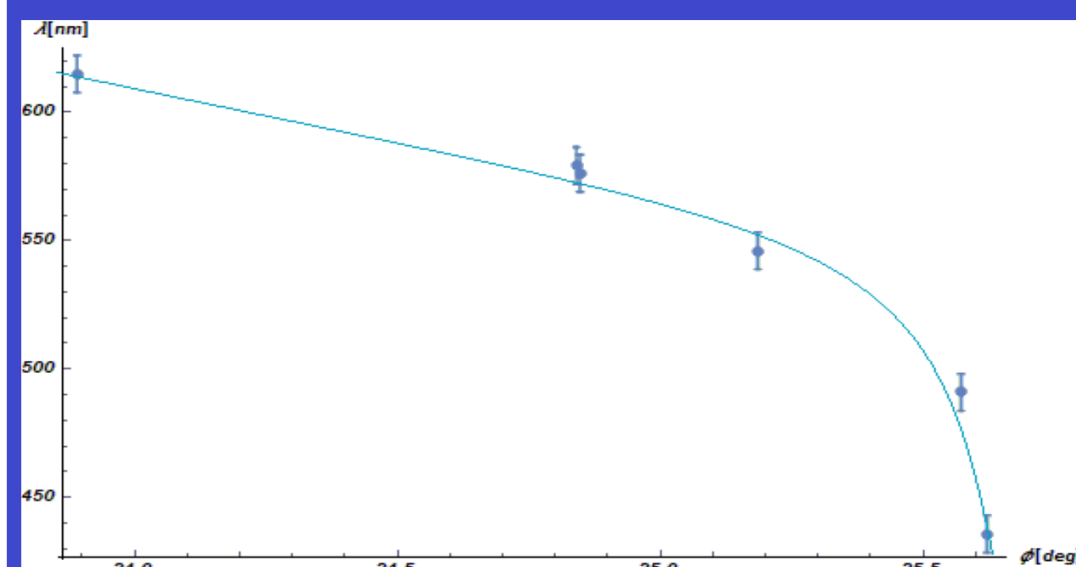
AUTOR:
SKWIRUT MICHAŁ

OPIEKUN:
DR HAB. BARTOSZ SUCH

39

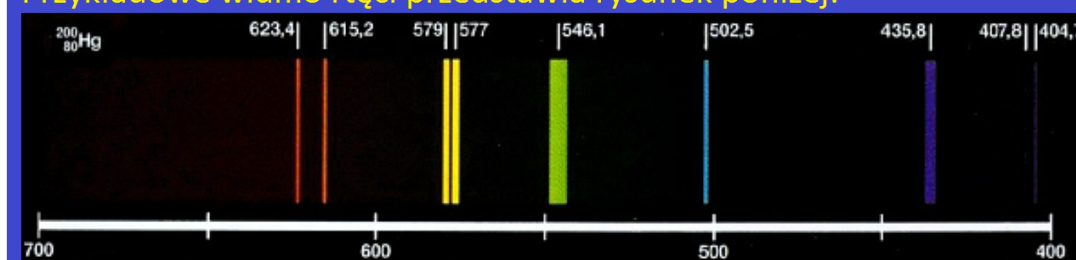
Kalibracja monochromatora

- Obracano pryzmat monochromatora tak, aby zarejestrować skoki natężenia światła z lampy rtęciowej odpowiadające poszczególnym liniom emisyjnym Hg.
- Zaobserwowane linie emisyjne zidentyfikowano i dopasowano krzywą kalibracyjną zależności długości fali od kąta położenia pryzmatu. Fakt ten przedstawia poniższy wykres.



Wyk. 1. Krzywa kalibracyjna zależności długości fali światła od kąta skreślenia pryzmatu. Punkty na wykresie odpowiadają następującym liniom: 615nm, dublet 579 i 577nm, 545nm, 502nm, 435nm.

Przykładowe widmo rtęci przedstawia rysunek poniżej:



Rys. 3. Widmo emisyjne rtęci. [1]

Podsumowanie i dyskusja

W przypadku prawa Plancka otrzymano wyniki zbliżone do rzeczywistego stosunku $h:k$, jednak należy uwzględnić fakt, że włókno żarówki nie jest ciałem doskonale czarnym, więc wartości te mogą się jeszcze różnić. W przypadku prawa Stefana-Boltzmanna popełniono gruby błąd, gdyż teoretyczna wartość wykładnika $n = 4$ (jak było to wcześniej napisane). Przyczyną tego odchylenia była zbyt mała liczba pomiarów i wzięty mały przedział temperatur.

Literatura:

[1] <https://www.salon24.pl/u/zajtenberg/613582>, na - tropach - zielonego - zafarbu
<http://www.2pf.if.uj.edu.pl/web/i-pracownia-fizyczna/z11>