PRACOWNIA FIZYCZNA 1
Instytut Fizyki
Centrum Naukowo Dydaktyczne

Politechnika Śląska

UCZELNIA BADAWCZA
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

TEMAT: Wyznaczanie współczynnika załamania światła metodą pryzmatu			
Wydział	AEiI	Kierunek	Informatyka
Grupa/Sekcja	1 / 1	Rok akademicki	2022/2023
Rok studiów	2	Semestr	3
Oświadczam, że niniejsze sprawozdanie jest całkowicie moim/naszym dziełem, że żaden z fragmentów sprawozdania nie jest zapożyczony z cudzej pracy. Oświadczam, że jestem świadoma/świadom odpowiedzialności karnej za naruszenie praw autorskich osób trzecich.			

Lp.	Imię i nazwisko	Podpis
1.	Jakub Sibik	
2.	Michał Wieczorek	
3.		

Ocena poprawności elementów sprawozdania

data oceny	wstęp i cel ćwiczenia	struktura sprawozdania	obliczenia	rachunek niepewności	wykres	zapis końcowy	wnioski

Ocena końcowa

OCENA lub LICZBA PUNKTÓW	
DATA PODPIS	

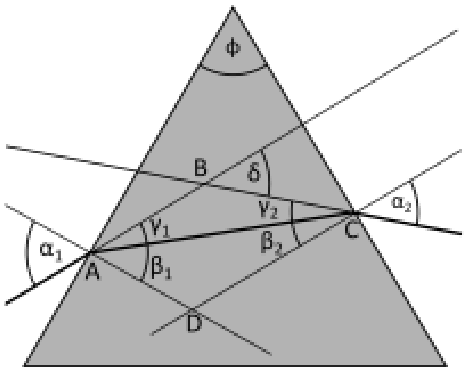
Wstęp

Gdy światło przechodzi przez granicę między ośrodkami o różnej gęstości, ulega załamaniu. Prawo załamania można przedstawić za pomocą wzoru:

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

Gdzie α i β to odpowiednio kąt padania i kąt załamania, mierzone są one między wiązką światła, a normalną do granicy ośrodków. v_1 i v_2 to prędkości światła w kolejno ośrodku pierwszym i drugim, a n_{12} to współczynnik załamania światła.

Wykorzystując zjawisko załamania światła, zostały przez nas zbadane właściwości pryzmatu. Pryzmat jest przezroczystą bryłą, której dwie ściany tworzą kąt łamiący φ. Rys. 1.1 pokazuje w jaki sposób promień przechodzi przez pryzmat. Kąty α_1, β_1, β_2, α_2 to kolejne kąty między wiązką światła a normalnymi do ścian pryzmatu. Kąt δ, znajdujący się między przedłużeniem promienia padającego, a przedłużeniem promienia odchylonego, nazywamy kątem odchylenia pryzmatu.



Rys. 1.1. Bieg promienia w pryzmacie

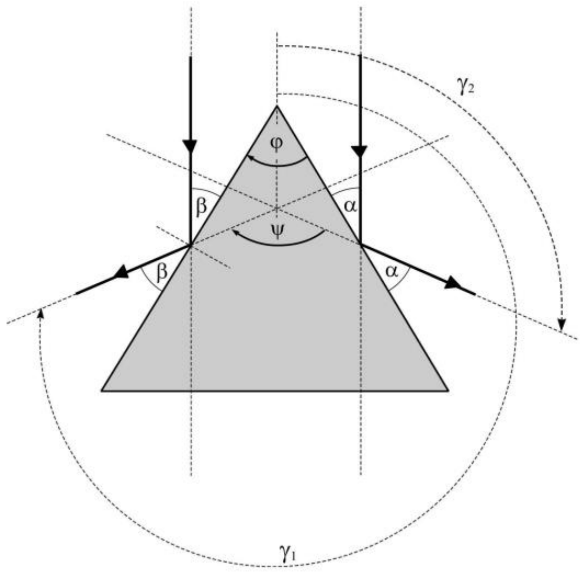
Stanowisko pomiarowe

Pierwszym elementem stanowiska była lampa – generator wiązki światła. Wiązka biegła w stronę pryzmatu, który został ustawiony na kolistej podstawce do tego przeznaczonej. Podstawą stanowiska była płyta w kształcie koła z charakterystyczną szyną, po której poruszać można było lupą. Podstawa zawierała jednostki (stopnie i minuty) pozwalające odczytać kąt, na którym znajdowała się lupa, w odniesieniu do pierwotnie biegnącej wiązki.

Pomiary i obliczenia

Obliczanie wartości kąta łamiącego

Aby obliczyć wartość kąta łamiącego należało pryzmat ustawić na podstawce tak, żeby wiązka była równolegle do dwusiecznej kąta pryzmatu i padała na obie jego ściany. Następnie należało ustawić lunetkę tak, aby wiązka odbita pokrywała się ze środkiem krzyża pajęczego i odczytać położenie lunetki w stopniach. Tak należało pomierzyć 2 kąty z obu stron pryzmatu.



Rys. 1.2. Schemat ilustrujący sposób pomiaru kąta łamiącego

Następnie kąt łamiący należało wyliczyć używając wzoru:

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

Gdzie γ oznacza odczytane kąty ze stolika pomiarowego pokazane na rys. 1.2.

szerokość wiązki			10'
podziałka stolika			20'
Lp.	γ1	γ2	$\varphi = \frac{1}{2}(\gamma_1 - \gamma_2)$
1	246°30'	124°40'	60°55'
2	238°10'	116°20'	60°55'
3	250°30'	127°40'	61°25'
4	240°20'	118°40'	60°50'
5	236°20'	113°10'	61°35'
6	243°40'	121°30'	61°05'
7	239°20'	117°20'	61°00'
8	236°	114°10'	60°55'
9	242°50'	121°30'	60°40'
10	232°	109°	61°30'

Tab. 1.1. Pomiary kątów do wyznaczania kąta łamiącego

Obliczanie wartości średniej kąta łamiącego

$$\bar{\varphi} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \varphi_i = 61{,}08°$$

Gdzie n oznacza ilość pomiarów (dla nas n = 10), a φ_i – kąt łamiący wyliczony dla i-tego pomiaru.

Obliczanie odchylenia standardowego wartości średniej kąta łamiącego

$$s_\varphi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\varphi_i - \bar{\varphi})^2}{n-1}} = 0{,}31°$$

Obliczanie niepewności statystycznej serii pomiarowej dla pomiaru kąta łamiącego $u_a(\varphi)$

$$u_a(\bar{\varphi}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\varphi_i - \bar{\varphi})^2}{n(n-1)}} * wsp.\ Studenta - Fishera = 0{,}10°$$

Obliczanie niepewności pomiarowej $u_b(\varphi)$

Niepewność podziałki stolika:

$$u_{b1}(\varphi) = \frac{podziałka\ stolika}{\sqrt{3}}$$

$$u_{b1}(\varphi) = \frac{0,(3)°}{\sqrt{3}} = 0{,}19°$$

Niepewność szerokości wiązki:

$$u_{b2}(\varphi) = \frac{szerokość\ wiązki}{\sqrt{3}}$$

$$u_{b2}(\varphi) = \frac{0{,}1(6)°}{\sqrt{3}} = 0{,}096°$$

Niepewność $u_b(\varphi)$:

$$u_b(\varphi) = \sqrt{{u_{b1}}^2(\varphi) + {u_{b2}}^2(\varphi)}$$

$$u_b(\varphi) = \sqrt{(0{,}19)^2 + (0{,}096)^2} = 0{,}22°$$

Niepewność całkowita $u_c(\varphi)$:

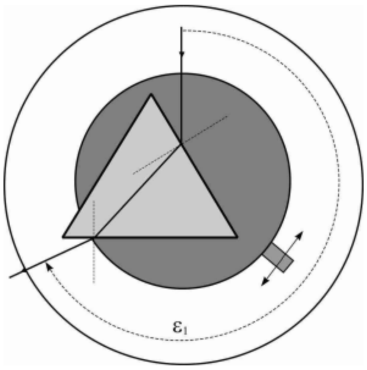
$$u_c(\bar{\varphi}) = u(\bar{\varphi}) = \sqrt{u_a(\varphi)^2 + u_b(\varphi)^2} = 0{,}24°$$

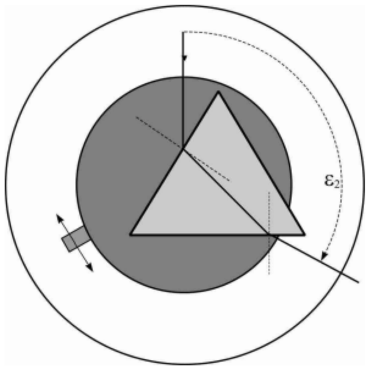
Zatem:

$$\bar{\varphi} = 61{,}08(24)°$$

Obliczanie wartości kąta minimalnego odchylenia

Aby dokonać pomiarów należało ustawić kąt łamiący pryzmatu kolejno w ukośnym kierunku i o zwrocie południowo-zachodnim, a następnie w ukośnym kierunku i o zwrocie południowo-wschodnim (rys. 2.1). Kolejnym krokiem było (dla obydwu ustawień pryzmatu) znalezienie wiązki w lunetce i obracanie podstawką wraz z pryzmatem w jedną stronę, aby znaleźć położenie, w którym wiązka zawraca, wraz z obracaniem podstawki dalej w tą samą stronę. Te położenia to kąty ε_1 i ε_2.





Rys. 2.1. Schematy ilustrujące sposób pomiaru kąta minimalnego odchylenia

Wzór do wyznaczenia kąta minimalnego odchylenia ma postać:

$$\delta = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$$

Gdzie ε oznacza odczytane kąty ze stolika pomiarowego pokazane na rys. 2.1.

Lp.	ε_1	ε_2	$\delta = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$
1	218°20’	141°00’	38°40’
2	218°20’	140°20’	39°00’
3	218°00’	141°00’	38°30’
4	217°50’	140°20’	38°45’
5	218°20’	141°00’	38°40’

Tab. 1.2. Pomiary kątów do wyznaczenia kąta minimalnego odchylenia

Obliczanie wartości średniej kąta minimalnego odchylenia

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \delta_i = 38{,}72°$$

Gdzie n oznacza ilość pomiarów (dla nas n = 5), a δ_i – kąt minimalnego odchylenia wyliczony dla i-tego pomiaru.

Obliczanie odchylenia standardowego wartości średniej kąta minimalnego odchylenia

$$s_\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\delta_i - \bar{\delta}\right)^2}{n-1}} = 0{,}18°$$

Obliczanie niepewności statystycznej serii pomiarowej dla pomiaru kąta minimalnego odchylenia $u_a(\delta)$

$$u_a(\delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\delta_i - \bar{\delta}\right)^2}{n(n-1)}} * wsp.\ Studenta - Fishera = 0{,}093°$$

Obliczanie niepewności pomiarowej $u_b(\delta)$

Niepewność podziałki stolika:

$$u_{b1}(\delta) = \frac{podziałka\ stolika}{\sqrt{3}}$$

$$u_{b1}(\delta) = \frac{0,(3)°}{\sqrt{3}} = 0{,}19°$$

Niepewność szerokości wiązki:

$$u_{b2}(\delta) = \frac{szerokość\ wiązki}{\sqrt{3}}$$

$$u_{b2}(\delta) = \frac{0{,}1(6)°}{\sqrt{3}} = 0{,}096°$$

Niepewność $u_b(\delta)$:

$$u_b(\delta) = \sqrt{{u_{b1}}^2(\delta) + {u_{b2}}^2(\delta)}$$

$$u_b(\delta) = \sqrt{(0{,}19)^2 + (0{,}096)^2} = 0{,}22°$$

Niepewność całkowita $u_c(\delta)$:

$$u_c(\delta) = u(\delta) = \sqrt{u_a(\delta)^2 + u_b(\delta)^2} = 0{,}23°$$

Zatem:

$$\bar{\delta} = 38{,}72(23)°$$

Obliczanie współczynnika załamania światła dla danego pryzmatu

Współczynnik załamania światła, znając kąt łamiący φ i kąt minimalnego odchylenia δ pryzmatu, można obliczyć używając wzoru:

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

Do wyznaczenia niepewności danego współczynnika należy skorzystać z prawa propagacji niepewności:

$$u(n) = \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial \varphi} * u(\varphi)\right)^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial \delta} * u(\delta)\right)^2}$$

Do tego trzeba wyznaczyć osobno pochodne cząstkowe każdej zmiennej:

$$\frac{\partial n}{\partial \varphi} = \frac{\cos\left(\frac{1}{2}\varphi + \frac{1}{2}\delta\right) * \frac{1}{2} * \sin\left(\frac{1}{2}\varphi\right) - \sin\left(\frac{1}{2}\varphi + \frac{1}{2}\delta\right) * \cos\left(\frac{1}{2}\varphi\right) * \frac{1}{2}}{sin^2\left(\frac{1}{2}\varphi\right)}$$

$$\frac{\partial n}{\partial \delta} = \frac{\cos\left(\frac{1}{2}\varphi + \frac{1}{2}\delta\right) * \frac{1}{2}}{\sin\left(\frac{1}{2}\varphi\right)}$$

Zatem używając wartości kątów wyliczonych w poprzednich podpunktach:

$$u(n) = 0{,}21$$

$$n = 1{,}51$$

Test zgodności współczynnika załamania światła

Weryfikując test zgodności użyta została wartość tablicowa współczynnika dla szkła typu crown równa:

$$n_{tab} = 1{,}5118$$

Wzór na test zgodności ma postać:

$$k = \frac{|n - n_{tab}|}{\sqrt{u(n)^2}} = \frac{|1{,}51 - 1{,}5118|}{0{,}21} = 0{,}03$$

Wnioski

Zgodność podczas testu okazała się bardzo wysoka, z czego można wywnioskować, że metoda obliczania współczynnika załamania światła wykorzystania podczas zajęć laboratoryjnych jest bardzo dokładna. Można również wnioskować, że błędy ludzkie, takie jak niepewność ludzkiego oka oraz różnicy we wzroku różnych ludzi, miały mały wpływ na pomiary. Napotkaliśmy jednak kilka wyzwań podczas pomiarów. Jedno z nich polegało na braku pojawienia się wiązki w lunetce spowodowany nadmierną zmianą położenia pryzmatu, lupa nie była również przystosowana do wszystkich możliwych ustawień pryzmatu na kolistej podstawce. Czasami wiązka była nieco rozmazana i aby wyostrzyć jej obraz widziany przez lupę, trzeba było nieznacznie zmieniać położenie lupy wokół jej własnej osi.

Bibliografia

Wartość tablicowa współczynnika załamania światła:
http://www.fizyka.pk.edu.pl/tabele/wZalam.htm