

Hologram gruby (objętościowy)

Wprowadzenie teoretyczne

Holografia jest bardzo rozległą dziedziną optyki i na pewno nie dziwi fakt, że istnieją hologramy różnego typu. W zależności od metody zapisu hologramu, podczas jego odtwarzania uzyskamy inne własności obrazu. Pewnym ograniczeniem w przypadku wielu typów hologramów jest to, iż możemy je odtwarzać tylko w świetle spójnym czasowo i przestrzennie (np. laser). Jest to łatwe, ale jedynie w warunkach laboratoryjnych.

Dużą atrakcją byłaby możliwość zobaczenia zapisanego obiektu przy oświetleniu hologramu światłem polichromatycznym (np. białym, słonecznym). Taką właściwość mają hologramy grube (objętościowe), które będą przedmiotem tego ćwiczenia. Obraz zapisany na hologramie grubym będzie dobrze widoczny przy oświetleniu o wysokiej spójności przestrzennej i niskiej spójności czasowej (np. odległa żarówka, słońce).

Hologramy powstają na skutek interferencji dwóch wiązek (obiektowej i odniesienia), dzięki której powstają prążki interferencyjne. Ich obraz jest zapisywany na kliszy holograficznej. Hologram gruby powstaje na skutek zapisania się prążków w całej objętości grubej emulsji holograficznej, tworząc w niej przestrzenną strukturę.

Aby poprawnie zapisać hologram i potem go odtworzyć niezbędne są pewne dodatkowe informacje i pojęcia, którymi posługujemy w laboratorium. Dlatego poniżej zostaną omówione: laser (jako źródło światła spójnego), pinhola (mały otworek pozwalający na uformowanie fali sferycznej) oraz obiektyw (służący do uformowania fali płaskiej).

Laser – źródło światła koherentnego

Miarą koherencji promieniowania jest zdolność do tworzenia stabilnych prążków interferencyjnych o wysokim kontraście. Z punktu widzenia dalszej, uproszczonej analizy można powiedzieć, że spójność czasowa jest związana z monochromatycznością źródła światła natomiast spójność przestrzenna jest związana z rozmiarami kątowymi źródła światła.

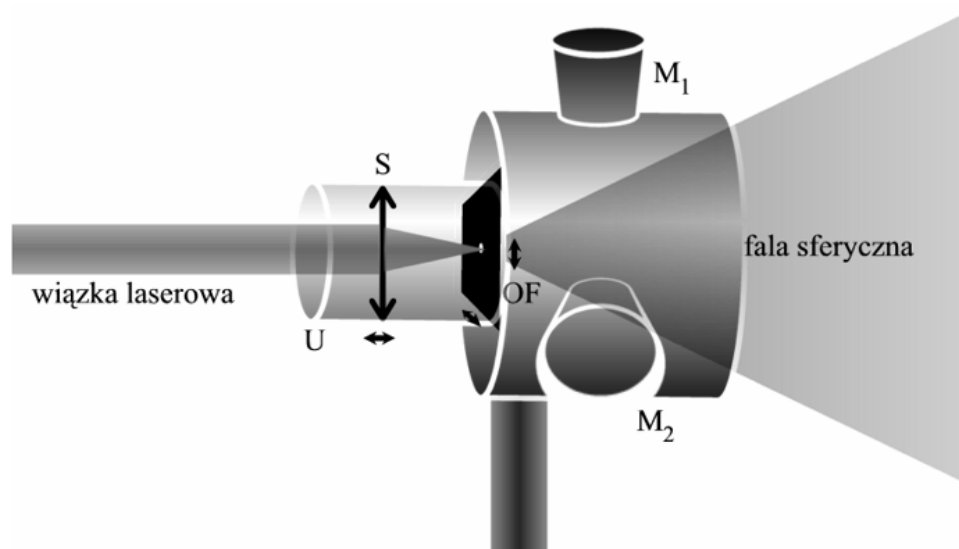
Należy podkreślić, że światło laserowe charakteryzuje się wysoką spójnością, zarówno czasową, jak i przestrzenną. Czasami mówi się, że laser jest źródłem światła spójnego. Oczywiście jest to idealizacja. Zarówno nie istnieją źródła światła idealnie niespójnego jak i źródła światła idealnie spójnego.

Fronty falowe, jakimi najczęściej posługujemy się w optyce: płaskie, sferyczne, cylindryczne są jednoznacznie zdefiniowane a jednocześnie nieograniczone w czasie i przestrzeni. Odpowiada im jedna ustalona długość fali λ i częstość promieniowania ν , połączone zależnością $\lambda\nu=c$, gdzie c jest prędkością światła w rozważanym ośrodku. Wymienione fronty falowe reprezentują światło idealnie spójne. Ich dowolne, wydzielone fragmenty mogą ze sobą interferować formując prążki interferencyjne.

Nawet najdoskonalsze lasery emitują promieniowanie w pewnym zakresie spektralnym, który nie odpowiada jednej długości fali lecz przedziałowi $(\lambda_{sr}-\Delta\lambda, \lambda_{sr}+\Delta\lambda)$ wokół średniej wartości λ_{sr} . Analiza Fourierowska pokazuje, że w ustalonej chwili czasu takie pole elektromagnetyczne zanika w nieskończoności i w praktyce jest skończonym ciągiem falowym o charakterystycznej długości s . Ostatecznie promieniowanie lasera może być traktowane jako emisja kolejnych ciągów falowych o długości s . Między dwoma różnymi ciągami nie ma bezpośredniej korelacji i są one wzajemnie niespójne. Charakterystyczna długość s pojedynczego ciągu falowego nazywa się drogą spójności lasera. Związany z nią czas emisji $\Delta t=s/c$ nosi miano czasu spójności.

Pinhola

Najefektywniejszy, praktyczny sposób sformowania fali sferycznej zapewnia układ soczewka - otworek filtrujący (pinhola), przedstawiony na Rys. 1. Ten mały otworek może być utożsamiany z punktem, który, zgodnie z treścią zasady Huygensa, utworzy idealną falę sferyczną rozbieżną.



Rys. 1.

Symbolem S na Rys.1 oznaczono soczewkę lub obiektyw mikroskopowy zamontowany w mogącym się obracać uchwycie U. Powyższy obrót umożliwia poziomy przesuw elementu S względem małego otworka filtrującego OF. Otworek jest przesuwany precyzyjnie dwoma śrubami mikrometrycznymi M_1 i M_2 . Jedna z nich umożliwia ruch otworka w płaszczyźnie rysunku, druga w kierunku prostopadłym. Kiedy wiązka laserowa zostanie zogniskowana dokładnie w obszarze otworka filtrującego, wówczas za otworkiem pojawia się intensywne pole świetlne, będące realnym przybliżeniem rozbieżnej fali sferycznej.

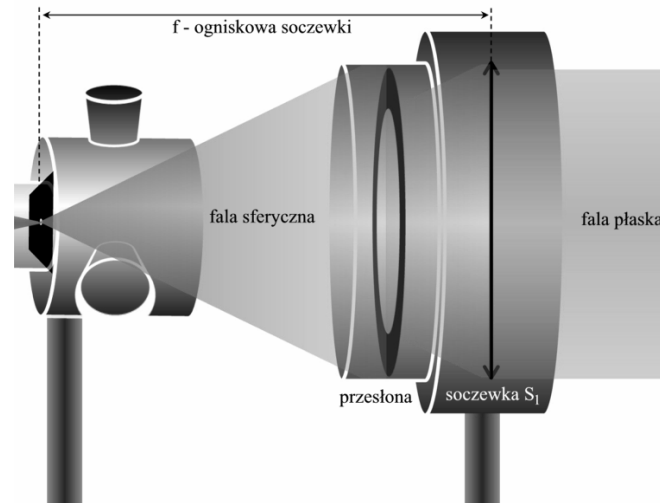
Sformowanie fali sferycznej za pomocą układu z Rys.1 można podzielić na następujące etapy:

- 1) Ustawienie soczewki lub obiektywu S prostopadle do kierunku wiązki laserowej.
- 2) Znalazienie przy pomocy śruby mikrometrycznej położenia otworka OF, odpowiadającego największemu natężeniu światła w jego obrębie. Optymalne położenie znajdujemy obserwując otworek od strony przeciwnej do kierunku oświetlenia wiązką laserową.
- 3) Przesuwanie elementu S poprzez obrót uchwytu U w kierunku odpowiadającym coraz intensywniejszemu oświetleniu otworka. Jednocześnie nieznacznie przemieszczamy otworek OF śrubami mikrometrycznymi aby uzyskać jego najoptymalniejsze położenie.

Uwaga! Przy pojawieniu się dużego natężenia światła w obrębie otworka nie patrzymy dalej wewnątrz bezpośrednio a obserwujemy plamkę świetlną na kartce papieru umieszczonej za otworkiem. Justowanie prowadzimy do chwili pojawienia się na papierze możliwie najjaśniejszej plamki świetlnej.

Formowanie fali płaskiej

W układzie optycznym falę płaską można sformować przy użyciu zjustowanego otworu filtrującego OF, umieszczonego w ognisku soczewki S_1 tak jak to pokazano na Rys. 2.

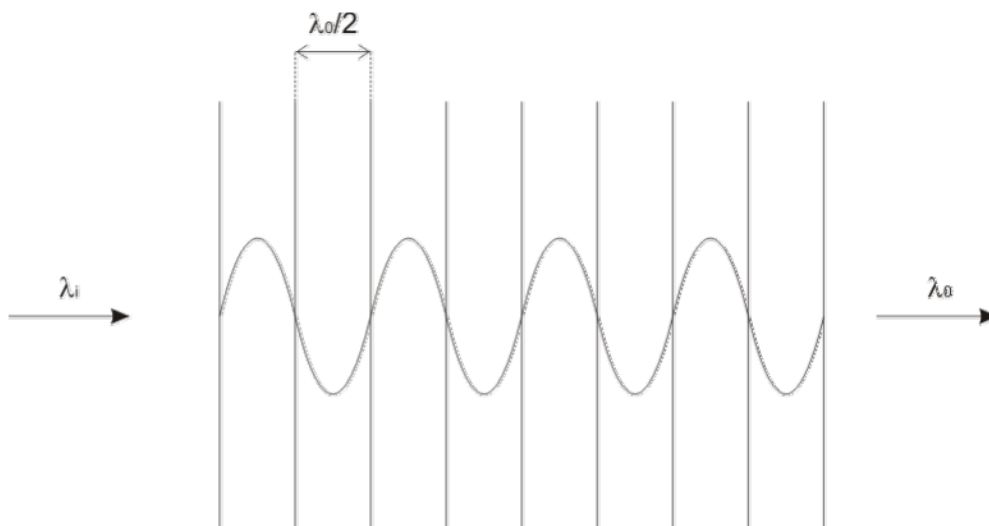


Rys. 2.

Za soczewką S_1 pojawia się wiązka świetlna, będąca przybliżeniem fali płaskiej. Optymalne położenie soczewki S_1 za otworem OF dobieramy w ten sposób, że średnica wyjściowej wiązki świetlnej obserwowanej na ekranie powinna być stała niezależnie od odległości ekranu od soczewki S_1 .

Hologram Gruby

Wyobraźmy sobie strukturę periodyczną mającą okres $\lambda_0/2$, jak na Rys. 3.

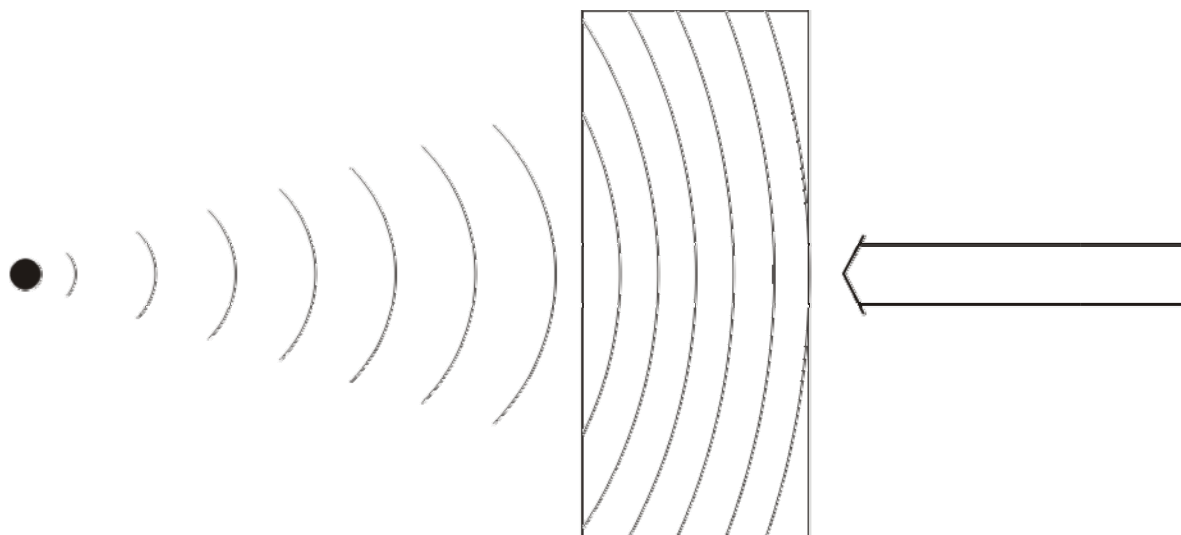


Rys. 3.

Jeżeli oświetlimy ją światłem składającym się z wielu fal o różnych długościach, przez strukturę przejdzie jedynie „dopasowana” składowa, czyli ta o długości λ_0 . Taką właściwość posiada struktura, która jest zapisana w całej jej objętości, a nie tylko na jej powierzchni.

W przypadku cienkiej kliszy, zapisywane są jedynie przecięcia sfer z jej powierzchnią. Używając kliszy, która wykazuje efekt światłoczuły w całej swojej objętości, możemy zapisać wycinki owych sfer, w wyniku czego otrzymamy strukturę podobną do omówionej wyżej. Stąd pochodzi nazwa tego typu hologramów – informacje zapisujemy w objętości, a nie na powierzchni. Grubość emulsji światłoczułej na kliszy powinna być rzędu $\sim 100\lambda$, gdzie λ jest długością fali użytą do zapisu.

Hologram taki można skonstruować umieszczając źródło z jednej strony kliszy, a falę odniesienia z drugiej. Interferencja zajdzie wewnątrz emulsji światłoczułej. Zapis hologramu grubego obiektu punktowego jest pokazany na Rys. 4.



Rys. 4.

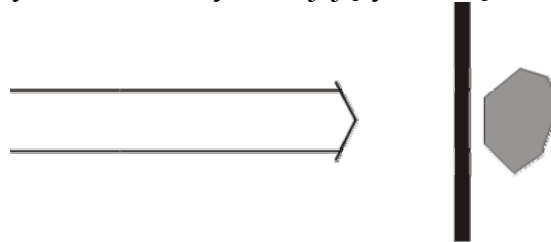
Otrzymaliśmy zatem strukturę periodyczną. Jeśli oświetlimy ją światłem białym (mieszaniną różnych kolorów), zostanie wyfiltrowana jedynie ta długość fali, która była użyta do zapisu – do odtworzenia hologramu nie będziemy już potrzebować lasera.

Zapis hologramu grubego

Aby hologram w ogóle się zapisał i był dobrej jakości, układ optyczny musi spełniać następujące warunki:

- Fala odniesienia i fala oświetlająca obiekt muszą być koherentne (czyli posiadać stałą w czasie różnicę faz), aby mogła zajść interferencja.
- Drogi optyczne wiązki odniesienia oraz wiązki oświetlającej powinny być równe. Im mniejsza różnica dróg, tym większy kontrast po odtworzeniu hologramu.
- Obiekt musi być dobrze oświetlony – każdy jego punkt, który chcemy potem obserwować w trakcie odtworzenia hologramu, powinien „emitować” w przybliżeniu falę kulistą.
- Cały układ powinien być stabilny. Jeśli ten warunek nie byłby zachowany to prążki interferencyjne przesunęłyby się i informacje zapisałyby się „jedna na drugiej”, uniemożliwiając ich późniejsze odtworzenie.
- Natężenia wiązek przedmiotowej oraz odniesienia powinny być w przybliżeniu jednakowe.

Na Rys. 5 pokazano jeden ze sposobów skonfigurowania układu do zapisu hologramu grubego. Fala płaska przechodzi przez kliszę, odbija się od obiektu i interferuje z falą nieodbitym wewnątrz płytki. Ten układ posiada jednak wady – nie można wyrównać natężeń wiązki ani dróg optycznych. Dobrej jakości hologramy dają się zapisać w tej konfiguracji tylko dla obiektów położonych blisko kliszy i odbijających dużą ilość światła.



Rys. 5.

Odtworzenie obrazu z hologramu grubego

Zwróćmy uwagę, że po oświetleniu hologramu grubego falą płaską z lewej strony (analizując konfigurację przedstawioną na Rys. 4) odbije się od niego fala sferyczna zbieżna. Natomiast po oświetleniu hologramu z prawej strony, odbije się fala sferyczna rozbieżna.

Jeżeli obiekt nie był punktem (tak jak to było przedstawione na Rys. 4) to podczas oświetlenia hologramu falą płaską powstanie przestrzenny obraz zapisanego obiektu. Oświetlenie hologramu z przeciwnej strony spowoduje odtworzenie tak zwanego obrazu sprzężonego, który będzie miał dziwny wygląd, ponieważ powierzchnie wklęsłe staną się powierzchniami wypukłymi.

Przebieg ćwiczenia

Ze względu na bardzo ograniczony czas zajęć, ćwiczenie dotyczy zapisu prostego hologramu grubego.

- 1) Sformowanie fali płaskiej poprzez pomiar średnicy wiązki na różnych odległościach..
- 2) Zapis hologramu monety lub podobnego płaskiego obiektu w układzie z Rys. 5.
- 3) Rejestracja aparatem cyfrowym obrazów odtworzonych: głównego i sprzężonego z hologramu.