

## Wprowadzenie teoretyczne

### Doświadczenie „A B B E”

**Współczynnik załamania światła** w danym ośrodku jest równy stosunkowi szybkości światła w próżni do szybkości w tym ośrodku:  $n = \frac{c}{v}$

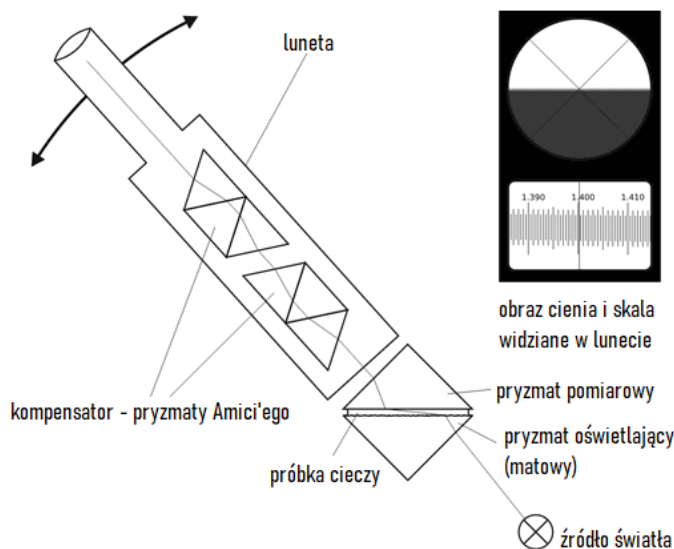
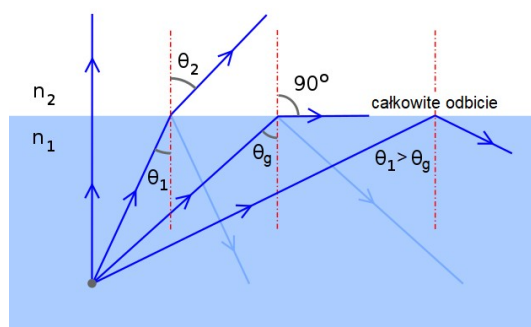
**Prawo Snella (prawo załamania).** Światło przechodzące z jednego ośrodku do drugiego zmienia kierunek rozchodzenia się, przy czym względny współczynnik załamania światła związany jest z kątami wzorem:

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

**Całkowite odbicie wewnętrzne.** Jeżeli światło przechodzi z ośrodku, w którym rozchodzi się z dużą prędkością do ośrodku, 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 **kąt graniczny** padania, dla którego światło załamane będzie ślizgać się po powierzchni ośrodku ( $\beta = 90^\circ$ ). Dla kątów większych od kąta granicznego nastąpi całkowite wewnętrzne odbicie i światło nie przejdzie do drugiego ośrodka.

Dla kąta granicznego kąt  $\theta_2$  wynosi  $90^\circ$ . Więc jeśli  $\sin(90^\circ) = 1$ , to wzór na współczynnik załamania światła przyjmie postać:

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{\sin \theta_g}$$



**Refraktometr Abbego** to przyrząd do wyznaczania współczynnika załamania światła w cieczach. Zasada jego działania opiera się na pomiarze kąta granicznego. Próbkę umieszczamy pomiędzy dwoma równoległymi pryzmatami: pomiarowym i oświetlającym. Światło wpada do próbki z pryzmatu oświetlającego. Jego powierzchnia jest zmatowiona, dzięki czemu światło wpada do próbki pod wszystkimi możliwymi kątami. Światło to załamuje się pod kątem granicznym na dolnej powierzchni pryzmatu pomiarowego, a następnie za pomocą lunety mierzy się położenie granicy między obszarem jasnym i ciemnym. Pryzmat pomiarowy wykonany jest ze szkła flint o współczynniku załamania 1,74. Wartość ta stanowi górną granicę dla mierzonych współczynników. Refraktometr wyskalowany jest w wartościach bezwzględnych współczynnika załamania.

**Pytania do przygotowania:**

**„A B B E”**

1. Podaj prawo odbicia i pokaż je na rysunku w oparciu o optykę geometryczną.
2. Wyjaśnij co to jest kąt padania, odbicia i normalna.
3. Zapisz definicję współczynnika załamania w odniesieniu do prędkości światła w danym ośrodku i podaj jego jednostkę.
4. Zapisz prawo załamania (Snella).
5. Pokaż na rysunku prawo załamania w oparciu o optykę geometryczną i wyjaśnij co to jest kąt załamania.
6. Wyjaśnij różnicę między względnym i bezwzględnym współczynnikiem załamania.
7. Podaj przybliżoną wartość współczynnika załamania w powietrzu, wodzie, szkle i roztworze soli kuchennej.
8. Podaj przykłady zastosowań pomiarów współczynnika załamania w odniesieniu do właściwości fizycznych substancji.
9. Wyjaśnij zjawisko dyspersji.
10. Wyjaśnij zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia.
11. Wyjaśnij pojęcie kąta granicznego.
12. Podaj warunki jakie muszą być spełnione aby zaszło całkowite wewnętrzne odbicie.
13. Wyjaśnij do czego służy refraktometr Abbego.
14. Opisz budowę i zasadę działania refraktometru Abbego.
15. Podaj wzór na zależność kąta granicznego od współczynnika załamania.

**Student 1:** Wyznaczenie stężenia roztworu NaCl poprzez pomiar współczynnika załamania światła.

**Student 2:** Refraktometryczna weryfikacja stężeń względnych roztworu NaCl.

### Baza teoretyczna

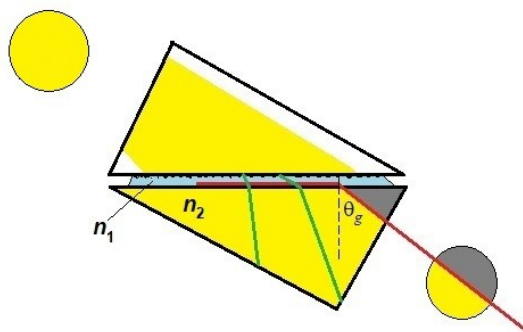
Zgodnie z prawem Snella współczynnik załamania światła związany jest z kątami padania i załamania (rysunek) zależnością:

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

Dla kąta granicznego (światło wychodzące z ośrodka optycznie gęstszego ślizga się po granicy ośrodków) kąt  $\theta_2$  wynosi  $90^\circ$ , oraz  $\sin(90^\circ) = 1$ , stąd:

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{\sin \theta_g}$$

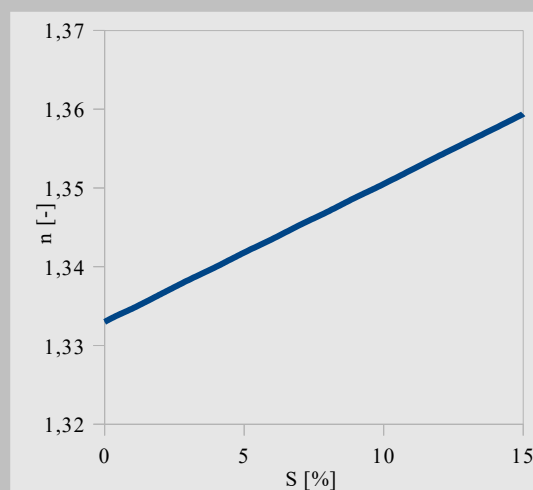
Kąty  $\theta_1$  i  $\theta_2$  zachowują swoje wartości niezależnie od kierunku biegu promienia (strzałki na rysunku). W refraktrometrze Abbego światło ślizgające się w cienkiej warstwie cieczy między pryzmatami wnika do pryzmatu pomiarowego (optycznie gęstszego) pod kątem  $\theta_g$ . Pomiar tego kąta pozwala na uzyskanie względnego współczynnika załamania.



Aby wyznaczyć współczynnik załamania światła należy:

1. Z otrzymanego roztworu soli o nieznanym stężeniu  $S_x$  i wody destylowanej, metodą łączenia jednakowych ilości cieczy przygotować roztwór  $50\%S_x$  a następnie  $25\%S_x$  oraz  $75\%S_x$ .
2. Zmierzyć współczynnik załamania wody destylowanej:
  - podnieść do oporu pryzmat pomiarowy
  - nanieść kilka kropeł cieczy na pryzmat oświetlający i opuścić pryzmat pomiarowy
  - włączyć oświetlacz LED
  - pokrętką po prawej stronie ustawić ostrą granicę między jasnym i ciemnym obszarem w polu widzenia okularu
  - pokrętką po lewej stronie naprowadzić linię graniczną dokładnie na środek krzyża z nici pajęczych w górnym okienku okularu.
  - pionowa linia wskaże wynik pomiaru na podziałce współczynnika załamania - oznaczona  $n_D$ .
 (dolna skala w procentach służy do określania stężenia roztworów glukozy)
3. Czynności z punktu 2 powtórzyć dla stężeń roztworu  $25\%S_x$ ,  $50\%S_x$ ,  $75\%S_x$  oraz  $100\%S_x$ .
4. Wykonać wykres zależności współczynnika załamania światła od ułamka stężenia roztworu
5. Na zakończenie pomiarów przemyć oba pryzmaty wodą destylowaną i osuszyć. Uporządkować stanowisko.

Zależność współczynnika załamania światła  $n$  od procentowego stężenia  $S\%$  soli w roztworze



Dla małych stężeń w temperaturze pokojowej jest opisana przybliżonym wzorem empirycznym:

$$n = 0,176 \cdot S_{\%} + 1,333$$

## „A B B E”

**Student 1:** Wyznaczenie stężenia roztworu NaCl poprzez pomiar współczynnika załamania światła.

I. **Metodyka** (ideowy plan ćwiczenia)

II. **Przebieg ćwiczenia**

II.1. Przebieg czynności

II.2. Szkic układu pomiarowego

III. **Wyniki**

III.1. Wyniki pomiarów

		0	1	2	3	4
$S/S_x$	[ - ]	0				1
$n$	[ - ]					

$\Delta n = \dots$

$\Delta S/S_{\max} = \dots$

III.2. Wykres zależności współczynnika załamania światła  $n$  od ułamka względnego stężenia roztworu  $S/S_{\max}$

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

+ obliczenie  $a'$  (nachylenie prostej odchylonej)

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

III.3. Wyznaczenie rzeczywistego masowego stężenia  $S_x$  otrzymanego roztworu NaCl:

$$S_x = \left( \frac{S}{S_x} \right) \cdot \frac{a}{0,176} = 1 \cdot \frac{a}{0,176} = \dots$$

$$\Delta S_x = \frac{\Delta a}{0,176} = \dots$$

IV. Podsumowanie

Wyznaczona wartość ... wynosi ...

Dokładność metody: ...

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.

## „A B B E”

**Student 2:** Refraktometryczna weryfikacja stężeń względnych roztworu NaCl.

I. **Metodyka** (ideowy plan ćwiczenia)

II. **Przebieg ćwiczenia**

II.1. **Przebieg czynności**

II.2. **Szkieł układu pomiarowego**

IV. **Wyniki**

III.1. **Wyniki pomiarów**

		0	1	2	3	4
$S/S_x$	[ - ]	0	0,25	0,5	0,75	1
$n_i$	[ - ]					

$\Delta n = \dots$

$\Delta S/S_x = \dots$

III.2. **Wykres zależności współczynnika załamania światła  $n$  od ułamka względnego stężenia roztworu  $S/S_x$**

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

+ obliczenie  $a'$  (nachylenie prostej odchylonej)

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

III.3. **Sprawdzenie względnych stężeń  $S/S_x$  otrzymanych metodą rozcieńczania roztworu NaCl:**

Dla kolejnych stężeń względnych  $S/S_x$  wynoszących 25%, 50% i 75% wyznacz wartości:

$$\left( \frac{S}{S_x} \right)_{refr} = \frac{n_i - n_0}{a} = \dots$$

gdzie  $n_i$  to współczynnik załamania i-tego roztworu,  $n_0$  to współczynnik załamania światła czystej wody.

Dokładność stężeń wyniesie:

$$\Delta \left( \frac{S}{S_x} \right)_{refr} = \frac{n_i - n_0}{a^2} \cdot \Delta a + \frac{2}{a} \cdot \Delta n = \dots$$

IV. **Podsumowanie**

Względne stężenia pośrednie roztworów uzyskanych metodą rozcieńczania wyniosły:

Weryfikacja tych stężeń metodą refraktometryczną dała wyniki:

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.