



XXIX OLIMPIADA FIZYCZNA

(1979/1980)

ZAWODY I STOPNIA CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Zadanie doświadczalne – D

Nazwa – Wyznaczenie współczynnika załamania szkła soczewki oraz krzywizny wypukłej powierzchni soczewki metodą odbicia¹.

Źródła – Komitet Główny Olimpiady Fizycznej

- Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki: *Fizyka w Szkole nr 6*, 1978;
- Waldemar Gorzkowski, Andrzej Kotlicki: *Olimpiada fizyczna. Wybrane zadania doświadczalne z rozwiązaniami*. Stowarzyszenie Symetria i Własności Strukturalne, Poznań 1994;
- Andrzej Nadolny, Krystyna Pniewska: *Olimpiady Fizyczne XXIX i XXXI*, WSiP, Warszawa 1986;
- T.M. Molenda, IF US, www.OF.szc.pl.

Mając do dyspozycji: cienką płasko-wypukłą soczewkę w gumowej oprawce, żaróweczkę w oprawce, przewody, baterię 4,5 V, linijkę, szpilkę lub drucik oraz poziomy stół, wyznacz współczynnik załamania szkła soczewki względem powietrza oraz promień krzywizny wypukłej powierzchni soczewki¹.

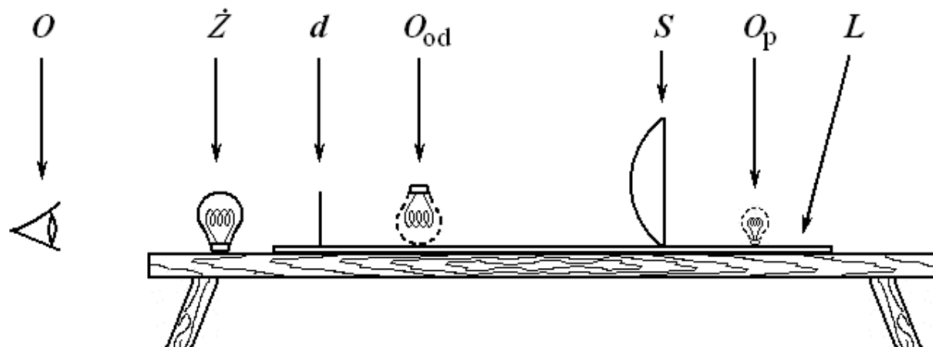
Uwagi:

1. Soczewka nie tylko załamuje, ale i częściowo odbija światło.
2. Zwróć uwagę, że w zestawie przyrządów nie ma ekranu, nie należy więc stosować żadnych ekranów zastępczych.

¹Zadanie o podobnej tematyce: LXIV OF, st. II – zad. doświadczalne: *Wyznaczenie współczynnika załamania światła materiału, z którego wykonana jest soczewka Fresnela*.

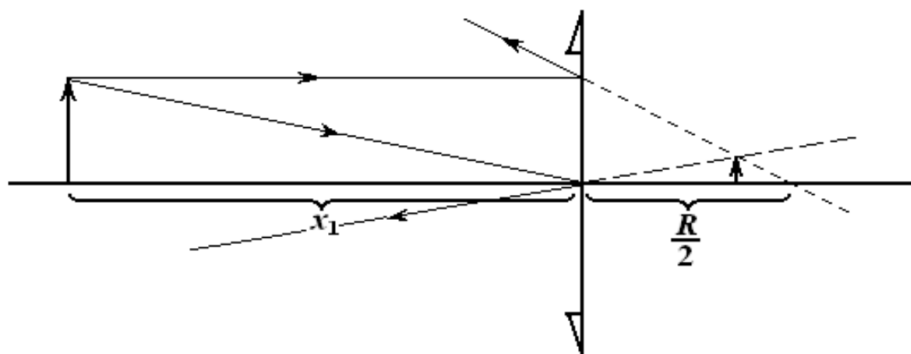
Rozwiązanie zadania D – XXIX OF, I stopień, część doświadczalna

Jeżeli będziemy oglądać odbicia świecącego przedmiotu w płasko-wypukłej soczewce, zwróconej do nas częścią wypukłą, wówczas zobaczymy dwa obrazy – prosty i odwrócony. Patrząc obu oczami stwierdzimy, że obraz prosty powstaje za soczewką, zaś odwrócony – przed soczewką (rys. 1). Obraz prosty powstaje przez odbicie światła na wypukłej powierzchni soczewki, która działa w tym przypadku jak zwykle sferyczne zwierciadło wypukłe.



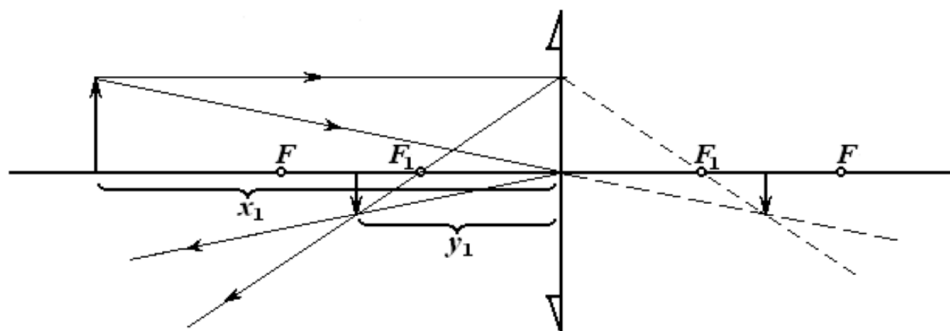
Rys. 1. Układ doświadczalny: O – obserwator, Ż – żarówka, d – drucik, O_p – obraz odwrócony, O_{ob} – obraz prosty, S – soczewka, L – linijka.

Obraz jest pozorny, prosty i pomniejszony oraz znajduje się za soczewką (rys. 2). Obraz odwrócony powstaje w wyniku odbicia światła od tylnej płaskiej powierzchni soczewki. Światło przechodzi przez soczewkę dwukrotnie – tam i z powrotem, soczewka ulega więc „podwojeniu”.



Rys. 2. Konstrukcję obrazu odbitego od wypukłej powierzchni soczewki: R – promień krzywizny tej powierzchni.

Obraz skonstruujemy tak, jak gdybyśmy mieli do czynienia z soczewką o dwukrotnie mniejszej ogniskowej, po czym tę część rysunku, która znajduje się po prawej stronie soczewki, odbijamy symetrycznie względem płaszczyzny przechodzącej przez środek optyczny soczewki i prostopadłej do osi optycznej (rys. 3).

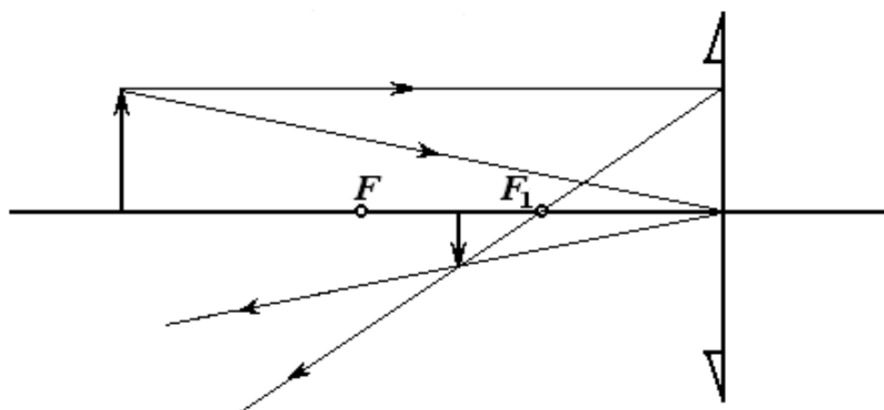


Rys. 3. Konstrukcja obrazu powstającego w wyniku odbicia od płaskiej powierzchni soczewki: F – ognisko soczewki, F_1 – ognisko „podwójonej” soczewki.

Na rysunku 2 przedstawiono konstrukcję, którą można następnie uprościć bez potrzeby rysowania promieni po prawej stronie soczewki (rys. 4).

Powstający obraz jest rzeczywisty, odwrócony i leży przed soczewką. Obraz taki można oglądać na ekranie, patrząc od strony soczewki. W naszym przypadku nie wchodzi to w rachubę. Dlatego należy patrzeć na soczewkę, wówczas widzimy obraz „zawieszony w powietrzu” przed soczewką.

Koniecznym jest patrzeć obu oczami, bo inaczej nie będziemy potrafili umiejscowić obrazu w przestrzeni. Jeżeli z początku to umiejscowienie jest trudne, należy spróbować „dotknąć” obrazu palcem lub drucikiem; przy przesuwaniu palca w przód i w tył wyraźnie widać, kiedy jest on bliżej, a kiedy dalej niż obraz. Ogniskową soczewki można wyznaczyć, mierząc odległość obrazu przy znanym położeniu źródła światła (żarówki) (rys. 3).



Rys. 4. Uproszczona konstrukcja z rys. 3.

Odległości żarówki – x_1 i obrazu y_1 od soczewki są związane równaniem:

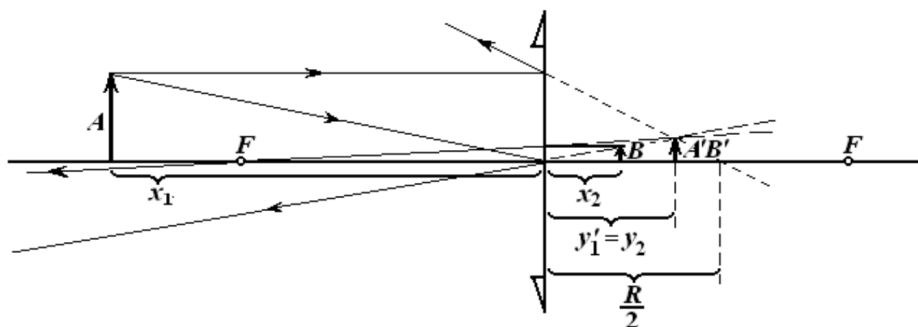
$$\frac{1}{x_1} + \frac{1}{y_1} = \frac{2}{f}, \quad (1)$$

gdzie f – ogniskowa soczewki. Przy zmierzonych x_1 , y_1 otrzymujemy:

$$f = \frac{2x_1y_1}{x_1 + y_1}. \quad (2)$$

Aby zmierzyć odległość obrazu y_1 , ustawiamy źródło światła na krawędzi stołu. Soczewkę trzymamy w znanej odległości od żarówki. Linijkę układamy tak, by pewna określona działka znajdowała się pod soczewką. Następnie, patrzymy obok żarówki i przesuwamy drucik trzymany w ręce tak, by koniec „dotknął” obrazu żarówki. Wtedy opuszczamy pionowo koniec drucika i odcytujemy na linijce położenie obrazu. Odejmując położenie soczewki, otrzymujemy y_1 .

W celu wyznaczenia promienia krzywizny soczewki z kolei mierzymy położenie obrazu prostego, powstającego za soczewką. Metoda pomiaru jest ta sama – doprowadzamy do pokrycia drucika z obrazem, następnie opuszczamy drucik na linijkę i odcytujemy położenie. Pomiar ten możemy wykonać przy tym samym ustawieniu elementów, przenosząc tylko drucik za soczewkę (rys. 1)



Rys. 5. Konstrukcja wyjaśniającą zasadę pomiaru położenia obrazu prostego żarówki: A – żarówka, A' – jej obraz pozorny powstały w wyniku odbicia światła od wypukłej powierzchni soczewki, B – drucik, B' – jego obraz widziany przez soczewkę; drucik ustawiamy tak, aby jego obraz pokrywał się z obrazem żarówki, x_1 – odległość żarówki od soczewki, x_2 – odległość drucika od soczewki, $y_1' = y_2$ – odległość obrazu żarówki i obrazu drucika od soczewki, $R/2$ – połowa promienia krzywizny soczewki (ogniskowa zwierciadła kulistego utworzonego przez wypukłą powierzchnię soczewki), F – ognisko soczewki.

Tym razem odczytana odległość drucika nie jest jednocześnie odległością obrazu, tak jak było to w poprzednim przypadku. Teraz bowiem zgrywamy obraz drucika z obrazem żarówki, bo patrzymy przez soczewkę. Pokazane to jest na rys. 5. Na podstawie tego rysunku możemy wypisać odpowiednie równania dla obrazu żarówki i drucika:

$$\frac{1}{x_1} - \frac{1}{y_1'} = -\frac{1}{R/2}, \quad (3)$$

oraz

$$\frac{1}{x_2} - \frac{1}{y_2} = \frac{1}{f}. \quad (4)$$

Z równania (4) możemy wyznaczyć y_2 , gdyż x_2 znany z pomiaru położenia drucika, zaś f z poprzedniego pomiaru (2):

$$y_2 = \frac{fx_2}{f - x_2}. \quad (5)$$

Z równania (3) wyznaczamy R , korzystając z faktu, że $y_1' = y_2$:

$$R = \frac{2x_1y_2}{x_1 - y_2}. \quad (6)$$

Współczynnik załamania szkła soczewki wyznaczmy ze wzoru soczewkowego:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (7)$$

W naszym przypadku $R_1 = R$, $R_2 = \infty$, otrzymamy więc:

$$n = \frac{R}{f} + 1. \quad (8)$$

Należy podkreślić, że w spisie przyrządów nie było ekranu, nie należało więc używać jakichkolwiek ekranów zastępczych do wyznaczania ogniskowej soczewki przez pomiar odległości przedmiotu (żarówki) i obrazu od soczewki. Nie jest też dobrą metodą wyznaczanie ogniskowej soczewki przez mierzenie takiej odległości oka od soczewki, dla której obraz prosty zamienia się w odwrócony bowiem dokładność takiego pomiaru jest znikoma. Częstym błędem przy wykonywaniu tego zadania było nieuwzględnienie faktu, że przy pomiarze odległości obrazu prostego obserwujemy obraz drucika.

Zadanie to okazało się bardzo trudne i niewielu uczestników wykonało je poprawnie. Większość zawodników próbowała wyznaczyć ogniskową soczewki, znajdując takie jej położenie względem drucika lub żarówki, aby ich obraz oglądany przez soczewkę z dużej odległości przechodził z prostego w odwrócony. Oczywiście jest to metoda bardzo niedokładna.