Ćwiczenie **51**

POMIAR POWIĘKSZENIA MIKROSKOPU I LUNETY ASTRONOMICZNEJ

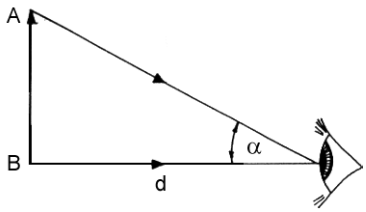
51.1. Wiadomości ogólne

Pozorna wielkość oglądanego przedmiotu zależy od kąta α, jaki tworzą promienie wychodzące ze skrajnych punktów przedmiotu i wpadające do oka (rys. 51.1). Kąt α nazywamy kątem widzenia przedmiotu. Zasada działania mikroskopu i lunety polega na zwiększeniu kąta widzenia, pod jakim widzimy przedmiot. Powiększenie kątowe P przyrządu optycznego definiujemy wzorem

$$P = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha}, \qquad (51.1)$$

gdzie: β – jest kątem widzenia obrazu w przyrządzie,
α – kątem widzenia przedmiotu okiem nieuzbrojonym.

Schemat układu optycznego mikroskopu jest pokazany na rysunku (51.2). Mikroskop składa się z dwóch soczewek skupiających – obiektywu Ob. i okularu Ok. – umieszczonych we wzajemnej odległości l (długość tybusa mikroskopu). Obiektyw mikroskopu wytwarza odwrócony i znacznie powiększony obraz rzeczywisty A_1B_1 przedmiotu AB w odległości nieco większej od ogniskowej obiektywu f_1, ale nieco mniejszej od ogniskowej okularu f_2. Okular mikroskopu daje pozorny, prosty i powiększony obraz A_2B_2 obrazu rzeczywistego A_1B_1. Ponieważ odległość $O_2B_1 \approx f_2$, tangens kąta widzenia β obrazu A_2B_2 jest równy w przybliżeniu:



Rys. 51.1

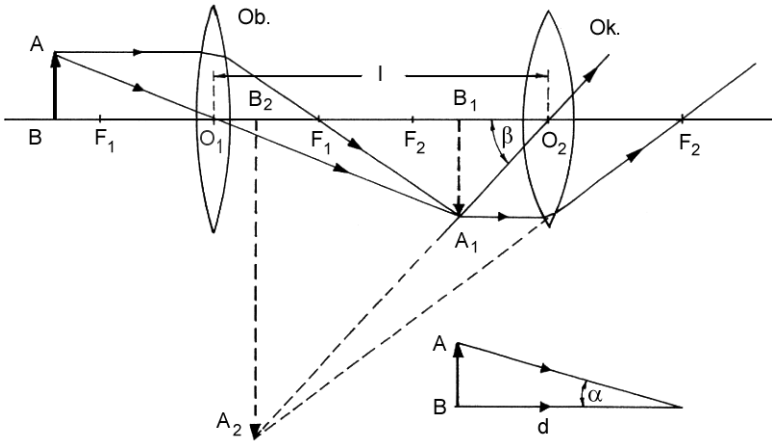
$$\operatorname{tg}\beta \approx \frac{A_1B_1}{f_2}. \qquad (51.2)$$

Jeżeli ogniskowa okularu f_2 jest mała w porównaniu z odległością soczewek, zachodzi przybliżona równość $O_1B_1 = 1 - f_2 \approx 1$. Rozpatrując podobne trójkąty $A_1B_1O_2$ i ABO_1, można napisać proporcję

$$\frac{A_1B_1}{l} \approx \frac{AB}{f_1}. \qquad (51.3)$$

Kąt β widzenia obrazu w mikroskopie jest więc dany wzorem

$$\operatorname{tg}\beta \approx \frac{AB \cdot l}{f_1 \cdot f_2}. \qquad (51.4)$$



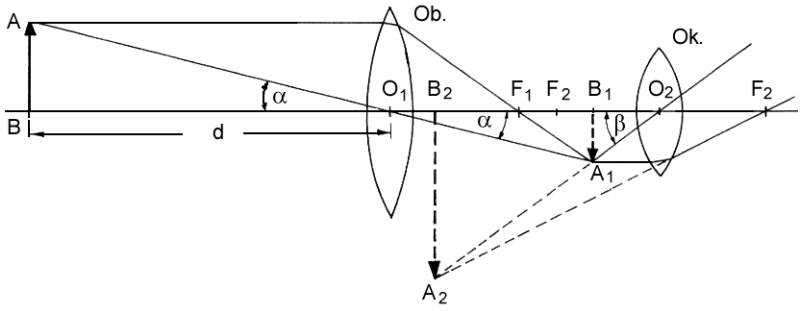
Rys. 51.2

Kąt α widzenia przedmiotu AB okiem nieuzbrojonym z odległości dobrego widzenia d (d = 25 cm) określa wzór (rys. 51.2)

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{AB}{d}. \qquad (51.5)$$

Zgodnie ze wzorem (51.1), powiększenie kątowe P_m mikroskopu wynosi

$$P_m \approx \frac{l \cdot d}{f_1 \cdot f_2}. \qquad (51.6)$$



Rys. 51.3

Układ optyczny lunety astronomicznej jest podobny do układu optycznego mikroskopu (rys. 51.3). W przypadku lunety przedmiot AB znajduje się w dużej odległości d od lunety, a jego obraz rzeczywisty A_1B_1 powstaje w odległości nieco większej od ogniskowej obiektywu. Ponieważ zachodzą przybliżone równości $O_1B_1 \approx f_1$ i $O_2B_1 \approx f_2$, tangens kąta widzenia β obrazu A_2B_2 w lunecie i tangens kąta widzenia α przedmiotu AB nieuzbrojonym okiem są równe odpowiednio:

$$\operatorname{tg}\beta \approx \frac{A_1B_1}{f_2}, \qquad (51.7)$$

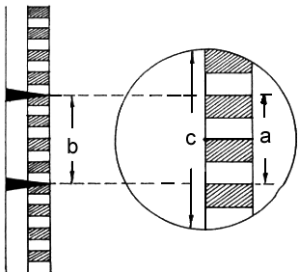
$$\operatorname{tg}\alpha \approx \frac{A_1B_1}{f_1}. \qquad (51.8)$$

Powiększenie kątowe P_1 lunety – zgodnie z (51.1) – jest więc równe

$$P_1 = \frac{f_1}{f_2}. \qquad (51.9)$$

Wyznaczając powiększenie lunety postępujemy w następujący sposób: oglądamy okiem uzbrojonym (przez lunetę) odcinek skali o długości a, umieszczony w odległości d od lunety. Równocześnie, okiem nieuzbrojonym oglądamy tą samą skalę i znajdujemy taki jej odcinek b, który widzimy pod tym samym kątem widzenia (rys. 51.4). Powiększenie kątowe P lunety obliczamy ze wzoru

$$P = \frac{b}{a}. \qquad (51.10)$$



Rys. 51.4

Kątem widzenia lunety β_1 nazywamy największy kąt, pod jakim można obserwować przedmiot w polu widzenia lunety. Wyraża się on wzorem:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{c}{d}. \qquad (51.11)$$

gdzie: c – jest długością odcinka skali widzianym w całym w polu widzenia lunety (rys. 51.4),
d – odległością lunety od przedmiotu.

Dla małych wartości kąta widzenia $\operatorname{tg}\beta_1 \approx \beta_1$ i można napisać w przybliżeniu:

$$\beta_1 \approx \frac{c}{d} \qquad (51.12)$$

(kąt β_1 jest wyrażony w radianach).

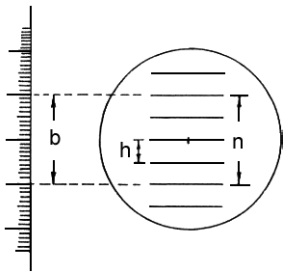
51.2. Zadania

51.2.1. Wyznaczyć powiększenie mikroskopu.
51.2.2. Wyznaczyć powiększenie kątowe i kąt widzenia lunety astronomicznej.

51.3. Zasada i przebieg pomiarów

Na stoliku mikroskopu umieścić skalę mikroskopową, wyregulować oświetlenie skali i nastawić mikroskop na ostrość. Przesuwając stolik mikroskopu, znaleźć liczbę kresek m na skali mikroskopowej przesuwających się w polu widzenia. Na noniuszu stolika mikroskopu odczytać przesunięcie s stolika, odpowiadające ustalonej liczbie kresek m. Obliczyć odległość h między kreskami skali mikroskopowej ze wzoru

$$h = \frac{s}{m}. \qquad (51.13)$$



Rys. 51.5

Pomiar powtórzyć pięć razy dla różnych wartości m i obliczyć średnią odległość kresek skali $h_{śr}$. W odległości d = 25 cm od oka (tzw. odległość dobrego widzenia) umieścić skalę milimetrową prostopadle do linii widzenia. Obserwować jednocześnie jednym okiem obraz w mikroskopie, a drugim skalę milimetrową. Odczytać liczbę podziałek n skali w mikroskopie, odpowiadającą odcinkowi b skali milimetrowej widzianemu okiem nieuzbrojonym (rys. 51.5).

Obliczyć powiększenie mikroskopu P_m podstawiając we wzorze (51.10) $a = n\, h_{śr}$

$$P_m = \frac{1}{h_{śr}} \left(\frac{b}{n}\right)_{śr}. \qquad (51.14)$$

Pomiar powtórzyć pięć razy dla różnych wartości n i obliczyć średnie powiększenie mikroskopu $P_{mśr}$.

Lunetę ustawić prostopadle do skali centymetrowej, aby jej obraz był widoczny w środku pola widzenia. Wyregulować ostrość obrazu w lunecie. Pomiar powiększenia lunety wykonujemy za pomocą specjalnie zestawionego układu: lorneta-luneta. Lorneta o powiększeniu równym jeden, nałożona na okular lunety, daje w swoim polu widzenia równocześnie obraz skali powiększony przez lunetę i obraz tej samej skali widziany okiem nieuzbrojonym. Wskazówki skali przesunąć tak, aby obejmowały one odcinek obrazu skali o długości a. Odczytać rzeczywistą długość b odcinka skali centymetrowej między wskazówkami (rys. 51.4). Ze wzoru (51.10) obliczyć powiększenie lunety P_1. Pomiar powtórzyć pięć razy dla różnych wartości a i obliczyć średnie powiększenie lunety $P_{1śr}$.

Oczytać długość c odcinka skali w polu widzenia lunety. Taśmą mierniczą zmierzyć odległość d lunety od skali. Obliczyć kąt widzenia lunety β_1 ze wzoru (51.12). Wartość kąta widzenia wyrazić w radianach.

51.4. Ocena niepewności pomiarów

Niepewność pomiaru powiększenia mikroskopu wyrażamy jako niepewność standardową nieskorelowanych (Wstęp, wzór (51)) pomiarów odległości h kresek na skali mikroskopowej oraz ilorazu b/n (wielkości b i n są mierzone jednocześnie, a więc nie można ocenić niepewności pomiaru każdej z nich oddzielnie)

$$u_c(P) = \sqrt{\left[\left(\frac{b}{n}\right)_{śr} \cdot \frac{u(h)}{h_{śr}^2}\right]^2 + \left[\frac{u\left(\frac{b}{n}\right)}{h_{śr}}\right]^2}\ , \qquad (51.15)$$

gdzie:

$$u(h) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k}(h_{śr} - h_i)^2}{k(k-1)}}\ ,\quad u\left(\frac{b}{n}\right) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k}\left[\left(\frac{b}{n}\right)_{śr} - \left(\frac{b}{n}\right)_i\right]^2}{k(k-1)}}\ , \qquad (51.16)$$

u(h), u(b/n) – niepewności standardowe (Wstęp, wzór (24));
k – liczba pomiarów.

Niepewność pomiaru powiększenia lunety wyznaczamy również jako niepewność standardową

$$u(P) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k}\left[P_{śr} - P_i\right]^2}{k(k-1)}}\ . \qquad (51.17)$$

Względną niepewność systematyczną δ_p pomiaru kąta widzenia lunety wyznaczamy metodą różniczki logarytmicznej

$$\left|\frac{\Delta\beta_1}{\beta_1}\right| = \left|\frac{\Delta c}{c}\right| + \left|\frac{\Delta d}{d}\right|, \qquad (51.18)$$

gdzie: Δc, Δd – niepewności systematyczne, szacowane metodą typu B w trakcie pomiarów (wzór (3) – Wstęp).

Literatura

[1] Szczeniowski S.: Fizyka doświadczalna, cz. IV. Warszawa: PWN 1983.
[2] Massalski J., Massalska M.: Fizyka dla inżynierów, cz. I. Warszawa: WNT 1980.