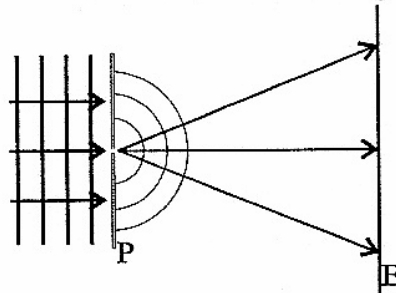


14.5. OPTYKA FAŁOWA

Zjawisko dyfrakcji i interferencji światła

Podczas przepuszczania wiązki świetlnej przez szczelinę o rozmiarach rzędu długości fali świetlnej obserwujemy zjawiska dyfrakcji i interferencji światła.

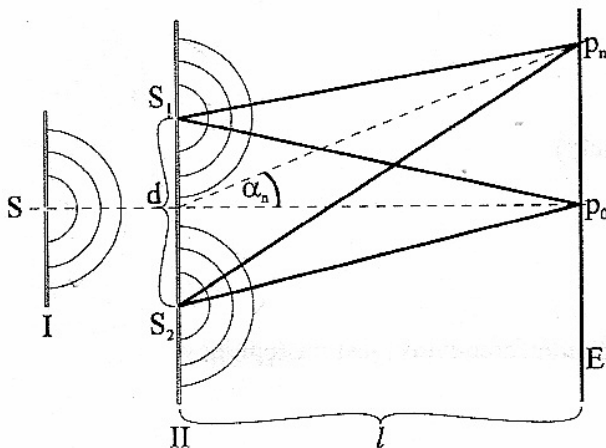
Zasada zjawiska dyfrakcji jest przedstawiona schematycznie na poniższym rysunku:



Część wiązki świetlnej została zatrzymana lub odbita od przeszkody, zaś ta część, która przechodzi przez otwór staje się źródłem fali elementarnej rozchodzącej się poza przeszkodą we wszystkich kierunkach. Następuje ugięcie światła w wyniku czego oświetlona zostaje dużo większa część ekranu niż to wynikałoby z rozmiarów szczeliny i założenia prostoliniowego rozchodzenia się światła. Zjawisku dyfrakcji zwykle towarzyszy zjawisko interferencji. Interferencja światła polega na nakładaniu się wiązek światła, co prowadzi do osłabienia lub wzmocnienia fali świetlnej, w wyniku czego otrzymuje się na ekranie obraz interferencyjny w postaci ciemnych i jasnych prążków.

Doświadczenie Younga

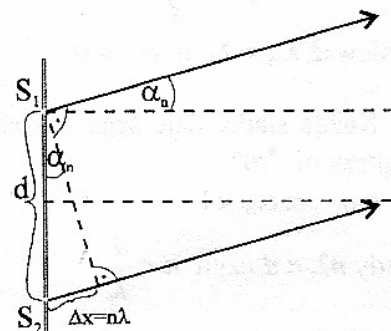
Uproszczony schemat doświadczenia przedstawia rysunek:



I – przesłona ze szczeliną S prostopadłą do płaszczyzny rysunku
II – przesłona z dwiema szczelinami S_1 i S_2 prostopadłymi do płaszczyzny rysunku
d – odległość między szczelinami S_1 i S_2
E – ekran na którym obserwujemy wynik ugięcia i interferencji
l – odległość szczelin od ekranu

Szczeliny S_1 i S_2 są oświetlone światłem pochodzącym ze szczeliny S. Dzięki zjawisku ugięcia fale rozchodzące się poza szczelinami S_1 i S_2 biegną we wszystkich kierunkach i interferują ze sobą. Na ekranie pojawia się układ jasnych i ciemnych prążków równoległych do szczelin. Najjaśniejszy prążek powstaje w punkcie P_0 (tzw. prążek zerowy, lub prążek zerowego rzędu). Symetrycznie po obu stronach prążka P_0 powstają prążki na przemian ciemne i jasne. Kolejne prążki jasne są coraz słabsze (mają coraz mniejsze natężenie). Punkt P_n , zaznaczony na rysunku oznacza n-ty prążek jasny (prążek n-tego rzędu). Prążki jasne odpowiadają maksimum, a ciemne minimum interferencyjnym.

Położenie prążków na ekranie wygodnie jest określić podając kąt ugięcia (α_n – kąt ugięcia dla prążka n-tego rzędu). Ponieważ odległość szczelin od ekranu l jest dużo większa od odległości między szczelinami d, promienie S_1P_n i S_2P_n można uważać za równoległe (rysunek obok).



Fale ugięte pod kątem α_n spotykają się na ekranie w punkcie P_n w fazach zgodnych (w punkcie tym występuje maksymalne wzmocnienie). Różnica dróg Δx przebytych przez fale docierające do punktu P_n jest więc równa całkowitej wielokrotności długości fali oświetlającej układ szczelin S_1 i S_2 . Z rysunku otrzymujemy:

$$\Delta x = d \sin \alpha_n \quad \text{czyli} \quad \boxed{n\lambda = d \sin \alpha_n} \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha_n = \frac{n\lambda}{d}$$

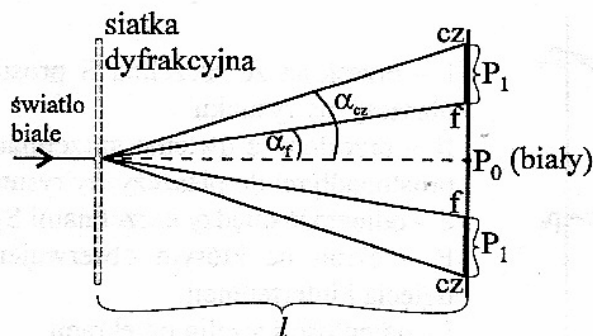
Dla ciemnych prążków (wygaszenie drgań) równanie przybiera postać:

$$\boxed{(2n + 1) \frac{\lambda}{2} = d \sin \alpha_n}$$

gdzie $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Siatka dyfrakcyjna

Zjawisko interferencji występuje wyraźniej, jeśli użyjemy nie dwóch ale wielu szczelin. Zbiór takich szczelin umieszczonych w jednej płaszczyźnie, w równej od siebie odległości, tworzy tzw. siatkę dyfrakcyjną. Siatka dyfrakcyjna jest więc powieleniem przyrządu zastosowanego w doświadczeniu Younga, przy czym odległość pomiędzy środkami sąsiednich szczelin w siatce jest znacznie mniejsza niż w przyrządzie Younga. Odległość tę nazywamy stałą siatki (d). Dla typowych siatek mieści się ona w przedziale 10^{-4} do 10^{-6} m. Siatka dyfrakcyjna służy do analizy światła przez nią przechodzącego. Jeżeli siatkę dyfrakcyjną oświetlimy światłem białym, to na ekranie otrzymamy również układ prążków, gdzie prążek zerowy (P_0) będzie biały, a pozostałe prążki (np. P_1) będą w postaci widma światła białego.



Warunek uzyskania widma n -tego rzędu (warunek interferencyjny) jest następujący:

$$n\lambda = d \sin \alpha_n$$

gdzie d – stała siatki

α_n – kąt, pod którym obserwuje się na ekranie n -ty rząd widma

λ – długość fali

l – odległość siatki od ekranu

Jeśli przez siatkę przechodzi światło białe, to kąt ugięcia n -tego rzędu będzie inny dla światła fioletowego (f) i inny dla czerwonego (cz):

$$\sin \alpha_f = \frac{n\lambda_f}{d};$$

$$\sin \alpha_{cz} = \frac{n\lambda_{cz}}{d}$$

ponieważ $\lambda_{cz} > \lambda_f$, to $\alpha_{cz} > \alpha_f$

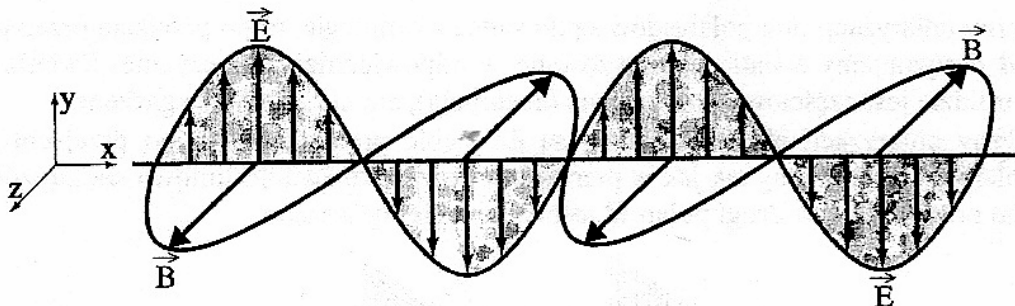
Każda siatka daje ściśle określony rząd widma, bowiem maksymalny kąt ugięcia nie może być większy niż 90°

tzn. $\sin \alpha_n < 1$

wtedy $n\lambda < d$ czyli $n < \frac{d}{\lambda}$

Największa liczba naturalna spełniająca ten warunek określa maksymalny rząd widma, jaki można otrzymać przy użyciu danej siatki, przyjmując, że promienie padają na siatkę prostopadle. Siatkę dyfrakcyjną możemy wykorzystać do pomiaru długości fali.

Polaryzacja światła



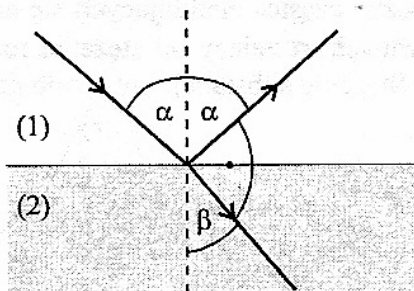
Opisane wcześniej zjawiska dyfrakcji i interferencji świadczą o falowej naturze światła. Światło jest falą elektromagnetyczną i tak jak każda fala elektromagnetyczna ma dwie prostopadłe do siebie płaszczyzny zmian wektorów: elektrycznego (\vec{E}) i magnetycznego (\vec{B}).

Zjawisko interferencji i dyfrakcji występuje zarówno dla fal poprzecznych jak i podłużnych. Zjawisko polaryzacji występuje tylko w przypadku fal poprzecznych. Zjawisko występowania polaryzacji fal świetlnych świadczy o tym, że fale świetlne są falami poprzecznymi. Fala świetlna wysyłana przez naturalne źródła światła jest falą niespolaryzowaną. Wektory elektryczny i magnetyczny drgają prostopadłe do kierunku ruchu fali w różnych płaszczyznach. Fala świetlna liniowo spolaryzowana, jest to fala, w której wektor elektryczny drga w jednej ściśle określonej płaszczyźnie zwanej płaszczyzną drgań. Wektor magnetyczny drga w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny drgań wektora elektrycznego w tzw. płaszczyźnie polaryzacji.

Metody polaryzacji światła

1. Polaryzacja przez odbicie od granicy dwu ośrodków

Jeśli niespolaryzowany promień światła pada na powierzchnię przezroczystego dielektryka pod kątem α , takim, że promień odbity i promień załamany tworzą kąt prosty, to promień odbity jest całkowicie spolaryzowany liniowo. Kąt ten nazywamy kątem Brewstera. Drgania elektryczne w promieniu odbitym zachodzą prostopadłe do płaszczyzny rysunku:



$$\alpha + \beta = 90^\circ \Rightarrow \beta = 90^\circ - \alpha$$

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$$

$$\boxed{\tan \alpha = n}$$

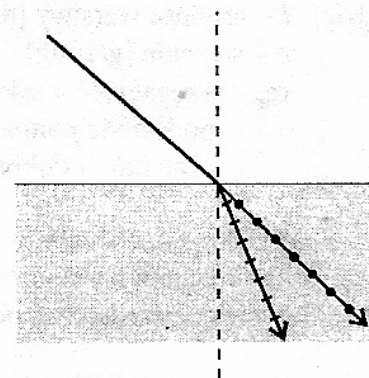
lub

$$\boxed{\tan \alpha = \frac{n_2}{n_1}}$$

2. Polaryzacja przez załamanie

Jeśli skierujemy wiązkę światła na kryształ dwójłomny (np. kalcytu) stwierdzamy, że wewnątrz kryształu powstają dwie wiązki spolaryzowane (tzw. promień zwyczajny i nadzwyczajny). Kierunki polaryzacji promienia zwyczajnego i nadzwyczajnego są wzajemnie prostopadłe.

W przypadku, gdy wiązka światła ma kierunek osi optycznej kryształu powstaje tylko jeden promień załamany.

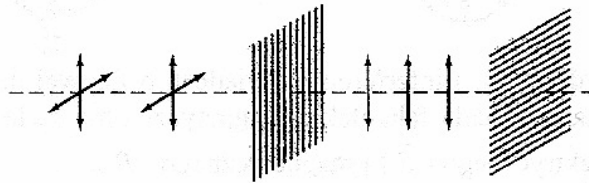


3. Polaryzacja przy użyciu polaroidów

Polaroidy są to cienkie błony z odpowiedniego tworzywa sztucznego, którego cząsteczki są ułożone wzdłuż określonego kierunku. Polaroid przepuszcza światło o pewnym kierunku wektora elektrycznego praktycznie całkowicie, zaś światło o kierunkach wektora elektrycznego różnych od wyróżnionego, całkowicie pochłania. Tak więc po przejściu przez polaroid światło będzie spolaryzowane liniowo.

Jeśli światło niespolaryzowane przechodzi kolejno przez dwa identyczne polaroidy, to może mieć miejsce jeden z dwu skrajnych przypadków w zależności od wzajemnego ułożenia płaszczyzn polaroidu:

- gdy płaszczyzny polaryzacji obu polaroidów są do siebie równoległe, to po przejściu przez pierwszy polaroid otrzymujemy światło spolaryzowane w odpowiedniej płaszczyźnie. Światło to w drugim polaroidzie jest częściowo pochłaniane (absorpcja), ale nie zostaje wygaszone.
- gdy płaszczyzny polaryzacji obu polaroidów są do siebie prostopadłe, to po przejściu przez pierwszy polaroid otrzymujemy tak jak w pierwszym przypadku światło liniowo spolaryzowane. Światło to po przejściu przez drugi polaroid jest całkowicie wygaszane.



Jeśli płaszczyzny polaryzacji polaryzatorów będą ustawione do siebie pod dowolnym kątem α , światło przejdzie częściowo przez dwa polaroidy. Natężenie światła spolaryzowanego przez pierwszy polaroid jest I_0 . Po przejściu przez drugi polaroid natężenie światła uległo zmniejszeniu zgodnie z prawem Malusa.

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

Skrećanie płaszczyzny polaryzacji

Niektóre substancje organiczne i nieorganiczne mają zdolność skrećania płaszczyzny światła spolaryzowanego liniowo (np. kwarc, glukoza). Podczas przechodzenia światła spolaryzowanego liniowo przez warstwę takiej substancji następuje zmiana orientacji wektora elektrycznego. Zjawisko to zostało wykorzystane w praktyce do określania stężeń roztworów substancji optycznie czynnych poprzez pomiary kąta skrećania (α).

Dla danego związku wielkość kąta skrećania zależy od liczby cząstek znajdujących się na drodze promieni. W przypadku roztworów substancji optycznie czynnych, α zależy od stężenia roztworu i drogi przebytej przez strumień świetlny w tym roztworze (l). Stężenie substancji optycznie czynnej w roztworze obliczamy z zależności:

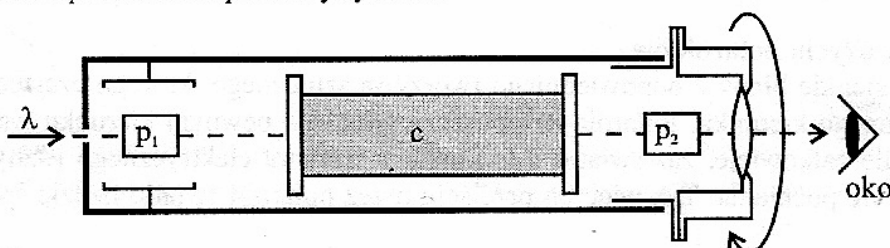
$$c = \frac{\alpha}{\alpha_w \cdot l} \cdot 100$$

gdzie: l – grubość warstwy [dm]

c – stężenie [g/100g]

α_w – skręcalność właściwa (wielkość charakterystyczna dla danej substancji, wyznaczona na podstawie pomiaru dla roztworu o znanym stężeniu, przy danej długości fali – tej samej, przy której dokonywany jest pomiar stężenia)

Znając skręcalność właściwą badanej substancji można obliczyć jej stężenie, na podstawie wielkości kąta skrećania wyznaczonego przy pomocy urządzenia zwanego polarymetrem. Zasadę działania polarymetru przedstawia poniższy rysunek:



Dwa polaryzatory P_1 i P_2 ustawiamy tak, że ich płaszczyzny polaryzacji są względem siebie prostopadłe. Promień światła monochromatycznego przechodzący przez oba polaryzatory (docierający do oka) zostaje całkowicie wygaszony. Po ustawieniu pomiędzy polaryzatorami pojemnika z roztworem cukru (c) następuje rozjaśnienie pola widzenia. W celu ponownego wygaszenia promienia konieczne jest obrócenie drugiego polaryzatora P_2 o określony kąt zwany kątem skręcenia płaszczyzny polaryzacji (α). Wartość kąta α odczytujemy ze skali kątovej sprzężonej z polaryzatorem P_2 .