

5.2.11 Lupa, mikroskop

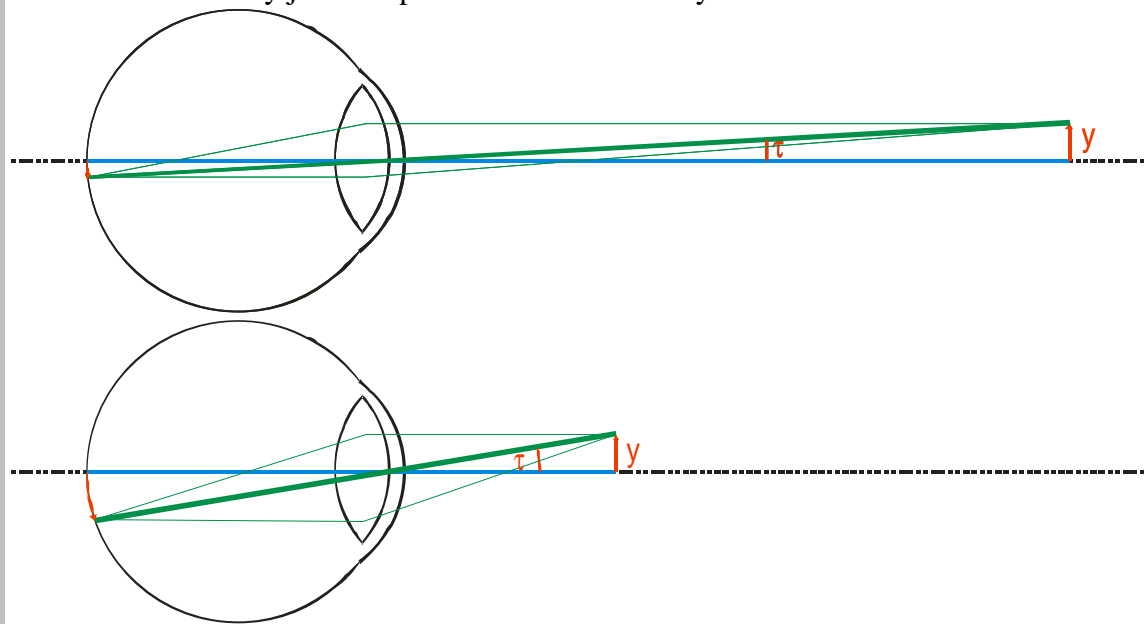
Předpoklady: 5210

Rozlišovací schopnost oka (schopnost rozlišit dva body):

- závisí na velikosti obrazu předmětu na oční sítnici,
- pokud chceme rozlišit dva tmavé body, nesmí jejich obrazy dopadnout na dvě sousední buňky sítnice, ale musí mezi nimi být buňka, na kterou dopadá obraz prostoru mezi nimi.

Př. 1: Rozhodni na čem závisí velikost obrazu, který vytváří lidské oko.

Nakreslíme si obrazy jednoho předmětu ve dvou různých vzdálenostech od oka.



Velikost obrazu šipky je dána vzdáleností obrazů horního bodu (zelené paprsky) a dolního bodu (modré paprsky).

Protože obraz musí vždy vzniknout na sítnici, rozhoduje o jeho velikosti vrcholový paprsek (neláme se na čočce a je nakreslen silněji). Čím je předmět blíže nebo čím je předmět větší, tím větší je úhel mezi vrcholovými paprsky jsoujícími z jeho krajních bodů a tím je větší obraz předmětu na sítnici.

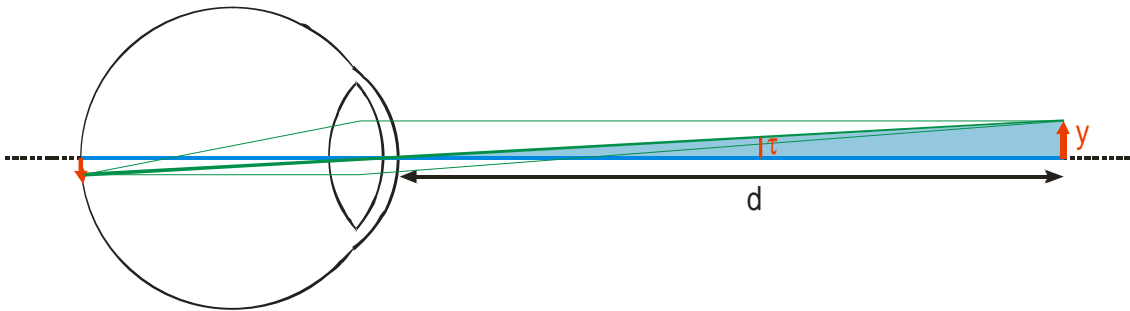
Úhel vyznačený na předchozích obrázcích se nazývá **zorný úhel**, většinou se značí τ .

Př. 2: Nakresli na papír ostře ořezanou tužkou (v nejhorším případě i propiskou, ale zkomplikuje to další realizaci pokusu) dva body těsně vedle sebe tak, aby ještě bylo zblízka možné je rozlišit. Postupně papír vzdaluj od oka a sleduj, jak oba body vidíš.

Během vzdalování bude čím dále těžší oba body rozlišit a v určité vzdálenosti (dané jejich vzdáleností na papíře i okem pozorovatele) oba body splynou.

Je to jasné. Jak vzdalujeme papír od oka zmenšuje se zorný úhel mezi oběma tečkami a tedy i vzdálenost jejich obrazů na sítnici. Pokud je zorný úhel příliš malý, obrazy na sítnici splynou. Narazili jsme na meze **rozlišovací schopnosti**. Běžné zdravé oko rozliší jako samostatné pouze body, které vidí pod úhlem větším než $1'$.

Standardní zorný úhel = zorný úhel, pod kterým bychom pozorovali předmět z konvenční zrakové vzdálenosti.



Velikost zorného úhlu pak určíme z modrého pravouhlého trojúhelníku $tg \tau = \tau = \frac{y}{d}$ (zanedbání $tg \tau = \tau$ platí velmi přesně pro malé úhly v radiánech).

Př. 3: Urči minimální vzdálenost mezi dvěma body, které běžné oko rozezná při pozorování z konvenční zrakové vzdálenosti $d = 25 \text{ cm}$.

$$d = 25 \text{ cm} \quad , \quad \tau = 1' \quad , \quad y = ?$$

$$tg \tau = \frac{y}{d} \quad \Rightarrow \quad y = d \cdot tg \tau = 0,25 \cdot tg 1' = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0,073 \text{ mm}$$

Pokud máme body ve vzdálenosti 25 cm od oka rozlišit, musejí být vzdáleny minimálně 0,073 mm.

Co dělat, pokud potřebujeme vidět ještě větší podrobnosti? Tedy fyzikálně: „Jak zvětšit zorný úhel?“

Můžeme posunout předmět z konvenční zrakové vzdáleností blíže k oku.

Problémy:

- při menší vzdálenosti od oka budou paprsky z předmětu více rozbíhavé a čočka se bude muset více zakulacovat (námaha pro oči, dlouho to nevydrží),
- pokud chceme vidět opravdové podrobnosti, museli bychom dát předmět tak blízko, že by oko nedokázalo spojit paprsky na sítnici a z rozmazaného obrazu bychom stejně nic neviděli.

⇒ Přichází okamžik pro fyziku a optické přístroje.

Lupa

Jakákoliv spojná čočka (nebo spojná soustava čoček) s ohniskovou vzdáleností menší než d .

Princip použití: přiložíme lupu k oku = přidáme k oku další spojku \Rightarrow zvětší se optická mohutnost oka (schopnost oka lámat paprsky) \Rightarrow můžeme pozorovat předměty ve větší blízkosti oka (a tedy pod větším zorným úhlem).

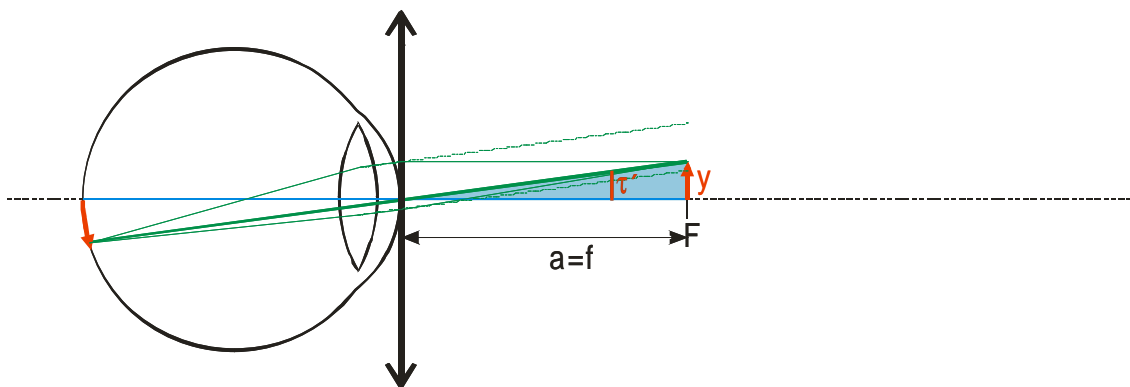
Jak spočítat „sílu lupy“ (jak moc zvětšila)?

Porovnáme zorný úhel s lupou (τ') a zorný úhel bez lupy (τ) \Rightarrow **úhlové zvětšení**

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

Dvě možnosti.

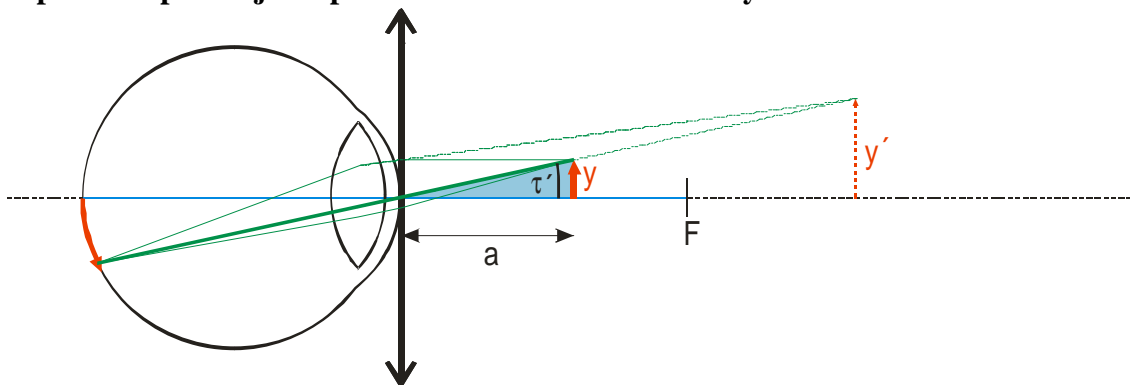
1. předmět pozorujeme v ohniskové rovině čočky



Lupa zlomí rozbíhavý svazek z předmětu v ohnisku na svazek rovnoběžný \Rightarrow oko se nemusí zakulacovat (rovnoběžný svazek vylétá z nekonečně vzdálených předmětů).

úhlové zvětšení
$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau} = \frac{tg \tau'}{tg \tau} = \frac{\frac{y}{f}}{\frac{y}{d}} = \frac{d}{f}$$

2. předmět pozorujeme před ohniskovou rovinou čočky



Lupa zlomí rozbíhavý svazek z předmětu na svazek méně rozbíhavý \Rightarrow oko se musí zakulacovat, ale dokáže vytvořit obraz na sítnici (bez lupy by paprsky zlomilo nedostatečně a obraz by byl rozmazaný).

\Rightarrow **úhlové zvětšení**
$$\gamma = \frac{\tau'}{\tau} = \frac{tg \tau'}{tg \tau} = \frac{\frac{y}{a}}{\frac{y}{d}} = \frac{d}{a}$$

V obou případech platí: čím blíže je předmět k lupě tím větší je jeho obraz na sítnici oka.

Dodatek: Jak je vidět z obrázku, lupa tím, že paprsky vycházející z předmětu zalomí, vytvoří zdánlivý, zvětšený, vzpřímený obraz předmětu (předmět je mezi spojkou a jejím ohniskem) a my okem pozorujeme tento obraz. Na velikost zorného úhlu však tato interpretace nemá žádný vliv. Lupa je umístěna přímo u oka a tak, je vrcholový paprsek lupy i oka stejný a zorný úhel předmětu přiblíženého k oku i jeho zdánlivého obrazu vytvořeného lupou je stejný.

Př. 4: Porovnej argumentaci uvedenou k lupě se svými zkušenostmi. Panujeme mezi nimi soulad?

Odvozený vzorec (menší vzdálenost od lupy = větší zvětšení) neodpovídá reálné zkušenosti při běžném užívání lupy (tam platí obrácený vztah menší vzdálenost od lupy = menší zvětšení).

Příčina rozporu je jednoduchá. Výše uvedená pravidla pro použití lupy platí **pouze za předpokladu, že lupa se nachází přímo u oka**. Tímto způsobem používají lupu zejména hodináři, kteří mají lupy udělané tak, aby se daly nasadit do očního důlku a mohli používat při montáži obě ruce.

Ostatní lidé však používají lupu úplně jinak. Drží lupu v ruce **daleko od oka** a prohlížejí si zdánlivý zvětšený vzpřímený obraz předmětu (umístěného mezi lupou a jejím ohniskem), který lupa vytváří. Tento obraz se zvětšuje s tím, jak se předmět přibližuje k ohnisku lupy (a tedy vzdaluje od lupy samé). Pro běžné použití lupy tedy platí menší vzdálenost od lupy = menší zvětšení.

Přesný vztah pro uhlové zvětšení v tomto případě je podstatně složitější a nemá příliš smyslu ho uvádět. Zájemci si mohou vztah odvodit sami (autor učebnice nad tím před lety strávil asi hodinu).

Pedagogická poznámka: Myslím, že právě na předchozím příkladě si může každý učitel fyziky ověřit, jak zanedbatelně malý vliv má jeho vyučování na praktické chování studentů v životě. Ačkoliv jsem ještě nikdy neviděl člověka (nehodináře nebo nebotanika), který by používal lupu způsobem uvedeným v hodině (a hlavně způsobem jako jediným vysvětleným v učebnicích), ačkoliv všichni studenti měli už v ruce lupy a používali ji zcela jiným způsobem, ačkoliv vzorec tvrdí v přímém rozporu z běžným užitím lupy, že zvětšuje tím více, čím je předmět k lupě blíže, nestalo se nikdy (do okamžiku sepsání této učebnice), že by někdo ze studentů přihlásil a na tento zjevný rozpor upozornil. Tento fakt si nedokážu vysvětlit žádným způsobem, který by zásadně nezpochybňoval samotný smysl naší činnosti ve školách.

Zvětšovací možnosti lupy jsou omezené:

- jednoduché spojky - $\gamma < 6$,
- soustavy čoček $\gamma < 30$.

Jak zvýšit zvětšení více?

Nebudeme pozorovat přímo předmět, ale jeho reálný zvětšený (bohužel i převrácený) obraz. \Rightarrow

Mikroskop

potřebujeme dvě čočky:

- spojka, která vytváří skutečný, zvětšený obraz = **objektiv**,
- spojka, s jejíž pomocí obraz vytvořený objektivem pozorujeme (jako jsme v předchozí části hodiny pozorovali lupou předmět) = **okulár** (je u oka).

Př. 5: Rozhodni.

a) Jaká musí být poloha předmětu vůči objektivu?

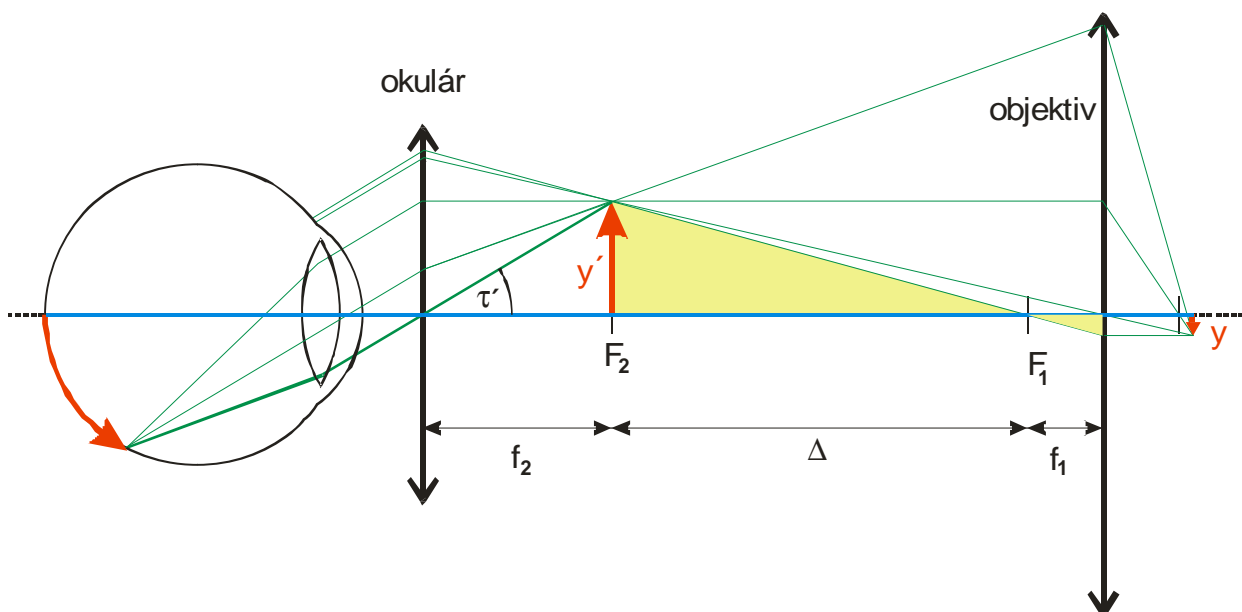
b) Jaká musí být poloha obrazu vytvořeného objektivem vůči okuláru.

Na základě řešení předchozích bodů nakresli schéma mikroskopu.

Objektiv musí vytvořit zvětšený skutečný obraz předmětu \Rightarrow vzdálenost předmětu od objektivu musí být o trochu větší než je jeho ohnisková vzdálenost.

Obraz vytvořený objektivem pozorujeme jako předmět lupou \Rightarrow obraz musí být buď v ohnisku okuláru nebo před ním (znamenalo by to větší zvětšení, ale větší námahu pro oko \Rightarrow okulár je umístěn tak, aby obraz vytvořený objektivem vznikl přímo v jeho ohniskové rovině, paprsky zalomené okulárem byly rovnoběžné a oko je pozorovalo bez akomodace).

\Rightarrow Vzdálenost objektivu a okuláru je dána jejich ohniskovými vzdálenostmi a vzdáleností, ve které vzniká obraz vytvořený objektivem \Rightarrow aby byl tento obraz co nejbližší, používá se u okuláru čočka, co nejmenší ohniskové vzdálenosti.



Pedagogická poznámka: Studenti samozřejmě nemohou nakreslit při řešení příkladu 5 obrázek výše, jde jenom o to, aby nakreslili přibližný obrázek, který po promítnutí obrázku z učebnice, opraví. Pokud nejsou schopni s příkladem hnout, je možné jim pomoci tím, že nakreslíte na tabuli začátek obrázku (pravou stranu).

Př. 6: Pomocí předchozího schématu odvoď vztah pro zvětšení mikroskopu.

Okulár funguje jako lupa \Rightarrow vyjdeme ze vzorce pro zvětšení lupy při pozorování předmětu

$$\text{v ohniskové rovině } \gamma = \frac{\tau'}{\tau} = \frac{\text{tg } \tau'}{\text{tg } \tau} = \frac{\frac{y'}{f_2}}{\frac{y}{f_2}} = \frac{y' \cdot d}{f_2 \cdot y} \quad (\text{změny: v horním zlomku je } y' \text{ místo } y, \text{ protože nepozorujeme předmět, ale obraz vytvořený objektivem, ohnisková vzdálenost má index 2, protože používáme dvě čočky, okulár je druhý})$$

Musíme vypočítat velikost obrazu y' : Z podobnosti žlutých pravoúhlých trojúhelníků

$$\text{platí: } \frac{y'}{\Delta} = \frac{y}{f_1} \Rightarrow y' = \frac{y \cdot \Delta}{f_1} .$$

$$\text{Dosadíme do prvního vztahu: } \gamma = \frac{y' \cdot d}{f_2 \cdot y} = \frac{\frac{y \cdot \Delta}{f_1} \cdot d}{f_2 \cdot y} = \frac{\Delta \cdot d}{f_1 \cdot f_2} .$$

Vzdálenost Δ označujeme jako optický interval mikroskopu, řádově 15 – 20 cm.

Zvětšení mikroskopu se většinou pohybuje od 50 do 1000, maximální teoretická hranice je 2000 (omezení vlnovou délkou světla).

Vztah pro úhlové zvětšení mikroskopu se většinou rozděluje na dvě části:

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot d}{f_1 \cdot f_2} = \frac{\Delta}{f_1} \cdot \frac{d}{f_2} = Z \cdot \gamma_2 , \text{ kde}$$

- $Z = \frac{\Delta}{f_1}$ = příčné zvětšení objektivu (až stovky) \Rightarrow ohnisková vzdálenost čočky objektivu je řádově mm \Rightarrow kvůli vadám zobrazení je vyroben z více čoček,
- $\gamma_2 = \frac{d}{f_2}$ = úhlové zvětšení okuláru (většinou desítky).

\Rightarrow Proto, když mikroskopujeme, násobíme číslo z objektivu s číslem na okuláru.

Př. 7: Vysvětlí, proč musíme pozorovaný předmět osvětlovat pomocí zrcátka nebo žárovičky.

Při tisícinásobném zvětšení se rozměry zvětší 1000x, plocha se zvětšuje s druhou mocninou tedy 1000000x, množství světla připadající na jednotku plochy se stejným poměrem zmenší
⇒ pozorovaný předmět musí být velmi dobře osvětlený, aby po zvětšení bylo ještě něco vidět.

Shrnutí: Zorný úhel můžeme zvětšovat lupou nebo mikroskopem.