

XXIX OLIMPIADA FIZYCZNA (1979/1980). Stopień I, zadanie doświadczalne – D2.

Źródło: Komitet Główny Olimpiady Fizycznej;
Waldemar Gorzkowski; Andrzej Kotlicki: Fizyka w Szkole nr 5, 1980;
Andrzej Nadolny, Krystyna Pniewska: Olimpiady Fizyczne XXIX i XXXI,
WSiP, Warszawa 1986.

Nazwa zadania: Wyznaczanie współczynnika załamania szkła soczewki względem powietrza oraz promienia krzywizny wypukłej powierzchni soczewki.

Działy: Optyka

Słowa kluczowe: soczewka, ogniskowa, współczynnik załamania, obraz prosty, odwrócony, pozorny, rzeczywisty, promień krzywizny, żarówka, bateria.

Zadanie doświadczalne – D2, zawody I stopnia, XXIX OF.

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 soczewki.

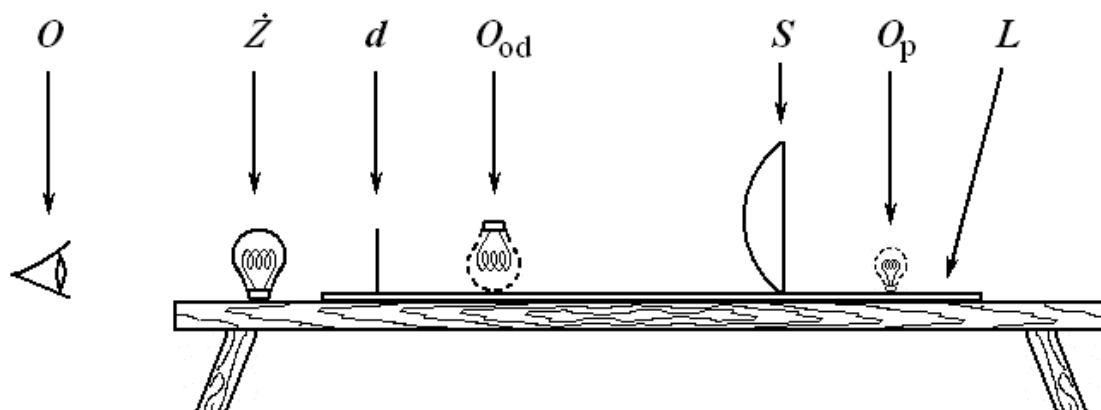
Uwaga:

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.

Rozwiązanie

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).

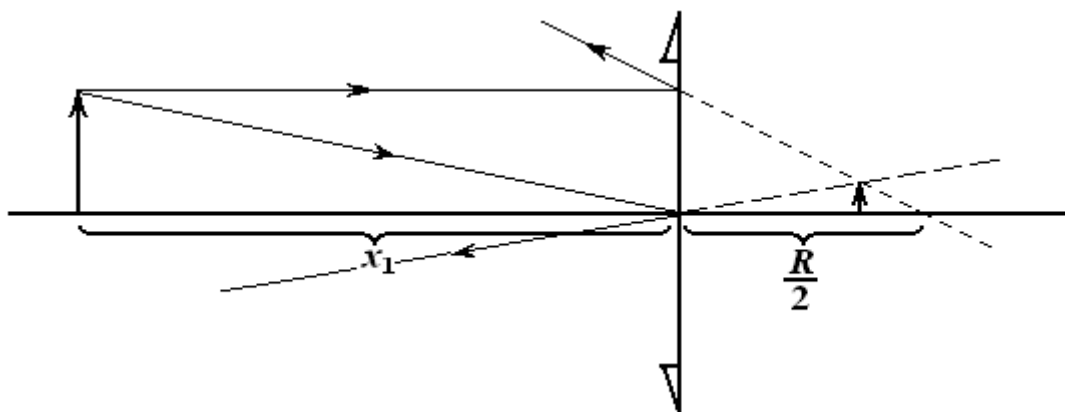
Na rysunku 1 przedstawiono układ doświadczalny: O – obserwator, \dot{Z} – żarówka, d – drucik, O_{od} – obraz odwrócony, O_p – obraz prosty, S – soczewka, L – linijka



Rys. 1.

Obraz prosty powstaje przez odbicie światła na wypukłej powierzchni soczewki, która działa w tym przypadku jak zwykle sferyczne zwierciadło wypukłe. Obraz jest pozorny, prosty i pomniejszony oraz znajduje się za soczewką (rys. 2).

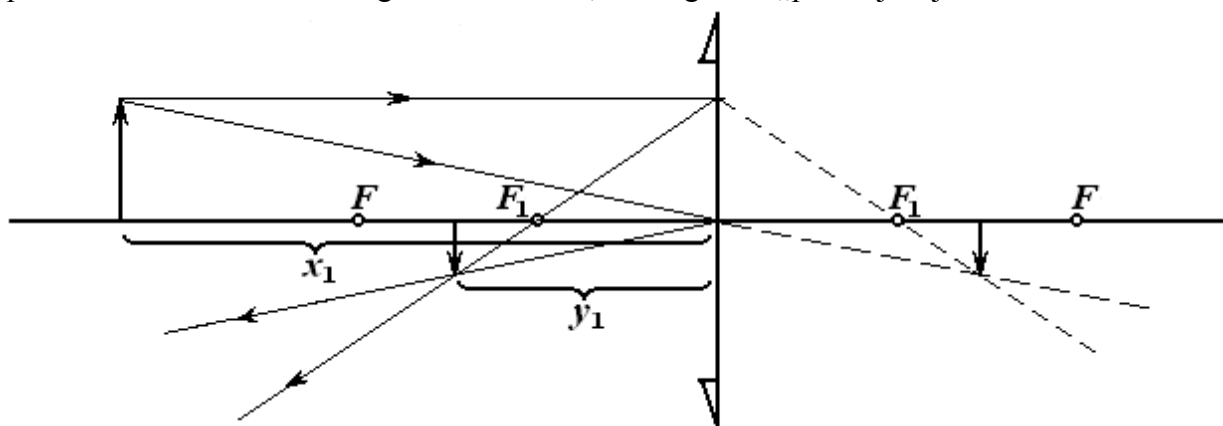
Na rysunku 2 przedstawiono konstrukcję obrazu odbitego od wypukłej powierzchni soczewki: R – promień krzywizny powierzchni



Rys. 2.

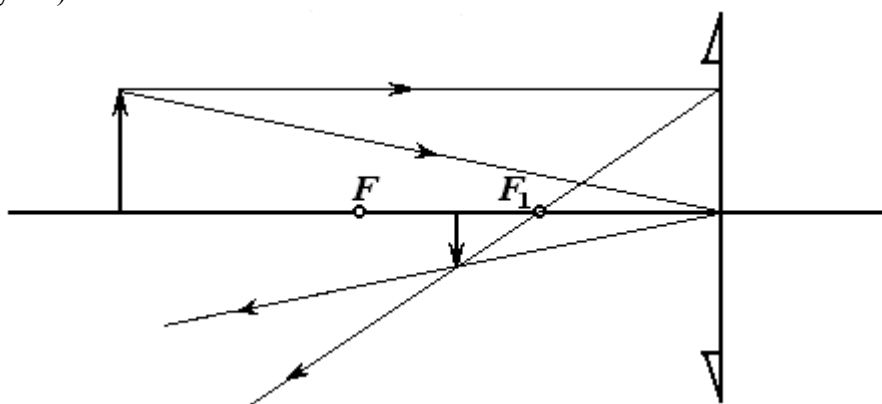
Obraz odwrócony powstaje w wyniku odbicia światła od tylnej płaskiej powierzchni soczewki. Światło przechodzi przez soczewkę dwukrotnie – tam i z powrotem, soczewka ulega więc „podwojeniu”. Obraz skonstruujemy tak, jak gdybyśmy mieli do czynienia z soczewką o dwukrotnie mniejszej ogniskowej, po czym 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).

Na rysunku 2 przedstawiono konstrukcję obrazu powstałego w wyniku odbicia od płaskiej powierzchni soczewki: F – ognisko soczewki, F_1 – ognisko „podwojonej” soczewki



Rys. 3.

Konstrukcję można następnie uprościć bez potrzeby rysowania promieni po prawej stronie soczewki (rys. 4).



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. Koniecznie musimy 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). 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.

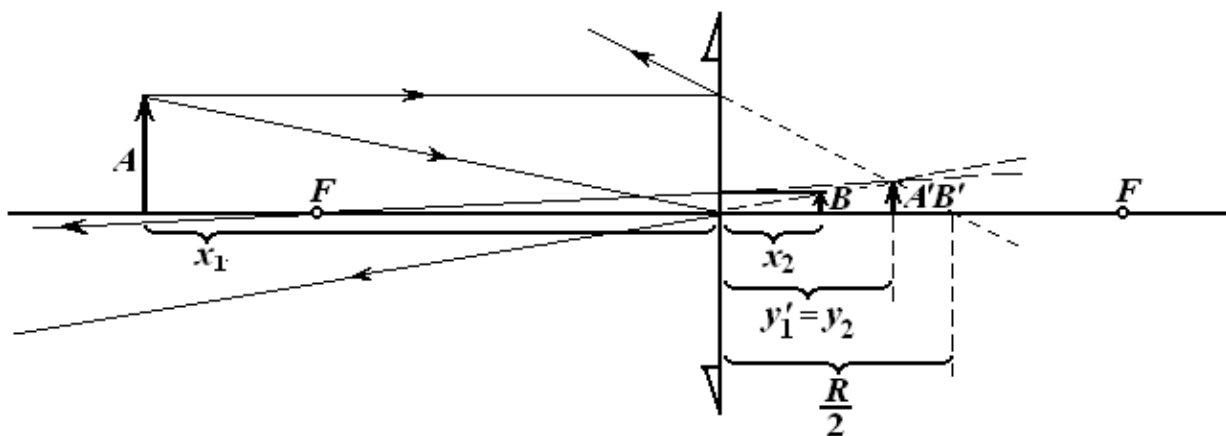
Przy zmierzonych x_1, y_1 otrzymujemy

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

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 odczytujemy 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 odczytujemy położenie. Pomiar ten możemy wykonać przy tym samym ustawieniu elementów, przenosząc tylko drucik za soczewkę. Tym razem odczytana odległość drucika nie jest jednocześnie odległością obrazu, tak jak było to w poprzednim przypadku. Teraz bowiem obraz drucika pokrywa się z obrazem żarówki, bo patrzymy przez soczewkę.

Na rysunku 5 przedstawiono konstrukcję 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.



Rys. 5.

Na podstawie rysunku 5 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 znamy z pomiaru położenia drucika, zaś f z poprzedniego pomiaru (wzór 2)

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

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

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

Współczynnik załamania szkła soczewki wyznaczymy 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:

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

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.