

Wyznaczenie współczynnika załamania światła dla szkła

Maksymilian Nguyen

CLF, Ćwiczenie 30, 4 Kwiecień 2023

Streszczenie

W ćwiczeniu posłużono się układem z laserem i płytą szklaną. Zmierzono kąty padania i załamania wiązki laserowej przechodzącej przez tę płytę szklaną oraz określono eksperymentalnie i zmierzono kąt Brewstera i kąt graniczny dla tego układu. Na podstawie tych pomiarów i prawa Snelliusa wyznaczono współczynnik załamania światła dla szklanej płyty.

1. Wstęp

1.1. Cel

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika załamania światła dla szkła za pomocą pomiarów: kątów załamania i padania, kąta Brewstera, kąta granicznego. Następnie porównanie i przedyskutowanie dokładności otrzymanych wyników.

1.2. Prawo Snelliusa

Światło widzialne, w tym badane w ćwiczeniu światło wiązki laserowej to przykład fali elektromagnetycznej. Fala ta przechodząc z jednego ośrodka do drugiego o innym współczynniku załamania ulega zjawisku załamania oraz odbicia. Wzór powiązujący współczynniki załamania, kąty padania i załamania nazywa się prawem Snelliusa i wygląda następująco (1):

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (1)$$

Gdzie n_1, n_2 to współczynniki załamania dla ośrodków, kąt α to kąt padania i β to kąt załamania. Jeśli przyjmiemy że współczynnik załamania dla powietrza jest bardzo zbliżony do współczynnika dla próżni równego 1, to wzór (1) można zapisać w postaci (2):

$$n_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (2)$$

Gdzie dla sytuacji badanej w ćwiczeniu n_2 to współczynnik załamania dla płyty szklanej.

1.3. Kąt Brewstera

Jeśli na granicę dwóch ośrodków pada pod kątem Brewstera światło już spolaryzowane, to nie zaobserwujemy odbicia światła. Zostało to wykorzystane w ćwiczeniu aby za pomocą obserwacji znaleźć kąt Brewstera. Jako że dla tego kąta fala załamana i odbita są względem siebie prostopadłe, można korzystając ze wzoru (1) geometrycznie wyznaczyć wzór (3):

$$\tan \alpha_B = \frac{1}{n_2} \quad (3)$$

Gdzie α_B to kąt Brewstera, n_2 to współczynnik załamania dla płyty szklanej.

1.4. Kąt graniczny

Gdy światło pada od strony szkła do powietrza, można zaobserwować graniczny kąt padania α_{gr} dla którego fala załamana porusza się pod kątem $\beta = 90^\circ$ do normalnej. Dla nieznacznie większego kąta α_{gr} ta załamana fala całkowicie znika. Zostało to wykorzystane do empirycznego wyznaczenia tego kąta podczas ćwiczenia.

Z prawa Snelliusa (1) otrzymać można zależność (4):

$$\sin \alpha_{gr} = \frac{1}{n_2} \quad (4)$$

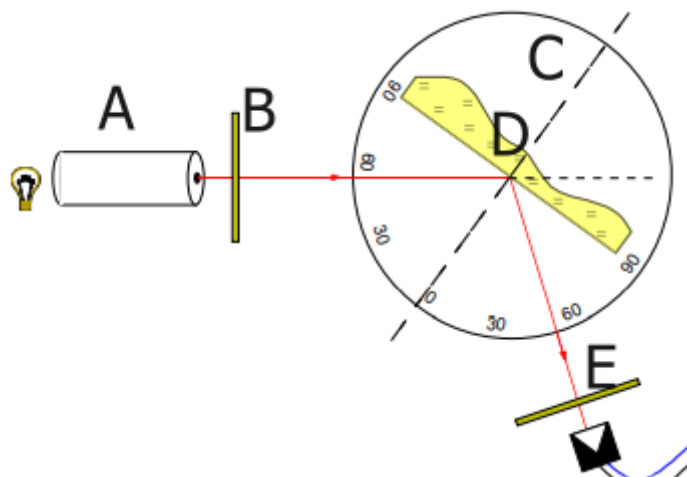
Zależność (4) także została wykorzystana do wyznaczenia współczynnika n_2 .

2. Metoda przeprowadzenia pomiarów, aparatura

Podczas ćwiczenia wykorzystano następujące przedmioty i przyrządy:

- Laser czerwony (A)
- Polaryzator (B)
- Stolik goniometryczny (C)
- Płytką szklana (D)
- Fotodetektor (E)

Na Rysunku 1 przedstawiono schemat układu pomiarowego [1]:



Rysunek 1: Schemat układu pomiarowego [1]

W rzeczywistości płytka była kształtu połowy koła.

Stolik goniometryczny i fotodetektor można obracać. Fotodetektor został wykorzystany nie w celu pomiaru prądu, ale do wyznaczania kątów załamania lub odbicia. Kąty padania można odczytać bezpośrednio ze stolika goniometrycznego, gdyż laser był sztywno zamocowany wraz z oznaczeniem kierunku linii wiązki laserowej.

Najpierw bez polaryzatora ustawiono położenie płytki takie, że kąt pomiędzy promieniem odbitym a załamanym wynosił 90° . Przy takim ustawieniu umieszczono polaryzator i ustawiono jego oś tak aby promień odbity przestał być obserwowalny. Tak uzyskano oś dla której wiązka lasera była spolaryzowana.

W kolejnym kroku dokonano 17 pomiarów różnych kątów padania światła α w zakresie od 18° do 89° i odpowiadających kątów załamania β .

Potem obserwowano pod jakim kątem padania α_B wiązka odbita zniknie.

Na koniec odwracając płytkę szklaną tak, aby światło padało od strony zaokrąglonej, testowano pod jakim kątem padania α_{gr} wiązka załamana całkowicie zniknie.

3. Wyniki pomiarów

W Tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów wraz z niepewnością dla pomiaru kąta.

| $\alpha(^{\circ})$ | $\beta(^{\circ})$ | $\alpha_{gr}(^{\circ})$ | $\alpha_B(^{\circ})$ |
|--------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|
| 18 | 51 | 45 | 36 |
| 21 | 52 | | |
| 25 | 54 | | |
| 30 | 56 | | |
| 35 | 58 | | |
| 40 | 60 | | |
| 45 | 63 | | |
| 50 | 66 | | |
| 53 | 67 | | |
| 55 | 69 | | |
| 60 | 71 | | |
| 65 | 75 | | |
| 70 | 78 | | |
| 75 | 81 | | |
| 80 | 85 | | |
| 85 | 88 | | |
| 89 | 90 | | |
| niepewność kąta: | 2.944 | | |

Tabela 1: Wyniki pomiarów

3.1. Opracowanie wyników

Po analizie pomiarów kątów α i β stwierdzono iż pomiary te nie zostały wykonane poprawnie. Porównano wyniki pomiarów z przewidywaniami teoretycznymi dla współczynnika bliskiego współczynnikowi załamania szkła [2] $n=1.50$ oraz próbowano znaleźć błędy systematyczne na podstawie których możnaby było opracować wyniki tak, aby dały poprawne wartości. Konkluzja jest że nie można tego uczynić i pomiary należy powtórzyć. Nie podjęto dalszej próby opracowania tych wyników.

Wyniki pomiarów które można przyjąć za poprawne to wartości α_{gr} i α_B , za pomocą których wyznaczono współczynnik załamania dla szkła:

- $n_2 = 1.414$ (0.073) na podstawie kąta α_{gr} ze wzoru (4)
- $n_2 = 1.376$ (0.149) na podstawie kąta α_B ze wzoru (3)

Niepewność kąta obliczono ze wzoru (5):

$$u_k = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_E}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (5)$$

Gdzie Δx to niepewność wzorcowania równa 1° , Δx_E to niepewność eksperymentatora równa 5° . A niepewności współczynników załamania ze wzoru (6):

$$u_{n_2} = \sqrt{\left(\frac{\partial n_2}{\partial \alpha}\right)^2 (u_k)^2} \quad (6)$$

Gdzie α to odpowiednio wyznaczony kąt α_{gr} lub α_B .

4. Analiza niepewności

Sam odczyt z goniometru nie sprawiał trudności, ale przyjęto relatywnie wysoką niepewność eksperymentatora (5°) ponieważ trudno było ustalić w którym konkretnie momencie, czyli dla jakiego kąta wiązka światła przestawała świecić w fotodetektor. Podczas ćwiczenia skupiono się na samej obserwacji zanikania wiązki a zignorowano możliwość odczytu natężenia z miernika podłączonego do fotodetektora. Gdyby uwzględniono możliwość takiego odczytu, możliwe byłoby dokładniejsze ustalenie konkretnych kątów α_{gr} i α_B . Dodatkowo na niepewność eksperymentatora złożył się fakt iż płyta szklana mogła nie być ułożona idealnie pod kątem prostym do lasera w położeniu początkowym.

5. Wnioski i podsumowanie

5.1. Wnioski

Wyznaczone współczynniki załamania dla szkła są zgodne z badaniami szkieł o różnym składzie chemicznym [2]. Ze względu na to że wielkość wyznaczono na podstawie pojedynczych pomiarów α_{gr} i α_B oraz że kąt mógłby być wyznaczony dokładniej (zob. Analiza niepewności) to niepewność jest zbyt duża aby móc stwierdzić jaki skład miało szkło w ćwiczeniu na podstawie [2].

5.2. Podsumowanie

W ćwiczeniu zmierzono kąty padania i załamania wiązki laserowej przechodzącej przez płytę szklaną. Po porównaniu z oczekiwaniami teoretycznymi stwierdzono że te pomiary są wykonane niepoprawnie i należy je powtórzyć. Wyniki pomiarów które są poprawne to pomiary kąta Brewstera i kąta granicznego. Na podstawie tych pomiarów i wzorów (3),(4) wyznaczono współczynniki załamania światła $n_2 = 1.414$ (0.073) i $n_2 = 1.376$ (0.149). Wynik można porównać z badaniem [2] i stwierdzić że płytka w ćwiczeniu jest wykonana ze szkła, ale niepewność jest zbyt wysoka aby stwierdzić jaki jest skład tego szkła.

6. Literatura

[1] Instrukcja do ćwiczenia nr 30 - Odbicie światła od dielektryka, Wydział Fizyki PW

[2] https://web.archive.org/web/20161230105725/http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/6/jresv6n6p993_A2b.pdf