

Wydział	Imię i nazwisko		Rok	Grupa	Zespół
WFiIS	1. Paweł Szewczuk 2. Ihnatsi Yermakovich		II	03	03
<b>PRACOWNIA FIZYCZNA WFiIS AGH</b>	Temat				Nr ćwiczenia
	Współczynnik załamania światła dla ciał stałych				51
Data wykonania	Data oddania	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA
04.04.2022	11.04.2022				

# Współczynnik załamania światła dla ciał stałych

## Ćwiczenie nr 51

Paweł Szewczuk

Ihnatsi Yermakovich

<b>1</b>	<b>Cel ćwiczenia</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Wstęp teoretyczny</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Przyrządy pomiarowe</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Przebieg ćwiczenia</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Wyniki</b>	<b>4</b>
5.1	Plexi . . . . .	4
5.2	Szkło . . . . .	4
<b>6</b>	<b>Opracowanie wyników</b>	<b>5</b>
6.1	Plexi . . . . .	5
6.2	Szkło . . . . .	6
<b>7</b>	<b>Wnioski</b>	<b>7</b>

## 1 Cel ćwiczenia

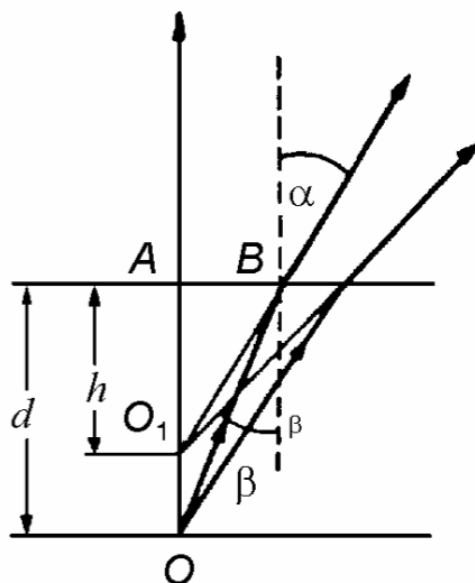
Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika załamania światła dla ciał stałych metodą pomiaru grubości pozornej płytki za pomocą mikroskopu.

## 2 Wstęp teoretyczny

Gdy wiązka światła przechodzi przez dwa ośrodki o różnych własnościach optycznych, to na powierzchni granicznej częściowo zostaje odbita, a częściowo przechodzi do drugiego środowiska, ulegając załamaniu. Wielkością charakteryzującą załamanie jest współczynnik załamania ośrodków  $n$ . Zależy on od długości fali światła padającego. Można go wyliczyć ze wzoru:

$$n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \quad (1)$$

W skutek załamania światła odległości przedmiotów umieszczonych w środowisku optycznie gęstszym obserwowane z powietrza wydają się mniejsze, więc szklana płytka sprawia wrażenie cieńszej, niż jest w rzeczywistości. Sposób powstawania pozornego obrazu płytki płaskorównoległej przedstawia rysunek:



Rysunek 1: Powstanie pozornego obrazu  $O_1$  punktu  $O$  leżącego na dolnej powierzchni płytki płaskorównoległej

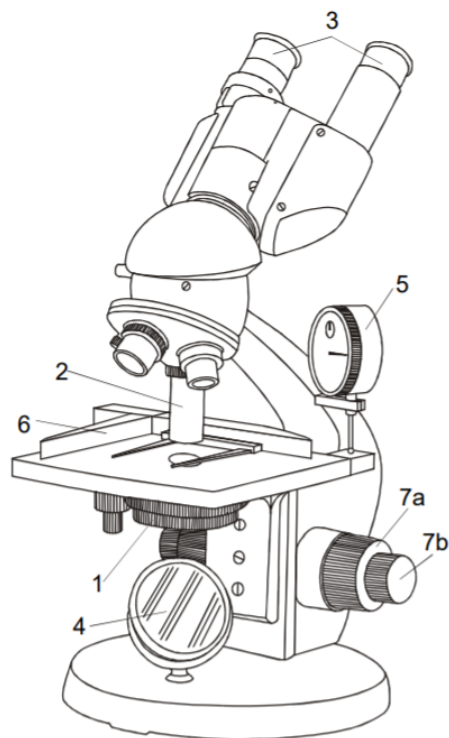
W ćwiczeniu pomiar przez mikroskop dokonywany jest prawie prostopadle do powierzchni płytki, więc kąty  $\alpha$  i  $\beta$  są bardzo małe, dlatego współczynnik  $n$  możemy wyliczyć ze wzoru:

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \approx \frac{\tan\alpha}{\tan\beta} = \frac{\frac{AB}{h}}{\frac{AB}{d}} = \frac{d}{h} \quad (2)$$

gdzie  $d$  jest rzeczywistą grubością płytki, a  $h$  grubością pozorną.

## 3 Przyrządy pomiarowe

- Mikroskop wyposażony w czujnik mikrometryczny i nasadkę krzyżową
- Śruba mikrometryczna
- Płytki szklane i z plexiglasu z zaznaczonymi miejscami pomiarowymi



Rysunek 2: Schemat budowy mikroskopu: 1 - kondensor, 2 - obiektyw, 3 - okular, 4 - lusterko lub lampa oświetleniowa, 5 - czujnik mikrometryczny, którego stopka spoczywa na ruchomej części mikroskopu, 6 - nasadka krzyżowa XY mocująca z pokrętlami do przesuwu płytki, 7a - pokrętło służące do przesuwu stolika ruchem zgrubnym, 7b - pokrętło służące do przesuwu stolika ruchem dokładnym

## 4 Przebieg ćwiczenia

Na początku zmierzono śrubą mikrometryczną grubość płytki z plexi  $d$  w miejscu przecięcia kresek. Następnie ustawiono badaną płytkę na stoliku mikroskopu w uchwycie i dobrano ostrość tak, aby uzyskać kontrastowy obraz, regulując położenie stolika pokrętle 7a zaobserwowano górny i dolny ślad zaznaczony na płytce. Kolejno pokrętle 7b przesuwano stolik mikroskopu do momentu uzyskania ostrego obrazu śladu na górnej powierzchni płytki. Odczytano położenie  $a_g$  wskazówki czujnika mikrometrycznego, przesunięto stolik mikroskopu do położenia, w którym widoczny jest ślad na dolnej powierzchni płytki i odczytano położenie  $a_d$  wskazówki czujnika. Na koniec czynności powtórzono dla płytki szklanej.

## 5 Wyniki

### 5.1 Plexi

Pomiary wstępne:

- Materiał: Plexi
- Grubość rzeczywista  $d = 3,845 [mm]$
- Niepewność  $u(d) = 0,00577 [mm]$

Lp	Wskazanie czujnika		Grubość pozorna
	$a_d [mm]$	$a_g [mm]$	$h = a_d - a_g [mm]$
1	6,742	9,305	2,563
2	6,720	9,310	2,590
3	6,782	9,330	2,548
4	6,810	9,395	2,585
5	6,791	9,339	2,548
6	6,778	9,318	2,540
7	6,710	9,380	2,670
8	6,765	9,425	2,660
9	6,697	9,360	2,663
10	6,720	9,326	2,606

Tabela 1: Pomiary grubości pozornej  $h$  dla plexi

- Średnia grubość pozorna  $h = 2,5973 [mm]$
- Niepewność  $u(h) = 0,0160 [mm]$

### 5.2 Szkło

Pomiary wstępne:

- Materiał: Szkło
- Grubość rzeczywista  $d = 3,871 [mm]$
- Niepewność  $u(d) = 0,00577 [mm]$

Lp	Wskazanie czujnika		Grubość pozorna
	$a_d [mm]$	$a_g [mm]$	$h = a_d - a_g [mm]$
1	6,735	9,364	2,629
2	6,800	9,371	2,571
3	6,725	9,370	2,645
4	6,838	9,340	2,502
5	6,687	9,360	2,673
6	6,752	9,388	2,636
7	6,750	9,285	2,535
8	6,665	9,331	2,666

Tabela 2: Pomiary grubości pozornej  $h$  dla szkła

- Średnia grubość pozorna  $h = 2,6071 [mm]$
- Niepewność  $u(h) = 0,0224 [mm]$

## 6 Opracowanie wyników

### 6.1 Plexi

Najpierw obliczymy niepewność pomiaru grubości płytki rzeczywistej  $u(d)$  (niepewność typu B):

$$u(d) = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 5,7735 \times 10^{-3} \text{ (mm)} \quad (3)$$

Teraz policzymy średnią wartość grubości pozornej  $h$ :

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} = 2,5973 \text{ (mm)} \quad (4)$$

A następnie policzymy niepewność pomiaru grubości pozornej  $h$  (niepewność typu A):

$$u(h) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}} = 0,0160 \text{ (mm)} \quad (5)$$

Policzymy wartość współczynnik załamania następująco:

$$n = \frac{d}{a_d - a_g} = \frac{d}{h} = \frac{3,845}{2,5973} = 1,48 \quad (6)$$

Niepewność złożoną współczynnika załamania z prawa przenoszenia niepewności można obliczyć jako:

$$u(n) = \sqrt{\left(\frac{1}{h} u(d)\right)^2 + \left(\frac{-d}{h^2} u(h)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,00577}{2,5973}\right)^2 + \left(\frac{-3,845}{2,5973^2} 0,016\right)^2} = 0,0094 \text{ (mm)} \quad (7)$$

A względną niepewność współczynnika załamania obliczymy z prawa przenoszenia niepewności względnych:

$$\frac{u(n)}{n} = \sqrt{\left(\frac{u(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{u(h)}{h}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,00577}{3,845}\right)^2 + \left(\frac{0,016}{2,5973}\right)^2} = 0,00635 \text{ (mm)} \quad (8)$$

W końcu możemy zapisać:

$$u(n) = n \cdot \frac{u(n)}{n} = n \sqrt{\left(\frac{u(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{u(h)}{h}\right)^2} = 1,48 \cdot 0,00635 = 0,0094 \text{ (mm)} \quad (9)$$

Zauważmy, że  $u(n)$  obliczone z prawa przenoszenia niepewności jest równe niepewności  $u(n)$  obliczonej korzystając z prawa przenoszenia niepewności względnych.

W końcu wartość współczynnika załamania wynosi:

$$n = 1,48 \pm 0,01 \quad (10)$$

Zauważmy, że otrzymana wartość jest zgodna z wartością teoretyczną dla PMMA (pleksiglas) równej 1,49 w granicach niepewności. O dokładności pomiaru świadczy też brak potrzeby stosowania niepewności rozszerzonej.

## 6.2 Szkło

Najpierw obliczymy niepewność pomiaru grubości płytki rzeczywistej  $u(d)$  (niepewność typu B):

$$u(d) = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 5,7735 \times 10^{-3} \text{ (mm)} \quad (11)$$

Teraz policzymy średnią wartość grubości pozornej  $h$ :

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} = 2,6071 \text{ (mm)} \quad (12)$$

A następnie policzymy niepewność pomiaru grubości pozornej  $h$  (niepewność typu A):

$$u(h) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}} = 0,0224 \text{ (mm)} \quad (13)$$

Policzymy wartość współczynnik załamania następująco:

$$n = \frac{d}{a_d - a_g} = \frac{d}{h} = \frac{3,871}{2,6071} = 1,485 \quad (14)$$

Niepewność złożoną współczynnika załamania z prawa przenoszenia niepewności można obliczyć jako:

$$u(n) = \sqrt{\left(\frac{1}{h}u(d)\right)^2 + \left(\frac{-d}{h^2}u(h)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,00577}{2,6071}\right)^2 + \left(\frac{-3,871}{2,6071^2}0,0224\right)^2} = 0,01295 \text{ (mm)} \quad (15)$$

A względną niepewność współczynnika załamania obliczymy z prawa przenoszenia niepewności względnych:

$$\frac{u(n)}{n} = \sqrt{\left(\frac{u(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{u(h)}{h}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,00577}{3,871}\right)^2 + \left(\frac{0,0224}{2,6071}\right)^2} = 0,00872 \text{ (mm)} \quad (16)$$

W końcu możemy zapisać:

$$u(n) = n \cdot \frac{u(n)}{n} = n \sqrt{\left(\frac{u(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{u(h)}{h}\right)^2} = 1,485 \cdot 0,00872 = 0,01295 \text{ (mm)} \quad (17)$$

Zauważmy, że  $u(n)$  obliczone z prawa przenoszenia niepewności jest równe niepewności  $u(n)$  obliczonej korzystając z prawa przenoszenia niepewności względnych.

W końcu wartość współczynnika załamania wynosi:

$$n = 1,49 \pm 0,02 \quad (18)$$

Zauważmy, że otrzymana wartość jest zgodna z wartością teoretyczną dla szkła równej około 1,50 w granicach niepewności. O dokładności pomiaru świadczy też brak potrzeby stosowania niepewności rozszerzonej.

## 7 Wnioski

1. Podczas zajęć wyznaczono współczynnik załamania światła dla ciał stałych metodą wyznaczania grubości pozornej  $h$  z wykorzystaniem mikroskopu dla płytek pleksiglasowej i szklanej różnej grubości.
2. Na podstawie otrzymanych wyników  $n = (1,49 \pm 0,02)$  dla szkła oraz  $n = (1,48 \pm 0,01)$  dla pleksiglasu. Wartości tablicowe dla obu materiałów zawierają się w okolicach  $n = 1,5$ , więc otrzymane wyniki są bardzo bliskie do wartości teoretycznych.