

LXIV OLIMPIADA FIZYCZNA

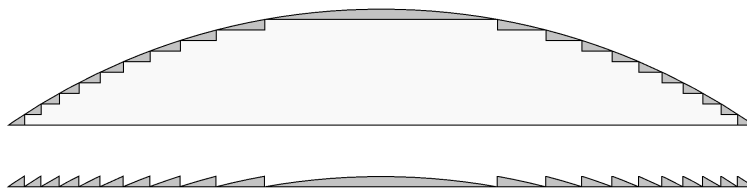
ZAWODY II STOPNIA

CZEŚĆ DOŚWIADCZALNA

Za zadanie D można otrzymać maksymalnie 40 punktów.

Zadanie D.

Soczewka Fresnela to przyrząd optyczny składający się z koncentrycznych, pierścieniowych sekcji, z jednej strony płaskich a drugiej wypukłych. Można sobie wyobrazić, że sekcje te skonstruowano z fragmentów sferycznej soczewki płasko-wypukłej jak na poniższym rysunku:



Rys. 1. Schematyczny przekrój sferycznej soczewki płasko-wypukłej (u góry) oraz soczewki Fresnela (u dołu). Na przekroju soczewki sferycznej zaznaczono fragmenty, z których można skonstruować soczewkę Fresnela.

Dzięki swojej konstrukcji soczewka Fresnela charakteryzuje się znacznie mniejszą grubością oraz masą niż typowa soczewka.

Mając do dyspozycji:

- soczewkę Fresnela,
- latarkę,
- biały karton,
- taśmę mierniczą, papier milimetrowy,
- plastelinę,

wyznacz współczynnik załamania światła materiału, z którego wykonana jest soczewka.

Uwaga:

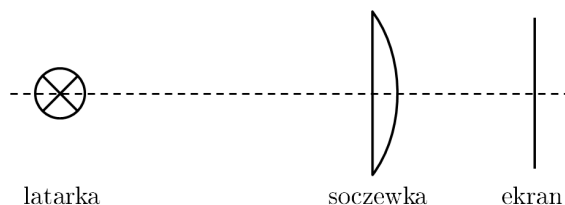
W celu oszczędzania baterii wyłączaj latarkę w czasie, w którym jej nie używasz.

Rozwiązanie zadania D.

Część teoretyczna

W celu wyznaczenia szukanego współczynnika załamania wyznaczmy doświadczalnie ogniskową f danej soczewki, a następnie promień r krzywizny powierzchni odpowiadającej wypukłej powierzchni soczewki.

Ogniskową f można wyznaczyć rzutując na ekran rzeczywisty obraz latarki w układzie schematycznie przedstawionym na rysunku 2:

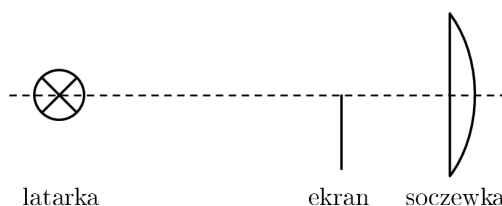


Rys. 2. Schemat układu pomiarowego do wyznaczenia ogniskowej f soczewki.

i badając zależność odległości y tego obrazu od soczewki od odległości x latarki od soczewki, a następnie korzystając z równania soczewki:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y}. \quad (1)$$

Znając ogniskową f można wyznaczyć promień r korzystając z faktu, że granica tworzywo - powietrze stanowiąca wypukłą powierzchnię soczewki spełnia rolę półprzepuszczalnego zwierciadła wklęsłego. W tym celu należy rzutować na ekran rzeczywisty obraz latarki w układzie schematycznie przedstawionym na rysunku 3:



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego do wyznaczenia efektywnej ogniskowej f_{ef} układu soczewka-zwierciadło-soczewka.

W takim układzie światło emitowane przez latarkę odległą o x' od soczewki najpierw przechodzi przez soczewkę o ogniskowej f , odbija się od zwierciadła o ogniskowej $f_z = \frac{r}{2}$, następnie jeszcze raz przechodzi przez soczewkę o ogniskowej f , po czym tworzy rzeczywisty obraz na ekranie odległym o y' od soczewki. Efektywną ogniskową układu soczewka-zwierciadło-soczewka f_{ef} można z jednej strony wyznaczyć mierząc odległości x' i y' i korzystając z równania soczewki:

$$\frac{1}{f_{ef}} = \frac{1}{x'} + \frac{1}{y'}. \quad (2)$$

Z drugiej strony spełniona jest zależność:

$$\frac{1}{f_{ef}} = \frac{1}{f} + \frac{1}{f_z} + \frac{1}{f} = \frac{2}{f} + \frac{2}{r}. \quad (3)$$

Stąd:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{2f_{ef}} - \frac{1}{f}, \quad (4)$$

$$r = \frac{2ff_{ef}}{f - 2f_{ef}}. \quad (5)$$

Znając ogniskową soczewki i promień krzywizny jej wypukłej powierzchni można skorzystać ze wzoru soczewkowego dla soczewki płasko-wypukłej:

$$\frac{1}{f} = \frac{n - 1}{r}. \quad (6)$$

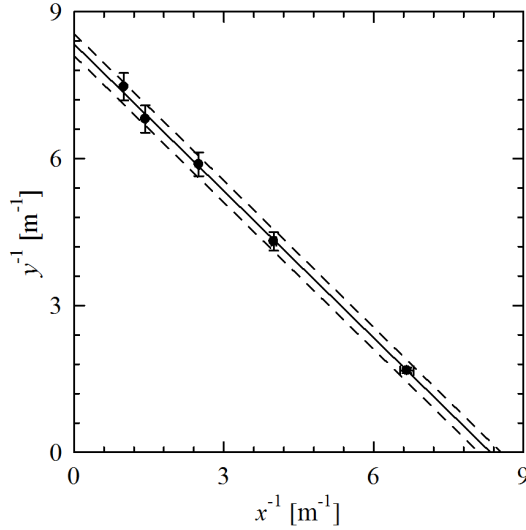
w celu wyznaczenia szukanego współczynnika załamania n :

$$n = \frac{r}{f} + 1. \quad (7)$$

Część doświadczalna

W celu wyznaczenia ogniskowej f danej soczewki zestawiono układ eksperymentalny jak na rysunku 2. Latarkę oraz soczewkę przymocowano do stołu za pomocą plasteliny, dbając przy tym, aby płaszczyzna soczewki była prostopadła do prostej łączącej środek soczewki i środek latarki. Arkusz kartonu, pełniący funkcję ekranu, ustawiano w takim położeniu, aby obserwowany na nim obraz latarki był ostry. Odległości x (latarki od soczewki) oraz y (soczewki od ekranu) wyznaczano za pomocą taśmy mierniczej oraz papieru milimetrowego. Pomiar powtórzono dla pięciu różnych wartości x , dla każdej z nich wyznaczając wartość y trzykrotnie. Wynik trzech pomiarów y uśredniano, a za jego niepewność przyjmowano największą z różnic pomiędzy średnią a wynikiem pojedynczego pomiaru. Za niepewność wyznaczenia wartości x przyjęto 3 mm, ze względu na rozmiar reflektora latarki.

Aby wyznaczyć wartość ogniskowej f wykreślono zależność odwrotności y od odwrotności x :



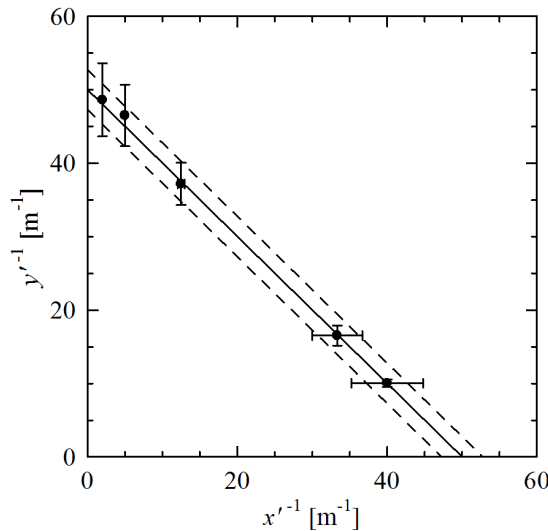
Rys. 4. Zależność odwrotności y od odwrotności x .

Z równania soczewki (1) wynika, że zależność taka powinna być opisana prostą o współczynniku kierunkowym równym -1 , przecinającą osie układu współrzędnych w punktach odległych o $\frac{1}{f}$ od środka tego układu:

$$\frac{1}{y} = -\frac{1}{x} + \frac{1}{f}. \quad (8)$$

Na powyższym rysunku linia ciągła odpowiada najlepszemu dopasowaniu takiej prostej, a linie przerywane określają niepewność dopasowania: $\frac{1}{f} = (8,3 \pm 0,2) \text{ m}^{-1}$. Stąd ogniskowa soczewki: $f = (120 \pm 3) \text{ mm}$.

W celu wyznaczenia efektywnej ogniskowej układu soczewka-zwierciadło-soczewka f_{ef} zestawiono układ eksperymentalny jak na rysunku 3. Postępując analogicznie do przypadku wyznaczania wartości f , wyznaczono odległość y' (soczewki od ekranu) dla pięciu różnych wartości x' (odległości latarki od soczewki), a następnie wykresiono zależność $\frac{1}{y'}$ od $\frac{1}{x'}$:



Rys. 5. Zależność odwrotności y' od odwrotności x' .

Z dopasowania odpowiedniej prostej do punktów pomiarowych otrzymano: $\frac{1}{f_{ef}} = (50,0 \pm 2,7) \text{ m}^{-1}$, a stąd: $f_{ef} = (20 \pm 1) \text{ mm}$. Następnie, korzystając ze wzoru (5) wyznaczono promień r krzywizny powierzchni odpowiadającej wypukłej powierzchni soczewki: $r = (60 \pm 6) \text{ mm}$, a korzystając ze wzoru (7) - ostateczną wartość szukanego współczynnika załamania:

$$n = 1,50 \pm 0,06. \quad (9)$$

Najbardziej istotnym źródłem niepewności wartości n jest niepewność wyznaczenia efektywnej ogniskowej f_{ef} . Ze względu na niewielką wartość f_{ef} względna niepewność wyznaczenia tej wielkości jest największa.