

Badanie właściwości dielektrycznych ciał stałych

Ćwiczenie nr 324 z działu Optyka

Maciej Kaszkowiak, Lab 4, 151856

1 Cel ćwiczenia

Przeprowadzone ćwiczenie ma dwa główne cele:

1. Wyznaczenie kąta Brewstera oraz współczynnika załamania światła badanego ośrodka.
2. Praktyczne i teoretyczne sprawdzenie zależności amplitudowych współczynników odbicia od kąta padania światła.

2 Wstęp teoretyczny

Światło jest falą elektromagnetyczną, czyli rozchodzącymi się w przestrzeni zmiennymi polami elektrycznym i magnetycznym. Przy stosowaniu światła spolaryzowanego liniowo zauważono następujące zależności: przy prostym padaniu do płaszczyzny padania wektorze pola elektrycznego fali padającej natężenie światła odbitego rośnie monotonicznie wraz ze wzrostem kąta padania, a przy równoległym do płaszczyzny padania wektorze pola elektrycznego fali padającej natężenie światła w funkcji kąta padania najpierw maleje, dochodząc do wartości zero dla tak zwanego kąta Brewstera, a następnie rośnie. Zgodnie z prawem Snelliusa, stosunek sinusów kąta padania α i kąta załamania β jest dla danej pary ośrodków stały, równy stosunkowi bezwzględnych współczynników załamania światła obu ośrodków $\frac{n_2}{n_1}$.

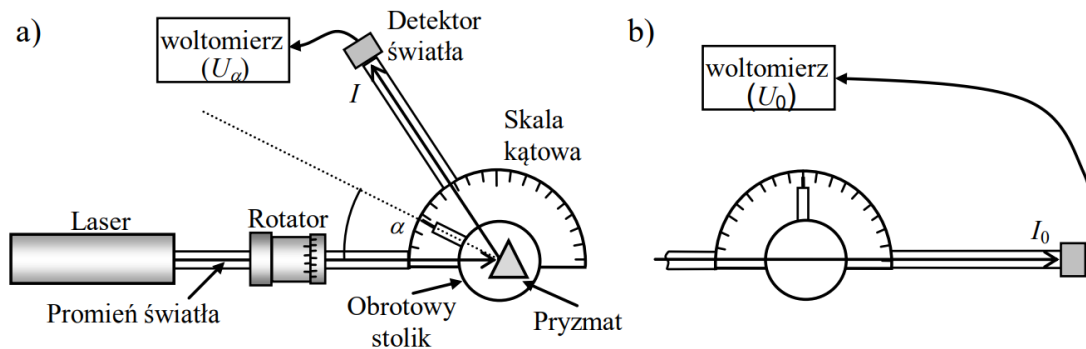
Ze względu na fakt, że promień padający znajduje się w ośrodku składającym się z powietrza ($n_1 \approx 1$) możemy przyjąć, że:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \quad (1)$$

gdzie n to bezwzględny współczynnik załamania światła dielektryka. Na potrzeby doświadczenia będziemy próbowali wyznaczyć współczynnik załamania światła dla badanego pryzmatu.

3 Przebieg ćwiczenia

1. Włączyliśmy zasilanie lasera, miernik napięcia oraz wzmacniacz, a następnie ustawiliśmy położenie na skali rotatora na 0. Ustawienie to odpowiada drganiom wektora elektrycznego prostym padaniu do płaszczyzny padania. Oczekaliśmy kilka minut w celu dostatecznego wygrzania aparatury.
2. Zdjęliśmy pryzmat ze stoliczka, a następnie, ustawiając obrotowe ramię z detektorem wzdłuż promienia laserowego, zmierzaliśmy wartość U_0 .
3. Położyliśmy pryzmat na stoliczku i obróciliśmy stoliczek tak, aby kąt padania wynosił 10° . Zmierzaliśmy wartość napięcia U dla kątów padania w zakresie od 10° do 85° ze skokiem co 5° .
4. Za pomocą rotatora skreśliśmy płaszczyznę polaryzacji światła o kąt 90° . Powtórzyliśmy pomiary w zakresie od 10° do 85° ze skokiem co 5° . W pobliżu kąta, dla którego występuje wygaszenie wiązki odbitej, zagęściliśmy pomiary wykonując je co 1° .



Rysunek 1: Schemat układu pomiarowego służącego do wyznaczenia współczynników odbicia światła: a) pomiar natężenia światła laserowego odbitego od powierzchni dielektryka, b) bezpośredni pomiar natężenia światła laserowego

4 Wyniki pomiarów

Wartość napięcia początkowego lasera U_0 wynosi $1,395V$.

Znając U_0 oraz U_α obliczyłem bezwzględne wartości współczynników Fresnela $|\xi_\alpha|$ dla poszczególnych kątów padania, korzystając ze wzoru:

$$|\xi_\alpha| = \sqrt{R_\alpha} = \sqrt{\frac{U_\alpha}{U_0}} \quad (2)$$

gdzie R_α to współczynnik odbicia światła dla kąta α .

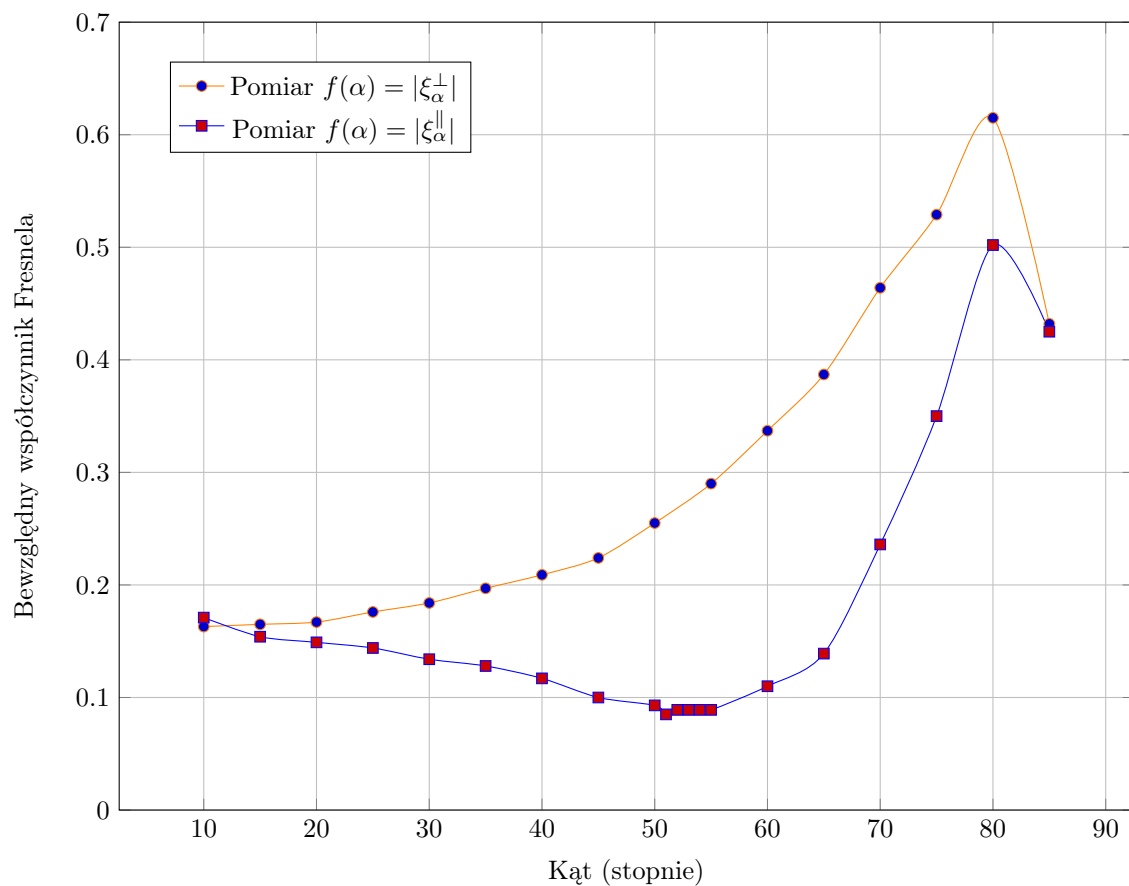
Kąt [stopnie]	Napięcie [V]	Współczynnik Fresnela
10	0,041	0,171
15	0,033	0,154
20	0,031	0,149
25	0,029	0,144
30	0,025	0,134
35	0,023	0,128
40	0,019	0,117
45	0,014	0,100
50	0,012	0,093
51	0,010	0,085
52	0,011	0,089
53	0,011	0,089
54	0,011	0,089
55	0,011	0,089
60	0,017	0,110
65	0,027	0,139
70	0,078	0,236
75	0,171	0,350
80	0,352	0,502
85	0,252	0,425

Tabela 1: Pomiar napięcia w zależności od kąta padania lasera na pryzmat przy kącie polaryzacji 90 stopni

Kąt [stopnie]	Napięcie [V]	Współczynnik Fresnela
10	0,037	0,163
15	0,038	0,165
20	0,039	0,167
25	0,043	0,176
30	0,047	0,184
35	0,054	0,197
40	0,061	0,209
45	0,070	0,224
50	0,091	0,255
55	0,117	0,290
60	0,158	0,337
65	0,209	0,387
70	0,300	0,464
75	0,390	0,529
80	0,528	0,615
85	0,260	0,432

Tabela 2: Pomiar napięcia w zależności od kąta padania lasera na pryzmat przy kącie polaryzacji 0 stopni

5 Opracowanie wyników



Rysunek 2: Wyznaczone doświadczalnie wartości bezwzględnych współczynników Fresnela w zależności od kąta padania lasera.

Z wykresu $f(\alpha) = |\xi_{\alpha}^{\parallel}|$ możemy odczytać kąt Brewstera wynoszący 51° , znany również jako kąt całkowitej polaryzacji.

Znając kąt Brewstera możemy wyznaczyć współczynnik załamania światła n dla materiału, z którego wykonany jest pryzmat:

$$n = \tan \alpha_B = \tan 51^\circ \approx 1,23 \quad (3)$$

Znając współczynnik załamania światła pryzmatu możemy wyliczyć teoretyczne wartości współczynnika Fresnela korzystając z następujących wzorów:

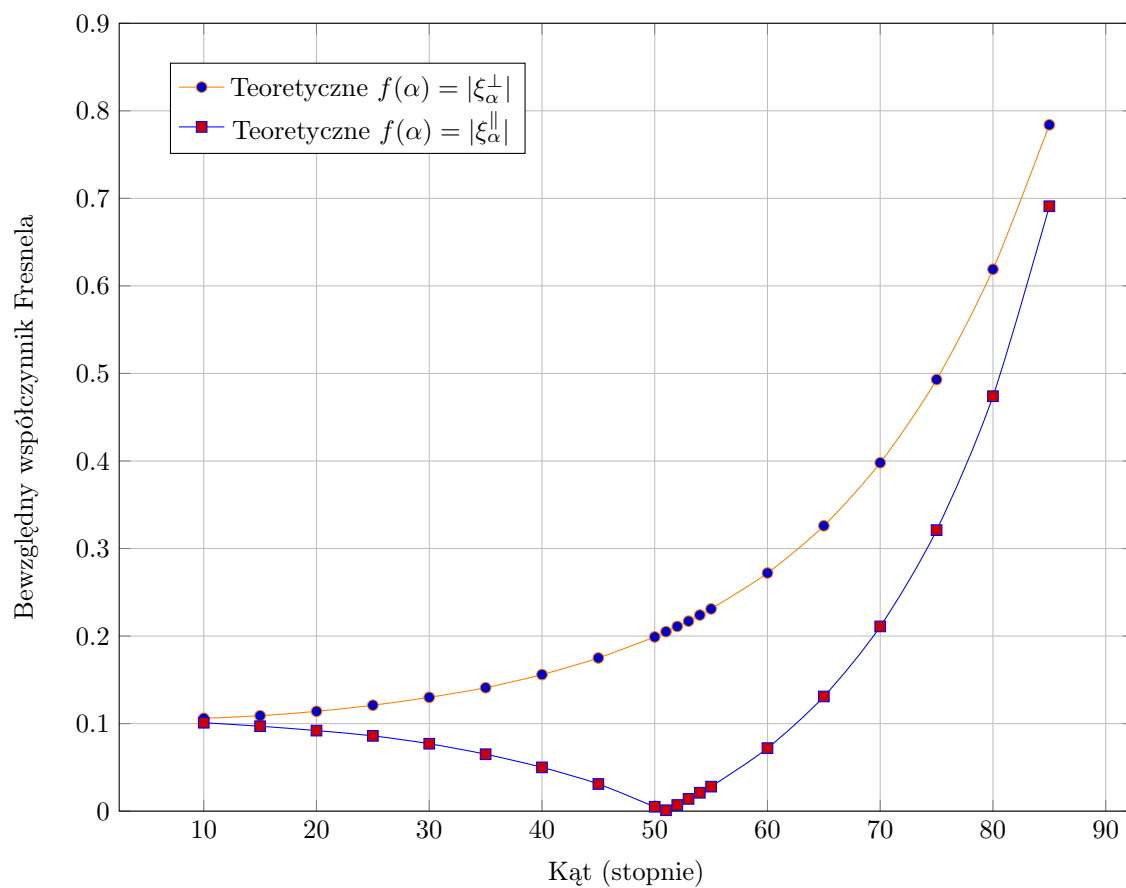
$$|\xi_\alpha^\parallel| = \left\| \frac{n^2 \cos \alpha - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n^2 \cos \alpha + \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right\| \quad (4)$$

$$|\xi_\alpha^\perp| = \left\| \frac{(\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \alpha)^2}{n^2 - 1} \right\| \quad (5)$$

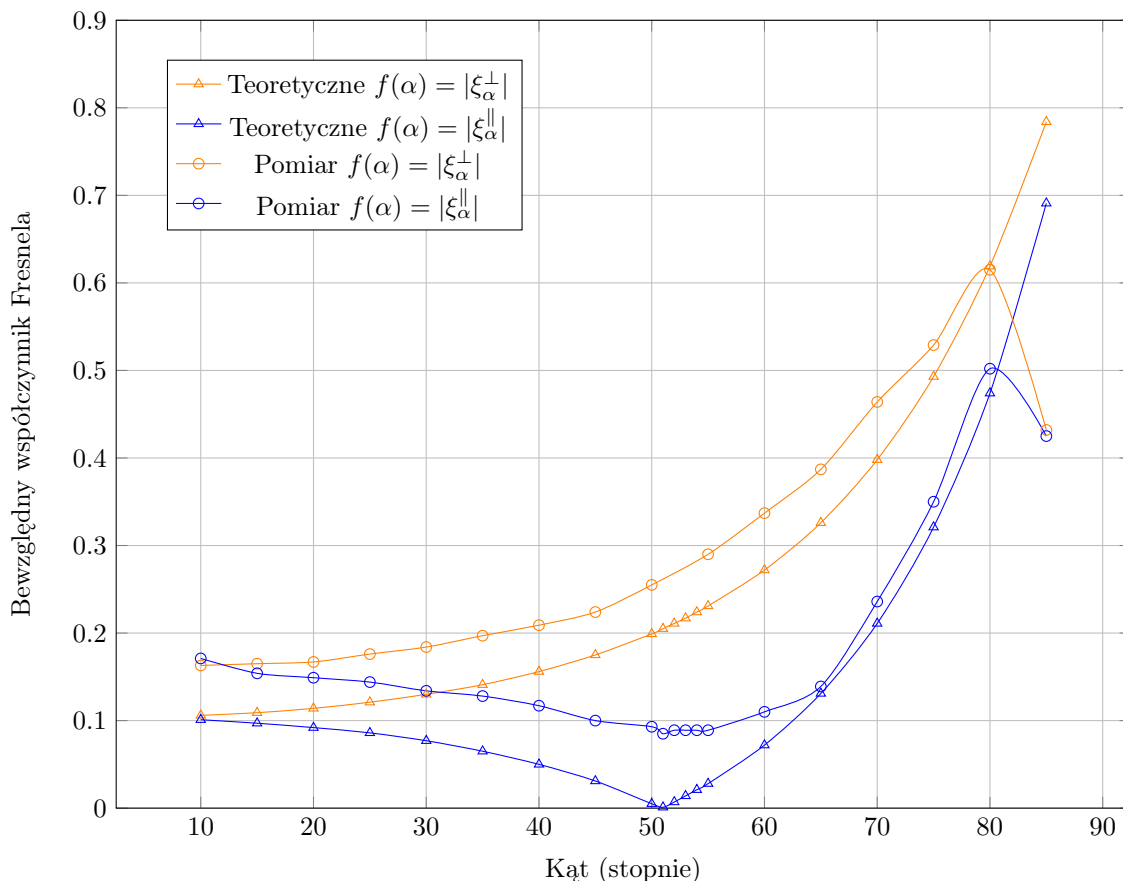
Kąt [stopnie]	Współczynnik Fresnela Polaryzacja prostopadła	Współczynnik Fresnela Polaryzacja równoległa
10	0.106	0.101
15	0.109	0.097
20	0.114	0.092
25	0.121	0.086
30	0.130	0.077
35	0.141	0.065
40	0.156	0.050
45	0.175	0.031
50	0.199	0.005
51	0.205	0.001
52	0.211	0.007
53	0.217	0.014
54	0.224	0.021
55	0.231	0.028
60	0.272	0.072
65	0.326	0.131
70	0.398	0.211
75	0.493	0.321
80	0.619	0.474
85	0.784	0.691

Tabela 3: Współczynnik Fresnela w zależności od kąta padania lasera oraz kątu polaryzacji.

Ewentualne drobne rozbieżności wynikają z zaokrąglenia tangensa kąta 51 stopni do dwóch miejsc po przecinku.



Rysunek 3: Teoretyczne wartości bezwzględnych współczynników Fresnela w zależności od kąta padania lasera.



Rysunek 4: Porównanie pomiarów i teoretycznych wartości bezwzględnych współczynników Fresnela w zależności od kąta padania lasera.

Można zauważyć, że teoretyczna wartość współczynnika Fresnela dla lasera z równoległym wektorem pola elektrycznego (dla $\alpha_B = 51^\circ$) wynosi 0, gdzie zmierzona wartość wynosi 0,085. Spowodowane jest to dodatkowym źródłem światła w pomieszczeniu, w którym wykonywane były pomiary. Rozproszone światło w pracowni z lampek padało na czujnik, zwiększając wartość zmierzonego napięcia. Na pomiary wpłynęła również niedoskonałość miernika napięcia oraz czujki światła, a także możliwy błąd manualny spowodowany niedoskonałym ustawieniem czujki.

Dla kąta 85° wartość napięcia rzeczywistego znacząco spadła odbiegając od wartości teoretycznej dla obu kątów polaryzacji, przyjmując identyczną wartość w obu przypadkach. Jest to błędny pomiar, nie potrafiłem natomiast ustalić jego dokładnej przyczyny. Rozpatrywaną przeze mnie możliwością jest niedoskonałość pryzmatu lub błąd przy przepisywaniu wyników. Poza punktem 85 stopni kształt krzywej pokrywa się z krzywą teoretyczną.

6 Wnioski

Za pomocą doświadczenia wyznaczyłem kąt Brewstera ($\alpha_B \approx 51^\circ$) i współczynnik załamania światła ($n \approx 1,23$) dla badanego pryzmatu. Wyznaczyłem bezwzględne współczynniki Fresnela dla danych kątów padania lasera oraz kątów polaryzacji oraz zestawilem je z pomiarami. Pomiary odbiegają od teoretycznych wartości ze względu na wcześniej wymienione błędy pomiarowe oraz nieidealne warunki eksperymentu, mimo tego możemy zaobserwować charakterystyczny kształt krzywych. Doświadczenie tym samym pokrywa się z teoretycznymi założeniami.

7 Bibliografia

1. *Badanie zjawiska odbicia światła od powierzchni dielektryka* (Krzysztof Łapsa)
2. *Optyka. Ćwiczenie: 324. Badanie zjawiska odbicia światła od powierzchni dielektryka.* (Krzysztof Łapsa) – film na platformie Youtube