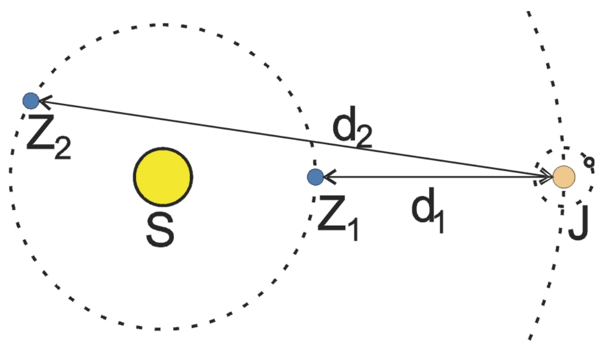
6. Geometrická optika

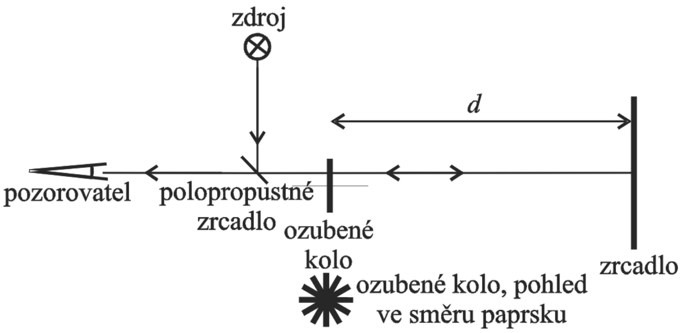
6.1 Měření rychlosti světla

Jak už bylo zmíněno v kapitole o elektromagnetickém vlnění, předpokládali přírodovědci z počátku, že rychlost světla je nekonečná. Tento předpoklad zpochybnil svým pozorováním v roce 1675 dánský astronom *Olaf Rømer* (1644-1710). *Rømer* pozoroval zákryty měsíčku Jupitera Io za Jupiterův kotouček a zjistil, že proti výpočtům se někdy předbíhají a někdy opožďují. Na obrázku 6.1.1 S značí Slunce, J Jupiter, Z_1 a Z_2 dvě polohy Země během jejího oběhu kolem Slunce. Rozměry v obrázku nejsou v měřítku, pohyb Jupitera na dráze kolem Slunce není důležitý. Pozoroval-li *Rømer* měsíček Io v době, když byla Země v poloze Z_1, změřil nějaké okamžiky zákrytů. Při pozorování se Zemí v poloze Z_2 však světlo muselo urazit vzdálenost o $\Delta d = d_2 - d_1$ delší a dospělo k pozorovateli později než kdyby byl v poloze Z_1. Proto pozorovatel v poloze Z_2 viděl zákryt později.



Obr. 6.1.1: Rømerův objev konečné rychlosti světla. S je Slunce, J Jupiter, Z_1 a Z_2 dvě polohy Země během jejího oběhu kolem Slunce.

Přesněji změřil rychlost světla v roce 1849 francouzský fyzik *Hippolyte Fizeau*. Jeho experimentální uspořádání je na obrázek 6.1.2 Ze zdroje vychází paprsek světla, odráží se na polopropustném zrcadle, prochází mezi zuby ozubeného kola, odráží se od zrcadla a vrací se zpět mezi zuby ozubeného kola, prochází polopropustným zrcadlem a dopadá do oka pozorovatele. Vzdálenost kola od zrcadla *d* je několik kilometrů.



Obr. 6.1.2: Schéma Fizeauova měření rychlosti světla

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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Roztočí-li se kolo vysokou rychlostí, pootočí se za dobu kterou světlo potřebuje na překonání vzdálenosti $2d$ a paprsek po odrazu od zrcadla narazí buď na zub kola a neprojde nebo projde některou další mezerou. Nastaví-li se rychlost otáčení tak, aby paprsek prošel tam jednou mezerou a zpět sousední mezerou, lze ze vzdálenosti d, rychlosti otáčení kola a počtu jeho zubů vypočítat rychlost světla. Rychlost světla je 299 792 458 $m.s^{-1}$, v praxi často vystačíme s hodnotou 3.10^8 $m.s^{-1}$.

V současnosti je 1 metr definován jako vzdálenost, kterou světlo urazí ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy. Rychlost světla určená touto definicí je tedy z definice přesná a odpovídá rychlosti světla změřené s využitím staré definice metru.

6.2 Definice pojmů

Optický prvek je plocha, která ovlivňuje chod paprsku lomem nebo odrazem.

Optická soustava je soustava optických prvků (čočka, mikroskop).

Optická osa je osa, na které leží středy křivosti optických prvků.

Předmětová vzdálenost je vzdálenost od optického prvku k předmětu. Značí se a.

Obrazová vzdálenost je vzdálenost od optického prvku k obrazu. Značí se a'.

6.3 Znaménková konvence

Budeme používat Jenskou (kartézskou) znaménkovou konvenci.

1) Světlo se šíří zleva doprava.

2) Vzdálenosti se měří od optického prvku (čočky, zrcadla).

3) Vzdálenost od optického prvku vlevo je záporná, vpravo je kladná.

4) Výšky nad optickou osou jsou kladné, pod osou záporné.

5) Úhly měřené od optické osy ve směru hodinových ručiček jsou záporné.

Velkou výhodou Jenské znaménkové konvence je, že k určení znamének veličin nepotřebuje žádné další informace o tom, jestli je například obraz reálný nebo virtuální. V učebnicích optiky se často používá jiná znaménková konvence. Je svobodná volba každého zvolit si konvenci, která mu vyhovuje. Velmi důležité je rozhodnout se pro jednu z konvencí a té se držet. Kombinace vztahů vycházejících z jedné konvence a znamének podle jiné konvence vede ke špatným výsledkům. Protože výsledek $a' = -5$ cm může znamenat cokoliv podle toho, kterou znaménkovou konvenci používáte, je dobré doplnit ho i slovní informací – například: $a' = -5$ cm, obraz je 5 cm před čočkou.

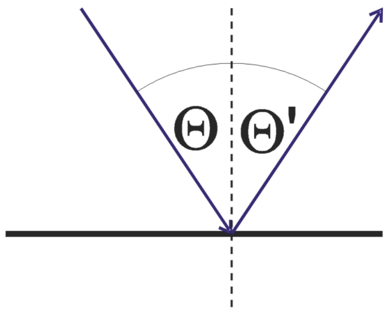
6.4 Rovinné zrcadlo

Zrcadlo je rozhraní mezi dvěma prostředími, které odráží úzký dopadající paprsek světla do jednoho směru. Světlo dopadající na zrcadlo tedy není rozptylováno. Pro odraz na zrcadle platí, že úhel dopadu se rovná úhlu odrazu, tedy (obr. 6.4.1) $\Theta = \Theta'$.

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

evropský sociální fond v ČR · EVROPSKÁ UNIE · MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY · OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost · Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická

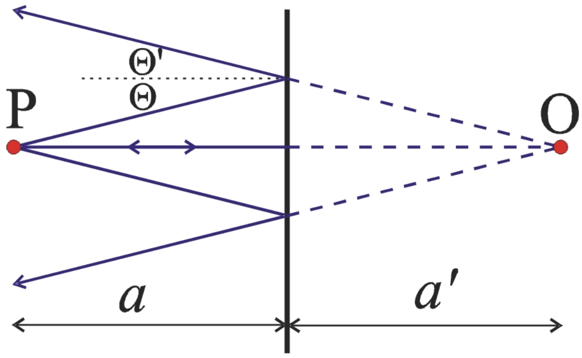
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 6.4.1: Úhel dopadu Θ a odrazu Θ' při odrazu na rovinném zrcadle.

Dodržujeme pravidlo (často v optice používané), že úhly paprsků dopadajících na nějakou plochu se měří ke kolmici k této ploše.

Jako zrcadlo se zpravidla používá vyleštěná stříbrná deska nebo vrstvička hliníku nanesená na skle. Nanese-li se na skleněnou desku jen tenká vrstvička kovu (o tloušťce několika atomů), získáme polopropustné zrcadlo, které část světla propustí a část odrazí. Umístíme-li takové zrcadlo mezi světlou a tmavou místnost, lidé uvnitř světlé místnosti vidí své obrazy v zrcadle, lidé v tmavé místnosti pak paprsky prošlé ze světlé místnosti.



Obr. 6.4.2: Předmět P a obraz O při odrazu na rovinném zrcadle.

Z předmětu (zdroje světla) P (obr. 6.4.2) vychází paprsky a dopadají na zrcadlo. Platí, že úhel dopadu se rovná úhlu odrazu. Protáhneme-li odražené paprsky za zrcadlo (na obrázku čárkovaně), vychází zdánlivě z jednoho bodu - obrazu O. Obraz je stejně daleko za zrcadlem, jako je předmět před zrcadlem.

$$a = -a' \quad . \qquad (6.1)$$

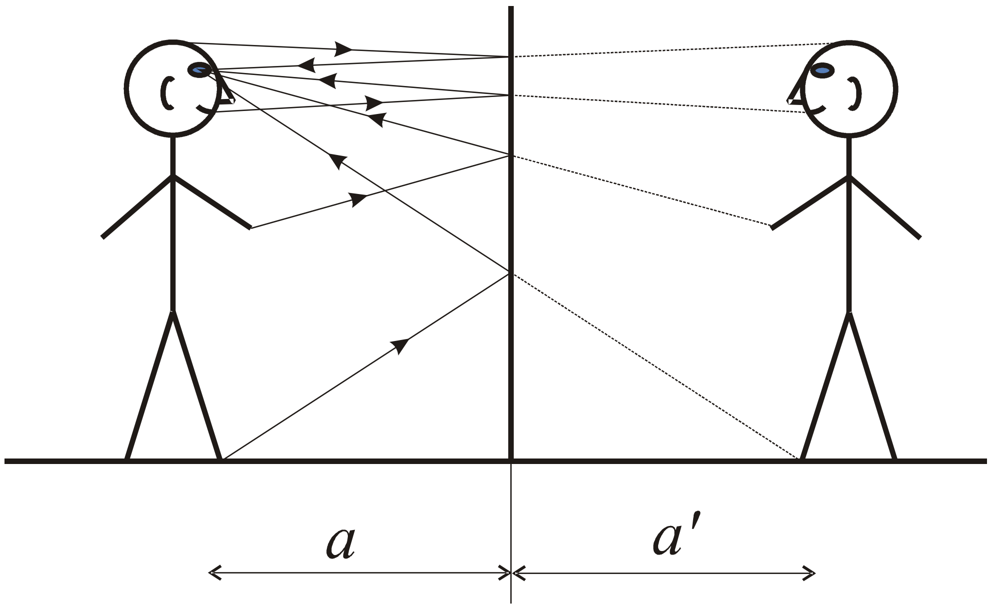
Je-li tedy předmět například 1 m před zrcadlem, platí *a* = -1 m, je obraz 1 m za zrcadlem (*a'* = +1 m).

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

evropský sociální fond v ČR · EVROPSKÁ UNIE · MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY · OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost · Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

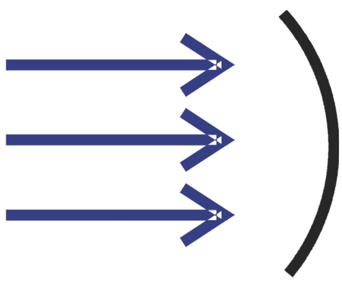
Stojí-li pozorovatel před zrcadlem (obr. 6.4.3) a dopadá na něj světlo, odráží jeho ruka toto světlo všemi směry. Odražené paprsky dopadají na zrcadlo a odráží se od něj tak, že úhel dopadu se rovná úhlu odrazu. Ze všech paprsků, které se odráží od zrcadla jsou pro pozorovatele důležité jen ty, které mu směřují do oka. Oko nepozná, že dráha paprsků, které do něho dopadají není přímá a má pocit, že pozoruje objekt nacházející se za zrcadlem podle vztahu 6.1.



Obr. 6.4.3: Zobrazení rovinným zrcadlem.

6.5 Kulové zrcadlo

Odrazná plocha zrcadla nemusí být nutně rovinná, ale může být i zakřivená. V praxi se často používají kulové odrazné plochy, které nazýváme **kulová (sférická) zrcadla**. Je-li odrazný povrch vytvořen na vnitřním povrchu kulové plochy, nazýváme **zrcadlo vyduté (konkávní)** nebo také duté (obr. 6.5.1).



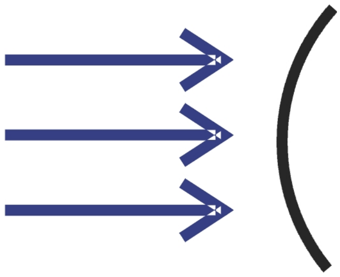
Obr. 6.5.1: Vyduté sférické zrcadlo

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

evropský sociální fond v ČR · EVROPSKÁ UNIE · MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY · OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost · Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Je-li odrazný povrch vytvořen na vnějším povrchu kulové plochy, nazýváme **zrcadlo vypuklé (konvexní)** (obr. 6.5.2). Duté zrcadlo má zápornou ohniskovou vzdálenost a vypuklé kladnou ohniskovou vzdálenost.

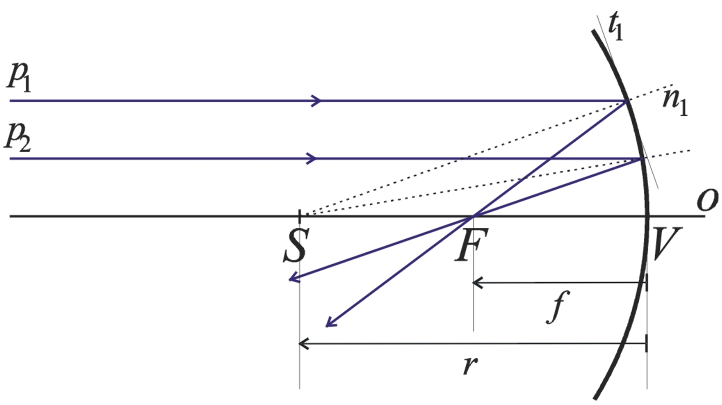


Obr. 6.5.2: Vypuklé sférické zrcadlo.

6.5.1 Ohnisko zrcadla

Prostudujme nejdříve odraz paprsků vycházejících z předmětu ve velké vzdálenosti od zrcadla (v nekonečnu). Na obrázku 6.5.3 je duté zrcadlo. Označme *S* **střed křivosti zrcadla** (střed koule na které je nanesena odrazná plocha), *r* **poloměr křivosti zrcadla** (všimněte si, že poloměr křivosti se měří od zrcadla ke středu křivosti v souladu s Jenskou konvencí a ne od středu k zrcadlu, jak je běžně zvykem) a *V* **vrchol zrcadla**. Optická osa *o* je definována body *V* a *S*. Paprsky vycházející z předmětu ležícího na optické ose v nekonečnu a dopadající na zrcadlo se šíří rovnoběžně s optickou osou. Část kulového zrcadla, na kterou dopadá paprsek p_1, můžeme nahradit rovinným zrcadlem t_1, které je v místě dopadu tečné ke kulové ploše. Platí tedy, že úhel dopadu se rovná úhlu odrazu (vzhledem ke kolmici k ploše n_1). Úhel mezi dopadajícím a odraženým paprskem je dvojnásobkem úhlu dopadu. Je-li tento úhel malý, je vzdálenost průsečíku odraženého paprsku s optickou osou od zrcadla poloviční než vzdálenost středu křivosti od zrcadla. Paprsky jdoucí rovnoběžně s optickou osou protínají osu uprostřed mezi zrcadlem a poloměrem křivosti, tento bod se nazývá **ohnisko zrcadla** a značí se *F*. Vzdálenost ohniska od zrcadla se nazývá **ohnisková vzdálenost** a značí se *f*. Platí tedy

$$f = r/2 \quad . \qquad (6.2)$$



Obr. 6.5.3: Ohnisko zrcadla.

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

evropský sociální fond v ČR · EVROPSKÁ UNIE · MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY · OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost · Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

6.5.2 Geometrická konstrukce zobrazení zrcadlem

Mějme duté zrcadlo o ohniskové vzdálenosti *f* (obr. 6.5.4). Ve vzdálenosti *a* před zrcadlem (v předmětové vzdálenosti) leží předmět *y*. Z toho, co už víme o zobrazení zrcadlem můžeme popsat dráhu čtyř význačných paprsků:

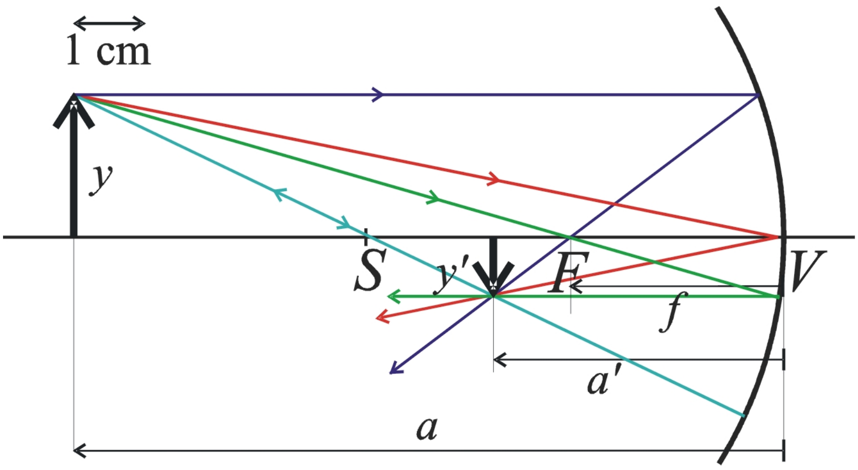
1) Paprsek jdoucí rovnoběžně s optickou osou (obr. 6.5.4 - modrý) se odráží do ohniska. (ohnisko je definováno jako bod, kde paprsky jdoucí rovnoběžně s optickou osou po odrazu optickou osu protínají)

2) Paprsek odrážející se ve vrcholu zrcadla (obr. 6.5.4 - červený) se odráží pod stejným úhlem jako dopadl. (tečnou k zrcadlu ve vrcholu je plocha kolmá k optické ose)

3) Paprsek procházející ohniskem (obr. 6.5.4 - zelený) se odráží rovnoběžně s optickou osou. (tvrzení plyne z chodu modrého paprsku)

4) Paprsek procházející středem křivosti zrcadla (obr. 6.5.4 - tyrkysový) se odráží opět do středu zrcadla. (paprsek procházející středem křivosti dopadá na odraznou plochu kolmo a odráží se zpět po stejné dráze)

Všechny paprsky vycházející z předmětu *y* se po odrazu na zrcadle protínají v jednom bodě *y'*, který se nachází v obrazové vzdálenosti *a'* od zrcadla. Pokud do vzdálenosti *a'* od zrcadla umístíme stínítko (např. list papíru), vznikne na stínítku obraz. Takovému obrazu říkáme **skutečný (reálný) obraz** – paprsky se v místě obrazu skutečně protnou.



Obr. 6.5.4: Konstrukce obrazu vydutého zrcadla.

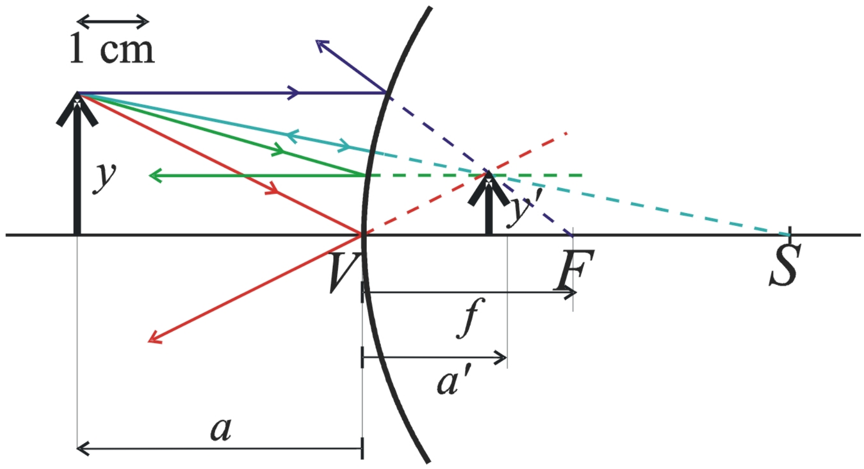
Mějme vypuklé zrcadlo o ohniskové vzdálenosti *f* (obr. 6.5.5). Ve vzdálenosti *a* před zrcadlem (v předmětové vzdálenosti) leží předmět *y*. Čtveřice paprsků, jejichž chod byl popsán výše pro duté zrcadlo, se bude podle stejných pravidel odrážet i od vypuklého zrcadla (jak je zakresleno na obrázku 6.5.5).

Paprsky vycházející z předmětu *y* se po odrazu na zrcadle rozbíhají do různých směrů a v žádném bodě se všechny čtyři neprotnou. Prodloužíme-li ale dráhy odražených paprsků zpět, zdá se, jako by všechny vycházely z jednoho bodu *y'*, který se nachází v obrazové vzdálenosti *a'* od zrcadla. Pokud do vzdálenosti *a'* od zrcadla umístíme stínítko, nevznikne na stínítku žádný obraz. Takovému obrazu říkáme **zdánlivý (virtuální) obraz** – paprsky místem

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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

obrazu vůbec neprochází, pouze se po odrazu zdá, jako by z místa obrazu vycházely. Vložíme-li na místo virtuálního obrazu stínítko, nebudou na něho dopadat žádné paprsky a neuvidíme žádný obraz. Reálné obrazy vznikají na téže straně zrcadla, jako se nachází předmět, virtuální obrazy vznikají na opačné straně zrcadla.



Obr. 6.5.5: Konstrukce obrazu vypuklého zrcadla.

Pro konstrukci obrazu stačí zakreslit pouze dva z výše popsaných čtyř paprsků. Je rozumné nakreslit si jich víc pro kontrolu, že se opravdu všechny protínají v jednom bodě. Pravidla pro chod paprsků platí pro paprsky, které jdou blízko optické osy. Pro názornost zakreslujeme paprsky dál od optické osy, které jsou názornější, ale nemusí se protínat přesně v jednom bodě.

6.5.3 Zobrazovací rovnice zrcadla

Mezi ohniskovou *f*, předmětovou *a* a obrazovou *a'* vzdáleností zrcadla platí vztah reprezentovaný zobrazovací rovnicí zrcadla

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{a'}=\frac{1}{f} \quad . \qquad (6.3)$$

Například na obr. 6.5.4 je ohnisková vzdálenost zrcadla $f = -3$ cm (záporná, protože ohnisko je před zrcadlem) a vzdálenost předmětu od zrcadla $a = -10$ cm (záporná, protože předmět leží před zrcadlem). Z rovnice 6.3 dopočítáme $a' = -4{,}3$ cm (záporná hodnota indikuje, že obraz bude před zrcadlem). Vypočítaná hodnota je v dobrém souladu s nákresem.

Pro situaci podle obr 6.5.5 je ohnisková vzdálenost zrcadla $f = +3$ cm (kladná, protože ohnisko je za zrcadlem) a vzdálenost předmětu od zrcadla $a = -4$ cm (záporná, protože předmět leží před zrcadlem). Z rovnice (6.3) dopočítáme $a' = +1{,}7$ cm (kladná hodnota indikuje, že obraz bude za zrcadlem).

Zobrazovací rovnice zrcadla platí i pro rovinné zrcadlo. Střed křivosti rovinného zrcadla je v nekonečnu, $r = \infty$ a podle 6.2 $f = \infty$. Potom podle 6.3 platí $a = -a'$.

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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Všimněme si, že předmět v nekonečnu se zobrazí do ohniska a naopak předmět v ohnisku do nekonečna.

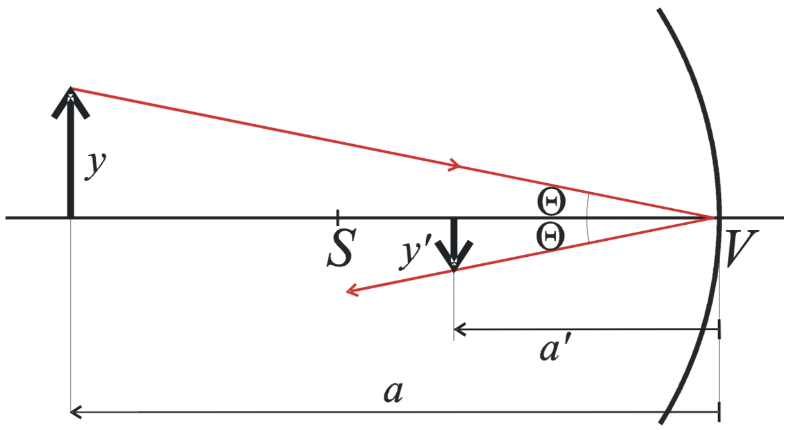
6.5.4 Zvětšení zrcadla

Zvětšení při optickém zobrazení je definováno jako velikost obrazu ku velikosti předmětu

$$m = y'/y \quad . \tag{6.4}$$

Záporné zvětšení znamená, že obraz je převrácený. Na obrázku 6.5.6 je zakreslen předmět, odpovídající odraz a paprsek, který se odráží ve vrcholu zrcadla. Pravoúhlé trojúhelníky *ay* a *a'y'* mají všechny úhly stejné, jsou tedy podobné a mají stejný poměr stran. Vztah 6.4 lze potom upravit:

$$m = y'/y = -a'/a \quad . \tag{6.5}$$



Obr. 6.5.6: Zvětšení zrcadla.

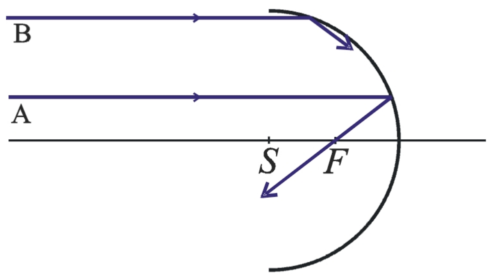
6.5.5 Sférická vada

Při diskusi o zobrazení sférickým zrcadlem jsme zdůraznili, že popsané dráhy paprsků platí pouze pro malé úhly dopadu a tedy paprsky, které na zrcadlo dopadají blízko optické osy. Z obrázku 6.5.7 je patrné, že zatímco paprsek A dopadající blízko optické osy protíná osu blízko ohniska, paprsek B se ohnisku vůbec nepřiblíží. Skutečnosti, že paprsky odrážející se daleko od optické osy se neodráží do ohniska, se říká sférická vada. Řešením je použití parabolického zrcadla (obr. 6.5.8), pro které platí, že všechny paprsky jdoucí rovnoběžně s optickou osou se odráží do ohniska. Parabolické zrcadlo je sice lepší z hlediska zobrazení, ale je náročnější na konstrukci.

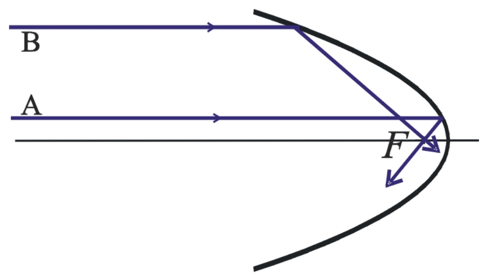
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.

evropský sociální fond v ČR · EVROPSKÁ UNIE · MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY · OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost · Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 6.5.7: Sférická vada.



Obr. 6.5.8: Parabolické zrcadlo.

6.6 Snellův zákon

Dopadá-li na rozhraní mezi dvěma prostředími paprsek světla, dochází při průchodu z jednoho prostředí do druhého ke změně směru paprsku. Experimentálně bylo zjištěno, že mezi úhlem dopadu Θ_1 a úhlem lomu Θ_2 platí **Snellův zákon** (obr. 6.6.1a, 6.6.1b):

$$n_1 \cdot \sin\Theta_1 = n_2 \cdot \sin\Theta_2 \quad . \tag{6.6}$$

Konstantou úměrnosti v tomto vztahu je index lomu n, definovaný pro určité prostředí jako poměr rychlosti světla ve vakuu c a rychlosti světla v v tomto prostředí.

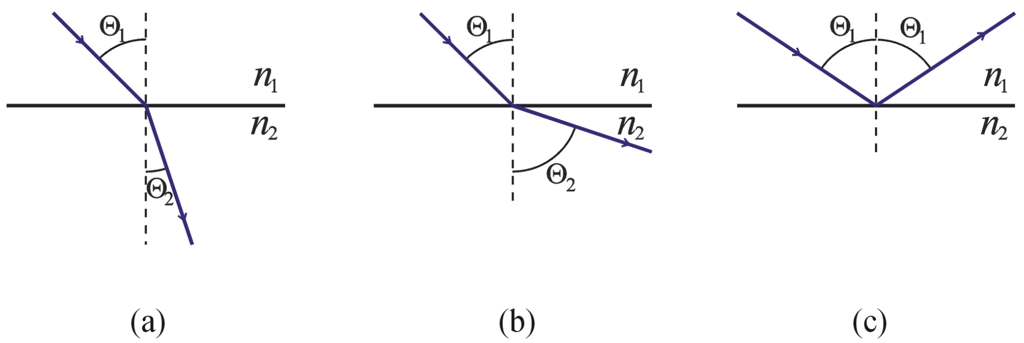
$$n = c / v \quad . \tag{6.7}$$

Prochází-li paprsek z prostředí opticky hustšího (opticky hustší je prostředí s vyšším indexem lomu) do opticky řidšího, dochází k lomu od kolmice (obr. 6.6.1b). Prochází-li paprsek z prostředí opticky řidšího do opticky hustšího, dochází k lomu ke kolmici (obr. 6.6.1a).

Dopadá-li paprsek z prostředí opticky hustšího na rozhraní s prostředím opticky řidším pod úhlem Θ_1 takovým, že

$$\frac{n_1 \sin\Theta_1}{n_2} \geqslant 1 \quad , \tag{6.8}$$

neexistuje žádný úhel Θ_2, pod kterým by paprsek mohl vstoupit do řidšího prostředí a dochází k **úplnému (totálnímu) odrazu** a všechno dopadající záření se odráží (obr. 6.6.1c). Úhel, pro který ve vztahu 6.8 platí rovnost, nazýváme **mezní úhel**. Totální odraz se využívá v optických vláknech nebo hranolech.



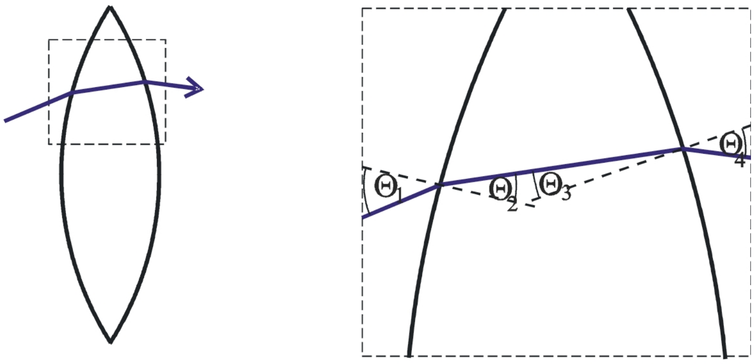
Obr. 6.6.1: (a) Lom ke kolmici, (b) lom od kolmice, (c) totální odraz.

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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

6.7 Čočka

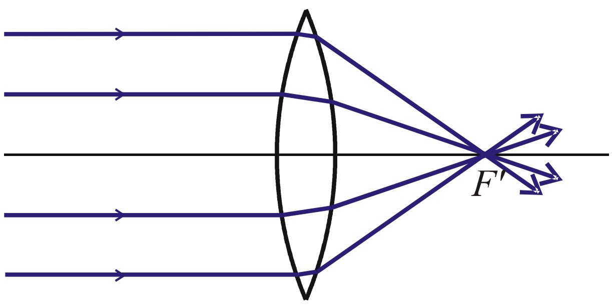
Čočka je průhledné těleso se dvěma centrovanými lámavými plochami. Index lomu materiálu, ze kterého je čočka vyrobena je n, kolem čočky se zpravidla nachází vzduch s indexem lomu 1. Světlo dopadá pod úhlem Θ_1 na první lámavou plochu (obr. 6.7.1) a láme se ke kolmici pod úhlem Θ_2. Po průchodu čočkou dopadá pod úhlem Θ_3 na druhou lámavou plochu a láme se od kolmice pod úhlem Θ_4.



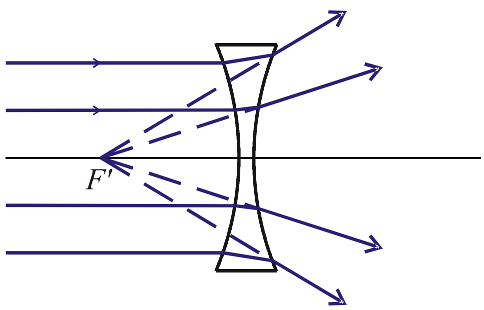
Obr. 6.7.1: Průchod paprsku čočkou

6.7.1 Ohniska čočky

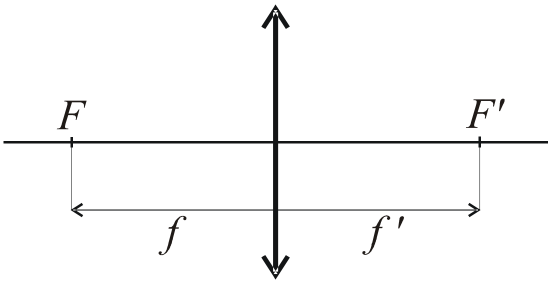
Lze ukázat, že podobně jako kulové zrcadlo, láme čočka paprsky tak, že se protínají s optickou osou v jednom bodě – ohnisku. Podobně jako máme dutá zrcadla, která paprsky soustřeďují do ohniska a vypuklá zrcadla, která je rozptylují, rozlišujeme i čočky na **spojky**, které soustředí paprsky rovnoběžné s optickou osou do ohniska (obr. 6.7.2) a **rozptylky,** které je rozptylují (obr. 6.7.3). Spojka se v nákresech značí podle obr. 6.7.4 rozptylka podle obr. 6.7.5. Na rozdíl od sférického zrcadla má čočka dvě různá ohniska. **Předmětové ohnisko** se značí *F* a leží před spojkou (obr. 6.7.4) a za rozptylkou (obr. 6.7.5). **Obrazové ohnisko** se značí *F'* a leží za spojkou a před rozptylkou. U čoček rozlišujeme také **předmětovou ohniskovou vzdálenost a obrazovou ohniskovou vzdálenost**. Pro spojku platí $f<0$ a $f'>0$, pro rozptylku $f>0$ a $f'<0$.



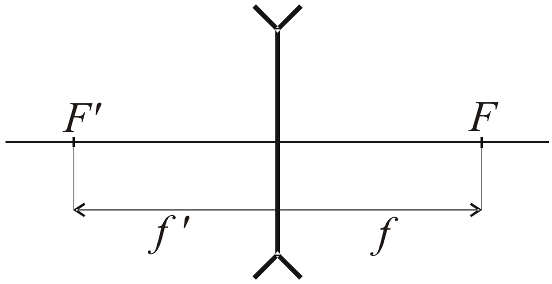
Obr. 6.7.2: Spojka.



Obr. 6.7.3: Rozptylka.



Obr. 6.7.4: Ohniska spojky.



Obr. 6.7.5: Ohniska rozptylky.

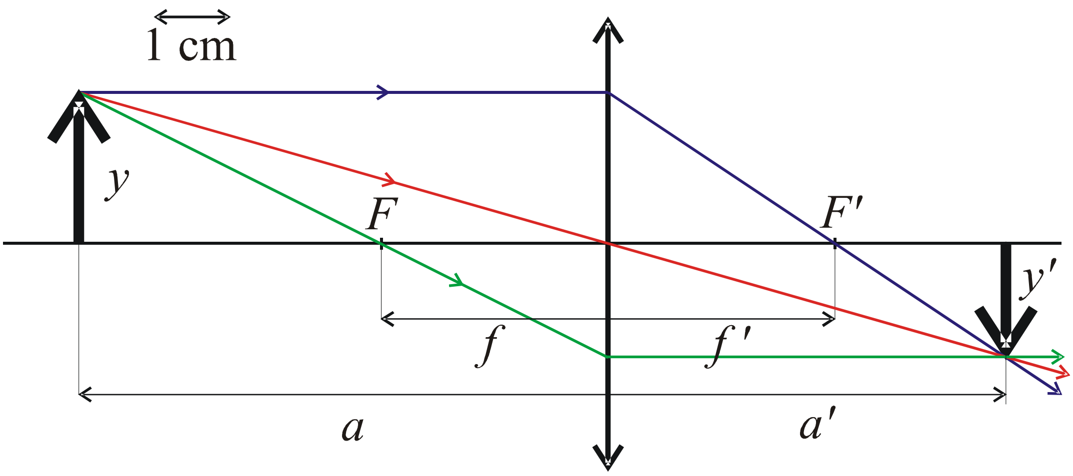
6.7.2 Geometrická konstrukce zobrazení čočkou

Mějme spojku o ohniskové vzdálenosti f (obr. 6.7.6). Ve vzdálenosti a před spojkou (v předmětové vzdálenosti a) leží předmět y. Můžeme popsat dráhu tří význačných paprsků:

1) Paprsek jdoucí rovnoběžně s optickou osou (obr. 6.7.6 - modrý) se láme do obrazového ohniska.

2) Paprsek procházející středem čočky (obr. 6.7.6 - červený) se neláme.

3) Paprsek procházející předmětovým ohniskem (obr. 6.7.6 - zelený) se láme rovnoběžně s optickou osou.



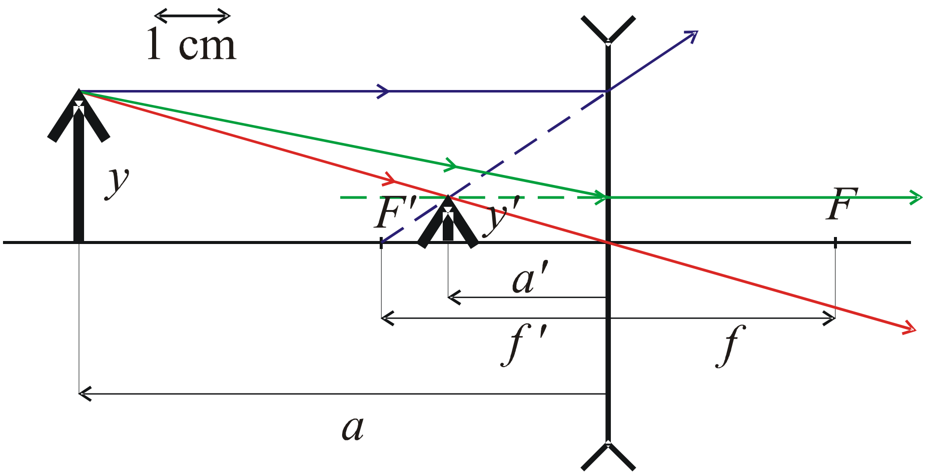
Obr. 6.7.6:Konstrukce obrazu spojkou.

Všechny paprsky vycházející z předmětu y se po průchodu čočkou protínají v jednom bodě y', který se nachází v obrazové vzdálenosti a' od čočky. Obraz je reálný – vložíme-li do vzdálenosti a' stínítko, uvidíme na něm obraz.

Mějme rozptylku o ohniskové vzdálenosti f (obr. 6.7.7). Ve vzdálenosti a před čočkou (v předmětové vzdálenosti a) leží předmět y. Trojice paprsků, jejichž chod byl popsán výše pro spojku, se bude podle stejných pravidel lámat i na rozptylce (jak je zakresleno na obrázku 6.7.7).

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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 6.7.7:Konstrukce obrazu rozptylkou.

Paprsky vycházející z předmětu *y* se po průchodu čočkou rozbíhají do různých směrů a v žádném bodě se všechny tři neprotnou. Prodloužíme-li ale dráhy lomených paprsků zpět, zdá se, jako by všechny vycházely z jednoho bodu *y'*, který se nachází v obrazové vzdálenosti *a'* od zrcadla. Obraz je virtuální – paprsky bodem *y'* vůbec neprochází, pouze se po průchodu čočkou zdá, jako by z místa obrazu vycházely.

6.7.3 Zobrazovací rovnice čočky

Mezi obrazovou ohniskovou *f'*, předmětovou *a* a obrazovou *a'* vzdáleností čočky platí vztah reprezentovaný zobrazovací rovnicí čočky

$$-\frac{1}{a}+\frac{1}{a'}=\frac{1}{f'} \quad . \tag{6.9}$$

Například na obr. 6.7.6 je obrazová ohnisková vzdálenost čočky *f'* = +3 cm (kladná, protože obrazové ohnisko je za čočkou) a vzdálenost předmětu od čočky *a* = -7 cm (záporná, protože předmět leží před čočkou). Z rovnice 6.9 dopočítáme *a'* = +5,25 cm (kladná hodnota indikuje, že obraz bude za čočkou). Vypočítaná hodnota je v dobrém souladu s nákresem.

Pro situaci na obr. 6.7.7 je obrazová ohnisková vzdálenost čočky *f'* = -3 cm (záporná, protože obrazové ohnisko je před čočkou) a vzdálenost předmětu od čočky *a* = -7 cm (záporná, protože předmět leží před čočkou). Z rovnice 6.9 dopočítáme *a'* = -2,1 cm (záporná hodnota indikuje, že obraz bude před čočkou). Vypočítaná hodnota je v dobrém souladu s nákresem.

Všimněme si, že předmět v nekonečnu se zobrazí do obrazového ohniska a naopak předmět v předmětovém ohnisku do nekonečna.

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

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ