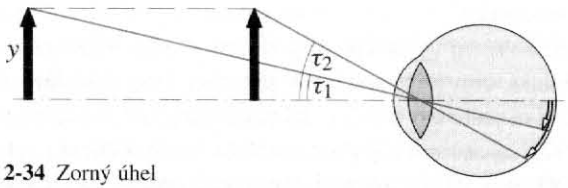
2.8 Lupa a mikroskop

Důležitou podmínkou zřetelného vidění je dostatečná velikost obrazu na sítnici, kterou určuje **zorný úhel** τ (obr. 2-34).



2-34 Zorný úhel

Zorný úhel svírají okrajové paprsky předmětu, které procházejí středem oční čočky.

Ze zkušenosti víme, že malý předmět vidíme lépe, když ho přiblížíme k oku a tím zvětšíme zorný úhel. To však má svoje meze a při pozorování velmi malých nebo velmi vzdálených předmětů zvětšujeme zorný úhel použitím optických přístrojů, jako je lupa, mikroskop nebo dalekohled.

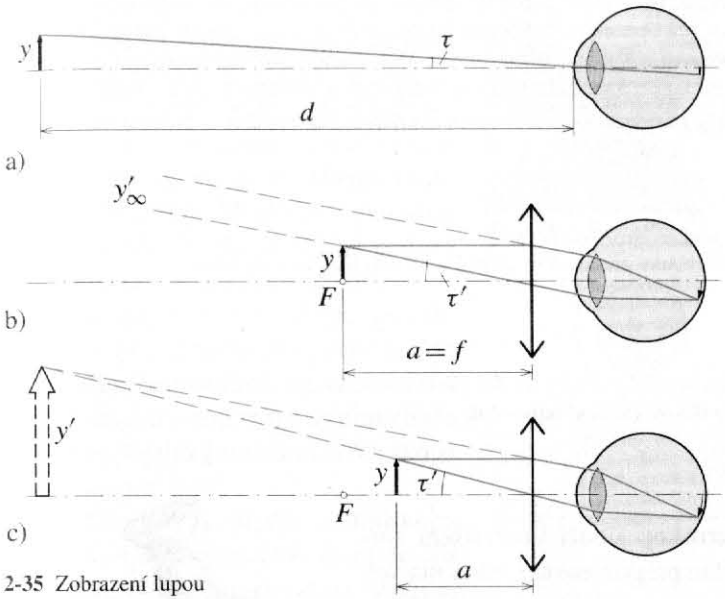
Pro lidské oko je charakteristická určitá hranice při rozlišování detailů na pozorovaném objektu. Tuto *rozlišovací schopnost oka* určuje nejmenší zorný úhel, při němž dva body ještě vnímáme odděleně. Jestliže se zorný úhel zmenší pod tuto hranici, splynou nám oba body a vnímáme bod jediný. Oko rozliší dva body, které vidí pod zorným úhlem $\tau \geq 1'$. Při $\tau < 1'$ body splývají. U předmětu v konvenční zrakové vzdálenosti tomu odpovídá vzájemná vzdálenost bodů 0,072 mm.

Předmět výšky y vidíme v konvenční zrakové vzdálenosti d pod zorným úhlem τ, pro který platí

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{y}{d}.$$

Při malých zorných úhlech je $\tau \approx \frac{y}{d}$.

Lupa Zvětšení zorného úhlu dosáhneme pomocí lupy, jejíž ohnisková vzdálenost f je obvykle menší než konvenční zraková vzdálenost d ($f < d$). Pozorovaný předmět umístíme do předmětového ohniska lupy, takže světelné paprsky jsou v obrazovém prostoru rovnoběžné a předmět pozorujeme okem bez akomodace, jako by předmět byl v nekonečnu (obr. 2-35b). Předmět vidíme pod zorným úhlem τ', pro který platí $\operatorname{tg} \tau' = \frac{y}{f}$, nebo při malých úhlech $\tau' \approx \frac{y}{f}$.



2-35 Zobrazení lupou

Zobrazení předmětu lupou charakterizuje **úhlové zvětšení** γ, které je definováno vztahem:

$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau},$$

Jestliže do tohoto vztahu dosadíme vztahy, které platí pro malé zorné úhly, dostaneme pro úhlové zvětšení lupou vztah

$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau} \approx \frac{y}{f} : \frac{y}{d} = \frac{d}{f},$$

čili

$$\gamma \approx 0{,}25\varphi,$$

kde φ je optická mohutnost lupy.

Jednoduchou spojkou můžeme dosáhnout jen poměrně malého zvětšení (přibližně 6krát). Při větším zvětšení se nepříznivě projevují vady čočky a je nutné použít soustavu čoček.

V praxi obvykle pozorujeme předmět lupou tak, že ho umístíme do vzdálenosti a, která je poněkud menší než ohnisková vzdálenost lupy ($a < f$). V tomto případě pozorujeme okem zdánlivý, vzpřímený a zvětšený obraz (obr. 2-35c). Jestliže zvolíme vzdálenost a předmětu tak, že obraz vznikne v konvenční zrakové vzdálenosti d, uvidíme ho pod zorným úhlem τ', pro který platí $\operatorname{tg}\tau' = \frac{y'}{d} = \frac{y}{a}$, a při malých zorných úhlech pro úhlové zvětšení lupy v tomto případě platí

$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau} \approx \frac{y}{a} : \frac{y}{d} = \frac{d}{a}.$$

Zobrazovací rovnici pro uvedený případ ($a' = -d$) napíšeme ve tvaru

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{d} = \frac{1}{f}.$$

Z rovnice najdeme $a = fd/(f + d)$, dosadíme do vztahu pro úhlové zvětšení γ a po úpravě dostaneme pro úhlové zvětšení lupy vztah

$$\gamma = \frac{d}{f} + 1.$$

Mikroskop slouží ke zvětšení zorného úhlu při pozorování velmi malých objektů, např. mikroorganizmů. V historii lidského poznání sehrál nesmírně

2-36 a) Hookeův mikroskop

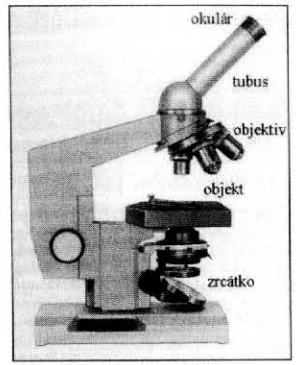
významnou úlohu tím, že umožnil člověku nahlédnout do oblastí, které jsou při pohledu pouhým okem nedostupné. Historie objevu mikroskopu je spjata s úsilím řady učenců 17. století. Největší zásluhu na tomto objevu mají Holanďané Z. JANSEN (1580–1638) a A. van LEEUWENHOEK (lévenhúk; 1632–1723) a anglický fyzik R. HOOKE (huk; 1635–1703). Hookeův mikroskop je na obr. 2-36a, současná podoba mikroskopu je na obr. 2-36b.

Konstrukci mikroskopu charakterizují dva základní optické prvky: **objektiv** (blíže pozorovanému předmětu – objektu) a **okulár** (blíže oku). Optická soustava mikroskopu je na obr. 2-37.

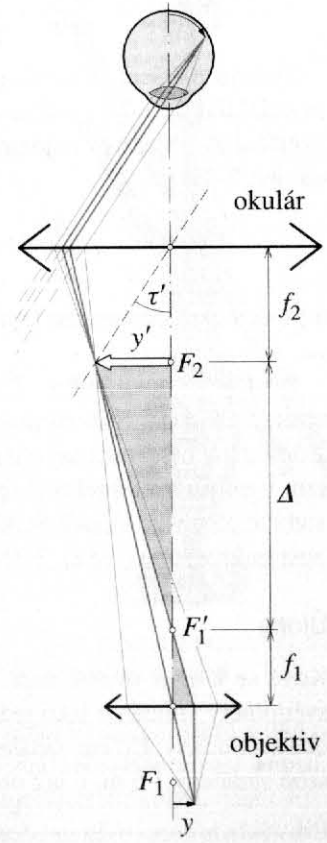
Objektiv i okulár mikroskopu jsou spojné soustavy, které se liší především ohniskovými vzdálenostmi. Objektiv má malou ohniskovou vzdálenost f_1 a předmět je umístěn v blízkosti ohniska objektivu. Na rozdíl od lupy ale tak, že $a > f$, a objektiv vytvoří skutečný, převrácený a zvětšený obraz y' v ohnisku okuláru.

Okulár má větší ohniskovou vzdálenost f_2 a je to vlastně lupa, kterou prohlížíme obraz vytvořený objektivem.

Z obr. 2-37 je patrné, že mezi obrazovým ohniskem F_1' objektivu a předmětovým ohniskem F_2 okuláru je určitá vzdálenost ($\Delta = F_1'F_2$), která se nazývá **optický interval**.



2-36 b) Současná podoba mikroskopu



2-37 Optická soustava mikroskopu

Pro úhlové zvětšení mikroskopu platí vztah:

$$\gamma = \frac{\Delta}{f_1}\frac{d}{f_2}$$

Odvození vztahu pro úhlové zvětšení mikroskopu:

Obraz zkoumaného objektu vytvořený objektivem má velikost y' a okulárem ho vidíme pod zorným úhlem $\tau' \approx \operatorname{tg} \tau' = y'/f_2$. Pouhým okem bychom zkoumaný objekt viděli v konvenční zrakové vzdálenosti d pod zorným úhlem $\tau \approx \operatorname{tg} \tau = y/d$. Pro úhlové zvětšení γ mikroskopu platí

$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau} \approx \frac{\operatorname{tg} \tau'}{\operatorname{tg} \tau} = \frac{y'}{f_2} : \frac{y}{d} = \frac{y'}{y}\frac{d}{f_2}.$$

Úhlové zvětšení mikroskopu je tedy dáno součinem příčného zvětšení objektivu $Z_1 = y'/y$ a úhlového zvětšení okuláru $\gamma_2 = d/f_2$. Pro příčné zvětšení Z_1 objektivu najdeme z podobnosti vybarvených trojúhelníků na obr. 2-37

$$|Z_1| = \frac{y'}{y} = \frac{\Delta}{f_1}$$

a po dosazení dostaneme konečný vztah pro úhlové zvětšení mikroskopu.

Praktická poznámka U běžných mikroskopů se dosahuje zvětšení až 1 000krát. Speciálním mikroskopem lze dosáhnout zvětšení až 2 000krát, což je také největší možné zvětšení optickým mikroskopem, tzn. v oboru světelného vlnění. Další zvětšení již není možné, poněvadž se projevuje vlnová povaha světla, která omezuje rozlišovací schopnost mikroskopu (viz čl. 3.3).

Úlohy

1 Když se k nám ve tmě např. po dálnici blíží automobil, nejdříve jeho světlomety vnímáme jako jediný bod. Teprve po přiblížení pozorujeme oba světlomety. Určete vzdálenost automobilu, jehož světlomety jsou od sebe vzdáleny 1,6 m, v níž oba světlomety rozlišíme. (1 rad = 3 440′)

2 Při výkladu lupy bylo uvedeno, že se dosahuje nejvýše zvětšení 6krát. Určete ohniskovou vzdálenost této lupy a její optickou mohutnost.

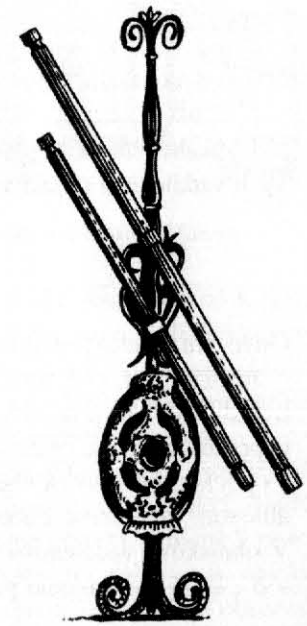
3 Navrhněte jednoduchý postup přibližného určení úhlového zvětšení lupy a experimentálně ho ověřte.

4 Krátkozraký člověk (bez brýlí) a dalekozraký člověk drží lupu při prohlížení objektu v různých vzdálenostech od něho. Který ji drží v menší vzdálenosti? Odpověď zdůvodněte.

5 Školní mikroskop má následující parametry: zvětšení objektivu 50, zvětšení okuláru 10, optický interval 160 mm. Určete a) celkové zvětšení mikroskopu, b) ohniskovou vzdálenost objektivu, c) ohniskovou vzdálenost okuláru.

2.9 Dalekohled

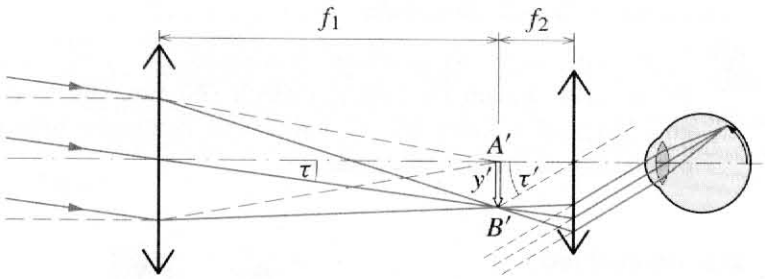
Zvětšení zorného úhlu vyžaduje také pozorování velmi vzdálených objektů, např. Měsíce, hvězd a planet na obloze, ale i objektů na zemi, např. při mořeplavbě, ve vojenství atd. Proto se nelze divit, že pokrok ve výrobě čoček vyústil přibližně ve stejné době jak v konstrukci mikroskopu, tak dalekohledu. Jeho vynález se pojí zejména se jmény Galilea Galileiho a německého astronoma Jana Keplera (1571–1630). Galilei použil poprvé dalekohled vlastní konstrukce (obr. 2-38) pro astronomická pozorování. Poněkud odlišná byla konstrukce Keplerova dalekohledu z roku 1611. Na optické soustavě tohoto přístroje si objasníme základní funkci dalekohledu



2-38 Dalekohled Galilea Galileiho z počátku 17. století

Keplerův dalekohled se skládá z objektivu o poměrně velké ohniskové vzdálenosti f_1 a okuláru, který má podstatně menší ohniskovou vzdálenost f_2. Pro polohu ohnisek objektivu a okuláru platí: $F_1' = F_2$. Poněvadž je pozorovaný předmět velmi daleko, vstupuje objektivem do dalekohledu svazek rovnoběžných paprsků a v obrazovém ohnisku

objektivu vzniká obraz y' (obr. 2-39). Ten pozorujeme okulárem pod zvětšeným zorným úhlem τ'. Okulár je nastaven tak, že z něho vystupuje svazek rovnoběžných paprsků, takže obraz y' pozorujeme při minimální akomodaci oka.



2-39 Optická soustava Keplerova dalekohledu

Úhlové zvětšení Keplerova dalekohledu je dáno poměrem ohniskových vzdáleností objektivu a okuláru:

$$\gamma = \frac{f_1}{f_2}$$

Odvození vztahu pro úhlové zvětšení Keplerova dalekohledu:

Jestliže např. pozorujeme dalekohledem na noční obloze dvě blízké hvězdy, přicházejí do objektivu dalekohledu dva svazky rovnoběžných paprsků. Jeden má směr optické osy objektivu a druhý svazek paprsků s optickou osou svírá úhel τ (viz obr. 2-39). Úhel τ tedy představuje úhlovou vzdálenost obou objektů při pozorování bez dalekohledu. V ohniskové vzdálenosti objektivu tomu odpovídají obrazy hvězd A' a B', které pozorujeme pod zvětšeným úhlem τ'. Jestliže jsou úhly τ a τ' malé, najdeme pro ně podle obr. 2-39 vztahy $\tau = \frac{y'}{f_1}$ a $\tau' = \frac{y'}{f_2}$. Pro úhlové zvětšení dalekohledu pak platí

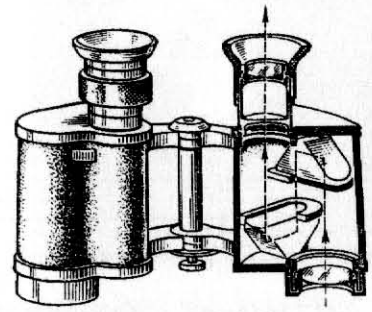
$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau} = \frac{y'}{f_2} : \frac{y'}{f_1} = \frac{f_1}{f_2}.$$

Jak vyplývá z chodu paprsků na obr. 2-39, vidíme okulárem Keplerova dalekohledu sledovaný objekt převrácený. Při astronomickém pozorování to nevadí, ale pro pozorování pozemských objektů je třeba

Keplerův dalekohled upravit, abychom v okuláru viděli sledovaný objekt ve vzpřímené poloze.

Dalekohled, který splňuje tento požadavek, se nazývá **triedr** (obr. 2-40). Konstrukční řešení triedru spočívá v tom, že se za objektiv triedru umístí dvojice odrazných hranolů, pomocí nichž se chod paprsků změní tak, že obraz vytvořený objektivem je vzpřímený (obr. 2-41). Současně se dalekohled celkově zkrátí.

2-40 Triedr



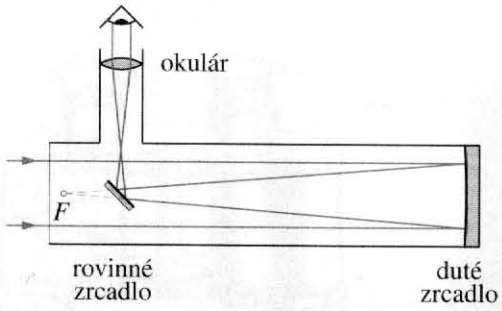
2-41 Odrazné hranoly v triedru

Výhodou Keplerova dalekohledu je, že do roviny kolmé k optické ose v obrazovém ohnisku objektivu lze umístit např. průhlednou destičku s vyrytou stupnicí, popř. s jinými značkami, které pak okulárem vidíme současně s pozorovaným objektem. To má význam zejména v případech, kdy dalekohled používáme k měřicím účelům.

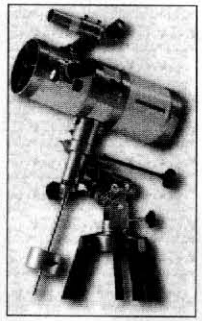
Dalekohledy, u nichž se jako objektiv používají čočky, jsou *refraktory*, poněvadž se zde využívá zobrazení lomem, čili refrakcí. Astronomickými dalekohledy se pozorují vesmírné objekty, z nichž k pozorovateli přichází velmi málo světla. Proto by měly mít objektivy dalekohledů co největší průměr. Např. největší refraktor na observatoři Yerkes v USA má objektiv o průměru 102 cm a ohniskovou vzdálenost 19,8 m. Zvětšování rozměrů refraktorů má i další omezení, takže se dnes používají jen pro méně náročná astronomická pozorování.

K vědeckým účelům v astronomii slouží především zrcadlové dalekohledy, v nichž se k optickému zobrazení využívá odraz světla. Proto se označuje tento typ dalekohledu jako *reflektor*. Objektivem je duté zrcadlo velkých rozměrů, které není kulové, ale má tvar rotačního paraboloidu.

Chod paprsků v zrcadlovém dalekohledu je patrný z obr. 2-42. Rovnoběžné paprsky přicházející ze vzdálené hvězdy jsou dutým zrcadlem soustředěny do ohniska F zrcadla. Aby bylo možné obraz hvězdy pozorovat, jsou paprsky odchýleny rovinným zrcadlem mimo tubus dalekohledu, kde je umístěn okulár, popř. je tam citlivá kamera se snímačem CCD, která obraz převede do elektronické podoby. Malý zrcadlový dalekohled pro amatérská pozorování okem je na obr. 2-43.

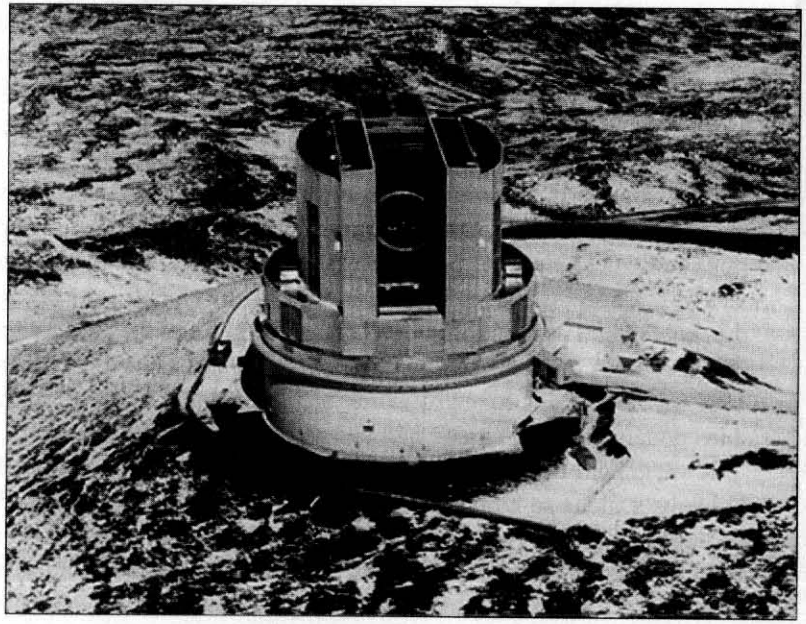


2-42 Chod paprsků v zrcadlovém dalekohledu



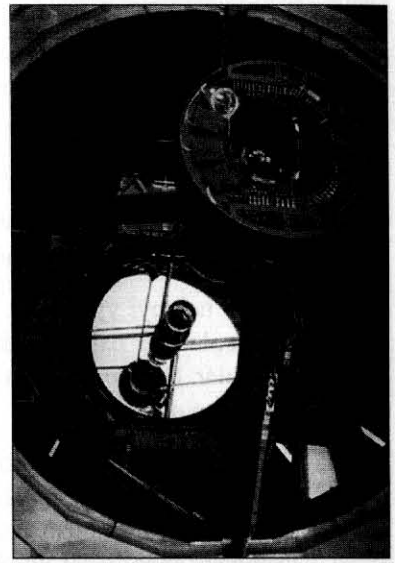
2-43 Zrcadlový dalekohled pro amatérská astronomická pozorování

2-44 a) Zrcadlový dalekohled SUBARU



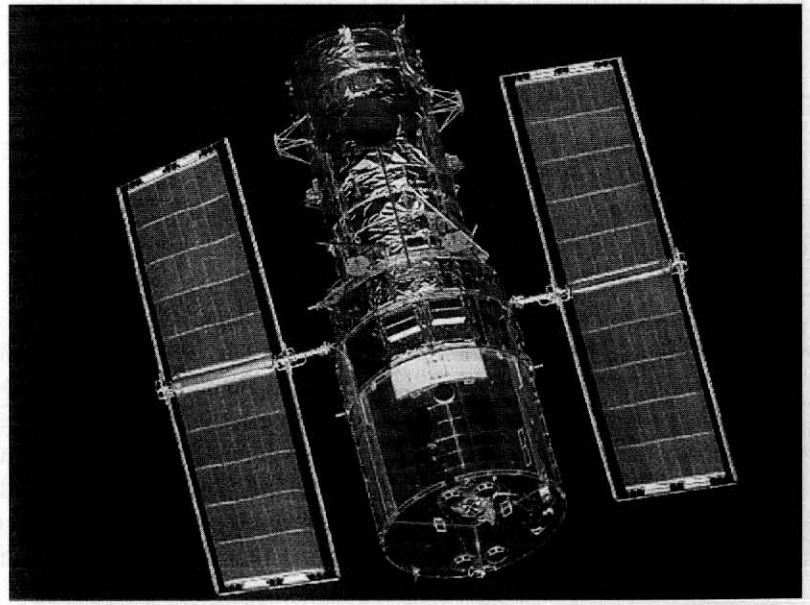
Zrcadla reflektorů na astronomických observatořích mají průměr i několik metrů. Největší zrcadlový dalekohled SUBARU byl vyroben v Japonsku a je v provozu od roku 1999 na observatoři Mauna Kea (Havaj) ve výšce 4 200 m. Jeho zrcadlo má průměr 8,2 m, ohniskovou vzdálenost 15 m a hmotnost 22,8 t (obr. 2-44a,b).

Mezi zrcadlové dalekohledy patří i Hubbleův dalekohled (obr. 2-45), který se od roku 1990 pohybuje ve vzdálenosti přibližně 600 km nad povrchem Země. Jeho zrcadlo má ve srovnání s pozemskými dalekohledy menší průměr (2,4 m). Poněvadž však



2-44 b) Detail dalekohledu Subaru

2-45 Hubbleův dalekohled



světlo vesmírných objektů není pohlcováno ovzduším, jsou výsledky pozorování tímto dalekohledem srovnatelné s pozemským dalekohledem, jehož zrcadlo by mělo průměr 10 m.

Úlohy

1 Uvažte, proč jsou pro astronomická pozorování potřebné dalekohledy s tak velkým průměrem objektivu.

2 Dříve než byl vynalezen triedr, používala se k převrácení obrazu v Keplerově dalekohledu třetí spojka umístěná mezi objektiv a okulár. Uvažte, jak byla spojka umístěna, a načrtněte chod paprsků tímto dalekohledem.

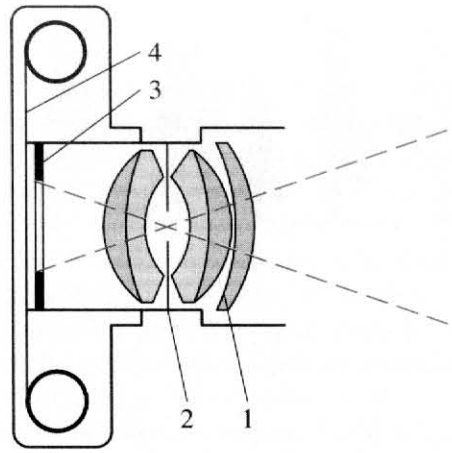
3 Galilei používal k astronomickým pozorováním tzv. holandský typ dalekohledu, který se od Keplerova dalekohledu liší tím, že je ve funkci okuláru použita rozptylka. Tento typ dalekohledu se dnes používá např. jako divadelní kukátko, poněvadž je v něm při malých rozměrech nepřevrácený obraz. Nakreslete chod paprsků tímto dalekohledem. Pomůcka: Obraz vytvořený objektivem je ve zdánlivém předmětovém ohnisku rozptylky.

4 Keplerův dalekohled má objektiv o ohniskové vzdálenosti 1,2 m a okulár má optickou mohutnost 20 D. a) Jaké je zvětšení dalekohledu? b) Jaká je celková délka dalekohledu?

5 Proč jsou observatoře s největšími zrcadlovými dalekohledy na vrcholcích vysokých hor?

2.10 Snímací a projekční přístroje

Snímací přístroje, s nimž přicházíme nejčastěji do styku, jsou *fotografický přístroj* a *videokamera*. Nosičem záznamu je buď film, nebo se obraz pomocí snímače CCD převádí na elektrický signál, který se zaznamená na magnetický nosič (kazeta s páskem nebo magnetický disk, popř. karta). Princip snímacího přístroje ukážeme na příkladu fotografického přístroje jednoduché konstrukce (obr. 2-46). Jeho nejdůležitější součástí je **objektiv**, který vytváří obraz na světlocitlivé vrstvě filmu.



2-46 Fotografický přístroj (1 – objektiv, 2 – clona, 3 – závěrka, 4 – film)

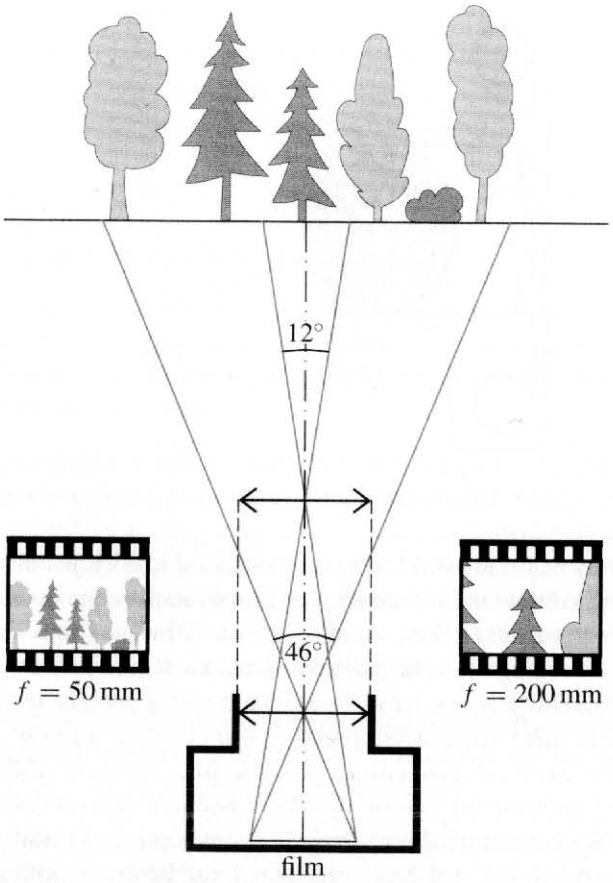
Aby na filmu vznikl snímek požadované kvality, je třeba zajistit osvit filmu světlem určité intenzity po přesně stanovenou dobu. K nastavení požadovaných hodnot v závislosti na citlivosti filmu slouží *závěrka* a *clona* fotografického přístroje. Závěrka se po stisknutí spouště fotografického přístroje na určitou dobu otevře a probíhá osvit filmu. Clonou se mění velikost vstupního otvoru přístroje, a tím se řídí osvětlení filmu. Moderní fotografické přístroje jsou vybaveny čidlem osvětlení, které automaticky nastaví optimální hodnotu clony a doby osvitu.

Objektiv snímacího přístroje je spojná optická soustava, kterou charakterizují dvě veličiny: ohnisková vzdálenost a světelnost. Obraz vytvořený objektivem je skutečný, převrácený a zmenšený.

Kvalita obrazu vytvořeného objektivem je ovlivněna vadami optické soustavy. Aby byl vliv těchto vad odstraněn, je objektiv složen z několika spojek a rozptylek, zhotovených ze skla o různém indexu lomu.

Ohnisková vzdálenost objektivu je udávána v milimetrech a bývá vyznačena na obrubě objektivu. Její velikost rozhoduje o úhlu, který vymezují krajní paprsky přicházející ze snímaného objektu (*úhel záběru* – obr. 2-47). Čím kratší je ohnisková vzdálenost, tím větší je úhel záběru, a tedy i šířka prostoru, který na snímku objektivem zobrazíme.

Objektiv, který snímá objekt pod úhlem přibližně stejné velikosti, pod jakým vidí skutečnost lidské oko, se nazývá **normální objektiv**. V současné době se nejvíce používají fotografické přístroje na perforo-



2-47 Úhel záběru snímacího objektivu

vaný film šíře 35 mm (kinofilm) a obraz vytvořený objektivem má rozměr 24 mm × 36 mm. Tomu odpovídá normální objektiv o ohniskové vzdálenosti f_n = 50 mm, který má úhel záběru 46°.

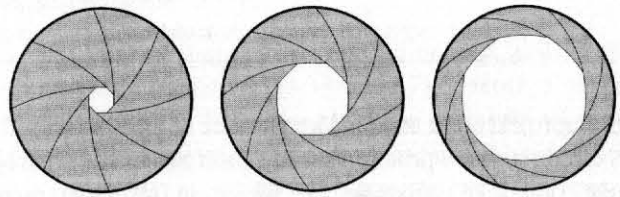
Objektiv s kratší ohniskovou vzdáleností má úhel záběru větší. Proto se nazývá **širokoúhlý objektiv**. U fotografických přístrojů na kinofilm tuto funkci plní objektiv s ohniskovou vzdáleností 35 mm. Používá se při fotografování větších celků, architektury, při fotografování na malou vzdálenost apod.

Objektiv s delší ohniskovou vzdáleností a s menším úhlem záběru je **teleobjektiv**. Např. při ohniskové vzdálenosti 200 mm má teleobjektiv úhel záběru jen 12° a používá se ke snímání detailů z větší vzdálenosti.

Kromě objektivů se stálou ohniskovou vzdáleností se u snímacích optických přístrojů, zejména u videokamer, používají objektivy s měnitelnou ohniskovou vzdáleností – **transfokátory**, označované také termínem *zoom*. Např. transfokátor s označením zoom 85/200 mm umožňuje měnit plynule ohniskovou vzdálenost od 85 mm do 200 mm, a tím i úhel záběru od celkového pohledu až na detail. Plynulé změny ohniskové vzdálenosti transfokátoru se dosahuje změnou polohy jedné z čoček složeného objektivu. Požadavkem je, aby ostrý obraz vznikal vždy ve stejné vzdálenosti od objektivu a nebylo nutné při každé změně ohniskové vzdálenosti znovu zaostřovat obraz.

Světelnost objektivu rozhoduje o toku světla, které prochází objektivem na citlivou vrstvu filmu. Čím má objektiv větší světelnost, tím více světla dopadá na film a to umožňuje např. zhotovit fotografický snímek i za horších světelných podmínek. Světelnost objektivu souvisí s průměrem vstupního otvoru objektivu. Čím je při dané ohniskové vzdálenosti tento průměr větší, tím větší je světelnost objektivu.

Kvantitativně se světelnost objektivu vyjadřuje *clonovým číslem z*, které je definováno podílem $z = f/d$, kde f je ohnisková vzdálenost objektivu a d je průměr vstupního otvoru. Čím větší je clonové číslo, tím menší je průměr vstupního otvoru objektivu a tím méně světla objektivem prochází. U fotografických objektivů je průměr d měnitelný pomocí clony, která je obvykle konstrukční částí objektivu. Používají se tzv. irisové clony tvořené soustavou segmentů, které se překrývají a lze jimi omezit velikost vstupního otvoru objektivu (obr. 2-48).



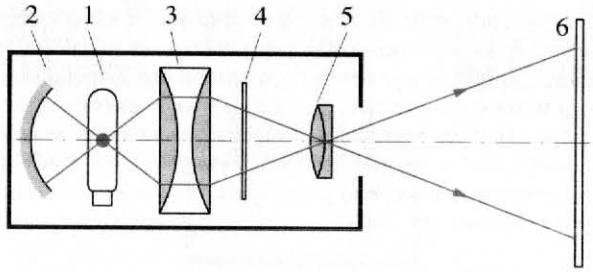
2-48 Irisová clona

Clonové číslo také ovlivňuje *hloubku ostrosti* zobrazení, tzn. schopnost objektivu zobrazit ostře předměty v různých vzdálenostech od objektivu. Neostrost je způsobena tím, že vzdálenost filmu od objektivu je konstantní a paprsky vycházející z bodů v různých vzdálenostech se protínají před rovinou filmu i za ní. Na filmu tak místo bodů vznikají plošky, které jsou tím větší, čím větší je průměr vstupní plochy objektivu, a tedy čím menší je clonové číslo.

Na hloubku ostrosti má také vliv ohnisková vzdálenost objektivu. Čím je ohnisková vzdálenost větší, tím menší je hloubka ostrosti. To je třeba vzít v úvahu zejména při použití transfokátoru. Citlivost současných fotografických materiálů, a zejména fotoelektrických snímačů v kamerách umožňuje zvětšit clonové číslo objektivu, a tím i hloubku ostrosti.

Projekční přístroj se z hlediska optického zobrazení liší od snímacího přístroje především tím, že předmětem je obrazová předloha malých rozměrů (např. diapozitiv) a na projekční ploše vzniká její skutečný, převrácený a zvětšený obraz.

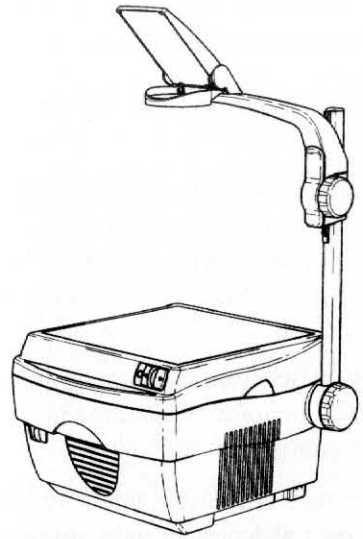
Nejstarším typem projekčního přístroje je *diaprojektor*. Jeho princip je patrný z obr. 2-49. Zdrojem světla je *projekční žárovka* (dnes obvykle výkonná halogenová žárovka na malé elektrické napětí). Světlo, které ze žárovky vychází opačným směrem, odráží duté zrcadlo, a tím se zmenšují ztráty světla. Rozbíhavý svazek paprsků ze zdroje světla usměrňuje *kondenzor* tvořený dvojicí ploskovypuklých čoček. Promítaným předmětem je v diaprojektoru snímek na průsvitném *diapozitivu*. Ten je *objektivem* zobrazen na *projekční ploše*.



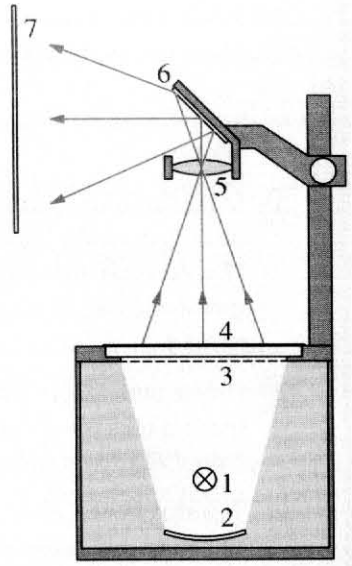
2-49 Chod světelných paprsků diaprojektorem (1 – projekční žárovka, 2 – zrcadlo, 3 – kondenzor, 4 – diapozitiv, 5 – objektiv, 6 – projekční plocha)

S diaprojektorem uvedené konstrukce se sice již příliš často nesetkáme, ale na stejném principu pracují další projekční přístroje, které mají široké praktické uplatnění. Ve škole je to např. *zpětný projektor* (obr. 2-50), který se používá k projekci textu nebo vyobrazení na průhledných fóliích většího rozměru. Chod světla ve zpětném projektoru je patrný z obr. 2-51.

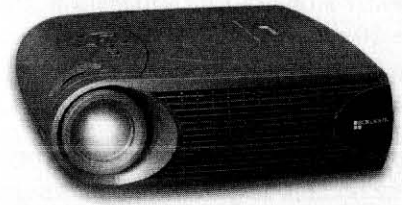
Moderní projekční přístroje jsou konstruovány tak, že je lze spojit jednak s počítačem (*dataprojektor* – obr. 2-52), jednak s videorekordérem (*videoprojektor*). Těmito přístroji se promítají na projekční plochu větších rozměrů obrazy připravené počítačovým programem nebo



2-50 Zpětný projektor



2-51 Chod paprsků zpětným projektorem (1 – projekční žárovka, 2 – zrcadlo, 3 – kondenzor, 4 – obraz na průhledné fólii, 5 – objektiv, 6 – zrcadlo, 7 – projekční plocha)



2-52 Dataprojektor

videozáznam. Funkci diapozitivu má miniaturní průsvitný panel s kapalnými krystaly (panel LCD – viz čl. 3.7), v němž je obraz vytvářen elektronickou cestou. Projektor obsahuje nejčastěji tři samostatné panely LCD. Světlo z projekční žárovky je zvláštními optickými prvky rozděleno do tří svazků paprsků v základních barvách (červená, zelená, modrá – systém RGB – viz čl. 1.6) a jejich průchodem přes panely LCD se získají tři barevné složky výsledného obrazu. Pak jsou barevné složky spojeny do jednoho svazku paprsků a objektivem jsou promítnuty na projekční plochu.

Aktivní plochu panelu LCD tvoří matice obrazových bodů (*pixelů*), jejichž počet určuje tzv. *rozlišení* panelu dané počtem obrazových bodů v řádku × počet řádků. Např. dataprojektor na obr. 2-52 má rozlišení

800 × 600 obrazových bodů, tzn. celkem $4{,}8 \cdot 10^5$ pixelů. Čím je rozlišení větší, tím kvalitnější je zobrazení na projekční ploše.

Úlohy

1 V jaké nejmenší vzdálenosti od objektivu fotografického přístroje musí být osoba vysoká 1,8 m, aby se normálním objektivem ($f = 50$ mm) zobrazila na políčku kinofilmu celá postava? (Fotografujeme na šířku, tzn. delší strana obrazového políčka je vodorovná.)

2 Určete úhel záběru fotografického přístroje se širokoúhlým objektivem o ohniskové vzdálenosti 25 mm. Při výpočtu uvažujte délku úhlopříčky obrazového políčka kinofilmu.

3 Transfokátorem je ze vzdálenosti 2 m snímána titulní strana této učebnice. Na jakou ohniskovou vzdálenost je třeba transfokátor nastavit? (Obrazové políčko je stejné jako u kinofilmu; fotografujeme na výšku, tzn. maximální výška obrazu je 36 mm.)

4 Zpětný projektor má objektiv s ohniskovou vzdáleností 250 mm a jeho pracovní plocha je 20 cm × 20 cm. V jaké vzdálenosti od projekční plochy musíme přístroj umístit, aby se předloha o rozměru pracovní plochy zobrazila na projekční ploše o šířce 1 m?

5 Dataprojektor má jako objektiv transfokátor s rozsahem ohniskových vzdáleností 50 mm až 66 mm. Jestliže byla ohnisková vzdálenost objektivu nastavena na jednu z krajních hodnot, měl obraz na projekční ploše ve vzdálenosti 1,5 m od projektoru nejmenší velikost a jeho šířka byla 1,2 m. a) Na jakou ohniskovou vzdálenost byl objektiv nastaven? b) Jaká byla šířka obrazu, když byl objektiv nastaven na druhou krajní ohniskovou vzdálenost?

Shrnutí učiva 2. kapitoly

Optické zobrazení se uskutečňuje optickými soustavami. Obraz vzniká změnou chodu světelných paprsků v optické soustavě. V průsečíku paprsků po průchodu optickou soustavou vzniká obraz, který je:

skutečný, když se paprsky skutečně protínají,

zdánlivý, když se paprsky protínají zdánlivě (při zpětném prodloužení).

Základní druhy optického zobrazení

1. **Zobrazení odrazem světla**

a) Zobrazení rovinným zrcadlem

Obraz vytvořený rovinným zrcadlem je vždy zdánlivý, vzpřímený, stejně veliký jako předmět a souměrný s předmětem podle roviny zrcadla.

b) Zobrazení kulovým zrcadlem

Ohnisková vzdálenost kulového zrcadla:

$$f = \frac{r}{2}$$

Ohnisková vzdálenost dutého zrcadla je kladná, vypuklého záporná.

Při konstrukci obrazu vytvořeného dutým zrcadlem využíváme tři význačné paprsky:

1. Paprsek procházející středem křivosti zrcadla – od zrcadla se odráží zpět do středu křivosti zrcadla.

2. Paprsek rovnoběžný s optickou osou – od zrcadla se odráží do ohniska zrcadla.

3. Paprsek procházející ohniskem zrcadla – od zrcadla se odráží rovnoběžně s optickou osou.

2. **Zobrazení lomem světla**

Pro optickou mohutnost φ, popř. ohniskovou vzdálenost f tenké čočky platí vztah

$$\varphi = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right).$$

Jednotka optické mohutnosti φ čočky je dioptrie, značka D.

$[\varphi] = \mathrm{D} = \mathrm{m}^{-1}$

Při konstrukci obrazu vytvořeného čočkou využíváme tři význačné paprsky:

1. Paprsek procházející optickým středem čočky se neláme.
2. Paprsek rovnoběžný s optickou osou se láme do obrazového ohniska čočky.
3. Paprsek procházející předmětovým ohniskem čočky se láme do směru rovnoběžného s optickou osou.

Zobrazovací rovnice tenké čočky (nebo také kulového zrcadla):

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$$

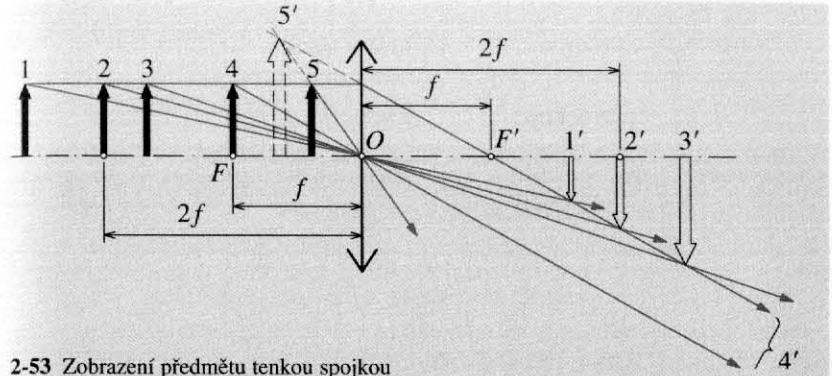
Příčné zvětšení (měřítko optického zobrazení):

$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a} = -\frac{a'-f}{f} = -\frac{f}{a-f}$$

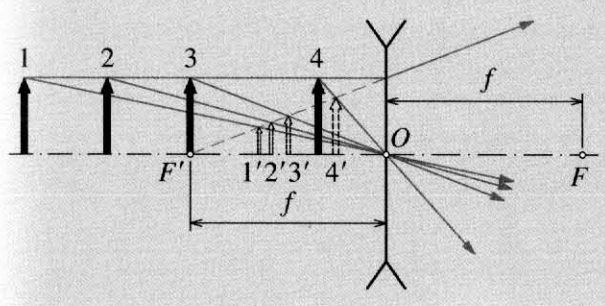
Tabulka 2.1

Zobrazení dutým zrcadlem ($r = 2f$) a spojkou ($f > 0$)			
	Vzdálenost		Velikost obrazu
	předmětu	obrazu	
1	$a > 2f$	$2f > a' > f$	$\lvert y'\rvert < \lvert y\rvert$
2	$a = 2f$	$a' = 2f$	$\lvert y'\rvert = \lvert y\rvert$
3	$2f > a > f$	$a' > 2f$	$\lvert y'\rvert > \lvert y\rvert$
4	$a = f$	$a' \to \infty$	$\lvert y'\rvert \to \infty$
5	$a < f$	$a' < 0$	$\lvert y'\rvert > \lvert y\rvert$
Zobrazení vypuklým zrcadlem a rozptylkou ($f < 0$)			
6	$\infty > a > 0$	$a' < 0$	$\lvert y'\rvert < \lvert y\rvert$

1 až 3 obraz převrácený a skutečný
5, 6 obraz vzpřímený a zdánlivý



2-53 Zobrazení předmětu tenkou spojkou



2-54 Zobrazení předmětu tenkou rozptylkou

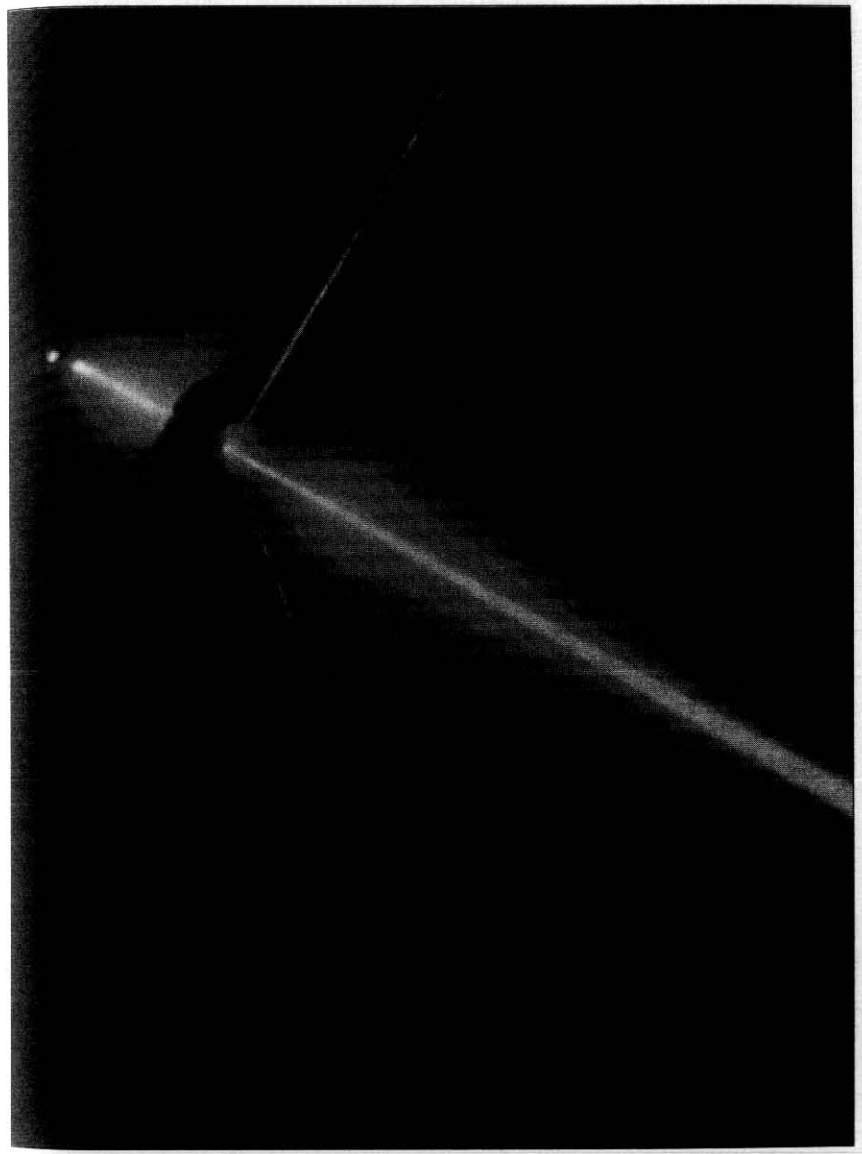
Oko

- vytváří zmenšený, převrácený a skutečný obraz na sítnici,
- akomodací oka se uskutečňuje zaostření oka na předměty v různých vzdálenostech od oka, – normální oko má daleký bod v nekonečnu a blízký bod přibližně ve vzdálenosti 15 cm,
- konvenční zraková vzdálenost $d = 25$ cm,
- k opravě vidění krátkozrakého oka se používá rozptylka, u dalekozrakého oka spojka.

Optické přístroje

Přístroj	Úhlové zvětšení
lupa	$\gamma \approx \frac{d}{f} = 0{,}25\varphi$

Přístroj	Úhlové zvětšení
mikroskop	$\gamma = \frac{\Delta}{f_1}\frac{d}{f_2}$
dalekohled	$\gamma = \frac{f_1}{f_2}$

Fotografický přístroj (na kinofilm, obraz 24 mm × 36 mm)
Vlastnosti objektivu určuje ohnisková vzdálenost a světelnost objektivu.
Objektiv: normální (f_n = 50 mm)
širokoúhlý ($f < f_n$), teleobjektiv ($f > f_n$)
transfokátor ($f_{min} < f_n < f_{max}$)
Projekční přístroj – diaprojektor, zpětný projektor, dataprojektor (videoprojektor).

3 VLNOVÁ OPTIKA