

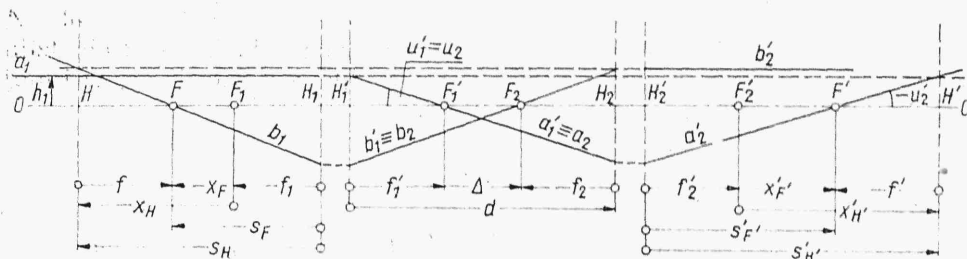
Ponieważ $\beta = \frac{l'}{l}$ oraz $\gamma = \frac{\operatorname{tg} u'}{\operatorname{tg} u}$ to zgodnie ze wzorem (2.14a)

$$lf \operatorname{tg} u = -l'f' \operatorname{tg} u' \quad (2.15)$$

niezależnie od kąta u i długości l (rys. 2.12).

2.2.2. Układ złożony o wspólnej osi symetrii

Niech będą dwa układy optyczne o znanych parametrach, ustawione współosiowo jeden za drugim. Zestaw taki tworzy nowy układ, również z obrotową osią symetrii. Celem niniejszego podrozdziału jest wyznaczenie parametrów układu złożonego.



Rys. 2.13

Wspólną osią układu jest prosta $O-O$ (rys. 2.13). Oznaczenia ze wskaźnikiem 1 i 2 odnoszą się do elementów pojedynczych układów, bez wskaźników zaś do układu złożonego jako całości.

Ognisko obrazowe F' całego układu jest sprzężone z ogniskiem obrazowym F'_1 pierwszego układu, stąd ze wzoru Newtona dla drugiego układu, ponieważ $x_2 = -\Delta$, $x'_2 = x_{F'}$ będzie

$$x_{F'} = -\frac{f_2 f'_2}{\Delta} \quad (2.16a)$$

Analogicznie ognisko przedmiotowe F jest sprzężone z ogniskiem przedmiotowym układu drugiego, a więc

$$x_F = \frac{f_1 f'_1}{\Delta} \quad (2.16b)$$

W celu wyznaczenia ogniskowej obrazowej f' całego układu w przestrzeni przedmiotowej pierwszego układu narysowana jest prosta a_1 równoległa do osi i leżąca na wysokości h_1 od niej. Prosta a_1 (dla uproszczenia narysowano tylko część prostej) jest sprzężona z prostą a_1 i leży w przestrzeni obrazowej pierwszego układu, która jest również przestrzenią przedmiotową drugiego układu. Prosta a'_2 jest prostą leżącą w przestrzeni obrazowej drugiego układu sprzężoną z prostą a_2 , a więc sprzężoną z prostą a_1 przez cały układ. Stąd położenie płaszczyzny głównej obrazowej jest wyznaczone przez formalne przecięcie się prostej a_1 z prostą a'_2 . A więc z rysunku

$$f' = \frac{h_1}{\operatorname{tg} u'_2}$$

Ponieważ

$$h_1 = f'_1 \operatorname{tg} u'_1 = f'_1 \operatorname{tg} u_2$$

oraz

$$\gamma_2 = \frac{\operatorname{tg} u'_2}{\operatorname{tg} u_2} = -\frac{\Delta}{f'_2}$$

gdzie γ_2 — jest powiększeniem kątowym drugiego układu dla sprzężonych ognisk F'_1 i F' otrzymuje się ostatecznie

$$f' = -\frac{f_1 f'_2}{\Delta} \quad (2.17a)$$

Analogiczne rozumowanie można przeprowadzić dla prostych b'_2 oraz b_1 i wtedy

$$f = \frac{f_1 f_2}{\Delta} \quad (2.17b)$$

Oznaczając odległość między płaszczyznami głównymi układów przed d oraz uwzględniając, że $\Delta = d - f'_1 + f_2$, po wstawieniu do wzoru (2.17) będzie

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{f'_1} \left(-\frac{f_2}{f'_2} \right) + \frac{1}{f'_2} - \frac{d}{f_1 f'_2} \quad (2.18a)$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \left(-\frac{f'_1}{f_1} \right) + \frac{d}{f_1 f_2} \quad (2.18b)$$

Położenie płaszczyzn głównych całego układu jest wyznaczone przez

$$x'_{H'} = x'_{F'} - f'; \quad x_H = x_F - f \quad (2.19a, b)$$

Ponadto z rys. 2.13 i wzoru (2.16a)

$$s'_{F'} = f'_2 + x'_{F'} = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta} \left(\frac{f_2 - \Delta}{f'_1} \right) = f' \left(1 - \frac{d}{f'_1} \right) \quad (2.19c)$$

$$s'_{H'} = s'_{F'} - f' = -\frac{df'}{f'_1} \quad (2.19d)$$

Analogicznie

$$s_F = f \left(1 + \frac{d}{f_2} \right) \quad (2.19e)$$

$$s_H = \frac{df}{f_2} \quad (2.19f)$$

Do nowego układu złożonego można dołączyć trzeci i opierając się na wyprowadzonych zależnościach wyznaczyć parametry układu trójelementowego, a następnie dodać czwarty itd. W ten sposób metodą kolejnego dodawania można obliczyć parametry układu optycznego złożonego z dowolnej liczby elementów. Metoda ta jest dosyć żmudna i przy rozpatrywaniu układów rzeczywistych złożonych z wielu elementów opracowane są schematy obliczeń umożliwiające uproszczenie sposobu postępowania.

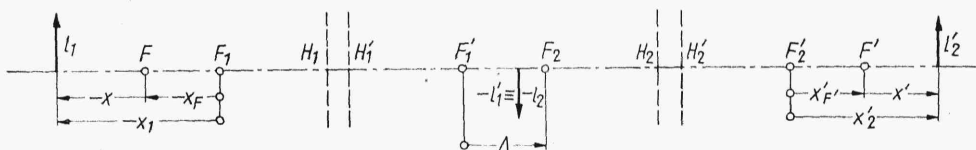
Często wygodne jest wyznaczenie położenia obrazu dla układu złożonego, bez wyznaczania ogniskowej i położenia ognisk, a tylko za pomocą parametrów układów składowych. Jeżeli za punkty odniesienia wzięte zostaną w przestrzeni przedmiotowej ognisko przedmiotowe pierwszego

układu, a w przestrzeni obrazowej — ognisko obrazowe drugiego układu, to zgodnie z rys. 2.14

$$x = x_1 - x_F \quad x' = x'_2 - x'_{F'}$$

Ze wzoru *Newtona* dla układu złożonego będzie

$$(x_1 - x_F)(x'_2 - x'_{F'}) = ff'$$



Rys. 2.14

Po przekształceniu oraz uwzględnieniu (2.16) i (2.17) pozostanie

$$x'_2 = \frac{f_2 f'_2}{f_1 f'_1 - \Delta x_1} x_1 \quad (2.20)$$

Powiększenie poprzeczne

$$\beta = -\frac{f}{x} = \frac{f_1 f_2}{x_F \Delta - x_1 \Delta} = \frac{f_1 f_2}{f_1 f'_1 - x_1 \Delta} \quad (2.21a)$$

Podobnie można wprowadzić

$$\gamma = \frac{f_1 f'_1 - x_1 \Delta}{f'_1 f'_2} \quad (2.21b)$$

$$\alpha = \frac{f_1 f'_1 f'_2 f_2}{(f_1 f'_1 - x_1 \Delta)^2} \quad (2.21c)$$

Dla $x_1 = 0$ zgodnie ze wzorem (2.20) $x'_2 = 0$. Oznacza to, że F_1 i F'_2 są punktami sprzężonymi dla całego układu, przy czym dla tych punktów z (2.21a) $\beta = f_2/f'_1$.

Jeżeli znane są powiększenia poprzeczne β_1 i β_2 dla obydwóch układów, to ponieważ $l'_1 \equiv l_2$ więc

$$\beta = \frac{l'_2}{l_1} = \frac{l'_1 l'_2}{l_1 l'_1} = \frac{l'_1 l'_2}{l_1 l_2} = \beta_1 \beta_2$$

Tę zależność można uogólnić dla p układów

$$\beta = \prod_{i=1}^p \beta_i \quad (2.22a)$$

i podobnie

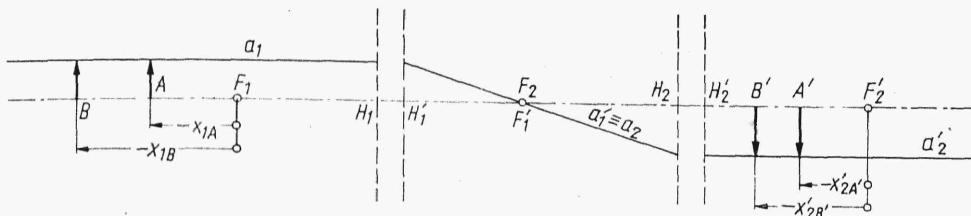
$$\gamma = \prod_{i=1}^p \gamma_i \quad (2.22b)$$

oraz

$$\alpha = \prod_{i=1}^p \alpha_i \quad (2.22c)$$

2.2.3. Układy bezogniskowe (teleskopowe)

Bardzo ważnym przypadkiem jest układ złożony, dla którego $\Delta = 0$ i wtedy ognisko przedmiotowe drugiego układu pokrywa się z ogniskiem obrazowym pierwszego. Ze wzorów (2.16) wynika, że ogniska całego ukła-



Rys. 2.15

du leżą wówczas nieskończenie daleko. Oznacza to, że prostej a_1 równoległej do osi odpowiada prosta a_2' również równoległa do osi (rys. 2.15). Jest to przypadek pominięty w ogólnych rozważaniach p. 2.2.1.

Zgodnie z wzorami (2.20) i (2.21c) położenie obrazu może być wyznaczone z wyrażenia

$$x_2' = \frac{f_2 f_2'}{f_1 f_1'} x_1 = \alpha x_1 \quad (2.23)$$

Powiększenia układu bezogniskowego zgodnie z (2.21) wynoszą

$$\beta = \frac{f_2}{f_1'} \quad (2.24a)$$

$$\gamma = \frac{f_1}{f_2'} \quad (2.24b)$$

$$\alpha = \frac{f_2 f_2'}{f_1 f_1'} \quad (2.24c)$$

Dla układu bezogniskowego powiększenia są więc niezależne od położenia przedmiotu. Jest to bardzo cenna własność tego układu często wykorzystywana przy konstrukcjach układów optycznych. Dowód niezależności dla powiększenia poprzecznego wynika również z równoległości sprzężonych prostych a_1 i a_2' (rys. 2.15). Przedmiotom A i B równej wielkości odpowiadają obrazy A' i B', również równej wielkości.

Nazwa „układ bezogniskowy” pochodzi stąd, że układ ten nie ma ogniska w skończonej odległości, to znaczy nie jest układem ogniskującym. Z rozważań — podanych w rozdz. 5.2 wynika, że lunety jako przyrządy przeznaczone do obserwacji dalekich przedmiotów muszą być układem bezogniskowym. Stąd inna jeszcze nazwa tego układu: „układ teleskopowy” (grec. *tele* — daleko, *skopeo* — patrzeć).

2.2.4. Układy idealne

Jeżeli obraz dawany przez układ optyczny doskonały jest podobny do przedmiotu, to układ ten nazywa się *układem idealnym* dla danego przedmiotu. Warunek przekształcenia z zachowaniem podobieństwa jest spełniony przez każdy układ doskonały dla dowolnych sprzężonych płaszczyzn prostopadłych do osi. Wynika to z niezależności powiększenia poprzecznego od współrzędnych rozpatrywanego punktu w tej płaszczyźnie. Obra-