

# XXIV OLIMPIADA FIZYCZNA

(1974/1975)

## ZAWODY I STOPNIA

### Zadanie doświadczalne – D

**Nazwa** – Wyznaczanie współczynnika załamania szkła butelki z kąta Brewstera.

**Źródła** – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej

- Waldemar Gorzkowski: *Fizyka w Szkole* nr 4, 1975
  - Waldemar Gorzkowski: *Olimpiady Fizyczne XXIII i XXIV*. WSiP, Warszawa 1977
  - Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki: *Olimpiada fizyczna. Wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami. Stowarzyszenie Symetria i Własności Strukturalne*, Poznań 1994 (zad. 46)
  - T.M. Molenda, IF US, [www.OF.szc.pl](http://www.OF.szc.pl).
- 

Mając do dyspozycji:

- źródło światła (świeczkę lub żaróweczkę),
- płytkę szklaną,
- arkusz papieru,
- linijkę,
- kątomierz,
- statyw z uchwytemi,
- butelkę z brązowego szkła.

Wyznacz współczynnik załamania szkła butelki i szkła płytki. Uzasadnij metodę pomiaru i oszacuj niepewność pomiarową. Opisz sposób wykonania pomiarów.

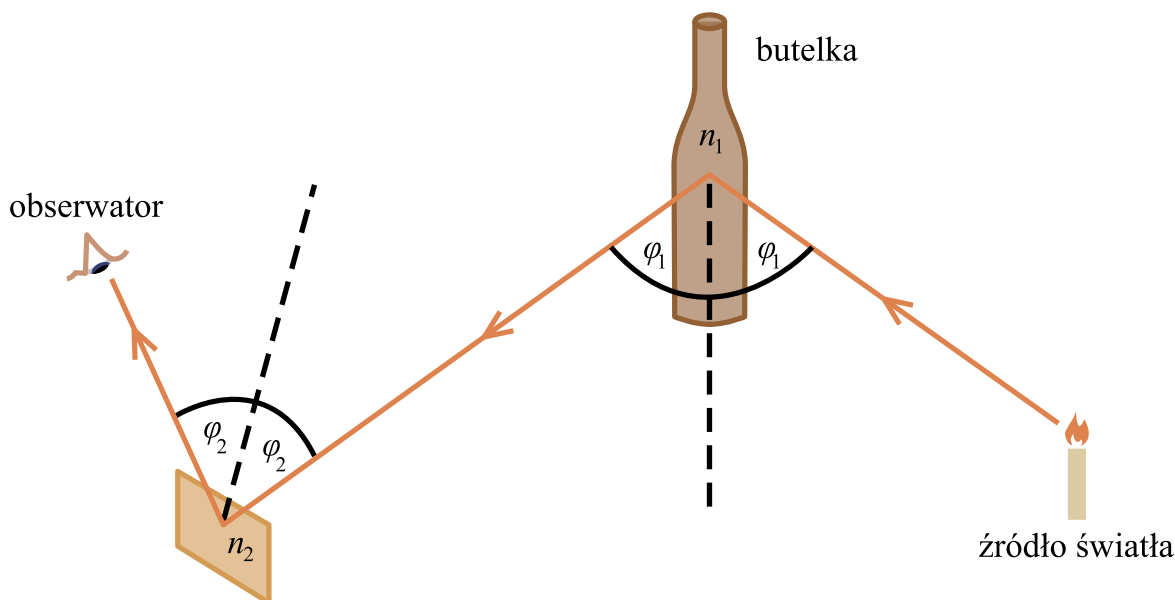
## Rozwiązanie zadania D – XXIV OF, stopień I

Rozwiązanie zadania opiera się na zjawisku polaryzacji przez odbicie. Zjawisko częściowej polaryzacji światła przy odbiciu zostało odkryte w 1808 roku przez Louisa Malusa. Natomiast w 1815 roku Dawid Brewster określił kąt, pod którym wiązka musi padać na płytkę, aby promień odbity był całkowicie spolaryzowany. Do jego obserwacji służyła najpierw zwykła tafla szklana, później płytkę z turmalinu i zbudowany z kalcytu pryzmat przez Williama Nicola. Obecnie najczęściej używa się cienkiej folii zbudowanej z równoległe ułożonych długich łańcuchów polimerowych wynalezionej w 1938 roku przez Edwina Landa.

Zadanie to rozwiązujemy w następujący sposób: na poziomej płaszczyźnie (np. na dużym stole – lub lepiej – na podłodze) ustawiamy źródło światła, butelkę i umocowaną w statywie płytkę szklaną, którą można obracać wokół osi poziomej.

Jednym okiem patrzymy na plamkę światła na powierzchni płytki szklanej odbitej od butelki (rys. 1). Obracamy płytkę – plamka staje się jaśniejsza lub ciemniejsza. Światło odbite od powierzchni butelki jest częściowo spolaryzowane. Dlatego odbijając się powtórnie od powierzchni płytki szklanej (tzw. analizator) zmienia swoją intensywność. Butelkę ustawiamy tak, aby wiązka promieni padała na nią pod kątem Brewstera. Możemy także nie szukać kąta Brewstera a przy dowolnej pozycji butelki względem wiązki promieni padających obracać analizator tak, aby otrzymać największe zaciemnienie obrazu.

Dopasowujemy ustawienie przedmiotów i oka, aby refleksy od źródła światła w pionowych ściankach butelki zniknęły po odbiciu w płytce (rys.1). Wtedy odbicia zarówno od ścianek butelki jak i od płytki zachodzą pod kątami Brewstera. Mierząc kąty Brewstera dla butelki i płytki wyznaczamy odpowiednie współczynniki załamania. Metoda ta pozwala bez trudu wyznaczyć  $n$  z dużą dokładnością.



Rys. 1

### Sposób 1 – pomiar kątów

W tabeli 1 przytoczono przykładowe wyniki pomiarów kątów Brewstera  $\varphi_1$  i  $\varphi_2$  otrzymane podczas kontrolnego wykonywania zadania:

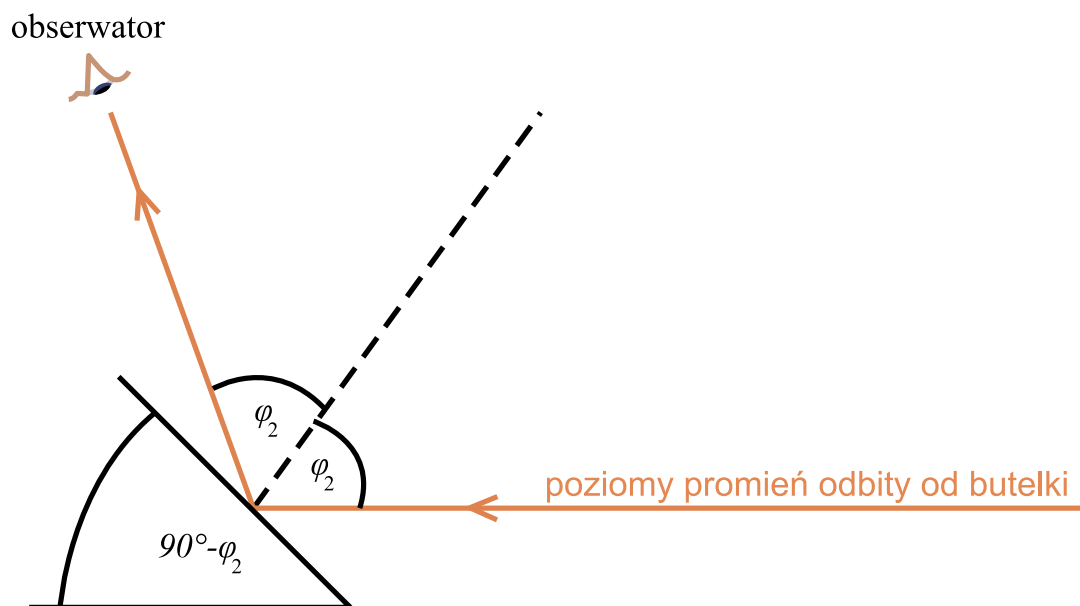
- $\varphi_1$  – kąt Brewstera dla butelki,
- $\varphi_2$  – kąt Brewstera dla płytki.

Tabela 1. Wyniki pomiarów kątów Brewstera  $\varphi_1$  i  $\varphi_2$  dla serii jedenastu pomiarów

|              |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $2\varphi_1$ | 108° | 111° | 107° | 116° | 103° | 114° | 107° | 104° | 110° | 99 ° | 112° |
| $\varphi_2$  | 53°  | 53°  | 59°  | 59°  | 53°  | 55°  | 56°  | 63°  | 59°  | 56 ° | 60°  |

Pomiary wykonywano na stole. Gdyby pomiary wykonywać na większej płaszczyźnie, to oczywiście wyniki byłyby dokładniejsze, ramiona kąta  $2\varphi_1$  byłyby wtedy dłuższe i właściwą konfigurację można by osiągnąć z z mniejszym rozrzutem wartości..

Kąt  $\varphi_2$  wyznaczano mierząc kąt nachylenia płytki szklanej względem płaszczyzny stołu (rys. 2). Natomiast kąt  $\varphi_1$  wyznaczano mierząc jego podwojoną wartość, czyli mierząc kąt między kierunkiem promienia padającego i odbitego od butelki.



Rys. 2

Średnie wartości kątów  $\varphi_1$  i  $\varphi_2$  są równe odpowiednio  $54,1^\circ$  i  $56,9^\circ$ . Korzystając z tego, że współczynnik załamania jest równy tangensowi kąta Brewstera otrzymujemy

$$n_1 = \operatorname{tg} 54,1^\circ = 1,38,$$

$$n_2 = \operatorname{tg} 56,9^\circ = 1,53.$$

Niepewności pomiarowe wyników zależą od następujących czynników:

1. od uchwycenia punktu maksymalnego zaciemnienia przy ruchu płytki wokół butelki,

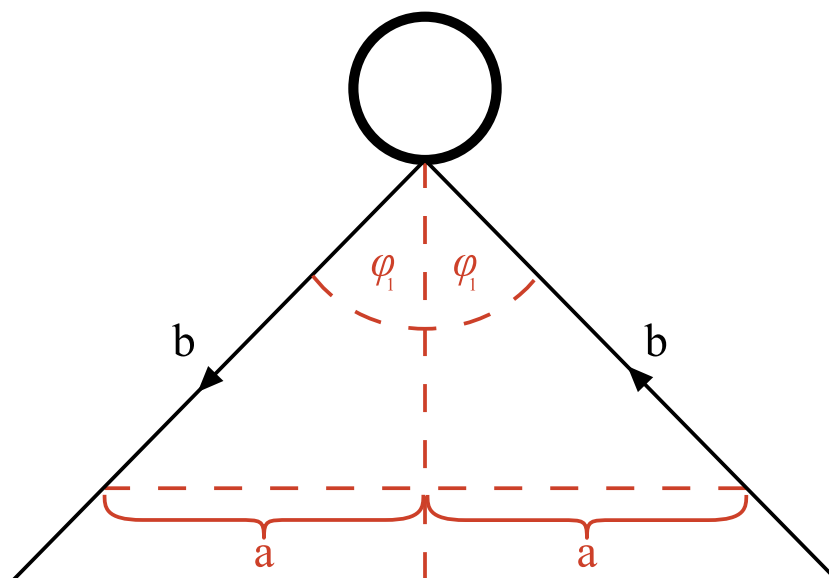
2. od uchwycenia punktu maksymalnego osłabienia refleksu przy obrocie płytki wokół osi,
3. od dokładności ustalenia punktów odbicia na butelce i na płytce,
4. od dokładności ustawienia dolnej krawędzi płytki prostopadle do kierunku promienia biegnącego od butelki,
5. od takiego ustawienia przyrządów, by promień odbity od płytki biegł dokładnie poziomo (istotne przy opisanej metodzie pomiaru kąta  $\varphi_2$ ).

Ze względu na to, że każdy pomiar polegał na ustawieniu wszystkich przyrządów od nowa wszystkie błędy mają charakter przypadkowy.

Jeżeli chodzi o wielkość błędu, to rozrzut wyników podanych w tabelce jest dość duży i wszystko wskazuje na to, że niepewność pomiarowa wyniku będzie znaczna. Tutaj nie wyznaczamy wartości niepewności pomiarowej, do jej obliczenia można skorzystać z: *Dodatek II – Pomiar i ocena jego dokładności*; Tadeusz Pniewski: *Olimpiady Fizyczne XV i XVI*. PZWS, Warszawa 1969. Niemniej zwróćmy uwagę, że dokładność pomiaru kąta jest dość mała (możemy oszacować na ok.  $3^\circ$ - $5^\circ$ ). Natomiast obliczając na podstawie danych z tabeli 1 odchylenie standardowe wartości średniej kąta  $\varphi_1$  i kąta  $\varphi_2$  otrzymujemy odpowiednio  $0,8^\circ$  i  $1^\circ$ .

### Sposób 2 – pomiar odległości

Współczynnik załamania można wyznaczyć z dużo większą dokładnością nie mierząc kąta  $\varphi_1$  i kąta  $\varphi_2$ . Przecież tak naprawdę, to nie kąt jest dla nas ważny, lecz jego tangens, a do tego wystarczą pomiary długości – wystarczy zmierzyć długość ramion odpowiedniego trójkąta równobocznego – rys. 3, i obliczyć iloraz wielkości  $a$  i  $b$ . Mając iloraz  $a$  i  $b$  bez trudu obliczymy tangens kąta  $\varphi_1$  ( $\text{tg}^2 \varphi_1 = 1/((b/a)^2 - 1)$ ). Podobnie można postąpić i dla kąta  $\varphi_2$ . Należy wówczas butelkę położyć poziomo, a źródło światła umieścić z góry. Wtedy odległości dla tangensa kąta  $\varphi_2$  będą mierzone w płaszczyźnie poziomej. Pomiar  $n$  przez pomiary długości, a nie kątów, okazuje się znacznie dokładniejszy. Można to oszacować przyjmując odległość  $b$  ok. 150 cm, wówczas odpowiadająca jej niepewność pomiaru kąta obliczonego z odległości mierzonych z dokładnością 0,3 cm wynosi ok.  $0,7^\circ$ .



Rys. 3

Jeżeli chodzi o wyniki liczbowe, to dla butelek z brązowego szkła otrzymuje się najczęściej war-

tość 1,55 – chociaż bywają i wyjątki. Właśnie takim wyjątkiem była butelka użyta do doświadczenia, które opisaliśmy. Współczynnik załamania zależy od technologii otrzymywania szkła a zwłaszcza od rodzaju i ilości domieszek.

Opisany tu sposób wyznaczania współczynnika załamania światła dla danego materiału jest typowym przykładem pomiaru nieniszczącego. Takie pomiary są szczególnie cenne. Nie zawsze bowiem można badany obiekt specjalnie spreparować do pomiarów, bo byłoby to równoznaczne z jego zniszczeniem. Na przykład współczynnik załamania cennego kamienia szlachetnego w zasadzie można wyznaczyć wycinając z niego pryzmat i stosując metodę kąta najmniejszego odchylenia, ale kamień po takim pomiarze prawdopodobnie straciłby wartość.

### Punktacja

1. Odwołanie się do prawa Brewstera i znalezienie właściwej konfiguracji ..... 4 pkt.
2. Zauważenie, że odpowiednie ustawienie można znaleźć dzięki temu, że przy zbliżaniu do odpowiedniej konfiguracji obserwuje się malenie natężenia refleksów .... 3 pkt.
3. Określenie geometrycznych sposobów pomiaru kątów Brewstera lub ich funkcji trygonometrycznych ..... 3 pkt.
4. Pomiary kątów Brewstera ..... 5 pkt.
5. Wyznaczenie współczynników załamania ..... 2 pkt.
6. Dyskusja wyników i analiza błędów ..... 3 pkt.

Pozycje 1-3 w Punktacji dotyczą części teoretycznej rozwiązania zadania. Za część teoretyczną i część doświadczalną można było uzyskać maksymalnie po 10 pkt.

### Komentarz

Zadanie wypadło niezwykle słabo. Większość uczniów usiłowała stosować wyłącznie metody optyki geometrycznej. Oczywiście takie postępowanie jest z góry skazane na niepowodzenie. Po pierwsze butelki są z reguły nierówne. Wystarczy stosunkowo nieduża nieregularność, a już pomiar staje się niemożliwy. Po drugie butelki z brązowego szkła są prawie nieprzezroczyste. Utrudnia to pomiar i fakt ten powinien skłonić ucznia do poszukiwania metod bardziej dokładnych i wygodnych. Niektórzy uczniowie usiłowali poradzić sobie z trudnością za pomocą różnego rodzaju sztuczek, jednak metody korzystającej tylko z optyki geometrycznej i dającej wiarygodne wyniki, zgodnie z oczekiwaniami, nikt nie znalazł. Jedyna dokładna i wygodna metoda pomiaru polega na wykorzystaniu zjawiska polaryzacji.

Zadanie to uczniowie rozwiązywali w okresie, gdy w ostatniej klasie liceum była optyka, a w tym i zjawisko polaryzacji. Słabe wyniki zdają się wskazywać, że coś z nauczaniem polaryzacji nie było w porządku. Być może przyczyną tego był brak urządzeń polaryzacyjnych w szkołach. Brak ten prowadzi do tego, że polaryzacji uczy się w typowo werbalny, nieprzekonywujący sposób.