

XXX OLIMPIADA FIZYCZNA (1980/1981). Stopień II, zadanie doświadczalne – D

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;
 Krystyna Pniewska: *Fizyka w Szkole* nr 5, 1981;
 Andrzej Nadolny, Krystyna Pniewska: *Olimpiada Fizyczne XXIX – XXXI*. WSiP, Warszawa 1986, str. 123–127.

Nazwa zadania: Wyznaczanie współczynnika załamania cieczy za pomocą szklanej soczewki płasko-wypukłej.

Działy: Optyka geometryczna.

Słowa kluczowe: współczynnik załamania, promień krzywizny, soczewka, wzór, ogniskowa, obraz, przedmiot, światło, zwierciadło, lustro, szkło, woda, gliceryna, prawo, kąt.

Zadanie doświadczalne – D, zawody II stopnia, XXX OF.

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

Rozwiązanie**Część teoretyczna**

Układ składający się z lusterka i soczewki płasko-wypukłej, położonej na nim stroną wypukłą, jest równoważny układowi dwu soczewek płasko-wypukłych (rys. 1).

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1)$$

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

$$\frac{1}{f} = \sum_i^k \frac{1}{f_i} \quad (2)$$

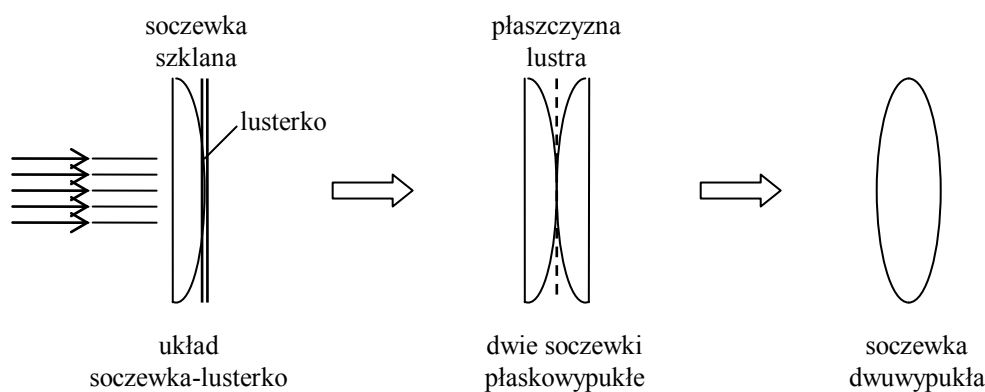
można napisać:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \frac{2}{R} \quad (3)$$

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

Jeżeli pomiędzy powierzchnią lustra a soczewką (rys. 2) 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)

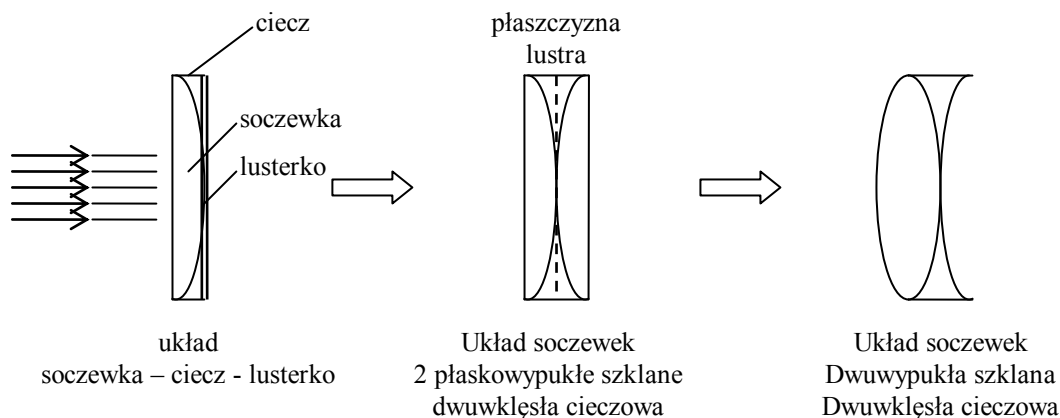
$$\frac{1}{f_c} = (n_c - 1) \left(-\frac{2}{R} \right) \quad (4)$$



Rys. 1

Ogniskowa układu (soczewka, ciecz, lusterko) wynosi f_c i zgodnie z wzorem (2)

$$\frac{1}{f_c} = \frac{1}{f_c} + \frac{1}{f} \quad (5)$$



Rys. 2

Rozwiązując układ równań (3), (4), (5) otrzymamy

$$n_c = 1 + (n - 1) \left(\frac{f_c - f}{f_c} \right) \quad (6)$$

gdzie: n_c – współczynnik załamania cieczy, n – współczynnik załamania szkła, f – ogniskowa układu bez cieczy, f_c – ogniskowa układu z cieczą.

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

$$n = 1 + (n_w - 1) \frac{f_w}{f_w - f}$$

gdzie: n_w – współczynnik załamania wody, f_w – ogniskowa układu z wodą, otrzymamy:

$$n_c = 1 + (n_w - 1) \frac{f_w}{f_w - f} \frac{f_c - f}{f_c} \quad (7)$$

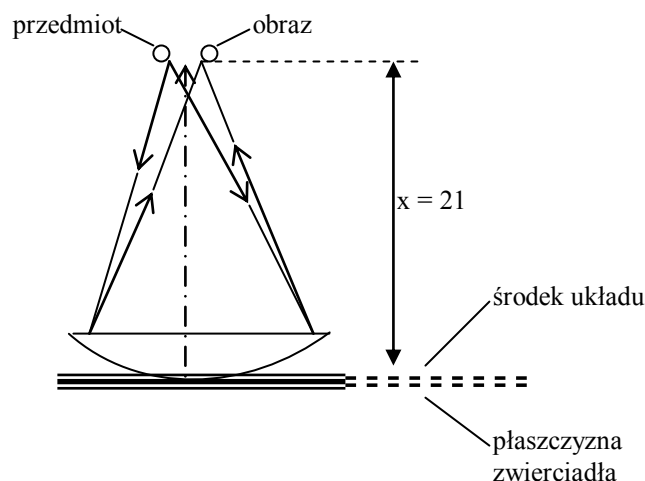
W celu wyznaczenia współczynnika załamania nieznanej cieczy należy zmierzyć:

F – ogniskową układu soczewka-lusterko bez cieczy,

f_w – ogniskową układu soczewka-woda-lusterko,

f_c – ogniskową układu soczewka-nieznana ciecz-lusterko.

Ogniskową układu można wyznaczyć poprzez pomiar odległości przedmiotu i obrazu od środka układu (rys. 3). Najprościej pomiar ten można wykonać, jeżeli obraz przedmiotu pokrywa się z samym przedmiotem, a więc przedmiot umieszczony jest w odległości $x = 2f$. Oznaczając tę odległość przez x – dla układu z nieznana cieczą, ostatecznie otrzymujemy:



Rys. 3

$$n_c = 1 + (n_w - 1) \frac{x_w}{x_w - x} \frac{x_c - x}{x_c} \quad (8)$$

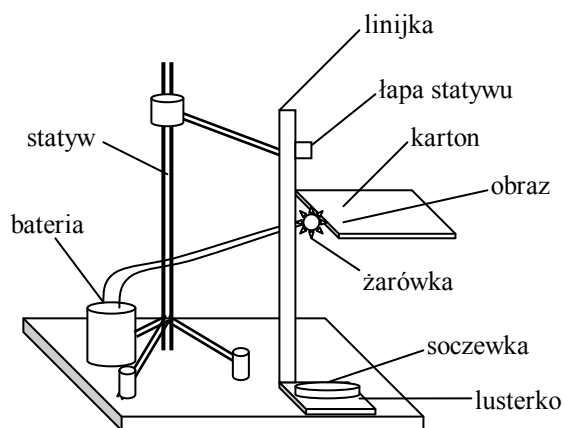
Należy zauważyć, że przy tak przeprowadzonym pomiarze pomiędzy soczewką a lustrem, tzn. w szkłe lustra, bieg promieni jest równoległy. W związku z tym grubość szkła nie odgrywa istotnej roli, dlatego też za środek układu możemy przyjąć zewnętrzną powierzchnię lustra. Pomiar x przeprowadzamy od środka symetrii układu, tzn. od zewnętrznej powierzchni lustra i wykonujemy go z dokładnością do grubości soczewki. Wszystkie wyprowadzone wzory są słuszne dla soczewki cienkiej. Ponieważ we wzorze (8) występują różnice $(x_w - x)$, $(x_c - x)$, ich pomiar jest dokładniejszy niż pomiar x i nie ma na niego wpływu błąd wynikający z nieuwzględnienia grubości soczewki. Zauważmy, że x_c i x_w powinny być dużo większe od grubości soczewki.

Część doświadczalna

Układ doświadczalny należy zestawić jak na rysunku 4. linijka jest umieszczona pionowo w łapie statywu. Nad układem lusterko-soczewka przesuwamy jednocześnie na jednej wysokości świecącą żaróweczkę (przedmiot) oraz karton (obraz) i szukamy ostrego obrazu żaróweczki. Na linijce odczytujemy odległość x mierzoną od powierzchni lustra.

Nieznana cieczą był wodny roztwór gliceryny o współczynniku załamania tak dobranym, aby układ soczewka-ciecz-lusterko był układem skupiającym o ogniskowej ≈ 10 cm. Wyniki dla tego typu zestawu doświadczalnego wynosiły:

$$x = 6,3 \text{ cm}, x_w = 17,5 \text{ cm}, x_c = 23,4 \text{ cm}, n_c = 1,38.$$



Rys. 4

Zadanie to sprawiło zawodnikom dużo trudności. Niewielu zawodników doszło do właściwej koncepcji pomiaru, a i ci mieli kłopoty z napisaniem właściwych równań. I tak na przykład stosowano takie wzory, jakby cała soczewka szklana zanurzona była w cieczy, gubiono czynnik 2 wynikający z odbicia promieni od lustra lub szacowano (wykonując pomiary linijką) promień krzywizny soczewki szklanej. Niektórzy zawodnicy, wychodząc z poprawnych równań, gubili się w przekształceniach, podając wynik w postaci uwikłanej.

Tylko kilku zawodników doszło do wzoru (8) i w pełni uzasadniło słuszność takiego pomiaru. Niestety często wykonywano tylko jeden pomiar i nie szacowano błędu.

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 $n_c = 1,04$ lub $n_c = 3,5$). Wyniki takie zostawiano bez żadnego komentarza.