

M13: Opis ćwiczenia

Wyznaczanie zdolności skupiającej soczewek za pomocą ławy optycznej

Literatura:

- William Moebis, Samuel J. Ling, Jeff Sanny, *Fizyka dla szkół wyższych, Tom 3*, Wyd. OpenStax, R. 2017, **Rozdział 2**. <https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-3/pages/2-wstep>
- Jaroszyk F., *Biofizyka. Podręcznik dla studentów*, Wyd. Lekarskie PZWL, R. 2014. **Rozdział 16**, strony: 541 - 556



Zagadnienia:

- Falowa teoria światła.
- Zjawisko załamania i odbicia światła. Prawa rządzące tymi zjawiskami.
- Rodzaje soczewek
- Konstrukcja obrazów i cechy obrazów w cienkich soczewkach
- Równanie soczewki cienkiej.
- Podstawowe elementy w układzie optycznym oka, budowa i funkcje.
- Fizyczne podstawy powstawania wrażeń wzrokowych (należy zwrócić szczególną uwagę na rogówkę, soczewkę oraz siatkówkę).
- Wady wzroku oraz ich korekcja.

Wymagane umiejętności:

- Posługiwanie się przyrządem miernym.

Cel ćwiczenia:

Wyznaczenie zdolności skupiającej soczewki obustronnie wypukłej i rozpraszającej soczewki wypukło-wklęsłej.

Bezwzględny współczynnik załamania światła jest to stosunek prędkości światła w próżni (c) do prędkości światła w danym ośrodku (v):

$$n = \frac{c}{v}$$

Względny współczynnik załamania określa, ile razy prędkość światła zmienia się przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego.

Jego definicja to:

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\frac{c}{v_2}}{\frac{c}{v_1}} = \frac{c}{v_2} \cdot \frac{v_1}{c} = \frac{v_1}{v_2}$$

gdzie:

- v_1 — prędkość światła w ośrodku 1,
- v_2 — prędkość światła w ośrodku 2,
- n_1, n_2 — bezwzględne współczynniki załamania światła w tych ośrodkach.

Równanie soczewki cienkiej określa zależność pomiędzy odległością przedmiotu x oraz obrazu y od środka soczewki

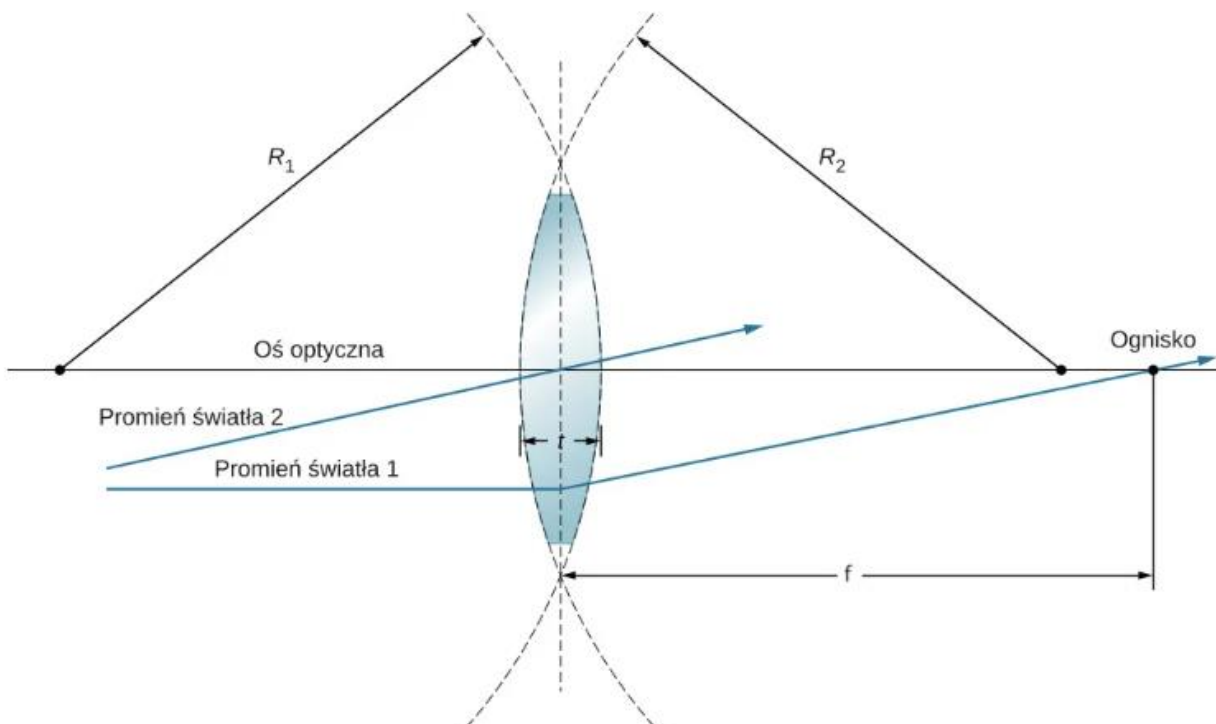
$$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f} = (n_{2,1} - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Gdzie:

f – ogniskowa soczewki,

$n_{2,1}$ – względny współczynnik załamania światła,

R_1, R_2 – promienie krzywizn soczewki



Wyznaczanie zdolności skupiającej soczewek za pomocą ławy optycznej

Zdolność skupiająca Z soczewek zależy od promieni krzywizn oraz względnego współczynnika załamania światła w materiale przezroczystym, z którego wykonana jest soczewka względem ośrodka otaczającego soczewkę.

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

Gdzie: n – względny współczynnik załamania powietrze – szkło, f – ogniskowa soczewki, $R_{1,2}$ – promienie krzywizn soczewki. Ogniskowa powiązana jest z odległościami soczewki od obrazu i przedmiotu następującym wzorem:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y} \quad (2)$$

Gdzie: x – odległość przedmiotu od soczewki, y – odległość obrazu od soczewki.

Ogniskową i zdolność skupiającą obustronnie wypukłej soczewki Z_s można wyznaczyć bezpośrednio mierząc odległości x i y i korzystając ze wzorów (1) i (2).

Soczewki rozpraszające tworzą obrazy pozorne, a więc takie, których nie można uzyskać na ekranie. Dlatego nie da się bezpośrednio zmierzyć odległości y tych soczewek potrzebnej do wyznaczenia ich ogniskowej za pomocą równania (2). Problem można rozwiązać konstruując układ optyczny składający się z soczewki rozpraszającej i skupiającej. Jeśli powstały układ posiada własności skupiające można dokonać pomiarów x i y i wyznaczyć zdolność skupiającą Z_u takiego układu, która równa jest sumie zdolności skupiających jego poszczególnych elementów, czyli

$$Z_u = Z_s + Z_r \quad (3)$$

Stąd obliczamy Z_r :

$$Z_r = Z_u - Z_s \quad (4)$$

Niepewności:

Niepewność zdolności skupiającej soczewki obustronnie wypukłej i układu soczewek szacujemy jako odchylenie standardowe średniej arytmetycznej:

$$u(Z_{s(u)}) = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \sum_{i=1}^n (Z_{s(u),i} - \overline{Z_{s(u)}})^2} \quad (\text{N.1})$$

Gdzie $\overline{Z_{s(u)}}$ jest średnią arytmetyczną wszystkich wyznaczonych zdolności skupiających.

Następnie korzystamy z metody obliczania niepewności złożonych zastosowanej do równania (4):

$$u(Z_r) = \sqrt{\left(\frac{\partial Z_r}{\partial Z_u}\right)^2 u^2(Z_u) + \left(\frac{\partial Z_r}{\partial Z_s}\right)^2 u^2(Z_s)} \quad (\text{N.2})$$

Stąd:

$$u(Z_r) = \sqrt{u^2(Z_u) + u^2(Z_s)} \quad (\text{N.3})$$

Pytania i zadania:

1. Definicja współczynnika załamania bezwzględnego i względnego.
2. Fala elektromagnetyczna o długości fali $\lambda = 400 \text{ nm}$ w szkle (współczynnik załamania $n = 1,5$) wnika do próżni. Jaka jest długość tej fali w próżni?
3. Basen oświetlono światłem o długości fali $\lambda = 700 \text{ nm}$ w powietrzu (barwa czerwona). Jaka jest długość tej fali w wodzie? Jaką barwę zobaczymy otwierając oczy pod wodą?
4. Schemat powstawania obrazów w soczewkach w zależności od położenia przedmiotu.
5. Schemat powstawania obrazu w mikroskopie optycznym.
6. Gdyby czułość oka ludzkiego była taka sama dla wszystkich barw, to niezachmurzone niebo miałyby kolor?
7. O ile zmieni się zdolność skupiająca oka ludzkiego, jeśli przeniesiemy wzrok z czytanej gazety na obiekt znajdujący się w odległości 10 m ?
8. Wyznacz zdolność skupiającą soczewki wykonanej z materiału o bezwzględnym współczynniku załamania $n_s = (\text{konkretna wartość})$ o promieniach krzywizn $r_1 = (\text{konkretna wartość w cm})$ i $r_2 = (\text{konkretna wartość w cm})$ umieszczonej w otoczeniu o bezwzględnym współczynniku załamania $n_o = (\text{konkretna wartość})$.
9. Krótkowidz czyta gazetę w okularach -1 dioptria z odległości dobrego widzenia ($0,25 \text{ m}$). W jakiej odległości od oka powinna znajdować się gazeta, aby krótkowidz widział ostro bez okularów?
10. Dalekowidz czyta gazetę w okularach 2 dioptrie z odległości dobrego widzenia ($0,25 \text{ m}$). W jakiej odległości od oka powinna znajdować się gazeta, aby dalekowidz widział ostro bez okularów?