

17 Optika

V tejto časti sa budeme zaoberať šírením svetla v optických sústavách. Svetlo je elektromagnetické žiarenie, ktorého spektrum zahrňuje veľmi širokú oblasť vlnových dĺžok od γ -žiarenia až po rozhlasové vlny. V oblasti vlnových dĺžok meraných vo vákuu od 100 nm až k 1 mm označujeme elektromagnetické žiarenie ako optické žiarenie. Krátkovlnnú časť tejto oblasti (od 100 nm do 380 nm) voláme ultrafialovým žiarením (UV), dlhovlnnú oblasť (od 780 nm do 1 mm) infračerveným žiarením (IR). Oko je citlivé len na úzky interval vlnových dĺžok od 380 nm do 780 nm . Elektromagnetické žiarenie v tejto oblasti voláme viditeľným svetlom.

Šírenie elektromagnetického žiarenia popisujeme pomocou vlnovej rovnice, ktorej riešenie sú vlny šíriace sa v priestore. Najjednoduchší prípad je postupná vlna v smere osi x : $y(x, t) = A \sin[2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} + \varphi)]$, kde A je amplitúda, T perióda, λ vlnová dĺžka, $v = \lambda/T$ rýchlosť a φ je fáza vlny. Pre jednoduchšie pochopenie šírenia sa vlnenia v priestore ho popisujeme pomocou **vlnoplôch**. Vlnoplochou rozumieme geometrický útvar bodov daného vlnenia, ktoré majú rovnakú fázu. Šírenie vlnoplôch v priestore sa riadi **Huygensovým¹ princípom: Každý bod vlnoplochy predstavuje nový zdroj vlnenia, z ktorého vychádzajú elementárne guľové plochy, ktoré keď poskladáme, dostaneme novú posunutú vlnoplochu.** V našom prípade sa budeme zaoberať len rovinnými vlnoplochami.

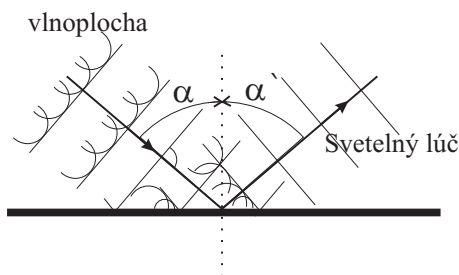
Veľmi dôležitým parametrom pri charakteristike optického prostredia je **index lomu**. Index lomu závisí od vlnovej dĺžky svetla. Pre svetlo určitej vlnovej dĺžky λ definujeme index lomu n ako **pomer rýchlosti svetla vo**

¹CHRISTIAN HUYGENS (1629–1695) holandský matematik a fyzik, zakladateľ vlnovej optiky. Pozoroval planéty pomocou vlastného ďalekohľadu. V roku 1690 vydal v Leidene *Traité de la lumière*, kde v 6 kapitolách podal úvahy o podstate svetla.

vákuu c k rýchlosti svetla v_λ v danom prostredí:

$$n = \frac{c}{v_\lambda}. \quad (17.1)$$

Podľa toho, ako sa index lomu v prostredí mení, rozdeľujeme prostredia na niekoľko skupín: rovnorodé (izotropné), nerovnorodé a anizotropne prostredie. Keď máme dve prostredia s rôznym indexom lomu, prostredie s menším indexom lomu nazývame **opticky redšie** prostredie a prostredie s väčším indexom lomu ako **opticky hustejšie** prostredie.



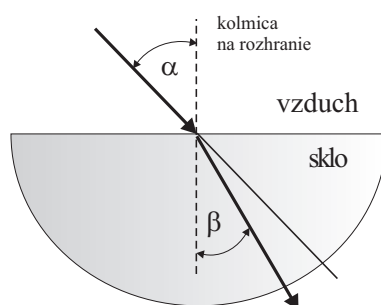
Obrázok 17.1: Odraz vlnoplochy - svetelného lúča od zrkadla.

Pomocou obrázku 17.1 si vysvetlíme odraz rovinatej vlnoplochy od rovinného zrkadla pomocou Huygensovho princípu. Na obrázku je znázornená rovinná vlnoplocha, ktorá dopadá šikmo na rovinné zrkadlo pod uhlom α od kolmice. Po dopade tejto vlny na zrkadlo nastáva odraz daného vlnenia. Vlnoplochu odrážajúceho sa rovinného vlnenia môžeme rozdeliť na dve časti, jedna časť vlnoplochy už dopadla na zrkadlo, kým druhá časť je ešte v priestore pred ním. Tá časť, čo už dopadla, sa správa ako nový zdroj vlnenia, vznikajú polguľové vlnoplochy. Ich poskladaním vzniká nová odrazená vlnoplocha, ktorá sa šíri opätovne do priestoru. Druhá časť postupne dopadá na zrkadlo a po dopade nastáva jej odraz už popísaným spôsobom. Týmto postupom prebehne postupne odraz celého rovinného vlnenia.

Kvôli zjednodušeniu znázorňovania šírenia sa vlnenia, vlnoplochy v prostredí (optickými sústavami) zavádzame pojem **svetelný lúč**. Svetelný lúč **má smer šírenia sa elektromagnetického vlnenia a má zhodný smer s normálou na vlnoplochu** (obr. 17.1).

17.1 Základné zákony geometrickej optiky

Prvé poznatky o šírení svetla sa postupne dopĺňali novými a formulovali sa v zákonoch, ktoré určovali šírenie svetla pri rôznych podmienkach. Experimenty dokázali, že svetlo sa v rovnomernom prostredí šíri priamočiarno, bol objavený zákon odrazu a lomu a zistilo sa, že optické deje sú vratné. V geometrickej optike sa podarilo P. Fermatovi² nájsť súvislosť medzi jednotlivými zákonmi a princípmi formuláciou **princípu minimálneho času**. Podľa tohto princípu si svetlo zo všetkých možných dráh spájajúcich dva body vyberá vždy takú dráhu, ktorú prejde za najkratší čas.



Obrázok 17.2: Lom svetelného lúča na rozhraní dvoch prostredí.

Na základe procesov čo boli popísané, sa dajú formulovať **štyri zákony geometrickej optiky**. Tieto zákony možno formulovať aj bez využitia akejkoľvek predstavy o fyzikálnej povahe svetla. Sú to:

1. **Zákon priamočiareho šírenia sa svetla.** Vo vákuu a rovnomernom prostredí sa svetlo šíri priamočiarno a lúče sa znázorňujú ako priamky - svetelný lúč.
2. **Zákon nezávislosti svetelných lúčov.** Tým istým bodom priestoru môže súčasne prechádzať rôznym smerom viacero svetelných lúčov a zároveň sa neovplyvňujú.
3. **Zákon odrazu svetla.** Kolmica na rozhranie dvoch prostredí určuje s dopadajúcim lúčom rovinnu dopadu. Ak dopadajúci lúč dopadá pod

²PIERRE de FERMAT (1601 – 1665) bol francúzsky matematik. Zaslúžil sa o rozvoj matematiky v niekoľkých oblastiach: teória čísel, teória pravdepodobnosti i matematická analýza.

uhlom α meraným od kolmice (obr. 17.1), potom lúč po odraze zostáva v rovine dopadu a zvierá s kolmicou na rozhranie uhol α' rovný uhlu α

$$\alpha = \alpha'. \quad (17.2)$$

4. **Zákon lomu.** Lúč po dopade na rozhranie dvoch prostredí sa odráža a súčasne aj láme (obr. 17.2). Lomený lúč zotrúva v rovine dopadu, pričom zmení smer svojho šírenia a zvierá s kolmicou uhol β . Medzi uhlom dopadu α a uhlom lomu β platí **Snellov³ zákon:**

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (17.3)$$

kde n_1 a n_2 sú indexy lomu daných prostredí.

Pri prechode svetelného lúča do opticky hustejšieho prostredia ($n_2 > n_1$) nastáva lom ku kolmici $\beta < \alpha$. Ak však svetlo prechádza z prostredia opticky hustejšieho (sklo, voda) do prostredia opticky redšieho (vzduch, vákuum), nastáva lom od kolmice a platí $\beta > \alpha$. Je zrejmé, že pri určitom **medznom uhle** dopadu α_M bude uhol $\beta = 90^\circ$ a vtedy sa lomený lúč bude šíriť rozhraním. Pre všetky uhly $\alpha > \alpha_M$ nastáva potom už len totálny odraz.

17.2 Optické zobrazovanie

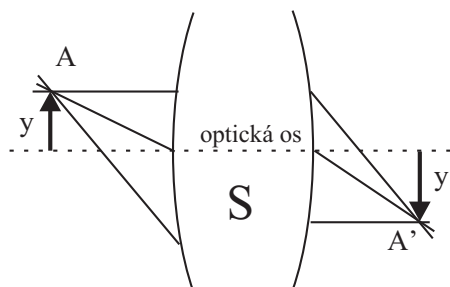
Zákony geometrickej optiky rozpísané v predchádzajúcej kapitole sú základom optického zobrazovania. Hlavnou úlohou optického zobrazovania je spraviť predmety viditeľnými na inom mieste s dobrou viditeľnosťou a ostrnosťou obrazu.

Útvar, ktorý zobrazujeme, sa nazýva všeobecne **predmet** - A . Medzi najjednoduchšie typy predmetu patrí (svetelný) bod alebo priamka. Pri zobrazovaní sa využíva to, že zväzok svetelných lúčov, ktoré sa pretínajú v jednom bode predmetu, vstupujú do optickej sústavy S , ktorou prechádzajú, pričom jej vplyvom nastáva ich lom prípadne odraz (obr. 17.3). Zväzok svetelných lúčov sa teda transformuje na iný zväzok s vrcholom v bode A' , ktorý voláme

³WILLEBRORD SNELLIUS (1580 – 1626) bol nemecký fyzik, astronóm, matematik i prekladateľ. Na základe veľkého počtu experimentov a štúdií prác (napr. Johanna Keplera) dospel okolo roku 1621 k objavu zákona lomu svetelných lúčov. Pracoval tiež na geodetických prácach, pri ktorých používal triangulačnú sieť tak dôsledne a novátorsky, že dostal prívlastok otec triangulácie.

obrazom. Obrazom svetelného alebo osvetleného predmetu je súhrn obrazov jednotlivých bodov predmetu, pričom vytvárajú výsledný obraz, napr. priamku. Priestor, v ktorom sa nachádza vzhľadom na optickú sústavu predmet, sa volá **predmetový priestor** a v **obrazovom priestore** vzniká obraz.

V prípade, že sa lúče po prechode optickou sústavou pretínajú, tak hovoríme o **skutočnom (reálnom) obraze** (obr. 17.3). Tento obraz možno zaznamenať na tienidle. Pokiaľ sú lúče po prechode optickou sústavou rozbiehavé a obraz môžeme skonštruovať len myslenným predĺžením daných lúčov, hovoríme o **zdanlivom (neskutočnom, virtuálnom) obraze** (obr. 17.7).



Obrázok 17.3: Charakteristické veličiny optického zobrazovania.

Lámavé plochy optických sústav majú prevažne guľový alebo rovinný tvar. Guľové plochy sú usporiadané tak, že ich stred krivosti leží na jedinej priamke pomenovanej **optická os**. Rovinné plochy bývajú k optickej osi kolmé. Takejto sústave potom hovoríme centrovaná sústava.

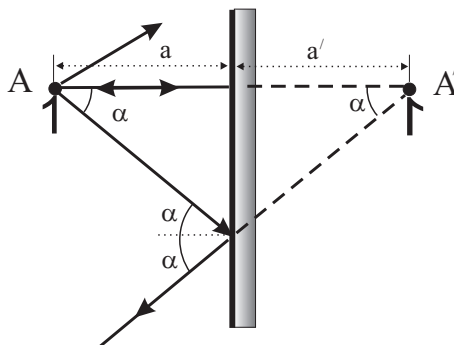
Každá optická sústava zobrazuje s určitým zväčšením Z . Na obrázku 17.3 vidíme, že priamka dĺžky y kolmá k optickej osi sa zobrazuje znovu ako priamka dĺžky y' , znovu kolmo k danej osi. Podiel

$$Z = \frac{y'}{y} \quad (17.4)$$

voláme **priečnym zväčšením** Z . Ak je $|Z| > 1$, hovoríme o zväčšenom obraze (obr. 17.3), v prípade $|Z| < 1$, je obraz zmenšený. Ak je obraz nad optickou osou, má y kladné znamienko a v prípade obrazu pod optickou osou má y záporné znamienko (znamienková konvencia). Ak $Z > 0$, majú priamky y , y' rovnaký smer - vzniká priamy obraz a v prípade $Z < 0$ je obraz prevrátený (obr. 17.3).

17.3 Zobrazovanie rovinným zrkadlom

Zrkadlo je povrch, ktorý odráža zväzok svetelných lúčov prakticky do jedného smeru. Iné povrchy ich rozptyľujú do všetkých možných smerov alebo ich pohlcujú. Leštený povrch kovu sa správa ako zrkadlo, betónová stena však nie. Najjednoduchšie je rovinné zrkadlo. Rovinné zrkadlá používané v bežnom živote majú zrkadliacu vrstvu obyčajne na zadnej stene sklennej dosky.



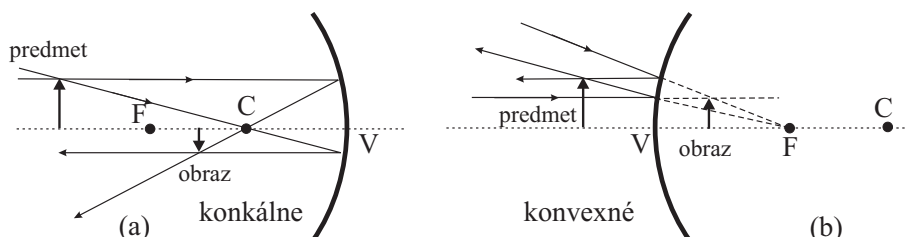
Obrázok 17.4: Zobrazovanie pomocou rovinného zrkadla.

Majme bod A pred rovinným zrkadlom, z ktorého vychádza rozbiehavý zväzok lúčov (obr. 17.4). Lúče sa po dopade na zrkadlo odrážajú podľa zákona odrazu. Keďže aj odrazené lúče sú rozbiehavé, pozorovateľovi sa zdá, že lúče vychádzajú spoza zrkadla z jedného bodu A' . Polohu tohto bodu A' vieme nájsť konštrukčne len myslenným predĺžením odrazených lúčov na základe uhla dopadu a matematických pravidiel. A' je zdanlivý obraz bodu A . Je to bod súmerne združený s bodom A vzhľadom na rovinu zrkadla. Ak je predmet vzdialený od zrkadla vo vzdialenosti a , potom obraz je vo vzdialenosti a' , pričom z obrázku 17.4 je zrejmé, že $a = a'$. Keďže kolmosť sa pri zobrazovaní zachováva, môžeme takýmto postupom zostrojiť obraz ľubovoľných bodov, alebo celého predmetu.

Vzniknutý **obraz predmetu vytvorený rovinným zrkadlom je nesku-točný, rovnako veľký ako predmet a súmerne združený s predme-tom podľa roviny zrkadla**. Použitie rovinných zrkadiel je veľmi rozšírené v domácnostiach, ale nájdu uplatnenie aj v iných odboroch (meracie prístroje, astronomické zariadenia, periskop a pod.).

17.4 Zobrazovanie pomocou guľovej plochy

Pri zobrazovaní využívame hlavne paraxiálny priestor, v ktorom sú paraxiálne lúče v blízkosti optickej osi. V paraxiálnom zobrazení sa bod zobrazí ako bod, priamka ako priamka a rovina ako rovina.



Obrázok 17.5: Zobrazovanie pomocou guľového zrkadla.

Zrkadliacu plochu guľových zrkadiel tvorí časť pokovenej guľovej plochy (guľový vrchlík). Keď svetlo odráža vnútorná plocha gule, hovoríme o **duťom zrkadle (konkávne)**, keď vonkajšia plocha, vzniká **vypuklé zrkadlo (konvexné)**. Stred guľovej plochy (obr. 17.5) je stred krivosti zrkadla - C a polomer guľovej plochy je polomer krivosti - $r = |CV|$, kde V je vrchol zrkadla. V strede vzdialenosti medzi vrcholom V a stredom krivosti C sa nachádza **ohnisko F** . Vzdialenosť ohniska F od vrcholu zrkadla V sa označuje f a nazýva sa **ohnisková vzdialenosť**.

Pri konštrukcii obrazu predmetu na guľovom zrkadle (obr. 17.5) využívame vlastnosti nasledujúcich lúčov :

1. Lúč prechádzajúci stredom krivosti dopadá na zrkadliacu plochu kolmo a odráža sa do tej istej priamky, len v opačnej orientácii.
2. Lúč rovnobežný s optickou osou zrkadla sa na zrkadliacej ploche odrazí do ohniska.
3. Lúč smerujúci do ohniska sa od zrkadliacej plochy odrazí rovnobežne s optickou osou.

Pri riešení úloh platí vzťah, ktorý nazývame **zobrazovacia rovnica pre guľové zrkadlá**:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{2}{r}, \quad (17.5)$$

kde a je vzdialenosť predmetu od vrcholu guľového zrkadla, a' je vzdialenosť obrazu od vrcholu a r je polomer krivosti guľového zrkadla - plochy.

Guľové zrkadlá sa používajú v praxi pri zobrazovaní a v meracích prístrojoch. Duté zrkadlá sa používajú v medicíne, na osvetľovanie v mikroskopoch a zrkadlových ďalekohľadoch. Zväzok lúčov vychádzajúci z ohniska sa odráža ako zväzok lúčov rovnobežných s optickou osou. Keď umiestnime v ohnisku takéhoto zrkadla bodový zdroj svetla, zrkadlo odráža rovnobežný zväzok lúčov, pričom so vzdialenosťou ubúda svetla len nepatrne. To je podstata reflektorov, ktoré sa používajú v motorových vozidlách, na hľadanie i vo vreckových lampách.

17.5 Zobrazovanie pomocou šošoviek

Šošovka je vyrobená z opticky číreho prostredia s dvoma lámavými plochami, pričom ich centrálna osi splyvajú - centrálna os šošovky. Rozoznávame dva druhy šošoviek: **spojky** a **rozptylky**. Svetlo dopadá na povrch šošovky, kde sa láme, ďalej prechádza šošovkou a znova sa láme na rozhraní šošovky a vzduchu. Pri každom lome sa môže meniť smer chodu svetla. Ak máme šošovku s dvoma guľovými plochami s polomerom r_1 a r_2 , indexe lomu n a je vo vzduchu, tak jej ohnisková vzdialenosť je určená rovnicou

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right). \quad (17.6)$$

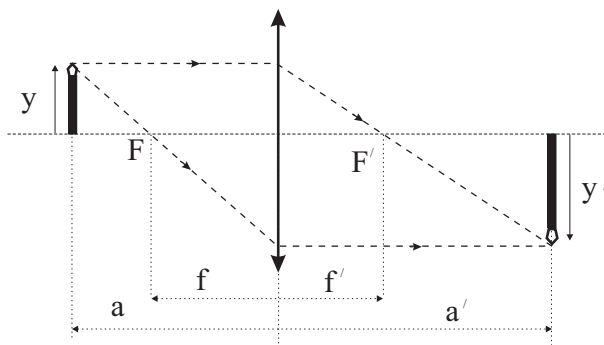
Spojka má polomer krivosti r_1 (r_2) kladný a jej predná plocha šošovky je vypuklá do predmetového (obrazového) priestoru. Ak je predná plocha šošovky dutá v predmetovom (obrazovom) priestore, potom je polomer krivosti r_1 (r_2) záporný a ide o rozptylku. Pre polomer krivosti r_2 platí to isté s tým rozdielom, že ide o plochu v obrazovom priestore. V klasickom prípade zobrazovania šošovkami používame **tenkú šošovku**, zanedbávame rozmer šošovky, na ktorej nastáva len jeden lom podľa stanovených pravidiel.

Veličina $\varphi = \frac{1}{f}$ sa volá **optická mohutnosť šošovky**. Jej jednotkou je **dioptria**, je to optická mohutnosť šošovky s ohniskovou vzdialenosťou 1 m. Ohnisková vzdialenosť aj dioptria majú kladnú hodnotu pre spojky a zápornú pre rozptylky.

Zobrazenie šošovkou sa riadi **zobrazovacou rovnicou tenkej šošovky**:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \quad (17.7)$$

kde a je predmetová vzdialenosť, a' obrazová vzdialenosť a f je ohnisková vzdialenosť (obr. 17.6). Pre jednotlivé parametre zobrazovacej rovnice platí znamienková konvencia. Číselnú hodnotu a dosadzujeme do zobrazovacej rovnice kladnú, ak sa predmet nachádza v predmetovom priestore. Číselná hodnota a' má kladné znamienko, ak je obraz v obrazovom priestore a záporné, ak je obraz v predmetovom priestore.



Obrázok 17.6: Zobrazovanie pomocou spojky.

Určiť polohu a veľkosť obrazu môžeme pri tenkej šošovke pomocou lúčového obrazca na obrázku 17.6 ako priesečník “špeciálnych” lúčov vyslaných z predmetového bodu (koniec sviečky). Špeciálne lúče sú:

1. lúč šíriaci sa od predmetu rovnobežne s optickou osou sa po prechode šošovkou láme tak, že prechádza obrazovým ohniskom F' ,
2. lúč idúci od predmetu do predmetového ohniska F sa po prechode šošovkou láme tak, že ide rovnobežne s optickou osou,
3. lúč mieriaci od predmetu do stredu šošovky sa neláme.

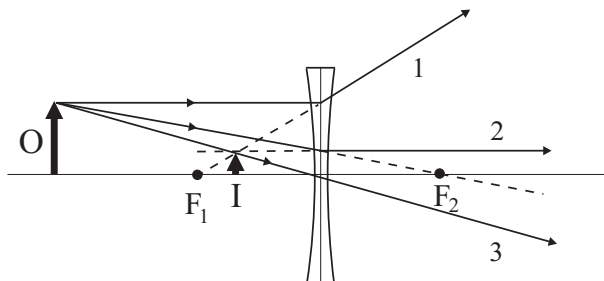
Zo zobrazovacej rovnice vyplýva, že keď sa a zväčšuje, zmenšuje sa a' . Pre $a \rightarrow \infty$ dopadajú na šošovku zväzky rovnobežné s osou. Tieto sa po lome v šošovke zbiehajú v obrazovom ohnisku a $a' = f$. Keď $a = f$, tak $a' \rightarrow \infty$, takže svetelné zväzky sú po lome rovnobežné s optickou osou a obraz sa nachádza v nekonečne.

Pri zobrazovaní pomocou spojky rozlišujeme tri prípady typu obrazu

1. ak $a > r_2$, obraz je **skutočný, prevrátený a zmenšený**,
2. ak $r_2 > a > f$, obraz je **skutočný, prevrátený a zväčšený**,

3. ak $a < f$, obraz je **neskutočný, priamy a zmenšený**.

V prípade rozptylky (obr. 17.7) je to jednoduchšie, lebo typ obrazu **neskutočný, priamy a zmenšený** nezávislý od polohy predmetu.



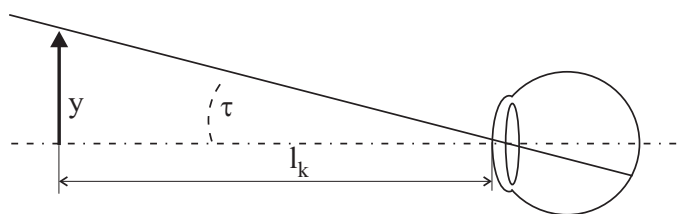
Obrázok 17.7: Zobrazovanie pomocou rozptylky.

17.6 Základné optické prístroje

Ľudské oko a videnie

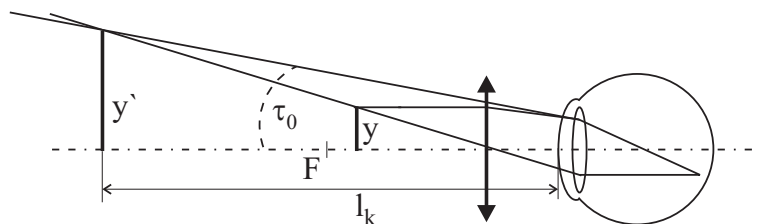
Teraz sa budeme zaoberať okom nie z biologického, ale z fyzikálneho hľadiska. Oko je vynikajúci optický prístroj, ktorý pomocou očnej šošovky vytvára na citlivej sietnici zmenšený, skutočný a prevrátený obraz. Pomocou očného nervu sa tieto informácie prenášajú do mozgu, kde však skúsenosťou získanou skoro po narodení vnímame obraz ako priamy (neprevrátený).

Očná šošovka je dvojjvypuklá spojná sústava a jej vzdialenosť od sietnice je stála. Na rôzne vzdialené predmety sa zaostruje zmenou jej optickej mŕhnutnosti, čo nazývame **akomodácia oka**. Akomodačná schopnosť zdravého oka má isté hranice. Najbližší bod, ktorý sa ostro zobrazí na sietnici, voláme **blízky bod** a najvzdialenejší bod, ktorý sa ostro zobrazí na sietnici, voláme **ďaleký bod**. Vzdialenosť, z ktorej môžeme predmety dlhodobo pozorovať bez väčšej únavy je 250 mm a nazývame ju **konvenčná vzdialenosť** – l_k . Množstvo svetla, ktoré dopadá na sietnicu reguluje **dúhovka**, ktorá slúži ako clona a plynulo sa mení podľa intenzity dopadajúceho svetla. Zadná stena oka je bohato zásobená živinami z krvných vlásočníc a je pokrytá sietnicou. Na sietnici sa nachádzajú bunky citlivé na svetlo – **tyčinky** (rozlišujú intenzitu svetla) a **čapíky** (rozlišujú farby). Veľkosť obrazu na sietnici závisí od veľkosti zorného uhla τ , ktorý zvierajú svetelné lúče prechádzajúce optickým stredom šošovky a okrajmi predmetu (obr. 17.8).



Obrázok 17.8: Pozorovanie pomocou oka.

Keďže zrakový vnem oka sa zachováva asi 0,1 s, človek vníma deje okolo seba ako plynulý dej. Táto vlastnosť sa nazýva **zotrvačnosť oka** a je využitá pri premietaní v kine a v televízii. Ak je tvar oka zmenený, nevytvorí sa ostrý obraz na sietnici, ale napríklad pred sietnicou. Hovoríme, že oko je **krátkozraké**. Aby takéto oko videlo ostro aj vzdialené predmety, treba zmenšiť jeho optickú mohutnosť, čo sa dá dosiahnuť vhodnou rozptylkou. Ak sa ostrý obraz predmetov vytvára za sietnicou, oko je **d'alekozraké**. Optická mohutnosť takéhoto oka je malá a jej zväčšenie dosiahneme spojnou šošovkou (spojkou).



Obrázok 17.9: Zväčšenie pomocou lupy.

Lupa

Veľkosť obrazu predmetu na sietnici oka je určený zorným uhlom (τ , obr. 17.8), pod ktorým vidíme predmet. Priblížením pozorovaného predmetu k oku zväčšujeme i tento uhol, čím dosahujeme lepšie pozorovateľné detaily. Zo skúsenosti vieme, že oko je najmenej namáhané ak je predmet v **konvenčnej vzdialenosti** - $l_k = 25 \text{ cm}$. Ak zmenšujeme vzdialenosť oko - predmet, dosiahneme blízkeho bodu a v tomto prípade je maximálne rozlíšenie. Ak predmet ďalej približujeme k oku, zväčšuje sa zorný uhol, ale predmet sa stáva neostrý, lebo oko už nie je schopné akomodovať sa.

Lepšie rozlíšenie detailov predmetu dosiahneme pomocou lupy. **Lupa** je spojná šošovka s ohniskovou vzdialenosťou menšou ako je konvenčná vzdia-

lenosť. Vhodnou polohou šošovky a predmetu dosiahneme (obr. 17.9), že šošovka vytvorí neskutočný obraz vo vzdialenosti, v ktorej je oko schopné vytvoriť ostrý obraz. V prípade, že predmet pozorujeme v konvenčnej vzdialenosti pod zorným uhlom ($< 60''$), oko už ho nerozlišuje. Ak ho však umiestnime pred spojnú šošovku (obr. 17.9), ktorá zobrazí pozorovaný predmet do konvenčnej vzdialenosti, zväčší sa zorný uhol z τ (obr. 17.8) na τ_0 , pod ktorým pozorujeme daný predmet. Výpočtom dostaneme, že vzťah pre zväčšenie lupy je

$$Z = \frac{l_k}{f}. \quad (17.8)$$

Praktické použitie zväčšenia zorného uhla je obmedzené chybami, ktoré pri zobrazovaní vznikajú. Jednoduchá šošovka je použiteľná do šesťnásobného zväčšenia.

Mikroskop

Väčšie zväčšenie a možnosť pozorovania veľmi drobných predmetov možno dosiahnuť viacerými šošovkami, ktoré majú spoločný názov **mikroskop**. Skladá sa z dvoch priestorovo od seba oddelených spojných systémov, z **objektívu** (časť na strane predmetu) a **okuláru** (na strane oka). V najjednoduchšom prípade sú obe šošovky spojky a sú usporiadané tak, aby ich optická os bola spoločná. Predmet sa umiestňuje pred objektív, ktorý vytvára jeho reálny obraz v ohniskovej rovine okuláru. Tento obraz sa okulárom pozoruje ako lupou.

Ďalekohľad

Ďalekohľad je optický prístroj na pozorovanie vzdialených predmetov, ktorých zorný uhol je malý. Delíme ich na dva základné typy: **refraktory** a **reflektory**. Pri refraktore objektívom je aspoň jedna spojná šošovka, ktorú pri reflektore nahradzuje duté zrkadlo. Obraz vytvorený objektívom v jeho ohniskovej rovine pozorujeme okulárom ako lupou. Predmetová rovina okuláru splýva pritom s obrazovou ohniskovou rovinou objektívu. Najčastejšie použitie ďalekohľadov je v astronómii, v armáde, pri turistike, v námornej doprave a podobne.