

ZADANIE F3

BADANIE INTERFERENCJI MIKROFAL PRZY UŻYCIU INTERFEROMETRU MICHELSONA

I. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze zjawiskiem interferencji w zakresie fal mikrofalowych. Wyznaczona zostanie długość fali i częstość promieniowania elektromagnetycznego w zakresie mikrofalowym.

II. Wprowadzenie

Pierwotnie urządzenie zwane Interferometrem Michelsona posłużyło w doświadczeniu Michelsona-Morleya do wykazania stałości prędkości światła w układach odniesienia poruszających się względem siebie, a tym samym do obalenia teorii eteru. Aktualnie urządzenie to ma szereg zastosowań w technice i może być, jak w przypadku tego doświadczenia, wykorzystane do wyznaczania długości fali promieniowania elektromagnetycznego.

Emitowane przez nadajnik promieniowanie elektromagnetyczne dociera do płytki półprzepuszczalnej, gdzie jest rozdzielone na dwie prostopadłe wiązki (patrz rys. 1). Obie odbijają się od dwóch oddzielnych reflektorów R1 i R2, a potem kierowane są ponownie na płytkę półprzepuszczalną. Po przejściu przez płytkę łączą się w jedną wiązkę i trafiają do detektora (bieg wiązki ilustrują strzałki na rys. 1). Wskutek tego, promieniowanie elektromagnetyczne docierające do detektora jest złożeniem dwóch wiązek pochodzących z jednego źródła, ale przebywającego różne drogi.

Regulując położenie jednego z reflektorów, zmienia się drogę optyczną. Tym samym zmienia się wzajemne przesunięcie fazowe obu wiązek. Dobierając odpowiednie położenie reflektora można zaobserwować w detektorze minima i maksima natężenia promieniowania do niego docierającego. Na tej podstawie możliwe jest wyznaczenie długości fali.

Natężenie sinusoidalnej fali elektromagnetycznej I jest proporcjonalne do kwadratu amplitudy E_{max} pola elektrycznego E :

$$E = E_{max} \cos(\omega t + \varphi),$$

$$I \sim E_{max}^2,$$

gdzie ω to częstość kołowa fali elektromagnetycznej a φ to przesunięcie fazowe, t to czas. Złożenie dwu fal o identycznej częstości i amplitudzie a przesuniętych w fazie o φ daje:

$$E = E_{max} \cos(\omega t) + E_{max} \cos(\omega t + \varphi) = 2E_{max} \cos \frac{\varphi}{2} \cos \left(\omega t + \frac{\varphi}{2} \right).$$

Amplituda fal złożonych E_0 wynosi więc:

$$E_0 = 2E_{max} \cos \frac{\varphi}{2}$$

a natężenie:

$$I \sim E_0^2 = 4E_{max}^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} = I_0 \cos^2 \frac{\varphi}{2}.$$

Przesunięcie fazowe φ może wynikać z, np. różnicy dróg Δx , które pokonują fale składowe. Wtedy:

$$\varphi = k\Delta x = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta x,$$

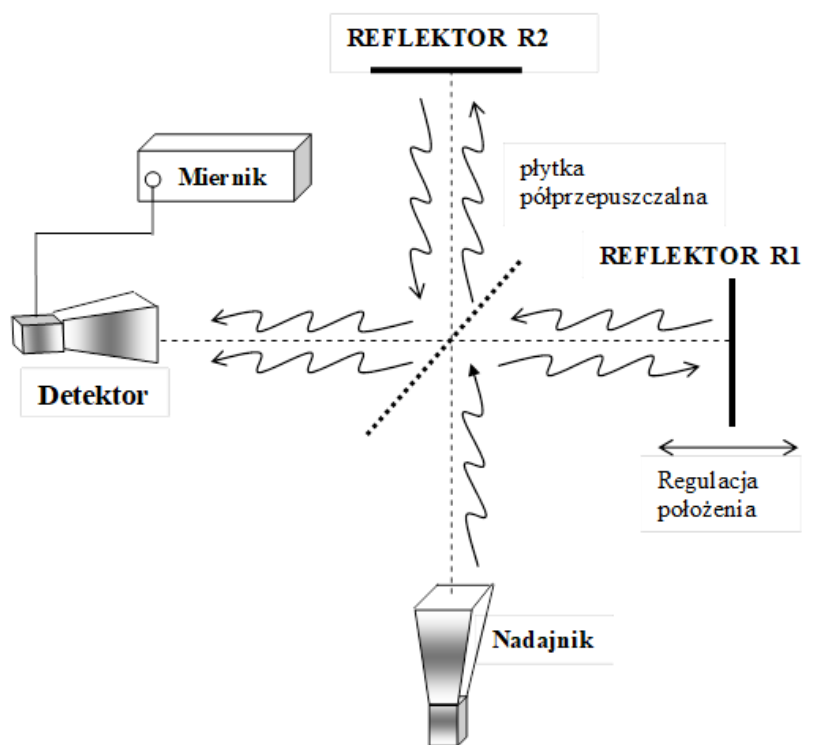
gdzie k to wektor falowy a λ jest długością fali. Zauważmy, że wzór na natężenie fal złożonych możemy przekształcić do:

$$I_0 \cos^2 \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{2} I_0 (\cos\varphi + 1).$$

III. Wykonanie pomiarów

Układ pomiarowy (rys. 1) składa się z:

- nadajnika mikrofal PASCO WA-9801
- odbiornika mikrofal PASCO WA-9800
- 2 reflektorów
- płytki półprzepuszczalnej
- prowadnic do ustawienia reflektorów
- obrotowego mocowania płytki półprzepuszczalnej



Rysunek 1. Schemat układu pomiarowego

Nadajnik mikrofalowy składa się z diody Gunna oraz wnęki rezonansowej. Dioda Gunna działa jak nieliniowy rezystor, oscylujący w paśmie mikrofal. Zapewnia koherentną, liniowo spolaryzowaną falę elektromagnetyczną o częstotliwości 10,525 GHz i mocy 15 mW. Dołączona tuba kieruje wiązkę promieniowania mikrofalowego skupioną wzdłuż osi tuby.

Odbiornik mikrofalowy zapewnia odczyty w przybliżeniu proporcjonalne do natężenia padającego sygnału mikrofalowego. Identyczna jak w przypadku nadajnika tuba zbiera sygnał i przesyła go do diody Schottky'ego umieszczonej we wnęce rezonansowej odpowiadającej

10,525 GHz. Dioda zbiera odpowiedź tylko w przypadku sygnału mikrofalowego spolaryzowanego wzdłuż diody. Fale docierające do diody mogą być tłumione w czterech zakresach, a pokrętko o zmiennej czułości pozwala na precyzyjne dostrojenie tłumienia w każdym zakresie. Ustawienia wyboru INTENSYWNOŚĆ (30X, 10X, 3X, 1X) to wartości, przez które należy pomnożyć odczyt licznika aby znormalizować swoje pomiary. Wybór 30X na przykład oznacza, że należy pomnożyć odczyt miernika przez 30, aby uzyskać tę samą wartość, która byłaby zmierzona dla tego samego sygnału z opcją INTENSYWNOŚĆ ustawioną na 1X. Oczywiście jest to prawdą tylko przy identycznym ustawieniu położenia pokrętki ZMIENNA CZUŁOŚĆ. Warto wiedzieć również, że w ogólności dioda detektora w odbiorniku jest urządzeniem nieliniowym. Ta nieliniowość nie będzie stanowić problemu w większości eksperymentów. Jest to jednak ważne, że odczyt licznika nie jest wprost proporcjonalny ani do pola elektrycznego (E) ani natężenia (I) fali, natomiast odzwierciedla w ogólności jakąś wartość pośrednią.

Wykonanie ćwiczenia:

1. Włącz zasilanie generatora mikrofal i miernika. Ustaw na mierniku pomiar napięcia w modzie wysokich częstotliwości.
2. Ustaw płytkę tak, aby mikrofałe przebiegały tak jak zaznaczono na rys. 1. To jest bardzo ważne.
3. Ustaw optymalny kąt nachylenia płytki. Jak można sprawdzić, czy ustawienie jest faktycznie optymalne?
4. Ustaw optymalny zakres miernika i tłumienia na detektorze (dobierz tłumienie do zakresu miernika).
5. Ustaw reflektory w porównywalnych odległościach od płytki.
6. Korzystając ze śruby mikrometrycznej, znajdź położenie reflektora R1 dla którego natężenie mikrofal w detektorze jest maksymalne.
7. Wyznacz położenie reflektora dla kilku minimów i maksimów.
8. Zmierz natężenie fali w funkcji położenia reflektora R1, pomiędzy dwoma maksimami.
9. Zmierz osobno natężenie interferujących wiązek. Jak można to łatwo zrobić? Jak oszacować niepewność pomiaru?

UWAGA! Należy unikać stawiania na linii wiązki mikrofal, aby nie stać się „konkurencyjnym reflektorem” i w ten sposób nie zafalszować wyników!

IV. Analiza wyników pomiarów

Raport powinien zawierać:

- Wyznaczenie długości fali wykorzystywanych w ćwiczeniu mikrofal. Analiza powinna zawierać wykres położenia kolejnego ekstremum interferencyjnego w funkcji numeru porządkowego i dopasowanie funkcji liniowej.
- Porównanie uzyskanego wyniku z częstością nominalną. Jakiej częstości odpowiada wyznaczona długość fali? Jak ta częstość ma się do częstości nominalnej?
- Porównanie danych doświadczalnych z teoretyczną krzywą intensywności mikrofal docierających do detektora w funkcji położenia zwierciadła.

Jeśli na którymś z etapów analizy danych prowadzisz dopasowanie zależności modelowej metodą najmniejszych kwadratów, obowiązkowo podaj postać dopasowywanej funkcji oraz określ przyjęte niepewności. Podaj uzasadnienie wyboru zmiennej niezależnej, za wyjątkiem sytuacji, w których ona jest z góry narzucona. Przeprowadź walidację modelu uwzględniającą zasadność przyjętych niepewności pomiarowych. Jako wynik dopasowania podaj estymaty dopasowywanych parametrów wraz z ich niepewnościami. W uzasadnionych przypadkach przedyskutuj istotność dopasowywanych parametrów. Do dobrej praktyki należy również w przypadku dopasowania funkcji opisanej więcej niż jednym parametrem podanie kowariancji i współczynników korelacji parametrów a także wykresu reszt z tego dopasowania oraz jego dyskusja.

Pamiętaj też, że najczęściej używana metoda najmniejszych kwadratów wymaga wyników pomiarowych, z których każdy uzyskany jest w niezależnym akcie pomiarowym. **Nie mają takiego charakteru wielkości uzyskane np. w wyniku odejmowania jednej ustalonej wartości od wszystkich wyników pomiarów, jeśli wartość odejmowana pochodzi z pomiaru.**

V. Dodatkowe uwagi odnośnie do raportu

Nim przygotujesz raport, zaznajom się z uwagami zawartymi w [wymaganiach dotyczących raportu](#) zamieszczonymi na stronie pracowni. Absolutnie zalecane jest także świadome przyjrzenie się redakcji tekstu, a także tabel, rysunków i wzorów, sposobów ich numerowania, tytułowania i opisywania w dowolnym, ale wydanym przez uznane wydawnictwo, akademickim podręczniku do fizyki, jak również zajrzenie do kilku publikacji w różnych czasopismach naukowych, co może ułatwić podjęcie decyzji co do podziału Twojego raportu na części.

W raporcie **obowiązkowo** zamieść wszystkie surowe wyniki pomiarów tak, aby sięgając jedynie do raportu i bez potrzeby odwoływania się do protokołu z doświadczenia można było wykonać pełną i niezależną analizę Twych danych. Pamiętaj, że w niektórych przypadkach uzasadnione jest przeniesienie tych danych do Suplementu. W przypadku bardzo dużej liczby danych pomiarowych (np. zebranych komputerowo) dopuszczalne jest umieszczenie danych nie w formie tabel, ale w formie wykresów. Wówczas oryginalne dane należy dołączyć do raportu w formie cyfrowej (np. w wiadomości email do prowadzącego).

VI. Literatura uzupełniająca

- D. Holliday, R. Resnick, *Podstawy fizyki*, tom II i tom IV, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996

Pytania i zadania definiujące wymagania do ćwiczenia

Problem 1. Płaska fala elektromagnetyczna rozchodzi się wzdłuż osi x . Narysuj odpowiadający jej rozkład pola elektrycznego i magnetycznego.

Problem 2. Wyznacz zakres energii promieniowania elektromagnetycznego odpowiadający zakresowi długości fali od 1 mm do 1 m (zakres mikrofalowy). Wynik wyraż w dżulach i elektronowoltach.

Problem 3. Dane są dwa punktowe źródła światła oddalone od siebie o l . Źródła promieniują synchronicznie fale o długości λ . W odległości d od źródeł ustawiono ekran, na którym obserwuje się prążki interferencyjne, przy czym $d \gg l, \lambda$, a ekran ustawiono prostopadle do symetralnej odcinka łączącego źródła. Obliczyć odległość między prążkiem centralnym a kolejnym prążkiem interferencyjnym.

Problem 4. Niespolaryzowana wiązka światła pada na płytkę szklaną o współczynniku załamania n . Pod jakim kątem należy skierować wiązkę aby wiązka odbita była całkowicie spolaryzowana.

Problem 5. Fala elektromagnetyczna o wektorze falowym \mathbf{k} i częstości ω rozchodzi się w próżni w kierunku \mathbf{r} . Polaryzacja fali określona jest przez wektor $\boldsymbol{\sigma}$, a amplituda jest równa E . Podaj wyrażenie opisujące zależność pola elektrycznego i magnetycznego od położenia i czasu.