

Data pomiaru: .....

Imię i nazwisko: .....

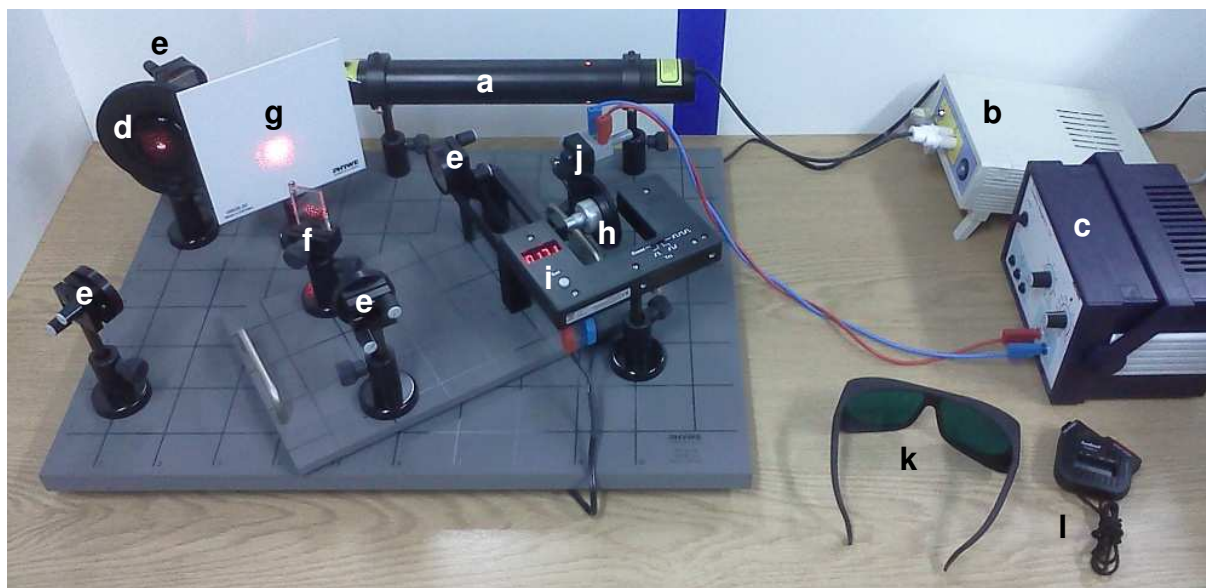
Imię i nazwisko: .....

## 1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zbadanie falowych właściwości promieniowania mikrofalowego, 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

Aparatura używana w ćwiczeniu (rys. 1) składa się z lasera helowo-neonowego z zasilaczem wysokiego napięcia, ekranu, a także zestawu luster (w tym jednego półprzepuszczalnego – płytki szklanej) i soczewki skupiającej. Jedno z lusterek odbijających zamocowane jest na precyzyjnym uchwycie z dźwignią o przełożeniu 1:20 i śrubą mikrometryczną, którą można obracać za pomocą silnika elektrycznego sterowanego z zasilacza niskiego napięcia. Ilość obrotów śruby mikrometrycznej zlicza odpowiednia fotokomórka, natomiast do pomiaru czasu służy dołączony stoper. Dla bezpieczeństwa wykonujących ćwiczenie do zestawu dołączono okulary ochronne dopasowane do lasera.



**Rys. 1. Aparatura do badania interferencji światła** (a - laser, b - zasilacz wysokiego napięcia, c - zasilacz niskiego napięcia, d - soczewka, e - lustro, f - płytka szklana, g - ekran, h - śruba mikrometryczna z dziurkowanym kołem, i - licznik z fotokomórką, j - silnik, k - okulary, l - stoper)

### 3. WSTĘP TEORETYCZNY

#### 1. Światło jako rodzaj promieniowania elektromagnetycznego

Światłem widzialnym nazywa się promieniowanie elektromagnetyczne o zakresie długości fali od 0,38 mikrometra do 0,78 mikrometra, co odpowiada częstotliwościom ok. 800 THz i ok. 400 THz. Pod względem swej natury jest to taki sam rodzaj promieniowania jak fale radiowe, mikrofały, podczerwień, nadfiolet czy wreszcie promieniowanie rentgenowskie i  $\gamma$ . Zwykle granice pomiędzy wymienionymi rodzajami promieniowania są dość płynne i dotyczy to również światła widzialnego, bowiem oczy różnych ludzi mogą różnić się w reakcjach na światło. Niemniej wymienione wyżej długości fal często przyjmuje się formalnie za granice zakresu widzialności.

Wyróżnia się kilka szczególnych zjawisk, jakim podlegają fale (w tym fale elektromagnetyczne, a więc także światło). Są to m.in. odbicie, załamanie, dyfrakcja, interferencja (konstruktywna i destruktywna) oraz polaryzacja (liniowa lub kołowa). Ta ostatnia dotyczy właściwie tylko fal poprzecznych, ale wszystkie fale elektromagnetyczne są falami poprzecznymi, zatem bezsprzecznie powinna znaleźć się na tej liście.

Odbicie i załamanie można analizować całkowicie geometrycznie, jak w przypadku optycznego opisu zachowania się promieni światła widzialnego, ale dyfrakcja i interferencja wymagają już dokładniejszego opisu uwzględniającego wielkości typowe dla fal. Takimi wielkościami są *amplituda*  $A$ , *prędkość fazowa*  $v$  (dla fal elektromagnetycznych oznaczana zwykle literą  $c$ ) czy też wspomniana wcześniej *częstotliwość*  $\nu$ . Z dwiema ostatnimi związane są *długość fali*  $\lambda$  oraz *okres drgań fali*  $T$ , zaś amplituda pokazuje, jak duże są „wychylenia” tej wielkości, która „faluje” (w przypadku fal dźwiękowych jest to ciśnienie, a w przypadku fal elektromagnetycznych – np. natężenie pola elektrycznego). Mówiąc o prędkości fazowej należy wspomnieć też o *fazie fali* ( $\varphi$ ), która mówi, na jakim etapie „wychylania” jest fala w danym miejscu i danej chwili. Faza zmienia się w czasie i w przestrzeni, stąd często mówi się o *różnicy faz* ( $\Delta\varphi$ ).

Dyfrakcja to zjawisko polegające na zmianie kierunku rozchodzenia się fali w momencie, gdy napotka ona na przeszkodę. Wygodnie jest opisać je używając tzw. *zasady Huygensa* (czyt. hojhen-sa), zgodnie z którą wszystkie punkty czoła fali same są źródłami nowych fal kulistych zgodnych w fazie z falą pierwotną. Gdy fala płaska nie napotyka żadnych przeszkód, te teoretyczne kuliste fale nakładają się tak, że zostaje zachowany płaski kształt tzw. *frontu falowego* (czyli linii utworzonej przez punkty o zgodnej fazie). W obecności przeszkód część z tych fal kulistych zostaje wygaszona, przez co zachowanie całego frontu falowego znacznie się komplikuje. Inaczej zachodzi dyfrakcja na krawędzi przeszkody, inaczej na przeszkodzie o małym rozmiarze, a jeszcze inaczej na niewielkiej szczelinie.

Silnie związana z dyfrakcją jest interferencja, czyli nakładanie się fal (w tym także kulistych fal Huygensa). Załóżmy, że omawiane są dwie fale jest sinusoidalne o tej samej amplitudzie  $A$ , pochodzące ze spójnych źródeł (czyli będące na początku w tej samej fazie oraz mające takie same okres  $T = 1/\nu$  i długość  $\lambda$ ). Takie fale opisane są wzorami:

$$\begin{aligned}y_1(t, r_1) &= A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} \right) \\y_2(t, r_2) &= A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} \right)\end{aligned}\tag{1}$$

gdzie  $y$  to miara wielkości charakteryzującej falę (np. natężenie pola elektrycznego bądź wychylenie powierzchni wody z położenia równowagi), natomiast  $r_1$  i  $r_2$  to odległości tych źródeł od punktu, w którym dokonujemy pomiaru. W punkcie pomiaru wypadkowe chwilowe wychylenie wynosi:

$$\begin{aligned}y(t, r_1, r_2) &= y_1(t, r_1) + y_2(t, r_2) = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} \right) + A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{r_2}{\lambda} \right) = \\&= 2A \sin \pi \left( \frac{2t}{T} - \frac{r_1}{\lambda} - \frac{r_2}{\lambda} \right) \cos \pi \left( \frac{r_2}{\lambda} - \frac{r_1}{\lambda} \right)\end{aligned}\tag{2}$$

Warto zwrócić uwagę, że kosinus nie jest zależny od czasu, a tylko od położenia, z czego łatwo wywnioskować, że całość będzie miała wartości najbardziej odległe od zera dla  $r_2 - r_1 = n\lambda$  i zawsze równe zero dla  $r_2 - r_1 = (n+1/2)\lambda$ , gdzie  $n$  oznacza dowolną liczbę całkowitą. Innymi słowy jeśli

różnica dróg przebytych przez obie fale będzie wielokrotnością długości fali, to będzie następowała *interferencja konstruktywna* (wzmacnianie fal), a jeśli wielokrotnością powiększoną o pół długości fali, to nastąpi *interferencja destruktywna* (wzajemne wygaszanie się fal).

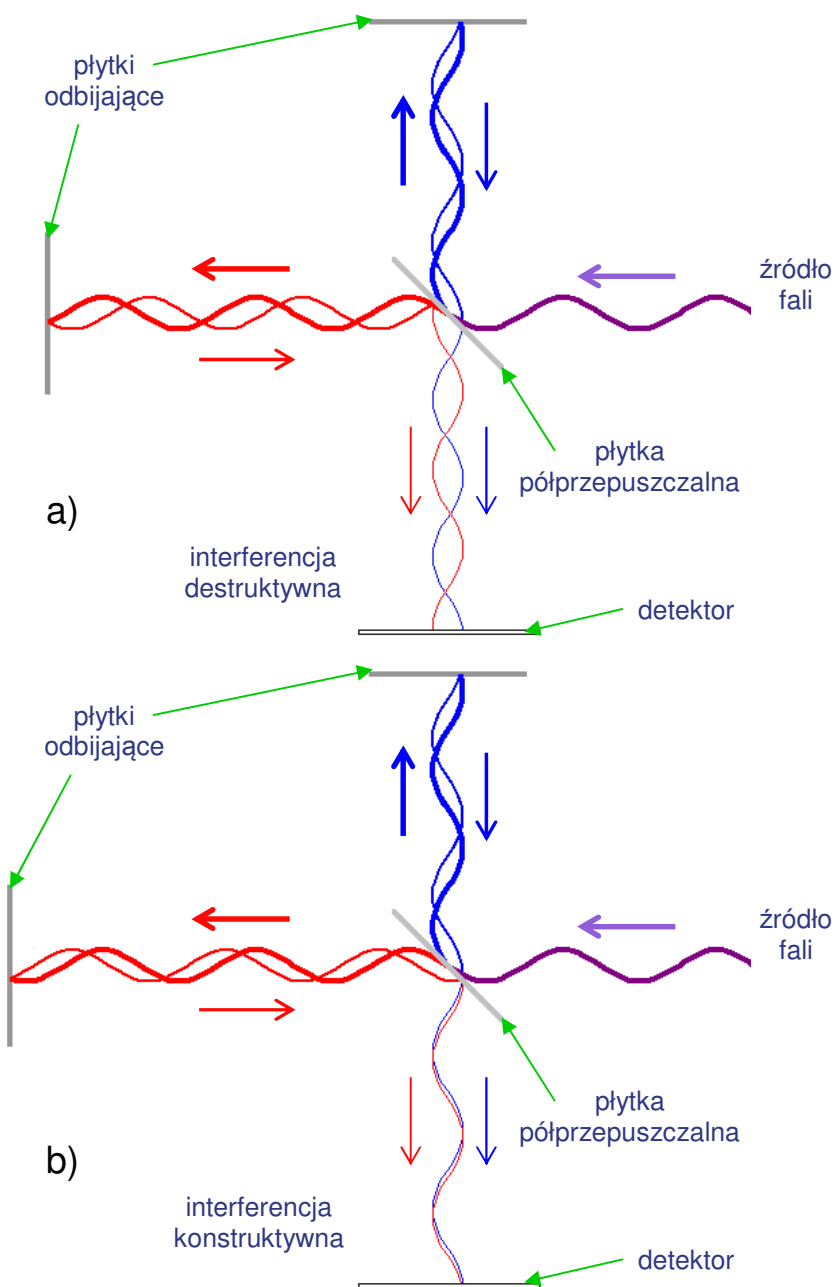
Oczywiście rzadko zdarza się, by dwie dochodzące do jednego punktu fale miały identyczną amplitudę, ale niezależnienie amplitud w powyższych równaniach komplikuje tylko obliczenia matematyczne, nie zmienia natomiast słuszności wniosków.

## 2. Interferometr Michelsona

*Interferometr* jest w ogólności urządzeniem pomiarowym opartym 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 półprzezpuszczalnej i dwóch całkowicie odbijających falę (np. luster). Fala przelatując przez płytkę półprzezpuszczalną zostaje rozseparowana na dwie spójne wiązki poruszające się względem siebie pod kątem prostym. Następnie obie wiązki trafiają do dwóch płytek odbijających i wracają do płytki półprzezpuszczalnej, 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.

Ponieważ każda z rozdzielonych fal przebywa drogę pomiędzy płytką półprzezpuszczalną a odbijającą dwukrotnie, nim złączą się z powrotem i interferują, to przesunięcie jednej z płytek odbijających o  $x$  skutkuje zmianą drogi przebytej przez tę falę o  $2x$ . W ten sposób można łatwo regulować różnicę dróg przebytych przez obie wiązki. Dokładny rachunek tych dróg ilustruje rys. 3, przy czym warto zwrócić uwagę, że cały czas mowa tu o tzw. *drodze optycznej*. Wynika to z tego, że długość fali



Rys. 2. Schemat działania interferometru Michelsona

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.

Zgodnie z rys. 3 droga, jaką od źródła do detektora przebywa fala odbita przez płytkę półprzezroczystą, wynosi  $r_1' = L_1 + L_2 + L_2 + L_4$ . Natomiast droga, jaką przebywa fala początkowo przenikająca przez płytkę półprzezroczystą, wynosi  $r_2' = L_1 + L_3 + L_3 + L_4$ . W związku z tym warunek wzmocnienia się fal wynosi w takim wypadku  $r_2' - r_1' = 2L_3 - 2L_2 = n'\lambda$ . Jeśli przesunie się jedną z płytek o odległość  $x$ , to różnica tych dróg wynosi  $r_2'' - r_1'' = 2L_3 + 2x - 2L_2 = n''\lambda$ . Odejmując oba te równania stronami otrzymamy warunek:

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

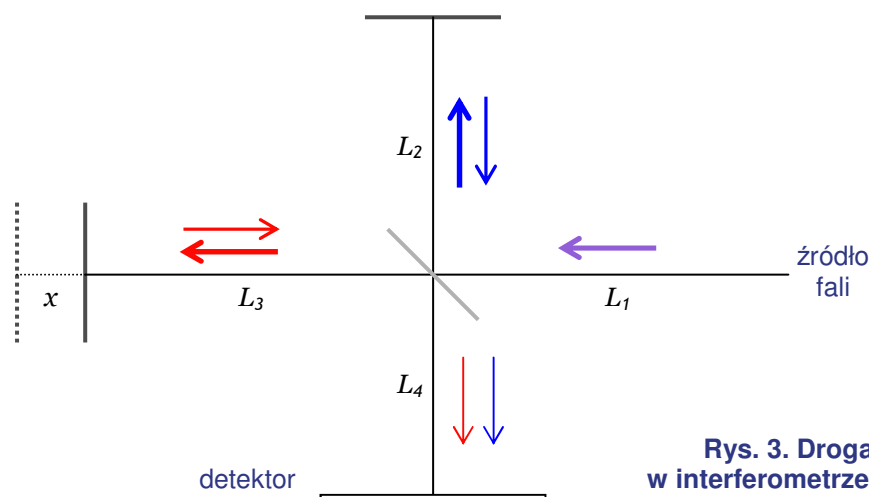
gdzie  $n'$  i  $n''$  to liczby całkowite. Analogicznie dla wygaszania fal otrzymujemy to samo równanie:

$$2x = (n'' + \frac{1}{2} - (n' + \frac{1}{2}))\lambda = (n'' - n')\lambda \quad (4)$$

Różnica dwóch liczb całkowitych jest również liczbą całkowitą, więc ogólnie powyższy warunek można zapisać w postaci:

$$\lambda = \frac{2}{n} x \quad (5)$$

gdzie  $\lambda$  to długość fali,  $x$  to przesunięcie płytki odbijającej, a  $n$  to liczba cyklicznych zmian natężenia fali towarzysząca przesunięciu płytki o  $x$ . (Jeśli mierzona będzie odległość pomiędzy maksimami natężenia fali, to  $n$  będzie liczbą minimów pomiędzy tymi maksimami, zaś jeśli odległość między minimami –  $n$  będzie liczbą maksimów.)



**Rys. 3. Droga różnych fal w interferometrze Michelsona**

### 3. Zjawisko Dopplera

Kiedy źródło fali i jej odbiornik są w ruchu względem siebie, następuje różnica w częstości fali nadawanej i odbieranej. Inny jest mechanizm tego zjawiska dla fal mechanicznych (np. dźwiękowych), a inny dla elektromagnetycznych (np. mikrofal i światła), jednak efekty podobne. Ponieważ w tym ćwiczeniu mowa jest wyłącznie o falach elektromagnetycznych, właściwy będzie wzór:

$$v_{\text{odbierana}} = v_{\text{nadawana}} \sqrt{\frac{1 - \frac{v_{\text{odbiornika}}}{c}}{1 + \frac{v_{\text{odbiornika}}}{c}}} \quad (6)$$

gdzie  $\nu_{nadawana}$  to częstotliwość fali nadawanej przez źródło,  $\nu_{odbierana}$  to częstotliwość fali odbieranej przez odbiornik,  $\nu_{odbiornika}$  to prędkość odbiornika względem źródła, zaś  $c$  to prędkość światła.

Jeśli jedna z płytek odbijających falę w interferometrze Michelsona porusza się, to można ją uznać za odbiornik ruchomy względem źródła, do którego dociera fala o częstotliwości równej:

$$\nu_2 = \nu_1 \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}} \quad (7)$$

gdzie  $\nu_1$  to częstotliwość źródła fali użytego w ćwiczeniu, zaś  $v$  to prędkość płytki. Ta sama płytka staje się jednocześnie źródłem fali odbitej o częstotliwości  $\nu_2$ , ale poruszającej się z prędkością  $v$  względem odbiornika. Wobec tego do odbiornika dociera fala o częstotliwości równej:

$$\nu_3 = \nu_2 \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}} = \nu_1 \frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}} \quad (8)$$

Oczywiście jeśli prędkość  $v$  jest niewielka w porównaniu z prędkością światła w próżni, to i względna zmiana częstotliwości jest bardzo mała, niemniej może spowodować znaczące efekty. Może na przykład okazać się, że energia kwantu takiego promieniowania elektromagnetycznego (która jest przecież związana z częstotliwością) po odbiciu od ruchomej przeszkody zmieni się tak, że będzie wystarczająca, by wywołać jaką reakcję (np. jonizację), której inaczej by nie wywołała.

#### 4. Dudnienie

Gdy interferują ze sobą dwie fale o różnych częstotliwościach  $\nu_1$  i  $\nu_3$ , ich wzajemne wzmacnianie i wygaszanie zmienia się w czasie. W zależności od tego, jak bardzo różnią się te częstotliwości, zmiany mogą być częstsze lub rzadsze. Jeśli do opisu obu fal użyjemy wzorów 1 uproszczonych o zależność od odległości (która nas nie interesuje), to obliczenia wyglądają następująco:

$$y_1(t) = A \sin 2\pi \frac{t}{T_1} = A \sin 2\pi \nu_1 t \quad (9)$$

$$y_3(t) = A \sin 2\pi \frac{t}{T_3} = A \sin 2\pi \nu_3 t$$

$$y(t) = y_1(t) + y_3(t) = A \sin 2\pi \nu_1 t + A \sin 2\pi \nu_3 t = 2A \sin 2\pi \frac{(\nu_1 + \nu_3)}{2} t \cdot \cos 2\pi \frac{(\nu_1 - \nu_3)}{2} t \quad (10)$$

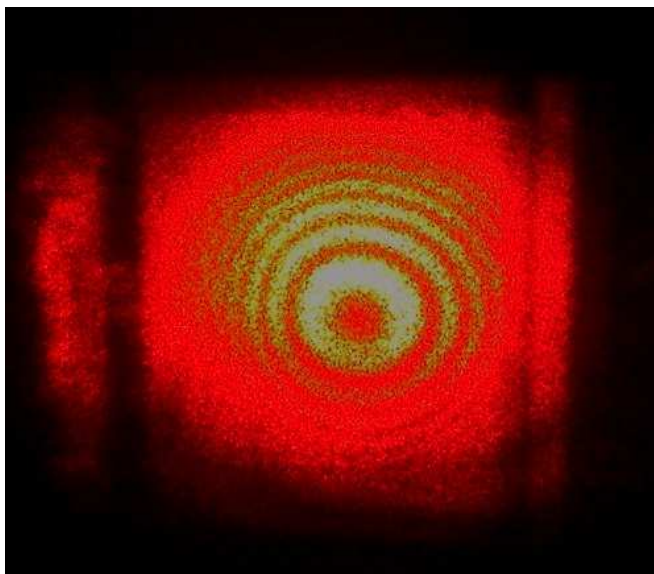
Widać wyraźnie, że z nałożenia dwóch fal powstaje fala o częstotliwości  $(\nu_1 + \nu_3)/2$  zmieniająca swe natężenie cyklicznie z częstotliwością  $(\nu_1 - \nu_3)/2$ . Oczywiście ta częstotliwość zmian natężenia nie może być mniejsza od zera, ale na potrzeby obliczeń można wybrać taki zapis, w którym  $\nu_1 > \nu_3$ . Ze względu na symetrię funkcji kosinus nie ma większego znaczenia, która częstotliwość jest większa – zjawisko zachodzi zawsze tak samo. Mówimy wtedy, że ta wypadkowa fala o uśrednionej częstotliwości „pulsuje” lub też (posługując się bardziej fachowym słownictwem), że mamy do czynienia z *dudnieniem*. Inaczej jest tylko w przypadku, gdy częstotliwości są dokładnie równe – wtedy dudnienie nie występuje, a amplituda fali jest maksymalna ( $\cos 0 = 1$ ).

W szczególności częstotliwości  $\nu_1$  i  $\nu_3$  mogą być bardzo duże, tak jak to jest w przypadku światła ( $\nu \approx 5 \cdot 10^{14}$  Hz) lub mikrofal ( $\nu \approx 10^{10}$  Hz), natomiast różnice między nimi bardzo małe (rzędu nawet 1 Hz), a mimo to wykrywalne i mogące mieć znaczenie w procesach oddziaływania kwantów tak interferującego ze sobą promieniowania. Oznacza to jednocześnie, że można zmierzyć względną zmianę częstotliwości promieniowania elektromagnetycznego nawet rzędu  $10^{-15}$ ! Jeśli ta zmiana spowodowana jest efektem Dopplera, to można z podobną dokładnością zmierzyć prędkość poruszającego się źródła fali. Wprawdzie prędkość samej fali jest tutaj duża ( $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s), ale samo źródło może poruszać się z prędkością rzędu  $10^{-6}$  m/s (pojedyncze mikrometry na sekundę) i już ma to wpływ na interferencję!

## 5. Światło laserowe

Słowo laser to skrót angielskiego wyrażenia *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, które oznacza *wzmocnienie światła przez wymuszoną emisję promieniowania*. Zjawisko takie zachodzi w różnych układach, w których atomy lub cząsteczki są w większości w stanie wzbudzonym. Przepuszczenie przez taki układ światła o energii fotonów odpowiadającej energii wzbudzenia powoduje wymuszoną emisję kolejnych fotonów o tej samej energii (równość energii oznacza oczywiście równość częstotliwości, a więc także i długości fali). Na dodatek emitowane fotony zwykle poruszają się w tym samym kierunku, co wymuszające emisję, są z nimi spójne w fazie oraz mają tę samą polaryzację. Wykorzystując opisane właściwości tego zjawiska można zbudować takie urządzenie, które wzmacnia światło o określonej długości fali przepuszczając je wielokrotnie przez odpowiedni ośrodek optyczny (np. odpowiedni gaz, kryształ lub półprzewodnik) „napompowany” energią dostarczoną z zewnątrz. Pompowanie laserów może być realizowane na różne sposoby (np. błyskiem światła widzialnego, wyładowaniem w gazie, przepływem prądu). Wzmacnianie realizuje się zwykle dzięki ustawieniu naprzeciw siebie dwóch luster, pomiędzy którymi znajduje się napompowany ośrodek. Taki układ nazywa się rezonatorem, bowiem wymusza wielokrotne przelatywanie światła przez wnętrze lasera. Podczas każdego takiego przelotu następuje wzmocnienie aż do osiągnięcia stanu równowagi pomiędzy pompowaniem a emisją energii świetlnej. Uzyskana nadwyżka światła ulatuje przez jedno z luster, które jest półprzepuszczalne.

Oczywiście w praktyce światło emitowane przez lasery złożone z wielu atomów nigdy nie ma dokładnie jednej długości fali, ale odchylenie od wartości nominalnej wynosi nie więcej niż ułamek procenta. Poza tym zachowana jest spójność wiązki światła laserowego, tzn. porusza się ona w dobrze określonym kierunku, a jako fala ma także dobrze określoną fazę i polaryzację. Dzięki temu bardzo łatwo jest zaobserwować wiele zjawisk charakterystycznych dla fal, takich jak dyfrakcja i interferencja. Dodatkowo umiejętna konstrukcja i sterowanie laserami pozwala uzyskać niesłychanie krótkie impulsy światła (o czasie trwania rzędu  $10^{-15}$  s), co pozwala np. „fotografować” bardzo szybkie procesy. Jednocześnie bardzo krótki czas oznacza duże moce takich impulsów. Z tych wszystkich powodów lasery znajdują coraz bardziej powszechne zastosowanie w różnych dziedzinach techniki i nauki. Między innymi doskonale sprawują się we wszelkiego rodzaju interferometrach, w szczególności zaś w interferometrze Michelsona.



**Rys. 4. Obraz uzyskiwany w interferometrze Michelsona przy użyciu światła laserowego**

#### 4. PRZEBIEG DOŚWIADCZENIA

**UWAGA: podczas wykonywania ćwiczenia należy mieć nałożone okulary chroniące przed światłem lasera!** Dotyczy to zwłaszcza sytuacji, w których oczy znajdują się na poziomie płaszczyzny interferometru (np. podczas pisania, nachylania się itp.). Zdejmowanie okularów dozwolone jest jedynie wtedy, gdy robione są bezpośrednio obserwacje światła laserowego (ustawianie lasera, liczenie prążków interferencyjnych) i po upewnieniu się, że oczy obserwatora znajdują się poza wiązką światła.

A) Przed uruchomieniem zasilania układu pomiarowego sprawdzić ustawienia zgodnie z opisem:

- stacyjka w zasilaczu wysokiego napięcia powinna być w pozycji „OFF”, a kluczyk wyjęty,
- oba pokręta w zasilaczu niskiego napięcia skrócone na zero (maksymalnie w lewo),
- przełącznik licznika impulsów ustawiony na pozycji „Count” (skrajna lewa),
- kabel 230 V zasilacza niskiego napięcia – podłączony do gniazdka w listwie zasilającej,
- 2 przewody z zasilacza niskiego napięcia – do silnika (czerwony do czerwonego, niebieski do niebieskiego),
- kabel 230 V zasilacza licznika impulsów (5 V, 2,4 A) – do gniazdka w listwie zasilającej,
- przewody niskiego napięcia zasilacza licznika impulsów – do licznika (czerwony do czerwonego, niebieski do niebieskiego),
- kabel 230 V zasilacza wysokiego napięcia – do gniazdka w listwie zasilającej,
- przewód zasilania lasera – do gniazda z przodu zasilacza wysokiego napięcia.

W razie wątpliwości poprosić o pomoc obsługę laboratorium.

B) Sprawdzić naprężenie paska klinowego łączącego silnik z dziurkowanym kołem licznika impulsów i razie potrzeby wyregulować je przesuwając silnik nieco bliżej lub dalej tego koła.

C) Po pozytywnym zweryfikowaniu podłączenia przewodów włączyć zasilanie w następującej kolejności:

- na listwie zasilającej – przyciskiem z lampką wskaźnikową,
- na zasilaczu niskiego napięcia sterującym silnikiem – przyciskiem z tyłu obudowy (powinna zaświecić się zielona dioda z podpisem „Power”),
- na zasilaczu wysokiego napięcia uruchamiającym laser – przyciskiem z przodu obudowy (**UWAGA: nie przekreślać stacyjki!**).

D) Sprawdzić, czy wszystkie lampki sygnalizujące zasilanie urządzeń zaświeciły się. Po sprawdzeniu powiadomić o tym pracownika obsługi laboratorium i w jego obecności włożyć kluczyk do stacyjki i przełączyć w pozycję „ON”. Odczekać kilkanaście sekund, aż uruchomi się laser.

E) Używając pokręteł na lustrach wyregulować obraz na ekranie tak, by przypominał on jak najbardziej ten przedstawiony na rys. 4. W szczególności musi być widoczny centralny okrąg tego obrazu.

F) Przekręcić dziurkowane koło połączone ze śrubą mikrometryczną tak, by wskazywała położenie 9 mm. Ponieważ śruba nie jest połączona na stałe z dźwignią, na której znajduje się lustro interferometru, po ustawieniu koła należy również lekko dopchnąć tę dźwignię do śruby.

G) W zasilaczu niskiego napięcia przekręcić pokrętkę regulacji prądu (prawe) na pozycję 1 A, a następnie przekręcić pokrętkę regulacji napięcia (lewe) tak, by silnik obracający dziurkowane koło zaczął powoli obracać się.

H) Odczekać, aż obraz interferencyjny zacznie zmieniać się, tj. w jego centrum będą pojawiały się na przemian ciemne i jasne okręgi rozchodzące w kierunku zewnętrznym. Jeśli tak nie jest, sprawdzić dociśnięcie dźwigni do śruby. W przypadku trudności skonsultować się z obsługą laboratorium.

I) Sprawdzić, czy wskazania elektronicznego licznika impulsów zmieniają się zgodnie z obrotami koła. Jeden impuls na liczniku powinien odpowiadać 0,01 mm przesunięcia śruby mikrometrycznej (jedna podziałka na skali tej śruby). Jeśli licznik nie zlicza poprawnie, należy poprawić jego ustawie-

nie tak, by dziurki w kole znajdowały się pomiędzy dwoma okienkami fotokomórki licznika. W razie trudności poprosić o pomoc obsługę laboratorium.

**J)** Podczas obrotów koła i zmian obrazu interferencyjnego w wybranym momencie jednocześnie: wyzerować licznik (przyciskiem „Set” na jego obudowie), uruchomić stoper i rozpocząć liczenie kolejnych ciemnych okręgów pojawiających się w centrum obrazu interferencyjnego.

**K)** Po odliczeniu kilkudziesięciu pełnych cykli zmian obrazu interferencyjnego (np. 30 lub 40) jednocześnie zatrzymać stoper i silnik obracający kołem. W celu zatrzymania silnika należy przekręcić lewe pokrętko zasilacza całkiem w lewo (czyli wyzerować napięcie zasilające).

**L)** Do tabeli 1 wpisać w odpowiednich kolumnach: liczbę cykli zmian obrazu interferencyjnego  $n$ , odległość zmierzoną przez śrubę mikrometryczną  $d$  oraz czas tego pomiaru  $t$ .

**M)** Powtórzyć kilkakrotnie pomiary z punktów J-K dla różnych ustawień napięcia zasilającego silnik, tj. dla różnych prędkości przesuwania się lustra osadzonego na dźwigni opierającej się o śrubę mikrometryczną. Wyniki pomiarów zanotować w tabeli 1.

**N)** Po zakończeniu pomiarów wyłączyć zasilanie układu:

- przekręcić kluczyk w stacyjce zasilacza wysokiego napięcia na pozycję „OFF”,
- wyłączyć zasilacz wysokiego napięcia przyciskiem z przodu,
- wyłączyć zasilacz niskiego napięcia przyciskiem z tyłu,
- wyłączyć listwę zasilającą stanowisko.

**O)** Uzupełnić tabelę 1 o wartości prędkości poruszania się lustra  $v$  oraz długość fali  $\lambda$ . Długość fali można obliczyć używając wzoru 5, zaś prędkość – używając wzoru na prędkość w ruchu jednostajnym  $v = x/t$ , przy czym należy pamiętać, że z racji umieszczenia na dźwigni lustro przebywa odległość  $x$  20-krotnie mniejszą niż odległość  $d$  zmierzona śrubą mikrometryczną. Porównać obliczoną długość fali z wartością nominalną lasera użytego w ćwiczeniu.

**P)** Korzystając ze wzoru  $c = \lambda \cdot v$  obliczyć częstotliwość światła używanych w ćwiczeniu. Znając prędkość lustra  $v$  na podstawie wzoru 8 obliczyć bezwzględną i względną zmianę tej częstotliwości podczas odbicia w interferometrze Michelsona. Czy wyniki pokrywają się z tempem zmian obrazu interferencyjnego, jakie było obserwowane podczas pomiarów?



