

# Wyznaczanie względnego współczynnika załamania światła dla przezroczystego ośrodka przy pomocy mikroskopu

## Wymagania do ćwiczenia

---

1. Widmo promieniowania elektromagnetycznego.
2. Zjawiska towarzyszące przejściu promieniowania elektromagnetycznego przez ośrodek różny od próżni.
3. Zasada działania mikroskopu optycznego.

## Literatura

---

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki, PWN, Warszawa 2003, t. 4, str. 21÷62
2. J. Massalski, M. Massalska, Fizyka dla inżynierów, WNT, Warszawa 1980, t. 1, str. 508÷538
3. OpenStacks, Fizyka dla szkół wyższych. Tom 3, [Współczynnik załamania](#)

## Przykładowe pytania

---

1. Co to jest współczynnik załamania światła i co oznacza jego "względna" wartość?
2. Dlaczego światło załamuje się na granicy dwóch ośrodków?
3. Na czym polega metoda mikroskopowa wyznaczania współczynnika załamania?
4. Jakie wielkości fizyczne mierzymy podczas tego doświadczenia?
5. Jakie założenia przyjmujemy przy wyznaczaniu współczynnika załamania tą metodą?
6. W jaki sposób ustalasz położenie ostrego obrazu dolnej i górnej powierzchni próbki?

7. Dlaczego należy wykonać kilka pomiarów i obliczyć wartość średnią?
8. Jak obliczyć współczynnik załamania światła na podstawie zmierzonych danych?
9. Co oznaczają symbole  $d$  (rzeczywista grubość próbki) i  $d'$  (pozorna grubość próbki)?
10. Jakie błędy pomiarowe mogą wystąpić w tym doświadczeniu i jak je minimalizować?
11. Jak obliczyć niepewności pomiarowe w tym ćwiczeniu?
12. Dlaczego ważne jest, aby próbka była dobrze wypolerowana i przezroczysta?
13. Budowa mikroskopu i bieg promieni światła w mikroskopie.
14. Jakie inne metody (oprócz mikroskopowej) można wykorzystać do wyznaczania współczynnika załamania światła?

## Przyrządy pomiarowe/ stanowisko pomiarowe

---

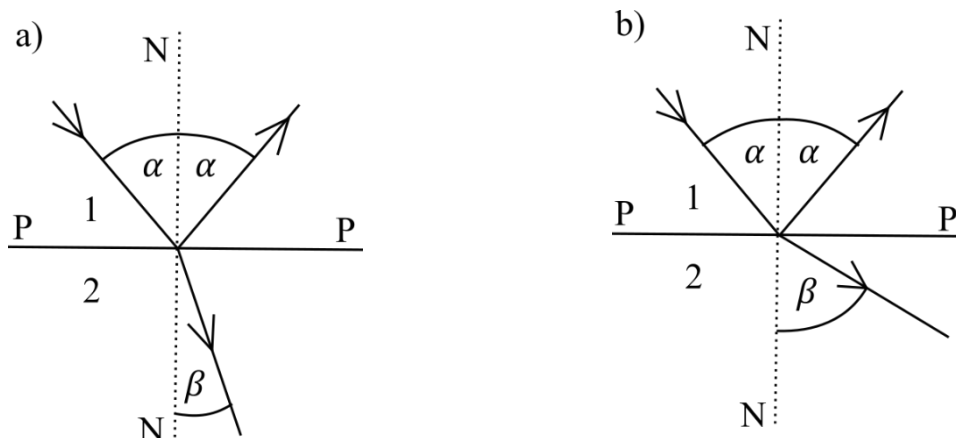
Mikroskop optyczny, suwmiarka, czujnik mikrometryczny



# WPROWADZENIE DO TEMATYKI ĆWICZENIA

Na granicy dwóch ośrodków izotropowych 1 i 2, w których światło rozchodzi się z prędkościami  $v_1$  i  $v_2$ , promień świetlny, wchodząc z ośrodka 1 do ośrodka 2, zmienia kierunek swego biegu – jego część ulegnie odbiciu a pozostała część wejdzie do drugiego ośrodka tworząc tzw. promień załamany.

Na rysunkach 1.a i 1.b kąt  $\alpha$  jest kątem padania (i odbicia), natomiast kąt  $\beta$  jest kątem załamania zawartym między promieniem załamanym a normalną do powierzchni granicznej.



Rys. 1. Załamanie światła (PP – powierzchnia graniczna, NN – normalna do powierzchni granicznej): a) odbicie i załamanie ku prostopadłej ( $\alpha > \beta$ , ośrodek 2 optycznie gęstszy od ośrodka 1), b) odbicie i załamanie od prostopadłej ( $\alpha < \beta$ , ośrodek 1 optycznie gęstszy od ośrodka 2).

Doświadczalnie stwierdzono, że jeżeli ośrodek 1 jest optycznie rzadszy od ośrodka 2, kąt załamania  $\beta$  jest mniejszy od kąta padania  $\alpha$  (załamanie ku prostopadłej) ponieważ  $v_1 > v_2$  (rys. 1.a).

Gdy zaś ośrodek 1 jest optycznie gęstszy od ośrodka 2, promień załamuje się od prostopadłej i wówczas  $\alpha < \beta$  ponieważ  $v_1 < v_2$  (rys. 1.b). W tym przypadku, jeżeli  $\alpha$  jest wystarczająco duże to promień świetlny nie wnika do ośrodka 2 i następuje całkowite wewnętrzne odbicie.

W każdym przypadku promień padający, promień załamany i prostopadła do powierzchni granicznej leżą w jednej płaszczyźnie i spełniają poniższą zależność.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \text{const.} \quad (1)$$

Zależność (1) wyraża prawo załamania podane przez Snelliusa.

Stającą wartość stosunku sinusów kątów padania i załamania równą stosunkowi prędkości rozchodzenia się światła w ośrodkach 1 i 2 nazywamy współczynnikiem załamania ośrodka 2 względem ośrodka 1 i oznaczamy przez  $n_{2,1}$ . Stosunek prędkości  $c$  rozchodzenia się światła w próżni do prędkości  $v$  rozchodzenia się światła w danym ośrodku nazywamy bezwzględnym współczynnikiem załamania światła tego ośrodka:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

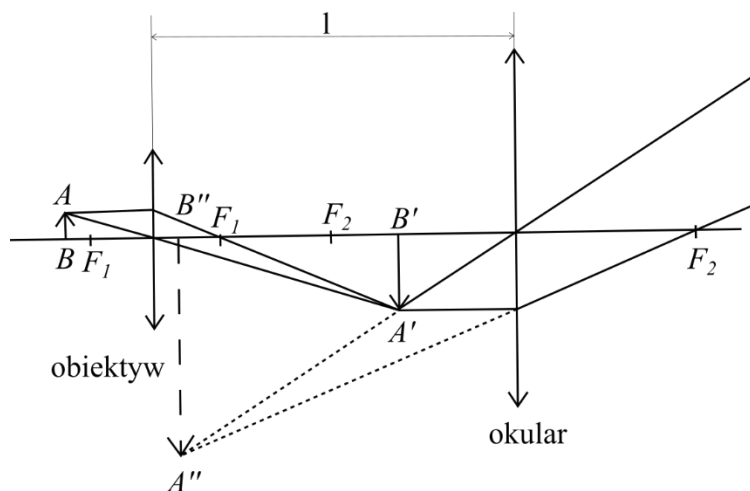
Zależność (1) przyjmuje postać:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1} \quad (3)$$

lub

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (4)$$

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika załamania szkła przy pomocy mikroskopu.



Rys. 2. Bieg promienia w mikroskopie.

Mikroskop składa się z dwóch soczewek skupiających: obiektywu i okularu ustawionych w odległości większej niż suma ogniskowych zastosowanych soczewek. Najczęściej obiektyw składa się z układu soczewek, przez co minimalizowane są wady odwzorowań (np. aberracja sferyczna i chromatyczna), a okular z pojedynczej soczewki. Oglądany przedmiot umieszcza się przed obiektywem w odległości nieco większej niż jego ogniskowa  $F_1$ , wtedy obiektyw daje obraz rzeczywisty, odwrócony i powiększony. Druga soczewka (okular) działa jak lupa i daje obraz urojony, powiększony i prosty. Na rysunku 2 przedstawiono powstawanie obrazu w mikroskopie.

Metoda wyznaczania współczynnika załamania przy pomocy mikroskopu polega na obserwacji zarysowań umieszczonych na górnej i dolnej powierzchni płasko-równoległej płytki.

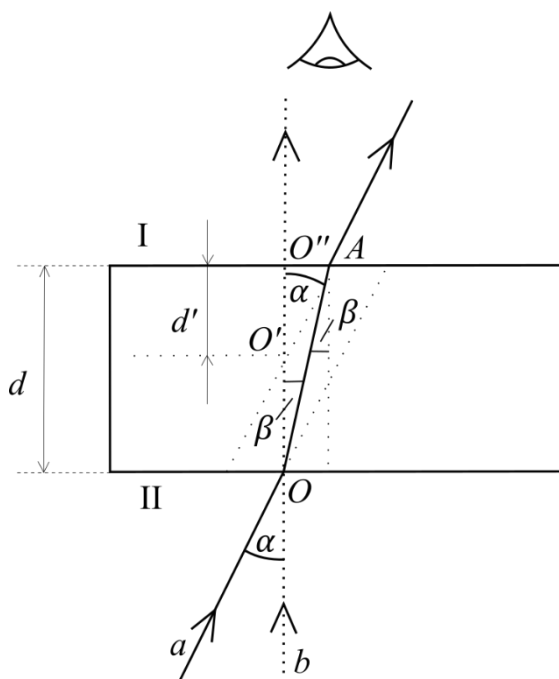
Promienie  $a$  i  $b$  są wybranymi promieniami spośród tworzących obraz punktu  $O$  na siatkówce oka (rys. 3). Załamany w punkcie  $O$  promień  $a$  ulega ponownemu załamaniu w punkcie  $A$ . Jeżeli na powierzchni I płytki narysujemy jedną linię, na powierzchni II narysujemy krzyżującą się z nią drugą linię, to obserwując je przez mikroskop, widzi się obraz linii narysowanej na powierzchni II nie w punkcie  $O$ , lecz w miejscu oznaczonym na rysunku  $O'$ , ponieważ nasze oko widzi obiekt po liniach prostych. Promień  $b$  prostopadły do płytki nie ulega

załamaniu. Oznaczamy grubość płytki przez  $d = OO''$ , zaś grubość pozorną  $d' = O'O''$ . Z zależności trygonometrycznych wynika:

$$\frac{AO''}{d'} = \operatorname{tg} \alpha \quad \frac{AO''}{d} = \operatorname{tg} \beta$$

stąd:

$$d' = d \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha}$$



Rys. 3. Bieg promienia przez płytkę płasko-równoległą.

Dla niewielkich kątów spełniony jest warunek  $\operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha$ . Ponieważ kąty padania i załamania są małe, ostatnią równość można zapisać jako:

$$d' = d \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{d}{n_w}$$

Ostatecznie otrzymujemy

$$n_w = \frac{d}{d'} \quad (5)$$

gdzie  $n_w$  jest względnym współczynnikiem załamania szkła względem powietrza.



## Metodologia wykonywania pomiarów

1. Wybrać dwie płytki płasko-równoległe z różnych materiałów i starannie je oczyścić.
2. Śrubą mikrometryczną zmierzyć grubość płytek  $d$ . Pomiary powtórzyć  $N = 10$  razy dla każdej płytki (mierząc w różnych miejscach w okolicy skrzyżowania narysowanych linii).
3. Przygotować mikroskop do pomiaru – ustawić zwierciadło tak, aby pole widzenia było oświetlone.
4. Umieścić płytkę na stoliku mikroskopu. Pokręcając śrubą przesuwu pionowego ustawić tubus mikroskopu w takiej odległości, aby widoczna była ostro kreska narysowana na górnej powierzchni płytki. **Uwaga:** ostrość należy dokładnie ustawić na powierzchnię, na której znajduje się kreska.
5. Kręcąc śrubą znajdującą się na stopce czujnika dołączonego do mikroskopu ustawić wskazanie czujnika  $d_1$  w okolicy 1 mm. Wartość tę zapisać w tabeli.
6. Obniżyć obiektyw tak, aby otrzymać ostry obraz kreski znajdującej się na dolnej powierzchni płytki (**Uwaga:** ostrość należy dokładnie ustawić na powierzchnię, na której znajduje się kreska). Zapisać wskazanie czujnika  $d_2$ .
7. Pomiary powtórzyć  $N = 10$  razy. Obliczyć pozorną grubość płytki  $d' = d_2 - d_1$ .
8. Powtórzyć pomiary z punktów 4 ÷ 7 dla drugiej płytki.



## Tabela pomiarowa

| Materiał | $d$<br>[mm] | $\bar{d} \pm u(\bar{d})$<br>[mm] | $d_1$<br>[mm] | $d_2$<br>[mm] | $d'$<br>[mm] | $\bar{d}' \pm u(\bar{d}')$<br>[mm] | $n \pm u(n)$ |
|----------|-------------|----------------------------------|---------------|---------------|--------------|------------------------------------|--------------|
| Mat. I   |             |                                  |               |               |              |                                    |              |
|          |             |                                  |               |               |              |                                    |              |
| ...      |             |                                  |               |               |              |                                    |              |
| Mat. II  |             |                                  |               |               |              |                                    |              |
|          |             |                                  |               |               |              |                                    |              |
| ...      |             |                                  |               |               |              |                                    |              |



## Obliczenia

1. Obliczyć średnie grubości płytek  $\bar{d}$  oraz ich niepewności standardowe  $u(\bar{d})$  metodą typu A.
2. Obliczyć średnie grubości pozorne płytek  $\bar{d}'$  oraz ich niepewności  $u(\bar{d}')$  metodą typu A.
3. Obliczyć współczynnik załamania  $n$  oraz  $u(n)$  metodą przenoszenia niepewności.

$$u(n) = \sqrt{\left[\frac{\partial n}{\partial \bar{d}} u(\bar{d})\right]^2 + \left[\frac{\partial n}{\partial \bar{d}'} u(\bar{d}')\right]^2}$$

Podać jawne wyrażenia na powyższe pochodne.

Obliczenia z punktów 1, 2 i 3 wykonać dla obu badanych płytek.

4. We wnioskach przede wszystkim zapisać poprawnie ostateczne wyniki pomiaru razem z niepewnościami. Następnie stwierdzić na poziomie ufności 0,954, czy oba materiały różnią się współczynnikiem załamania. W tym celu porównać różnicę  $\Delta n = n_1 - n_2$  obu współczynników załamania z niepewnością tej różnicy  $u(\Delta n)$  pomnożoną przez współczynnik rozszerzenia  $k = 2$ , tak jak to opisano w skrypcie Niepewności pomiaru. Niepewność  $u(\Delta n)$  obliczyć metodą przenoszenia niepewności.