

Ćwiczenie 1

Temat: Optyka geometryczna - badanie właściwości teleskopu Keplera

1. Wstęp

Optyka promieni świetlnych zajmuje się położeniem i kierunkiem promieni świetlnych. Ich rozchodzenie wynika z następujących postulatów optyki geometrycznej:

- 1) Światło porusza się w postaci promieni świetlnych.
- 2) Ośrodek, w którym poruszają się promienie świetlne scharakteryzowany jest przez wielkość zwaną współczynnikiem załamania ośrodka. Oznacza się go literą n . Współczynnik załamania ośrodka n jest równy stosunkowi prędkości światła w próżni c i prędkości światła w ośrodku v . Czas, w jakim światło przebywa drogę d w ośrodku o współczynniku załamania n wynosi $\frac{d}{v} = \frac{n \cdot d}{c}$.

A zatem jest on proporcjonalny do iloczynu nd , który nazywamy długością drogi optycznej światła.

- 3) W ośrodku niejednorodnym współczynnik załamania $n(\mathbf{r})$ jest funkcją położenia $\mathbf{r} = r(x, y, z)$. Długość drogi optycznej od punktu A do punktu B w ośrodku niejednorodnym wynosi

$$\int_A^B n(\mathbf{r}) d\mathbf{l},$$

gdzie $d\mathbf{l}$ jest nieskończenie małym odcinkiem drogi optycznej między punktami A i B.

- 4) Ruch promieni świetlnych w ośrodku wynika z zasady Fermata, która mówi, że światło porusza się z punktu A do B po takiej drodze, dla przebycia której światło zużywa najmniejszą ilość czasu.

Powyższe postulaty pozwalają wyznaczyć prawa, które opisują zachowanie się promieni świetlnych w różnych ośrodkach, jednorodnych i niejednorodnych, na granicy między różnymi ośrodkami i przy przechodzeniu (propagacji) przez różne układy optyczne, np. przez soczewki.

2. Przygotowanie do ćwiczenia

W ramach przygotowania do ćwiczenia, należy zapoznać się z:

- zasadą Fermata,
- prawem Snella,
- prawem odbicia promienia świetlnego od zwierciadła płaskiego,
- podstawowymi przyrządami optycznymi (lupa, mikroskop, teleskop),
- instrukcją obsługi ławy optycznej,
- teorią macierzy propagacji promieni przyosiowych.

2. Teleskopy

Teleskopy, zwane także lunetami, są przyrządami optycznymi, pozwalającymi powiększyć kąt widzenia, pod jakim widzimy odległe przedmioty, bez zmiany akomodacji oka obserwatora. Oko patrzące przez teleskop ustawione jest na wyraźne widzenie przedmiotów bardzo odległych.

Istnieją teleskopy soczewkowe, zbudowane z układu soczewek, i teleskopy zwierciadlane, zbudowane ze zwierciadeł. Najbardziej podstawowymi typami teleskopów soczewkowych są teleskopy Keplera i Galileusza. Wspólną cechą teleskopów soczewkowych jest to, że odległość między ich soczewkami jest równa sumie ogniskowych obu soczewek (uwzględniając, że ogniskowa soczewki skupiającej jest dodatnia, a soczewki rozpraszającej – ujemna).

2.1 Teleskop Keplera

Teleskop Keplera składa się z dwóch soczewek skupiających S_1 i S_2 – obiektywu i okularu o ogniskowych odpowiednio f_1 i f_2 . Odległość między soczewkami $d = f_1 + f_2$.

Bieg promieni w teleskopie Keplera przedstawiony jest na rys. 1. Teleskop Keplera daje obraz odwrócony. Równoległa wiązka promieni wchodzących do obiektywu ulega zwężeniu na wyjściu z okularu w stosunku

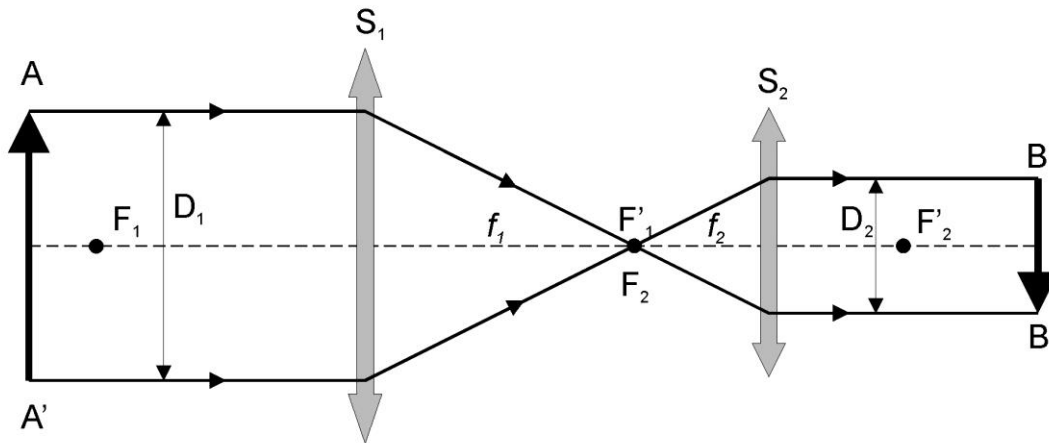
$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{f_2}{f_1},$$

gdzie D_1 i D_2 są szerokościami wiązek odpowiednio wchodzącej i wychodzącej z teleskopu. Można pokazać, że powiększenie kątowe teleskopu Keplera w_k jest równe stosunkowi ogniskowych obiektywu i okularu ze znakiem „-”, czyli

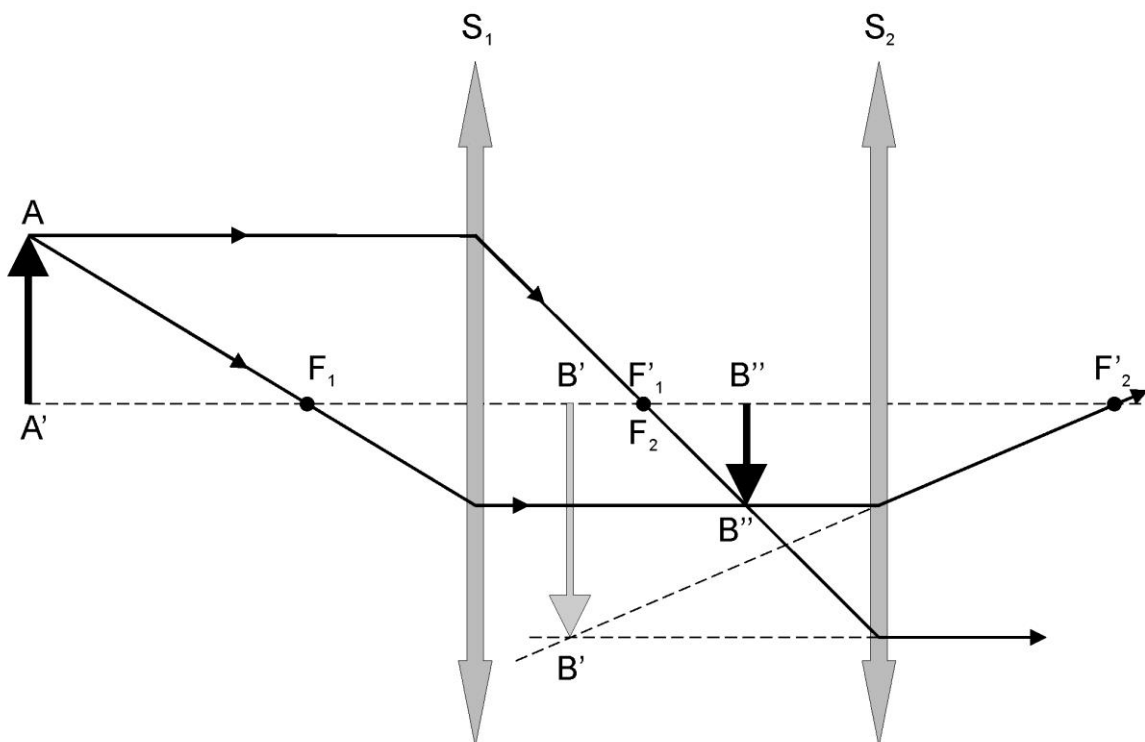
$$W_k = -\frac{f_1}{f_2}$$

Znak „-” znaczy, że obraz oglądany przez teleskop Keplera jest odwrócony.

a)



b)



Rys.1 Bieg promieni w teleskopie Keplera: a) dla przedmiotu umieszczonego w nieskończoności, b) dla przedmiotu w skończonej odległości od obiektywu. S_1 – obiektyw, S_2 – okular, f_1 i f_2 – ogniskowe odpowiednio obiektywu S_1 i okularu S_2 , F_1 i F'_1 – ogniska obiektywu S_1 , F_2 i F'_2 – ogniska okularu S_2 , AA' – przedmiot, BB' obraz przedmiotu AA' za okularu S_2 , $B'B''$ i $B''B''$ – obrazy urojone przedmiotu AA' , D_1 – szerokość wiązki wejściowej, D_2 – szerokość wiązki wyjściowej.

3. Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenie należy wykonać korzystając z zestawu składającego się z ławy optycznej z podziałką milimetrową, laserowego źródła światła, zestawu soczewek, generatora dymu oraz miary taśmowej i linijki.

Ławę optyczną należy zmontować korzystając z instrukcji obsługi zestawu i wskazówek prowadzącego ćwiczenia. Do ławy optycznej należy dołączyć laserowe źródło światła. Laserowe źródło światła emituje pięć wiązek laserowych symulujących promienie świetlne. Na ławie optycznej należy zestawić teleskop Keplera używając soczewek o ogniskowych $f_1=10\text{cm}$ i $f_2=5\text{ cm}$. Włączyć laserowe źródło światła i za pomocą generatora dymu zaobserwować bieg promieni świetlnych w teleskopie. Korzystając z macierzy propagacji dla teleskopu Keplera:

$$[T_K] = \begin{bmatrix} -\frac{f_2}{f_1} & f_1 + f_2 \\ 0 & -\frac{f_1}{f_2} \end{bmatrix},$$

$$r_{\text{wyj}} = -\frac{f_2}{f_1} r_{\text{wej}} + (f_1 + f_2) r'_{\text{wej}},$$

$$r'_{\text{wyj}} = -\frac{f_1}{f_2} r'_{\text{wej}},$$

obliczyć r_{wyj} i r'_{wyj} . Wartość r_{wej} zmierzyc w płaszczyźnie pierwszej soczewki. Wartość r'_{wej} przyjąć jako $0,2^\circ$.

Następnie zmierzyc wartość r_{wyj} w płaszczyźnie drugiej soczewki oraz zmierzyc wartość r'_{wyj} . Wartość r'_{wyj} mierzymy na ekranie umieszczonym w dużej odległości od teleskopu korzystając z zależności $\sin(r'_{\text{wyj}}) = \text{tg}(r'_{\text{wyj}}) = r'_{\text{wyj}}$.

Kolejnym zadaniem jest zbadanie wpływu niedokładności ustawienia soczewek w teleskopie na działanie teleskopu. W tym celu zmieniamy odległość pomiędzy soczewkami w teleskopie przesuując ją kilkakrotnie o stałą wartość (np. $\Delta = 1\text{ mm}$) w obie strony mierząc dla każdego położenia soczewek wartość r'_{wyj} .

W sprawozdaniu z ćwiczenia należy zamieścić rysunek badanego teleskopu Keplera. Ponadto:

- Porównać wyniki obliczeń r_{wyj} i r'_{wyj} dla idealnie zestawionego teleskopu Keplera z wynikami eksperymentu,
- Narysować wykres zależności $r'_{\text{wyj}} = r'_{\text{wyj}}(\Delta)$,
- Napisać komentarz do otrzymanych wyników.