

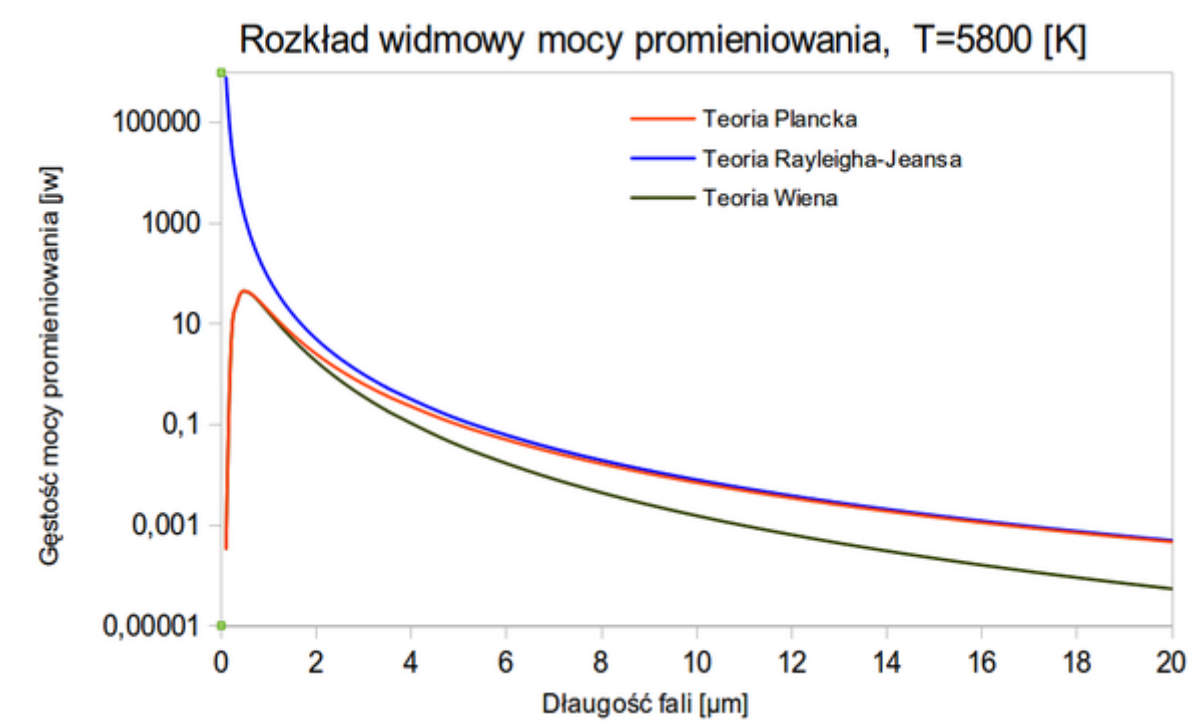
# Ciało doskonale czarne

## Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie rozkładów widmowych mocy promieniowania ciała doskonale czarnego.

## Wstęp

Cząstki naładowane, kiedy zmieniają swoją prędkość, zgodnie prawem zachowania energii, muszą pobrać albo oddać energię do otoczenia. W każdym ośrodku materialnym w temperaturze większej o absolutnego zera drgają atomy, cząsteczki (protony i elektrony) zatem każde ciało promieniuje energię i ją pobiera. Ta energia wypromieniowywana w jednostkowym przedziale częstotliwości ma pewien rozkład, który zależy od temperatury ciała. Zależność ta była jedną z zagadek końca XIX wieku. Było kilka teorii, które starały się opisać te zależności, ale do czasów Maxwella żadna z nich nie potrafiła dobrze opisać wyników pomiarowych w całym zakresie częstotliwości. Modelowym układem do badania zależności wypromieniowanej mocy od długości fali jest ciało doskonale czarne, tj. ciało, które pochłania wszelkie padające na nie promieniowanie. Można je przybliżyć bryłą pustą wewnątrz, z małym otworkiem, przez który wchodzi i wychodzi promieniowanie. Można powiedzieć, że wewnętrzne ścianki takiego ciała są w równowadze termicznej z promieniowaniem wewnątrz bryły, zatem rozkład energii wypromieniowanej przez otworek odpowiada energii wypromieniowywanej przez jej ścianki. Klasyczna teoria Rayleigha-Jeansa dobrze opisywała wyniki pomiarów dla małych częstotliwości (dużej długości fali), niestety prowadziła do „katastrofy” w dla częstotliwości dużych (mała długość fali). Podobnie wzór Wiena dobrze opisywał wyniki dla dużych częstotliwości, za to bardzo źle dla małych (wykres 1.). Dopiero Max Planck najpierw empirycznie znalazł właściwą zależność, która potem uzasadnił teoretycznie wprowadzając pojęcie kwantu promieniowania. Wyjaśnienie tej zależności przyczyniło się do zrewolucjonizowania podstaw fizyki a Planckowi przyniosło nagrodę Nobla.



Rys.1. Porównanie teorii Rayleigha-Jeansa, Wiena i Plancka.

Wykres 1. przedstawia porównanie teorii rozkładów widmowych mocy promieniowania dla ciała o temperaturze powierzchni słońca. Na wykresie 2. przedstawiono porównanie takich rozkładów obliczonych wg prawa Plancka dla różnych temperatur.

Jeśli policzyć całkowitą moc wypromieniowywaną przez ciało (pole pod wykresem rozkładu mocy) to okazuje się że wartość ta jest proporcjonalna do czwartej potęgi temperatury ciała. Stanowi to treść prawa Stefana-Boltzmana:

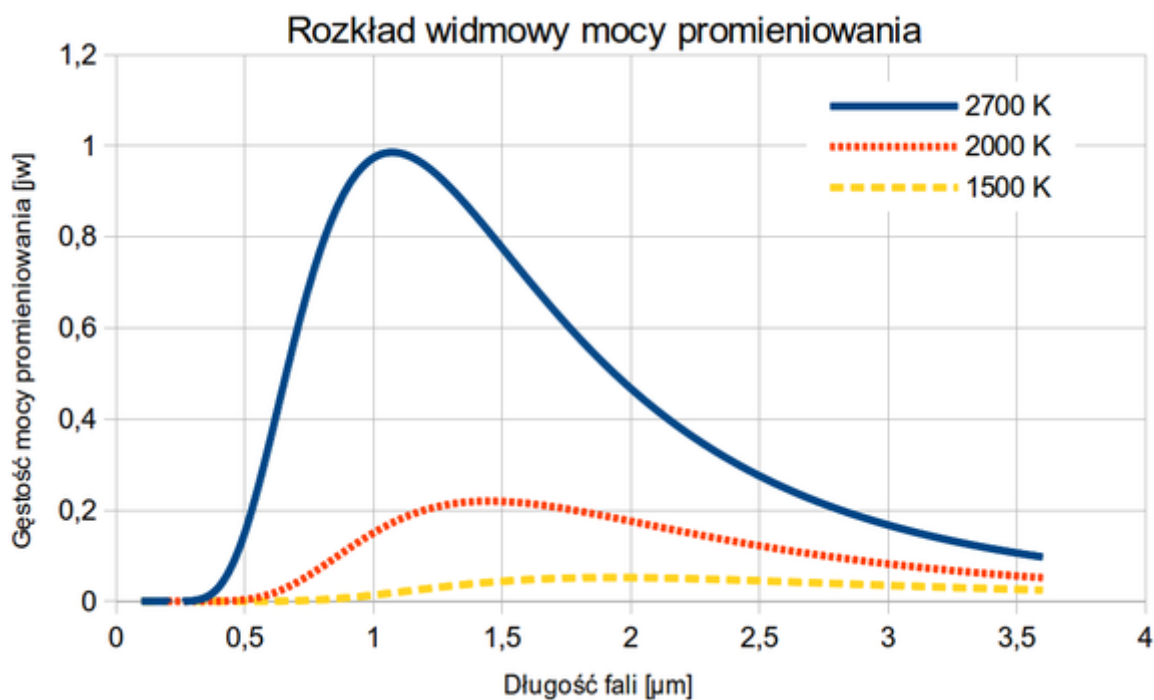
$$\Phi = \sigma T^4$$

gdzie

$\Phi$ - strumień mocy wypromieniowywanej z jednostki powierzchni ciała  $Wm^{-2}$

$\sigma$ - stała Stefana-Boltzmana  $= 5,67 \cdot 10^{-8} [Wm^{-2}K^{-4}]$

T - temperatura [K]



Rys.2. Rozkład mocy promieniowania w funkcji długości fali dla różnych temperatur.

Jak można zaobserwować na rysunku 2. położenie maksimum rozkładu widmowego zależy od temperatury. Im wyższa temperatura tym większa moc wypromieniowana (jaśniejsze światło) ale także tym mniejsza długość fali odpowiadająca maksimum (co wiąże się z obserwowaną barwą światła).

Ostatnią zależność opisuje prawo Wiena:

$$\lambda_{max} = CT$$

gdzie:

$\lambda_{max}$  - długość fali odpowiadająca położeniu maksimum mocy promieniowania [ $\mu\text{m}$ ]

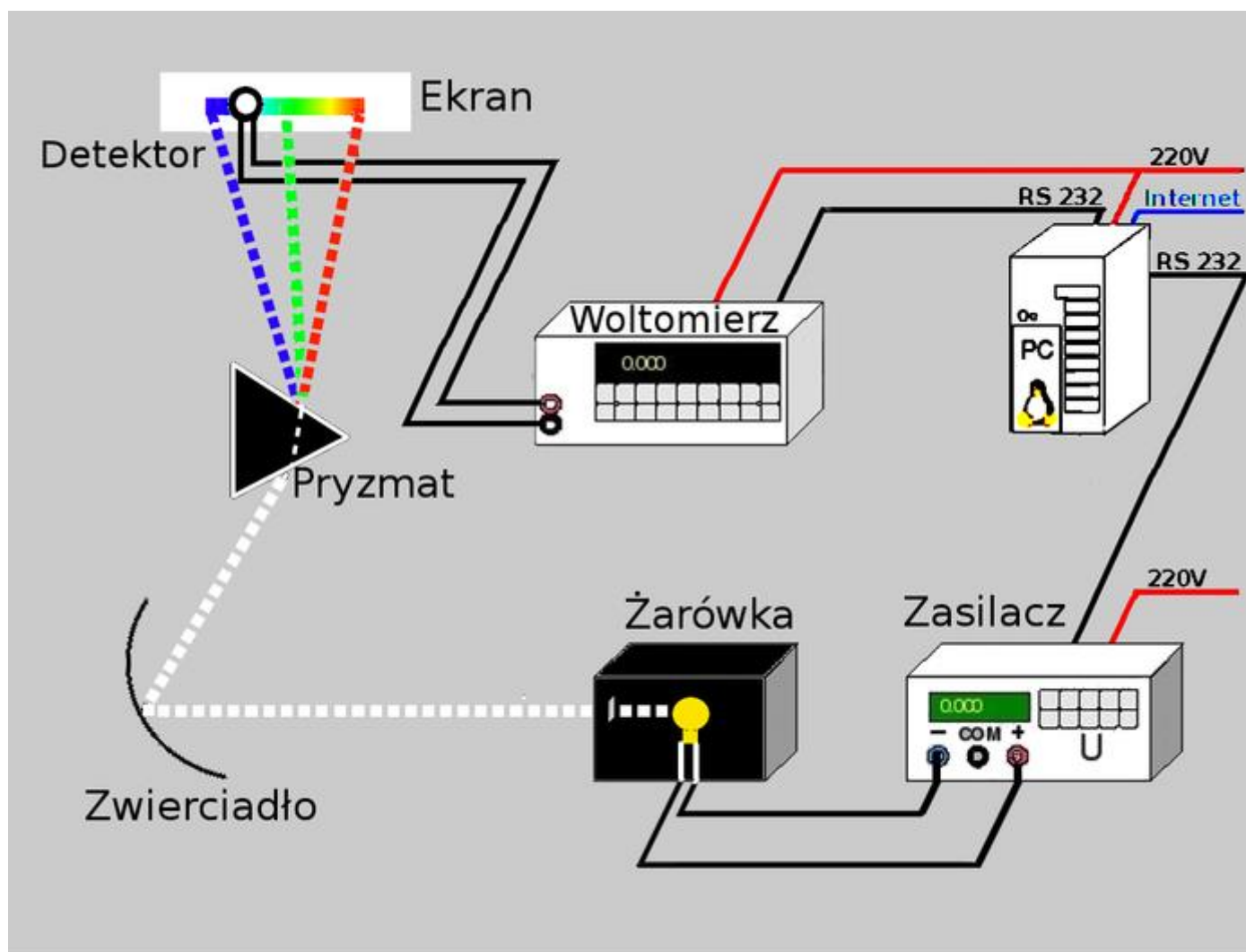
c - stała przesunięć Wiena =  $2,9 \cdot 10^3 [\mu\text{mK}]$

T - temperatura [K]

Badanie rozkładu widmowego promieniujących ciał wykorzystuje się do bezdotykowego pomiaru ich temperatury, np. do badania temperatury surówki w piecach, temperatury gwiazd czy temperatury człowieka. Badania rozkładu promieniowania dochodzącego z kosmosu w zakresie mikrofalowym potwierdziło model wielkiego wybuchu opisującego początek wszechświata.

## Opis układu pomiarowego

Układ pomiarowy składa się ze źródła promieniowania, zwierciadła skupiającego, pryzmatu szklanego, termopary, zasilacza i miernika napięcia. Schemat układu pomiarowego przedstawia rys. :3.



Rys.3. Schemat pomiaru mocy promieniowania elektromagnetycznego

Źródłem ciepła jest żarówka o mocy 50W, z wolframowym żarnikiem grzanym do maksymalnej temperatury 2700 K, umieszczona w domku chłodzonym powietrzem za pomocą wentylatora. Żarówka zasilana jest regulowanym napięciem stałym z programowalnego zasilacza typu PR82116A firmy Hantek sterowanego przez komputer poprzez port szeregowy RS232. Temperatura żarnika jest określona poprzez pomiar oporu żarówki i wykorzystanie zależności oporu wolframu od temperatury. Światło żarówki po przejściu przez szczelinę pada na zwierciadło wklęsłe, które kieruje wiązkę promieniowania na pryzmat wykonany ze szkła kwarcowego. Pryzmat w różny sposób załamuje wiązkę promieniowania o różnej długości fali co prowadzi do rozszczepienia światła białego na widmo barwne, które można zobaczyć na ekranie. Detektorem mocy promieniowania jest

termopara (Dexter ST60) podłączona do multimetru (Rigol DM3061). Termopara jest urządzeniem, które pochłania padające na nią promieniowanie przez co podgrzewane jest jedno złącze co prowadzi do wytworzenia różnicy napięć na obu jej końcach. Wartość tego napięcia jest miarą pochłoniętej mocy. Pozycja termopary jest ustalana przy pomocy mechanizmu z silnikiem krokowym sterowanym przez komputer. Zdjęcie układu pomiarowego ilustruje rys. nr 4.



Rys.4. Zdjęcie układu pomiarowego

### Wykonanie ćwiczenia

Po zalogowaniu się do Laboratorium przyciskiem Podłącz wybieramy parametry pomiaru poprzez ustawienie oczekiwanej wartości w odpowiednim okienku. Ustawiamy:

- Temperaturę włókna żarówki
- Początkową długość fali
- Końcową długość fali
- Liczbę punktów pomiarowych

Wybór liczby punktów oraz czasu zliczeń zależy jest od dokładności, którą zamierzamy uzyskać oraz od czasu jaki możemy poświęcić na pomiar charakterystyk. Po naciśnięciu

przycisku Start rozpoczyna się cykl pomiaru. Komputer sterujący ustawia początkową długość fali i mierzy napięcie na termoparze. W następnym kroku zmienia długość fali o wartość wynikającą z podziału różnicy końcowej i początkowej długości fali przez wybraną liczbę punktów. Poprzez sieć internetową wyniki pomiarów są sukcesywnie przesyłane na komputer użytkownika i wyświetlane w postaci wykresu zależności napięcia na termoparze od długości fali na ekranie monitora. W dowolnej chwili można przerwać pomiar, zapisać dane na dysku, zmienić parametry i ponownie uruchomić pomiary. Pomiary wykonujemy dla kilku temperatur włókna żarówki.

### Opracowanie wyników

Wykonujemy wykresy zależności mocy promieniowania od długości fali dla różnych temperatur źródła. Z wykresów znajdujemy maksymalne wartości mocy dla każdej temperatury, Wykonujemy wykres zależności  $\lambda_{max}$  od  $T-1$ . Ze wzoru Wiena wynika że zależność ta powinna być funkcja liniową. Z nachylenia charakterystyki wyznaczamy stałą przesunięć C.

