

lunety jest większa niż średnica źrenicy oka, wtedy  $\Phi'_{lo} = \Phi_0$  i  $J_r = \tau_l < 1$ . Oznacza to, że obraz przedmiotów rozciągłych w każdym przypadku będzie mniej jasny od przedmiotu widzianego bez lunety. Różnica tylko wtedy będzie niezauważalna jeżeli średnica źrenicy wyjściowej przyrządu nie będzie mniejsza od średnicy źrenicy oka oraz gdy straty w układzie lunety będą pomijalnie małe. Sama średnica źrenicy wejściowej oka zmienia się wraz z natężeniem oświetlenia siatkówki, co oznacza, że zdefiniowana tu jasność lunety nie charakteryzuje jednoznacznie samego przyrządu, a zależy jeszcze od warunków obserwacji. Przy dziennym oświetleniu  $\Phi_0$  jest rzędu 4 mm, natomiast w nocy dochodzi nawet do 8 mm i ta sama luneta w dzień może mieć  $J_r$  bliskie jedności (gdy średnica źrenicy wyjściowej przyrządu wynosi 4 mm) natomiast w nocy będzie już tylko  $1/4$  tej wartości. Aby uwolnić się od wpływu warunków w jakich występują obserwacje, często przez jasność lunety rozumie się tylko kwadrat średnicy źrenicy wyjściowej, którego wartość wskazuje na możliwości przyrządu, ale nie oddaje wiernie zjawiska fizycznego.

Jak już wspomniano, jeżeli średnica źrenicy wyjściowej przyrządu jest większa niż średnica źrenicy wejściowej oka, wówczas przysłona, ograniczająca aperturę układu luneta-oko jest tęczówka oka. Gdyby przyrząd przeznaczony był do obserwacji w warunkach, dla których ta relacja pozostaje stała, oznaczałoby to, że układ optyczny lunety został zaprojektowany ze zbytecznym nadmiarem. Wynika stąd praktyczny wniosek, że niecelowe jest budowanie lunet do obserwacji dziennych ze średnicą źrenicy wyjściowej lunety większą niż 4 mm.

Dla przedmiotów o dostatecznie małych wymiarach, kiedy obraz w postaci plamki dyfrakcyjnej oglądany przez przyrząd będzie dla obserwatora również elementem punktowym, wówczas energia od przedmiotu przy obserwacji okiem nieuzbrojonym i przez przyrząd będzie docierała tylko do jednego elementu światłoczułego. Jej wartość będzie proporcjonalna przy obserwacji bez przyrządu do powierzchni źrenicy wejściowej oka, natomiast z przyrządem do powierzchni źrenicy wejściowej układu luneta-oko, stąd przez jasność lunety dla przedmiotów punktowych rozumieć się będzie zgodnie z poprzednimi oznaczeniami

$$J_p = \tau_l \left( \frac{\Phi_{lo}}{\Phi_0} \right)^2 \quad (5.9)$$

gdzie:

$\Phi_{lo}$  — jest średnicą źrenicy wejściowej układu luneta-oko,

$\Phi_0$  — średnica źrenicy wejściowej oka.

Z porównania wyrażeń (5.9) i (5.8) wynika, że

$$J_p = G^2 J_r \quad (5.10)$$

A więc odpowiednio dobierając średnicę źrenicy wejściowej lunety i jej powiększenie można osiągnąć  $J_p > 1$  i wtedy intensywność obserwowanego obrazu przedmiotu punkowego przez przyrząd będzie wyższa niż przy obserwacji okiem nieuzbrojonym. Zjawisko to można zauważyć przy obserwacji gwiazd przez lunetę. Jego mechanizm został szerzej opisany w p. 2.7.5.

### 5.2.3. Zdolność rozdzielcza lunety

Dla lunet punkty płaszczyzny przedmiotu zwykle świecą światłem wzajemnie niekoherentnym, stąd zgodnie z rozważaniami p. 3.3.2 i 3.3.5 gra-

niczny kąt zdolności rozdzielczej lunety w przestrzeni przedmiotowej dla obrazu dwóch punktów wynosi  $w_r = 1,22\lambda/\Phi_z$ , gdzie  $\Phi_z$  średnica źrenicy wejściowej lunety. Przyjmując średnio dla zakresu widzialnego  $\lambda = 0,55 \cdot 10^{-3}$  mm, ponieważ  $1'' = 5 \cdot 10^{-6}$  rd, i jeżeli  $\Phi_z$  mierzone będzie w mm, to dla kąta  $w_r$  wyrażonego w sekundach

$$w_r = \frac{140}{\Phi_z} \quad (5.11)$$

Kątowi temu w przestrzeni obrazowej lunety odpowiada kąt

$$w'_r = Gw_r = \frac{140''}{\Phi_{z'}} \quad (5.12)$$

gdzie  $\Phi_{z'}$  średnica źrenicy wyjściowej lunety. Z drugiej strony wiadomo (p. 4.3), że graniczny kąt zdolności rozpoznawczej oka dla dwóch punktów zależy od wielu czynników i w najlepszym przypadku jest rzędu  $1,5'$ . Aby więc wykorzystać wszystkie możliwości, jakie daje przyrząd optyczny, graniczny kąt zdolności rozdzielczej oka, oznaczony tu przez  $w_{r0}$ , nie powinien być większy niż  $w'_r$ , to znaczy

$$w_{r0} \leq w'_r \quad (5.13)$$

W przeciwnym razie, mimo że obrazy dyfrakcyjne obydwu punktów można byłoby rozróżnić już przy kącie  $w'_r$ , obserwator z uwagi na właściwości oka zacznie je dopiero dostrzegać przy kącie  $w_{r0}$ . Dla  $w_{r0} < w'_r$  elementem ograniczającym zdolność rozdzielczą układu luneta-obszawator jest luneta, natomiast dla  $w_{r0} > w'_r$  — obserwator.

Konsekwencją założenia (5.13) będzie zgodnie z zależnościami (5.12) i (5.11)

$$\Phi_{z'} \leq \frac{140}{w_{r0}} \quad (5.14a)$$

$$G \geq \frac{w_{r0} \Phi_z}{140} \quad (5.14b)$$

Zakładając  $w_{r0} = 1,5' = 90''$  z pierwszej zależności wynika, że średnica źrenicy wyjściowej przyrządu nie powinna być większa niż  $1,55$  mm, natomiast powiększenie nie powinno być mniejsze niż  $0,65 \Phi_z$ , gdzie  $\Phi_z$  jest wyrażone w mm.

Dla lunet przeznaczonych do obserwacji przedmiotów rozciągłych realizacja warunków (5.14) prowadzi zgodnie z równaniem (5.8) do spadku jasności przyrządu i dlatego dąży się do ich zachowania tylko w lunetach pomiarowych (niwelatory, teodolity), dla których najważniejszą cechą jest dokładność pomiaru. W lunetach obserwacyjnych (lornetki) średnica źrenicy wyjściowej dobierana jest z warunku na jasność przyrządu.

W przyrządach przeznaczonych do obserwacji astronomicznych (teleskopach), kiedy przedmioty są punktowe, jasność lunety (5.9) i jej zdolność rozdzielcza (5.11) rosną wraz ze wzrostem średnicy źrenicy wejściowej. Budowa teleskopów o coraz większych średnicach zwiększa więc możliwości przyrządu. Możliwości te nie powinny być utracone przez odbiornik, stąd konieczność doboru jego parametrów zgodnie z równaniami (5.14).

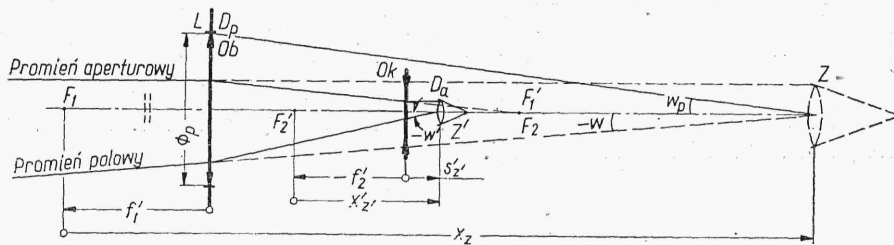
Mimo, że warunki (5.14) mają ograniczenie jednostronne, nie należy jednak dążyć do znacznego zmniejszania średnicy źrenicy wyjściowej lunety, a więc i związanego z tym zwiększania powiększenia. Nie pozwala to

już wydobyć nowych informacji z obrazu, a tylko zwiększa kąt, pod którym widać już rozpoznane elementy. Zaczyna być dostrzegana struktura plamki dyfrakcyjnej obrazu punktu utrudniająca wizualną analizę obrazu.

#### 5.2.4. Typy lunet

##### Luneta Galileusza

Jeżeli obraz ma być powiększony i nieodwrócony ( $G > 1$ ), to dla najprostszego układu, zgodnie z równaniem (5.4), moce okularu i obiektywu muszą mieć znaki różnoimienne i ponadto musi być spełnione  $|f'_1| > |f'_2|$ . Łatwo wykazać, że możliwa jest wtedy konstrukcja lunety, której okular ma moc ujemną. Lunetę taką, nazywaną *lunetą Galileusza*, pokazano na rys. 5.4 w stanie podstawowym. Dla lunety o powiększeniu mniejszym niż 1 i o obrazie również nieodwróconym, kiedy  $0 < G < 1$ , elementem o mocy ujemnej będzie obiektyw.



Rys. 5.4

Żrenica wyjściowa lunety  $Z'$  powinna pokrywać się ze żrenicą wejściową oka, stąd żrenica wejściowa układu luneta-oko oznaczona tu przez  $Z$  sprzężona przez obiektyw i okular z  $Z'$  będzie zawsze leżała w przestrzeni pozornej obiektywu, niezależnie od położenia oka. Oznacza to, że nie można wstawić do przyrządu przysłony, która spełniałaby rolę przysłony aperturowej. Sama żrenica wejściowa oka jest tu żrenicą wyjściową przyrządu, a tęczówka oka przysłoną aperturową. Stąd jasność lunety *Galileusza* dla przedmiotów rozciągłych wynosi zgodnie z p. 5.2.2  $J_r = \tau_1$ . Liczba elementów jest tu niewielka, a więc straty energetyczne w układzie są małe. Konsekwencją tego jest wysoka jasność lunety *Galileusza*.

Obraz przedmiotów nieskończenie dalekich pozostaje w płaszczyźnie ogniskowej obrazowej obiektywu znajdującej się w pozornej przestrzeni przedmiotowej okularu. Brak płaszczyzny obrazu rzeczywistego jest poważną wadą tej lunety, gdyż uniemożliwia umieszczenie w niej płytki ogniskowej i przysłony pola. Z pierwszego powodu luneta *Galileusza* może być przeznaczona tylko do celów obserwacyjnych, z drugiego luka wejściowa nie leży w płaszczyźnie przedmiotu i nie ma ostrego ograniczenia pola widzenia.

Okular znajduje się blisko oka i dlatego zwykle przysłoną pola  $D_p$  i luką wejściową  $L$  układu jest oprawa obiektywu. Oznaczając średnicę oprawy przez  $\Phi_p$ , kąt pola widzenia  $w_p$  przestrzeni przedmiotowej określony (p. 2.5.1) dla winietowania geometrycznego bliskiego 50% zgodnie z oznaczeniami rys. 5.4 wyniesie

$$\operatorname{tg} w_p = \frac{\Phi_p}{2(x_z - f'_1)}$$