

rozsahu meniť vypuklosť očnej šošovky a prispôbiť tak oko rôznym vzdialenostiam pozorovaného predmetu, aby na sietnici bol obraz vždy ostrý (*akomodácia oka*).

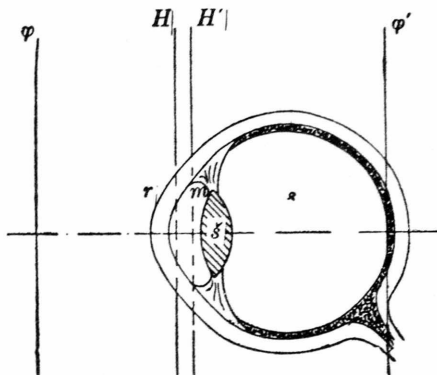
Bod na optickej osi oka, ktorý sa pozoruje ostro bez akomodácie, sa nazýva *bod ďaleký*. Pri normálnom oku je v nekonečne. Bod, ktorý oko môže ešte ostro vidieť s akomodáciou, je *bod blízky*.

Jeho vzdialenosť od oka sa s vekom zväčšuje od 7 až asi do 40 cm a súčasne sa k oku blíži jeho bod ďaleký.

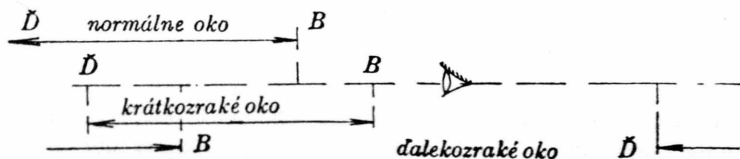
Oko, pri ktorom ďaleký bod je pred okom v konečnej vzdialenosti, je *krátkozraké*. Ďaleký bod *ďalekozrakého oka* je na druhej strane oka. Primerane sú posunuté aj body blízke.

Príslušné ostro viditeľné rozsahy sú znázornené na *obr. 12.2*.

Ďalekozrakosť alebo krátkozrakosť sa ľahko korigujú pomocou očných skiel; oko ďalekozraké pomocou spojky, oko krátkozraké pomocou rozptylky. Ak ohniskové vzdialenosti oka v dvoch na seba kolmých rovinách, prechádzajúcich optickou osou oka, nie sú rovnaké, oko je astigmatické a môže sa korigovať len očným sklom, ktorého jedna strana je zbrúsená do tvaru valca.



Obr. 12.1.



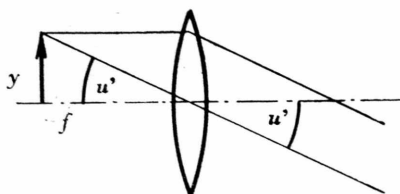
Obr. 12.2.

Pred šošovkou oka sa nachádza dúhovka, ktorej otvor (zornička) je premenlivý a prispôbuje sa intenzite svetla.

Aby oko rozoznalo od seba dva k sebe blízke body, zorný uhol ich spojnice musí byť aspoň asi $1'$. Citlivosť oka pre svetlo rozličných vlnových dĺžok vyjadruje *obr. 9.5* na str. 223.

12.2. Drobnohlady a ďalekohľady. Ľudské oko nie je schopné rozpoznať podrobnosti vzdialených predmetov, keď ich zorný uhol — ako už vieme — je menší ako asi $1'$. Nemôže však rozoznať ani podrobnosti na predmetoch, ktoré

možno k oku ľubovoľne priblížiť, lebo v tomto opačnom prípade v dôsledku svojej ohraničenej akomodačnej schopnosti oko nie je schopné vytvoriť ich ostrý obraz na sietnici. Úlohou optických prístrojov v užšom zmysle, drobnohľadov a ďalekohľadov, je vytvoriť virtuálne obrazy pozorovaných predmetov vo vzdialenosti prijateľnej pre oko tak, aby zorný uhol ich pozorovania bol potrebné zväčšený.



Obr. 12.3.

Lupa. Na pozorovanie drobných predmetov, ktoré pre omedzenú akomodačnú schopnosť oka nemôžeme dať k oku ľubovoľne blízko, aby sme ich videli pod dostatočne veľkým zorným uhlom, používame lupu alebo mikroskop. Lupa (*jednoduchý drobnohľad*) je v podstate spojná šošovka, ktorej zobrazovacie chyby sú prípadne vo väčšej alebo menšej miere odstránené (lupa achromatická, aplanatická, anastigmatická).

Predmet kladieme do ohniskovej roviny lupy, ktorý lupa zobrazuje v nekonečne; oko ho potom vidí bez akomodácie.

Na hodnotenie „zväčšovacej schopnosti“ optických strojov používa sa tzv. *konvenčná očná vzdialenosť* $l = 25$ cm, vzdialenosť, v ktorej normálne oko vidí predmet ešte pohodlne, t. j. bez namáhavej akomodácie.

Drobný predmet dĺžky y vidí oko v konvenčnej očnej vzdialenosti pod zorným uhlom $u = \frac{y}{l}$. Pri pozorovaní lupou je zorný uhol $u' = \frac{y}{f}$ (obr. 12.3).

Lupou sa teda dosiahne uhlové zväčšenie

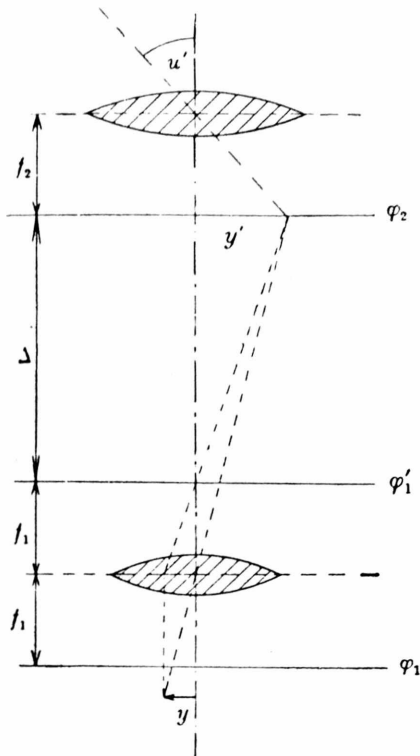
$$z = \frac{u'}{u} = \frac{l}{f} = Df \quad (1)$$

Predmet sa však môže dať aj bližšie k šošovke. Jeho obraz javí sa potom oku v konečnej vzdialenosti, napríklad práve v konvenčnej. Uhlové zväčšenie lupy je v tom prípade o niečo väčšie. Pretože $l = 0,25$ m, lupa zväčšuje, len keď má aspoň asi 4 dioptrie.

Mikroskop. Pomocou lupy dosiahne sa v najlepšom prípade zväčšenie len asi 30-násobné. Na pozorovanie veľmi drobných predmetov používa sa preto *zložený drobnohľad* čiže *mikroskop*. Skladá sa z dvoch priestorove od seba vzdialených spojných systémov, z *objektívu* (časť na strane predmetu) a *okuláru* (na strane oka).

Predmet sa kladiet niečo pred ohniskovú rovinu objektívu, ktorý vytvorí jeho reálny obraz v ohniskovej rovine okuláru (obr. 12.4). Tento obraz sa okulárom pozoruje ako lupa.

Zorný uhol predmetu dĺžky y pri pozorovaní neozbrojeným okom je $u = \frac{y}{l}$.



Obr. 12.4.

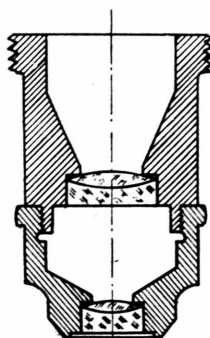
Objektív mikroskopu vytvorí jeho obraz dĺžky y' , pre ktorú podľa obr. 12.4 platí:

$$y' : \Delta = y : f_1$$

$$y' = \frac{\Delta \cdot y}{f_1}$$

Okulárom pozoruje sa tento obraz pod zorným uhlom

$$u' = \frac{y'}{f_2}$$



Obr. 12.5.

Mikroskopom docielené uhlové zväčšenie je teda

$$z = \frac{u'}{u} = \frac{y'}{f_2} : \frac{y}{l} = \frac{\Delta \cdot y}{f_1 f_2} \cdot \frac{l}{y} = \frac{\Delta}{f_1} \cdot \frac{l}{f_2} = z_1 z_2 \quad (2)$$

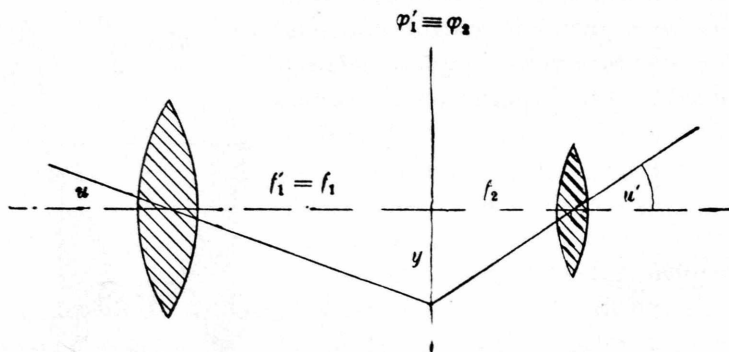
kde $z_1 = \frac{\Delta}{f_1}$ je lineárne zväčšenie objektívu a z_2 uhlové zväčšenie okuláru ako lupy. Mikroskopový objektív pre pozorovanie bez imerzie predstavuje v reze obr. 12.5. Pozorovaný predmet sa silne osvetľuje rozlične konštruovanými kondenzormi.

Ďalekohľady. Ďalekohľady delíme na *refraktory* a *reflektory*. Pri refraktore objektívom je aspoň achromatická spojná šošovka, ktorú pri reflektore nahradzuje duté zrkadlo. Obraz vytvorený objektívom v jeho ohniskovej rovine pozoruje sa okulárom ako lupou. Predmetová ohnisková rovina okuláru splýva pritom s obrazovou ohniskovou rovinou objektívu, takže optický interval ďalekohľadu sa rovná nule. Úbežnú rovinu zobrazuje ďalekohľad opäť v nekonečne. Zväčšujú sa však zorné uhly.

A. Najznámejší je ďalekohľad *hvezdársky* alebo *Keplerov*, ktorý sa okrem na pozorovanie astronomické používa aj pre účely laboratórne a na merania geodetické. Jeho schéma je na obr. 12.6. Podľa tohto obrázka ďalekohľadom docieľené uhlové zväčšenie je (pozri aj vzorec (3) čl. 11.9)

$$z = \frac{u'}{u} = \frac{y}{f_2} : \frac{y}{f_1} = \frac{f_1}{f_2} \quad (3)$$

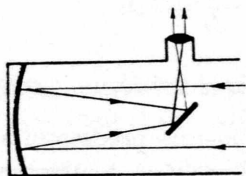
Tento vzorec platí aj pre všetky ostatné typy ďalekohľadov.



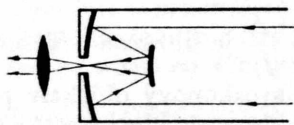
Obr. 12.6.

B. Schému *Newtonovho reflektoru* podáva obr. 12.7.

C. Pri *reflektore Cassegrainovom* objektív, vytvorený tiež dutým zrkadlom, je pre umiestnenie okuláru prevrtaný a svetelné lúče dostávajú sa do okuláru odrazom na vypuklom zrkadle uloženom v osi ďalekohľadu (obr. 12.8).



Obr. 12.7.



Obr. 12.8.

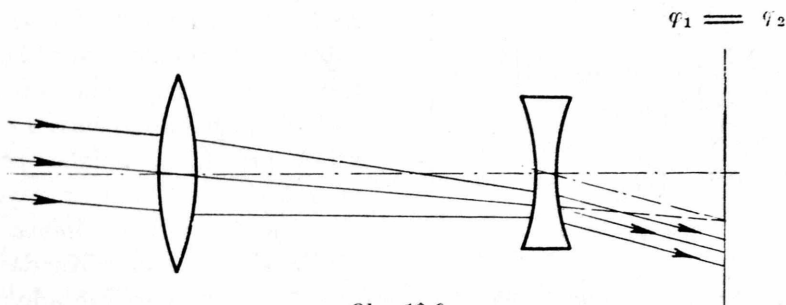
D. Všetky vyššie opísané ďalekohľady dávajú obrazy prevrátené. Vzpriamenie obrazu, potrebné na pozorovania pozemské, docieľuje sa rôznym spôsobom:

a) Pri *loveckých ďalekohľadoch*, ktoré sú zostrojené ináč ako ďalekohľad Keplerov, sa medzi objektív a odsunutý okulár vkladá spojný systém šošoviek, ktorý objektívom vytvorený reálny obraz zobrazuje ešte raz, pravda, v po-

lohe vzpriamenej. Normálny okulár spolu s prevracajúcim systémom predstavuje tzv. okulár *terestrický*.

b) Vzpriamenie obrazu pri *triedroch*, ďalekohľadoch binokulárnych, docieľuje sa pomocou dvojice totálne reflektujúcich hranolov.

c) Pri ďalekohľade *holandskom* alebo *Galileiho* sa vzpriamenie obrazu uskutočňuje tým, že sa pri ňom ako okuláru používa rozptylka. Pri tomto ďalekohľade, ktorého schému predstavuje *obr. 12.9*, obraz ostáva vzpriamený. Jeho nevýhodou je, že sa výstupná pupila (pozri čl. 12.3) nachádza vnútri prístroja a nemôže preto splývať so zorničkou oka. Následok toho je pomerne malá svetelnosť.



Obr. 12.9.

Okuláry. Ako okulár mohla by sa pri mikroskopoch aj ďalekohľadoch používať spojná šošovka alebo — za účelom odstránenia chýb — tesná kombinácia šošoviek. Takýto okulár zachytil by však len pomerne málo lúčov prichádzajúcich do objektívu. Jeho svetelnosť aj zorné pole by boli malé. Používajú sa preto okuláre, ktoré sú tvorené najčastejšie len dvoma šošovkami, avšak vo väčšej vzdialenosti od seba. Šošovka okuláru na strane objektívu sa volá *kolektív*, na strane oka je *očná šošovka*.

Vhodnou voľbou vzájomnej vzdialenosti obidvoch šošoviek, s ohľadom na ich ohniskové vzdialenosti f_1 a f_2 , môže sa súčasne odstrániť aj chromatická chyba. Podmienkou je, aby vzájomná vzdialenosť obidvoch šošoviek bola

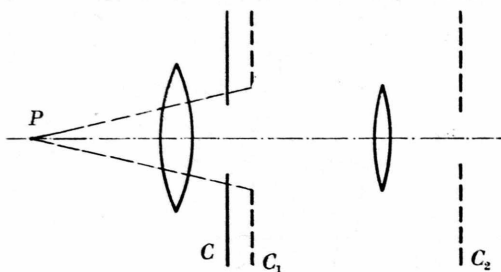
$$v = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

Podľa toho, či je výsledná predmetová ohnisková rovina okuláru medzi obidvoma šošovkami alebo pred kolektívom, máme *okulár Huygensov* ($f_1 = mf_2$, $m > 1$) alebo *Ramsdenov* ($f_1 = mf_2$, $m \leq 1$).

S fotografickým a projekčným prístrojom, keďže sú to zariadenia všeobecne známe a v svojej funkcii veľmi jednoduché, nebudeme sa zaoberať. Uspokojíme sa s pripomienkou, že požiadavky kladené na objektívy moderných foto-

grafických prístrojov sú veľmi značné. Pomerne veľmi dokonalý trojšošovkový fotografický objektív skonštruoval už r. 1840 slovenský matematik a optik, neskoršie profesor viedenskej techniky Jozef Maximilián Petzval. Používa sa po malých úpravách dodnes.

12.3. Vplyv cloniek na svetelnosť a kvalitu obrazu. Zväzok svetelných lúčov, vychádzajúcich z bodového svetelného zdroja na optickej osi zobrazovacieho zariadenia, býva niekedy aj úmyselne obmedzovaný *clonkami*, t. j. nepriehlad-



Obr. 12.10.

nými tenkými doskami s kruhovými otvormi. Ich stredy sa nachádzajú na optickej osi zobrazovacieho zariadenia a patria k nim aj obruby šošoviek a zrkadiel, napríklad obvod kruhového odrazového zrkadla zrkadlového galvanometra. Tá clonka, ktorá pri danej polohe predmetu zväzok svetelných lúčov najviac obmedzuje, nazýva sa *hlavná clonka*. Nájdem ju takto: Každá clonka rozdeľuje optické zariadenie na dve časti: na časť, ktorá sa vzhľadom na ňu nachádza proti chodu svetla, a na druhú časť (obr. 12.10). Nech C_1 je obrazom clonky C , vytvorený vstupnou časťou stroja pri opačnom chode svetla. C je potom obrazom C_1 pri skutočnom chode svetla. Každý svetelný lúč, ktorý prejde otvorom obrazu C_1 , prejde preto aj otvorom skutočnej clonky C a naopak. Hlavná je teda tá clonka, ktorej obraz, vytvorený vstupnou časťou prístroja pri opačnom chode svetla, sa z bodu P na osi zariadenia pozoruje pod najmenším zorným uhlom. Tento jej obraz sa volá *vstupná pupila*. Obraz vstupnej pupily vytvorený celým zobrazovacím zariadením nazýva sa *výstupná pupila*. Obrazy okulárov optických prístrojov sa zhotovujú tak, aby pri pozorovaní výstupná pupila splyvala so zorničkou oka.

Nech je jas plošného predmetu, na optickú os zobrazovacieho zariadenia kolmého, J_0 . Ak jeho vzdialenosť od vstupnej pupily je l a priemer vstupnej pupily je d , z plošky dS vstupuje do zobrazovacieho zariadenia svetelný tok $d\Phi = J_0 \omega dS = J_0 \frac{\pi d^2}{4l^2} dS$. Ak pritom bočné zväčšenie zariadenia prislú-

chajúce polohe predmetu je z , intenzita osvetlenia (stručne *svetelnosť*) zobrazovacím zariadením vytváraného obrazu je $E = \frac{d\Phi}{z^2 dS} = J_0 \frac{\pi d^2}{4l^2 z^2}$. Vo vzorci pre bočné zväčšenie $z = y'/y = -f/x$ v prípade, že zobrazovaný predmet je dosť ďaleko a — ako je to napríklad pri fotografických objektívoch — ohnis-