

Ćwiczenie nr 5 BADANIE SOCZEWKI

1. Wprowadzenie

Zdolność soczewek do załamывania promieni świetlnych uzależniona jest od następujących czynników:

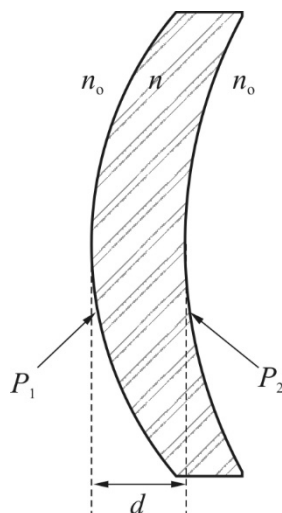
- a) kształtu powierzchni załamujących – promienie krzywizn R
- b) materiału z którego są wykonane – współczynnik załamania n
- c) środowiska w którym soczewki się znajdują - współczynnik załamania ośrodka n_o

Moc optyczną pojedynczej powierzchni załamującej określa wzór:

$$P = \frac{n - n_o}{R} \quad (1)$$

Każda soczewka posiada dwie powierzchnie załamujące o mocach odpowiednio P_1 i P_2 (ryc. 1). Aby wyznaczyć moc P (moc optyczną właściwą- wzór 2) takiej soczewki należy, oprócz znajomości mocy powierzchni załamujących, uwzględnić jej grubość d mierzona wzdłuż jej osi optycznej oraz współczynnik załamania n materiału, z którego jest wykonana:

$$P = P_1 + P_2 - \frac{d}{n} P_1 \cdot P_2, \quad (2)$$



Ryc. 1. Soczewka o grubości d , wykonana z materiału o współczynniku załamania n umieszczona w ośrodku o współczynniku załamania n_o posiada powierzchnie załamujące o mocach P_1 i P_2 .

Wzory na moce P_1 i P_2 , przy założeniu że soczewka umieszczona jest w powietrzu ($n_1 = 1$, $n_2 = n$) przyjmują postać:

$$P_1 = \frac{n - 1}{R_1} \quad (3)$$

oraz:

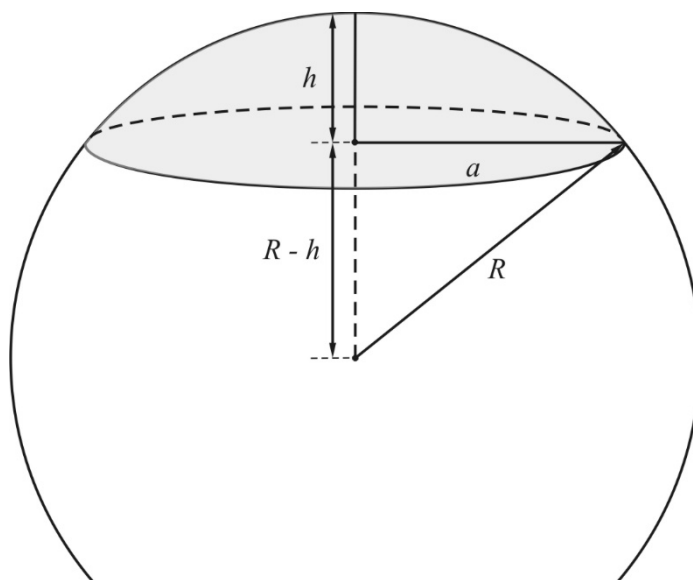
$$P_2 = \frac{1 - n}{R_2}. \quad (4)$$

Jak widać, aby wyznaczyć moce powierzchni załamujących przy znanym współczynniku załamania materiału soczewki n należy zmierzyć promienie krzywizny powierzchni załamujących R_1 i R_2 .

2. Pomiar promieni krzywizny powierzchni załamujących soczewki

Zakładamy, że badana soczewka jest soczewką sferyczną, tzn. jej powierzchnie są fragmentami sfer o określonych promieniach. Należy zaznaczyć, że istnieje wiele rodzajów soczewek, których powierzchnie nie zawsze są fragmentami sfery, np. soczewki cylindryczne, torcyjne lub tzw. soczewki progresywne.

Promień sfery R , której częścią jest powierzchnia soczewki wyznaczymy poprzez pomiar wysokości sfery h oraz promienia jej podstawy a (ryc. 2).



Ryc. 2. Relacja pomiędzy wysokością sfery h oraz promieniem sfery R .

Korzystając z oznaczeń rysunku 2., stosując twierdzenie Pitagorasa możemy napisać, że:

$$(R - h)^2 + a^2 = R^2.$$

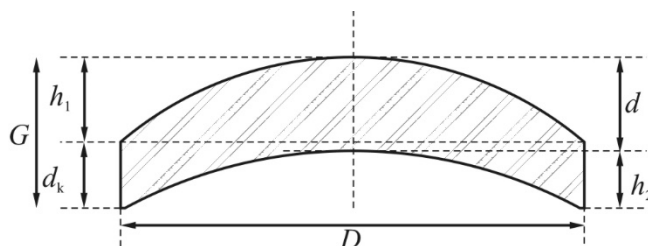
Przekształcając powyższe równanie względem R otrzymujemy:

$$R = \frac{a^2}{2h} + \frac{h}{2}.$$

Ponieważ a jest odpowiednikiem połowy średnicy D soczewki $\left(a = \frac{D}{2}\right)$ powyższy wzór przyjmuje postać:

$$R = \frac{D^2}{8h} + \frac{h}{2}. \quad (5)$$

Jak widzimy, w celu obliczenia promieni krzywizny R_1 i R_2 należy zmierzyć średnicę D soczewki oraz wysokości h_1 i h_2 (ryc. 3). W celu wyznaczenia h_1 i h_2 niezbędny jest pomiar grubości krawędzi d_k na oprawę soczewki, grubości d soczewki mierzonej wzdłuż jej osi optycznej oraz grubości G całej soczewki (ryc. 3).



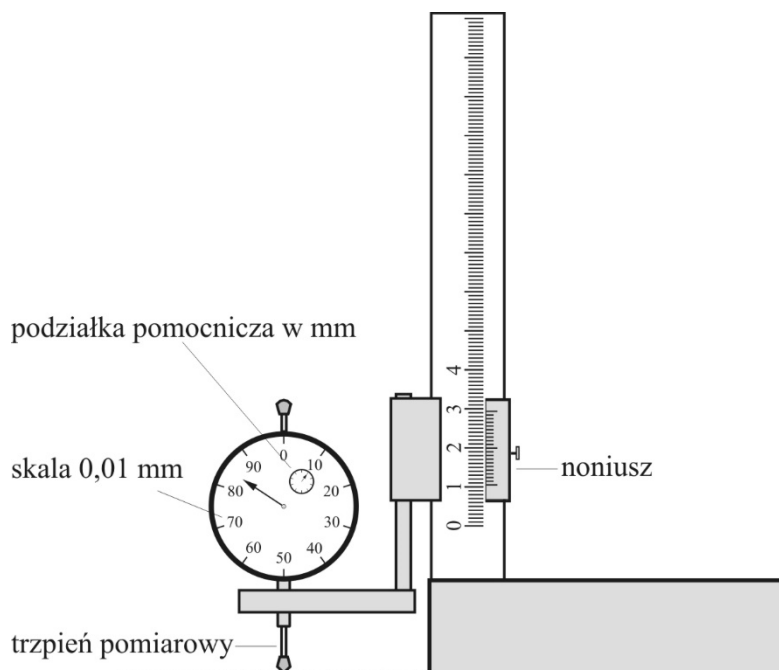
Ryc. 3. Soczewka o średnicy D , wysokościach h_1 i h_2 , krawędzi na oprawę d_k i całkowitej grubości G .

Znając wymienione wielkości wyznaczamy wysokości h_1 i h_2 oraz, niezbędne do wyznaczenia ich promieni:

$$h_1 = G - d_k \quad (6)$$

$$h_2 = G - d \quad (7)$$

Pomiaru średnicy soczewki D oraz grubości krawędzi d_k dokonamy za pomocą suwmiarki. Grubości G oraz d zmierzemy używając przyrządu pokazanego na ryc. 4.



Ryc. 4. Czujnik zegarowy zamocowany na pionowym uchwycie ze skalą i noniuszem, pozwalający wykonać pomiar z dokładnością $\pm 0,01$ mm.

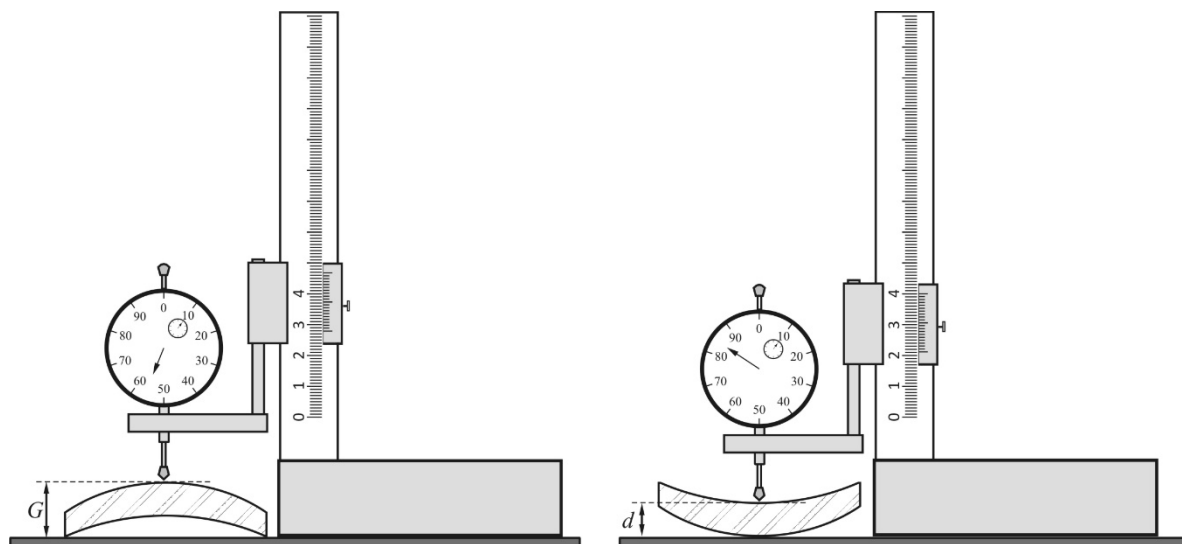
Podstawiając do wzoru (5) wyrażenia (6) i (7), otrzymamy wzory umożliwiające obliczenie promieni krzywizn obu powierzchni załamujących:

$$R_1 = \frac{D^2}{8(G - d_k)} + \frac{G - d_k}{2} \quad (8)$$

$$R_2 = \frac{D^2}{8(G - d)} + \frac{G - d}{2} \quad (9)$$

3. Przebieg ćwiczenia

1. Zmierzyć grubość G soczewki (ryc. 5). Pomiar powtórzyć 10.rotnie, wyznaczyć wartość średnią oraz oszacować błąd pomiaru.
2. Zmierzyć grubość soczewki d w jej centrum 10.rotnie, obliczyć wartość średnią oraz oszacować błąd pomiaru.



Ryc. 5. Ustawienie soczewki w celu pomiaru jej całkowitej grubości G oraz jej grubości d wzdłuż osi optycznej.

3. Zmierzyć za pomocą suwmiarki grubość krawędzi d_k soczewki (ryc. 3) 10.rotnie, obliczyć wartość średnią oraz oszacować błąd pomiaru.
4. Zmierzyć średnicę D soczewki.
5. Obliczyć wartość promieni krzywizny soczewki R_1 i R_2 (wzory 8 i 9) oraz oszacować ich błędy ΔR_1 oraz ΔR_2 korzystając ze wzorów:

$$\Delta R_1 = \left| \frac{D}{4(G-d_k)} \right| |\Delta D| + \left| \frac{-D^2}{8(G-d_k)^2} + 0,5 \right| |\Delta G| + \left| \frac{D^2}{8(G-d_k)^2} - 0,5 \right| |\Delta d_k|$$

$$\Delta R_2 = \left| \frac{D}{4(G-d)} \right| |\Delta D| + \left| \frac{-D^2}{8(G-d)^2} + 0,5 \right| |\Delta G| + \left| \frac{D^2}{8(G-d)^2} - 0,5 \right| |\Delta d|$$

6. Obliczyć moce powierzchni załamujących P_1 i P_2 (wzory 3 i 4) oraz ich błędy ΔP_1 i ΔP_2 (zakładając, że błąd współczynnika załamania jest bardzo mały i można go pominąć) ze wzorów:

$$\Delta P_1 = \left| \frac{n-1}{R_1^2} \right| |\Delta R_1| \quad \Delta P_2 = \left| \frac{n-1}{R_2^2} \right| |\Delta R_2|$$

7. Obliczyć:

a) moc sferometryczną ze wzoru:

$$P_s = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

oraz błąd mocy (zakładając, że błąd współczynnika załamania jest bardzo mały i można go pominąć) ze wzoru:

$$\Delta P_s = \left| -\frac{(n-1)}{R_1^2} \right| |\Delta R_1| + \left| \frac{(n-1)}{R_2^2} \right| |\Delta R_2|$$

b) moc właściwą:

$$P = P_1 + P_2 - \frac{d}{n} \cdot P_1 \cdot P_2$$

oraz jej błąd ze wzoru:

$$\Delta P = \left| 1 - \frac{d}{n} \cdot P_2 \right| |\Delta P_1| + \left| 1 - \frac{d}{n} \cdot P_1 \right| |\Delta P_2| + \left| \frac{P_1 \cdot P_2}{n} \right| |\Delta d|,$$

c) moc czołową tylną:

$$P_c = \frac{P_1}{1 - \frac{d}{n} P_1} + P_2$$

oraz jej błąd:

$$\Delta P_c = \left| \frac{n^2}{(n - dP_1)^2} \right| |\Delta P_1| + 1 \cdot |\Delta P_2| + \left| \frac{P_1^2}{(n - dP_1)^2} \right| |\Delta d|$$

d) odległość zbiegową czołową $f_c = \frac{1}{P_c}$, ogniskową obrazową $f' = \frac{1}{P}$ oraz ich błędy:

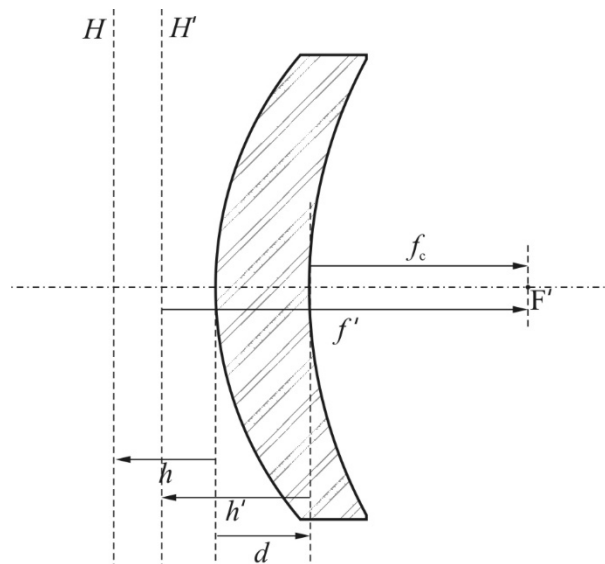
(wzory na błędy Δf_c oraz $\Delta f'$ zapisać samodzielnie)

e) odległości h oraz h' płaszczyzn głównych od powierzchni załamujących:

$$h = \frac{d \cdot P_2}{n \cdot P} \qquad h' = -\frac{d \cdot P_1}{n \cdot P};$$

(wzory na błędy Δh oraz $\Delta h'$ zapisać samodzielnie).

8. Wykonać rysunek ilustrujący soczewkę wraz z jej płaszczyznami głównymi, ogniskiem obrazowym, ogniskową obrazową i odległością zbiegową czołową (ryc. 6).



Ryc. 6. Ilustracja położenia płaszczyzn głównych: przedmiotowej H oraz obrazowej H' , ogniska obrazowego F' . Na rysunku zaznaczono ogniskową obrazową f' , odległością zbiegową czołową f_c , grubość soczewki d w jej centrum oraz h i h' oznaczające odległości płaszczyzn głównych soczewki od odpowiednich powierzchni soczewki.