

Optika – základní pojmy

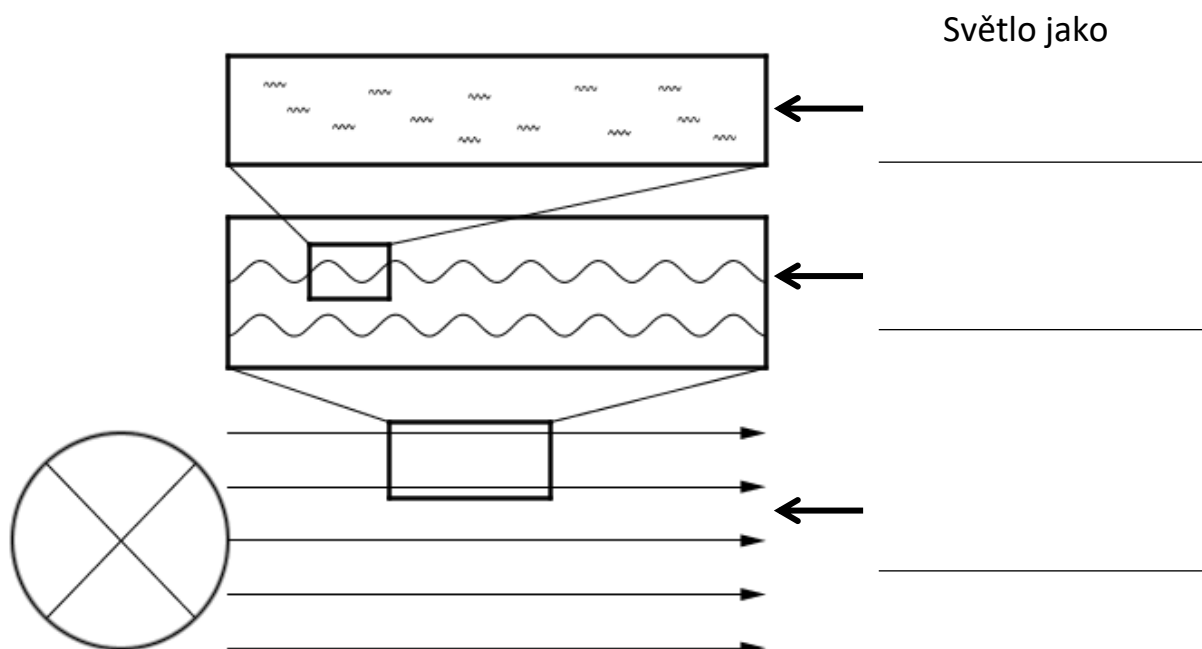
Optika se zabývá zkoumáním podstaty _____ a zákonitostí _____ jevů, které vznikají při šíření _____ a při vzájemném působení _____ a látky.

Světlo

Na to, co je to vlastně světlo, se můžeme dívat různě. Záleží na tom, co je pro nás důležité a jak „zblízka“ se na něj budeme dívat.

1. **Paprsková optika** zkoumá světlo jako _____. Takto se na světlo můžeme dívat „normálně“, tzn. Bez přístrojů a tehdy pokud budeme zkoumat, co dělá světlo, když se potká s předměty „normálních“ velikostí (výrazně větších než je vlnová délka světla).
2. **Vlnová optika** zkoumá světlo jako _____ vlnění. Toto se nám bude hodit, pokud budeme světlu do cesty stavit objekty velikosti srovnatelné s vlnovou délkou světla. Takže se vlastně budeme na světlo dívat z „větší blízkosti“.
3. **Kvantová optika** se dívá na vlnu jako na proud _____. Můžeme si to představit tak, že pokud bychom si ten světelný paprsek ještě víc přiblížili, tak už to není ani paprsek, ani vlna, ale objevíme jeho kvantový charakter.

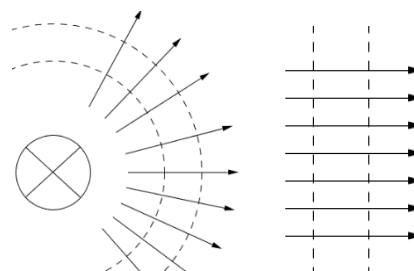
Do následujícího obrázku doplňte popisky.



V paprskové optice budeme potřebovat tyto dva pojmy:

Vlnoplocha – světlo se ze zdroje šíří ve vlnoplochách.

Světelný paprsek – přímka kolmá na vlnoplochu.



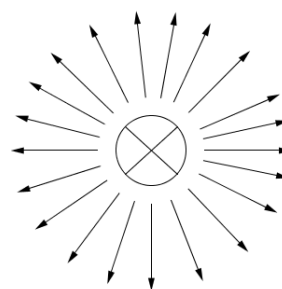
Zdroje světla

Světlo může pocházet z různých zdrojů. Pro naše účely si je můžeme rozdělit podle toho, jaký je původ tohoto světla na:

- **Přirozené** = slunce, oheň, blesk
- _____ = žárovka, zářivka

A podle toho, jak k nám letí paprsky:

- **Bodový** = zdroj světla je zanedbatelně malý.
(žárovka)



- _____ = jakýkoliv, od nějž jsme dostatečně daleko. (slunce)



Optická prostředí

K šíření světla potřebujeme prostředí, kterým by se světlo mohlo šířit. Z hlediska toho, jak tato prostředí ovlivňují chod světelných paprsků, rozeznáváme tato prostředí:

- **Průhledná** – světelné paprsky prochází beze změny. Skrz toto prostředí vidíme „normálně“. Například: vzduch, sklo, ...
- **Průsvitná** – světelné paprsky prochází, ale jejich směr se při průchodu prostředím mění. Skrz prostředí vidíme „rozmazaně“. Například: mléčné sklo, tenký papír, ...
- **Neprůhledné** – světelné paprsky se buď odrazí, nebo pohltí. Skrz toto prostředí není vidět. Například: cihla, dřevo, ...

Z hlediska optických vlastností můžeme optická prostředí rozdělit na:

- **Opticky homogenní** – má všude stejné optické vlastnosti.
- **Opticky izotropní** – vlastnosti prostředí nejsou závislé na směru. Světlo se šíří všemi směry stejně.
- **Opticky anizotropní** – prostředí má v různých směrech různé vlastnosti. (některé krystaly)

Elektromagnetické vlnění

Světlo můžeme vnímat jako elektromagnetické vlnění. Jde o příčné vlnění, které ke svému šíření nepotřebuje látkové prostředí (proto může světlo putovat i vakuem).

Rychlost světla ve vakuu je $c = 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \doteq 300\,000\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}} \doteq 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nebo $3 \cdot 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

Stejně jako pro jiné elektromagnetické záření, tak i pro světlo je určující veličinou vlnová délka. Vlnová délka se značí λ a její jednotkou je metr, vlnová délka se spočítá podle následujícího vzorečku (doplň veličiny a jejich jednotky):

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

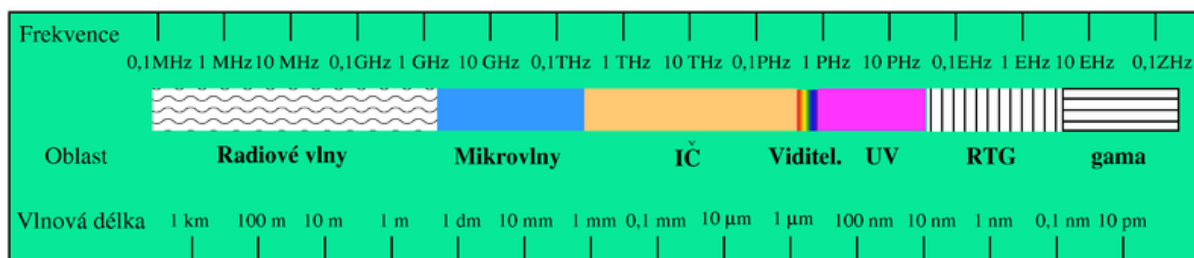
λ ... _____ c ... _____ f ... _____

V případě vlnových délek světla se budeme bavit spíš o nm (nanometrech). Určitě si vzpomenete, že (doplň):

$$1 \text{ nm} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0, \quad 1 \text{ m}$$

Elektromagnetické spektrum

Možná jste už slyšeli, že viditelné světlo není jediné elektromagnetické vlnění. Na následujícím obrázku se můžeme podívat, jak to vlastně je. Teď si o těch dalších vlněních nebudeme nic říkat, to si necháme na někdy příště.

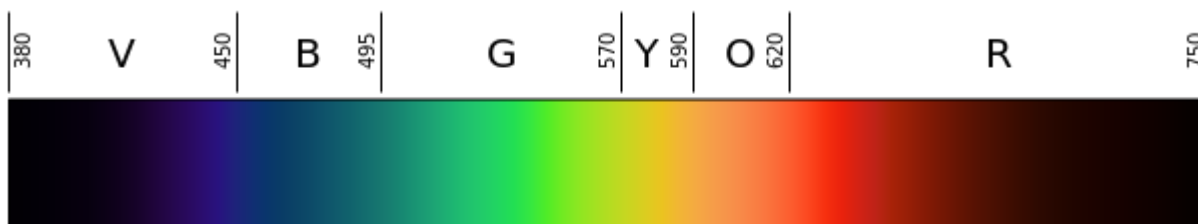


Obrázek 1 Elektromagnetické vlnění
Kf, ElmgSpektrum dostupný jako volné dílo z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:ElmgSpektrum.png>

Viditelné spektrum

Všimni si, že viditelné světlo je jenom velice úzká část elektromagnetického spektra. Udává se, že viditelné spektrum je vlnění v rozsahu 390 nm až 790 nm. V každé publikaci najdete údaj trochu jiný.

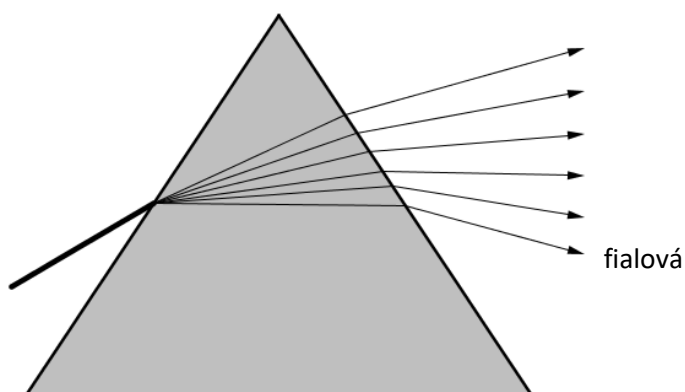
Žádný z nich není „absolutně správný“, ono každé oko je trochu jiné a vnímá trochu jiné spektrum. Pokud bychom si vytáhli viditelné světlo, tak bychom získali následující obrázek:



Obrázek 2 Viditelné světlo

Gringer, Linear visible spectrum dostupný jako volné dílo z http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Linear_visible_spectrum.svg

Všimni si, že tam nikde nenajdeš „bílé“ světlo. Bílé světlo se totiž skládá z různých barev. Nebo naopak můžeme říct, že bílé světlo se může rozložit na jednotlivé barvy. O tom, proč se světlo rozkládá, si budeme říkat později, ale už teď se můžeme podívat na to, jak se rozkládá. Do následujícího obrázku dopiš barvy paprsků. Pokud máš pastelky, tak je můžeš i obarvit.



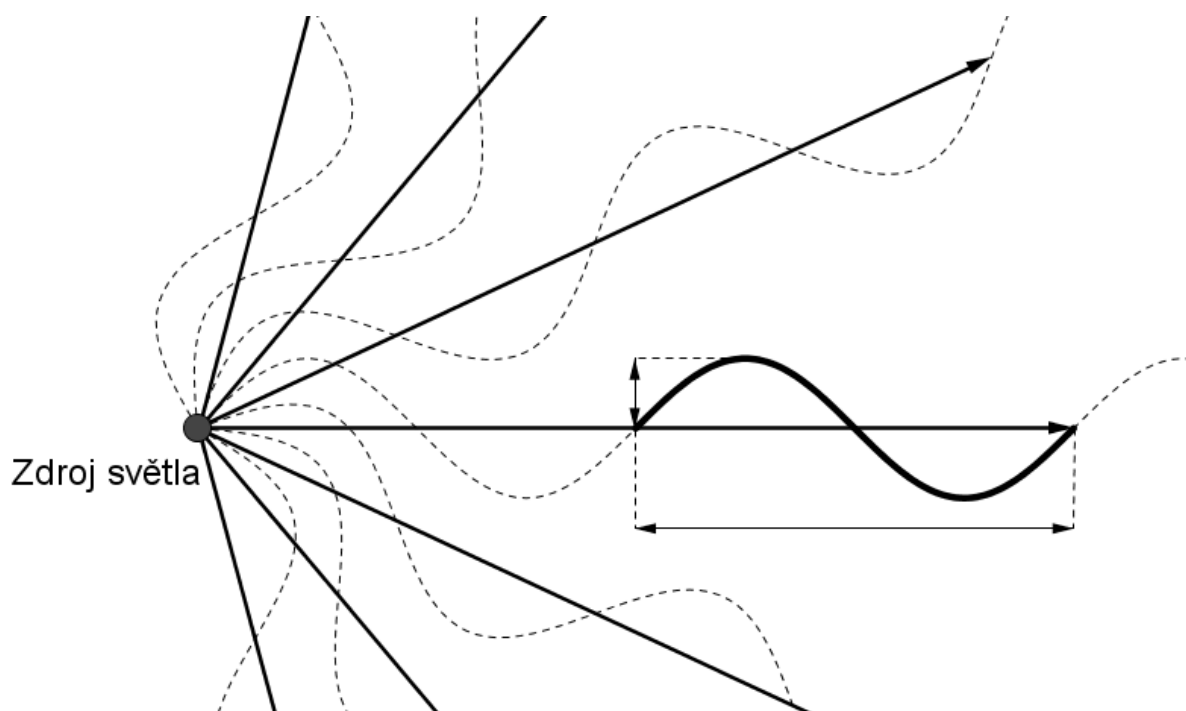
Obrázek 3 Rozklad optickým hranoem
Vlastní archiv

Frekvence a vlnová délka světla

Pojem frekvence i vlnová délka už určitě znáte. Doplňte následující tabulku.

Veličina	Značka veličiny	Jednotka (značka)
Frekvence		
Vlnová délka		
Perioda		
Amplituda		

Do následujícího obrázku doplň ty veličiny, které tam chybí. K tomu označ alespoň několik světelných paprsků. Dále zkus zaznačit několik vlnoploch.



Určitě si vzpomenete, že vlnová délka se přepočítává na frekvenci podle nějakého vzorce. Doplňte tento vzorec (v obou variantách):

$$\lambda =$$

$$f =$$

Dopočítej zbytek tabulky (neboj se vhodně zaokrouhlit a to i c):

Barva	Min f	Max f	Min λ	Max λ
Červená	405 THz	480 THz		
Oranžová	480 THz	510 THz		
Žlutá	510 THz	530 THz		
Zelená			520 nm	565 nm
Modrá			430 nm	520 nm
Fialová			380 nm	430 nm

Podívej se na následující video

https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=7l9-AL30hQg

a vypočítej, v jaké vzdálenosti budou spečené kousky čokolády, když na mikrovlnce najdeme frekvenci 2 300 MHz. Můžeš počítat se zaokrouhlenou rychlostí světla.

$c =$

$f =$

$\lambda =$

Vzdálenost dvou spečených míst bude_____.

Jiné druhy záření

Už víme, že viditelné světlo není jediným druhem elektromagnetického záření. Pokud si to, ale potřebujeme zopakovat, tak si najděte odpovídající obrázek.

Dnes se podíváme na ta záření, která jsou nejbliž viditelnému spektru.

Infračervené záření (IČ, IR)

Vlnová délka (λ): 1 mm – 790 nm

Frekvence (f): _____

Vlnová délka IR je _____ než je vlnová délka viditelného světla.

Zdrojem infračerveného záření jsou tělesa, která jsou teplá. Tomuto záření se proto také říká tepelné záření.

Infračervené světlo (záření) je pro lidské oko neviditelné, ale platí pro něj všechna pravidla a zákony jak pro viditelné světlo. Navíc umíme sestavit přístroje, které toto světlo „vidí“ a umí nám jej převést na viditelné světlo. Jsou to různé termokamery, termodalekohledy, apod. Zkráceně se jim říká termovize.

Termovize se používá třeba:

- _____
- _____

Vzhledem k tomu, že IR je tepelným zářením, tak se používá také jako infračervené topení (zářič) buď v koupelnách nebo infrasaunách.

Kromě těchto použití se IR používá k přenosu informací: IR port, dálkové ovládání apod.

Zajímavost:

Pokud chcete „vidět“ IR například z dálkového ovládání, abyste mohli zjistit, jestli v něm nemáte vybité baterie, tak použijte mobilní telefon s fotoaparát. Namiřte na fotoaparát dálkové ovládání a zmáčkněte nějaké tlačítko. Pokud je vše v pořádku, tak byste měli vidět, jak se IR dioda rozzáří.

Vysvětlete, proč to tak je:

Ultrafialové záření (UV)

Vlnová délka (λ): 380 nm – 10 nm

Frekvence (f): _____

Toto záření je pro lidské oko (vyber) viditelné/neviditelné.

Přirozeným zdrojem tohoto záření je pro nás slunce. Toto záření je pro lidský organismus do jisté míry prospěšné. Kůže reaguje na toto záření tím, že ztmavne (opálí se). Toto záření pomáhá v kůži vytvářet vitamin D.

Ve větší intenzitě je pro lidský organismus škodlivé, protože způsobuje rakovinu. Pro oči je také škodlivé, proto si musíme zrak chránit brýlemi s UV filtrem. Pro ostatní organismy je také škodlivé, proto se používá například pro dezinfekci lékařských nástrojů nebo pro čištění vody.

UV záření také reaguje s různými materiály.

Všichni asi znají vybledlé barvy předmětů a papírů, které dlouho ležely na slunci. Na druhou stranu jsou barvy, laky a jiné materiály, které se za pomoci UV vytvrzují. Asi nejznámější jsou zubní plomby z fotokompozitu. Dále se využívá toho, že některé materiály pohlcují UV záření a pak sami vyzařují, ať již ve viditelném nebo neviditelném spektru. Jedno z využití tohoto jevu známe z kriminalistických seriálů, kde kriminalisté za pomoci UV luminiscence (tak se tento jev jmenuje) hledají stopy po krvi a podobně. Jiné využití nejspíš znáte z diskoték a klubů, kde UV zářivky rozzáří UV aktivní látky a barvy. A dále se s tímto jevem můžeme setkat u ochranných prvků bankovek.

Rentgenové záření (x-ray)

Vlnová délka (λ): 10 nm – 1 pm

Frekvence (f): _____

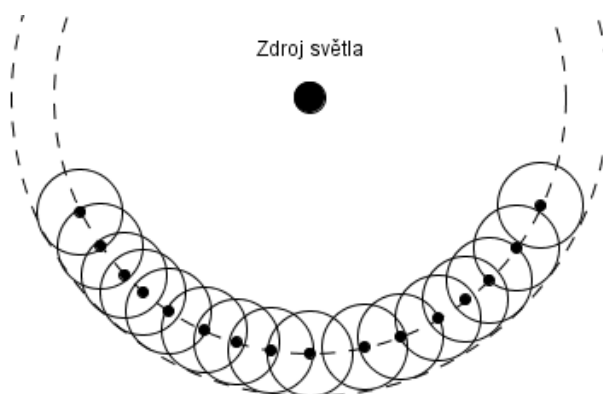
Jedná se o záření s vyšší frekvencí, než je frekvence UV záření. Toto záření má větší energii a tak proniká spoustou materiálů. Díky této vlastnosti se používá například v lékařství k pořizování rentgenových snímků. Toto je principiálně jednoduchá technologie. Rentgenové záření prochází měkkou tkání (kůže, svaly, ...), ale kosti jej pohlcují. Toto záření pak dopadá na fotografické desky, které nám po vyvolání ukáží to, co známe jako rentgenové snímky.

Stejně jako UV záření i toto záření u některých materiálů vyvolává fluorescenci. Toto záření je ale pro živé organismy nebezpečnější.

Odraz a lom světla

Tyto dva jevy se řídí stejnými principy jako mechanické vlnění. Tyto principy vychází z **Huygensova principu**:

Každý bod vlnoplochy, do něhož dospělo vlnění v určitém časovém okamžiku, lze považovat za zdroj elementárního vlnění, které se z něho šíří v elementárních vlnoplochách. Vlnoplocha v dalším časovém okamžiku je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch.



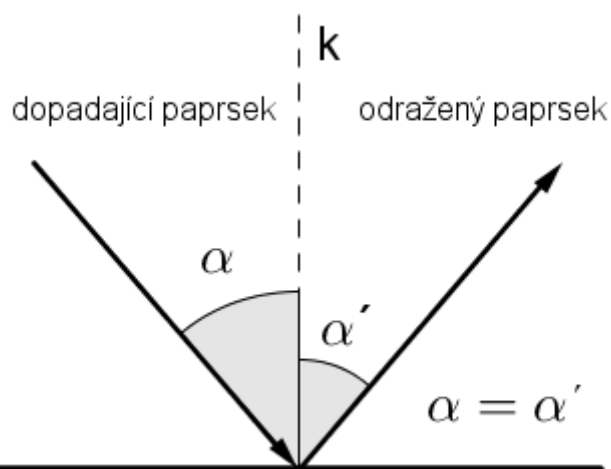
Huygensův princip můžeš pozorovat na tomto apletu: http://www.walter-fendt.de/ph14cz/huygenspr_cz.htm

Odraz světla

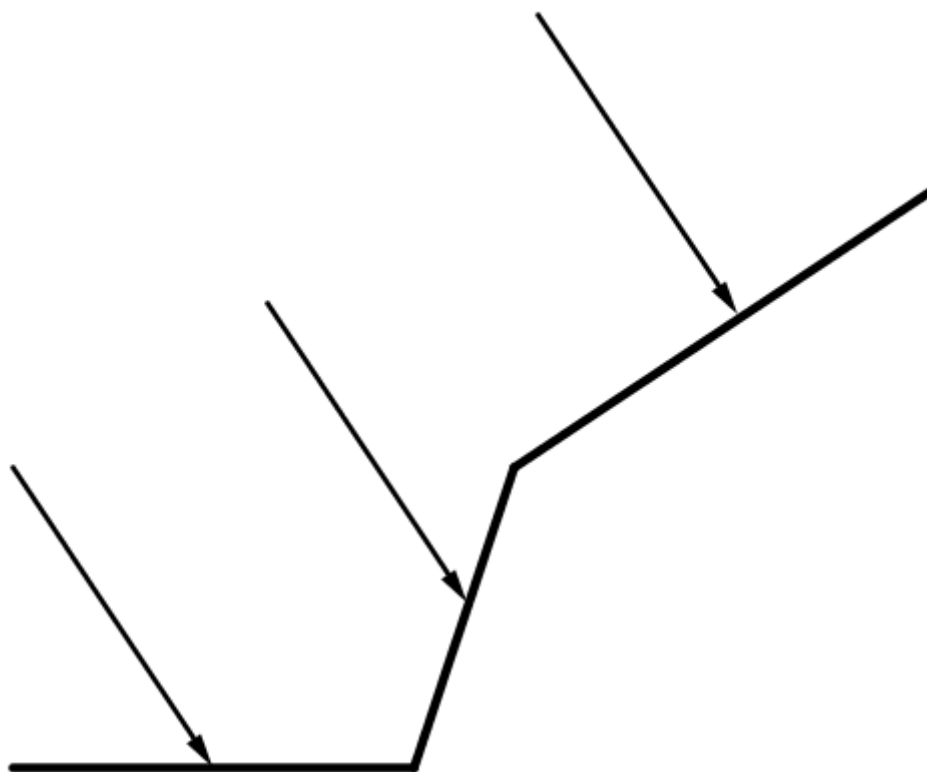
Dochází k němu na rozhraní dvou optických prostředí.

Odraz světelného paprsku se řídí následujícími pravidly:

Úhel odrazu (α') se rovná úhlu dopadu (α). Odražený paprsek leží v rovině dopadu.



Cvičení 1: do obrázku doplňte odrazy jednotlivých světelných paprsků.



Lom světla

Při přechodu světelného paprsku mezi dvěma optickými prostředími, které mají různé optické vlastnosti, tak dojde k lomu světla.

Důležitou vlastností optického prostředí je jeho index lomu a optická hustota.

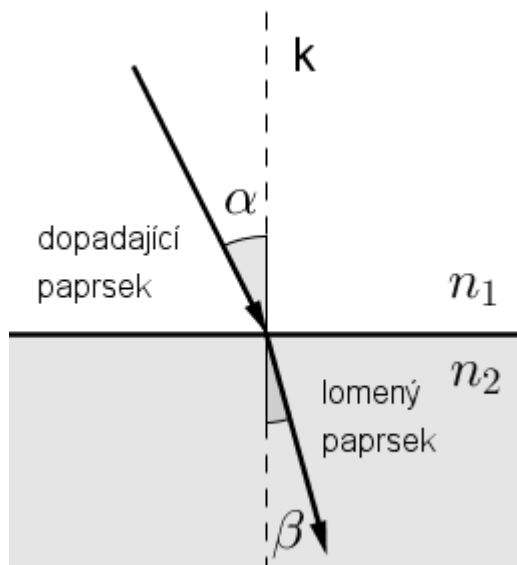
S indexem lomu se lépe seznámíme v dalších hodinách, dnes nám bude stačit vědět, že se značí n je to bezrozměrné číslo (nemá jednotku) a jeho minimální hodnota je 1.

Opticky **hustší** prostředí je s **vyšším indexem lomu**.

Opticky **řidší** prostředí je s **nižším indexem lomu**.

Velikost úhlu dopadu a úhlu lomu se řídí podle Snellova zákona:

Poměr sinu úhlu dopadu a sinu úhlu lomu je rovný převrácenému poměru indexů lomu daných optických prostředí $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$. Jiný používaný tvar vzorce je $\sin \alpha \cdot n_1 = \sin \beta \cdot n_2$



Při přechodu z **opticky řidšího do opticky hustšího** prostředí ($n_1 < n_2$) dochází k lomu **ke kolmici** ($\alpha > \beta$).

Při přechodu z **opticky hustšího do opticky řidšího** prostředí ($n_1 > n_2$) dochází k lomu **od kolmice** ($\alpha < \beta$).

Na vedlejším obrázku je lom _____, to znamená, že n_1 _____ n_2 .

Cvičení 2: Dopačítej, co v zadání chybí, vždy jde o lom světla, kde paprsek jde z prostředí n_1 do n_2 .

a) $n_1 = 1; n_2 = 1,5; \alpha = 60^\circ$

b) $n_1 = 1,5; n_2 = 1,2; \alpha = 50^\circ$

c) $n_1 = 1; \alpha = 60^\circ; \beta = 45^\circ$

Index lomu

S pojmem index lomu jsme se už setkali a slíbil jsem, že se k němu vrátíme. Tak teď nadešel ten čas.

Podívejme se, co je vlastně ten index lomu a k čemu se používá.

Index lomu je fyzikální veličina a popisuje přechod mezi dvěma optickými prostředími. Abychom nemuseli mít v tabulkách hodnoty pro všechny možné dvojice prostředí, tak rozeznáváme dva druhy indexu lomu.

Absolutní index lomu

Je to poměr rychlosti světla ve vakuu a v daném prostředí. Značí se n a nemá jednotku (je to bezrozměrné číslo). Když se nad tím zamyslíme, tak zjistíme, že absolutní index lomu nám říká, kolikrát je světlo v daném prostředí pomalejší než ve vakuu.

$$n = \frac{c}{v}$$

Jde vlastně o index lomu při přechodu světla z vakua do „toho druhého prostředí.“ Toto jsou ty hodnoty, které najdeme v tabulkách a o kterých mluvíme, když (nepřesně) řekneme „index lomu“.

Index lomu nezáleží jenom na prostředí, ale i na vlnové délce světla (proto se různé barvy lámou různě).

Relativní index lomu

Asi jste si zvykli, že pokud se někde objeví slovo „absolutní“, tak někde jinde na nás vykoukne i jeho protiklad „relativní“ a tak je to i tady.

Zatímco absolutní index lomu je pro přechod vakuum/jiné prostředí, tak relativní index je pro dvě prostředí, kde ani jedno z nich není vakuum. Je to v podstatě zobecněný absolutní index lomu:

$n_{12} = \frac{v_1}{v_2}$. K jeho výpočtu použijeme absolutní indexy lomů a dostaneme vzorec $n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$. Kdyby někoho zajímalo, proč to tak je, tak si to může zkusit vypočítat:

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} =$$

Úplný odraz světla

Rekapitulace

Zopakuj si výpočty úhlu lomu podle Snellova zákona. U posledního příkladu se zamysli nad tím, proč tomu tak je. (Ve všech příkladech je použito standardní značení: n_1 ... první prostředí, n_2 ... druhé prostředí, α ... úhel dopadu, β ... úhel lomu).

1) $n_1 = 1; n_2 = 1,5; \alpha = 40^\circ; \beta = ?$

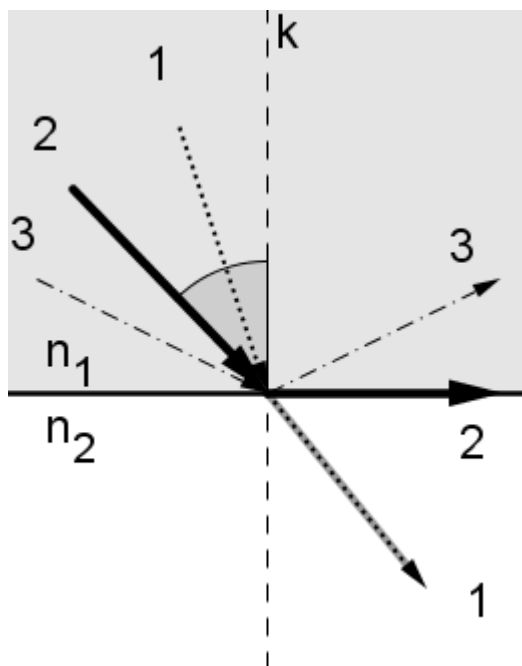
2) $n_1 = 2; n_2 = 1,3; \alpha = 35^\circ; \beta = ?$

3) $n_1 = 2,3; n_2 = 1; \alpha = 50^\circ; \beta = ?$

Mezní úhel

Pokud prochází světelný paprsek z prostředí opticky řidšího do opticky hustšího ($n_1 < n_2$), pak dochází k lomu _____, jinými slovy $\alpha > \beta$.

V opačném případě, když paprsek letí z prostředí opticky hustšího do opticky řidšího ($n_1 > n_2$), dochází k lomu _____, jinými slovy $\alpha < \beta$.



Při určitých podmínkách by úhel β měl být větší než 90° a to není možné, protože pak už nejde o lom světla. Podívej se na obrázek. Všimni si, že při určitém úhlu dopadu α_m , bude velikost úhlu lomu $\beta = 90^\circ$. Na obrázku jsou to paprsky označené čísly 2.

Pokud bude **úhel dopadu menší** než tento úhel α_m , pak **dojde k lomu**.

Pokud bude **úhel dopadu větší** než tento úhel α_m , pak **k lomu nedojde a bude se jednat úplný odraz**.

Možná tě bude zajímat, proč o tom mluvíme jako o „úplném odrazu“ a ne jenom o „odrazu“. Je to protože vždy dochází k nějakému částečnému odrazu (= část světla se odrazí a část projde a zlomí se). Ale po překročení tohoto úhlu α_m už k lomu nedochází a všechno světlo se odrazí.

Protože je tento úhel významný, tak si zasloužil i vlastní

pojmenování _____.

Snellův zákon můžeme použít k tomu, abychom vypočítali tento úhel, uděláme to jednoduše tak, že za β dosadíme 90° ($\sin 90^\circ = 1$): $\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}$

Shrnutí

K úplnému odrazu dochází při přechodu světla z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího prostředí při dosažení nebo překročení určitého úhlu dopadu (α_m), kterému říkáme _____.

Toto může nastat třeba při přechodu voda/vzduch, diamant/vzduch a proto se nám toto rozhraní pod určitým úhlem bude jevit jako zrcadlo.

Procvičování

Zkus vypočítat α_m pro různá prostředí:

1) $n_1 = 1,33; n_2 = 1; \alpha_m = ?$

2) $n_1 = 2; n_2 = 1,2; \alpha_m = ?$

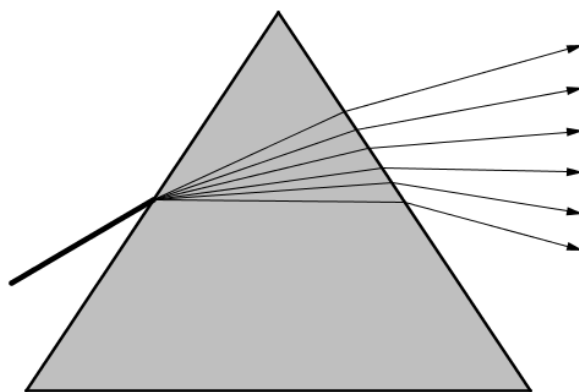
Výsledky zkus ověřit za pomoci tohoto apletu: http://www.walter-fendt.de/ph14cz/refraction_cz.htm

Rozklad (disperze) světla

Zkombinujeme dva jevy, o kterých jsme se dozvěděli v minulých hodinách:

1. Při přechodu světelného paprsku z jednoho optického prostředí do druhého dochází k lomu světla.
2. Každá barva světla má jiný index lomu.

Připomeňme si následující obrázek a doplň barvy jednotlivých paprsků.



Obrázek 4 Rozklad světla na optickém hranolu
Vlastní tvorba

V následující tabulce najdete indexy lomu flintového skla pro různé barvy:

Barva	Index lomu
Červená	1,5986
Oranžová	1,6038
Žlutá	1,6085
Zelená	1,6145
Fialová	1,6404

Vypočítej a zapiš do tabulky, jaký úhel lomu budou mít paprsky jednotlivých barev, pokud půjdou z vakua ($n = 1$) a úhel dopadu bude $\alpha = 45^\circ$.

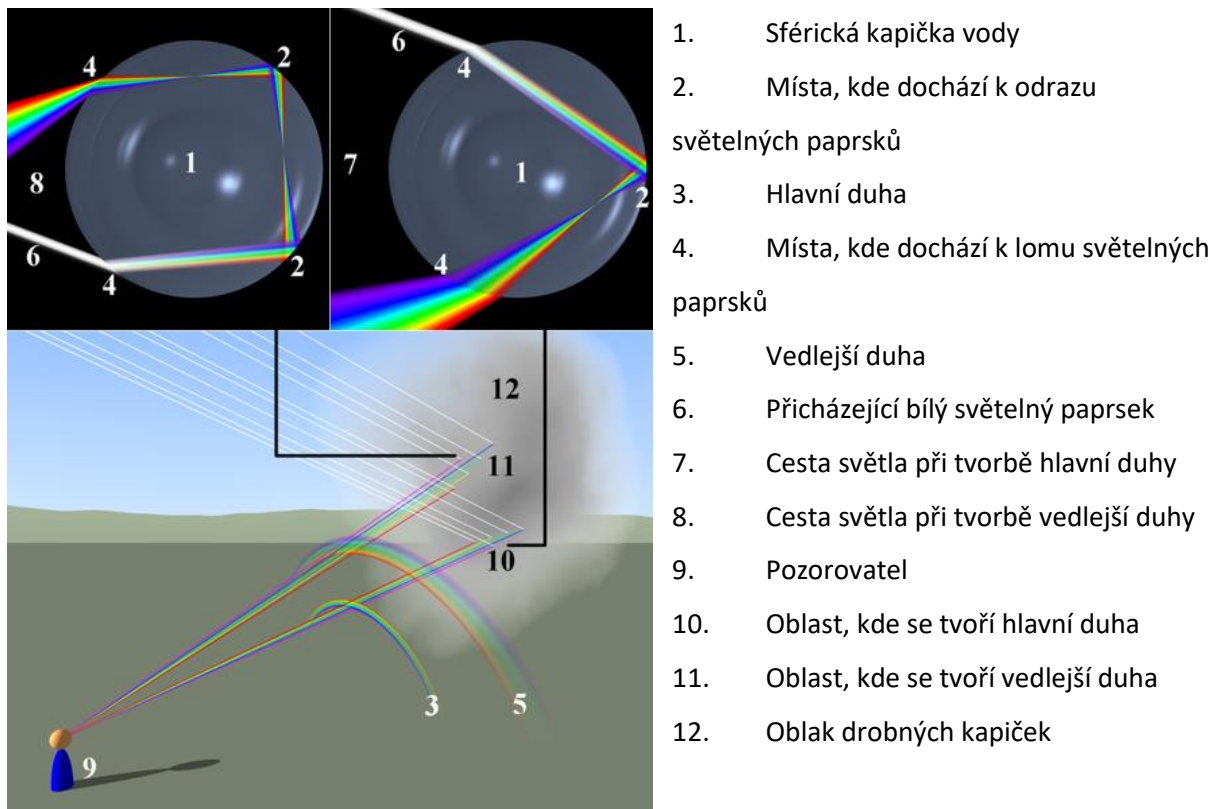
Barva	Úhel lomu β
Červená	
Oranžová	
Žlutá	
Zelená	
Fialová	

Duha

Rozklad světla nemusí být způsoben jenom optickým hranolem. Možná jste už zkoušeli „házet prasátko“ pravítkem. Většina pravítek se dá použít místo optického hranolu. Podobně můžeme použít i CDčko nebo DVDčko. Pokud ne, tak jsi určitě viděl přírodní ukázkou rozkladu světla a to duhu.

Všeobecně se tvrdí, že duha vzniká tehdy, pokud svítí slunce a při tom prší. Předpokladem, pro to aby vznikla duha, je totiž slunce a ve vzduchu musí být kapičky vody.

Podívej se na následující obrázek, který ukazuje, jak taková duha vzniká.



Obrázek 5 Tvoření duhy

Peo, Rainbow formation, dostupný pod licencí CC BY-SA 3.0 z http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Rainbow_formation.png

Pokud by mi někdo chtěl tvrdit, že duhu ještě neviděl, tak se na ni může podívat tady:

<https://www.youtube.com/watch?v=0MVqS01j0Us>

Optická soustava

Pojem optická soustava patří do paprskové (geometrické) optiky. Paprsková optika znamená, že budeme světlo vnímat jako paprsky. A geometrická zase to, že budeme potřebovat pravítka, kružítko a ostrou tužku.

Za optickou soustavu můžeme považovat vše, co nějakým způsobem mění chod světelných paprsků. V praxi to znamená, že optická soustava je charakteristická tím, že se zde potkávají různá optická prostředí.

Takže pokud vezmeme noviny a stočíme je do ruličky, tak se o optickou soustavu nejedná (mezi okem a předmětem je jenom jedno optické prostředí, které nemění chod světelných paprsků), pokud ale vezmeme brýle, tak to optická soustava je (paprsky letí přes 3 optická prostředí vzduch-čočka-vzduch, která mění chod světelných paprsků).

Zobrazení optickou soustavou

Zobrazování optickou soustavou je založeno na 4 principech:

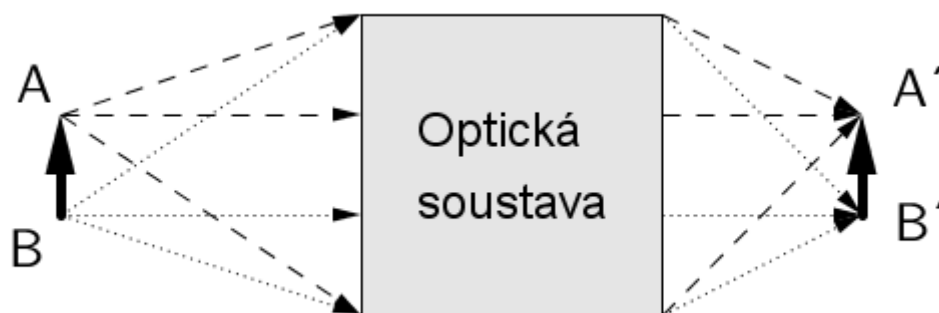
1. **Přímočaré šíření světla** – světelné paprsky letí rovně.
2. **Nezávislost chodu světelných paprsků** – když se dva (a víc) světelných paprsků protne, tak se nijak neovlivní a každý z nich letí normálně dál.
3. _____ – paprsek, který dopadne na rozhraní dvou optických prostředí, se odrazí. Úhel odrazu je stejný jako úhel dopadu.
4. _____ – paprsek se při průchodu z jednoho optického prostředí do prostředí jiného láme. Úhel lomu se vypočítá z úhlu dopadu a indexů lomu obou prostředí pomocí _____ zákona.

Při zobrazování optickou soustavou budeme potřebovat následující pojmy.

Předmět – je to skutečně existující objekt, který zobrazujeme optickou soustavou. Většinou stojí v obrázcích vlevo. Světelné paprsky jsou od něj. Při výpočtech se používají veličiny bez indexu.

Obraz – je to co vnímáme po průchodu světelných paprsků optickou soustavou. Většinou je v obrázcích vpravo. Při výpočtech se používají veličiny s čarou.

Do následujícího schématu dopiš, co je předmět a co obraz.



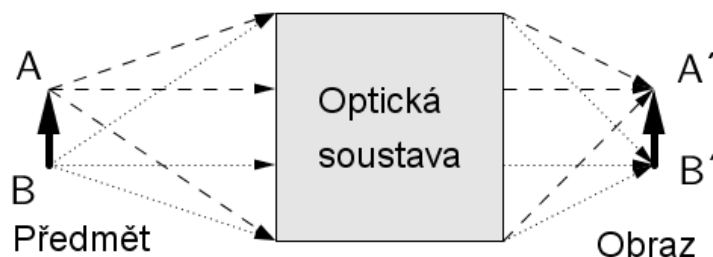
Opakování

1. Světelný paprsek dopadá na zrcadlo pod úhlem $\alpha = 40^\circ$, pod jakým úhlem se světelný paprsek odrazí?
2. Světelný paprsek prochází ze vzduchu ($n = 1$) do vody ($n = 1,33$). Na rozhraní těchto dvou prostředí dopadá pod úhlem $\alpha = 35^\circ$. Pod jakým úhlem se tento paprsek zlomí? Při jakém úhlu dopadu se paprsek už neodrazí? Proč?
3. Světelný paprsek prochází ze vzduchu ($n = 1$) do prostředí s neznámým indexem lomu. Úhel dopadu je $\alpha = 40^\circ$ a úhel lomu $\beta = 30^\circ$. Vypočítej index lomu neznámého prostředí.

Konstrukce obrazu

Už víme, že obraz bývá většinou napravo. Pojďme se podívat, jakým způsobem získáme obraz. Předmět je nějaký fyzický obraz, abychom mohli získat jeho obraz, tak se od něj musí odrážet světelné paprsky. Představ si že předmět je sestaven z bodů, z nichž vychází paprsky do všech stran. Proto taky ten předmět můžeme ze všech stran pozorovat.

Potom vezmeme ty paprsky, které se nám „hodí“ (to záleží na zobrazovací soustavě) a necháme je „projít“ tou zobrazovací soustavou. A hotovo.

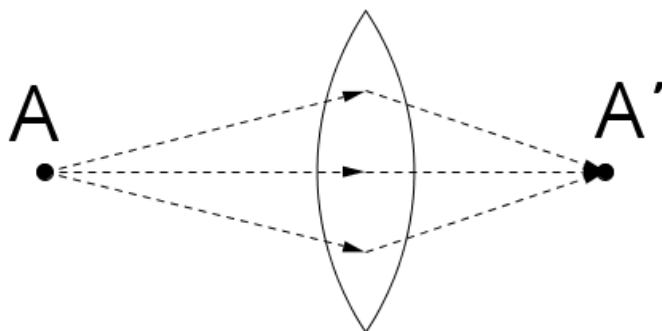


Vlastnosti obrazu

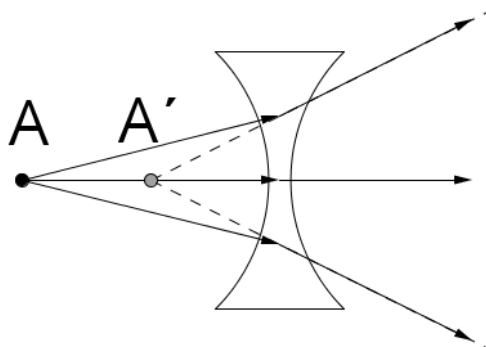
Jak se postupně budeme věnovat jednotlivým zobrazovacím soustavám (zrcadla, čočky, ...) tak u obrazů budeme určovat jejich vlastnosti. Teď si je uvedeme, abychom pak věděli, o čem se mluví.

Skutečný (reálný) × neskutečný (zdánlivý)

Skutečný je takový obraz, který vznikne tím, že se paprsky v nějakém bodě protnou. Tento obraz můžeme zachytit na stínítku.



Neskutečný obraz je takový, kde je svazek paprsků rozbíhavý, obraz nelze zachytit na stínítku.



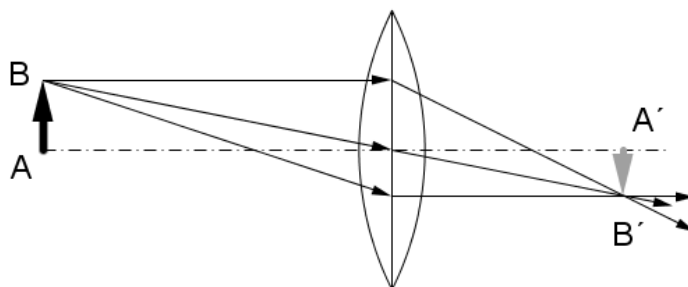
Zvětšený × zmenšený × stejný

Zvětšený je logicky ten obraz, který je větší než předmět. Stejně tak i **zmenšený** je menší než obraz a **stejný** znamená, že je stejně velký.

Převrácený × vzpřímený

U některých zobrazení zůstane obraz vzpřímený a u některých je převrácený. Aby se to dalo poznat, tak se předmět (a obraz) kreslí jako šipka.

Jak vypadá **převrácený** obraz, se můžeme podívat třeba na následující obrázek.



O obrazu na předchozím obrázku můžeme říct, že je (vyber):

skutečný × neskutečný

zvětšený × zmenšený × stejný

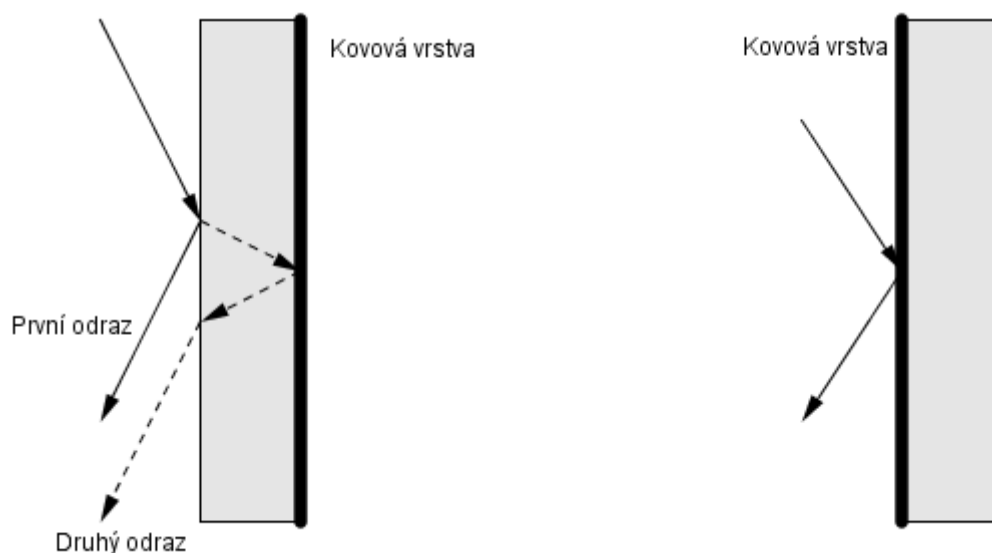
převrácený × vzpřímený

Zrcadla

Všichni jsme někdy viděli zrcadlo, takže si je nemusíme představovat. Zkusme se na ně ale podívat z fyzikálního hlediska. Základní vlastností zrcadla je to, že odráží světelné paprsky. Jak už víme, k odrazu světelných paprsků dochází na rozhraní dvou optických prostředí s různým indexem lomu.

Zrcadla používají lidé už od pradávna. Nejstarším zrcadlem byla pravděpodobně nějaká louže nebo jiná vodní hladina, která má pod správným úhlem vlastnosti téměř dokonalého zrcadla. Vždy když paprsek přechází z jednoho prostředí do druhého, tak kromě lomu dochází i k odrazu.

Jako další zrcadla sloužily pravděpodobně leštěné kusy kovu nejčastěji stříbra. V současnosti je nepoužívanějším materiálem sklo, na jehož zadní stranu se nanese tenká vrstva kovu a přes tu ještě ochranný nátěr. Tímto vznikne zrcadlo, jehož obraz je mírně zkreslený a zdvojený. To pro běžné účely stačí. Pokud je potřeba skutečně přesné zobrazení (měřicí přístroje, fotoaparáty a podobně), pak se vrstva kovu nanáší před sklo. Tím se dosáhne přesnějšího zobrazení, ale zrcadlo je náchylnější na poškození.



Polopropustná zrcadla

Asi téměř všichni viděli nějaký americký film, kdy je podezřelý vyslýchán za polopropustným zrcadlem. Spoustu lidí zajímá, jak to funguje. Pojďme se na to podívat. Představte si, že zrcadlo neodráží všechny světelné paprsky, ale nějakou část propustí. Pokud bude mít dvě místnosti oddělené tímto zrcadlem, pak z té temnější bude do té světlejší vidět naopak ne.

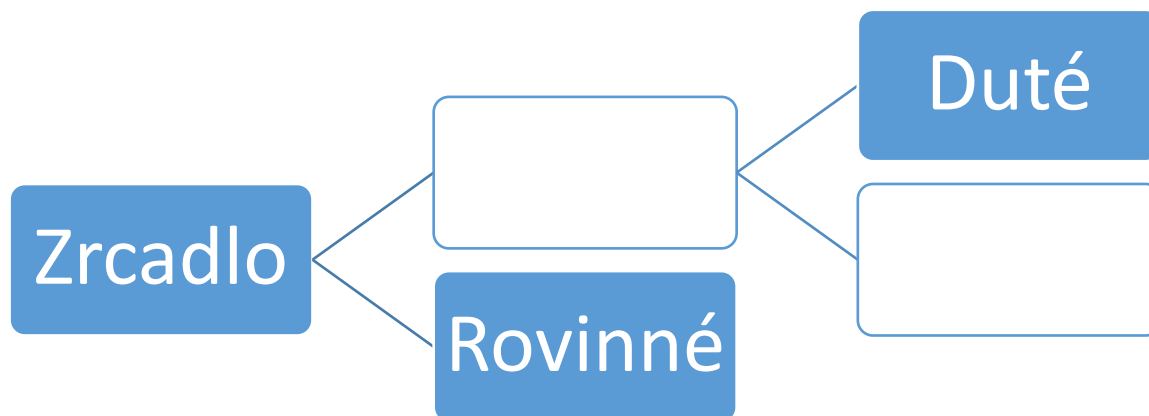
Zatmavená skla na autech fungují podobně. Zevnitř ven vidět jde, protože je to z tmavšího místa na světlejší.

Pokud tě to zajímá, tak se můžeš podívat na:

http://fyzika.jreichl.com/main.article/gallery/473-zobrazeni-rovinnym-zrcadlem/folder/pruhledna_zrcadla

Rozdělení zrcadel podle tvaru

Podle tvaru můžeme zrcadla rozdělit na (doplň):



Triky se zrcadly

Zrcadla mají mnoho využití. K různým kouzelnickým trikům se používají už odnepaměti. Podívej se na následující internetovou stránku <http://fyzika.jreichl.com/main.article/gallery/473-zobrazeni-rovinnym-zrcadlem/folder/kouzla> a zkus zjistit ve které starší (1971) české hrané pohádce byl tento trik použitý. Pár nápověd:

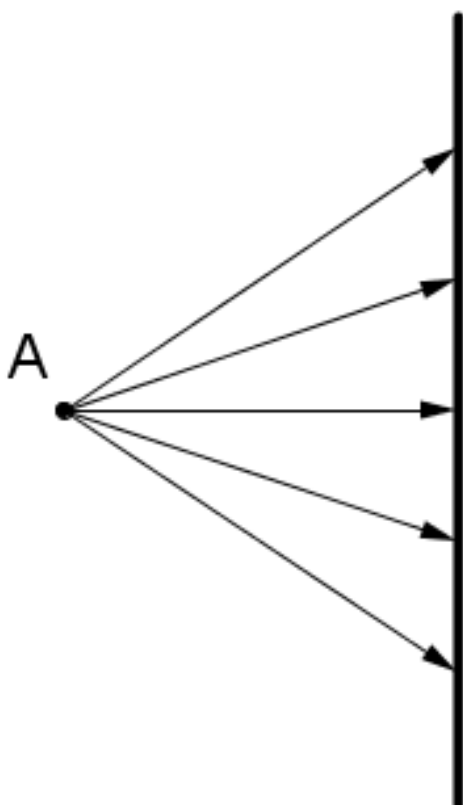
- Hlavní role hráli Petra Černocká a Jan Hrušínský.
- Zazněla zde hláška: „Oni zapomněli, že Kolumbus přijede lodí, vodovodem.“
- Hlavní hrdinka celou dobu shání odvar z babského ucha.

Jméno filmu je: _____

Zobrazení rovinným zrcadlem

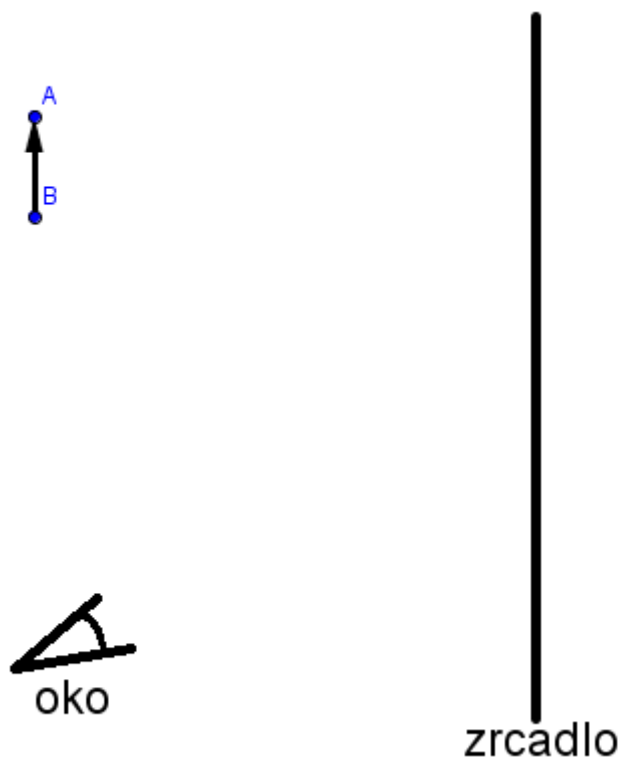
Jedná se o nejjednodušší případ zobrazení zrcadlem. Zrcadlo je v tomto případě rovné a proto nám stačí oprášit si znalosti z geometrie, konkrétně o [osovou souměrnost](#). Budu vycházet z toho, že osovou souměrnost znáte (nebo se ji doučíte z odkazu). Proto pojďme rovnou na příklady.

1. Do následujícího obrázku dokresli, jak se budou od zrcadla odrážet jednotlivé paprsky a kde vznikne obraz bodu A. (Využij zákon odrazu.)



2. Na následujícím obrázku máte předmět a zrcadlo. Vaším úkolem je dorysovat (= za pomoci tužky, pravítka a kružítka sestavit):

- obraz tohoto předmětu,
- světelné paprsky z bodů A a B do oka pozorovatele.



Spoj, co k sobě patří a zaznač to, do nákresu:

výška obrazu a

výška předmětu a'

vzdálenost obrazu y

vzdálenost předmětu y'

Vyber, jaké vlastnosti má obraz:

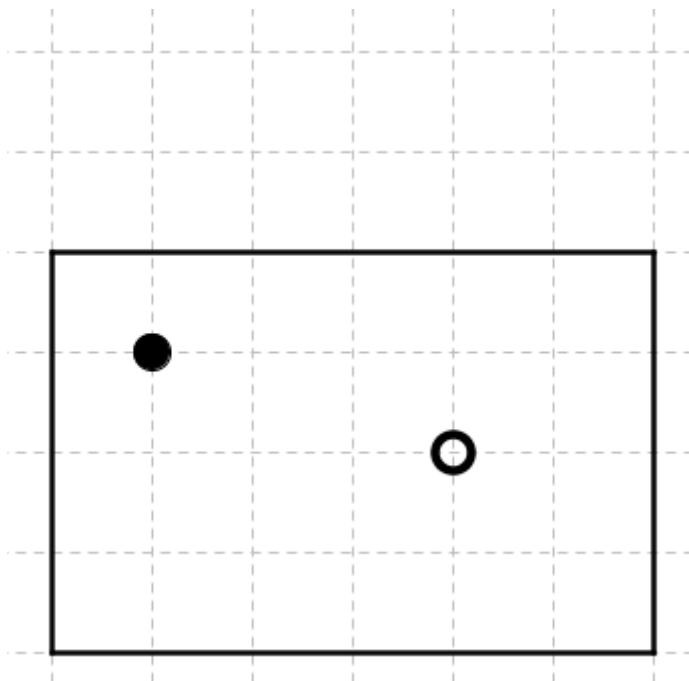
skutečný × neskutečný

vzpřímený × převrácený

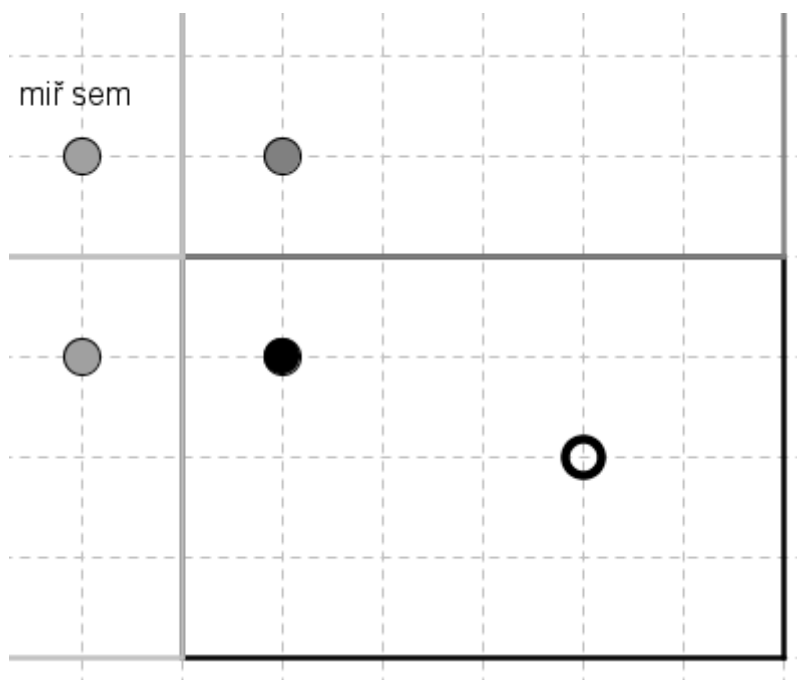
zmenšený × stejný × zvětšený

Zrcadla a osová souměrnost se dá použít například při hraní kulečnicku.

3. Černou kouli si zobraz osově podle horní hrany kulečnicku a zamiř na ni bílou kouli. Narýsuj skutečnou dráhu bílé koule. Ten zbytek dráhy k imaginární kouli udělej čárkovaně. Nezapomeň, že platí zákon lomu...



4. Následující příklad bude záludnější. Koule bude zrcadlena dvakrát. Mířit budeš na tu kouli, která bude vlevo nahoře a zase narýsuj skutečnou i imaginární dráhy bílé koule.

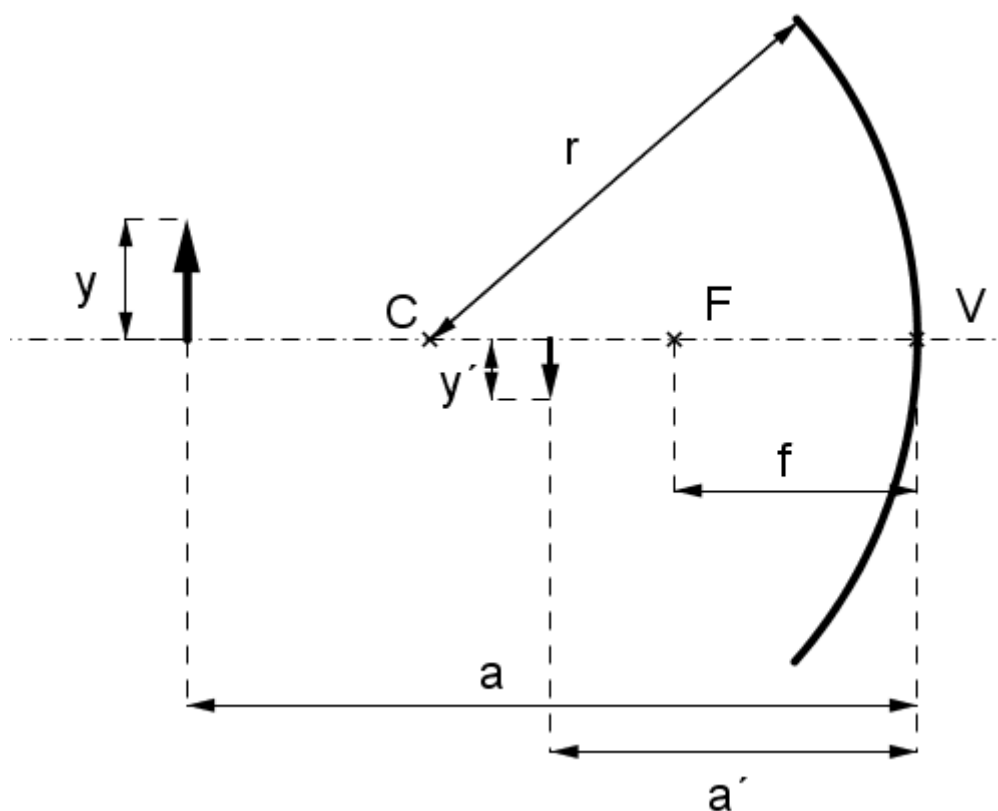


Pokud tě tyto úkoly zaujaly, tak můžeš zkusit kulečnick na adrese (doporučuji level 1):
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/index.php?topic=41>

Kulová zrcadla

Na začátek si zopakujme, že kulová zrcadla jsou ta zrcadla, která jsou částí kulové plochy. To znamená, že jsou tvořena jakoby navrchu nebo vevnitř koule. Podle toho pak rozeznáváme zrcadla **vypuklá** (na povrchu koule) nebo **dutá** zrcadla (vevnitř koule).

Na následujícím obrázku je zrcadlo _____ .

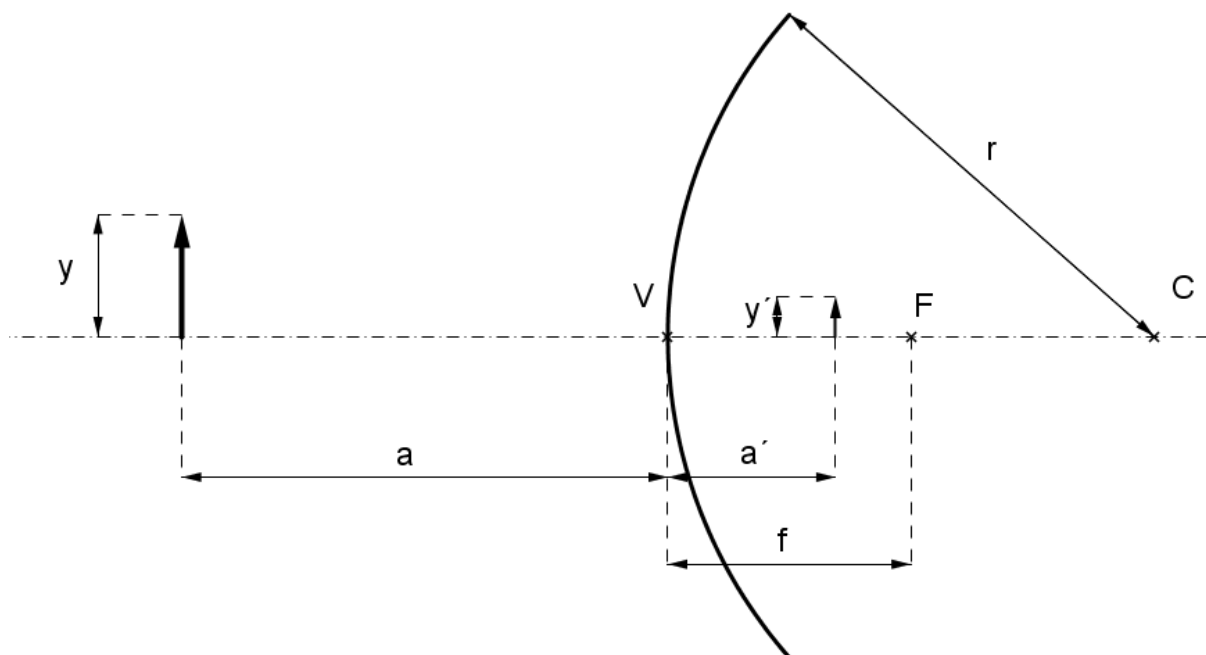


a ... _____
a' ... _____
C ... _____
F ... _____
f ... _____

r ... _____
V ... _____
y ... _____
y' ... _____

Vysvětli, co znamená vzorec $f = \frac{r}{2}$

Na následujícím obrázku je zrcadlo _____.



Použité označení znamená:

a ... _____
a' ... _____
C ... _____
F ... _____
f ... _____

r ... _____
V ... _____
y ... _____
y' ... _____

Zobrazení kulovým zrcadlem

Ted' již víme, jak se u zrcadel označují jednotlivé věci, pojďme se ted' konečně podívat na zobrazení těmito zrcadly.

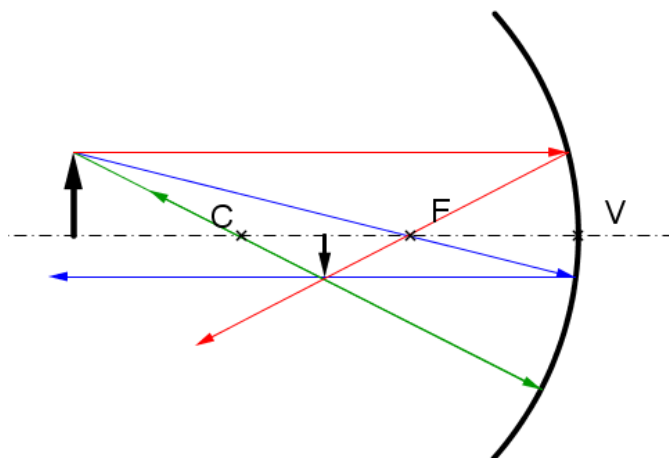
K zobrazení používáme (alespoň) dva ze tří význačných paprsků.

1. **Paprsek procházející středem křivosti zrcadla se odrazí zpět po své trase.**
2. **Paprsek procházející ohniskem zrcadla se odrazí vodorovně s optickou osou.**
3. **Paprsek letící rovnoběžně s optickou osou se odrazí tak, že protne ohnisko.**

Barvy jsou zde proto, abychom pak našly ty paprsky i v nákresech.

Pojďme se ted' podívat na jednotlivé nákresy.

Zobrazení dutým zrcadlem



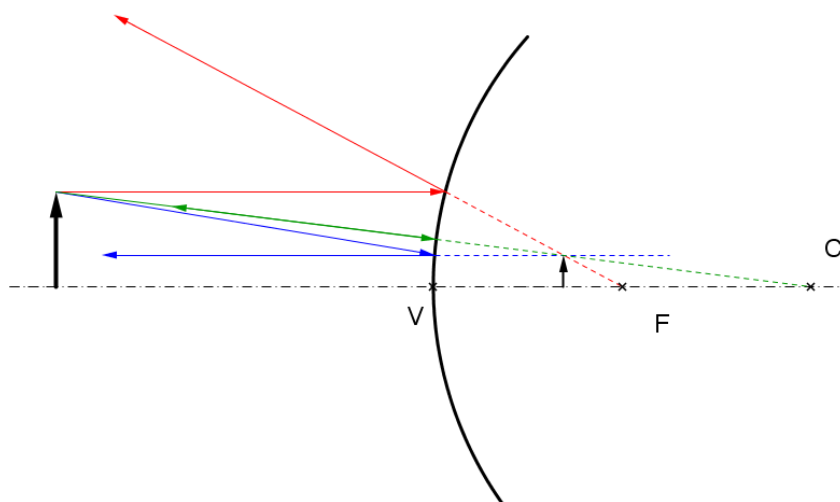
Vyber, jaké vlastnosti má obraz:

skutečný × neskutečný

vzpřímený × převrácený

zmenšený × stejný × zvětšený

Zobrazení vypuklým zrcadlem



Vyber, jaké vlastnosti má obraz:

skutečný × neskutečný

vzpřímený × převrácený

zmenšený × stejný × zvětšený

Další příklady

Na této stránce http://fyzweb.cz/materialy/aplety_hwang/thin_lens/Lens/lens_cz.html najdete aplet, díky kterému můžete doplnit následující tabulku.

Pár rad:

- V pravém nahoře si přepni z „čočka“ na „zrcadlo“.
- Pokud budeš potřebovat vypuklé zrcadlo, tak před ohniskovou vzdáleností změň „+“ na „-“ (je tam na to tlačítko).

Zrcadlo	Vzdálenost předmětu (a)	Vlastnosti obrazu
Duté zrcadlo	$a > r$	
	$a = r$	
	$f < a < r$	
	$a = f$	
	$a < f$	
Vypuklé zrcadlo	$a > r$	
	$a = r$	
	$f < a < r$	
	$a = f$	
	$a < f$	

Zobrazovací rovnice kulového zrcadla

Už víme, jak získáme obraz předmětu při zobrazení kulovým zrcadlem. Fyzika je ale i o počítání, pojďme se podívat, jak se dají počítat vzdálenosti obrazů a předmětů. Pro tento účel se právě používá zobrazovací rovnice kulového zrcadla. Podívejme se, jak vypadá:

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

Nejlíp ji asi pochopíme, když ji zkusíme v příkladech. Než se ale vrhneme na výpočty, tak bychom si měli říct několik základních pravidel v používání znamének.

Kladné znaménko

znamená, že je daný prvek je vlevo od zrcadla (pokud uvažujeme s klasickým rozvržením, že předmět je vlevo od zrcadla). Pokud bude **kladná ohnisková vzdálenost**, tak se jedná o **duté zrcadlo**.

Pokud bude **kladná obrazová vzdálenost**, tak se jedná o **skutečný obraz**.

Záporné znaménko

znamená, že je daný prvek vpravo od zrcadla. Pokud bude **záporná ohnisková vzdálenost**, tak se jedná o **vypuklé zrcadlo**.

Pokud bude **záporná obrazová vzdálenost**, tak se jedná o **neskutečný obraz**.

Příklady

1. Příklad

Máme kulové zrcadlo jehož ohnisková vzdálenost je 50 cm. Předmět je ve vzdálenosti 20 cm. V jaké vzdálenosti bude obraz? Bude obraz skutečný nebo neskutečný?

2. Příklad

Jaký má zrcadlo poloměr zakřivení a o jaké zrcadlo se jedná, když bude předmět i obraz ve vzdálenosti 35 cm od zrcadla?

3. Příklad

V jaké vzdálenosti od zrcadla je předmět, pokud má zrcadlo ohniskovou vzdálenost – 30 cm a obraz je ve vzdálenosti – 20 cm. O jaké zrcadlo se jedná a obraz je reálný nebo nереálný?

Příčné zvětšení

Když už umíme počítat se vzdálenostmi předmětu i obrazu, tak se pojdme podívat na druhou rovnici, která nám umožní (mimo jiné) počítat s velikostmi předmětu a obrazu. Správně bych měl místo „velikost“ říkat a psát „výška“, ale věřím, že si budeme rozumět i takto. Tato rovnice v základním tvaru vypadá jednoduše:

$$Z = \frac{y'}{y}$$

Říká nám, že poměr výšky obrazu k výšce předmětu je roven Z a to je naše příčné zvětšení. Jednotku příčného zvětšení si můžeme sami odvodit, když si do rovnice dosadíme jednotky.

$$[Z] = \frac{[m]}{[m]}$$

Takže o jednotce příčného zvětšení můžeme říct, že

_____.

1. Příklad

Předmět o výšce 10 cm se na dutém zrcadle odrazí jako obraz o výšce 8 cm. Vypočítej,

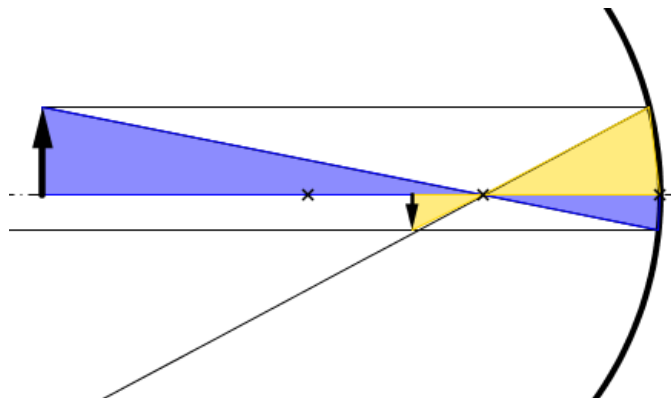
- jaké je příčné zvětšení,
- jak by byl velký obraz, kdyby předmět měl 12 cm a
- jak velký by musel být předmět, aby měl obraz přesně 15 cm.

V tomto příkladu budeme počítat s tím, že nebudeme měnit vzdálenost předmětu od zrcadla.

Když bychom si s touto rovnicí trochu pohráli a použili podobnost trojúhelníků, tak bychom mohli dostat další tvary nebo formy vyjádření příčného zvětšení. Pokud si s tím, ale hrát nechceme, tak budeme muset věřit, že to tak je:

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

Kdo nevěří, tak ať se podívá na následující obrázek a ty trojúhelníky si tam najde. Všichni si ale do obrázku zaznačí a, a', y, y', f .



Stejně jako ze zobrazovací rovnice jsme dokázali říct, jestli bude předmět skutečný nebo neskutečný, tak i zvětšení nám dokáže říct něco o vlastnosti obrazu. Dopln následující tabulku.

Zvětšení	Obraz je
$Z > 0$	vzpřímený
$Z < 0$	
$ Z > 1$	
$ Z < 1$	
$ Z = 1$	stejně velký

2. Příklad

Obraz je ve vzdálenosti 12 cm od zrcadla, předmět je také ve vzdálenosti 12 cm od zrcadla, jak velký bude obraz, když předmět má na výšku 7 cm? Co víš o obrazu?

Čočky

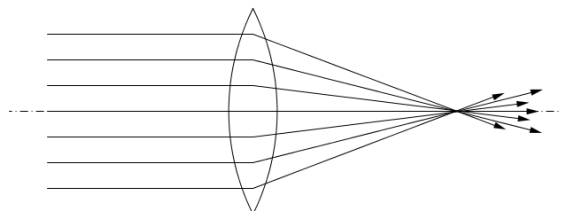
Už víme, že zrcadla pracují na principu odrazu světelných paprsků. Teď se podívejme na prvek optických soustav, který využívá lomu světelných paprsků – čočky.

Aby mohlo dojít k lomu světelných paprsků, tak čočka musí být vyrobena z materiálu s vyšším indexem lomu, než je index lomu vzduchu. To splňuje například sklo. Čočky, o kterých se budeme bavit, se označují jako tenké čočky. Tenká je v porovnání s poloměry zakřivení kulových ploch.

Když se začneme s čočkami blíže seznamovat, tak zjistíme, že mají hodně podobného s kulovými zrcadly. Tak například se podle tvaru také dělí na dvě velké skupiny.

Spojky

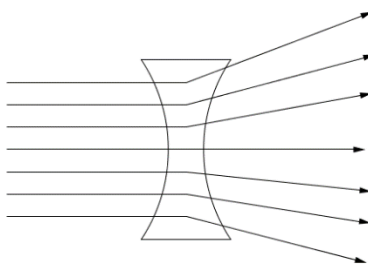
Jsou to čočky, které svazek rovnoběžných paprsků koncentrují do jednoho místa = spojují světelné paprsky. Podle schématu si můžeme udělat obrázek, jak to vypadá.



Všimni si, že spojka je vypuklá. Na obrázku je čočka, která se označuje jako dvojvypuklá. Další druhy čoček uvidíte později.

Rozptylky

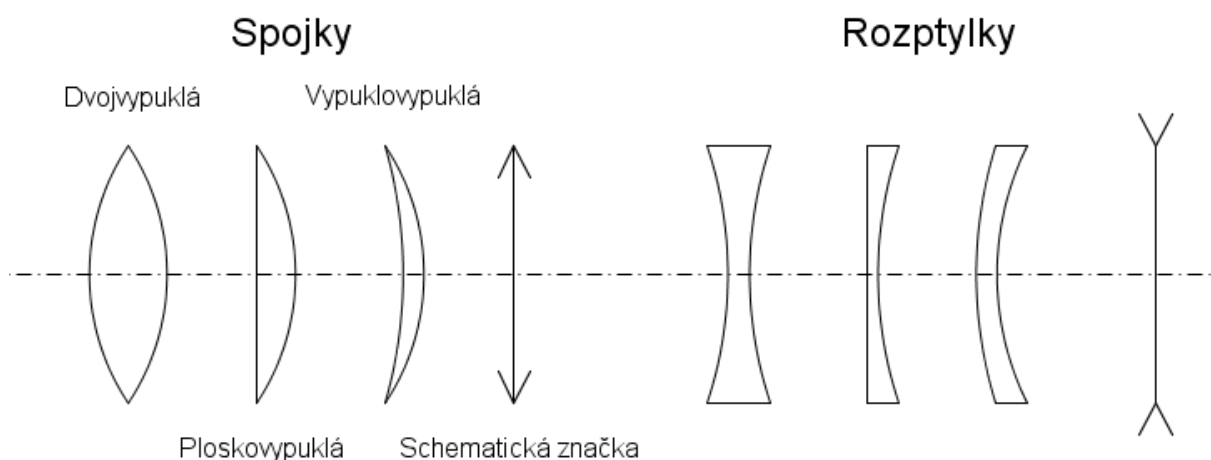
Tento druh čoček naopak svazek rovnoběžných paprsků rozptýlí.



Tak jak spojka je označována jako vypuklá, tak je rozptylka označována jako dutá a ta na obrázku se označuje jako dvojdutá.

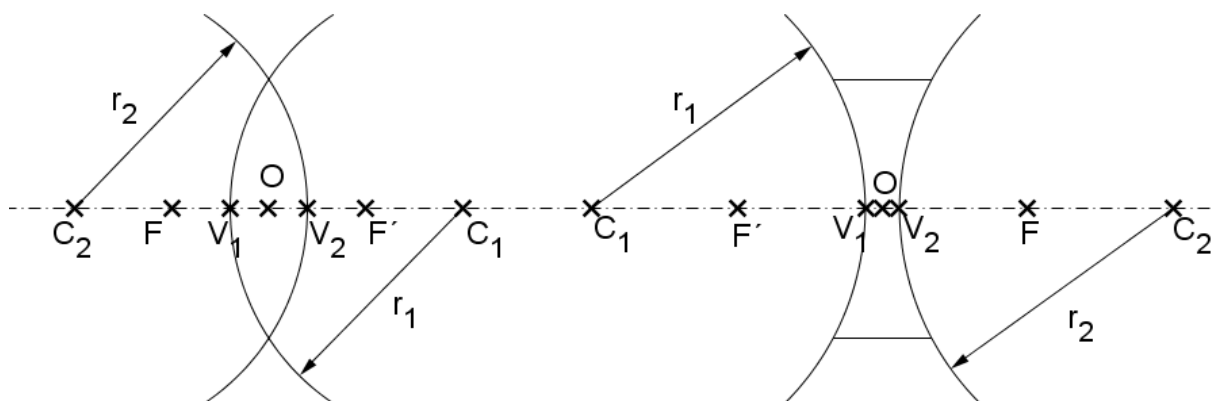
Další typy čoček

Tady se můžeme podívat na další typy čoček. Všimni si názvosloví. Vždycky je to **něco + vypuklá** nebo **něco + dutá**. To „něco“ označuje levou stranu čočky a to „vypuklá“ nebo „dutá“ označuje pravou stranu. Navíc se podíváme na schematické značky, které doporučuji naučit se. Když znáš pravidla pro tvorbu názvů čoček, tak určitě nebude problém doplnit názvy rozptylek.



Popis čoček

Podobně jako jsme zvyklí u kulových zrcadel i u čoček najdeme podobné pojmy, které se i podobně označují. Následující obrázek nám pomůže s tím, abychom se v tom orientovali.



Všimni si, že vše, co se týká té strany čočky, na kterou dopadá světlo první (v našem případě je to levá strana čočky) má indexy $_1$ a ta druhá strana má indexy $_2$. Týká se to **poloměrů křivosti** (r_1, r_2), **středů křivosti** (C_1, C_2) a **vrcholů** (V_1, V_2). Střed čočky je označen O. Ohniska jsou zde také dvě. **Předmětové ohnisko** (F) je bod, kterým když projdou paprsky, tak jsou za čočkou rovnoběžné s optickou osou. A **obrazové ohnisko** (F'), to má zase tu vlastnost, že paprsky dopadající na čočku rovnoběžně s optickou osou se lámou do tohoto bodu.

Stejně jako jsme měli u zrcadel, tak i zde máme ohniskovou vzdálenost f , ale stejně jako i u jiných pojmů i zde rozlišujeme 2 ohniskové vzdálenosti. **Předmětová ohnisková vzdálenost**, označuje se f a můžeme si ji definovat takto $f = |FO|$. **Obrazová ohnisková vzdálenost** se označuje jako f' a zase si ji můžeme definovat takto $f' = |F'O|$. Pokud budou stejné poloměry zakřivení a na obou stranách

čočky bude stejné optické prostředí (třeba vzduch), pak $f = f'$. V tom případě se používá označení f a znamená **ohniskovou vzdálenost čočky**.

Znaménková konvence je taková, že:

Spojka	$f > 0$
Rozptylka	$f < 0$

Optická mohutnost

Optická mohutnost je základní charakteristikou čoček. Vypočítává se z ohniskové vzdálenosti podle

vzorce: $\varphi = \frac{1}{f}$

Jednotkou optické mohutnosti je buď m^{-1} nebo častěji se setkáme s jednotkou **D** (dioptrie).

Pro znaménka používáme stejné pravidlo jako pro znaménka ohniskové vzdálenosti.

Procvičování:

1. Čočka v brýlích má $\varphi = 2 \text{ D}$, o jaký typ čočky jde? Jaká je její ohnisková vzdálenost?
2. Jakou optickou mohutnost má čočka s ohniskovou vzdáleností -4 m a o jakou čočku se jedná?

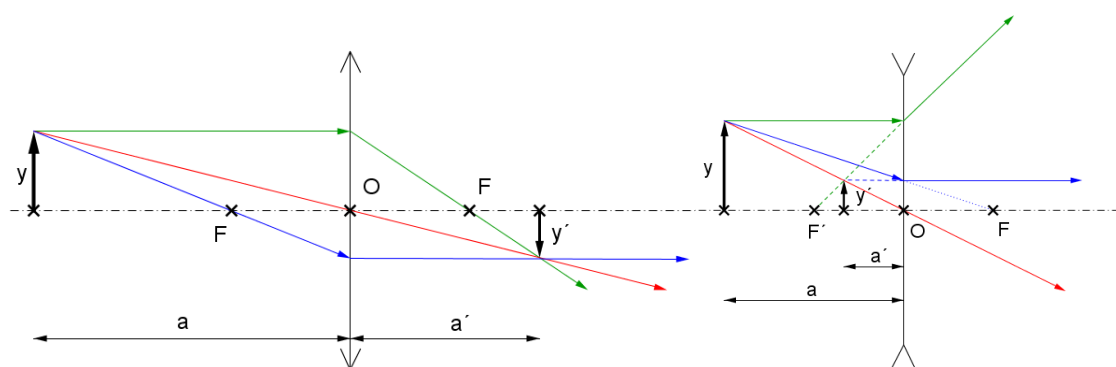
Zobrazení tenkou čočkou

Pro zobrazení tenkou čočkou budeme, podobně jako u zobrazení kulovým zrcadlem používat tři význačné paprsky.

Pojďme se na ně podívat:

1. Paprsek jde rovnoběžně s optickou osou.
2. Paprsek prochází optickým středem čočky.
3. Paprsek prochází předměťovým ohniskem.

Trochu jinak se tyto paprsky chovají u spojky a trochu jinak u rozptylky. Nejlép to uvidíme na obrázcích.



Do obrázků dopiš, který zobrazuje spojku a který rozptylku.

Pro zobrazení tenkou čočkou platí stejné rovnice jako pro zobrazení kulovými zrcadly.

Vyzkoušejte si, jak pracují čočky:

Spojka - <http://www.vascak.cz/?p=2346>

Rozptylka - <http://www.vascak.cz/?p=2350>

Typ čočky (doplň): _____

Vzdálenost předmětu	Vzdálenost obrazu	Vlastnosti obrazu
$\infty > a > 0$	$f > a' > 0$	zmenšený, vzpřímený, neskutečný

Typ čočky (doplň): _____

Vzdálenost předmětu	Vzdálenost obrazu	Vlastnosti obrazu
$a > 2f$	$f < a' < 2f$	zmenšený, převrácený, skutečný
$a = 2f$	$a' = 2f$	stejný, převrácený, skutečný
$f < a < 2f$	$a' > 2f$	zmenšený převrácený, skutečný
$a = f$	$a' \rightarrow \infty$	$y' \rightarrow \infty$
$a < f$	$0 < a' < \infty$	zmenšený, vzpřímený, neskutečný

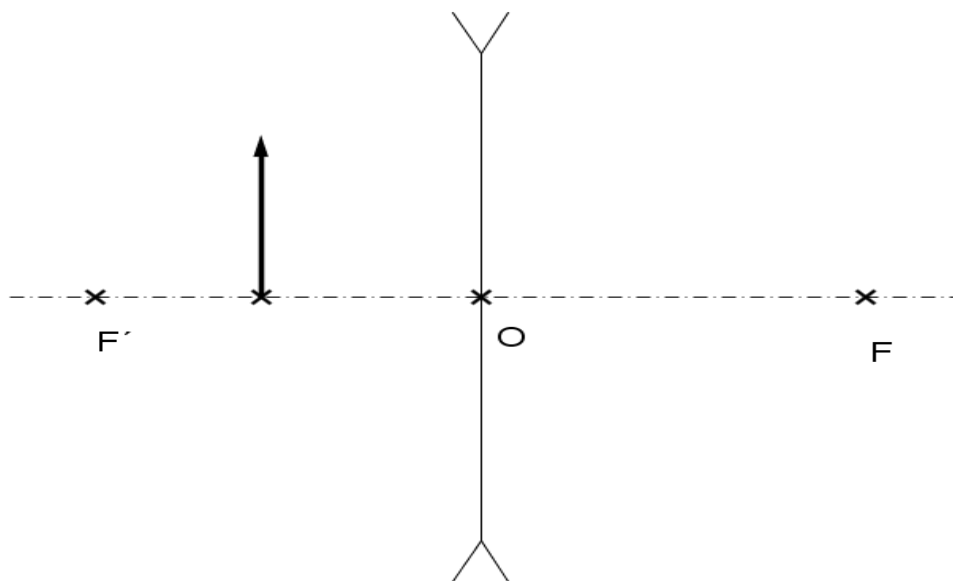
Cvičení

1. Příklad

Předmět o velikosti 3 cm stojí ve vzdálenosti 5 cm od čočky, jejíž ohnisková vzdálenost je 2 cm.
Narýsuj, jak se tento předmět zobrazí a pak ještě napiš, jaké vlastnosti má obraz a o jakou čočku jde.

2. Příklad

Dorýsuj zobrazení čočkou a napiš, jaké vlastnosti má obraz a o jakou čočku jde.



Zobrazovací rovnice pro čočky

Pro zobrazení tenkou čočkou platí stejné rovnice jako pro zobrazení kulovými zrcadly.

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

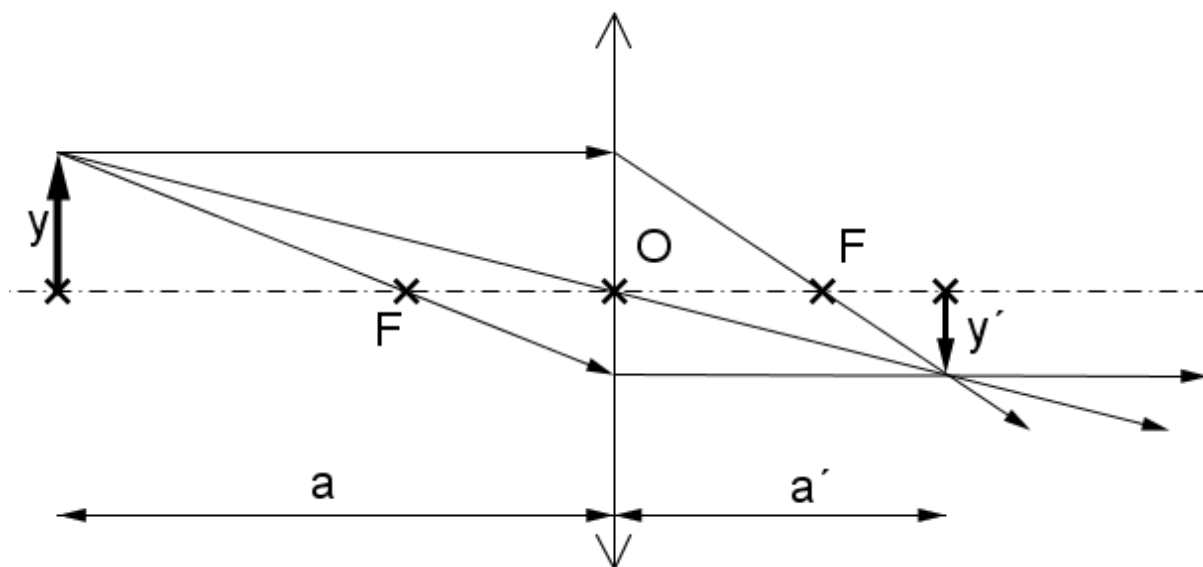
Rovnice příčného zvětšení
$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a} = -\frac{a'-f}{f} = -\frac{f}{a-f}$$

Možná se divíte, jak je možné, aby platila ta rovnice příčného zvětšení nebo aby se rovnaly všechny ty zlomky. Poradím vám, že vám hodně pomůže věc, která se jmenuje podobnost trojúhelníků.

Pro ty z vás, kteří neví, co to je, tak zkuste mrknout na toto:

<https://khanovaskola.cz/trojuhelniky/pravidla-pro-podobnost-trojuhelniku/lekce>

Podívejte se na následující obrázek a vyznačte podobné trojúhelníky, které odpovídají údajům z rovnice. Nezapomeň použít barvy, ať je to jasné pro všechny.



Cvičení

1. Příklad

Čočka má velikost příčného zvětšení 0,5 a obraz ve vzdálenosti 50 cm. V jaké vzdálenosti a jak velký bude předmět, když bude mít obraz výšku 10 cm?

* bonusová otázka, jaká bude ohnisková vzdálenost? *

2. Příklad

Čočka zobrazí předmět s příčným zvětšením - 0,2 předmět ve vzdálenosti 0,2 m.

Vypočítej ohniskovou vzdálenost.

O jakou čočku se jedná?

Vady čoček

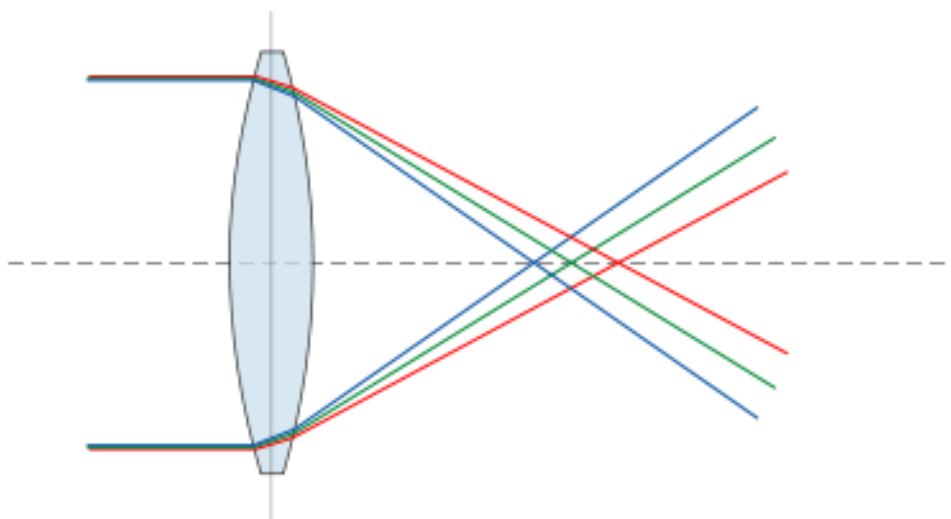
Všechny čočky, o kterých jsme se bavili, jsme měli za ideální (= dokonalé, bez vady), ale skutečné čočky nejsou tak ideální. Může se u nich vyskytnout spousta různých vad. Tyto vady jsou způsobeny fyzikálními vlastnostmi čoček. Především:

1. Tloušťku čočky nemůžeme vždy zanedbat.
2. Index lomu závisí na frekvenci použitého světla.
3. Zobrazení na kulových plochách není kolineární.

Mezi vady můžeme počítat následující vady:

Barevná vada (chromatická aberace)

Jak jsme se už dozvěděli, tak index lomu závisí na barvě (frekvenci) světla. Proto se paprsky různé barvy lámou pod jiným úhlem. A protože je bílé světlo složeno z různých barev, tak dojde k rozkladu světla.



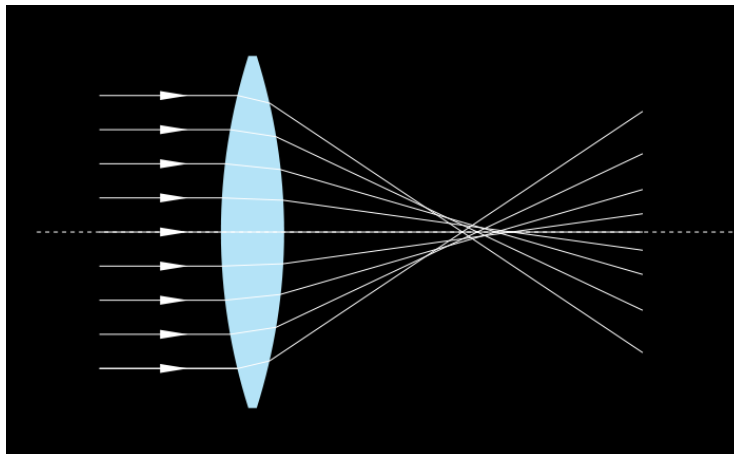
Obrázek 6 Barevná vada

DrBob, Pítel, Illustration of chromatic abberation, dostupné pod licencí CC BY-SA 3.0 z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Lens6a.svg>

Částečně lze tuto vadu odstranit použitím soustavy spolek a rozptylek. Tomu se říká **achromatizace** optické soustavy.

Sférická vada (kulová nebo otvorová vada)

Při předchozích úvahách a výpočtech jsme počítali s tím, že čočka zobrazuje korektně pro paprsky v blízkosti optické osy i pro vzdálenější. Ve skutečnosti to ale neplatí. Paprsky ve větší vzdálenosti od optické osy se zobrazují jinak. Proto dochází k této vadě.



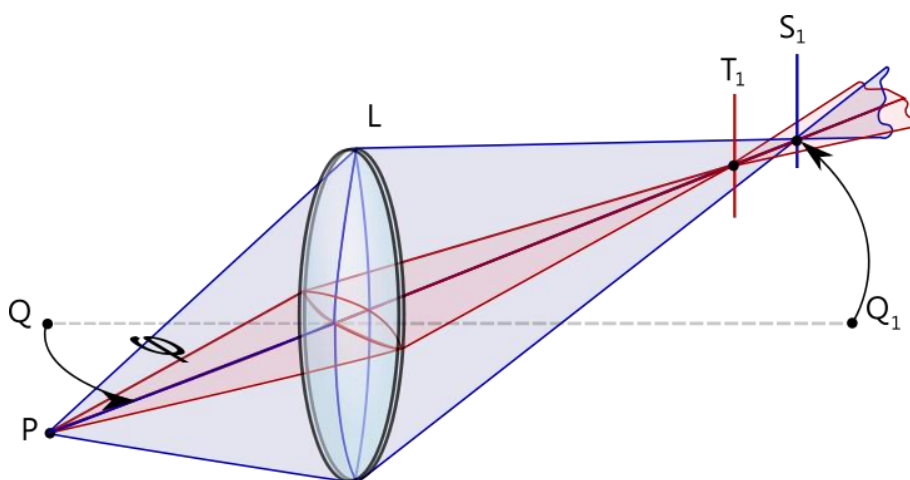
Obrázek 7 Sférická (kulová, otvorová) vada

Pko, Mechanism of spherical aberration dostupný jako volné dílo z http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Spherical_aberration.svg

Částečně lze tuto vadu odstranit tím, že se odcloní paprsky ve větší vzdálenosti od optické osy.

Astigmatismus (astigmatická vada)

Při této vadě dochází k tomu, že body v navzájem kolmých osách se nezobrazí ve stejné vzdálenosti. Vzdálenost mezi body na optické ose, kde se protínají paprsky z těchto vzájemně kolmých os, v našem případě T_1 a S_1 , se nazývají astigmatický rozdíl.



Obrázek 8 Astigmatismus

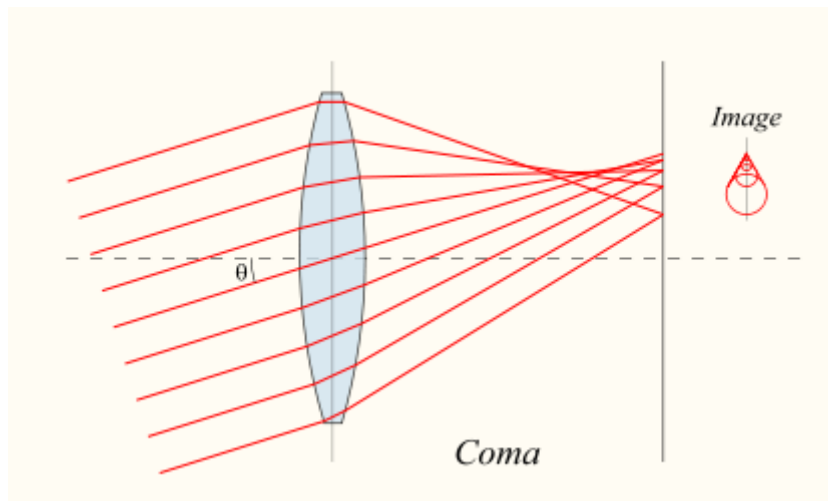
Sebastian Kosch, Graphic illustrating the astigmatism phenomenon dostupný pod licencí CC BY-SA 3.0 z

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Astigmatism.svg>

Proti astigmatismu se bojuje tím, že se použije kombinace čoček. Soustava s velmi malým astigmatismem se nazývá **anastigmát**.

Koma

Pokud na čočku dopadá široký svazek paprsků pod úhlem a svazek paprsků bude dostatečně široký, tak se obraz nezobrazí jako úsečka, ale vzniknou různé obrazce. Tomuto jevu se říká koma. V podstatě je to astigmatismus pro široký paprsek.



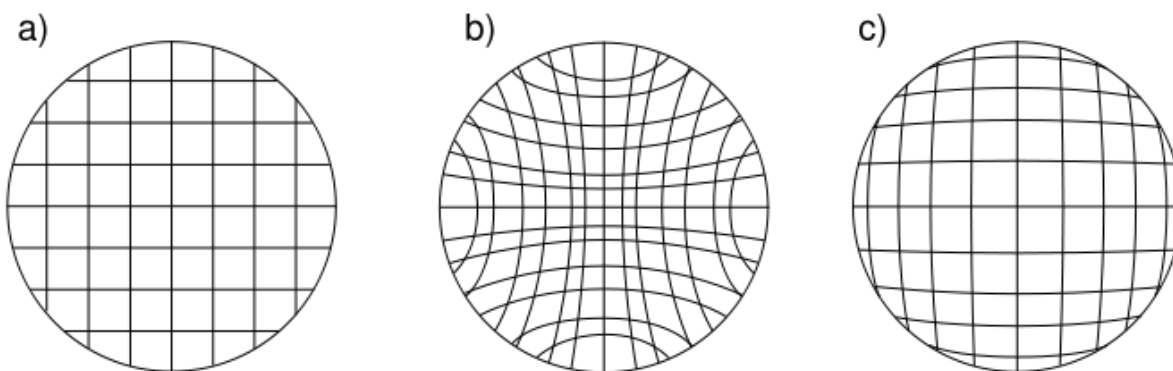
Obrázek 9 Koma

Koma dostupné pod licencí CC BY-SA 3.0 z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Lens-coma.svg>

Zkreslení obrazu

Toto zkreslení je způsobeno tehdy, pokud je zvětšení v okrajových částech jiné než zvětšení poblíž optické osy. Nejlepší to jde vidět, pokud budeme zobrazovat mřížku. Mohou nastat tři případy:

- a) Bez zkreslení
- b) Poduškové zkreslení
- c) Soudkovité zkreslení



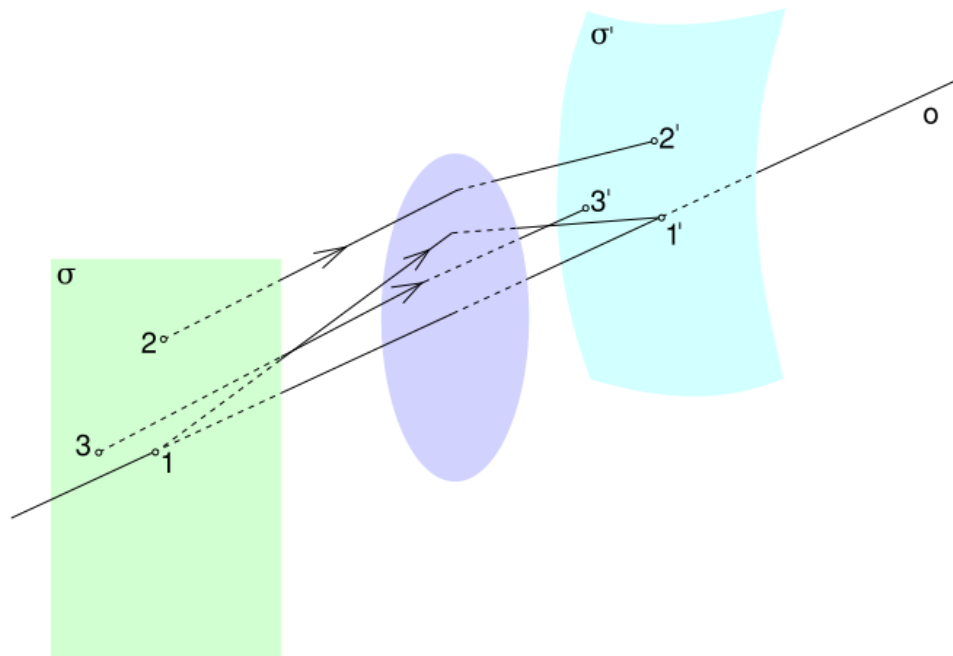
Obrázek 10 Zkreslení obrazů

Pajs, Zkreslení obrazu při optickém zobrazení čočkou dostupné jako volné dílo z http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Cocka_vada_zkresleni.svg

Soustava, u které nedochází ke zkreslení obrazu, se jmenuje **ortoskopická**.

Zklenutí (sklenutí)

Jedná se o vadu, kdy se body ležící v rovině kolmé k optické ose nezobrazí v rovině, ale na zakřivené ploše. Něco podobného jako astigmatismus.



Obrázek 11 Zklenutí

Pajs, Zklenuti obrazu pri optickem zobrazeni cockou dostupné jako volné dílo z http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Cocka_vada_zklenuti.svg

Tato vada se odstraní stejně jako u astigmatismu.

Zopakování

1. Jsou všechny vady způsobeny tím, že je čočka špatně vyrobená?
2. Jakým způsobem se nejčastěji odstraňuje vada čočky?
3. Jak se jmenuje optická soustava, u níž nedochází ke zkreslení?

Použité zdroje:

- Čočka (optika). *Wikipedie* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Co%C4%8Dka_\(optika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Co%C4%8Dka_(optika))
- Elektromagnetické spektrum. *Wikipedie* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum
- Fu-Kwun Hwang. Thin Lens demonstration. Překlad a vysvětlení K. Suchá, M. Šedrllová a L. Vojtíšková. [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: http://fyzweb.cz/materialy/aplety_hwang/thin_lens/Lens/lens_cz.html
- Index lomu. *Wikipedie* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z http://cs.wikipedia.org/wiki/Index_lomu
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Čočky. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/480-cocky>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Disperze (rozklad) světla. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/441-disperze-rozklad-svetla>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Infračervené záření. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/529-infracervene-zareni>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Lom (referakce) světla. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/438-lom-refrakce-svetla>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Odraz a lom světla. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/436-odraz-a-lom-svetla>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Odvození rovnice. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/478-odvozeni-rovnice>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Optické zobrazení. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/472-opticke-zobrazeni>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Příčné zvětšení. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/479-pricne-zvetseni>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Příčné zvětšení. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/479-pricne-zvetseni>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Rentgenové záření. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/540-rentgenove-zareni>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Světlo jako elektromagnetické vlnění. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/434-svetlo-jako-elektromagneticke-vlneni>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Šíření světla. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/435-sireni-svetla>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Ultrafialové záření. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/531-ultrafialove-zareni>

- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Úplný odraz světla. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/440-uplny-odraz-svetla>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Vlnění v izotropním prostředí. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/170-vlneni-v-izotropnim-prostredi>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Základná principy optického zobrazování. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/473-zobrazeni-rovinnym-zrcadlem>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Zobrazení kulovým zrcadlem. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/475-zobrazeni-kulovym-zrcadlem>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Zobrazení rovinným zrcadlem. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/473-zobrazeni-rovinnym-zrcadlem>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Zobrazení tenkou čočkou. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/481-zobrazeni-tenkou-cockou>
- REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Zobrazovací vady čoček. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/482-zobrazovaci-vady-cocek>
- VLACHOVÁ, Magda a Jindřich KÁŽE. Charakteristiky prostředí. *Techmania: edutorium* [online]. [cit. 2013-03-11]. Dostupné z http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4f7074696b61h&key=692
- Zrcadlo. *Wikipedie* [online]. 2013 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zrcadlo>