

Zadania

Podstawy fizyki IV - ćwiczenia 19
Radek Chrapkiewicz

25.04.2013

Interferencja w przestrzeni, optyka fourierowska, dalekie pole, hologramy

1. Student na pracowni w interferometrze Michelsona-Morleya przekrzywił jedno lustro pod kątem α w stosunku do dobrego ustawienia. Znajdź wzór interferencyjny na ekranie. Jaki jest okres prążków, jeżeli długość fali lasera wynosi λ ? Jak zmieni się obraz jeżeli jedno lustro przesuniemy o odległość d ?
2. Podaj natężenie światła na ekranie umieszczonym w odległości R od źródła fali kulistej, która interferuje z falą płaską padającą prostopadłe na ekran. Amplituda pola elektrycznego obu fal w punkcie na ekranie w którym fronty falowe są równoległe wynosi E_0 . Znajdź pole w małych odległościach od tego punktu w porównaniu do odległości źródła od ekranu tzn. $x \ll R$.
3. Fala płaska pada prostopadłe na klin optyczny o kącie łamania θ i współczynniku załamania n . Pod jakim kątem zostanie ugięta? Wynik znajdź zarówno w formalizmie optyki falowej jak i z prawa Snella. Taki klin wprowadza liniową fazę przestrzenną.
4. Znajdź natężenie światła po przejściu przez folię z nadrukowanymi kreskami, takimi, że amplitudowy współczynnik transmisji wynosi $t(x) = \sin^2(Kx/2)$.
5. Jakie będzie natężenie światła po przejściu przez siatkę która moduluje amplitudę funkcją prostokątną?
<http://mathworld.wolfram.com/FourierSeriesSquareWave.html>
6. Żeby zrozumieć jak działa hologram zacznijmy od najprostszego przykładu. Fala płaska pada prostopadłe na kilszę fotograficzną. Druga fala płaska pada pod kątem α . Interferujące fale tworzą wzór który naświetla się na kliszy. Jeżeli teraz zaświecimy znowu na tą samą, wywołaną już kliszę, ale tylko jedną prostopadłą wiązką to co wyjdzie za siatką?
7. A co się stanie gdy stworzymy na kliszy fotograficznej interferogram powstały z nałożenia fali płaskiej i rozbieżnej, sferycznej. Co się stanie gdy zaświecimy teraz falą płaską?

Komentarz: Hologramy to tak naprawdę takie siatki dyfrakcyjne, tyle, że o zmiennej gęstości prążków i ich kierunku. Zobaczcie, że lokalnie na hologramie zapisuje się wzór interferencyjny od fali płaskiej i fali odbicia, która zawsze lokalnie jest falą płaską. Wzór interferencyjny będzie zawierał informację o kącie i kierunku fali odbitej od obiektu, w tym konkretnym miejscu kliszy. Dlaczego? Zobaczcie na zadanie 6. z ćwiczeń. Gęstość prążków mówi o kącie pomiędzy wiązkami (np. kąt θ w układzie sferycznym), a ich orientacja (mogą być obrócone) o kierunku z którego nadchodzi fala (kąt φ w układzie sferycznym). Te dwie wielkości, tłumaczymy na dwa kąty (θ, φ) , które w pełni definiują nam kierunek w przestrzeni wektora falowego. Jeżeli teraz zaświecimy falą płaską na naszą kliszę, to lokalnie w pierwszym rzędzie ugięcia dostaniemy początkowy wektor falowy, fali odbitej od obiektu. Globalnie fala, która ugnie się na hologramie będzie miała identyczne fronty falowe jak fala początkowo odbita/rozproszona od obiektu - dlatego da pełne, trójwymiarowe złudzenie, że obiekt znajduje się za hologramem.

Polecam dobry artykuł z wikipedii: <http://en.wikipedia.org/wiki/Holography>

Zadania domowe

(ponieważ to ostatnie ćwiczenia przed kolokwium daję wam więcej zadań do przećwiczenia, również z wcześniejszych tematów)

1. Student na pracowni ustawia interferometr Michelsona-Morleya z wiązką rozbieżną (kulista fala rozchodząca się z punktu w odległości R od jednego z lusterek). Znajdź wzór interferencyjny na ekranie. Jak zmieni się obraz jeżeli jedno lustro przesuniemy o odległość d ?
2. Fala płaska pada na płaską stronę soczewki płaskowypukłej o ogniskowej f . Jak zmieni się front falowy po przejściu przez soczewkę? W jakim kształcie są powierzchnie frontu falowego, jaką mają krzywiznę i gdzie znajduje się środek krzywizny? Wykonaj obliczenia stosując przybliżenie przysiołowe.

3. Na ćwiczeniach dałem wam do przetestowania filtry interferencyjne. Zmieniając kąt patrzenia przez taki filtr zmieniał się kolor obiektu za. Wyjaśnij to zjawisko posługując się modelem interferometru Fabry-Perrot o dwóch płaskich lustrach. Jak zmienia się długość fali transmitowanej w funkcji kąta nachylenia interferometru Fabry-Perrot?
4. W odległości D od interferometru Fabry-Perrot znajduje się źródło monochromatycznej fali kulistej o długości λ . Interferometr Fabry-Perrot składa się z dwóch lusterek płaskich w odległości L o współczynniku odbicia R . Podaj wzór interferencyjny, który powstanie na ekranie zaraz za interferometrem.
5. Matówka to taka chropowata szybka, która rozprasza światło padające we wszystkich kierunkach. Jak w języku fourierowskiej optyki falowej należy opisać matówkę?
6. Transmisyjną siatkę dyfrakcyjną można wykonać na dwa sposoby. Możesz rysować kreski czymś co absorbuje, albo np. zmieniać grubość materiału czy jego współczynnik załamania, tak, że zmienia się tylko faza. Pokaż, że jeżeli periodyczność modulacji jest taka sama zarówno w siatce absorpcyjnej jak i fazowej, to kierunki ugięć będą takie same. Jaka zatem będzie różnica w działaniu obu siatek?
7. Masz możliwość zmieniania grubości i absorpcji przezroczystego materiału. Dzięki temu możesz zrobić siatkę dyfrakcyjną absorbcyjną, fazową, lub pośrednią. Zaproponuj taką modulację grubości i transmisji natężeniowej w przestrzeni by siatka dyfrakcyjna produkowała tylko jeden rząd ugięcia (czyli świecąc na taką siatkę wiązka się tylko ugnie. Nic nie przejdzie na wylot, nic nie ugnie się pod innymi kątami).
8. Klin optyczny o kącie łamania θ i współczynniku załamania n umieszczono tuż przed soczewką. Klin jest mniejszy niż soczewka i dlatego gdy oświetlono układ falą płaską prostopadłą do powierzchni soczewki to część światła przeszła przez klin i soczewkę a część światła tylko przez soczewkę. Co zobaczysz na ekranie w odległości ogniskowej od soczewki?
9. Dwie wiązki (z tego samego lasera o znanym parametrach) skrzyżowano pod kątem θ . W miejscu przecięcia na ekranie powstanie pewien wzór interferencyjny $I(x)$. Następnie zabrano ekran, a za skrzyżowanymi wiązkami postawiono teleskop o dwóch soczewkach o ogniskowych f_1 i f_2 . Co zobaczysz za teleskopem na ekranie?

*Problemy dodatkowe - dla ambitnych¹

1. Udowodnij na podstawie układu z zadania 9., że macierz ABCD musi mieć wyznacznik 1, żeby zachowywać energię przy przejściu przez układ optyczny.
2. Przed interferometrem Fabry-Perrot składającym się z dwóch płaskich lusterek umieszczono matówkę, a za interferometrem soczewkę. Matówkę oświetlono jednorodnym światłem o znanym widmie. znajdź wzór na ekranie w odległości ogniskowej od soczewki.
3. Siatki dyfrakcyjne potrafią mieć wydajność ugięcia w 1 rzędzie rzędu 90% - są to tzw siatki typu *blaze angle*, wykonane z materiału o bardzo dużym współczynniku odbicia. Zaproponuj kształt takiej siatki, znajdź jej optymalne ustawienie i oblicz wydajność ugięcia w 1 rzędzie.

¹ Ambitny student to taki, który aspiruje na ocenę bardzo dobrą.