

Optické přístroje

Oko

Oko je orgán živočichů reagující na světlo. Obratlovci a hlavonožci mají jednoduché oči, členovci, kteří mají menší rozměry a jednoduché oko by trpělo difrakčními jevy, mají složené oči.

Části oka

Oko má přibližně kulovitý tvar (obr. 22.1). Z fyzikálního hlediska jsou v oku důležité tyto části:

Rohovka má vyklenutý tvar a zakřivuje světelné paprsky.

Duhovka má tvar kruhového terčíku s otvorem (zornicí) uprostřed. Omezuje množství světla vstupujícího do oka, je pigmentovaná, aby nepropouštěla světlo.

Řasnaté tělísko je svalová tkáň, na které je zavěšena čočka. Změnou napětí může měnit zakřivení a tím i ohniskovou vzdálenost čočky.

Čočka láme paprsky tak, aby se vytvořil ostrý obraz na sítnici.

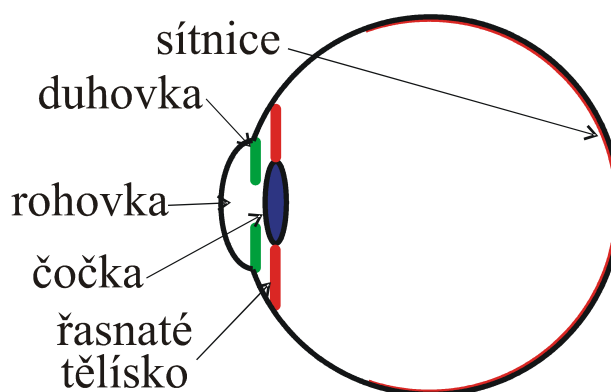
Sítnice je světlocitlivá vrstva na vnitřní straně oka, obsahuje čípky a tyčinky – buňky citlivé na světlo.

Slepá skvrna je místo na sítnici, kde z oka vychází zrakový nerv. Nejsou zde žádné světlocitlivé buňky.

Žlutá skvrna je místo na sítnici s největší hustotou světlocitlivých buněk a nejostřejším viděním. Obsahuje jen čípky.

Tyčinky jsou černobílé, hodně citlivé, je jich v oku asi 130 milionů. Nejsou ve žluté skvrně. Tyčinky jsou nejcitlivější pro vlnové délky kolem 500 nm.

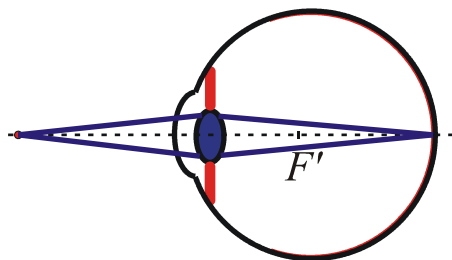
Čípky jsou méně citlivé než tyčinky, ale rozlišují červenou, zelenou a modrou barvu (3 druhy čípků, 3 barvy). V oku jich je asi 7 milionů. Kombinovaná spektrální citlivost čípků má maximum kolem 550 nm.



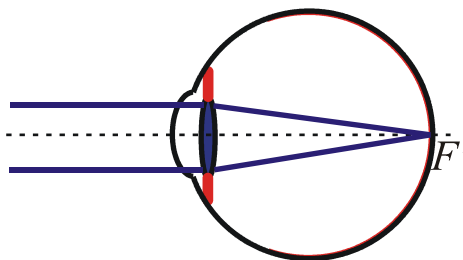
Obr. 22.1: Části oka

Akomodace oka

Zdravé oko je schopno zaostřit na sítnici předměty ve vzdálenosti od asi 15 cm do nekonečna. V případě blízkého předmětu (obr. 22.2) řasnaté tělísko zakříví čočku víc, tím zkrátí její



Obr. 22.2: Akomodace oka na blízko



Obr. 22.3: Akomodace oka na dálku

ohniskovou vzdálenost a na sítnici se vytvoří ostrý obraz. U velmi vzdáleného předmětu jsou

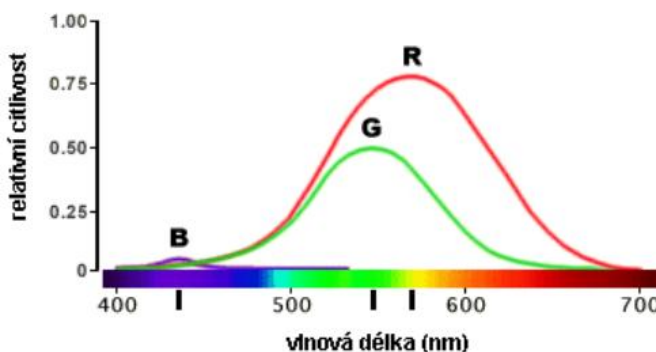
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky



paprsky vstupující do oka prakticky rovnoběžné (obr. 22.3), řasnaté tělísko napne čočku, protáhne ji, zmenší její zakřivení a prodlouží ohniskovou vzdálenost tak, že ohnisko čočky je na sítnici. Nejmenší vzdálenost, na kterou je oko schopno zaostřit, nazýváme **blízký bod**, největší vzdálenost pak **vzdálený bod**. Vzdálenost, na kterou oko dokáže delší dobu pozorovat předměty s nejmenší námahou, se nazývá **konvenční zraková vzdálenost** a je dohodou stanovena na 25 cm.

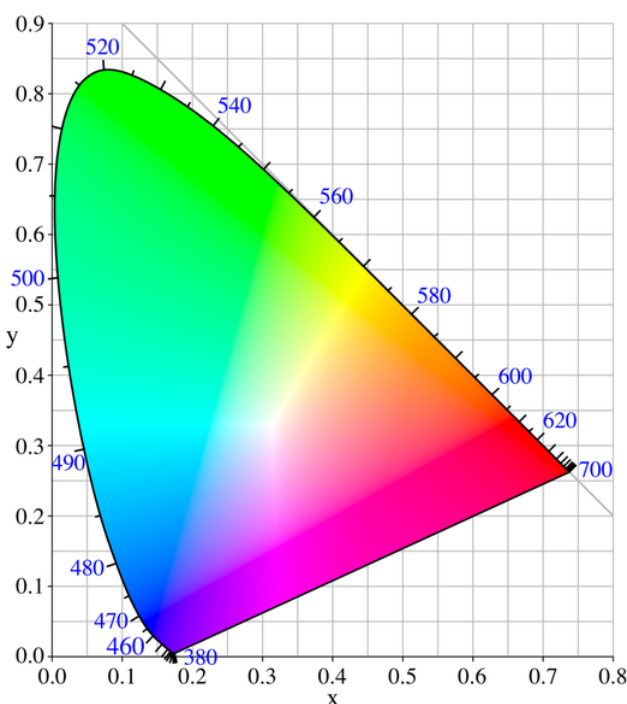
Barevné vidění

Ve zdravém lidském oku existují tři druhy čípků, které jsou schopné zaregistrovat červené (R), zelené (G) a modré (B) světlo. Červených čípků je 64 %, zelených 32 % a modrých jen 4 %. Spektrální citlivost různých druhů čípků je na obrázku 22.4. Podle míry podráždění různých čípků se v mozku přiřadí dopadajícímu záření barva. Barvu tedy můžeme definovat pomocí tří základních barev. Normou jsou stanoveny základní spektrální barvy, které odpovídají vlnovým délkám: $\lambda_R = 700$ nm (červená - Red), $\lambda_G = 546,1$ nm (zelená - Green) a $\lambda_B = 435,8$ nm (modrá - Blue). Barvu světla můžeme definovat pomocí souřadnic RGB v trojrozměrném barevném prostoru. Jiný způsob, kterým lze popsat barvy, používá veličin **barevný tón** (sytá spektrální barva, kterou musíme složit s bílou, abychom dostali požadovanou barvu), **sytnost** (poměr světelného toku příslušejícího světlu daného barevného tónu k součtu světelného toku syté a bílé barvy) a **světelný tok** (vnímaná intenzita světelného toku). Protože světelný tok určuje pouze intenzitu, stačí pro znázornění barev v rovině barevný tón a sytnost. Barvy pak znázorňují pomocí barevného diagramu (obr. 22.5). Oblouk na obvodu diagramu jsou syté spektrální barvy odpovídající vlnovým délkám z viditelné oblasti.



Obr. 22.4: Spektrální citlivost čípků

se



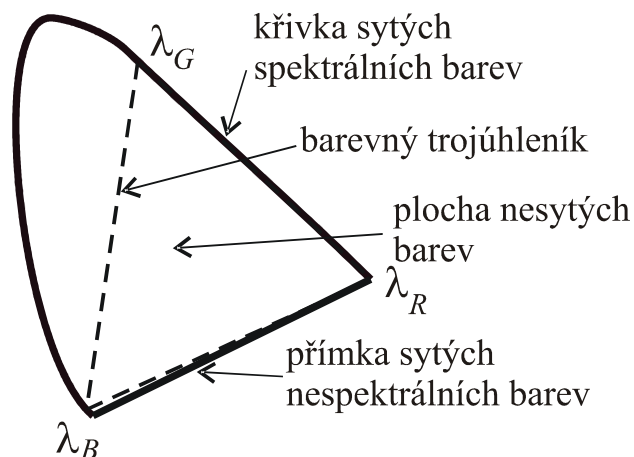
Obr. 22.5: Barevný diagram

Krajní hodnoty spektra spojuje přímka sytých nespektrálních barev. Uvnitř oblasti se nachází nesyte barvy (obr. 22.6). Na obr. 22.6 je zakreslen barevný trojúhelník spojující trojici zvolených základních RGB barev. Barvy na spojnicích vrcholů vznikají smícháním dvojice barev ve vrcholech. Přitom množství základní barvy je tím větší, čím je bod blíže příslušnému vrcholu. Barvy uvnitř trojúhelníka vznikají smícháním trojice barev. Pro barvy vně trojúhelníka vychází podíl některé složky záporný – takové barvy nelze ze zvolených

základních barev namíchat. Světelný tok není v barevném diagramu vyneseno. Mohli bychom ho vynášet kolmo k obrázku a je-li například ve středu diagramu bílá barva (jako rovnoměrné zastoupení složek RGB), jsou pod ní stále tmavší odstíny šedé až po černou.

Až dosud jsme sčítali světlo různých barev (vlnových délek). Takovému skládání barev se říká **aditivní** (mohli bychom přeložit jako sčítací). Takové sčítání se používá například u monitoru nebo televize, kde body na obrazovce svítí. Barvy vzniklé sčítáním základních RGB barev jsou na obrázku 22.7. Rozsvítí-li se například na monitoru červený bod a těsně vedle zelený, vnímáme dané místo jako žluté. Každý, kdo maloval, ví, že žlutou nedostane smícháním zelené a červené barvy, ale naopak zelenou získá smícháním modré a žluté (obr. 22.8). Při míchání malířských barev totiž nemícháme světla, ale pigmenty. Pigment funguje tak, že některé barvy pohltí a jiné odrazí.

Například žlutý pigment pohltí modrou a odrazí červenou a zelenou. Míchání pigmentů odpovídá **subtraktivní** (odečítací) skládání barev. Základní barvy pro subtraktivní skládání jsou azurová (Cyan), purpurová (Magenta) a žlutá (Yellow). Smícháním žlutého pigmentu a azurového pigmentu se pohltí modrá a červená barva a odrazí se jen zelená. Místo modelu CMY se v tiskárnách používá model CMYK. Smícháním všech základních pigmentů má vzniknout černá, která však působí trochu špinavě. Proto (a taky aby se při tisku černého textu nepoužívaly všechny barevné tonery) se k CMY pigmentům přidává ještě černý.



Obr. 22.6: Části barevného diagramu



Obr. 22.7: Aditivní skládání barev

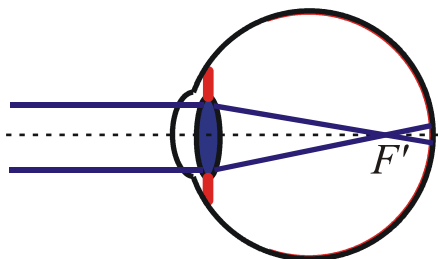


Obr. 22.8: Subtraktivní skládání barev

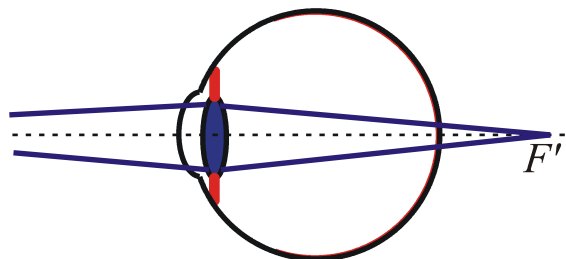
Vady oka

Je-li čočka příliš zakřivená a řasnaté tělísko ji nedokáže napnout, je ohnisková vzdálenost čočky příliš krátká (nebo lze také říct, že oko je příliš dlouhé). Rovnoběžné paprsky (ze vzdáleného předmětu) se u takového oka neprotnou na sítnici, ale ještě před sítnicí a bodový zdroj světla se na sítnici zobrazí jako ploška. Takové oko nazýváme **krátkozraké** (obr 22.9). Vzdálený bod krátkozrakého oka je blíže než v nekonečnu. Jak se předmět přibližuje k oku, obraz se od oka vzdaluje, až se vytvoří na sítnici a oko vidí na krátké vzdálenosti ostře.

Je-li čočka zakřivená málo, paprsky vycházející z blízkého předmětu se na ní lomí málo a protínají se za čočkou. Bodový zdroj světla se opět zobrazí na sítnici jako ploška. Takové oko nazýváme **dalekozraké** (obr 22.10). Blízký bod dalekozrakého oka je ve větší vzdálenosti než je konvenční zraková vzdálenost.



Obr. 22.9: Krátkozraké oko



Obr. 22.10: Dalekozraké oko

Brýle

Brýle slouží ke korekci očních vad, zejména krátkozrakosti a dalekozrakosti. Pracují tak, že zobrazí předmět, který je ve vzdálenosti, na kterou oko není schopno zaostřit do vzdálenosti, na kterou zaostřit dokáže. Například dokáže-li krátkozraké oko zaostřit na vzdálenosti pouze od 10 do 20 cm a potřebuje vidět do nekonečna, musí brýle zobrazit předmět, který je v nekonečnu do vzdálenosti 20 cm před oko. Naopak je-li dalekozraké oko schopno zaostřit na vzdálenost od 2 m a potřebujeme vidět už od 25 cm, musí brýle zobrazit předmět z 25 cm do vzdálenosti 2 m před oko.

Optická mohutnost

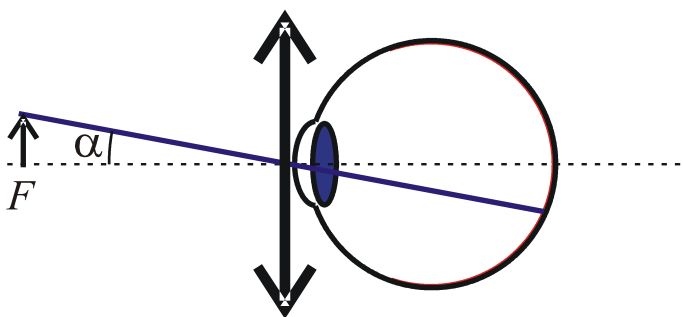
Parametrem popisujícím lámavé vlastnosti čočky je ohnisková vzdálenost. Trochu paradoxně platí, že čím je čočka silnější (čím víc láme světlo), tím menší je její ohnisková vzdálenost. Proto se v optice používá vhodnější parametr **optická mohutnost** φ , definovaná

$$\varphi = \frac{1}{f'}, \quad (22.1)$$

kde f' je obrazová ohnisková vzdálenost v metrech. Jednotkou optické mohutnosti je dioptrie D. $1 \text{ D} = 1 \text{ m}^{-1}$.

Lupa

Lupa je jednoduchý optický přístroj tvořený spojnou čočkou nebo spojnou soustavou čoček. Slouží k pozorování malých blízkých předmětů. Zorný úhel, pod kterým vidíme nějaký malý předmět, roste se zmenšující se vzdáleností předmětu od oka. Je tedy vhodné, umístit předmět co nejblíže k oku. Umístíme-li ale předmět příliš blízko, blíže než je blízký bod oka, není oko schopno tak blízký předmět zaostřit. Řešením je použití spojky s malou ohniskovou vzdáleností. Umístíme-li předmět do předmětového ohniska této spojky, zobrazí se do nekonečna. Oko do nekonečna bez problémů zaostří a vidí předmět pod zorným úhlem α , který přísluší jeho vzdálenosti před okem (obr.



Obr. 22.11: Lupa

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky

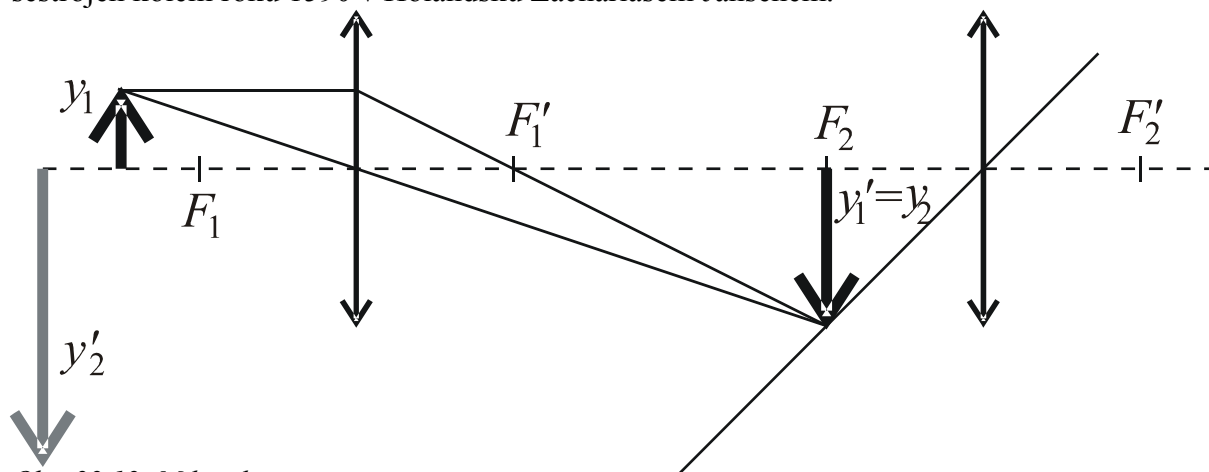
22.11). Zvětšení Z lupy je poměr úhlu, pod kterým pozorujeme předmět v ohnisku lupy, k úhlu, pod kterým předmět pozorujeme z konvenční zrakové vzdálenosti, tedy

$$Z = \frac{0,25}{f'}, \quad (22.2)$$

kde f' je ohnisková vzdálenost lupy (v metrech).

Mikroskop

Mikroskop je přístroj sloužící k pozorování velmi malých předmětů. První mikroskop byl sestaven kolem roku 1590 v Holandsku Zachariásem Jansenem.



Obr. 22.12: Mikroskop

Mikroskop se skládá ze dvou spojných soustav čoček – objektivu (soustava blíž k předmětu) s velmi malou ohniskovou vzdáleností a okuláru (soustava, ke které se přikládá oko). Předmět y_1 se umístí kousek před předmětové ohnisko objektivu F_1 (obr. 22.12). Objektiv vytvoří reálný, zvětšený, převrácený obraz y_1' za obrazovým ohniskem F_1' . Okulár je umístěn tak, aby obraz vytvořený objektivem byl v jeho předmětovém ohnisku. Obraz vytvořený objektivem je tedy předmětem pro okulár ($y_1' = y_2$). Okulár pak působí stejně jako lupa a zobrazí tento předmět y_2 do nekonečna jako obraz y_2' (na obrázku 22.12 je obraz vytvořený okulárem blíž než v nekonečnu). Obraz y_2' pak pozoruje oko. Na rozdíl od lupy je tedy předmět zvětšen dvakrát, nejdříve objektivem a pak ještě okulárem. Zvětšení mikroskopu Z je součinem zvětšení objektivu Z_{ob} a zvětšení okuláru Z_{ok}

$$Z = Z_{ob}Z_{ok}. \quad (22.3)$$

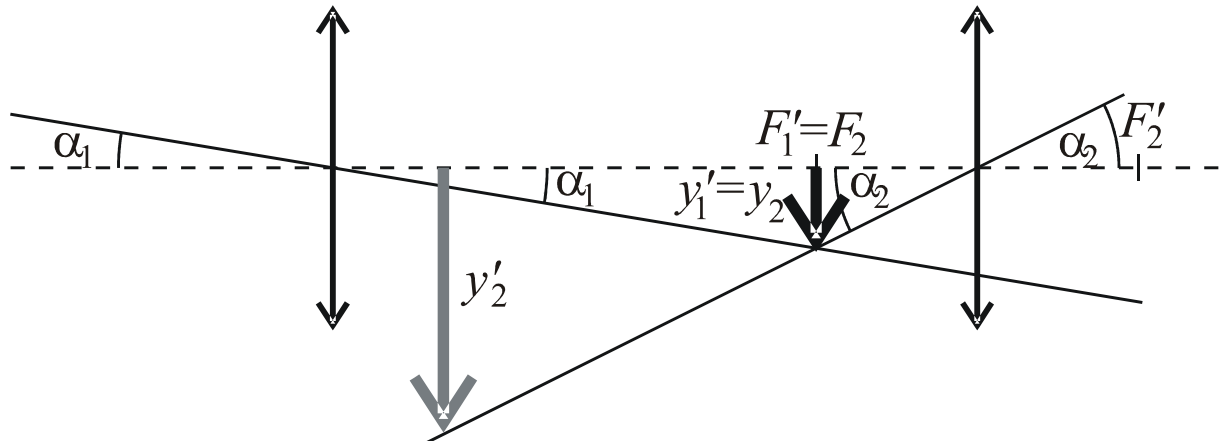
Optický mikroskop dosahuje zvětšení až 1000x. A nejmenší podrobnosti pozorovatelné mikroskopem mohou mít velikost kolem 1 μm .

Dalekohled

Dalekohled slouží k pozorování velmi vzdálených předmětů. První dalekohled sestavil v roce 1608 Hans Lippershey. Jeho konstrukci zdokonalili velmi brzy Galileo Galilei, který použil spojku a rozptylku, a Johannes Kepler s použitím dvou spojek. Isaac Newton má prvenství v použití zrcadla jako objektivu. Dalekohledy, které používají jako objektiv čočku, se nazývají **refraktory**, ty, u kterých je objektivem zrcadlo, jsou **reflektory**.

Keplerův dalekohled

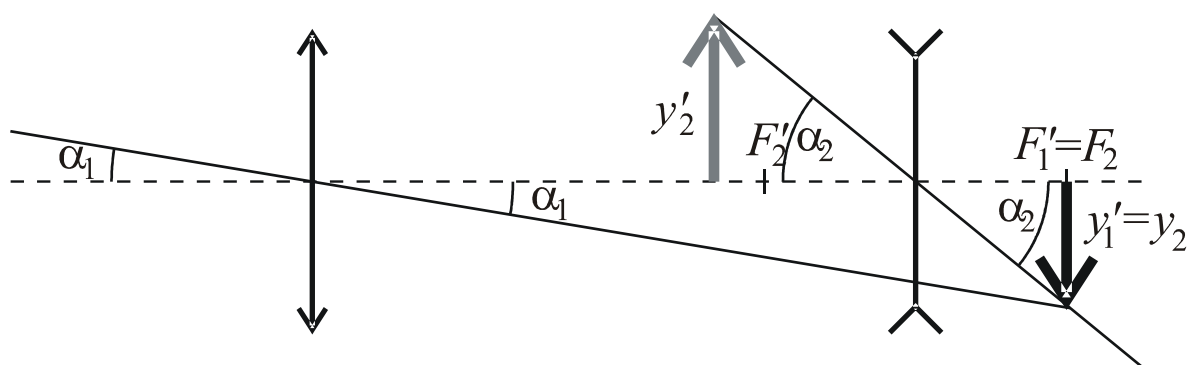
U Keplerova dalekohledu jsou objektiv i okulár spojky (obr. 22.13). Předmět je v nekonečnu. Objektiv vytvoří jeho obraz y'_1 v obrazovém ohnisku objektivu F'_1 . Okulár je umístěn tak, aby obraz vytvořený objektivem byl v jeho předmětovém ohnisku. Obraz vytvořený objektivem je předmětem pro okulár ($y'_1 = y_2$) a výsledný obraz vytvořený okulárem je převrácený a v nekonečnu (na obrázku 22.13 je obraz y'_2 zakreslen z pochopitelných důvodů blíže než v nekonečnu, měl by být vlevo v nekonečnu a dosahovat k paprsku, který prochází středem okuláru).



Obr. 22.13: Keplerův dalekohled

Galileův (holandský) dalekohled

Galileo Galilei použil jako objektiv spojku a okulárem jeho dalekohledu byla rozptylka (obr. 22.14). Předmět je v nekonečnu. Objektiv vytvoří jeho obraz y'_1 v obrazovém ohnisku objektivu F'_1 . Okulár je umístěn tak, aby obraz vytvořený objektivem byl v jeho předmětovém ohnisku. Obraz vytvořený objektivem je tedy předmětem pro okulár ($y'_1 = y_2$) a ten z něj vytvoří výsledný, přímý obraz. Obraz je zakreslen podobně jako u Keplerova dalekohledu.



Obr. 22.14: Galileův dalekohled

Zvětšení dalekohledu

Zvětšení dalekohledu definujeme jako poměr zorného úhlu α_2 , pod kterým předmět vidíme v dalekohledu, a úhlu α_1 , pod kterým předmět vidíme bez dalekohledu (obrázek 22.13 i 22.14):

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



$$Z = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}. \quad (22.4)$$

Jsou-li úhly malé, platí v obou případech $\alpha_i = y_i/f_i$. Vztah (22.4) lze s uvážením znamének zapsat jako

$$Z = - \frac{f'_1}{f'_2}. \quad (22.5)$$

Zvětšení dalekohledu je tedy určeno podílem ohniskové vzdálenosti objektivu k ohniskové vzdálenosti okuláru.

Rozlišovací schopnost optických přístrojů

Z výpočtu zvětšení dalekohledu i mikroskopu se zdá, že je v principu možné postavit přístroje s libovolně velkým zvětšením a pozorovat tak libovolně malé podrobnosti. Difrakční jevy, ke kterým dochází jak na překážkách, tak na optických přístrojích, omezují rozlišovací schopnost optických přístrojů.

Platí:

Vlnění nerozliší podrobnosti menší než je jeho vlnová délka.

Z tohoto důvodu mlhou špatně prochází světlo, ale bez problémů rádiové vlny, proto zvířata k echolokaci používají ultrazvuk a ne slyšitelné frekvence, proto jsou dlouhé vlny slyšet i v údolí za kopcem, zatímco mikrovlny vyžadují přímou viditelnost mezi vysílačem a přijímačem, proto optický mikroskop nemůže rozlišit předměty menší než přibližně 1 μm a používá se imersní nebo ultrafialová mikroskopie.

Ze vztahu (20.9) lze vypočítat úhlovou šířku maxima při difrakci na otvoru. Používáme-li jakýkoliv přístroj, nikdy nezpracuje celou dopadající vlnu, ale vždy jen její část, která prošla objektivem. Proto pozorujeme-li dalekohledem hvězdu (která je tak daleko, že ji můžeme považovat za bodový zdroj), její obraz nikdy nebude bodový, ale bude tvořit plošku definovanou vztahem (20.9). Zajímá-li nás, jak daleko od sebe musí být úhlově dvě hvězdy, abychom rozlišili plošky jejich obrazů, platí dohoda, že centrální difrakční maximum musí padnout nejméně do prvního difrakčního minima. Pro úhlovou vzdálenost předmětů tedy platí:

$$\varphi = \frac{1,22\lambda}{D}, \quad (22.6)$$

kde l je vlnová délka použitého záření a D průměr vstupního otvoru. Proto subwoofer můžete mít kdekoli, ale výškové reproduktory musí být umístěny správně, proto nemůže být oko hmyzu na stejném principu jako oko obratlovců, proto živočichové k echolokaci používají ultrazvuk a ne zvuk.