

P1-O1. Wyznaczanie współczynnika załamania światła metodą pryzmatu

Zagadnienia

Zjawisko załamania światła. Prawo załamania światła. Względny i bezwzględny współczynnik załamania światła. Współczynnik załamania światła dla szkła, wody, diamentu. Pryzmat. Kąt łamiący pryzmatu. Bieg promienia w pryzmacie. Kąt minimalnego odchylenia pryzmatu.

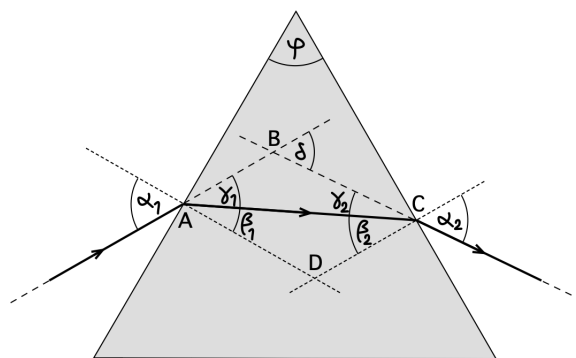
1 Wprowadzenie

Na granicy dwóch ośrodków o różnej gęstości, w związku ze zmianą prędkości propagacji, światło ulega *załamaniu*. Prawo załamania ma postać

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n_{12},$$

gdzie n_{12} jest współczynnikiem załamania światła ośrodka 1 względem ośrodka 2. Kąt α to kąt padania, definiowany jako kąt pomiędzy wiązką padającą i prostą prostopadłą do powierzchni rozdziału ośrodków (czyli *normalną* do powierzchni), kąt β to kąt załamania, a v_1 i v_2 są prędkościami światła w ośrodkach 1 i 2. Pryzmat to przezroczysta bryła, której płaszczyzny przecinają się pod *kątem łamiącym* φ , tworząc *krawędź łamiącą*. Bieg promienia w pryzmacie przedstawiono na schemacie.

Przechodząc przez pryzmat, światło załamuje się dwukrotnie. Promień padający na ścianę pryzmatu pod kątem α_1 załamuje się pod kątem β_1 do normalnej. Promień załamany propaguje się przez materiał pryzmatu, pada na ściankę pod kątem β_2 , załamuje się i wychodzi z pryzmatu pod kątem α_2 do normalnej. Kąt między kierunkami promieni padającego i odchylonego, oznaczony na rysunku jako δ , nazywa się *kątem odchylenia* pryzmatu. Kąt ten zależy od współczynnika załamania materiału z którego wykonany jest dany pryzmat i od jego kąta łamiącego, ale przede wszystkim od kąta padania α_1 . Obracając pryzmat przy pomocy obrotowego stolika względem padającej wiązki, uzyskuje się różne kąty odchylenia. Kąt odchylenia o najmniejszej możliwej wartości nazywa się *kątem minimalnego odchylenia*.



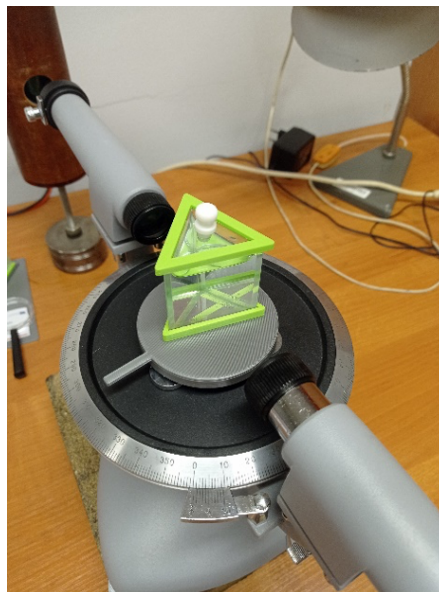
Z obliczeń geometrycznych wynika zależność współczynnika załamania światła dla materiału, z którego wykonany jest pryzmat, a jego kątem łamiącym φ i kątem minimalnego odchylenia δ , jest następująca

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(\varphi + \delta)}{\sin \frac{1}{2}\varphi}. \quad (1)$$

Zatem, aby wyznaczyć współczynnik załamania światła dla materiału, z którego wykonany jest pryzmat, należy wyznaczyć (a) kąt łamiący pryzmatu i (b) jego kąt minimalnego odchylenia δ .

2 Układ pomiarowy

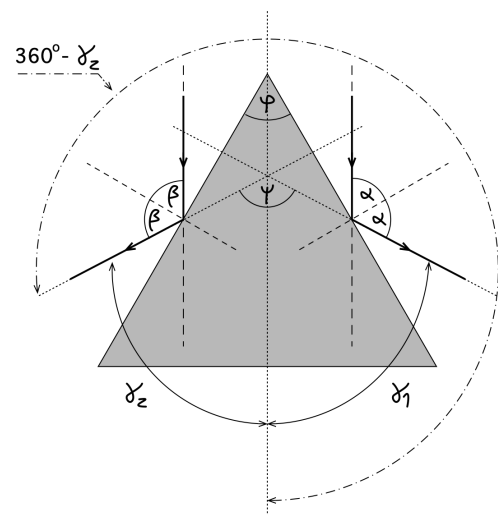
Do wyznaczania współczynnika załamania światła używany jest układ pomiarowy przedstawiony na zdjęciach. W jego skład wchodzi goniometr optyczny (inaczej stolik goniometryczny, spektrometr) oraz źródło światła monochromatycznego (lampa sodowa). Światło z lampy jest formowane w wiązkę równoległych promieni światła przez kolimator, co umożliwia precyzyjne skierowanie promieni od źródła do pryzmatu. Goniometr umożliwia pomiar kątów między promieniem padającym z kolimatora, a promieniem odbitym od pryzmatu lub odchylonym po przejściu przez pryzmat. Bieg wiązki światła po przejściu przez pryzmat obserwuje się za pomocą lunety, której położenie odczytuje się na skali kątowej goniometru. Najmniejsza podziałka stolika goniometrycznego widocznego na zdjęciu wynosi $1/10^\circ$. Na stanowisku pomiarowym znajdują się trzy pryzmaty: dwa szklane, w tym jeden wykonany ze szkła **flintowego**, drugi ze szkła typu **crown** oraz jeden pryzmat cieczowy z wodą.



3 Pomiary

Pomiar kąta łamiącego φ

1. Ustawić urządzenie tak, by w lunecie widać było wąską i wyraźną wiązkę światła padającego ze szczeliny kolimatora. Wiązka powinna być pionowa, krzyż pajęczego lunetki powinien pokrywać się z osią wiązki.
2. Zmierzyć szerokość kątową wiązki, trafiającej do lunetki, ustawiając linię krzyża pajęczego lunetki najpierw na prawej, a potem na lewej krawędzi wiązki.
3. Badany pryzmat ustawić na stoliku tak, aby promień padał na jedną z jego dwóch płaszczyzn, tworzących kąt łamiący, i był równoległy do dwusiecznej kąta łamiącego.
4. Ustawić lunetkę tak, by promień odbity pokrywał się z linią krzyża pajęczego. Ze skali kątowej stolika odczytać położenie lunetki γ_1 . Przesunąć pryzmat równoległe, by wiązka padająca odbiła się od drugiej płaszczyzny pryzmatu. Odczytać położenie lunetki ($360^\circ - \gamma_2$).



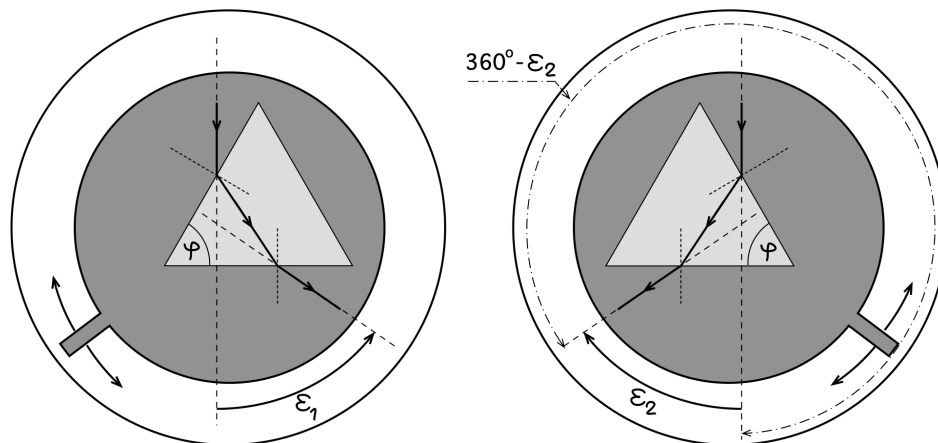
szerokość wiązki				
podziałka stolika				
Lp.	γ_1	$360^\circ - \gamma_2$	γ_2	$\varphi = \frac{1}{2}(\gamma_1 + \gamma_2)$
1.				

↷ W przypadku pryzmatu szklanego, którego krawędź łamiąca jest węższa niż wiązka, wystarczy postawić pryzmat kątem łamiącym na wprost wiązki i nie ruszając pryzmatu mierzyć kąty γ_1 i $(360^\circ - \gamma_2)$. Przed następnym pomiarem, pryzmat należy ustawić na nowo.

- Pomiary powtórzyć trzykrotnie, za każdym razem na nowo ustawiając pryzmat.
- Pomiary wykonać dla wszystkich pryzmatów znajdujących się w zestawie.

Pomiar kąta minimalnego odchylenia δ

- Pryzmat ustawić na stoliku obrotowym tak, aby jego kąt łamiący znalazł się po lewej stronie osi kolimatora i aby promień padający uległ odchyleniu w prawą stronę.
↷ Uchwyt, służący do obracania stolika, powinien mieć w przybliżeniu kierunek dwusiecznej kąta łamiącego.



- Znaleźć obraz wiązki w lunecie, a następnie obracając stolikiem w jedną stronę, znaleźć zwrotne położenie wiązki, odpowiadające minimalnemu odchyleniu promienia przechodzącego przez pryzmat (w momencie osiągnięcia kąta najmniejszego odchylenia, mimo dalszego obracania stolikiem w tę samą stronę obraz wiązki w lunecie zawraca, a potem zaczyna przesuwając się w stronę przeciwną - należy ustawić lunetkę w miejscu, w którym wiązka zawraca). Odczytać pozycję lunetki ε_1 dla tego położenia.
- Pryzmat ustawić na stoliku spektrometru tak, aby jego kąt łamiący znalazł się po prawej stronie osi kolimatora (rys. 2) i aby promienie na niego padające uległy odchyleniu w lewo.
- Postępując analogicznie jak poprzednio znaleźć zwrotne położenie wiązki, odpowiadające minimalnemu odchyleniu promienia przechodzącego przez pryzmat i odczytać jego położenie $(360^\circ - \varepsilon_2)$.
- Pomiar powtórzyć pięciokrotnie.

Lp.	ε_1	$360^\circ - \varepsilon_2$	ε_2	$\delta = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$
1.				

4 Opracowanie wyników pomiarów

Dla każdego z pryzmatów:

1. Obliczyć wartość kąta łamiącego:

(a) Obliczyć kąt łamiący dla każdej pary γ_1 i γ_2

$$\varphi = \frac{1}{2}(\gamma_1 + \gamma_2)$$

(b) Obliczyć wartość średnią kąta łamiącego pryzmatu $\bar{\varphi}$ i odchylenie standardowe wartości średniej. Obliczyć niepewność statystyczną serii pomiarowej dla pomiaru kąta łamiącego $u_a(\bar{\varphi})$, uwzględniając współczynnik Studenta - Fishera.

(c) Obliczyć niepewność pomiarową kąta łamiącego $u_b(\varphi)$, uwzględniając podziałkę stolika i szerokość wiązki.

(d) Obliczyć wartość niepewności całkowitej wyznaczenia wartości kąta łamiącego i zapisać wynik wraz z niepewnością w poprawnym formacie.

2. Obliczyć wartość kąta minimalnego odchylenia:

(a) Obliczyć kąt minimalnego odchylenia dla każdej pary ε_1 i ε_2 .

(b) Obliczyć wartość średnią kąta minimalnego odchylenia $\bar{\delta}$ i odchylenie standardowe wartości średniej. Obliczyć niepewność statystyczną serii pomiarowej dla pomiaru kąta minimalnego odchylenia $u_a(\bar{\delta})$, uwzględniając współczynnik Studenta - Fishera.

(c) Obliczyć niepewność pomiarową kąta minimalnego odchylenia $u_b(\delta)$, uwzględniając podziałkę stolika i szerokość wiązki.

(d) Obliczyć wartość niepewności całkowitej wyznaczenia wartości kąta minimalnego odchylenia i zapisać wynik wraz z niepewnością w poprawnym formacie.

3. Obliczyć wartość współczynnika załamania

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(\varphi + \delta)}{\sin \frac{1}{2}\varphi}.$$

4. Korzystając z prawa propagacji niepewności obliczyć niepewność współczynnika załamania dla danego pryzmatu i zapisać wynik wraz z niepewnością w poprawnym formacie.

5. Sprawdzić zgodność otrzymanych wyników z danymi tablicowymi.