



ĆWICZENIE

24a

LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ

Laserowy interferometr Michelsona

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie falowych właściwości światła widzialnego, w szczególności zjawisk takich jak dyfrakcja oraz interferencja destruktywna i konstruktywna. Wykonane pomiary pozwalają dodatkowo na wyznaczenie długości fali mierzonego promieniowania przy pomocy tzw. interferometru Michelsona.

2. Układ doświadczalny

W skład układu doświadczalnego (rys. 1) wchodzi:

- laser helowo-neonowy z zasilaczem wysokiego napięcia,
- ekran,
- płytką szklaną częściowo przepuszczającą światło,
- zestaw luster z precyzyjną regulacją kąta odbicia,
- soczewka skupiająca,
- podstawki magnetyczne do luster i soczewki,
- specjalny uchwyt na lustro z dźwignią o przełożeniu 1:20,
- śruba mikrometryczna z obrotową tarczą z otworami,
- fotokomórka do zliczania otworów w tarczy.

Ponadto cały układ pomiarowy umieszczony jest na specjalnej podstawie redukującej drgania.

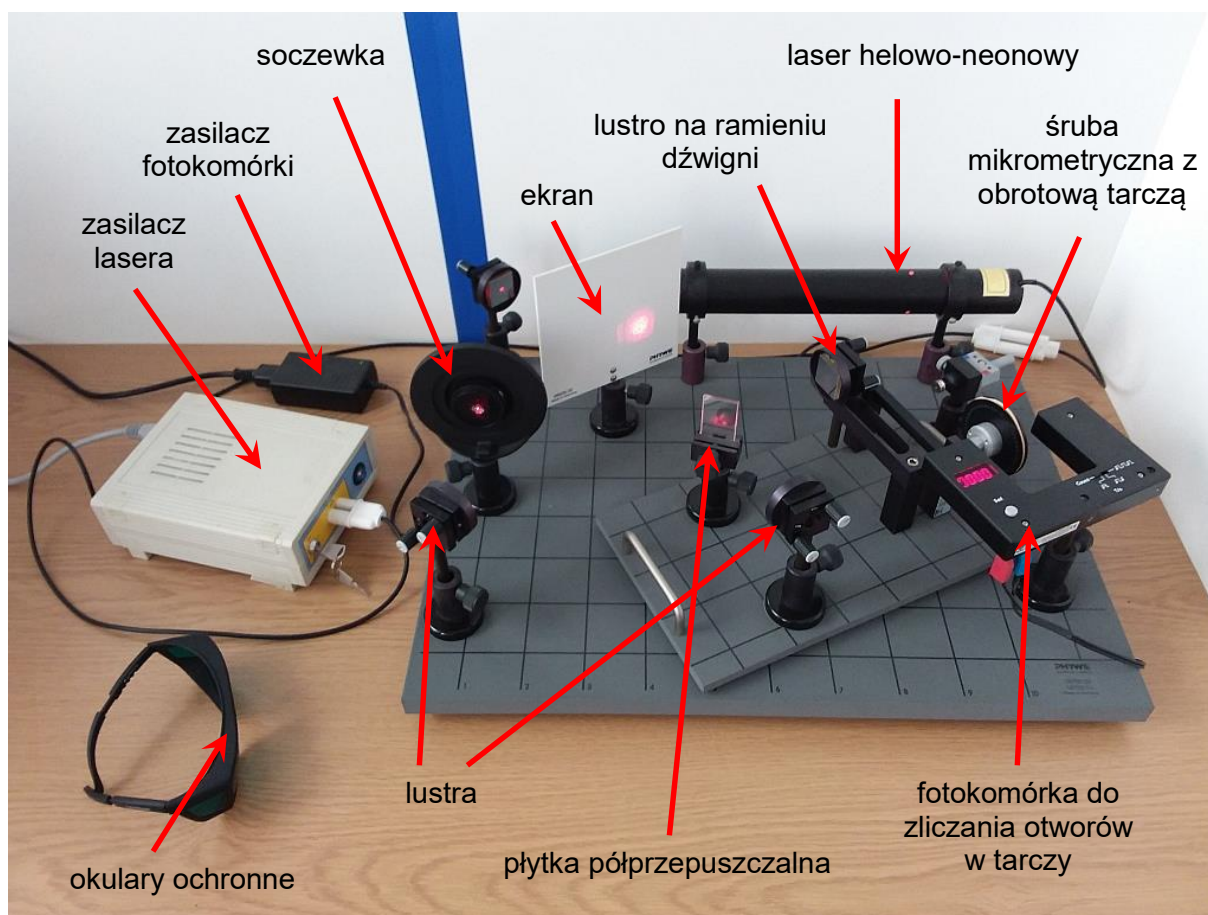
3. Wstęp teoretyczny

1. Fale i ich interferencja

Ruch falowy to rozchodzenie się (w czasie lub przestrzeni) powtarzającej się (rytmicznej, pulsującej, periodycznej) zmiany pewnej wielkości. Tą wielkością może być np. odchylenie poziomu wody w danym punkcie od pewnej powierzchni – tak rozchodzą się fale na powierzchni wody. Może to być także natężenie pola elektrycznego i magnetycznego, które rozchodząc się wspólnie w przestrzeni tworzą *falę elektromagnetyczną*. Maksymalna wartość tego odchylenia to *amplituda fali*, natomiast *faza* opisuje zmiany tego odchylenia w czasie lub przestrzeni.

Fale można opisać przy pomocy kilku parametrów. *Długość fali* (zwykle oznaczana literą λ) to najmniejsza odległość punktów o jednakowej fazie, czyli mających tę samą wartość i podlegających takim samym zmianom. *Czoło fali* (lub inaczej *front falowy*) to powierzchnia łącząca punkty o jednakowej fazie, a *kierunek rozchodzenia się* fali wyznacza linia prosta prostopadła (a właściwie: normalna) do powierzchni czoła fali. *Okres zmienności* fali (oznaczany zwykle literą T) to czas, po którym następuje powrót do tej samej fazy, zaś *częstotliwość* fali (oznaczana czasem literą f) to jego odwrotność:

$$T = \frac{1}{f} \quad (1)$$



Rys. 1. Widok ogólny układu pomiarowego.

Jeśli znana jest prędkość fali (a w przypadku fal elektromagnetycznych w próżni jest to prędkość światła $c = 3 \cdot 10^8$ m/s), to łatwo obliczyć, że jeśli długość fali wynosi:

$$\lambda = c \cdot T = \frac{c}{f} \quad (2)$$

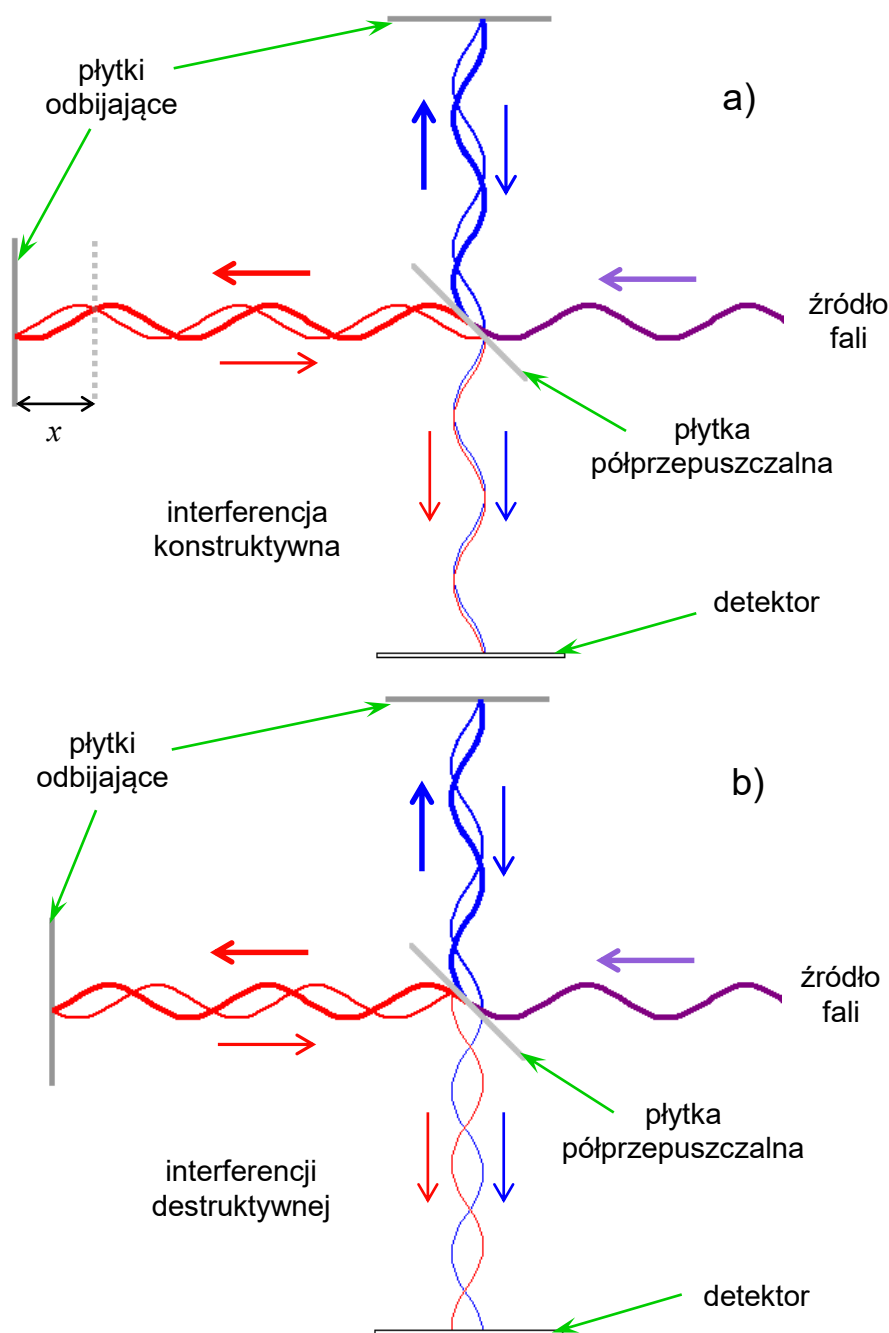
Gdy w jakimś miejscu spotkają się dwie lub więcej fal, zachodzi ich *interferencja*, polegająca na nakładaniu się na siebie ich amplitud. W efekcie wypadkowa amplituda jest sumą amplitud wszystkich interferujących fal, co może prowadzić do powstania nowego czoła fali o innym kształcie. Dość wygodnie opisuje to tzw. *zasada Huygensa* (czyt.: „*hojchensa*”), którą sformułował w 1678 r. holenderski uczyony Christiaan Huygens. Zasada ta mówi, że każdy punkt ośrodka, do którego dotarło czoło fali, można uważać za źródło nowej fali kulistej. Pozwala ona wyjaśnić wiele zjawisk falowych (takich jak odbicie fali na granicy dwóch ośrodków, załamanie fali przy przejściu do ośrodka o innej prędkości rozchodzenia się fal czy ugięcie fal na przeszkodzie), ale nie określa wprost amplitudy fali. Pozwala natomiast określić kierunek rozchodzenia się fal.

2. Interferometr Michelsona

Interferometrem nazywa się ogólności urządzenie pomiarowe oparte na zjawisku interferencji fal. Istnieje szereg różnych interferometrów, które mogą służyć do różnych precyzyjnych pomiarów, jak np. badanie niewielkich nierówności na płaskiej powierzchni czy pomiar prędkości obrotu. Omawiany w ćwiczeniu interferometr został skonstruowany przez Alberta Abrahama Michelsona w celu zmierzenia, jaki wpływ na prędkość światła ma ruch Ziemi po orbicie wokół Słońca oraz jej obrót wokół własnej osi. Eksperyment przy użyciu swego interferometru Michelson przeprowadził wraz z Edwardem Morleyem w 1887 roku. Okazało się, że prędkość światła nie zależy od ruchu Ziemi

(ani w ogóle od żadnego innego ruchu), co pozwoliło odrzucić teorię eteru kosmicznego jako nośnika fal elektromagnetycznych i rozwinąć się teorii względności Einsteina.

W swojej koncepcji interferometr Michelsona składa się ze źródła fali o określonej długości (np. światła monochromatycznego), detektora (np. ekranu), jednej płytki półprzepuszczalnej i dwóch całkowicie odbijających falę (np. luster). Fala przelatując przez płytkę półprzepuszczalną zostaje rozdzielona na dwie spójne wiązki poruszające się względem siebie pod kątem prostym. Następnie obie wiązki trafiają do dwóch płytek odbijających i wracają do płytki półprzepuszczalnej, gdzie łączą się z powrotem i trafiają do detektora. Ponieważ każda z wiązek przebywa inną drogę, są przesunięte względem siebie w fazie, co oznacza, że ich interferencja może być zarówno konstruktywna, jak i destruktywna. To, czy nastąpi wzmocnienie, czy wygaszenie fali, zależy głównie od położenia płytek. Ilustruje to rysunek 2.



Rys. 2. Schemat działania interferometru Michelsona podczas: a) interferencji konstruktywnej, b) interferencji destrukcyjnej.

Warto tu zwrócić uwagę, że cały czas mowa o tzw. *drodze optycznej*. Wynika to z tego, że długość fali w danym miejscu zależy zarówno od jej częstotliwości, jak i prędkości, więc jeśli na drodze pomiędzy płytkami fala zmieni swą prędkość, interferencja będzie zachodziła w inny sposób – taka była idea pomiaru zmian prędkości światła przez panów Michelsona i Morleya. Droga optyczna, w przeciwieństwie do drogi geometrycznej, uwzględnia te zmiany prędkości fali (czyli np. współczynnik załamania światła w gorącym powietrzu, wodzie lub innym materiale) i bardziej odpowiada temu, co nazywa się fazą fali. W warunkach, gdy prędkość fali w każdym miejscu interferometru Michelsona pozostaje taka sama, można przyjąć, że obie drogi są sobie równe.

3. Hipoteza

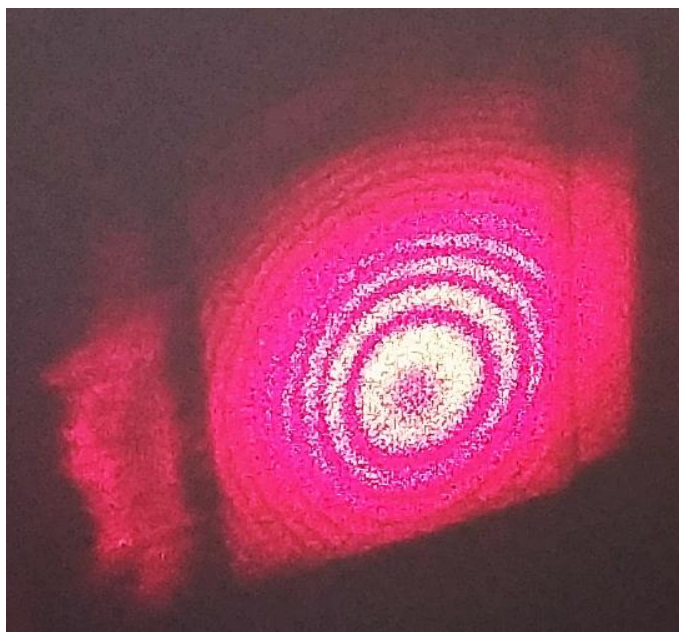
W interferometrze Michelsona każda z rozdzielonych fal przebywa drogę pomiędzy płytką półprzepuszczalną a odbijającą dwukrotnie, zanim złączą się z powrotem i interferują. Można z tego wywnioskować, że przesunięcie jednej z płytek odbijających o x skutkuje zmianą drogi przebytej przez tę konkretną falę o $2x$. Jeśli druga płytka odbijająca w tym samym czasie nie była przesuwana, to różnica dróg optycznych przebytych przez obie fale zmieni się właśnie o $2x$.

Interferencja konstruktywna obu tych fal możliwa jest wtedy, gdy są one zgodne w fazie, a ta zmienia się cyklicznie. Jeśli zatem przesuniemy jedną z płytek odbijających tak, że jedna z fal przebędzie drogę dłuższą lub krótszą o długość fali λ , to jej faza będzie taka sama i znowu nastąpi interferencja konstruktywna. Podobnie będzie, gdy fala przebędzie drogę dłuższą lub krótszą o 2λ , o 3λ itd. Porównując to z ustaleniami z wcześniejszego akapitu można zapisać to w postaci równania:

$$2x = n\lambda \quad (3)$$

gdzie n to dowolna liczba całkowita. (Można tutaj założyć, że wartości ujemne x i n odpowiadają skróceniu drogi optycznej, dodatnie – jej wydłużeniu, zaś zerowe – pierwotny stan interferencji.)

Efektom interferencji fal jest sygnał o odpowiednim natężeniu w detektorze. Gdy interferencja jest konstruktywna, sygnał ten osiąga maksimum, więc można stosunkowo łatwo wyznaczyć takie położenia płytek odbijających, w których dochodzi do takiej interferencji. Następnie przesuwając jedną z płytek można wyznaczyć odległość x , która odpowiada n -krotnemu maksimum sygnału. Podstawiając zmierzone wartości x i n do równania (3) można zatem obliczyć, jaka jest długość fali λ .



Rys. 3. Obraz uzyskiwany w interferometrze Michelsona przy użyciu światła laserowego

4. Przebieg doświadczenia

*** Uwaga! Światło lasera może spowodować trwałe uszkodzenie oczu! W czasie pracy należy stosować odpowiednie okulary ochronne, ekrany osłaniające otoczenie oraz zwrócić uwagę na odbicia światła, na skutek których wiązka światła laserowego może dotrzeć do oczu.**

A) Sprawdzić ustawienie układu pomiarowego zgodnie z dołączonym opisem. W szczególności upewnić się, że fotokomórka poprawnie zlicza otwory podczas obracania tarczy oraz że ramię dźwigni uchwyty jednego z lusterek dociśnięte jest do śruby mikrometrycznej. W razie wątpliwości skonsultować się z obsługą laboratorium.

B) Uruchomić laser zgodnie z dołączonym do stanowiska opisem. W razie wątpliwości poprosić o pomoc obsługę laboratorium.

C) Używając pokręteł precyzyjnego ustawiania lusterek wyregulować układ pomiarowy tak, by na ekranie pojawił się obraz interferencyjny zgodny z rys. 3.

D) Kręcić śrubą mikrometryczną tak, by popychała ona ramię dźwigni uchwyty lustra. Jednocześnie obserwować, czy obraz interferencyjny zmienia się cyklicznie. Jeżeli tak nie jest, należy poprawić ustawienie układu (w szczególności dociśnąć ramię dźwigni do śruby mikrometrycznej).

E) Jeśli cykliczne zmiany obrazu interferencyjnego są widoczne, można wykonać właściwy pomiar. W tym celu należy wyzerować wskazania fotokomórki i kręcić śrubą tak długo, aż obraz na ekranie zmieni się o wybraną wcześniej liczbę cykli (n). Każdy impuls na fotokomórce to przesunięcie śruby mikrometrycznej o 0,01 mm. Ponieważ lustro będące elementem interferometru jest zamocowane na ramieniu dźwigni, która styka się ze śrubą mikrometryczną, to odległość x jest 20 razy mniejsza niż przesunięcie śruby mikrometrycznej i na każdy impuls przypada zmiana x o 500 nm. Zanotować zmierzoną wartość x razem z wybraną wcześniej wartością n .

Uwaga: Śrubą mikrometryczną należy kręcić w jedną stronę tak, by cały czas pchała ona ramię dźwigni. W przeciwnym wypadku może dojść do zafałszowania wyników ze względu na niepoprawne zliczanie impulsów przez fotokomórkę.

F) Powtórzyć pomiary dla kilku wybranych wartości n , za każdym razem zapisując wartości n i x .

G) Po zakończeniu pomiarów wyłączyć zasilanie lasera i fotokomórki.

H) Dla wyników wszystkich pomiarów na podstawie równania (3) obliczyć długość fali λ i porównać z wartością λ odczytaną z dokumentacji układu pomiarowego..

I) Oszacować niepewności pomiarowe wielkości x i n , a na ich podstawie obliczyć niepewność λ . Jak znajomość tych niepewności wpływa na wnioski z pomiaru?