

Z28 – HOLOGRAFIA

II Pracownia Fizyczna

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński

Ćwiczenie jest doświadczeniem z dziedziny interferencji i rejestracji obrazów trójwymiarowych (holografii). W pierwszej kolejności jest konstruowany interferometr Michelsona, umożliwiający nie tylko obserwację prążków interferencyjnych, ale także ilościowy pomiar ich kontrastu w funkcji różnicy długości dróg optycznych w ramionach interferometru. To z kolei pozwala na zmierzenie drogi spójności światła lasera helowo-neonowego, wykorzystywanego w holografii. Holografia umożliwia pogłębienie wiedzy na temat interferencji światła oraz spójności czasowej i przestrzennej. Pozwala na zapoznanie się z laserem oraz wymaganiami stawianymi wiązkom światła pod kątem ich wykorzystania do rejestracji hologramów, w interferometrii oraz w eksperymentach optycznych. W trakcie ćwiczenia są wykonywane hologramy typu transmisyjnego i opcjonalnie objętościowego. Hologramy pierwszego typu są odtwarzane przy użyciu wiązki lasera, a drugiego – światła białego.

Zagadnienia do przestudiowania

W każdym tygodniu ćwiczenie zaczyna się ustnym sprawdzeniem wiadomości oraz przygotowanych rozwiązań zadań wstępnych.

Pierwszy tydzień:

1. Budowa i zasada działania interferometru Michelsona. Jak przy jego pomocy zmierzyć stopień spójności światła? [1, 2, 3], załącznik A w [4]
2. Spójność przestrzenna i czasowa fal świetlnych. [3], załącznik A w [4]
3. Co to jest laser? Jakie są podstawowe elementy składowe lasera? [3, 4]
4. Jakie są właściwości promieniowania laserowego? Co to są mody poprzeczne i podłużne promieniowania laserowego? Jaki jest związek między długością rezonatora a częstotliwościami modów podłużnych? Proszę sobie przypomnieć podstawowe wiadomości o interferometrze Fabry'ego-Perota (rezonator lasera jest takim interferometrem). [3]

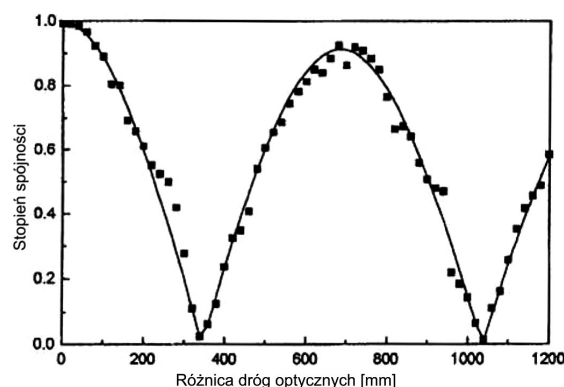
Drugi tydzień:

5. Rejestracja i odtwarzanie hologramów – idea, na przykładzie holografii transmisyjnej. [1, 4, 5, 6]
6. Rejestracja i odtwarzanie hologramów – ujęcie matematyczne. [1, 4, 5]
7. Co się stanie, gdy w procesie odtwarzania obrazu z hologramu, oświetlimy tylko mały fragment kliszy, zamiast całej? Czy zaobserwujemy cały obraz, czy tylko jego fragment? [5]
8. Holografia objętościowa, zjawisko Bragga. [1, 4]
9. Najważniejsze zasady konieczne do przestrzegania w celu otrzymania hologramu o dobrej jakości. [1]
10. Jak przebiega od strony chemicznej proces naświetlania, wywoływania i utrwalania kliszy fotograficznej? [1, 4]

Zadania obliczeniowe

Pierwszy tydzień:

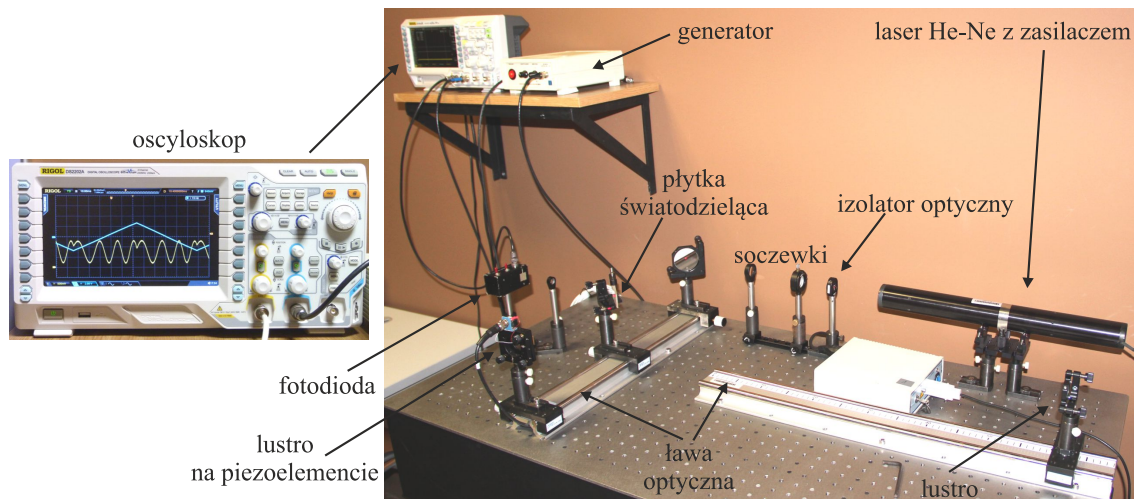
1. Obliczyć czas i drogę spójności dla lasera He-Ne, którego długość wnęki rezonansowej wynosi 40 cm i który pracuje w dwóch modach podłużnych. Można sprawdzić, że w typowym laserze He-Ne mogą faktycznie dominować jedynie dwa mody podłużne (patrz pozycja [2]). Wyliczona w tym zadaniu droga spójności (patrz np. [4], rozdział IV) jest w rzeczywistości jedynie pierwszym zerem modułu z zespolonej funkcji $\gamma(\Delta x)$ nazywanej stopniem spójności. Argumentem tej funkcji jest tutaj $\Delta x = ct$, gdzie Δx to różnica długości dróg optycznych w ramionach interferometru, c to prędkość światła, a t to różnica czasu między chwilami, pomiędzy którymi mierzymy spójność czasową (patrz Rys. 1).



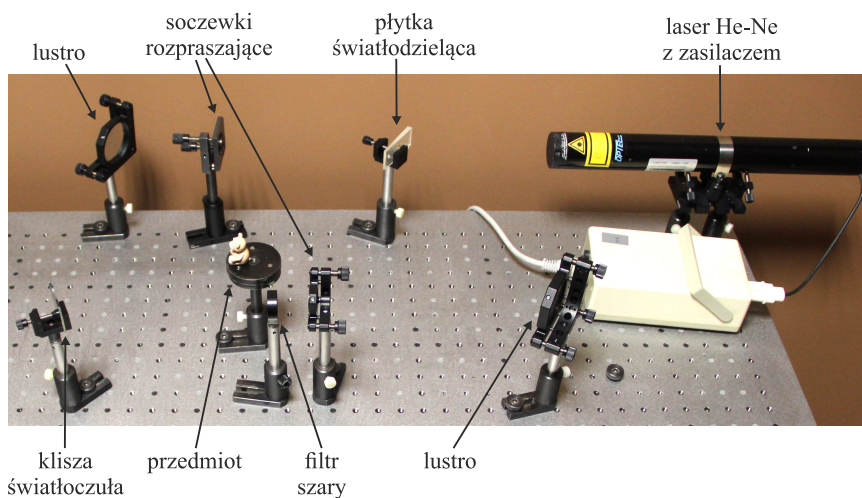
Rysunek 1: Przykładowy przebieg modułu z funkcji stopnia spójności światła dla lasera dwumodowego [2]

Ogólniejsza analiza, konieczna przy wykonywaniu tego ćwiczenia, jest przedstawiona w części poświęconej interferometrowi Michelsona w [1].

Na podstawie [1] proszę wyjaśnić, z czego wynikają zera funkcji stopnia spójności, a z czego globalny spadek amplitudy stopnia spójności.



Rysunek 2: Zestaw eksperymentalny — interferometr Michelsona, badanie drogi spójności światła



Rysunek 3: Przykładowy zestaw eksperymentalny (studenci sami projektują i budują układ) — holografia transmisyjna

2. W idealnym interferometrze, dla fali płaskiej, możliwe jest takie dobranie różnicy dróg optycznych w ramionach, że na wyjściu interferometru wiązki doznają interferencji całkowicie destruktywnej (innymi słowy, widzimy tylko jeden duży ciemny prążek). Co się zatem dzieje z energią niesioną przez fale elektromagnetyczne?

Drugi tydzień:

3. Przyjmując, że zdolność rozdzielcza kliszy fotograficznej wynosi 1000 mm^{-1} obliczyć maksymalny kąt pomiędzy wiązkami odniesienia i przedmiotową, dla którego możliwa jest jeszcze rejestracja obrazu interferencyjnego za pomocą wiązki lasera He-Ne ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$). Szkic jednego z rozwiązań znajduje się na końcu [1].

4. Mając do dyspozycji laser, lustra, soczewki skupiające i rozpraszające, filtry osłabiające wiązkę oraz płytkę światłodzielną zaprojektować układ interferometru Michelsona oraz układy do reje-

stracji hologramu transmisyjnego i objętościowego [1].

Aparatura i materiały

Przykładowy układ eksperymentalny przedstawiony jest na Rys. 2 oraz 3 i zawiera:

1. laser helowo-neonowy (He-Ne) o mocy 7 mW,
2. lustra oraz płytki światłodzielną,
3. soczewki rozpraszające i skupiające,
4. filtry neutralne (szare),
5. fotodiode, oscyloskop oraz lustro na piezoelementach do ilościowego badania drogi spójności lasera
6. aparat fotograficzny do rejestracji prążków interferencyjnych oraz obrazów pozornych w holografii transmisyjnej,

- klisze i odczynniki chemiczne do rejestracji i wywoływania hologramów,
- rzutnik do przezroczystości, zapewniający silną wiązkę światła białego do odtwarzania hologramów objętościowych.

Program ćwiczenia

Przykładowy scenariusz wykonywania ćwiczenia (należy wcześniej skontaktować się z prowadzącym i zapytać o planowany przebieg ćwiczenia):

- skonstruowanie interferometru Michelsona i obserwacja prążków interferencyjnych oraz ich wrażliwości na drgania mechaniczne układu. Ilościowy pomiar drogi spójności lasera poprzez badanie kontrastu prążków interferencyjnych dla różnych długości jednego z ramion interferometru (zagadnienia do przestudiowania 1 do 4),
- wykonanie hologramu transmisyjnego oraz opcjonalnie objętościowego na kliszy światłoczułej. Odtwarzanie obrazu pozornego i rzeczywistego światłem laserowym w holografii transmisyjnej oraz obrazu pozornego światłem białym w holografii objętościowej (zagadnienia do przestudiowania 5 do 10),
- rejestracja i numeryczne odtwarzanie hologramu cyfrowego (patrz osobna instrukcja [7]).

Opracowanie wyników

- Interferometria: należy wyliczyć kontrast V prążków (wzór 4 z [1]), zaobserwowanych przy pomocy fotodiody i oscyloskopu, dla różnych długości (0-70 cm) jednego z ramion interferometru. Oscylacje prążków, ułatwiające ich obserwację na oscyloskopie, uzyskuje się dzięki mikrometrowej modulacji położenia lustera interferometru przy pomocy elementu piezoelektrycznego. Kontrast prążków należy przedstawić na wykresie w funkcji różnicy długości ramion interferometru, pomnożonej przez 2 (dlaczego?). Do wykresu proszę dopasować moduł funkcji stopnia spójności światła (wzór 9 z [1]) i znaleźć drogę spójności światła, przedział dyspersji ν_{FSR} rezonatora lasera oraz względne natężenia modów podłużnych. Dla największego i najmniejszego kontrastu prążków interferencyjnych proszę zastąpić fotodiodę soczewką rozpraszającą i wykonać aparatem zdjęcie prążków na ekranie, około 2 m za stołem optycznym. Zdjęcia proszę zamieścić w sprawozdaniu, najlepiej w połączeniu z wykresem kontrastu prążków omówionym wyżej.
- Holografia: należy wykonać aparatem cyfrowym zdjęcia obrazu pozornego, uzyskanego przy odtwarzaniu hologramu transmisyjnego światłem laserowym oraz (ewentualnie) hologramu objętościowego

światłem białym. Zdjęcia należy zamieścić w sprawozdaniu.

Zasady BHP

- Nie wolno patrzeć wprost w wiązkę laserową!** Może to spowodować trwałe uszkodzenie oka. Powyższa uwaga jest szczególnie istotna przy oglądaniu hologramów transmisyjnych.
- Należy pamiętać, że równie niebezpieczne może być światło z lasera odbite od lusterek, ale też pierścionków, bransoletek i zegarków.
- Zaleca się używanie okularów ochronnych.**

Literatura

- Instrukcja do ćwiczenia Z28 (Holografia)
- P. Hlubina, *Temporal coherence and mode structure of the He-Ne laser beam spectrum*, Opto-Electr. Rev. 4, 117 (1996)
- W. Demtröder, *Spektroskopia laserowa*, PWN, 1993
- B. Hariharan, *Basics of Holography*, Cambridge University Press, 2001
- J. R. Meyer-Arendt, *Wstęp do optyki*, PWN, 1977
- D. Gabor, *Wykład noblowski*, 1971
- Instrukcja do ćwiczenia Z28B (Holografia cyfrowa)

W zrozumieniu zagadnień mogą pomóc artykuły T. Kawalec *Interferencja światła – kiedy możemy ją zaobserwować?* część I i II w numerach 150 oraz 151/152 czasopisma Foton.