

WYŻSZA SZKOŁA PEDAGOGICZNA
W SŁUPSKU

WYDZIAŁ MATEMATYCZNO-PRZYRODNICZY

Anna Okoniewska

**Przedmioty codziennego użytku i
zabawki w dydaktyce fizyki
– zjawiska falowe**

Praca licencjacka wykonana
w Instytucie Fizyki pod kierunkiem
dr hab. Grzegorza Karwasza

Słupsk 1998

Składam serdeczne podziękowania
Panu dr hab. Grzegorzowi Karwaszowi
za cenne uwagi i wskazówki pomocne
przy napisaniu tej pracy.

I	WSTĘP	4
II	PODSTAWOWE WIELKOŚCI CHARAKTERYZUJĄCE FALE.....	5
II.1	RÓWNANIE FALOWE.	5
II.2	ZJAWISKA DYFRAKCJI I INTERFERENCJI.	6
II.2.1	<i>Dyfrakcja</i>	6
II.2.2	<i>Interferencja</i>	7
III	FALE DŹWIĘKOWE.....	9
III.1	OPÓŹNIENIE GŁOSU W RURZE	10
III.2	FALE ULTRADŹWIĘKOWE.....	11
III.2.1	<i>Urządzenie mierzące odległość obiektu.</i>	12
IV	FALE ELEKTROMAGNETYCZNE.....	13
IV.1	SIATKA DYFRAKCYJNA.	14
IV.1.1	<i>Siatka dwuwymiarowa</i>	16
IV.1.2	<i>Okulary chromatyczne</i>	16
IV.1.3	<i>Płyta CD</i>	17
IV.1.4	<i>Bańki mydlane</i>	17
IV.2	DYSPERSJA ŚWIATŁA.....	19
IV.2.1	<i>Dyspersja światła w pryzmacie</i>	20
V	INNE ZJAWISKA OPTYCZNE.....	21
V.1	ZWIERCIADŁA PŁASKIE.....	21
V.1.1	<i>Półprzepuszczalne lustro</i>	23
V.2	ZWIERCIADŁA KULISTE.....	23
V.2.1	<i>Hologram</i>	24
V.3	ZAŁAMANIE ŚWIATŁA.....	25
V.3.1	<i>Światłowód</i>	27
V.3.2	<i>Lampa z włókien światłowodowych</i>	28
V.3.3	<i>Zmiotka z wiązek szklanych</i>	29
VI	ZAKOŃCZENIE	30
VII	BIBLIOGRAFIA.....	31

I Wstęp

Współczesna technika korzysta z wielu osiągnięć nowoczesnej fizyki. Jednocześnie, popularna wiedza dotycząca zjawisk, na których opiera się działanie urządzeń technicznych jest nikła. Z tego powodu wykorzystanie zabawek oraz przedmiotów codziennego użytku już w szkole podstawowej może odgrywać ważną rolę w podstawowym rozumieniu fizyki. Uważa się często, że prawa fizyki stosuje się tylko do rzeczy i sytuacji, które mają miejsce tylko w laboratoriach, a nie na zewnątrz.

Z pedagogicznego punktu widzenia zabawki mogą przyczynić się do lepszego nauczania prostych zjawisk fizycznych. Wśród uczniów znajdują się również tacy, których trzeba zachęcić do nauki fizyki. Eksperymenty związane z wykorzystaniem PCU i zabawek powinny być pomocne wielu nauczycielom nie tylko szkół podstawowych, ale także szkół średnich i na wyższych uczelniach. Powinny pomagać one w przekazywaniu wiedzy związanej z podstawami fizyki.

Z tego punktu widzenia najważniejszą rzeczą jest możliwość stawiania uczniom pytań, które mają dla nich sens. Można kazać uczniom znaleźć wytłumaczenie działania danego przedmiotu nie stawiając ich w sytuacji biernej. Często pomoce takie są łatwe w użyciu, tanie i możliwe do szybkiego pokazania eksperymentu. Nawet w czasach, kiedy bardzo często wykorzystuje się komputery, przedmioty codziennego użytku są możliwe do wykorzystania w połączeniu z komputerem.

W mojej pracy przedstawię wykorzystanie przedmiotów codziennego użytku i zabawek w fizyce na przykładzie zjawisk falowych.

Sformułowana w 1924 roku hipoteza przez Louisa de Broglia o tym, że wszystkie cząstki elementarne mają naturę nie tylko korpuskularną, ale i falową, szybko została potwierdzona doświadczalnie.

Fakt ten zmienił rolę fizyki fal w ogólnej strukturze tej nauki. Stopniowo w programie nauczania zachodziły zmiany, które doprowadziły do tego, że fizyka fal została wydzielona w osobny dział, zamiast tradycyjnego umieszczania akustyki w mechanice, czy fizyki fal elektromagnetycznych w elektromagnetyzmie. W szkole podstawowej zjawiska falowe są wprowadzane uczniom w klasie ósmej, przed działem optyki. Fale elektromagnetyczne ogranicza się tylko do fal świetlnych.

II Podstawowe wielkości charakteryzujące fale

Ogólnie w fizyce falami nazywa się różnego rodzaju rozchodzące się w przestrzeni zaburzenia stanu materii lub pola.

Zwykle za falę mechaniczną (biegnącą) uważa się zaburzenie, które :

- związane jest z przesunięciem elementów ośrodka (np. cząsteczek),
- rozchodzi się z określoną prędkością,
- przenosi energię.

Na przykład fale akustyczne w gazach lub cieczach są drganiami ciśnienia rozchodzącego się w tych ośrodkach, natomiast fale elektromagnetyczne są to rozchodzące się w przestrzeni drgania natężeń E i H pola elektromagnetycznego.

Podstawowe wielkości charakteryzujące fale to:

A - amplituda fali, określa wartość maksymalnego wychylenia od położenia początkowego,

T – okres drgań, w czasie równym okresowi układ wykonuje pełne drganie,

ω -częstość kołowa, równa liczbie drgań wykonanych w ciągu 2π jednostek czasu:

$$\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T,$$

ν - częstość drgań, równa liczbie pełnych drgań wykonanych w jednostce czasu:

$$\nu = 1/T .$$

Odległość λ , na którą rozchodzi się fala w czasie równym okresowi drgań cząsteczek ośrodka, nazywa się długością fali:

$$\lambda = \nu T ,$$

gdzie:

ν - prędkość fali,

T - okres drgań,

$$T = 1/\nu = 2\pi/\omega.$$

Wielkość k nazywamy liczbą falową, która związana jest z długością fali:

$$k = 2\pi/\lambda = 2\pi/(\nu T) = \omega/\nu.$$

II.1 Równanie falowe.

Równanie fali jednowymiarowej przedstawia wychylenie drgającej cząsteczki:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

gdzie:

φ – jest dowolną stałą określającą fazę początkową fali w chwili $t = 0$ i w punkcie $x = 0$,
 $(\omega t + \varphi_0)$ – jest fazą drgań fali, określającą wartość x w dowolnej chwili t .

II.2 Zjawiska dyfrakcji i interferencji.

Są to zjawiska typowe dla ruchu falowego, odkrycie i analiza tych zjawisk dla światła stanowiły rozstrzygający dowód na to, że jest ono falą.

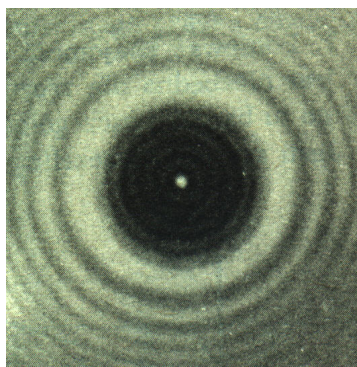
II.2.1 Dyfrakcja

Dyfrakcją nazywamy zespół zjawisk powstających podczas rozchodzenia się fal w ośrodku z ostrymi niejednorodnościami, np. w pobliżu granic ciał przezroczystych i nieprzezroczystych.

Dyfrakcja polega na ugięciu promieni fal przechodzących w pobliżu przeszkody. Zwykle efekty dyfrakcyjne są małe i trzeba ich uważnie szukać. Poza tym, w przypadku fal świetlnych, większość źródeł światła to przedmioty rozciągłe, wobec tego obraz dyfrakcyjny wytwarzany przez jeden punkt źródła nakłada się na obrazy wytwarzane przez inne punkty. Jeszcze jeden powód, dla którego trudno jest zaobserwować dyfrakcję, to ten, że zwykle źródła światła nie są monochromatyczne. Obrazy dla różnych długości fal nakładają się na siebie i zjawisko dyfrakcji jest mniej widoczne.

Jednakże nawet w warunkach codziennych można zaobserwować dyfrakcję, np. obserwując zawężanie się szczeliny między dwoma palcami wyciągniętej ręki.

Dyfrakcja fal dźwiękowych występuje w życiu codziennym bezustannie, natomiast do zaobserwowania dyfrakcji fal świetlnych niezbędne jest spełnienie specjalnych warunków. Jeśli fala trafia na przeszkodę, zachodzi zaburzenie fazy i amplitudy fali. Każde takie zaburzenie wywołuje odstępstwo od prostoliniowego rozchodzenia się fali – daje efekt dyfrakcji (Rys.1). Obraz dyfrakcyjny małego otworu kołowego składa się z pola centralnego otoczonego na przemian ciemnymi i jasnymi prążkami.

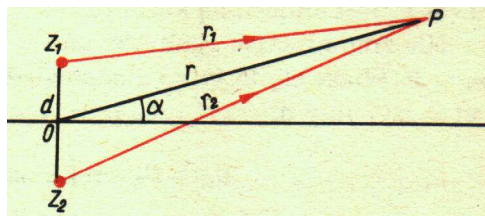


Rys. 1 Dyfrakcja na przesłonie kołowej

II.2.2 Interferencja

Interferencja fal jest to zjawisko nakładania się fal, przy którym nie zachodzi sumowanie ich energii. Przy interferencji fal zachodzi ich wzajemne wzmocnienie w jednych punktach ośrodka, a osłabienie w innych.

Interferencja zachodzi, kiedy nakładają się fale o tej samej częstotliwości i tym samym kierunku polaryzacji (Rys.2).



Rys. 2 Nałożenie się fal pochodzących od dwóch źródeł

Natężenie E wypadkowego pola elektrycznego w punkcie nałożenia się fal

$$E = E_1 + E_2,$$

gdzie:

$$E_1 = A \sin(2\pi\nu t - 2\pi r_1 / \lambda + \varphi_1),$$

$$E_2 = A \sin(2\pi\nu t - 2\pi r_2 / \lambda + \varphi_2),$$

gdzie:

r_1, r_2 - odległości źródeł fal od punktu nałożenia się fal.

Po zsumowaniu i założeniu, że fazy początkowe obu fal są równe zero, czyli $\varphi_1 = 0$ i $\varphi_2 = 0$, fala wypadkowa dana jest wzorem :

$$E = 2A \cos(\pi d \sin \alpha / \lambda) \sin[2\pi(vt - r/\lambda)],$$

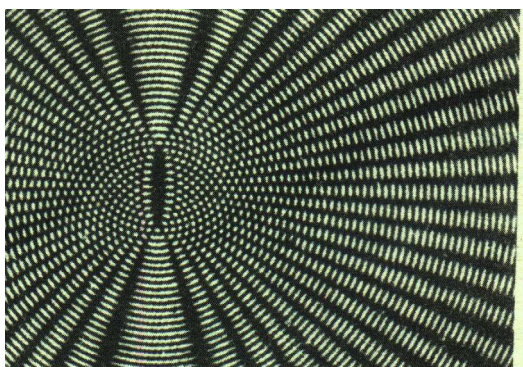
gdzie:

d - jest odległością między źródłami,

r - jest odległością od środka odcinka d do punktu nałożenia się fal,

α - jest kątem między odcinkiem r , a normalną do odcinka d .

Falę taką widzimy na Rys.3.



Rys. 3 Interferencja fal wysyłanych przez dwa źródła liniowe

Zależnie od wartości kąta α amplituda tej fali zmienia się od 0 do $2A$.

Fale wygaszają się tzn. amplituda równa się zero, gdy różnica odległości punktu nałożenia się fal od obu źródeł, czyli różnica dróg fal wysyłanych przez oba źródła wynosi:

$$r_2 - r_1 = (2n + 1)\lambda / 2, \quad \text{gdzie } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

zachodzi to jeśli:

$$d \sin \alpha = (2n + 1)\lambda / 2.$$

Amplituda fali wypadkowej jest maksymalna, gdy różnica odległości punktu obserwacji od obu źródeł wynosi :

$$r_2 - r_1 = n\lambda,$$

zachodzi to jeśli:

$$d \sin \alpha = n\lambda.$$

Interferencję obserwuje się tylko wtedy, gdy rozdzieli się falę pochodzącą z jednego źródła na dwie, a potem znowu się je połączy.

Przykładem interferencji widocznej bez użycia specjalnych przyrządów jest np. kropkowany obraz żółtych (sodowych) lamp ulicznych obserwowanych z dużych odległości.

III Fale dźwiękowe

Program szkoły podstawowej nie przewiduje nauczania ruchu falowego oraz akustyki jako oddzielnej partii materiału. Materiał ten jest jednak realizowany w klasie siódmej w ogólnym dziale mechaniki.

W węższym znaczeniu przez akustykę rozumiało się dawniej dział fizyki zajmujący się głosem, a więc podłużnymi falami zagęszczeń i rozrzedzeń w powietrzu, odczuwalnymi przez ucho ludzkie.

W dzisiejszym znaczeniu akustyka obejmuje naukę o falach sprężystych bądź podłużnych, rozchodzących się w gazach i cieczach, bądź podłużnych i poprzecznych rozchodzących się w ciałach stałych.

Fale dźwiękowe należą do najczęściej spotykanych zjawisk w naszym otoczeniu, lecz obserwacja wprost ich falowej natury nie jest łatwa. Dźwiękiem nazywamy wrażenia głosowe wywołane falami głosowymi niesinusoidalnymi lecz periodycznymi.

Łatwo uzmysłwić sobie, że:

1. Dźwięk polega na zaburzeniu powietrza.
2. Dźwięki rozchodzą się ze skończoną prędkością (zjawisko echa lub fakt, że najpierw widać błysk a potem słysząc grzmot).
3. Dźwięki przenoszą energię.

Warunki te potwierdzają falową naturę dźwięku.

Ucho ludzkie wyczulone jest na fale zagęszczeń i rozrzedzeń w powietrzu w zakresie częstotliwości od około 16 kHz do 20 kHz. Gdy chodzi o częstotliwości powyżej 20 kHz mówimy o ultradźwiękach, natomiast fale o częstotliwościach poniżej 16 kHz zalicza się do infradźwięków. Infra- i ultradźwięków ucho ludzkie nie słyszy.

Średnią wartość gęstości strumienia energii, którą niesie fala dźwiękowa w czasie, nazywamy natężeniem dźwięku.

Natężenie dźwięku można wyliczyć ze wzoru:

$$I = \overline{\omega} \cdot u ,$$

gdzie:

u - prędkość grupowa fali:

$$u = d\omega / dk ,$$

$\overline{\omega}$ - średnia wartość objętościowej gęstości energii :

$$\varpi = 1/T \int_0^T \omega \cdot dt ,$$

gdzie:

T - czas pełnego drgania (okres).

Natomiast prędkość dźwięku w gazie:

$$u = \sqrt{kp / \rho} ,$$

gdzie:

k- oznacza stosunek ciepła właściwego gazu pod stałym ciśnieniem C_p do ciepła właściwego gazu w stałej objętości C_v (wykładnik adiabaty):

$$k = C_p / C_v ,$$

gdzie:

p - ciśnienie ,

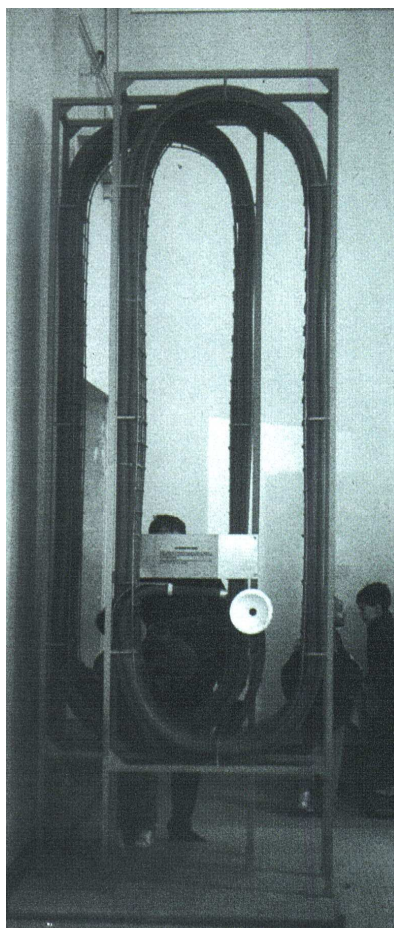
ρ - gęstość gazu.

Zgodnie z tym wzorem mamy prędkość dźwięku w powietrzu równą 331,3 m/s.

Gdy fale głosowe trafiają na przeszkodę lub na granicę innego ośrodka, następuje ich odbicie lub załamanie. Spotykamy się w związku z tym np. ze zjawiskiem echa. Gdy odbicie głosu następuje od zakrzywionych dużych powierzchni, efekt jest analogiczny do odbicia od kulistych zwierciadeł wklęsłych.

III.1 Opóźnienie głosu w rurze

W rurze o długości około 100 metrów mamy do czynienia z opóźnieniem głosu. Przykładamy usta blisko lejka, a ucho do drugiego końca rury. Przymocowane wysokie napięcie wydaje krótki dźwięk, który nadchodzi do ucha z dużym opóźnieniem (Rys. 4).



Rys. 4 Rura

III.2 Fale ultradźwiękowe.

Fale o częstotliwościach ultradźwiękowych rzędu kilkudziesięciu kiloherców lub więcej, których długości w powietrzu są rzędu kilku milimetrów, ulegają regularnemu odbiciu. Wydając okrzyk, a następnie mierząc czas upływający do chwili dotarcia echa, tj. dźwięku odbitego od przeszkody, można mnożąc połowę tego czasu przez prędkość głosu, znaleźć odległość od przeszkody.

Na takiej zasadzie działa lokator i echosonda, którą stosuje się do pomiaru głębokości i zdejmowania profilu dna morskiego. Znając prędkość głosu w wodzie morskiej znajdujemy głębokość dna.

W przyrodzie na zasadzie radaru dźwiękowego orientują się w ciemności nietoperze, których ucho jest wrażliwe na ultradźwięki. Nietoperz wysyła okresowo impulsy

ultradźwiękowe i na podstawie odbieranych za pomocą organu słuchu sygnałów odbitych z dużą dokładnością ocenia odległość od otaczających go obiektów.

III.2.1 Urządzenie mierzące odległość obiektu.



Rys. 5 Urządzenie do pomiaru odległości

W celu zmierzenia odległości wysyła ono fale ultradźwiękowe, które odbijane są od przedmiotu i powracają do aparatu (Rys.5). Ściśle mówiąc zostaje zmierzony czas, który potrzebny jest falam dźwiękowym na przebycie drogi tam i z powrotem. Z tego urządzenie oblicza odległość przedmiotu, ponieważ zna ono prędkość rozchodzenia się fal w powietrzu. Z uwagi na fakt, że w gazach rzeczywistych prędkość zależy od temperatury, urządzenie do pomiaru odległości wyposażone jest również w termometr. Układ elektroniczny w automatyczny sposób uwzględnia temperaturę, tak że odczyt odległości zachodzi z dokładnością lepszą niż 1%. Urządzenie nadaje się w szczególności do pomiarów odległości od dużych, płaskich obiektów, jak np. ścian. W niektórych krajach zastąpiło ono tradycyjny metr w pracach malarskich.

IV Fale elektromagnetyczne.

Fale elektromagnetyczne są to rozchodzące się w przestrzeni zaburzenia pola elektromagnetycznego. Fale te w zależności od częstości ν (lub długości fali w próżni $\lambda = c/\nu$, gdzie c - jest prędkością fal elektromagnetycznych w próżni) dzielimy na: fale radiowe, promieniowanie świetlne, rentgenowskie oraz promieniowanie gamma.

Światłem lub promieniowaniem świetlnym nazywamy fale elektromagnetyczne, których długości w próżni leżą w zakresie od 10nm do 1mm (są to granice umowne). Do promieniowania świetlnego należą: promieniowanie podczerwone, widzialne (380nm – 760nm) oraz ultrafioletowe.

Fale świetlne tak jak wszystkie fale ulegają dyfrakcji (ugięciu), interferencji, ale także dyspersji (rozszczepieniu).

W celu zaobserwowania dyfrakcji fal świetlnych postępuje się zwykle według następującego schematu. Na drodze fali świetlnej, rozchodzącej się od pewnego źródła, umieszcza się czystą przegrodę przesłaniającą część powierzchni fali świetlnej. Za przegrodą ustawia się ekran, na którym powstaje obraz dyfrakcyjny. Charakter obrazu dyfrakcyjnego można wyjaśnić w oparciu o zasadę Huyghensa i zjawisko interferencji światła.

Zgodnie z zasadą Huyghensa, każdy punkt ośrodka, do którego dochodzi fala, można traktować jako źródło wtórnej fali kulistej, której faza początkowa jest równa fazie fali pobudzającej. Rozwijając ideę Huyghensa, Fresnel założył, że obrazy dyfrakcyjne powstające na różnego rodzaju przeszkodach są wynikiem interferencji fal wtórnych.

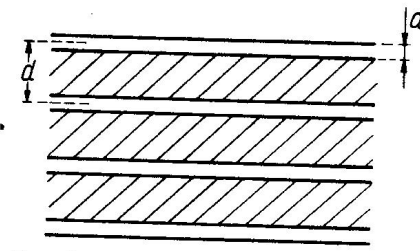
Jeśli chodzi o dyfrakcję światła na szczelinie, to obraz dyfrakcyjny składa się z szeregu jasnych i ciemnych prążków. Jeśli szerokość szczeliny wynosi a , i ekran znajduje się w dużej odległości od szczeliny, to położenie kolejnych minimów na ekranie wyznaczone są za pomocą wzoru:

$$a \sin \alpha = n\lambda, \quad \text{gdzie } n = \pm 1, \pm 2, \dots$$

Ze wzoru tego wynika, że dla różnych długości fal minima będzie się obserwować pod różnymi kątami α oraz, że im węższa szczelina, tym większe są odległości między prążkami. Im większa jest przeszkoda, tym mniejszy jest kąt ugięcia i tym dalej musimy przenieść punkt obserwacji, jeśli chcemy dostrzec obraz dyfrakcyjny.

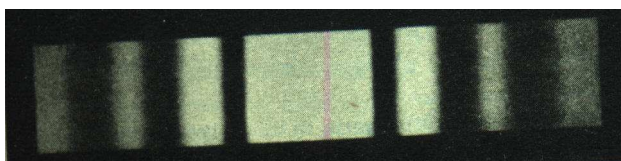
IV.1 Siatka dyfrakcyjna.

Siatka dyfrakcyjna jest to zbiór jednakowych elementów uginających światło, położonych w jednakowych odstępach od siebie. Istnieją różne typy siatek dyfrakcyjnych, ale najczęściej spotyka się siatki będące zbiorem równoległych szczelin, tzw. siatki szczelinowe, siatki dwuwymiarowe i siatki przestrzenne (Rys.6).



Rys. 6 Siatka dyfrakcyjna szczelinowa

Jakość siatki szczelinowej jest tym wyższa, im mniejsza jest szerokość szczelin a oraz im mniejsze są odległości d między ich środkami. Wielkość d zwana jest stałą siatki. Jeśli na siatkę rzucimy prostopadle wiązkę promieni równoległych, to zaobserwujemy obraz dyfrakcyjny, który jest obrazem szczeliny. Obraz ten jest szeregiem jasnych i ciemnych prążków, pokazany na Rys.7.



Rys. 7 Dyfrakcja na szczelinie

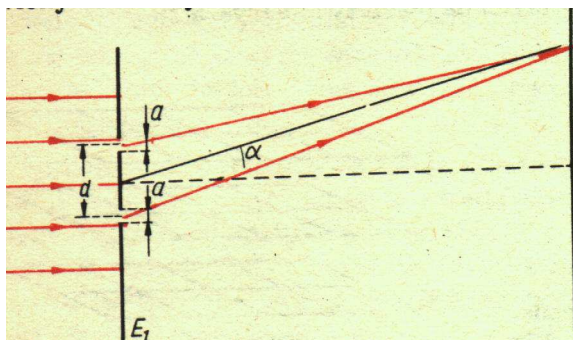
Różnica dróg promieni wychodzących z dwóch sąsiednich szczelin wynosi:

$$\Delta = d \sin \alpha ,$$

gdzie:

α jest kątem ugięcia.

Ugięcie promieni na szczelinach przedstawia Rys.9.



Rys. 8 Ugięcie promieni na szczelinach siatki

Wzajemne wzmocnienie promieni otrzymamy, gdy:

$$d \sin \alpha_k = k\lambda,$$

gdzie:

k - jest liczbą całkowitą.

Dla $k = 0$ otrzymamy prążek zerowy odpowiadający wiązce nieugiętej, dla $k = 1, 2, \dots$ otrzymujemy prążki ugięte pierwszego, drugiego, k - tego rzędu. Położenie max zależy od długości fali.

Położenie pierwszego minimum bocznego określamy dzieląc całą szerokość siatki na dwie równe części i biorąc pod uwagę odpowiadające sobie punkty położone symetrycznie w tych dwóch częściach siatki. Odległość dwóch takich punktów jest równa $Nd/2$ (N - liczba szczelin). Różnica dróg promieni ugiętych pod kątem α i wychodzących z dwóch takich punktów jest:

$$\Delta = Nd \sin \alpha / 2.$$

Całkowite wygaszenie następuje, gdy:

$$1/2 Nd \sin \alpha_1 = \lambda / 2,$$

skąd:

$$\sin \alpha_1 = \lambda / Nd.$$

Dla prążka k - tego rzędu:

$$\sin \alpha_k = k\lambda / Nd.$$

Dla $k = N$ otrzymujemy pierwsze maksimum.

Ten ważny fakt jest podstawą zastosowania siatki do widmowej analizy światła. Mając siatkę dyfrakcyjną można łatwo zmierzyć długość fali. Z powodu tego, że oko

odbiera fale świetlne różnej długości jako światło o różnej barwie, na ekranie obserwujemy szereg wielobarwnych smug.

IV.1.1 Siatka dwuwymiarowa

Siatkę dwuwymiarową można otrzymać nanosząc na płytkę szklaną lub metalową dwa przecinające się układy rys. Siatkę taką można traktować jako wynik nałożenia dwu siatek szczelinowych A i B, rolę elementów uginających spełniają przezroczyste obszary ograniczone rysami. Gdy światło pada na siatkę prostopadle do jej powierzchni, na ekranie obserwuje się obraz dyfrakcyjny. Rozkład natężeń na ekranie jest iloczynem rozkładów natężeń dawanych przez obie siatki z osobna.

Siatka A daje układ poziomych, jasnych prążków w kierunku opisanym warunkiem :

$$a \sin \alpha_1 = k\lambda ,$$

gdzie:

a – stała siatki, a kąt α_1 leży w płaszczyźnie x y.

Siatka B daje układ pionowych, jasnych prążków w kierunku :

$$b \sin \alpha_2 = m\lambda ,$$

gdzie b – stała siatki, a kąt α_2 jest mierzony w płaszczyźnie x z.

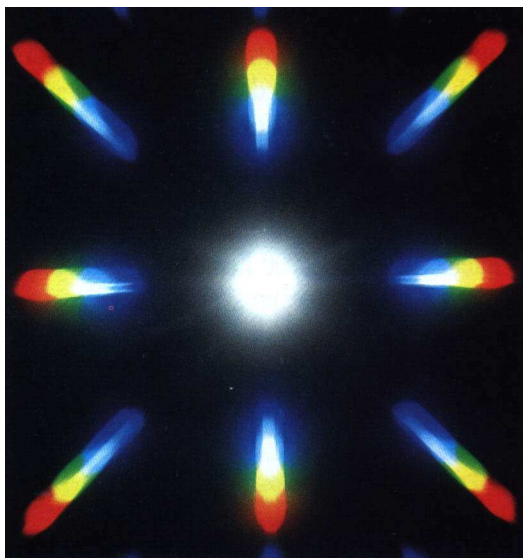
Na ekranie pojawi się regularny układ jasnych plamek, odpowiadających przecięciom tych dwu układów prążków. Ponieważ nakłada się na to efekt nierównomiernego rozkładu kąтового światła ugiętego przez każdy element dyfrakcyjny z osobna, niektóre plamki mają zbyt słabe natężenie, by można było je zobaczyć na ekranie. Na ekranie powstaje tzw. krzyż dyfrakcyjny.

Obraz tego typu można zobaczyć patrząc przez bardzo gęstą tkaninę na odległą o kilka metrów żarówkę.

IV.1.2 Okulary chromatyczne.

Ze skrzyżowanych pod kątem prostym siatek dyfrakcyjnych składają się soczewki okularów chromatycznych.

Kiedy patrzymy przez takie okulary na białe światło żarówki, widzimy wówczas wiele kolorowych widm świetlnych, jest to ciągłe widmo dyfrakcyjne. Można je zobaczyć w okularach we wszystkich kierunkach, w górze, na dole, z prawej i z lewej strony (Rys.9).



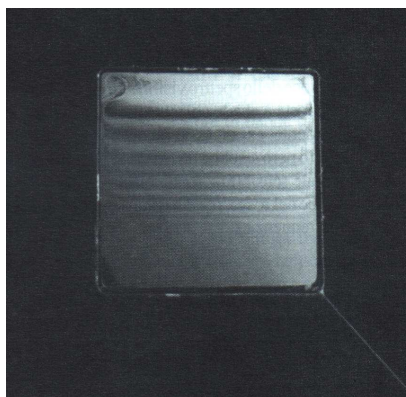
Rys.9 Obraz żarówki widziany przez okulary chromatyczne

IV.1.3 Płyta CD

Cieniutkie koncentryczne linie na płycie CD tworzą siatkę odbiciową. Jeśli płyta zostaje naświetlona światłem, wówczas promienie świetlne są odbite na liniach. Płyta rozdziela światło na różne długości, które odbite nakładają się na siebie interferując ze sobą.

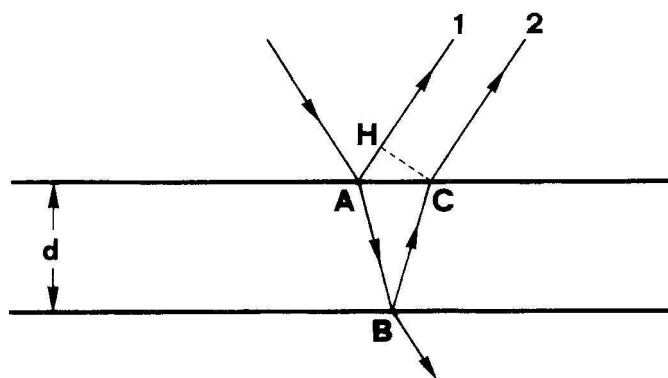
IV.1.4 Bańki mydlane

Zjawisko interferencji światła można w prosty sposób pokazać na bańce mydlanej.



Rys. 9 Interferencja na błonie bańki mydlanej

Zwykle bańki mydlane przyjmują postać kulki, ponieważ kulka jest takim ciałem, które przy stałej objętości ma najmniejszą powierzchnię. Można uzyskać inne kształty baniek mydlanych, jeśli dowolnie uformowaną drucianą ramkę zanurzy się w mydliny. Po wyjęciu tworzy się taki układ cieczy, które przyjmują taką postać, żeby suma powierzchni tworzyła minimum. Roztwór mydlany tworzy się z dużej ilości wody, trochę płynu do naczyń i gliceryny w stosunku 6:2:1; gliceryna wydłuża trwałość baniek. W tym doświadczeniu nie tylko różne, często dziwne kształty baniek robią wrażenie, lecz także zmieniające się kolory interferujących ze sobą wiązek światła. Rys.9 przedstawia efekty interferencyjne w cienkiej błonie z wody z mydłem oświetlonej światłem białym.



Rys. 10 Ugięcie promieni na cienkiej błonie

Rys.10 przedstawia cienką błonkę o stałej grubości d i współczynniku załamania n . Wiązka światła pochodząca od rozciągniętego źródła, na powierzchni błonki rozszczepia się na dwa promienie, gdyż część wiązki ulega odbiciu od górnej powierzchni błonki, a reszta od dolnej powierzchni. Przy padaniu wiązki prawie prostopadłym ($AH = 0$), geometryczna różnica dróg między promieniami odbitym i załamanym będzie wynosiła blisko $2d$ ($AB = BC \cong d$). Jednak długość fali odnosi się do długości fali w błonie λ_n , a nie do jej długości w powietrzu λ , znaczy to, że musimy rozważać optyczne, a nie geometryczne długości dróg. Długości fal λ i λ_n są związane ze sobą zależnością:

$$\lambda_n = \lambda / n.$$

Poza tym zakładamy, że błonka jest tak cienka, że $2d$ jest znacznie mniejsze od długości fali. Gdyby założenie to było słuszne, różnica faz między dwoma falami byłaby bliska zero, a tymczasem zamiast jasnych prążków, w miejscu tym obserwujemy ciemne.

Na Rys.9 widać, że w miarę, jak coraz więcej cieczy odpływa ku dołowi, jasny obszar u góry zwiększa swe rozmiary. Aby wyjaśnić to zjawisko, musimy założyć, że jeden z promieni z Rys.10 doznaje nagłej zmiany fazy o $\pi = 180^\circ$, związanej z odbiciem na powierzchni oddzielającej powietrze od błonki.

Biorąc pod uwagę oba te czynniki, które określają charakter interferencji, mianowicie różnice długości dróg optycznych oraz zmiany fazy przy odbiciu, dla promienia odbitego i załamane zachodzi równość

$$2d = (k + 1/2)\lambda_n, \quad k = 0, 1, 2, \dots,$$

aby promienie te po dodaniu się dawały natężenie maksymalne.

Czynnik $1/2\lambda_n$ wprowadzono ze względu na zmianę fazy przy odbiciu, ponieważ zmiana fazy o 180° równoważna jest różnicy dróg równej połowie długości fali. Podstawiając λ/n zamiast λ_n ostatecznie otrzymujemy:

$$2dn = (k + 1/2)\lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots (\text{maksima}).$$

Warunek na natężenie minimalne:

$$2dn = k\lambda, \quad k = 0, 1, 2, \dots (\text{minima}).$$

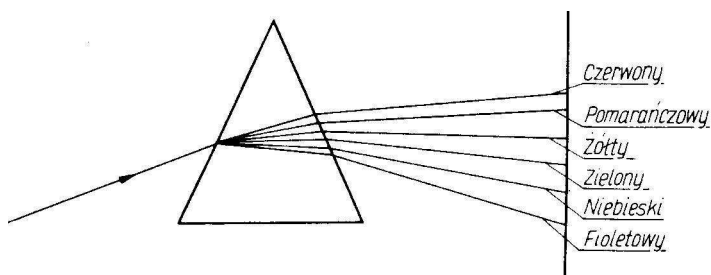
Równania te są słuszne, jeśli współczynnik załamania błonki jest większy lub mniejszy od współczynników załamania ośrodków znajdujących się po obu stronach błonki. Tylko w tych przypadkach nastąpi zmiana fazy dla dobić na obu powierzchniach.

Jeśli grubość błonki nie jest wszędzie jednakowa, w pewnych jej częściach nastąpi interferencja osłabiająca natężenie, a w innych – wzmacniająca. Powstają wówczas prążki interferencyjne. Jeśli błonka jest oświetlona światłem białym, to interferencja światła odbitego od różnych części błonki będzie różna dla różnych długości fal. Taka jest przyczyna powstawania błyszczących barw na bańkach mydlanych czy też tłustych plamach na powierzchni wody.

IV.2 Dyspersja światła

Światło oprócz dyfrakcji i interferencji ulega także dyspersji, co inaczej nazywamy rozszczepieniem. Aby pokazać rozszczepienie światła białego, można użyć pryzmatu (szklanego lub wypełnionego wodą). Ponieważ kąt odchylenia promieni w pryzmacie zależy m. in. od współczynnika załamania, który jest różny dla różnych długości fal,

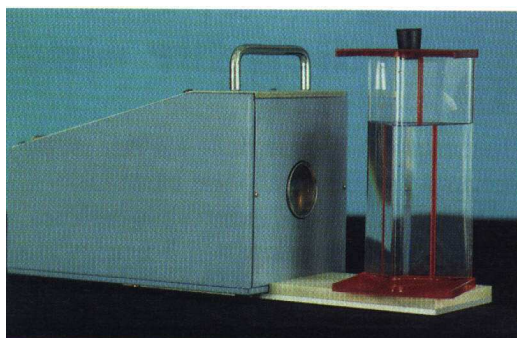
światło białe, które nie jest monochromatyczne, ale złożone, ulega rozszczepieniu. Gdy za pryzmatem ustawimy ekran, ujrzymy na nim barwne widmo ciągłe (Rys.11).



Rys. 11 Rozszczepienie światła białego w pryzmacie

Różnice między kątami odchylenia światła różnych barw są tym większe, im większy jest kąt padania i im większy jest kąt łamiący pryzmatu.

IV.2.1 Dyspersja światła w pryzmacie



Rys. 12 Zestaw doświadczalny do dyspersji światła

W doświadczeniu pokazującym dyspersję światło białe wysyłane jest z żarówki. Światło to dociera do soczewki, która ma za zadanie zogniskować je, aby kolory na ekranie były bardziej widoczne. Jeśli zmienimy źródło światła, wówczas zobaczymy na ekranie widmo liniowe, są to ostro zaznaczone kolorowe linie (Rys.12).

Układ linii spektralnych jest charakterystyczny dla każdego pierwiastka. Z występowania określonych linii można określić cechę materiału, który wysyła światło. Ponieważ długości linii widmowych określonych pierwiastków są obecnie dokładnie znane, można przez rozszczepienie światła wysyłanego z danego materiału określić dokładnie jego skład.

V Inne zjawiska optyczne.

W rozdziale tym nie będzie mowy o dyfrakcji czy interferencji światła. W takim przypadku można poprzestać na uproszczonym opisie rozchodzenia się światła w przestrzeni, czyli na tzw. optyce geometrycznej. Optyka geometryczna nie uwzględnia faktu, że światło jest falą, a mówi jedynie o prostoliniowym rozchodzeniu się promieni świetlnych.

W programie szkoły podstawowej obowiązuje optyka geometryczna, która jest realizowana w klasie ósmej. Uczniom zazwyczaj wyjaśnia się prawa optyki bez pokazywania doświadczeń, a przecież w prosty sposób można wykorzystać przedmioty, z którymi mamy na co dzień do czynienia.

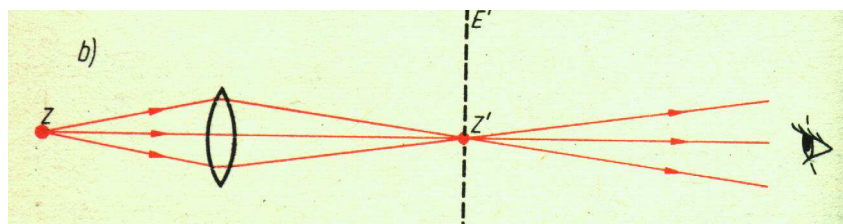
V.1 Zwierciadła płaskie

Rozchodzeniem się promieni świetlnych w przestrzeni rządzą trzy proste prawa optyki geometrycznej:

- prawo prostoliniowego rozchodzenia się światła w ośrodkach jednorodnych,
- prawo odbicia,
- prawo załamania.

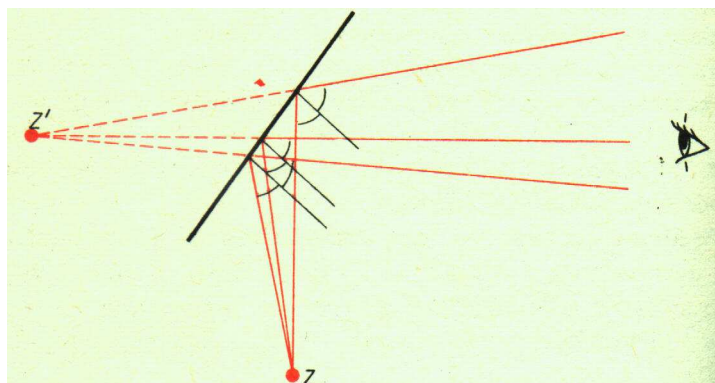
Zwierciadłami nazywać będziemy powierzchnie, które niemal całkowicie odbijają padające na nie promieniowanie, w wyniku czego powstaje obraz.

Gdy promienie ze źródła punkowego, przed dojściem do oka obserwatora, doznają odbicia lub ulegają załamaniu, a następnie przecinają się w jednym punkcie, znajdującym się między okiem a powierzchnią załamującą czy odbijającą, oko widzi źródło w tym właśnie punkcie. Punkt ten jest rzeczywistym obrazem źródła. Obraz daje oku takie wrażenie jak źródło (Rys.13).



Rys. 13 Obraz rzeczywisty Z' źródła światła Z

Jeśli do oka trafia rozbieżna wiązka promieni, ale promienie te nie przecinają się, lecz przecinają się ich przedłużenia, to obraz ten jest pozornym obrazem źródła (Rys.14). Wrażenie odbierane przez oko jest takie, jakby w punkcie przecięcia się przedłużeń znajdowało się źródło punktowe, wysyłające dochodzącą do oka wiązkę rozbieżną.



Rys. 14 Obraz pozorny źródła światła

Ze względu na kształt powierzchni rozróżniamy zwierciadła płaskie, kuliste (sferyczne), lub paraboliczne.

Jeśli chodzi o zwierciadła płaskie, to wytwarzają one obraz pozorny. Z prawa odbicia wynika, że gdy na zwierciadło płaskie pada rozbieżna wiązka promieni rozchodzących się z punkowego źródła, znajdującego się w odległości d od zwierciadła, to:

- wiązka odbita będzie rozbieżna,
- przedłużenia promieni odbitych przetną się w punkcie, który jest odległy od zwierciadła również o d .

Wniosek ten jest także słuszny, jeśli przed zwierciadłem znajduje się przedmiot rozciągliwy. Obrazy takich przedmiotów, powstające w zwierciadle płaskim, mają te same rozmiary, ten sam kształt i znajdują się w tej samej odległości od zwierciadła co przedmiot.

Gdy na zwierciadło płaskie pada zbieżna wiązka promieni – czyli gdy przedmiot jest pozorny – to wiązka odbita jest także zbieżna. W punkcie przecięcia promieni odbitych powstaje obraz rzeczywisty. Zwierciadło płaskie może dawać obraz rzeczywisty, jeśli przedmiot jest pozorny.

V.1.1 Półprzepuszczalne lustro



Rys. 15 Lustro półprzepuszczalne

Aby dowiedzieć się jak powstaje lustrzane odbicie instaluje się półprzepuszczalne lustro (Rys.15). Przedmiot, który stoi przed lustrem, można złapać ołówkiem na papierze za lustrem. Obraz za lustrem jest wówczas tak samo odległy jak przedmiot przed nim. Obraz i przedmiot leżą symetrycznie do siebie. Lustro jest płaszczyzną symetryczną, więc instaluje się dwa półprzepuszczalne lustra obok siebie i skręca się zewnętrzne brzegi obu luster tak, że tworzą one wzajemnie zamknięty kąt. Im bliżej schodzą się ze sobą, tym więcej obrazów powstaje z leżącego przed nim przedmiotu. Również te obrazy są symetryczne względem stykających się krawędzi lustra.

V.2 Zwierciadła kuliste

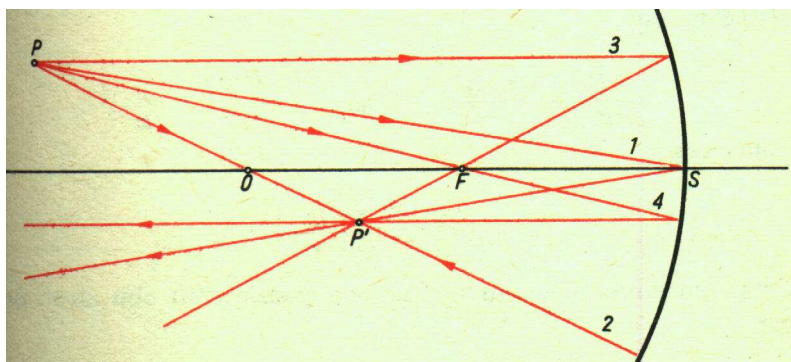
Bardziej skomplikowane jest powstawanie obrazów w zwierciadłach kulistych. Zwierciadło kuliste jest zwierciadłana powierzchnia kuli, wewnętrzna lub zewnętrzna. Jeśli jest to powierzchnia wewnętrzna – zwierciadło nazywamy wklęsłym, jeśli powierzchnia jest zewnętrzna – zwierciadło jest wypukłe. Dowolną prostą łączącą środek krzywizny zwierciadła ze zwierciadłem nazywa się osią optyczną, a punkt jej przecięcia z powierzchnią zwierciadła – wierzchołkiem zwierciadła.

Ważnym parametrem charakteryzującym zwierciadło jest ogniskowa – która jest połową promienia krzywizny zwierciadła. Ogniskową oznaczamy przez f , natomiast punkt, w którym przecinają się promienie równoległej do osi optycznej wiązki przyosiowej, zwany jest ogniskiem F zwierciadła. Odległość ogniska od zwierciadła jest ogniskową f zwierciadła.

W przypadku zwierciadła wypukłego w ognisku przecinają się przedłużenia promieni równoległych. Ognisko to nazywa się ogniskiem pozornym.

Promienie wysyłane przez dany punkt przedmiotu po odbiciu się od zwierciadła wklęsłego przecinają się w jednym punkcie tworząc obraz. Do wyznaczania położenia tego obrazu wystarczy znajomość biegu dowolnych dwu promieni. Przy konstrukcji obrazu korzystamy z następujących promieni (Rys.16):

- 1- promień padający na wierzchołek zwierciadła, który odbija się symetrycznie względem osi optycznej zwierciadła,
- 2- promień przechodzący przez środek krzywizny zwierciadła, który odbija się wzdłuż tej samej linii,
- 3- promień padający na zwierciadło równoległe do jego osi optycznej, który po odbiciu przechodzi przez ognisko zwierciadła,
- 4- promień przechodzący przez ognisko, który po odbiciu biegnie równoległe do osi optycznej zwierciadła.



Rys. 16 Bieg promieni w zwierciadle kulistym wklęsłym

Równanie zwierciadła ma następującą postać:

$$1/x + 1/y = 2/r = 1/f.$$

Równanie to określa związek odległości obrazu i przedmiotu dla dowolnego punktu, niezależnie od jego odległości od osi optycznej. Oznacza to, że obrazy wszystkich punktów równoległych do zwierciadła są też do niego równoległe.

V.2.1 Hologram



Rys. 17 Hologram

Kiedy spojrzymy z boku na otwór urządzenia, zobaczymy obraz przedmiotu, który znajduje się wewnątrz (Rys.17). Obraz ten jest tak wyraźny, że można przez pomyłkę uznać go za rzeczywisty przedmiot. Sięgając po ten przedmiot ręką przekonać się można, że na tym miejscu nic nie ma. Przedmiot ten leży na dnie naczynia. Promienie, które wychodzą z przedmiotu odbijają się od dwóch zwierciadeł wklęsłych zanim utworzą obraz. Oba lustra muszą mieć znakomitą jakość optyczną, żeby przy odbiciu nie wystąpiły żadne zniekształcenia obrazu.

Urządzenie to można nazwać inaczej ‘fata morgana’, ponieważ obrazy udają przedmioty, które leżą schowane. W tym przypadku została stworzona iluzja przy pomocy dwóch zwierciadeł wklęsłych, a nie jak ma to miejsce na pustyni, gdzie dwie różne ciepłe warstwy powietrza spotykają się tworząc złudne obrazy.

V.3 Załamanie światła.

Gdy promień świetlny pada na granicę dwu ośrodków przezroczystych, zachodzą jednocześnie dwa zjawiska : odbicie i załamanie światła.

Prawo odbicia wynika z zasady Huyghensa:

W każdym punkcie powierzchni granicznej promień fali padającej, promień fali odbitej oraz normalna do powierzchni leżą w jednej płaszczyźnie; kąt odbicia jest równy kątowi padania.

Załamanie fali opisuje się następującym prawem:

Promień fali padającej, załamanej i normalna w punkcie padania promienia leżą w jednej płaszczyźnie; stosunek sinusa kąta padania do sinusa kąta załamania jest równy stosunkowi prędkości rozchodzenia się fali w ośrodkach 1 i 2:

$$\sin \alpha / \sin \beta = v_1 / v_2 ,$$

gdzie:

stosunek $v_1 / v_2 = n_{12}$ jest to współczynnik załamania ośrodka 2 względem ośrodka 1.

Współczynnik załamania ośrodka względem próżni jest nazywany bezwzględnym współczynnikiem załamania; dla ośrodka 1 mamy:

$$n_1 = c / v_1 .$$

Względny współczynnik załamania n_{12} jest to stosunek bezwzględnego współczynnika załamania ośrodka 2 (n_2) do bezwzględnego współczynnika załamania ośrodka 1 (n_1):

$$n_{12} = n_2 / n_1 .$$

Dopóki powierzchnia jest gładka (nie ma nierówności o rozmiarach porównywalnych z długością fali), prawa odbicia i załamania pozostają w mocy, ale dla każdego promienia z osobna.

W przypadku, gdy na płaską powierzchnię graniczną pada rozbieżna wiązka światła ze źródła znajdującego się w ośrodku 1 o mniejszym bezwzględnym współczynniku załamania ($n_1 < n_2$), to zgodnie z prawem załamania kąt β (kąt załamania) jest zawsze mniejszy od kąta α (kąt padania), współczynnik $n_{12} > 1$. Promień załamany przybliży się do normalnej .

W przypadku, gdy rozbieżna wiązka światła rozchodzi się z punktu 2 znajdującego się w ośrodku 2 o większym współczynniku załamania ($n_2 > n_1$), nie wszystkie promienie padające na powierzchnię graniczną ulegają załamaniu. Część z nich – te, które padają na powierzchnię pod kątem większym od kąta granicznego ($\alpha_{gra.}$) - ulegają całkowitemu odbiciu. Jest to bezpośredni wniosek z prawa załamania, ponieważ $n_{21} = n_1 / n_2$ jest mniejsze od jedności, więc kąty β są większe od kątów α - czyli promienie załamane odchylają się od normalnej.

Przy pewnej granicznej wartości kąta padania α_{gra} , promień załamany biegnie pod kątem $\pi / 2$, czyli ślizga się po powierzchni:

$$n_{21} = \sin \alpha_{gra} / \sin \pi / 2 = \sin \alpha_{gra} = 1 / n_{12} .$$

Dla większych wartości kąta padania prawo załamania dawałoby sprzeczny warunek $\sin \beta > 1$. Warunek ten nie może być spełniony, a zatem załamanie nie może zachodzić.

Dla kątów $\alpha > \alpha_{gra}$ całą energię wiązki światła unosi więc wiązka odbita, jest to tzw. zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia. Zjawisko to wykorzystuje się w światłowodach, które mają szerokie zastosowanie w medycynie, technice a także w telekomunikacji. Na przykład światło można doprowadzić w niedostępne miejsca do wnętrza ludzkiego ciała. Giętkie wiązki szklane ułatwiają badanie pacjentów i pozwalają badać organy, które nie mogły być bezpośrednio obserwowane bez zabiegu operacyjnego (w medycynie nazywa się to endoskopią). Poza tym światłowody wykorzystywane są w telekomunikacji, zastępując przewody naziemne.

Warto więc na lekcjach fizyki bardziej przybliżyć uczniom działanie i wygląd światłowodów.

V.3.1 Światłowod

Jest to gruba plastikowa pałeczka. Promień światła pada przez powierzchnię czołową do pałeczki plastikowej. Na ścianie następuje maksymalne odbicie, tak że promień zostaje doprowadzony do końca pałeczki. Zjawisko to funkcjonuje również przy przezroczystych materiałach.

Warunkiem koniecznym, aby światło mogło się rozchodzić w światłowodach jest, aby przenikalność elektryczna (stała dielektryczna ϵ) włókna była większa od przenikalności elektrycznej otaczającego go ośrodka ($\epsilon_1 < \epsilon_2$). Ponieważ $n = \sqrt{\epsilon}$, więc między współczynnikami załamania musi zachodzić podobna zależność ($n_1 < n_2$). Wobec powyższego pojedyncze włókno wykonane z małostratnego materiału o przenikalności elektrycznej ϵ_1 większej od przenikalności otoczenia może nieść falę elektromagnetyczną. W praktyce takie włókno, zwane rdzeniem, otoczone jest płaszczem o mniejszej przenikalności elektrycznej ϵ_2 .

Promieniowanie wnika do światłowodu może się w nim rozchodzić w postaci fal własnych rdzenia lub płaszcza, względnie wnikać do otaczającego ośrodka. Rodzaj wzbudzonych fal zależy od kąta, pod którym wchodzi wiązka świetlna przez płaszczyznę czołową do wnętrza światłowodu. Jedynie fale rdzeniowe są użytecznym rodzajem energii prowadzonej przez światłowod. Wzbudza je część promieniowania padającego na płaszczyznę czołową światłowodu, która zawiera się w kącie bryłowym 2α ,

odpowiadającym kątowi krytycznemu $\theta_{\text{kryt.}}$. Kąt α wyznacza tzw. aperturę numeryczną NA światłowodu:

$$NA = \sin \alpha = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

Apertura numeryczna określa zdolność światłowodu do pobierania użytecznej energii świetlnej.

W rdzeniu mogą rozchodzić się tylko fale, zwane modami fali elektromagnetycznej. Mod światłowodowy jest to pojedynczy rodzaj drgań własnych światłowodu, spełniający równanie falowe z warunkami brzegowymi zależnymi od wymiarów i konstrukcji światłowodu.

Podstawowym parametrem określającym światłowód jest znormalizowana częstotliwość:

$$V = 2\pi a / \lambda_0 NA,$$

gdzie:

a -promień rdzenia,

λ_0 -długość fali w próżni.

Liczba modów w światłowodzie:

$$N = 0.5V^2.$$

N może przybierać wartości sięgające 1000, są to tzw. światłowody wielomodowe. Jeśli $V < 2.4$, to w światłowodzie może powstawać tylko jeden mod.

V.3.2 Lampa z włókien światłowodowych



Rys. 18 Lampa z włókien światłowodowych

Wiązka giętkich włókien światłowodowych jest zainstalowana na podstawie, w której znajduje się silna lampa, której światło przepływa przez włókna. Aby eksponat był bardziej interesującym, w podstawie można zainstalować filtr z różnokolorowymi prążkami. Mały silniczek elektryczny kręci kolorowy krążek i światło wychodzące ze szklanych wiązek zmienia barwy (Rys.18).

V.3.3 Zmiotka z wiązek szklanych



Rys. 19 Zmiotka z wiązek szklanych

Przy tej zabawce zostało związane wiele wiązek szklanych w jednym uchwycie. W uchwycie tym jest ukryta lampka kieszonkowa. Kiedy włącza się światło, podąża ono wzdłuż wiązek. Ponieważ wiązki szklane mają różne długości, a światło można zobaczyć na końcach wiązek, trzymana w ręku zmiotka w ciemności daje wrażenie złapanych gwiazdek (Rys.19).

VI Zakończenie

Ogólnie uważa się, że fizyka powinna przede wszystkim kształtować naukowy światopogląd ucznia. Uznano, że program fizyki w Szkole Podstawowej powinien obejmować różne działy, również zjawiska falowe.

Nauczanie w szkole musi być bliskie temu, co uczeń wie z życia codziennego i ze środków masowego przekazu. Dlatego też fizyka musi być nauką o świecie, nie powinna ograniczać się do opisywania przyrządów pracowni szkolnej. Musi wiązać się z tymi sprawami, które uczniów pasjonują, z którymi mieli oni jakikolwiek kontakt.

Zastosowanie zabawek i prostych przedmiotów w dydaktyce fizyki powoduje uporządkowanie wiedzy szkolnej z pozaszkolną. Spełnienie tych warunków może przyczynić się do rozwinięcia malejącego dzisiaj zainteresowania tym przedmiotem u uczniów.

Zadania doświadczalne, które mogą być opracowane na bazie doświadczeń wykonywanych przy użyciu przedmiotów powszechnego użytku i zabawek, są jakościowymi zadaniami problemowymi. Udzielenie przez uczniów odpowiedzi na te problemy wymaga: przewidywania efektu doświadczenia i uzasadnienia jego przebiegu, zaproponowania odpowiednich czynności i kolejności ich wykonania w celu otrzymania pożądanых zjawisk oraz wyjaśnienia tych zjawisk.

Stosowanie problemowych metod może efektywnie przyczynić się do realizacji jednego z głównych celów procesu nauczania fizyki, jakim jest kształcenie rozumienia zjawisk fizycznych i praw nimi rządzących. Tym bardziej, że są to zjawiska występujące w otaczającej ucznia rzeczywistości dnia codziennego.

VII Bibliografia

1. A. Blinowska , J. Blinowski, W. Gorzkowski „Fale, cząstki, atomy”, WSiP Warszawa 1977.
2. Cz. Fatyma, Cz. Ścisłowski „O nauczaniu fizyki w szkole podstawowej”, PZWS Warszawa 1973.
3. J. Ginter „Fizyka fal”, PWN Warszawa 1993.
4. „I giocattoli e la scienza” Dipartimento di Fisica dell’Universita di Trento 1995.
5. B. Jaworski, A. Dietlaf „Kurs fizyki” tom III, PWN 1971.
6. „La fisica nella scuola” Consiglio nazionale delle Ricerche 1993.
7. J. Perelman „Zajmująca fizyka” PWPN 1955.
8. Resnik, Holiday „Fizyka” tom II, PWN Warszawa 1967.
9. J. Sawieliew „Wykłady z fizyki” tom II, PWN Warszawa 1994.
10. A. Smoliński „Optoelektronika światłowodów”
11. Sz. Szczeniowski „Fizyka doświadczalna” cz.1, PWN Warszawa 1972.
12. D. Tokar, B. Pędzisz, B.Tokar „Doświadczenia z fizyki dla szkoły podstawowej”, WSiP Warszawa 1990.