

XXVIII OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP II

Zadanie doświadczalne.

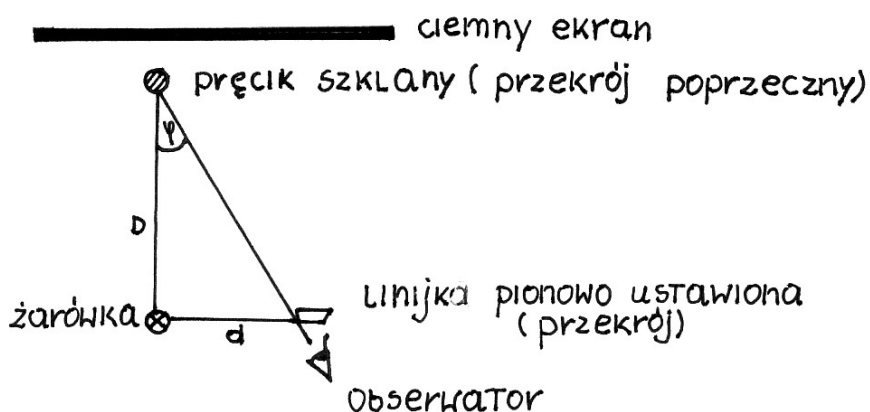
ZADANIE D1

Nazwa zadania: „Wyznaczanie współczynnika załamania światła”

Mając do dyspozycji: przezroczysty, okrągły pręcik szklany (bagietkę), żarówkę, baterię, kawałek plasteliny, linijkę i papier milimetrowy, wyznacz współczynnik załamania światła czerwonego dla materiału, z którego wykonano pręt.

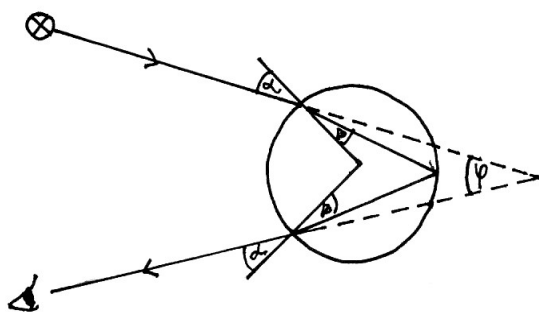
ROZWIĄZANIE ZADANIA D1

Zadanie to rozwiązuje się w układzie przedstawionym na rysunku 1. Należy znaleźć takie położenie krawędzi linijki, żeby widać było obok niej czerwony refleks.



Rys. 1.

Światło padające na pręcik pod kątem α , załamuje się pod kątem β i po jednokrotnym wewnętrznym odbiciu (niecałkowitym) opuszcza pręcik załamując się jeszcze raz na jego powierzchni. Kąt pomiędzy promieniem padającym, a promieniem wychodzącym z pręcika wynosi φ (rys. 2).



Rys. 2.

Ilość światła padającego na jednostkę kąta α w przedziale katów ($\alpha, \alpha + d\alpha$) oznaczamy przez $P(\alpha)$. Podobnie, ilość światła wychodzącego z kuli, przypadającą na jednostkę kąta φ w przedziale katów ($\varphi, \varphi + d\varphi$) oznaczamy przez $R(\varphi)$. Mamy oczywiście:

$$R(\varphi)d\varphi = P(\alpha) A(\alpha)d\alpha. \quad (1)$$

$A(\alpha)$ oznacza tu ilość światła z przedziału katów ($\alpha, \alpha + d\alpha$), która trafia do przedziału katów ($\varphi, \varphi + d\varphi$). Wielkość ta jest różna od zera (i jedności), gdyż na powierzchni kuleczki światło jest częściowo odbijane, a częściowo przepuszczane.

Z (1) mamy

$$R(\varphi) = \frac{P(\alpha)A(\alpha)}{\frac{d\varphi}{d\alpha}}. \quad (2)$$

Widać stąd, że $R(\varphi)$ przy $\frac{d\varphi}{d\alpha} = 0$ ma osobliwość. W praktyce osobliwość ta jest rozmywana przez efekty dyfrakcyjne i inne, ale dla uproszczenia możemy je zaniedbać.

Zjawisko silnego wzmocnienia promienia światła o określonej barwie nie zajdzie, jak można się łatwo przekonać dla promieni przechodzących przez pręcik bez wewnętrznego odbicia.

Z prostych rozważań geometrycznych (patrz rysunek 90) można znaleźć, że

$$\varphi = 4\beta - 2\alpha$$

Jednocześnie z prawa Snelliusa mamy

$$\sin\alpha = n\sin\beta.$$

Skąd po zróżniczkowaniu względem α

$$\cos\alpha = n \cos\beta \frac{d\beta}{d\alpha},$$

czyli

$$\frac{d\beta}{d\alpha} = \frac{\cos\alpha}{n \cos\beta}.$$

Obliczamy pochodną

$$\frac{d\varphi}{d\alpha} = \frac{4d\beta}{d\alpha} - 2 = \frac{4\cos\alpha}{n \cos\beta} - 2.$$

Z warunku $\frac{d\varphi}{d\alpha} = 0$ po prostych przekształceniach z wykorzystaniem prawa Snelliusa otrzymujemy:

$$\frac{2 \cos \alpha}{n \cos \beta} = 1, \quad \sin^2 \alpha = \frac{(4 - n^2)}{3}$$

oraz

$$\sin^2 \beta = \frac{4 - n^2}{3n^2},$$

skąd

$$\varphi = 4 \arcsin \sqrt{\frac{4 - n^2}{3n^2}} - 2 \arcsin \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}.$$

Wyrażenie można przekształcić korzystając z zależności trygonometrycznych do postaci

$$\cos \varphi = \frac{2n^6 + 3n^4 + 96n^2 - 128}{27n^4},$$

ale do wykonania zadania nie jest to potrzebne. Widać, że w układzie pokazanym na rysunku 89 możemy zmierzyć kąt φ lub jakąś funkcję trygonometryczną. Korzystając z wyprowadzonej zależności φ od n należy sporządzić wykres φ od n lub $\cos \varphi$ od n w spodziewanym dla szkła przedziale wartości i szukaną wartość odczytać z wykresu.

A oto przebieg czynności. Na stole pokrytym arkuszem papieru milimetrowego za pomocą plasteliny umocowujemy pionowo pręcik szklany. W odległości około 1 m umieszczamy baterię z przymocowaną żarówką. Patrzymy na pręcik szklany z kierunku zaznaczonego na rysunku. Do ustalenia kąta odpowiadającego refleksowi wykorzystujemy pionowo ustawioną linijkę i zaznaczamy jej położenie na papierze milimetrowym. Znając d i D wyznaczamy $\cos \varphi$.

Pomiaru należy dokonać dla refleksów występujących po obu stronach pręcika – wzięcie średniej wartości kąta z takich pomiarów poprawia dokładność.

A oto przykładowe wyniki pomiarów :

$$\cos \varphi = 0,9357.$$

Na podstawie tabeli

N	cos φ
1,51	0,9275
1,52	0,9330
1,53	0,9382
1,54	0,9431
1,55	0,9477
1,56	0,9519

Przez interpolację otrzymujemy $n = 1,525$.

Punktacja.

W dostępnym źródle brak propozycji punktacji.

Źródło:
Zadanie pochodzi z Olimpiady fizyczne XXVII – XXVIII" [1977/78 – 1978/79
oprac. Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki
WSiP, 1983

Komitet Okregowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szcz.pl