

LVII OLIMPIADA FIZYCZNA (2007/2008). Stopień I, zadanie doświadczalne – D2.

Źródło:	Andrzej Wysmołek – plik; Komitet Główny Olimpiady Fizycznej.
Autor:	Andrzej Wysmołek – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej
Nazwa zadania:	Współczynnik załamania roztworu soli
Działy:	Optyka geometryczna
Słowa kluczowe:	roztwór soli kuchennej, stężenie molowe, laser, statyw, linijka, lusterko, światło, woda

Zadanie doświadczalne – D2, zawody I stopnia, część 2, LVII OF.

Masz do dyspozycji:

- wskaźnik laserowy,
- wodę (może być z kranu),
- sól kuchenną,
- lusterko,
- statyw z uchwytem,
- plastelinę,
- miskę,
- linijkę, taśmę mierniczą,
- ekran (może to być ściana),
- menzurkę lub inne naczynie umożliwiające odmierzenie żądanej objętości cieczy.

- 1) Wyznacz zależność współczynnika załamania n roztworu soli kuchennej w wodzie od stężenia molowego c_m tego roztworu.
- 2) Znajdź najprostszą formułę matematyczną wiążącą uzyskaną doświadczalnie zależność współczynnika załamania n roztworu wodnego soli z jego stężeniem molowym c_m .

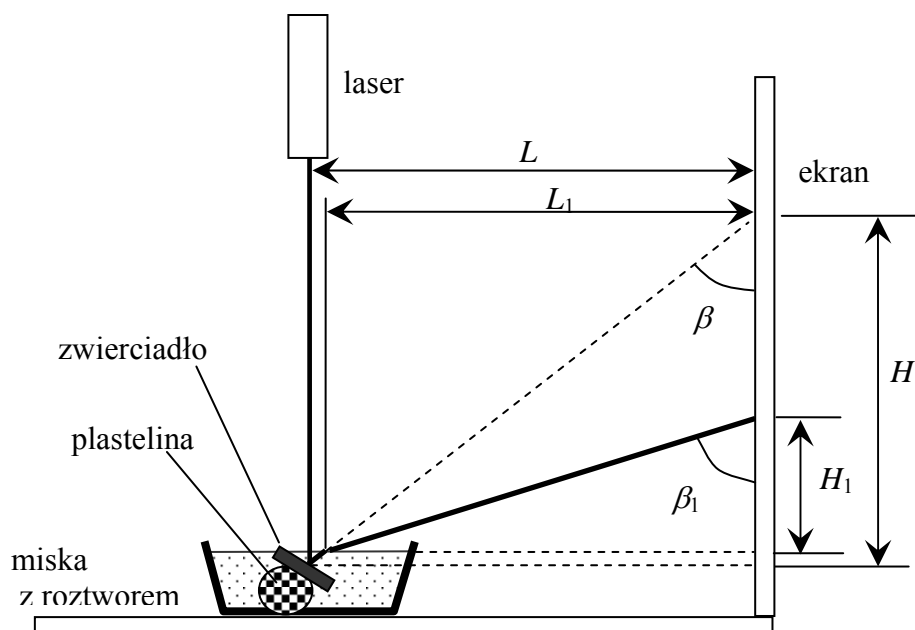
Przyjmij, że stężenie roztworu nasyconego NaCl w wodzie w temperaturze pokojowej wynosi $c_m = 5,4$ mol/L.

Uwaga:

Możesz wykorzystać dodatkowo gumową lub plastikową rurkę umożliwiającą przelewanie cieczy z naczynia do naczynia.

Rozwiązanie

Współczynnik załamania światła w wodzie można wyznaczyć wykorzystując układ przedstawiony schematycznie na rys. 1.



Rys. 1

Na dnie miski, na plastelinie umieszczamy lustro. Ilość plasteliny dobieramy tak, aby można było w łatwy sposób zmienić kąt, jaki tworzy powierzchnia lustra z poziomem. Wskaźnik laserowy mocujemy na statywie tak, by świecił pionowo w dół. Można to sprawdzić patrząc, gdzie pojawia się światło laserowe odbite od powierzchni wody rozlanej pod laserem. Jeśli promień lasera biegnie pionowo, to po odbiciu od powierzchni wody część światła wracać będzie dokładnie do otworu, z którego światło wychodzi z lasera. Pod laserem umieszczamy miskę z odpowiednio pochylonym lustrem i zaznaczamy miejsce, gdzie światło laserowe odbite od lustra trafia na ekran (ścianę).

Znając odległość L lasera (pionowej wiązki laserowej) od ściany oraz różnicę wysokości H pomiędzy punktem odbicia światła od lustra i jego położeniem na ścianie, wyznaczamy sinus kąta $\sin(\beta)$ pomiędzy promieniem padającym na zwierciadło i promieniem odbitym:

$$\sin(\beta) = \frac{L}{\sqrt{L^2 + H^2}} \quad (1)$$

Po nalaniu do miski wody czy też roztworu wodnego soli o znanym stężeniu, bieg światła laserowego w roztworze nie zmieni się, natomiast na granicy roztwór-powietrze światło ulegnie załamaniu i promień odchyli się pod kątem β_1 do pionu. Znając wysokość H_1 „zajęczka” widocznego na ekranie (ścianie), mierzoną tym razem od poziomu cieczy w misce, oraz odległość L_1 , pomiędzy miejscem załamania światła na granicy roztwór-powietrze a ekranem możemy wyznaczyć

$$\sin(\beta_1) = \frac{L_1}{\sqrt{L_1^2 + H_1^2}} \quad (2)$$

Jak to już wspomniano, światło odbite od zwierciadła umieszczonego w roztworze, biegnie do granicy roztwór-powietrze biegnie tym samym torem, co poprzednio w powietrzu. Dzięki temu wzór na współczynnik załamania n można wyrazić jako:

$$n = \frac{\sin \beta}{\sin \beta_1} = \frac{\frac{L_1}{\sqrt{L_1^2 + H_1^2}}}{\frac{L}{\sqrt{L^2 + H^2}}} = \frac{L_1 \sqrt{L^2 + H^2}}{L \sqrt{L_1^2 + H_1^2}} \quad (3)$$

Odpowiednie odległości wyznaczamy używając linijki i taśmy mierniczej. Pomiarów wykonujemy dla kilku stężeń poczynając np. od czystej wody do roztworu nasyconego. Różne stężenia roztworu można uzyskać mieszając, w znanych proporcjach, roztwór nasycony soli z czystą wodą. Mając na uwadze niepewność pomiaru, korzystnym jest wykonanie całej serii pomiarowej dla jednego ustalonego położenia wskaźnika laserowego i miski z roztworem. Dzięki temu niepewność pomiaru odległości L , H , L_1 wpływa w podobny sposób na każdy z punktów doświadczalnych, a co za tym idzie – zmniejsza ich rozrzut na wykresie.

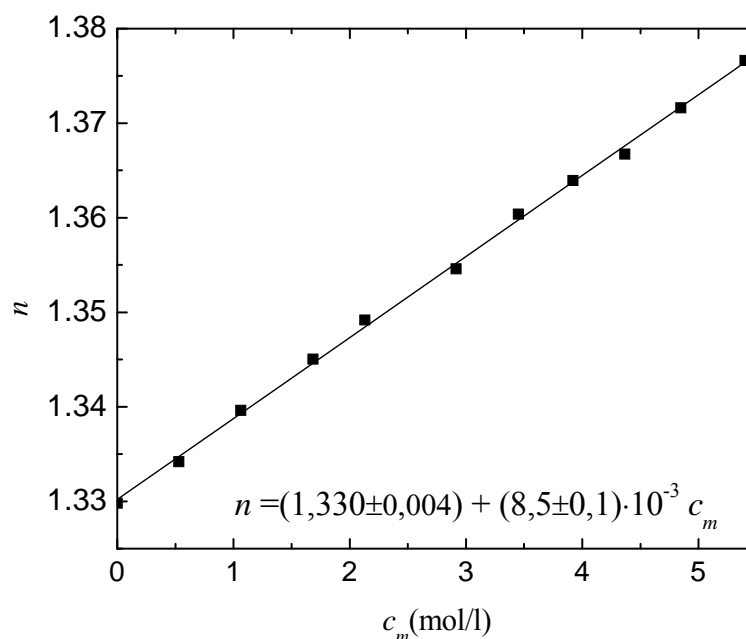
W doświadczeniu wykonanym przez recenzenta odległość pionowej wiązki laserowej od ekranu (ściany) wynosiła $L = (158,5 \pm 0,5)$ cm, natomiast wysokość plamki światła odbitego na ścianie wyniosła $H = (183,5 \pm 0,5)$ cm. Po nalaniu roztworu do ustalonej wysokości odległość punktu załamania od ekranu wynosiła $L_1 = (156,5 \pm 0,5)$ cm.

Wielkości te zostały dobrane w taki sposób, by nawet dla roztworu nasyconego nie następowało całkowite wewnętrzne odbicie. Wysokość H_1 dla kilku roztworów wodnych soli o różnym stężeniu zamieszczono w Tabeli 1.

Tabela 1

Stężenie molowe c_m (mol/L)	H_1 (cm)
5,4	75,8
4,85	77,3
4,37	78,7
3,92	79,5
3,45	80,5
2,91	82,1
2,13	83,6
1,68	84,8
1,06	86,3
0,53	87,8
0	89,0

Na podstawie uzyskanych wyników obliczono wartości współczynnika załamania n roztworów o różnych stężeniach c_m . Zależność współczynnika załamania roztworu wodnego soli od stężenia sporządzona na podstawie jednej z serii pomiarów przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2

Z rys. 2 wynika, że w badanym zakresie stężeń, uzyskaną eksperymentalnie zależność można opisać funkcją liniową $n = n_0 + Ac_m$. Z dopasowania prostej uzyskano $n_0 = (1,330 \pm 0,004)$ oraz $A = (8,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-3}$ (L/mol). Wyznaczone wartości dość dobrze zgadzają się z danymi tablicowymi wynoszącymi odpowiednio 1,333 oraz $8,8 \cdot 10^{-3}$ mol/L co świadczy o dokładności metody.

Niepewności pomiarowe wartości A i n_0 zależą głównie od precyzji pomiaru odległości L , H , L_1 , H_1 . Niepewność wyznaczonej wartości A zależy ponadto od dokładności przy przygotowywaniu roztworów o poszczególnych stężeniach.

Proponowana punktacja

1. Pomysł na układ pomiarowy, w którym możliwe jest wykonanie pomiaru współczynnika załamania roztworu soli. do 3 pkt.
2. Pomysł na uzyskanie roztworu soli o określonym stężeniu. do 1 pkt.
3. Poprawne wzory, umożliwiające wyznaczenie n do 3 pkt.
4. Wykonanie pomiarów w możliwie szerokim zakresie stężeń (w tym doświadczalna weryfikacja założeń o geometrii układu – np. w przedstawionym rozwiązaniu założenia o pionowym biegu wiązki lasera – 2 pkt.) do 7 pkt.
5. Przedstawienie na wykresie (lub w inny równoważny sposób) uzyskanej doświadczalnie zależności współczynnika załamania roztworu od jego stężenia do 2 pkt.
6. Znalezienie najprostszej zależności funkcyjnej pomiędzy współczynnikiem załamania i stężeniem roztworu do 2 pkt.
7. Dyskusja najważniejszych źródeł błęd pomiarowego. do 2 pkt.