

Wydział WFİS AGH	Imię i nazwisko 1. Jan Baran 2. Damian Raczyński 3. Maciej Mikołajek		Rok 2020/2021	Grupa L1	Zespół 5
PRACOWNIA FIZYCZNA WFİS AGH	Temat: Współczynnik załamania ciał stałych				Nr ćwiczenia 51
Data wykonania 22.03.2021	Data oddania 29.03.2021	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA

1. Wstęp teoretyczny¹.

Celem eksperymentu wykonanego na ostatnich laboratoriach było wyznaczenie współczynnika załamania światła dla ciał stałych poprzez pomiar grubości pozornej płytki za pomocą mikroskopu i porównanie z rzeczywistą grubością zmierzoną śrubą mikrometryczną.

Dzięki materiałom zapewnionym przez pracownię fizyczną wiemy, iż gdy wiązka światła przechodzi przez dwa ośrodki o różnych własnościach optycznych, to na powierzchni granicznej częściowo zostaje odbita, częściowo zaś przechodzi do drugiego środowiska, ulegając załamaniu.

Prawo odbicia dane jest wzorem $\alpha_1 = \alpha_2$, i informuje nas o tym, że kąt padania jest równy kątowi odbicia.

Prawo załamania, sformułowane przez Snelliusa wyrażone jest wzorem:

$$n_{12} = \frac{\sin x_1}{\sin x_2}. \quad (1)$$

Wielkość n jest stałą, zwaną współczynnikiem załamania ośrodka 2 względem ośrodka 1. Współczynnik załamania zależy od długości fali światła padającego. Z tego względu załamanie może być wykorzystane do rozłożenia wiązki światła na składowe o różnych długościach fali (barwach).

Prawa odbicia i załamania są słuszne dla całego widma fal elektromagnetycznych. Można je wyprowadzić z równań Maxwella. Z zasady Huygensa wynika, że współczynnik załamania n jest stosunkiem prędkości światła w każdym z ośrodków

$$n = \frac{v_2}{v_1}. \quad (2)$$

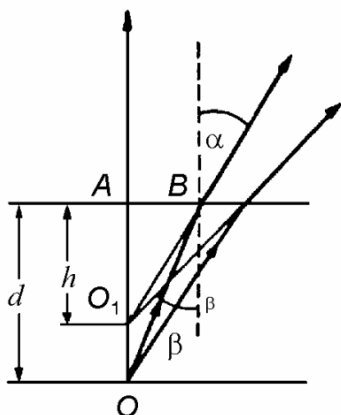
Wskutek załamania światła odległości przedmiotów umieszczonych w środowisku optycznie gęstszym obserwowane z powietrza wydają się mniejsze. Szyba sprawia wrażenie cieńszej niż jest w rzeczywistości, przedmioty w wodzie wydają się bliższe powierzchni itd.

¹ Został użyty wstęp teoretyczny z dokumentu

http://www.fis.agh.edu.pl/~pracownia_fizyczna/cwiczenia/51_opis.pdf

Aby to wyjaśnić, wystarczy prześledzić bieg promieni wychodzących z punktu O położonego na dolnej powierzchni płytki płaskorównoległej na rysunku obok.

Promień OA prostopadły do powierzchni granicznej wychodzi bez załamania, natomiast OB tworzy z prostopadłą wewnątrz szkła kąt β , a w powietrzu kąt α , większy od β wskutek załamania.



Obserwowane promienie wychodzące z płytki są rozbieżne, ich przedłużenia przecinają się w punkcie O_1 tworząc obraz pozorny. Odległość O_1A równa h stanowi pozorną grubość płytki, podczas gdy $AO = d$ jest grubością rzeczywistą.

W naszym eksperymencie patrzymy na płytkę przez mikroskop prawie prostopadle do powierzchni płytki. Obydwa kąty α i β są w rzeczywistości małe. Dla małych kątów zachodzi

$$\alpha \approx \sin \alpha \approx \tan \alpha \quad (3)$$

Z zależności trygonometrycznych dla trójkątów ABO oraz ABO' otrzymujemy:

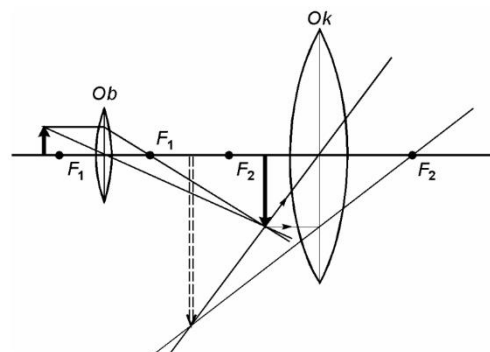
$$\frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \frac{\frac{AB}{h}}{\frac{AB}{d}} = \frac{d}{h} = n \quad (4)$$

Stąd wynika sposób eksperymentalnego wyznaczenia n . Pozorną grubość płytki h wyznaczamy mierząc przesunięcie tubusa mikroskopu między położeniami ostrego widzenia kresek umieszczonych na obu powierzchniach płytki. Współczynnik załamania jest stosunkiem rzeczywistej i pozornej grubości płytki.

W obranej metodzie wyznaczania współczynnika załamania światła jest wykorzystywana właściwość mikroskopu, polegająca na tym, że posiada on wąski przedział głębi ostrości i znaczne powiększenie. Przesunięcie związane z nastawieniem ostrości na górną i dolną powierzchnię płytki mierzy czujnik zegarowy sprzężony z mechanizmem przesuwu tubusa mikroskopu. Dzięki temu można łatwo i dokładnie zmierzyć grubość pozorną h .

Schemat budowy mikroskopu i zasadę powstawania obrazu przedstawiono na rysunku obok.

Elementami, dla których mierzymy n , są płytki płaskorównoległe ze szkła i plexiglasu.



Rys. 2. Schemat mikroskopu: Ob – obiektyw, Ok – okular.

2.Eksperyment

Do zrealizowania ćwiczenia potrzebny był nam układ pomiarowy, w którego skład wchodzi:

- Mikroskop wyposażony w czujnik mikrometryczny i nasadkę krzyżową.
- Śruba mikrometryczna do zmierzenia wielkości faktycznej płytek.
- Zestaw płytek szklanych i z pleksiglasu o różnej grubości, które były już przygotowane do wykonania ćwiczenia (naniesione kreski markerem).

Zmierzyliśmy śrubą mikrometryczną grubość płytek w pobliżu naniesionych kresek. Następnie ustawialiśmy płytki na stoliku mikroskopu i dobieraliśmy ostrość tak, by uzyskać kontrastowy obraz. Regulując położenie stolika obserwowaliśmy górny i dolny ślad zaznaczony na płytce. Następnie przesuwalismy stolik mikroskopu do momentu uzyskania ostrego obrazu śladu na górnej powierzchni płytki, później dolnej – za każdym razem czytając położenie wskazówki czujnika mikrometrycznego. Wykonano to parokrotnie dla każdej kreski.

Po wykonaniu pomiarów z białym oświetleniem w mikroskopie, nałożyliśmy na to światło filtr zielony. Następnie powtórzyliśmy pomiary dla jednej z płytek.

3. Wyniki

Tabela 1 Parametry płytki wykonanej ze szkła.

Materiał:	Szkło
Grubość rzeczywista d [mm]	3,35
Niepewność pomiaru Δd [mm]	0,01
Niepewność typu B $u(d)$	0,006
Współczynnik tablicowy	1,56

Tabela 2 Wyniki pomiarów dla płytki wykonanej ze szkła, oświetlonej światłem białym.

Wskazanie czujnika		Grubość pozorna
A_d [mm]	A_g [mm]	$h = A_d - A_g$ [mm]
8,57	6,59	1,98
8,6	6,6	2
8,61	6,61	2
8,59	6,58	2,01
8,64	6,61	2,03
8,63	6,66	1,97
8,58	6,62	1,96
8,62	6,66	1,96
8,62	6,65	1,97
średnia grubość pozorna \bar{h}		1,99
niepewność $u(h)$		0,01

Tabela 3 Wyniki pomiarów dla płytki wykonanej ze szkła, oświetlonej światłem z zielonym filtrem.

Wskazanie czujnika		Grubość pozorna
A_d [mm]	A_g [mm]	$h = A_d - A_g$ [mm]
8,65	6,65	2
8,63	6,65	1,98
8,69	6,67	2,02
8,64	6,72	1,92
8,61	6,64	1,97
8,63	6,69	1,94
8,63	6,69	1,94
8,65	6,65	2
8,7	6,68	2,02
średnia grubość pozorna \bar{h}		1,98
niepewność $u(h)$		0,01

Tabela 4 Parametry płytki wykonanej z pleksiglasu.

Materiał	Pleksiglas
Grubość rzeczywista d [mm]	4,21
Niepewność pomiaru Δd [mm]	0,01
Niepewność typu B $u(d)$	0,006
Współczynnik tablicowy	1,49

Tabela 5 Wyniki pomiarów dla płytki wykonanej z pleksiglasu, oświetlonej światłem białym.

Wskazanie czujnika		Grubość pozorna
A_d [mm]	A_g [mm]	$h = A_d - A_g$ [mm]
8,29	5,72	2,57
8,32	5,65	2,67
8,29	5,63	2,66
8,35	5,7	2,65
8,32	5,67	2,65
8,33	5,64	2,69
8,42	5,78	2,64
8,33	5,72	2,61
8,31	5,72	2,59
średnia grubość pozorna \bar{h}		2,64
niepewność $u(h)$		0,01

4. Opracowanie wyników

Na początku wyliczamy współczynnik załamania n dla każdego materiału, ze wzoru $n = \frac{d}{h}$. I tak otrzymaliśmy wyniki:

- Szkło (światło białe): 1,69
- Pleksiglas (światło białe): 1,6
- Szkło (światło z zielonym filtrem): 1,7

Następnie oszacowaliśmy niepewność typu B wyznaczenia grubości płytki rzeczywistej $u(d)$, wzorem:

$$u(d) = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}} \approx 0,006, \quad (5)$$

gdzie Δx – niepewność graniczna miernika.

Kolejnym krokiem było wyliczenie niepewności typu A dla grubości pozornej h , używając wzoru:

$$u(h) = \sqrt{\frac{\sum (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}}, \quad (6)$$

przy czym $\bar{h} = \frac{\sum h_i}{n}$ – średnia grubość pozorna danej płytki, h_i – wartość grubości pozornej dla danego pomiaru oraz n – ilość wykonanych pomiarów. Zarówno średnia grubość pozorna jak i niepewność $u(h)$ dla danych płytek zostały przedstawione w tabelach (2), (3) oraz (5) w sekcji **Wyniki**.

Następnym etapem opracowania wyników było obliczenie niepewności złożonej współczynnika załamania $u(n)$ przy pomocy prawa przenoszenia niepewności, wychodząc od wzoru:

$$\frac{u_c(n)}{n} = \sqrt{\left[\frac{u(d)}{d}\right]^2 + \left[\frac{u(h)}{h}\right]^2}. \quad (7)$$

Dla takiej postaci otrzymaliśmy wyniki:

- dla szkła (oświetlonego światłem białym): 0,45%
- dla pleksiglasu (oświetlonego światłem białym): 0,51%
- dla szkła (oświetlonego światłem zielonym): 0,64%

Kolejnym krokiem było przekształcenie równania, aby wyznaczyć bezpośrednio niepewność złożoną:

$$u_c(n) = n \sqrt{\left[\frac{u(d)}{d}\right]^2 + \left[\frac{u(h)}{h}\right]^2}. \quad (8)$$

Otrzymaliśmy następujące wyniki:

- dla szkła (oświetlonego światłem białym): 0,008 mm
- dla pleksiglasu (oświetlonego światłem białym): 0,008 mm
- dla szkła (oświetlonego światłem zielonym): 0,011 mm

co można przybliżyć w każdym przypadku do wartości $u_c(n) = 0,01$ mm.

Aby porównać otrzymane wyniki z teorią, wyznaczyliśmy niepewność rozszerzoną $U(n)$:

$$U(n) = k u_c(n), \quad (9)$$

gdzie $k = 2$ – współczynnik rozszerzenia. Otrzymaliśmy następujące wartości:

- dla szkła (oświetlonego światłem białym): $0,015 \text{ mm}$
- dla pleksiglasu (oświetlonego światłem białym): $0,016 \text{ mm}$
- dla szkła (oświetlonego światłem zielonym): $0,022 \text{ mm}$

co również możemy przybliżyć do wartości $U(n) = 0,02 \text{ mm}$ dla każdej z płytek.

Zestawienie wyników:

Tabela 6 Zestawienie otrzymanych wartości współczynnika załamania, niepewności oraz tablicowe wartości.

Rodzaj materiału	n zmierzone	n tablicowe	dn	U(n)
Szkło (św. białe)	1,686	1,56	0,126	0,015
Pleksiglas	1,597	1,49	0,107	0,016
Szkło (św. zielone)	1,695	1,56	0,135	0,022

5. Wnioski

Wyznaczyliśmy współczynnik załamania światła dla trzech przypadków – płytki szklanej oświetlonej światłem białym, płytki pleksiglasowej również oświetlonej światłem białym oraz płytki szklanej, jednakże oświetlonej światłem z zielonym filtrem. Niestety, nasze wartości znacząco przekroczyły dopuszczoną niepewność pomiaru w każdym z przypadków

- dla szkła (oświetlonego światłem białym): $1,69 \pm 0,02 \neq 1,56$
- dla pleksiglasu (oświetlonego światłem białym): $1,6 \pm 0,02 \neq 1,49$
- dla szkła (oświetlonego światłem zielonym): $1,7 \pm 0,02 \neq 1,56$

Możliwe jest, że problemem okazały się okulary, które nosiły osoby dokonujące pomiarów przez mikroskop. Inną przyczyną mogło być złe (zbyt mocne bądź słabe) dokręcanie śruby mikrometrycznej do powierzchni płytki. Patrząc na zapisane pomiary, pomimo niepoprawnych współczynników załamania, niepewność złożona wyszła naprawdę niska (poniżej $0,02 \text{ mm}$). Ponadto, pomiary dla danej płytki nie odbiegały znacząco od siebie, co świadczy o braku błędów spowodowanych błędem ludzkim, nie jest wykluczony natomiast błąd systematyczny.