

5. Dyfrakcja i interferencja

Okulary chromatyczne

Kiedy spojrzymy przez te magiczne okulary na źródło światła, zobaczymy fascynujący obraz - zwielokrotnione obrazy świetlne mieniące się barwami tęczy. Znajdują się one w okularach we wszystkich kierunkach, w górze, na dole, z prawej i z lewej strony oraz po przekątnych. Gdy przez okulary przepuścimy np. czerwony promień kieszonkowego lasera, na ekranie umieszczonym z drugiej strony okularów zaobserwujemy jasny punkt, wokół którego znajdować się będzie osiem symetrycznie ustawionych, słabiej świecących dodatkowych punktów.

Szkła okularów mają naniesione przecinające się układy rys, tworzące dwuwymiarowe siatki dyfrakcyjne. Siatkę taką można traktować jako wynik nałożenia dwu siatek szczelinowych, rolę elementów uginających spełniają przezroczyste obszary ograniczone rysami. Gdy światło pada na siatkę prostopadłe do jej powierzchni, obserwuje się obraz dyfrakcyjny. Rozkład natężeń światła na ekranie jest iloczynem rozkładów natężeń dawanych przez obie siatki z osobna.

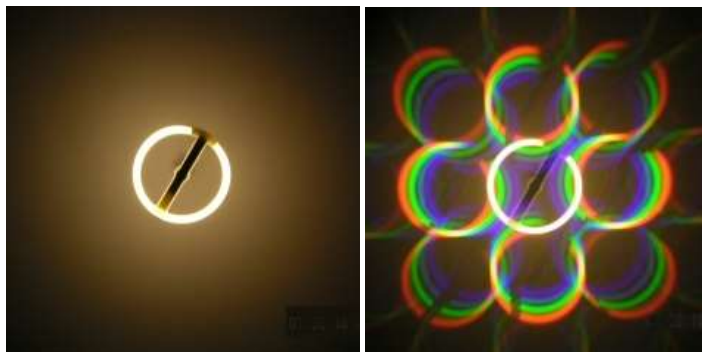
Pojedyncza siatka dyfrakcyjna daje układ poziomych lub pionowych prążków, w kierunku opisanym warunkiem:

$$a \sin \alpha = k\lambda$$

gdzie a jest tzw. stałą siatki dyfrakcyjnej, równą odległości pomiędzy rysami, α jest kątem pod jakim znajduje się jasny prążek na płaszczyźnie ekranu, k - liczba całkowita, λ - długość fali świetlnej. Jeśli mamy do czynienia z dwoma siatkami dyfrakcyjnymi, których rysy ustawione są prostopadłe do siebie, na ekranie pojawia się tzw. krzyż dyfrakcyjny.

Ilustracje:

Świetłówka energooszczędna (po lewej) oraz ta sama widziana przez okulary chromatyczne.



Okulary przeciwsłoneczne

Okulary słoneczne są dwóch typów - pierwszy, "zwykajny", przyciemnione szkła i drugi, które oglądane z zewnątrz sprawiają wrażenie kolorowego lustra.

1° Pierwszy typ to okulary, które robią wrażenie tego samego koloru, zarówno jeśli je oglądamy z zewnątrz, jak i kiedy patrzymy przez nie. Ten typ to filtry absorpcyjne, tzn. takie, które przepuszczają światło określonego koloru, np. zielonego a inne barwy absorbują. 1)

2° Drugi typ ma zupełnie inną zasadę fizyczną - nie polegającą na wybiórczym przepuszczaniu określonego światła ale na odbiciu określonej barwy. I tak np. okulary, które wydają się czerwone z zewnątrz, właśnie czerwone światło odbijają. Oznacza to, że w świetle obserwowanym przez te okulary, brakuje światła czerwonego. Jest więc względnie więcej innych kolorów oprócz czerwonego - świat wydaje się bardziej niebieski.

Są to tzw. filtry odbiciowe - na przednią stronę szkła jest naniesiona cienka warstwa odbiciowa. Jest ona tak skonstruowana, że odbija selektywnie tylko jedną barwę.²⁾

1) Stwierdzenie "absorbują" wymaga kilku wyjaśnień:

- i) inne kolory światła są (zazwyczaj) przepuszczane, tylko że z mniejszą amplitudą
- ii) wrażenie, "zielonego" koloru przepuszczanego może być wynikiem przepuszczania szerszego widma, np. w całym zakresie między żółtym a niebieskim.

2) Selektowne odbicie jednej barwy uzyskuje się dzięki interferencji. Warstwa odbijająca składa się w rzeczywistości z kilku naprzemian ułożonych warstw o dużym i małym współczynniku odbicia, przy czym odległość pomiędzy poszczególnymi warstwami wynosi $l/2$, gdzie l jest długością fali, która jest selektywnie odbijana. W ten sposób pomiędzy jedną a drugą warstwą światło przebywa (tam i z powrotem) odległość l - w kierunku do tyłu kolejne odbite fale sumują się z tą samą fazą, czyli się wzmacniają.



CD Spektroskop

Popatrz na odbijające się od płyty CD światło lampy. Widzisz kolory tęczy?

Białe światło (jak światło słoneczne) odbite od zwykłej płyty CD rozszczepia się na różne barwy. Dzieje się tak, ponieważ na płycie CD nacięta jest tak duża liczba rowków i o tak małej szerokości, że zobaczenie ich gołym okiem jest niemożliwe. Światło na rowkach ugina się, jednak każdy kolor nieco inaczej.

Rozszczepienie jest podobne jak w kroplach wody w czasie deszczu, chociaż w tym wypadku powstaje ono z innego powodu.

Zrób takie doświadczenie: wieczorem zapal w pokoju lampę. Ustaw się tyłem do lampy, a w wyciągniętej ręce trzymaj płytę CD. Obracaj teraz płytę tak, aby zobaczyć odbicie lampy. To jest światło odbite. Kontynuuj obracanie płyty, aż zobaczysz tęczę. To jest światło "ugięte". Po kolei widać kolor fioletowy, później niebieski, na końcu czerwony. Inaczej się ugina światło czerwone, a inaczej niebieskie. Wszystkiemu winne są te maleńkie rowki, na których padające światło ulega ugięciu, czyli dyfrakcji.

Jeśli będziesz nadal obracał płytę w tym samym kierunku, to zobaczysz tęczę jeszcze raz. Jak na tym zdjęciu obok

Płytę CD można potraktować jak odbiciową siatkę dyfrakcyjną. Stała tej siatki odpowiada odległości między ścieżkami z zapisaną informacją (lub jeszcze nie zapisaną - czysta płyta również rozszczepia światło). W ten sposób, padający promień światła "odbija" się, a właściwie rozprasza, na równo ułożonych przeszkodach, jak fala na jeziorze od palików pomostu. Przy użyciu światła lasera o znanej długości fali można wyznaczyć stałą siatki dyfrakcyjnej. Światłem lasera oświetlamy płytę CD. Na ścianie powstaje obraz dyfrakcyjny w postaci prążków. Bardzo wyraźne są prążki zerowego i pierwszego rzędu.

Aby wyznaczyć stałą siatki należy zmierzyć odległość między płytką a ekranem - l , oraz odległość między prążkami pierwszego rzędu a prążkiem zerowym - x . Z otrzymanych długości odcinków należy wyznaczyć sinus kąta λ , a z wzoru siatki dyfrakcyjnej dla prążków pierwszego rzędu ($k=1$) stałą siatki d :

$$d = \frac{1 \cdot \lambda}{\sin \alpha} = \frac{\lambda \cdot \sqrt{l^2 + x^2}}{x}$$

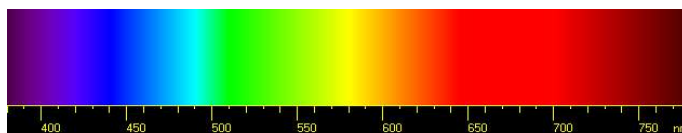
W ten sposób płyta CD może być użyta do analizy tzw. widma światła emitowanego przez różne źródła.

Istnieje szereg sposobów bezpośredniego wykorzystania płyty CD jako analizatora widma. Intensywność kolorów przy obserwacji różnych źródeł światła - nawet w obecności rozproszonego oświetlenia dziennego - jest zadziwiająca. Dzieje się tak, ponieważ obserwacja odbywa się w świetle odbitym, a nie przechodzącym - jak w przypadku pryzmatu - i kolory obserwuje się bez ciągłego, jasnego tła. Żarowe źródło światła daje oczywiście widmo ciągłe. Obserwacje można przeprowadzić np. stając tyłem do lampy pokojowej w odległości 2-3 metrów i trzymając płytę w wyciągniętej ręce, nieco powyżej oczu. Najpierw należy pochylić płytę wzdłuż osi poziomej, tak aby na jej górnej części ujrzeć odbicie żarówki. Następnie należy pochylać górną krawędź do siebie, aż do ujżenia pierwszego rzędu dyfrakcji.

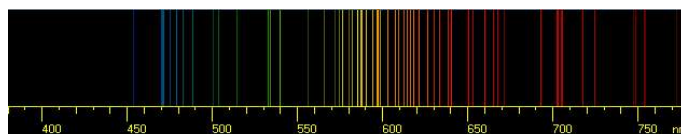
Można też zbudować konstrukcję pomocniczą jak na rysunku po lewej stronie.

Odbiciowe siatki dyfrakcyjne są jednym z podstawowych elementów dyspersyjnych (rozszczepiających światło) używanych do rejestracji widm w emisyjnej spektroskopii optycznej.

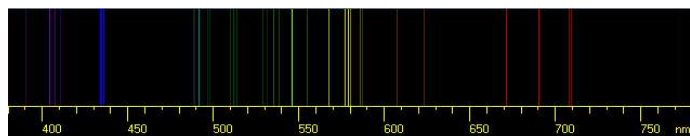
Jeśli chciałbyś obejrzeć widma emisyjne 99 pierwiastków to wypróbuj program Spektruś, autorstwa Mikołaja Pytela. Program ten przedstawia spektrogramy widm emisyjnych w zakresie od ultrafioletu (UV) do podczerwieni (IR).



Zakres widzialny światła białego (VIS)

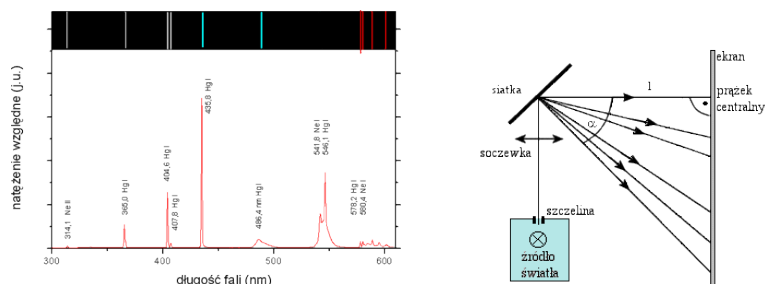


Widmo niezjonizowanego atomu rtęci



Widmo niezjonizowanego atomu neonu

Na wykresie obok pokazano widmo świetłówki energooszczędnej widziane "oczami" spektrometru uzbrojonego w siatkę dyfrakcyjną o stałej $a=0,8\text{mm}$, w zakresie długości fali świetlnej $\lambda=300\text{-}610\text{ nm}$. W górnej części rysunku pokazano graficzne przedstawienie widma (spektrogram), a na wykresie naniesiono długości zidentyfikowanych linii atomowych par rtęci oraz neonu. Ilustracje:



Widma nieba porannego, nieba słonecznego i lampy energooszczędnej oglądane z pomocą spektrometru z płyty CD