

## Refrakcja, czyli “krzywe” światło

Krzysztof Pawłowski  
Centrum Fizyki Teoretycznej PAN  
Warszawa

Czy jesteśmy w stanie na lekcji fizyki w sposób efektowny pokazać odbicie i załamanie światła? Czy lekcja o podstawowych własnościach światła musi być nudnym wywodem na tablicy, które zostanie w pamięci uczniów tylko do czasu najbliższej klasówki? Prezentujemy bardzo widowiskowe i nieintuicyjne doświadczenie, które pozwala na zmierzenie prawa Snella, wyjaśnia czemu widzimy zachodzące Słońce, mimo że w rzeczywistości jest ono poniżej horyzontu oraz jak powstają miraże. Czas przygotowania – ok. 20 min. (na 4 godziny przed lekcją!), koszt ok. 10 zł.

### „Krzywe” światło – zakrzywienie promienia laserowego

#### 1. Potrzebne materiały

Do wykonania doświadczeń potrzebne będą:

- akwarium, np. o wymiarach 20x40x40cm
- około 300g soli,
- garnek lub plastikowa butelka ok 1,5 l,
- wskaźnik laserowy (do nabycia na większości targów ulicznych, cena około 5zł),
- chochła do przelewania,
- lejek,
- woda.



Rys 1. Zestaw elementów niezbędnych do wykonania doświadczenia.

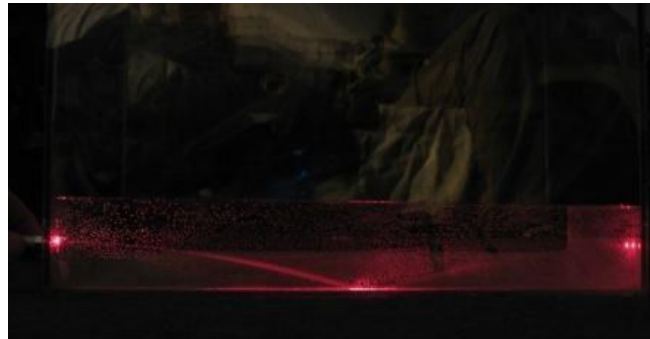
#### 2. Wykonanie

Do akwarium nalewamy około 3 litrów wody. Sól rozpuszczamy w około 1,5 litra zimnej wody w osobnym naczyniu (np. butelce lub garnku). Tak przygotowaną solankę wlewamy przez lejek na dno akwarium, tak jak pokazano na rysunku 2. Po wlaniu solanki granica między wodą osoloną, a czystą powinna być wyraźnie widoczna. Świecąc do wnętrza akwarium wskaźnikiem

laserowym możemy obserwować tor światła. W tak przygotowanym układzie można już sprawdzić prawo załamania Snella, czy zmierzyć kąt całkowitego wewnętrznego odbicia dla granicy woda czysta-woda osolona. Jeśli odczekamy 3-4 godziny uzyskamy znacznie lepszy efekt. W wyniku dyfuzji granica między obiema cieczami staje się „rozmyta”. Tworzy się gradient zasolenia. Nawet jeśli świecimy równoległe do lustra wody promień laserowy płynnie się ugina, tak jak na rysunku 3. Najlepiej wykonywać doświadczenie w zaciemnionym pomieszczeniu.



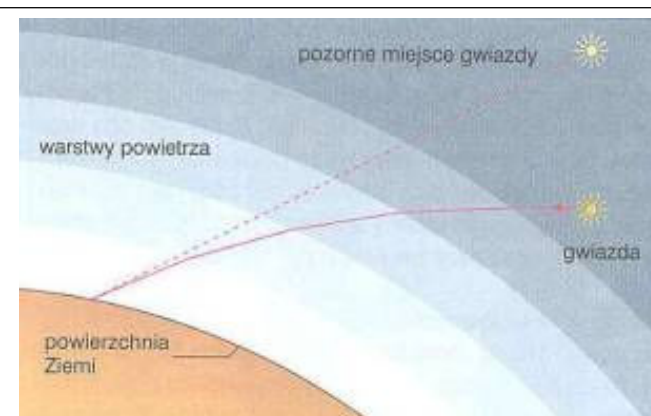
Rys. 2. Kluczowe dla doświadczenia jest wlanie na dno akwarium uprzednio przygotowanej solanki.



Rys. 3. Doświadczenie jest najbardziej efektowne w zaciemnionym pomieszczeniu. Granica między warstwą wody osolonej, a wody czystej jest jeszcze dość wyraźna, ale promień wskaźnika laserowego wypuszczony wzdłuż tej granicy ugina się w postaci łuku. Widoczny jest również efekt odbicia od dna akwarium.

### 3. Wyjaśnienie teoretyczne

Światło, porusza się po takiej drodze tak, aby CZAS przelotu między punktami był możliwie najmniejszy. Prędkość światła zależy od współczynnika załamania ośrodka w jakim się rozchodzi. Najczęściej ciało w ośrodkach gęstszych porusza się wolniej. Dobrą, często przytaczaną, analogią do ruchu światła jest tor po jakim ratownik zbliża się do tonącego. Dla tonącego każda sekunda jest cenna i ratownik musi do tonącego dotrzeć jak najszybciej. Dobry ratownik wie jednak, że będzie znacznie szybciej biegł po plaży niż pływał w wodzie. Dlatego nie zbliża się do tonącego po linii prostej tylko zmienia tor tak, aby dłużej poruszać się po plaży. Podobnie światło - tak ugina się na granicy dwóch ośrodków, aby krócej poruszać się w ośrodku, w którym jest wolniejsze (o większym współczynniku załamania, najczęściej gęstszym). Zatem na granicy światło ugina się w kierunku gęstszego ośrodka. W przyrodzie rzadko granica między ośrodkami jest „ostra”. Nie obserwujemy wtedy nagłej zmiany kierunku światła, tylko „płynną” wersję załamania – światło stopniowo zmienia kierunek. W przedstawionym doświadczeniu mamy do czynienia właśnie z tą sytuacją. Światło lasera, tak jak przedstawiono to na zdjęciu 3, stopniowo ugina się od kierunku równoległego do lustra wody.

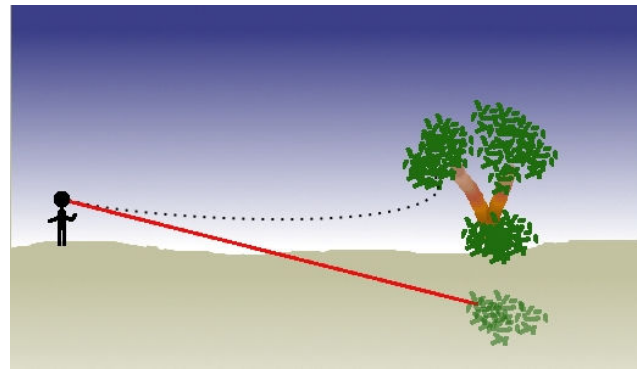


Rys. 4. Tor po jakim poruszają się promienie gwiazdne – zjawisko refrakcji.

Analogiczna sytuacja można obserwować codziennie w dużo większej skali. Słońce, które znajduje się poniżej naszej linii horyzontu jest widoczne, nasz mózg rejestruje je jakby było nad horyzontem. Jest to związane ze zmienną gęstością powietrza w naszej atmosferze, od bardzo rozrzedzonej w górnych warstwach do bardzo gęstej przy powierzchni Ziemi. Uginanie promieni bywa nazywane refrakcją. Na rysunku 4 przedstawiono schemat tego zjawiska.



Rys. 5. Zjawisko mirażu na drodze. Patrząc na szosę obserwujemy kawałek lasu.



Rys. 6. Schemat zjawiska mirażu.

Kolejnym typowym przykładem jest miraż. Powietrze nad rozgrzaną asfaltową drogą, bądź pustynnym piaskiem jest rzadsze. Światło „skręca” zgodnie z gęstością powietrza. Widzimy wtedy zjawiska jak na rysunku 5. Miraż przedstawiono schematycznie na rysunku 6 - światło odbite od liści drzewa rozchodzi się wzdłuż kropkowanej linii i wpada do oka obserwatora. Mózg obserwatora nie jest w stanie odtworzyć toru promienia i rekonstruuje obraz w kierunku czerwonej linii. W efekcie widzi drzewa ukryte wśród pustynnego piasku.

Gimnazjum: Rozchodzenie światła – zjawiska odbicia i załamania.

Liceum: Światło i jego rola w przyrodzie – odbicie i załamanie. Laser i jego zastosowania.