

Od struktury do dyfrakcji

Z dyfrakcją światła spotykamy się na co dzień, często nie zdając sobie z tego sprawy. Wielokrotnie obserwujemy zjawiska, które łamią zasady optyki geometrycznej, według której światło rozchodzi się po liniach minimalnego czasu przelotu, a więc stanowią bezpośredni dowód na falową naturę światła. Są one właśnie przejawami dyfrakcji.

Często spotykanym, naturalnym przykładem są tzw. „muszki”, czyli włoskowate struktury, które unoszą się w polu widzenia podczas oglądania pozbawionego szczegółów tła np. czystego, niebieskiego nieba. Jest to efekt dyfrakcji światła na zagęszczeniach ciała szklanego, które wypełnia gałkę oczną [1]. Wystarczy w słoneczny dzień spojrzeć na firankę, aby dostrzec mieniające się różnymi kolorami smugi – efekt dyfrakcji światła na drobnych oczkach firanki. Obserwując barwne pręgi na płycie CD mamy również do czynienia z odbiciową siatką dyfrakcyjną.

Do obserwacji dyfrakcji światła stosuje się siatki dyfrakcyjne, czyli płytki, najczęściej szklane, na które naniesiono równoległe, nieprzezroczyste linie w jednakowych odstępach. Szerokość takiego odstępów nazywamy stałą siatki. Światło padające na siatkę doznaje ugięcia na każdej szczeliny i tworzy maksima dyfrakcyjne. Są one szczególnie intensywne, gdy następuje wzmacnianie się fal wychodzących z wielu szczelin, czyli gdy różnica dróg optycznych z dwóch sąsiednich szczelin jest wielokrotnością długości fali. Położenie kątowne kolejnych maksimów dyfrakcyjnych opisuje wzór

$$(1) \quad d \sin \alpha = k \lambda,$$

gdzie d to stała siatki, α to kąt, pod którym znajduje się maksimum, λ to długość fali świetlnej, a k to

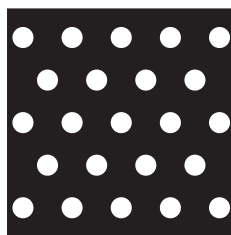
Piotr WÓJCIK*

dowolna liczba całkowita. Za twórcę pierwszej siatki dyfrakcyjnej uważa się Thomasa Younga.

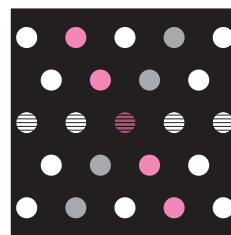
Jednym z ciekawszych zastosowań siatek dyfrakcyjnych jest możliwość wyznaczania długości fali światła emitowanego przez różne źródła, od lamp sodowych po gwiazdy. Dzięki temu możemy wyznaczyć skład chemiczny obiektów odległych od nas o miliardy kilometrów.

Celem mojego doświadczenia było stworzenie możliwie prostego układu optycznego, który umożliwiłby obserwowanie ugięcia światła na siatce dyfrakcyjnej. Następnie przez dodanie, usunięcie, bądź też przestawienie jednej soczewki układ ten miałby demonstrować obraz geometryczny, czyli bez dyfrakcji, struktury uginającej światło.

Do doświadczenia użyłem siatki dyfrakcyjnej sześciokątnej (rys. 1). Była to czarna folia z przezroczystymi okrągłymi szczelinami. Mimo nieco bardziej skomplikowanego kształtu siatki, łatwo opisać położenie kolejnych maksimów wzorem (1), gdyż siatkę tę można potraktować jako złożenie kilku jednowymiarowych siatek dyfrakcyjnych. Wynik dyfrakcji światła na tej siatce można wytłumaczyć jako kolejne obrazy z siatek jednowymiarowych, obrócone i nałożone na siebie (rys. 2).



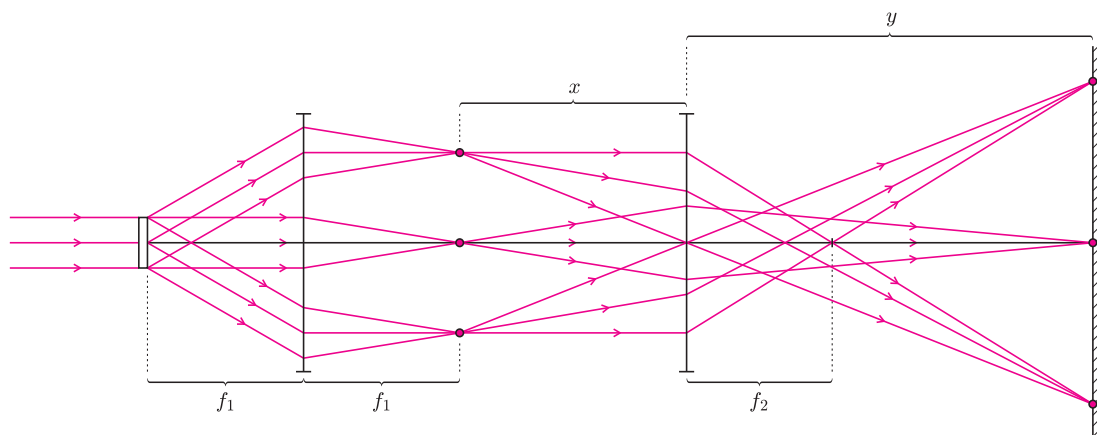
Rys. 1



Rys. 2

Aby wytworzyć obraz dyfrakcyjny, należy oświetlić siatkę dyfrakcyjną wąską, równoległą wiązką światła (te warunki doskonale spełnia laser), a następnie ustawić za siatką soczewkę „zbierającą” – w płaszczyźnie jej ogniskowej utworzy się obraz dyfrakcyjny. Ustawiłem taki układ, używając lasera o długości fali 630 nm, sześciokątnej siatki dyfrakcyjnej oraz soczewki o ogniskowej $f_1 = 3,5$ cm. Niestety, powstały w ognisku obraz był za mały do praktycznej obserwacji. Wstawiłem więc do układu dodatkową soczewkę o ogniskowej $f_2 = 15,8$ cm (rys. 3 oraz fot. 1 na okładce). Znajdowała się ona 22 cm za pierwszą soczewką.

*Uczeń I LO w Gorlicach



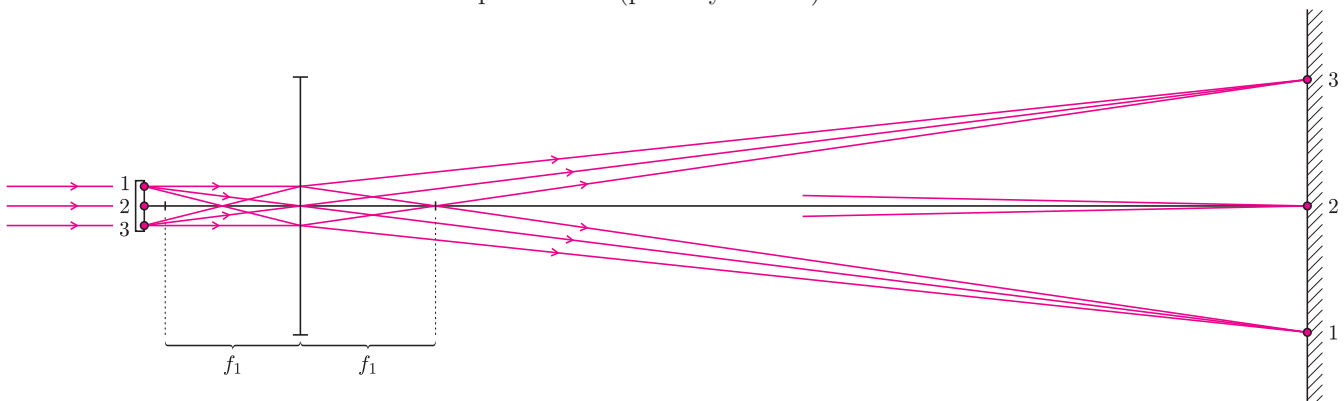
Rys. 3



Z równania soczewki $1/x + 1/y = 1/f_2$ łatwo wyliczyć, gdzie powinien powstawać powiększony obraz dyfrakcyjny. Obraz dyfrakcyjny z ogniska soczewki „zbierającej” staje się przedmiotem dla soczewki powiększającej, a więc odległość przedmiotu x jest równa 18,5 cm. Ogniskowa f_2 jest równa 15,8 cm, zatem obraz wytworzy się około $y = 113$ cm za drugą soczewką. Powiększenie obrazu na ekranie wynosić będzie y/x czyli około 6 razy. Zakładamy tutaj, że głównym efektem dyfrakcji jest pojawienie się za siatką dyfrakcyjną dodatkowych pęków równoległych promieni, rozchodzących się od siatki pod kątami zadanymi przez wzór (1). Każdy pęk skupiany jest najpierw przez soczewkę zbierającą w odległości równej ogniskowej f_1 , a potem jeszcze raz przez drugą soczewkę.

Otrzymany obraz dyfrakcyjny (fot. 2) to centralne maksimum dyfrakcyjne oraz ustawione w wierzchołkach sześciokąta kolejne słabsze maksima. Wysokość zaznaczonego trójkąta to w rzeczywistości 2 mm.

Następnie manipulując tylko jedną soczewką można przejść od obrazu dyfrakcyjnego do geometrycznego. W takim układzie optycznym siatkę dyfrakcyjną możemy traktować jako przedmiot dla soczewki, zaniebując efekty dyfrakcyjne. Obraz struktury siatki uzyskałem przez wyjęcie soczewki powiększającej (drugiej). Przedmiot (w tym przypadku siatka dyfrakcyjna) znajduje się 3,5 cm przed soczewką o ogniskowej $f_1 = 3,5$ cm, a więc jej obraz powinien wytworzyć się w nieskończoności. Mimo to jesteśmy go w stanie obserwować na odległym o 126 cm ekranie. Tę pozorną sprzeczność można łatwo wyjaśnić, jeśli uświadomimy sobie, że siatka dyfrakcyjna nie znajduje się nigdy dokładnie w ognisku soczewki. Jeśli jest położona odrobinę dalej, w dużej odległości od soczewki pojawi się rzeczywisty i bardzo powiększony obraz przedmiotu (patrz rysunek 4).



Rys. 4

Na fotografii 3 (okładka) możemy zauważyć obraz sześciokątnej sieci periodycznej. Mimo iż tworzenie się tego obrazu opisujemy według zasad optyki geometrycznej, widać, że nie ma ucieczki od falowej natury światła: światło, ulegając dyfrakcji na szczelinach, powoduje, że widzimy ich „rozlany” obraz.

Opisane przeze mnie doświadczenie ma przede wszystkim charakter dydaktyczny – większość opisanych w literaturze doświadczeń z optyki falowej umożliwia obserwację jedynie efektów dyfrakcyjnych. Myślę, że układ, który w prosty sposób pozwala zaprezentować obraz dyfrakcyjny i obraz geometryczny może być przydatny do prezentacji zarówno falowej natury światła, jak i zasad optyki geometrycznej.

Serdecznie dziękuję panu profesorowi Janowi Gajowi i pani magister Katarzynie Surowieckiej za pomoc w przygotowaniu i przeprowadzeniu doświadczeń.



Bibliografia

- [1] David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, *Podstawy fizyki*, tom 4, PWN 2003.
- [2] Jan Gaj, Krzysztof Karpierz, Michał Różycka, Andrzej Szymacha, *Fizyka i astronomia. Część 3*, WSiP 2004.
- [3] Henryk Szydłowski, *Pracownia fizyczna*, PWN 1999.