

## Wprowadzenie teoretyczne

# Doświadczenie „REFRAKCJA”

### Definicja współczynnika załamania światła

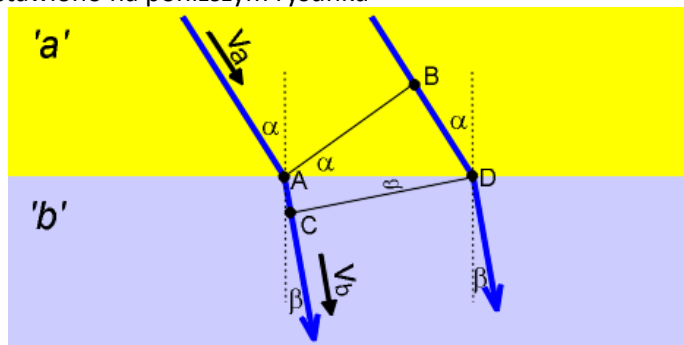
Światło jest falą elektromagnetyczną. Jej szybkość w próżni wynosi  $c = 299792458 \text{ m/s} \pm 1 \text{ m/s}$ . W ośrodku materialnym szybkość ta jest mniejsza. Współczynnik załamania światła w danym ośrodku jest równy stosunkowi szybkości światła w próżni  $c$  do szybkości  $v$  w tym ośrodku:

$$n = \frac{c}{v}$$

Względny współczynnik załamania światła ośrodka  $b$  względem ośrodka  $a$  zdefiniujemy analogicznie, jako stosunek szybkości w ośrodku  $a$  do szybkości w ośrodku  $b$ .

$$n_{ba} = \frac{v_a}{v_b}$$

**Prawo Snella** mówi o tym, że światło przechodzące z jednego ośrodka do drugiego zmienia kierunek rozchodzenia się, jak przedstawiono na poniższym rysunku

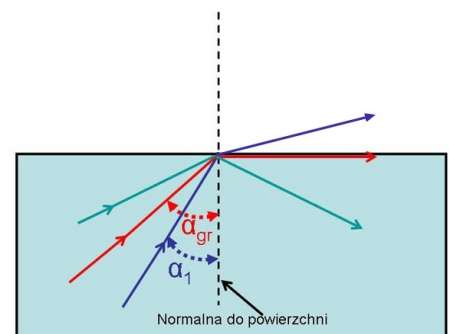


Zgodnie z zasadą Fermata droga AC jest przebywana przez światło w tym samym czasie co droga BD. Zatem:

$$t_{A \rightarrow C} = t_{B \rightarrow D} \Rightarrow \frac{AC}{v_b} = \frac{BD}{v_a} \Rightarrow \frac{AC}{AD v_b} = \frac{BD}{AD v_a} \Rightarrow \frac{\sin \beta}{v_b} = \frac{\sin \alpha}{v_a} \Rightarrow \frac{v_a}{v_b} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

czyli:  $n_{ba} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$  co stanowi prawo Snella.

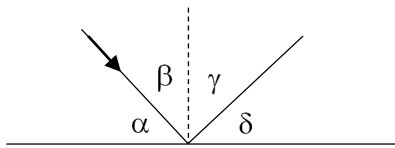
**Całkowite odbicie wewnętrzne.** Jeżeli światło przechodzi z ośrodka, w którym rozchodzi się z dużą prędkością do ośrodka, w którym biegnie wolniej, to kąt załamania jest mniejszy od kąta padania. W przeciwnym przypadku (np. woda-powietrze) kąt załamania jest większy od kąta padania. W związku z tym, w ośrodkach, gdzie światło rozchodzi się wolniej będzie istniał graniczny kąt padania, dla którego światło załamane będzie ślizgać się po powierzchni ośrodka ( $\beta = 90^\circ$ ). Dla kątów większych od kąta granicznego nastąpi odbicie wewnętrzne i światło nie przejdzie do drugiego ośrodka.



# „REFRAKCJA”

## Pytania do przygotowania:

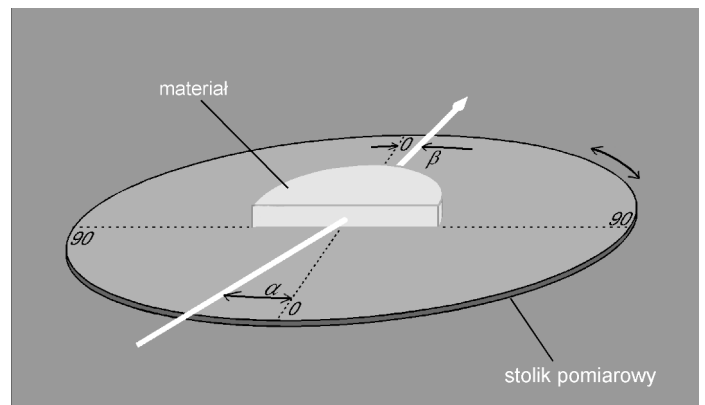
1. Podaj definicję względnego współczynnika załamania światła i jego jednostkę.
2. Podaj definicję bezwzględnego współczynnika załamania światła i jego jednostkę.
3. Ile wynosi wartość współczynnika załamania światła dla takich materiałów jak woda, szkło, pleksi?
4. Dlaczego wartość współczynnika załamania światła wynosi więcej niż jeden?
5. Podaj prawo odbicia i pokaż je na rysunku w oparciu o optykę geometryczną.
6. Podaj prawo załamania światła (prawo Snella).
7. Pokaż na rysunku prawo załamania w oparciu o optykę geometryczną i wyjaśnij co to jest kąt załamania.
8. Na czym polega zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia?
9. Jakimi literami oznaczone są na rysunku kąty padania i załamania?
10. Pod jakim kątem światło odbiło się od lusterka, jeżeli suma kątów padania i odbicia wynosiła  $60^\circ$ ?
11. Jeżeli kąt  $\delta$  na rysunku poniżej jest równy  $30^\circ$  to ile wynosi wartość kąta padania?



12. Podaj definicję radiana.
13. Podaj sposób przeliczania stopni kątowych na radiany, np.  $10^\circ$  ile to radianów?
14. Podaj sposób przeliczania radianów na stopnie kątowe, np. 1 radian ile to stopni kątowych?
15. Podaj cechy światła laserowego.

## Wskazówki do wykonania pomiarów:

1. Ustawić soczewkę w takiej pozycji, aby jej płaska powierzchnia pokrywała się z prostą przechodzącą przez oznaczenia kątów  $90^\circ$ , a środek płaskiej powierzchni pokrywał się ze środkiem tarczy.
2. Ustawić promień lasera w taki sposób, aby pokrywał się z prostą przechodzącą przez oznaczenia kątów  $0^\circ$ .
3. Obrócić tarczę o wybrany kąt  $\alpha$ . Odczytać kąt padania promienia lasera na płaską powierzchnię soczewki  $\alpha$ , oraz odczytać kąt załamania wiązki lasera  $\beta$ .
4. Zmieniając położenie tarczy wykonać pomiary w zakresie do kąta  $\alpha = 60^\circ$ .
5. Powtarzać do uzyskania dziesięciu wartości kątów  $\alpha$  i dziesięciu kątów  $\beta$ .
6. Wykonać obliczenia zgodnie z instrukcją i sporządzić wykres próbny w arkuszu kalkulacyjnym. W obliczeniach pamiętać o używaniu jednostek podstawowych układu SI dla wszystkich kątów.
7. Sporządzić protokół z pomiarów i niepewności pomiarowych.



## UWAGA:

- Ze względu na zbyt dużą szerokość wiązki światła załamane oraz jej mniejsze natężenie z powodu odbicia części światła od powierzchni soczewki, przy kącie padania większym niż  $60^\circ$ , należy ograniczyć pomiary do kątów poniżej tej wartości.

## „REFRAKCJA”

**Student 1:** Wyznaczanie współczynnika załamania światła.

**Student 2:** Sprawdzanie prawa Snella.

**Prawo Snella** (Snelliusa) mówi, że promienie: padający na granicę ośrodków i załamany oraz prostopadła do granicy ośrodków (normalna) leżą w jednej płaszczyźnie, a kąty spełniają zależność:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

gdzie:

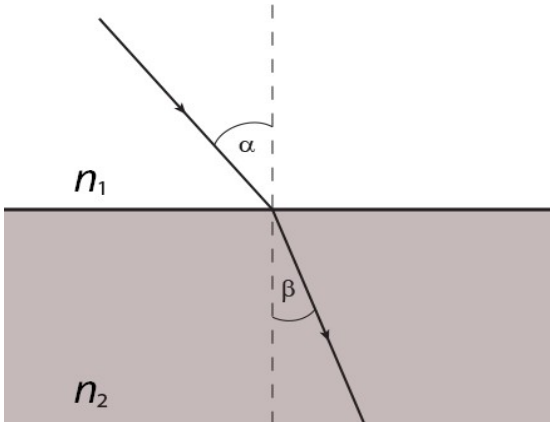
$n_{21}$  – względny współczynnik załamania światła (ośrodka 2 względem ośrodka 1)

$n_2$  – współczynnik załamania światła ośrodka 2

$n_1$  – współczynnik załamania światła ośrodka 1

Z zasady Fermata wynika, że względny współczynnik załamania światła  $n_{21}$  równy jest też odpowiedniemu stosunkowi prędkości fali świetlnej w tych ośrodkach:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$



<p style="text-align: center;"><math>\sin \alpha = n \cdot \sin \beta</math></p>	<p style="text-align: center;"><math>\sin \beta = \frac{1}{n} \cdot \sin \alpha</math></p>
<p>Zatem, aby <b>wyznaczyć współczynnik załamania</b> światła metodą bezpośrednią należy:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- wykonać pomiary zależności kąta załamania <math>\beta</math> od kąta padania <math>\alpha</math>,</li> <li>- sporządzić wykres zależności <math>\sin \alpha</math> od <math>\sin \beta</math>,</li> <li>- odczytać z niego wartość współczynnika załamania światła</li> </ul>	<p>Zatem, aby <b>sprawdzić zależność</b> kąta załamania od kąta padania, należy:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- wykonać pomiary zależności kąta załamania od kąta padania,</li> <li>- sporządzić wykres zależności <math>\sin \beta</math> od <math>\sin \alpha</math></li> <li>- zanalizować jego liniowość</li> </ul>

## „REFRAKCJA”

**Student 1:** Wyznaczanie współczynnika załamania światła.

### 1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\alpha$	[°]										
$\beta$	[°]										
$\Delta\beta$	[°]										

$\Delta\alpha = \dots$

### 2. Obliczenia (przykładowe – odnoszą się np. do pomiaru nr 3)

$\sin\alpha = \dots$

$\sin\beta = \dots$

$\Delta\sin\alpha = |\sin(\alpha) - \sin(\alpha + \Delta\alpha)| = \dots$

$\Delta\sin\beta = |\sin(\beta) - \sin(\beta + \Delta\beta)| = \dots$

### 3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sin\alpha$	[-]										
$\sin\beta$	[-]										
$\Delta\sin\alpha$	[-]										
$\Delta\sin\beta$	[-]										

### 4. Wykres

+ obliczenie  $n$  (nachylenie prostej „najlepszego dopasowania”)

+ obliczenie  $n'$  (nachylenie prostej odchylonej)

+ obliczenie dokładności metody  $\Delta n = |n - n'|$

### 5. Podsumowanie

Wyznaczona wartość ... wynosi ...

Dokładność metody: ...

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.

## „REFRAKCJA”

**Student 2:** Sprawdzanie prawa Snella.

### 1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\alpha$	[°]										
$\beta$	[°]										
$\Delta\beta$	[°]										

$\Delta\alpha = \dots$

### 2. Obliczenia (przykładowe – odnoszą się np. do pomiaru nr 3)

$$\sin\beta = \dots$$

$$\sin\alpha = \dots$$

$$\Delta\sin\beta = |\sin(\beta) - \sin(\beta+\Delta\beta)| = \dots$$

$$\Delta\sin\alpha = |\sin(\alpha) - \sin(\alpha+\Delta\alpha)| = \dots$$

### 3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\sin\beta$	[-]										
$\sin\alpha$	[-]										
$\Delta\sin\beta$	[-]										
$\Delta\sin\alpha$	[-]										

### 4. Wykres

### 5. Podsumowanie

Ponieważ na wykresie ... można poprowadzić prostą przechodzącą przez wszystkie prostokąty niepewności pomiarowych, nie ma podstaw do stwierdzenia odstępstwa od ...

*Ewentualnie:* Odstępstwo od liniowości w zakresie ... może wynikać z ....

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.