

XLI OLIMPIADA FIZYCZNA ETAP I

Zadanie doświadczalne

ZADANIE D2

Nazwa zadania: „Wyznaczanie współczynnika przy pomocy soczewki.”

Mając do dyspozycji cienką szklaną soczewkę płasko wypukłą, lustro, statyw, linijkę, kawałek półprzeźroczystego kartonu, płaską baterijkę, żaróweczkę, wodę destylowaną i nieznaną ciecz, wyznacz współczynnik załamania tej cieczy. Współczynnik załamania wody destylowanej wynosi $n_w = 1,333$.

ROZWIĄZANIE ZADANIA D2

Układ składający się z lusterka i soczewki płasko wypukłej położonej na nim stroną wypukłą, jest równoważny układowi dwu soczewek płaskowypukłych.

Korzystając ze wzoru soczewkowego:

.oraz faktu, że zdolność skupiająca układu cienkich soczewek równa jest sumie zdolności skupiających poszczególnych soczewek:

$$\frac{1}{f} = \sum_i^k \frac{1}{f_i}$$

.można napisać: $\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \frac{2}{R}$

.gdzie: n - współczynnik załamania szkła, R - promień krzywizny soczewki, f - ogniskowa układu soczewka- lustro.

Jeżeli pomiędzy powierzchnią lustra a soczewką umieścimy ciecz, powstanie wówczas soczewka cieczowa płasko wklęsła o promieniu krzywizny $(-R)$, a w układzie soczewka- lustro będzie to równoważne wstawieniu soczewki cieczowej dwuwklęsłej o współczynniku załamania n_c i ogniskowej f_c . Zgodnie z wzorem (1)

$$\frac{1}{f_c} = (n_c - 1) \cdot \left(-\frac{2}{R} \right)$$

Ogniskowa układu (soczewka, ciecz, lustro) wynosi f i zgodnie z wzorem (2)

Rozwiązując układ równań (3), (4) i (5) otrzymujemy:

$$n_c = 1 + (n - 1) \cdot \left(\frac{f'_c - f}{f'_c} \right)$$

$$n = 1 + (n_w - 1) \cdot \frac{f'_w}{f'_w - f}$$

.gdzie: n_c – współczynnik załamania cieczy, n - współczynnik załamania szkła, f'_c - ogniskowa układu z cieczą.

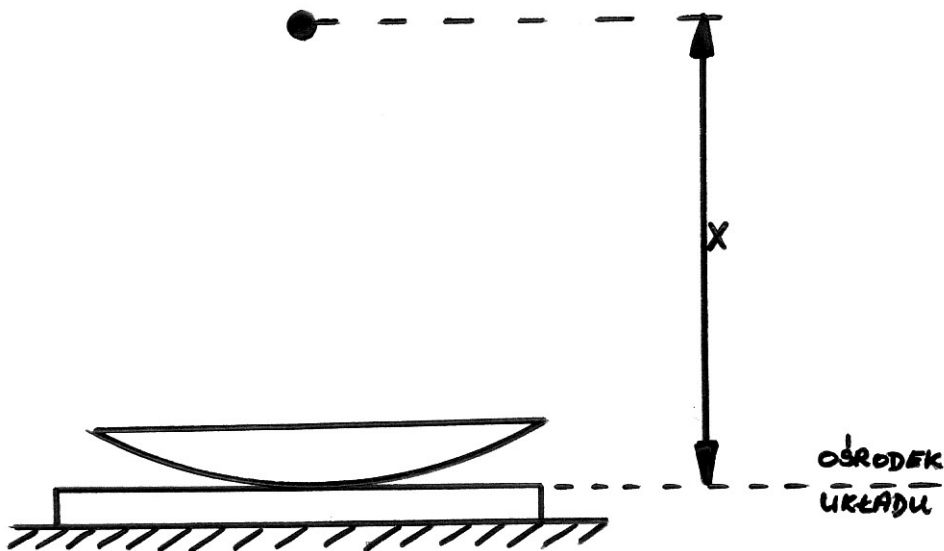
Nieznany współczynnik załamania soczewki można wyznaczyć przeprowadzając pomiar ogniskowej układu, gdy pomiędzy lustrem a soczewką szklaną umieszczona jest ciecz o znanym współczynniku załamania np. woda destylowana. Wówczas przekształcając wzór (6)

$$n_c = 1 + (n_w - 1) \cdot \frac{f'_w}{f'_w - f} \cdot \frac{f'_c - f}{f'_c}$$

.gdzie: n_w – współczynnik załamania wody, f'_c - ogniskowa układu z wodą, z tego mamy:

W celu wyznaczenia współczynnika załamania nieznanej cieczy należy zmierzyć: f - ogniskową układu soczewka- lustro bez cieczy, f_w – ogniskową układu soczewka-woda –lustro, f'_c - ogniskową układu soczewka –nieznana ciecz –lustro.

Ogniskową układu można wyznaczyć poprzez pomiar odległości przedmiotu i obrazu od ośrodka układu rys.11.

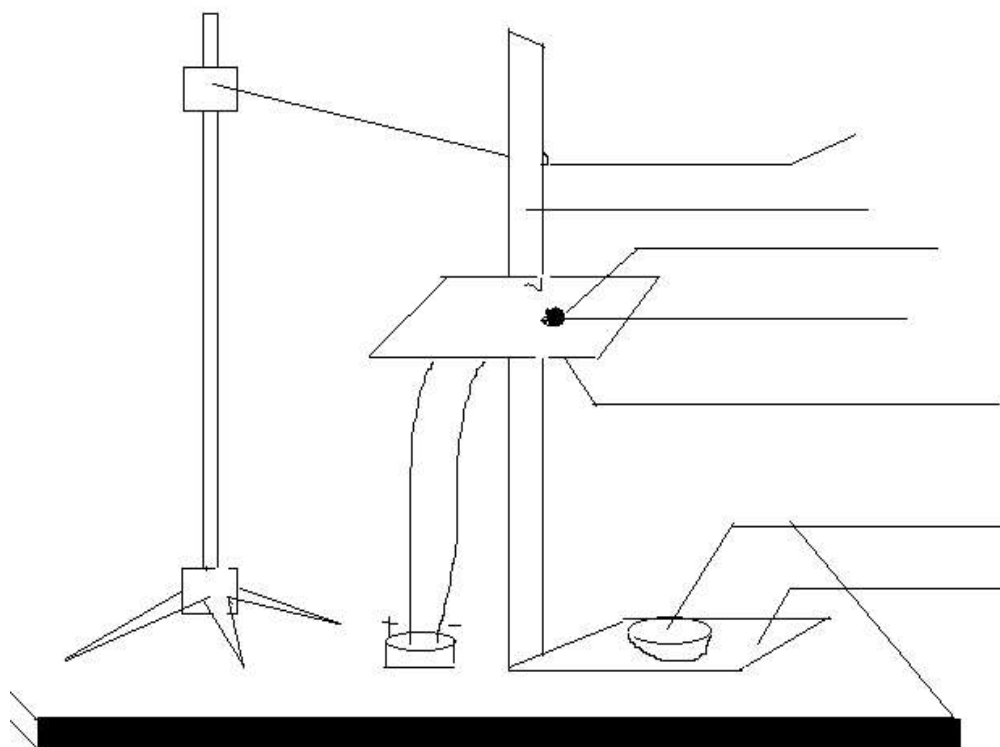


Najprościej pomiar ten dokonać, jeżeli obraz przedmiotu pokrywa się z samym przedmiotem, a więc przedmiot umieszczony jest w odległości $x=2f$. Oznaczając tę odległość przez x - dla układu bez cieczy, x_w - dla układu z wodą, x_c - dla układu z nieznaną cieczą, ostatecznie otrzymujemy:

Należy zauważyć, że przy tak przeprowadzonym pomiarze pomiędzy soczewką a lustrem tzn. w szkłe lustra, bieg promieni jest równoległy. W związku z tym grubość szkła nie odgrywa istotnej roli, dlatego też za środek układu możemy przyjąć zewnętrzną powierzchnię lustra. Pomiar x przeprowadzamy od środka symetrii układu tzn. od zewnętrznej powierzchni lustra i dokonujemy go z dokładnością do grubości soczewki. Zauważmy że x_c i x_w powinno być dużo większe od grubości soczewki.

Układ doświadczalny należy zestawić jak na rys12. Pomiar a jest umieszczony pionowo w łapie statywu b . Nad układem lustro- soczewka $c-d$ przesuwamy jednocześnie i na jednej wysokości świecąca żaróweczkę z (przedmiot) oraz karton (obraz), i szukamy ostrego obrazu żaróweczki o , na pomiarze odczytujemy odległość x mierzoną od powierzchni lustra.

Nieznaną cieczą był wodny roztwór gliceryny o współczynniku załamania tak dobranym, aby układ soczewka- ciecz- lustro był układem skupiającym o ogniskowej -10cm . Wyniki dla tego typu zestawu doświadczalnego wynosiły:
 $X=6,3\text{cm}$ $x_w=17,5\text{cm}$ $x_c=23,4\text{cm}$ $n=1,38$.



Zadanie to sprawiło zawodnikom wiele trudności. Niewielu zawodników doszło do właściwej koncepcji pomiaru, a i ci mieli kłopoty z napisaniem właściwych równań. I tak np. stosowano wzory jakby cała soczewka szklana zanurzona była w cieczy, gubiono czynnik 2 wynikający z odbicia promieni od lustra, przyjmowano arbitralnie wartość współczynnika załamania szkła, lub szacowano (robiąc pomiary przy pomocy linijki!) promień krzywizny soczewki szklanej.

Byli również zawodnicy, którzy umieszczali ciecz nie pomiędzy lusterkiem a stroną wypukłą soczewki, ale nakrapiali ją na soczewkę cieczową wypukłą. Milcząco zakładano, że promienie krzywizny takich soczewek są takie same dla obu cieczy.

Tylko kilku zawodników (!) doszło do wzoru (8) i w pełni uzasadniło słuszność takiego pomiaru. Wyznaczono więc ogniskową po przez pomiar odległości przedmiotu i obrazu, lub metodą Bessela, niestety często wykonywano tylko jeden pomiar (!), nie licząc ani szacując popełnionych błędów. Na skutek licznych błędów w przekształceniach wzorów bądź błędów rachunkowych, w wielu pracach zawodnicy otrzymywali wartości na współczynniki załamania zupełnie bez sensu $n_c < 1,2$ lub $n_c > 1,8$ (nie mówiąc już o takich, jak np. $n = 1,04$ lub $n = 3,5$) Wyniki takie pozostawiono bez żadnego komentarza.

Na maksymalną liczbę punktów 20 jaką można było uzyskać za to zadanie 36 zawodników uzyskało ocenę powyżej 10 punktów, w tym 8 zawodników ocenę powyżej 15 punktów.

Źródło:
Zadanie pochodzi z „Druk OF”

Komitet Okręgowy Olimpiady Fizycznej w Szczecinie
www.of.szc.pl