



ĆWICZENIE

22a

LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ

## Rozchodzenie się światła w przestrzeni

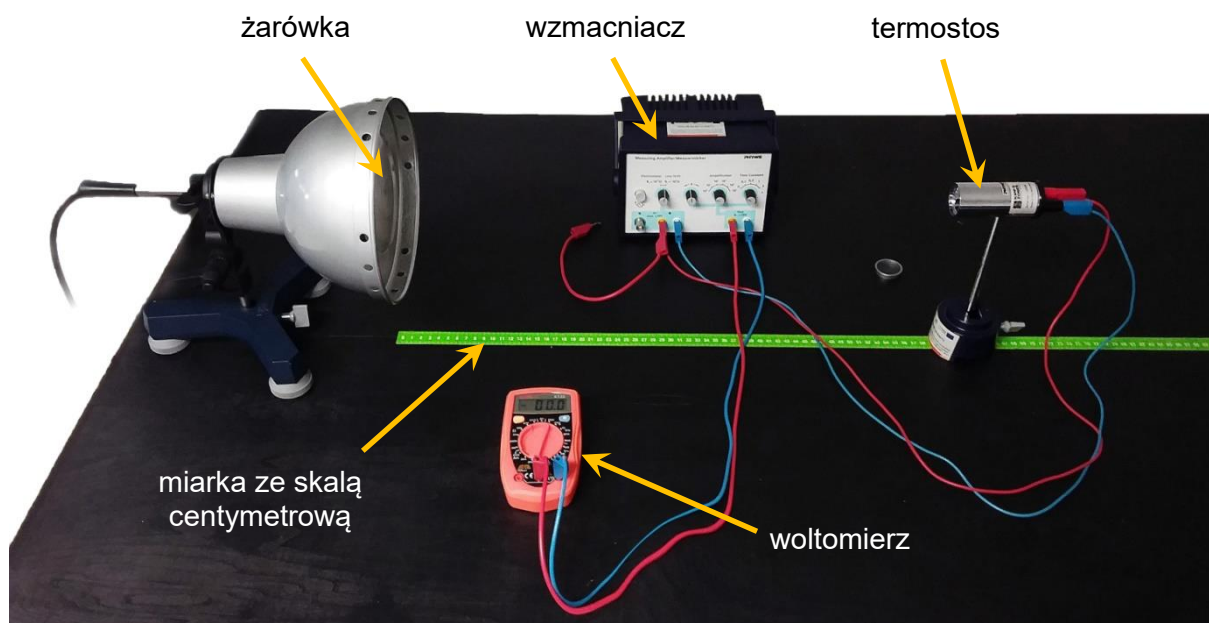
### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest sprawdzenie, jak zmienia się natężenie promieniowania elektromagnetycznego z zakresu zbliżonego do światła widzialnego, gdy rozchodzi się ono w przestrzeni. W tym celu zostanie użyty układ pomiarowy, w którym można regulować odległość pomiędzy punktowym źródłem światła a miernikiem natężenia światła.

### 2. Układ doświadczalny

W skład układu doświadczalnego wchodzi:

- żarówka jako (w przybliżeniu) punktowe źródło światła,
- termostos,
- wysokooporowy wzmacniacz,
- woltomierz,
- miarka ze skalą centymetrową,
- nieprzezroczysta przesłona.



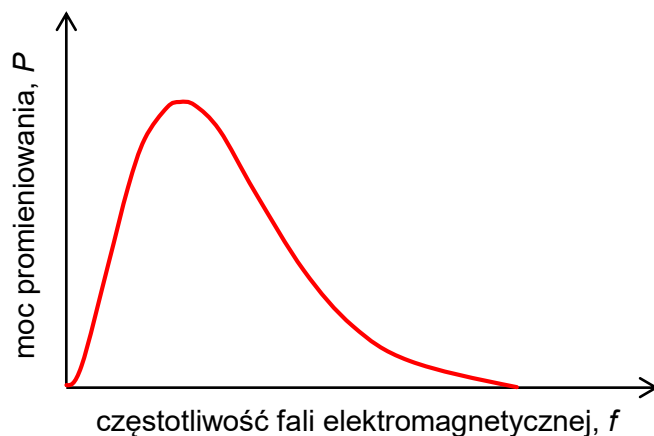
Rys. 1. Z.

### 3. Wstęp teoretyczny

#### 1. Promieniowanie ciała doskonale czarnego

Ciało doskonale czarne to hipotetyczny obiekt, który nie odbija żadnego padającego nań promieniowania elektromagnetycznego. Obiekt taki może jednak sam z siebie emitować promieniowanie i właśnie takie zjawisko określa się mianem promieniowania ciała doskonale czarnego.

W rzeczywistości doskonale czarne obiekty nie istnieją, ale są takie, dla których ilość odbijanego promieniowania z pewnego zakresu jest pomijalnie mała w porównaniu z ilością promieniowania emitowanego. Przykładem takich obiektów są gwiazdy oraz żarówki, które stanowią dobre przybliżenie ciała czarnego w zakresie światła widzialnego, a także podczerwieni oraz (w przypadku gwiazd) nadfioletu. Emisja promieniowania przez te obiekty związana jest ze stosunkowo wysoką temperaturą powierzchni tych obiektów. W przypadku gwiazdy, jaką jest Słońce, temperatura ta wynosi ok.  $5500^{\circ}\text{C}$ . W przypadku większości żarówek temperatura żarnika wykonanego z wolframu to ok.  $2500^{\circ}\text{C}$ . Widmo takiego promieniowania jest ciągłe, co oznacza, że emitowane światło ma szereg różnych częstotliwości, z których żadna nie jest wyróżniona (rys. 2). Całkowita emitowana moc promieniowania jest proporcjonalna do czwartej potęgi temperatury, co opisuje prawo odkryte w 1879 r. przez Jożefa Stefana i Ludwiga Boltzmanna. Z kolei maksimum natężenia promieniowania przypada na jedną z częstotliwości, która (zgodnie z prawem odkrytym w 1893 r. przez Wilhelma Wiena) jest proporcjonalna do temperatury ciała. Mimo znajomości tych zależności widmo promieniowania ciała doskonale czarnego zostało po raz pierwszy poprawnie opisane dopiero w 1900 r. przez Maxa Plancka, który założył cząstkową naturę światła, a każdej cząstce światła (*fotonowi*) przypisał energię proporcjonalną do częstotliwości tego światła. Fotony ulatując z emitującego je ciała unoszą zatem pewną porcję energii (*kwant*, od łac. „quantum” – „jak dużo”), którą przekazują obiektowi, do którego dotrą. Zwykle powoduje to ogrzanie tego oświetlonego obiektu (ale może też spowodować inne procesy, jak np. efekt fotoelektryczny).



Rys. 2. Widmo promieniowania ciała doskonale czarnego.

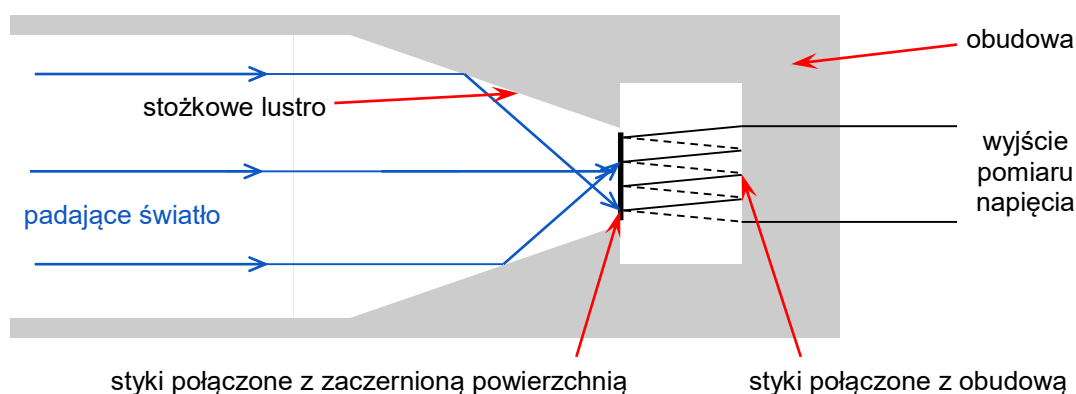
#### 2. Działanie termostosu

Termostos to nic innego jak zestaw kilkunastu szeregowo połączonych termopar. Z kolei każda termopara składa się dwóch styków różnych metali lub ich stopów. Na każdym styku dwóch metali obecne są różnice potencjałów (czyli napięcie) spowodowane temperaturą. Wynika to z dwóch zjawisk. Po pierwsze w tej samej temperaturze w różnych przewodnikach elektrony mają różny rozkład energii, więc na styku dwóch materiałów część elektronów z jednego przepływa (dyfunduje) samoistnie do drugiego, aż do osiągnięcia stanu równowagi. Po drugie nawet w jednym przewodniku może powstać różnica rozkładów energii elektronów w różnych miejscach, jeśli dwa jego końce

znajdują się w różnych temperaturach. To również skutkuje powstaniem napięcia zależnego od różnicy temperatur.

Aby wykorzystać termostos do pomiaru mocy promieniowania, należy jeden z jego elementów zaczernić tak, by pochłaniał jak najwięcej padającego nań promieniowania (od dalekiej podczerwieni do nadfioletu) – to spowoduje jego podgrzanie. Do tego elementu podłącza się parzyste styki zestawu termopar, zaś nieparzyste połączone są z masywną obudową. Duża masa i lustrzana powierzchnia obudowy powoduje, że jej temperatura zmienia się w niewielkim stopniu. W warunkach stałego oświetlenia i równowagowego przepływu ciepła wewnątrz tak przygotowanego urządzenia napięcie okazuje się być proporcjonalne do mocy padającego światła, niezależnie od widma tego światła. Stan taki stabilizuje się zwykle w ciągu kilku sekund. Oczywiście po bardzo długim pomiarze zmieni się także temperatura obudowy, co wprowadza konieczność zerowania wskazań podczas długiej sesji pomiarowej.

Konstrukcja obudowy termostosu używanego do pomiaru strumienia światła cechuje się także kierunkowością, jest bowiem zrobiona na zasadzie stożkowego lustra, które koncentruje światło padające z jednego kierunku na wyczernionym elemencie. Oczywiście jest to ograniczona kierunkowość, zatem należy dbać, by w otoczeniu mierzonego źródła światła nie znalazło się inne, które mogłoby zakłócić pomiar. Ciała cieplejsze niż obudowa termostosu będą zawyżać napięcie, zaś te zimniejsze – zaniżać je.



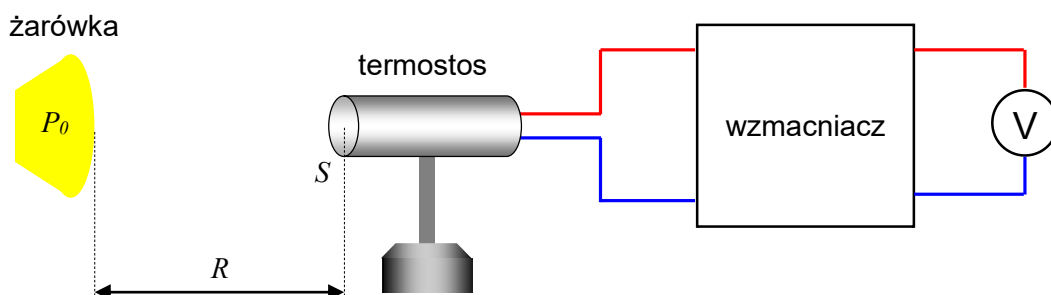
Rys. 3. Konstrukcja i zasada działania termostosu jako kierunkowego detektora światła.

### 3. Hipoteza

W pustej przestrzeni promieniowanie elektromagnetyczne (a więc także światło widzialne, podczerwień i nadfiolet) porusza się po liniach prostych. Jeśli rozważa się punktowe źródło światła, to promieniowanie z niego wychodzące powinno w takim wypadku rozkładać się równomiernie na powierzchni kuli, której środkiem jest to źródło. Jeśli literą  $R$  oznaczymy promień tej kuli, to przez jej pole powierzchni równe  $4\pi R^2$  przenika promieniowanie o mocy  $P_0$  równej mocy źródła. Oznacza to, że na jednostkę powierzchni powinna przypadać moc  $P_0/4\pi R^2$ . Jeśli zatem w odległości  $R$  od źródła ustawimy detektor o znanej powierzchni  $S$ , to zmierzona nim moc powinna wynosić:

$$P(R) = \frac{S \cdot P_0}{4\pi R^2} \quad (1)$$

Ponieważ  $S$ ,  $P_0$  i  $4\pi$  są stałe, zależność tę można zapisać także jako  $P(R)=const/R^2$ . W ćwiczeniu będziemy badać, czy rzeczywiście ta zależność jest prawdziwa.



Rys. 4. Schemat przeprowadzania pomiaru.

#### 4. Przebieg doświadczenia

A) Przed włączeniem układu pomiarowego sprawdzić poprawność ustawień i połączenia jego poszczególnych elementów zgodnie z rys. 4. W razie wątpliwości skonsultować się z obsługą laboratorium.

B) Włączyć poszczególne elementy układu pomiarowego. Jeśli termostos ma założoną przesłonę okienka, to należy ją zdjąć i odłożyć w bezpieczne miejsce.

C) Odłączyć termostos od wzmacniacza, przy pomocy jednego z przewodów zewrzeć oba bieguny wejścia wzmacniacza i odpowiednim pokrętełm wyzerować wskazania woltomierza.

**Uwaga:** Gdyby nie udało się uzyskać dokładnie wartości 0 na wyświetlaczu woltomierza, należy zapamiętać lub zapisać ustawioną wartość jako poprawkę na zerowanie.

D) Rozewrzeć wejście wzmacniacza i podłączyć do niego z powrotem termostos, po czym ustawić termostos w wybranej odległości  $R$  od żarówki zgodnie z rys. 4. (Zakres dozwolonych odległości skonsultować z obsługą laboratorium.) Termostos powinien znajdować się na tej samej wysokości, co środek żarówki.

**Uwaga:** Zwrócić uwagę na to, że odległość  $R$  jest liczona od powierzchni lampy i termostosu, a nie od ich wnętrza! Wynika to zarówno z budowy termostosu i lampy, jak i faktu, że na etapie pomiarów nie trzeba znać faktycznej odległości, ponieważ do zmierzonych wartości można wprowadzić odpowiednią poprawkę już podczas obróbki wyników.

E) Obracając termostos wokół osi pionowej wycelować nim w środek żarówki, to znaczy tak, by wskazania woltomierza były maksymalne.

F) Zapisać wartości odległości  $R$  oraz napięcia wskazywanego przez woltomierz  $U$ .

G) W połowie odległości pomiędzy żarówką a termostosem wstawić nieprzezroczystą przesłonę tak, by światło nie mogło przelatywać bezpośrednio z żarówki do termostosu. Po ustabilizowaniu się wskazań woltomierza zapisać napięcie jako  $U_{ito}$ , czyli napięcie powstające w wyniku docierania do termostosu światła z otoczenia lub odbitego od otoczenia światła z żarówki.

**Uwaga:** przesłona powinna mieć tę samą temperaturę co otoczenie, ponieważ jeśli będzie miała inną temperaturę, to termostos zmierzy różnicę pomiędzy promieniowaniem wychodzącym z otoczenia i z przesłony, co zafałszuje wyniki pomiaru.

H) Pomiarów powtórzyć dla kilku różnych odległości  $R$ , za każdym razem zapisując wartości  $R$ ,  $U$  i  $U_{ito}$  jako kolejne wiersze tabeli z wynikami pomiaru. Liczbę pomiarów oraz zakres odległości ustalić z obsługą laboratorium.

I) Po zakończeniu pomiarów wyłączyć układ pomiarowy zgodnie z dołączonym opisem.

**J)** Uzupełnić tabelę z wynikami o kolumnę zawierającą moc promieniowania docierającego do termostosu obliczoną na podstawie równania:

$$U - U_{t0} = A \cdot P \quad (2)$$

gdzie  $U$  i  $U_{t0}$  to wielkości zmierzone,  $P$  to moc promieniowania docierającego do termostosu, a  $A$  to współczynnik dostarczony przez producenta termostosu (załączony w opisie stanowiska).

**K)** Aby zweryfikować postawioną w ćwiczeniu hipotezę, że oczekiwana zależność ma postać  $P = \text{const}/R^2$ , należy wybrać jedno z możliwych przekształceń:

- $x = 1/R^2, y = P$
- $x = 1/P^{1/2}, y = R$
- $x = \ln R, y = \ln P$

Uzupełnić tabelę o obliczenia zgodne z wybranym przekształceniem i wykonać wykres zmierzonej zależności we współrzędnych  $(x, y)$ . Powinien on mieć kształt linii prostej o wzorze  $y = a \cdot x + b$ . Czy tak jest w rzeczywistości? Jeśli tak, to jakich informacji dostarczają współczynniki  $a$  i  $b$ ? Jeśli nie, to co może być przyczyną niezgodności? Czy wprowadzenie stałej poprawki (dodanie lub odjęcie) do wszystkich odległości  $R$  wpływa na kształt otrzymanej linii?

**L)** Oszacować niepewności pomiarowe zmierzonych i obliczonych wielkości. Jak to oszacowanie wpływa na wnioski wyciągnięte z pomiaru?