

## 5.2.3 Duté zrcadlo I

**Předpoklady:** 5201, 5202

Dva druhy dutých zrcadel:

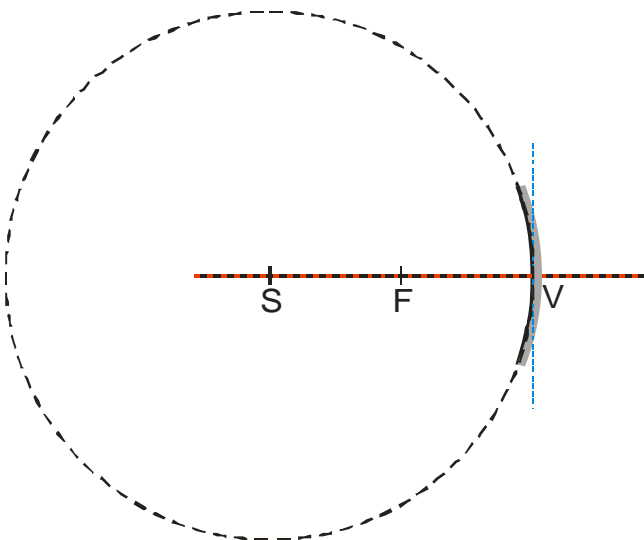
- **Kulové zrcadlo** = odrazivá plocha zrcadla je částí kulové plochy  $\Rightarrow$  snazší výroba, ale horší zobrazení (pro přesné zobrazení musíme použít z kulové plochy pouze malou část, paprsky vzdálenější od osy, se neodráží přesně podle pravidel, která za chvíli objevíme).
- **Parabolické zrcadlo** = odrazivá plocha zrcadla je částí paraboloidu (parabola v prostoru)  $\Rightarrow$  horší výroba, ale lepší zobrazení (pravidla platí pro všechny paprsky, všechny paprsky rovnoběžné s osou paraboly se odráží do jejího ohniska).

Duté zrcadlo umí hodně:

- můžeme se v něm prohlížet jako v normálním zrcadle, ale všechno je zvětšené, vzdálenější předměty jsou však rozmazané,
- stejně jako u čočky je možné vyrobit zmenšený převrácený obraz okna na papíře, můžeme vyrobit i zmenšený převrácený obraz plamínku svíčky (svíčka je od zrcadla daleko, obraz je blízko),
- je možné vyrobit i zvětšený převrácený obraz plamínku svíčky (svíčka je blízko u zrcadla, obraz je daleko),

$\Rightarrow$  budeme muset prozkoumat běh paprsků a zjistit, jak to všechno zrcadlo dokáže.

**Pedagogická poznámka:** Vznik obrazů studentům ukážu a pak zrcátka pošlu po třídě, aby si mohli během dalšího výkladu zkusit vyrobit obraz okna a prohlédnout si v zrcátku sami sebe.

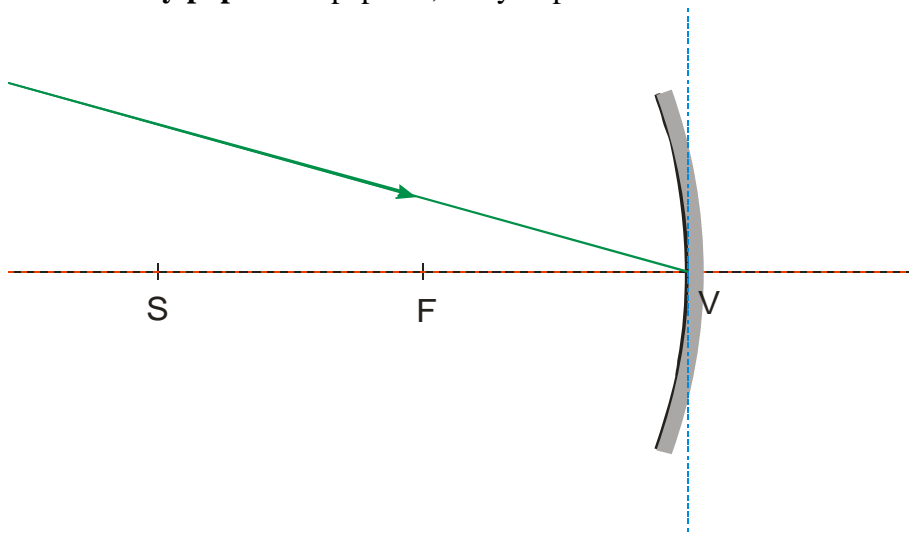


- $S$  - střed kulové plochy,
- $V$  - vrchol kulového zrcadla,
- přímka  $SV$  je kolmá k povrchu zrcadla v bodě  $V$ , říkáme jí optická osa,
- rovina procházející vrcholem a kolmá na optickou osu se nazývá vrcholová rovina,
- $F$  - ohnisko (u kulového zrcadla je středem úsečky  $SV$ ), je bodem, do kterého odráží zrcadlo paprsky rovnoběžné s osou,

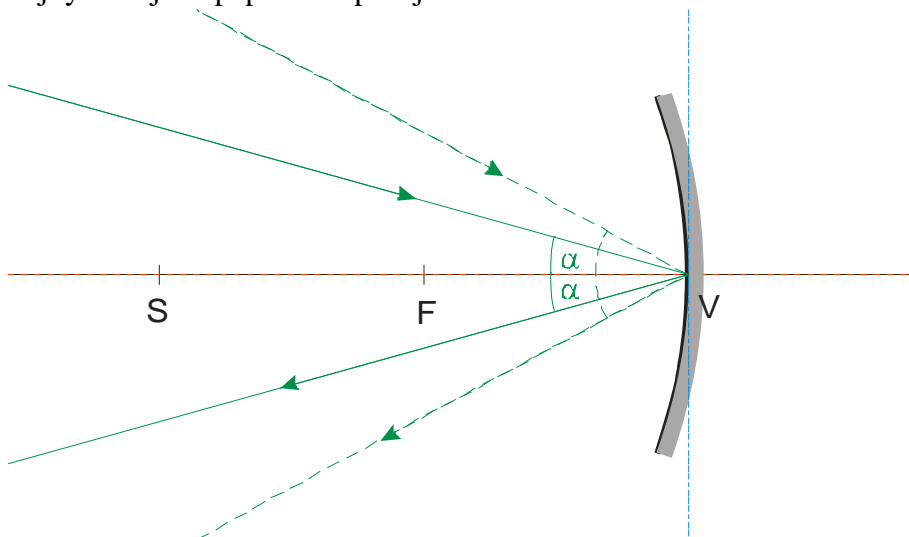
- Vzdálenost mezi vrcholem a ohniskem je základní charakteristikou zrcadla, říkáme ji ohnisková vzdálenost, značíme ji  $f$ .

**Význačné paprsky** (význačné tím, že dokážeme snadno nakreslit jejich chod)

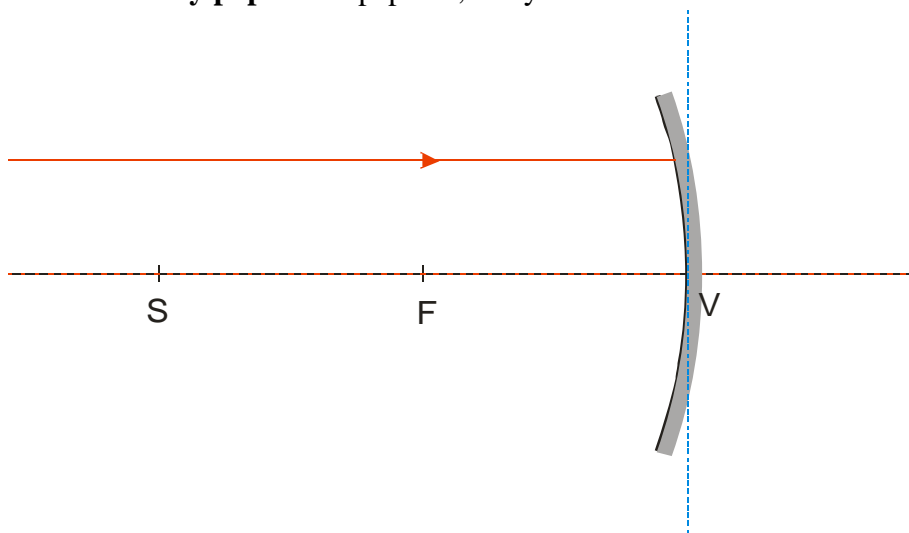
**1. Vrcholový paprsek** - paprsek, který dopadá do vrcholu zrcadla.



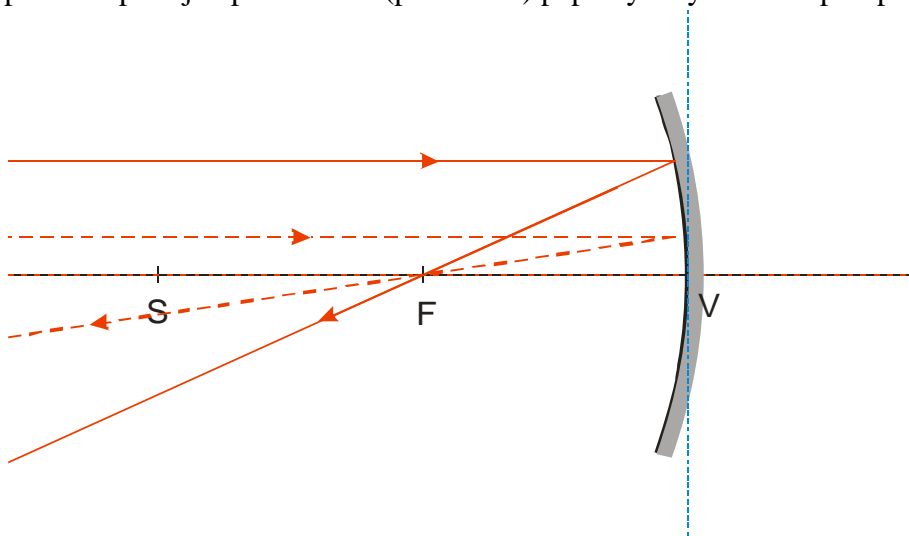
Protože plocha zrcadla je ve vrcholu kolmá na optickou osu, svírá odražený paprsek s optickou osou stejný úhel jako paprsek dopadající.



**2. Rovnoběžný paprsek** - paprsek, který se šíří rovnoběžně s osou.

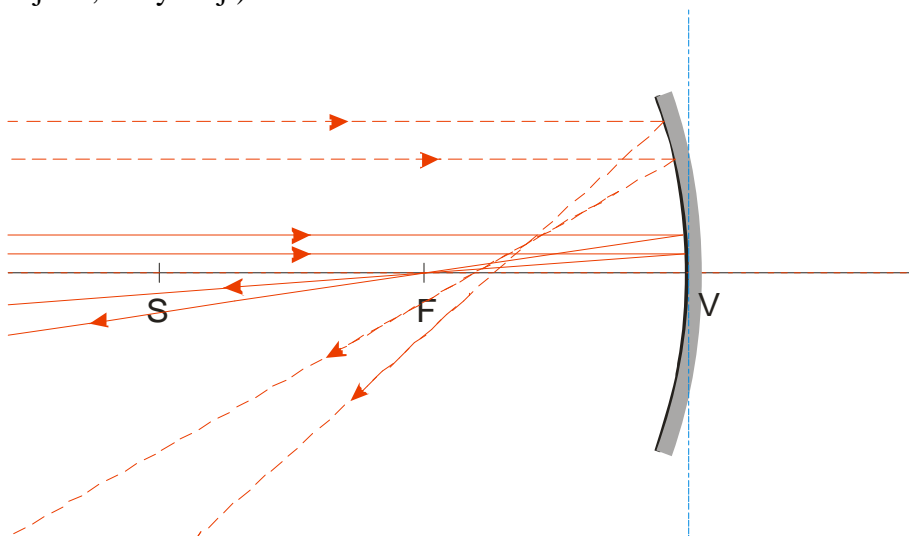


U parabolického zrcadla se tento paprsek odráží přesně do ohniska. U kulového zrcadla toto pravidlo platí jen pro některé (paraxiální) paprsky. My budeme předpokládat jeho platnost.



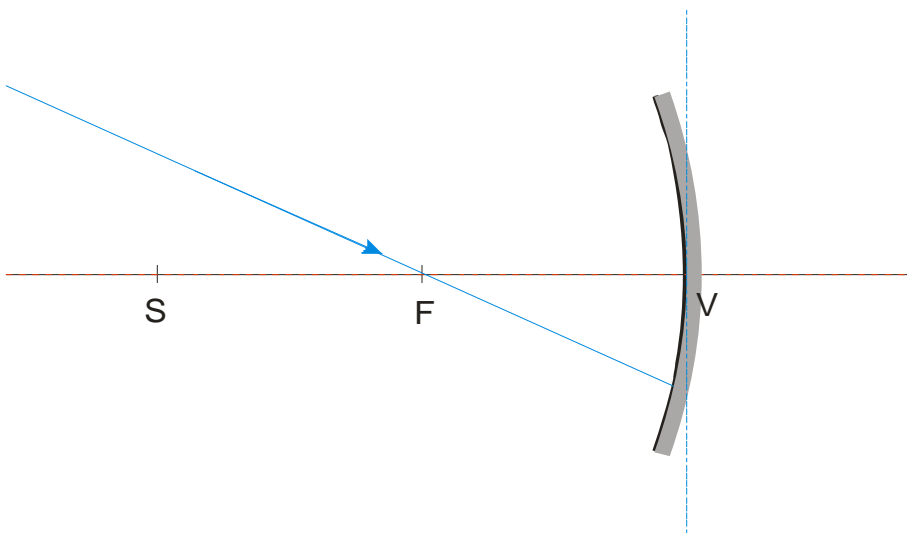
Uvedeným způsobem se u kulového zrcadla lámou pouze **paraxiální paprsky** (paprsky, které letí dostatečně blízko osy kulového zrcadla), čím dále od osy zrcadla paprsky letí, tím je rozdíl mezi skutečným odrazem a tím, co jsme kreslili větší.

Stejně jako u mnoha jiných věcí jde o věc míry. Například na následujícím obrázku můžeme plné paprsky považovat za paraxiální (poskytující správné zobrazení), čárkované již za paraxiální považovat nemůžeme (pokud budou vstupovat do zobrazování, získáme rozmazaný obraz, protože nejdou, kudy mají).

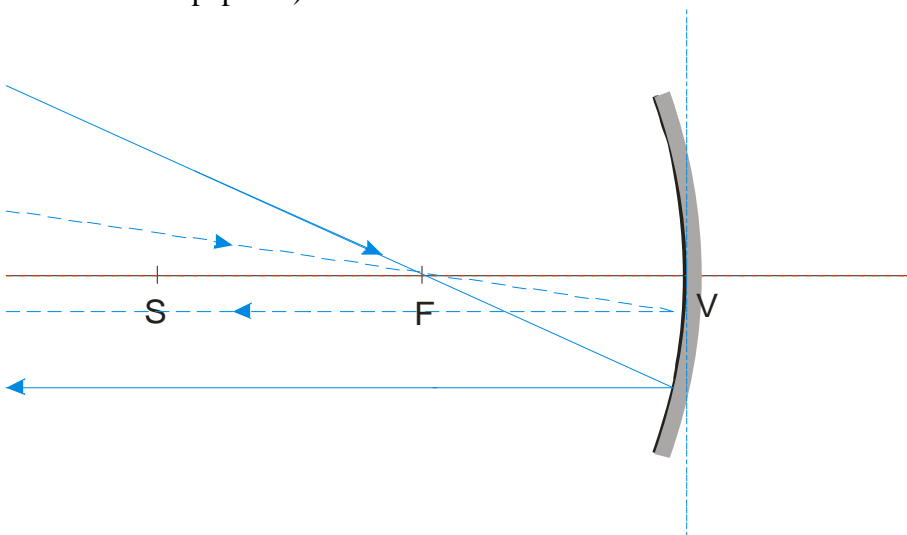


V naprosté většině případů (i případ našich zrcátek) je paraxiálnost zajištěna tím, že zrcadlo představuje pouze velmi malou část kulové plochy, ze které je „vyrobeno“. Například naše zrcátka pocházejí z kulové plochy s průměrem 1m.

**3. Ohniskový paprsek** - paprsek, který prochází ohniskem.

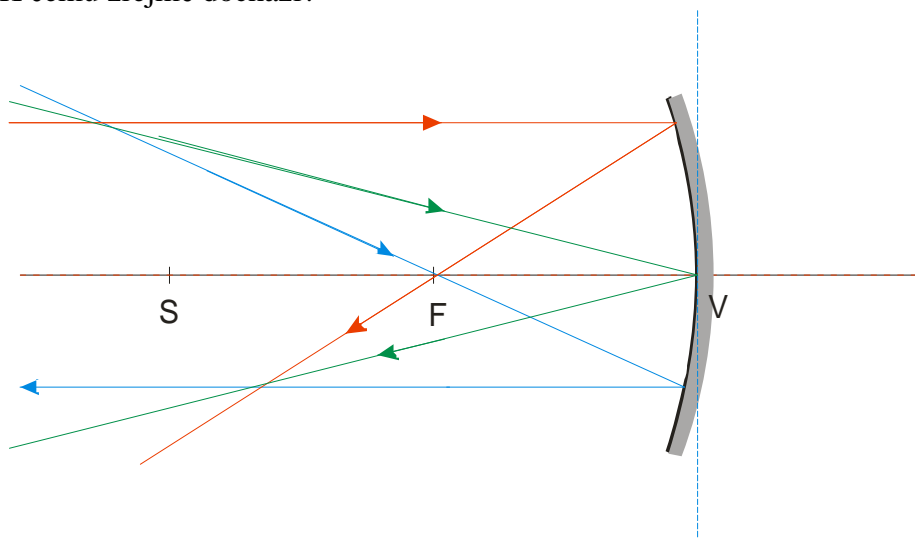


Podle zákona o záměně chodu paprsků se musí odrážet rovnoběžné s osou (obrátili jsme směr rovnoběžného paprsku).



**Pedagogická poznámka:** V hodině kreslím na tabuli obrázek, od každého druhu paprsků nakreslím pouze jeden tak, abych získal následující obrázek.

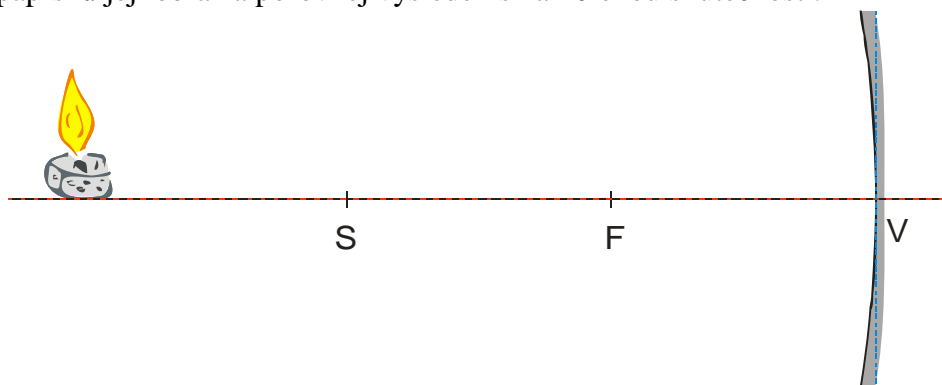
**Př. 1:** Na obrázku jsou nakresleny všechny tři druhy význačných paprsků. Co obrázek připomíná? K čemu zřejmě dochází?



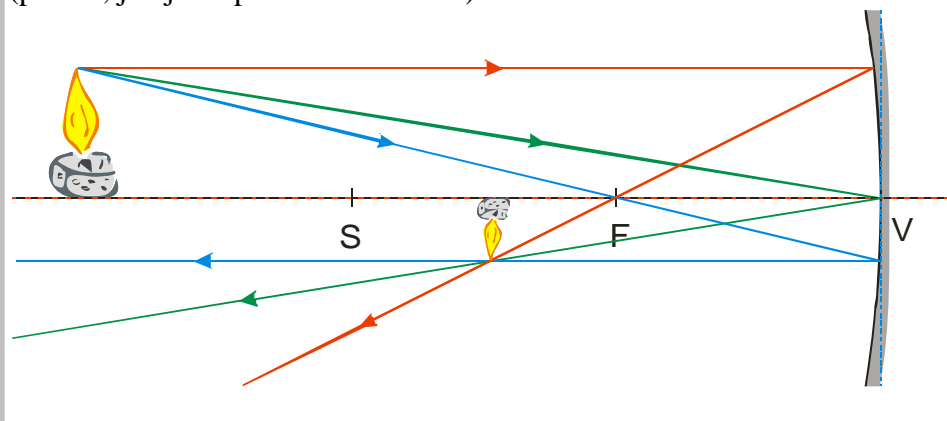
Všechny tři paprsky vychází z jednoho místa vlevo nahoře a po odrazu se schází vlevo dole  
⇒ obrázek připomíná náčrtky vzniku obrazu. Zřejmě jde o případ, kdy pomocí zrcadla vytvoříme zmenšený obraz.

Nyní zkusíme, zda nám kreslení význačných paprsků pomůže vysvětlit zobrazování zrcadlem. Nejdříve se budeme zabývat nejdéle známou možností – zmenšeným obrazem vzdáleného předmětu.

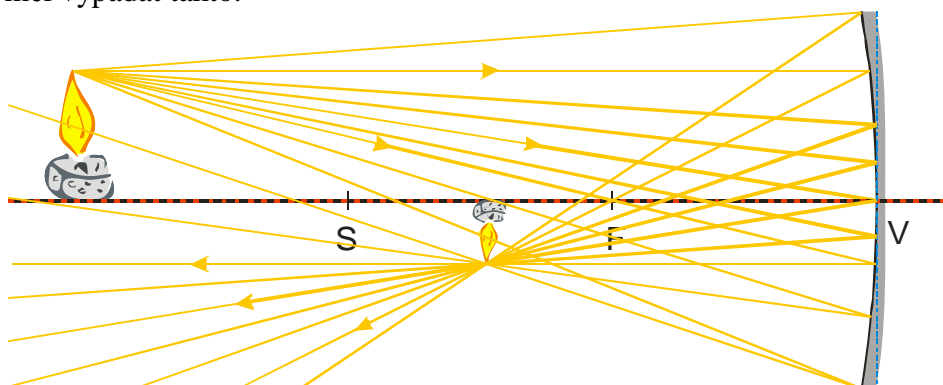
**Př. 2:** Na obrázku je nakresleno kulové zrcadlo a svíčka. Najdi zakreslením chodu význačných paprsků její obraz a porovnej výsledek s naměřenou skutečností.



Všechny tři paprsky se po odrazu od zrcadla potkají v jednom bodě, kde vznikne převrácený (vzhůru nohama), zmenšený, skutečný (paprsky se opravdu setkají) obraz špičky plamínku (přesně, jak jsme před chvílí zkusili).

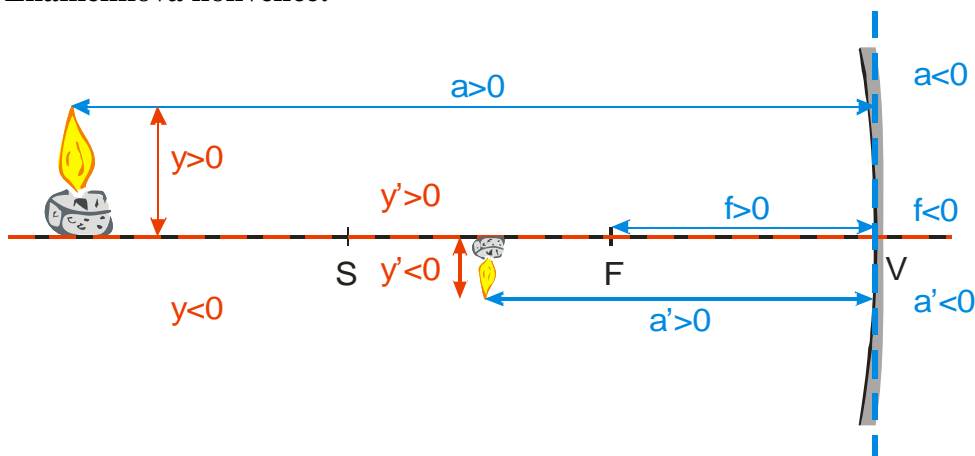


**Pozor:** Obraz špičky plamínku nevytvářejí jenom tři nakreslené paprsky, zrcadlo odráží do stejného bodu i ostatní paprsky, které vylétají ze špičky plamínku. Bohužel je nemůžeme nakreslit, dokud nevíme, kde obraz vznikne, protože nemáme žádná pravidla na jejich odraz. Výstižnější obrázek by měl vypadat takto.



Pokud dokážeme situaci nakreslit, určitě ji dokážeme i spočítat.

### Znaménková konvence:

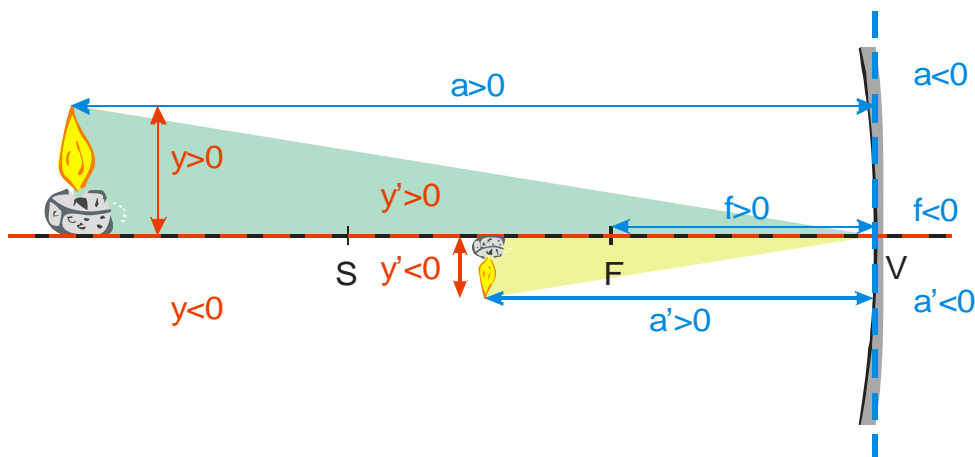


- $a$  – vzdálenost předmětu od vrcholu (předmětová vzdálenost),
- $a'$  – vzdálenost obrazu od vrcholu (obrazová vzdálenost),
- $y$  – velikost předmětu,
- $y'$  – velikost obrazu,
- $f$  – ohnisková vzdálenost.

Ještě potřebujeme rovnici.

Pro předmětovou, obrazovou a ohniskovou vzdálenost platí **zobrazovací rovnice**:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$ .

Poměr velikosti předmětu a obrazu udává vzorec pro **příčné zvětšení**:  $Z = \frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a}$ , který snadno odvodíme z podobnosti trojúhelníků na obrázku.



**Př. 3:** Při pokusu s dutým zrcadlem s ohniskovou vzdáleností  $f = 25\text{ cm}$  bylo zrcátko umístěno 80 cm od svíčky. Zmenšený převrácený obraz svíčky se vytvořil na stínítku ve vzdálenosti 35 cm od zrcátka. Dosazením do zobrazovací rovnice zjistí, zda tyto naměřené hodnoty odpovídají teoretickým předpokladům.

$$a = 80\text{ cm} \quad f = 25\text{ cm} \quad a' = 35\text{ cm}$$

Dosadíme do zobrazovací rovnice za  $a$  a  $f$  a zjistíme, zda obou stranách rovnice získáme stejnou hodnotu.

$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$  ve vzorci se vyskytují pouze vzdálenosti  $\Rightarrow$  nemusíme dosazovat v základních jednotkách.

$$\frac{1}{80} + \frac{1}{35} = \frac{1}{25}$$

0,0403 = 0,04  $\Rightarrow$  obě strany se přibližně rovnají.

Ještě zkontrolujeme velikost a převrácenost obrazu:

Velikost plamínku se neustále mění, průměrná hodnota je řekněme  $y = 3 \text{ cm}$ . Určíme velikost obrazu:

$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a} \Rightarrow y' = -\frac{a'}{a} \cdot y = -\frac{35}{80} \cdot 3 \text{ cm} = -1,31 \text{ cm}$  - záporná hodnota  $\Rightarrow$  obraz je převrácený, menší hodnota  $\Rightarrow$  obraz je zmenšený.

**Př. 4:** Urči v jaké vzdálenosti od zrcátka s ohniskovou vzdáleností 25 cm se vytvoří obraz svíčky, která se nachází 60 cm od zrcátka. Výsledek ověř pokusem.

$$a = 60 \text{ cm} \quad f = 25 \text{ cm} \quad a' = ?$$

Vydeme ze zobrazovací rovnice:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$ .

$$a' \cdot f + a \cdot f = a \cdot a'$$

$$a \cdot f = a \cdot a' - a' \cdot f$$

$$a \cdot f = a' (a - f)$$

$$a' = \frac{a \cdot f}{a - f}$$

Ve vzorci se vyskytují pouze vzdálenosti  $\Rightarrow$  nemusíme dosazovat v základních jednotkách.

$$a' = \frac{a \cdot f}{a - f} = \frac{60 \cdot 25}{60 - 25} \text{ cm} = 43 \text{ cm}$$

Spočtená vzdálenost odpovídá naměřené hodnotě.

**Př. 5:** Najdi co nejjednodušší postup, který umožňuje s běžným vybavením určit ohniskovou vzdálenost dutého zrcadla.

Paprsky rovnoběžné s osou se odrážejí do ohniska  $\Rightarrow$  zkusíme zrcadlem vytvořit obraz velmi vzdálených předmětů (svazek paprsků z velmi vzdáleného předmětu je téměř rovnoběžný)  $\Rightarrow$  vzdálenost mezi obrazem a zrcadlem je ohniskovou vzdáleností zrcadla.

**Př. 6:** Dokumentuj předchozí postup na zobrazovací rovnici. Jaká chyba při určování ohniskové vzdálenosti zrcadla s ohniskovou vzdáleností 25 cm vznikla, kdybys pro jeho určení využil obraz okna vzdáleného od zrcadla 4 m?

Zobrazovací rovnice:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \Rightarrow$  pokud se předmětová vzdálenost  $a$  blíží k

nekonečnu, blíží se hodnota zlomku  $\frac{1}{a}$  nule  $\Rightarrow$  zobrazovací rovnice přechází do tvaru

$$0 + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \Rightarrow \text{obrazová vzdálenost se rovná ohniskové vzdálenosti.}$$

Určíme obrazovou vzdálenost okna a porovnáme ji s ohniskovou vzdáleností zrcadla.

$$a = 400 \text{ cm} \quad f = 25 \text{ cm} \quad a' = ?$$

Vydeme ze zobrazovací rovnice:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}$ .

$$\begin{aligned}
 a' \cdot f + a \cdot f &= a \cdot a' \\
 a \cdot f &= a \cdot a' - a' \cdot f \\
 a \cdot f &= a'(a - f) \\
 a' &= \frac{a \cdot f}{a - f}
 \end{aligned}$$

Dosazení:  $a' = \frac{a \cdot f}{a - f} = \frac{400 \cdot 25}{400 - 25} \text{ cm} = 26,7 \text{ cm} \Rightarrow$  chyba 1,7 cm.

Chyba pro obraz stromu ve vzdálenosti 10 m:  $a' = \frac{a \cdot f}{a - f} = \frac{1000 \cdot 25}{1000 - 25} \text{ cm} = 25,6 \text{ cm} \Rightarrow$   
chyba 0,6 cm.

**Dodatek:** U předmětů, které jsou vzdáleny více než 10 m hraje větší roli než spočtená chyba nepřesnost při subjektivním vyhodnocení ostroty obrazu. Pokud děláte okna, zdají se po zaostření na okno ostré i předměty ve větší vzdálenosti.

**Pedagogická poznámka:** V předchozím případě neřeším, když žáci použijí vztah odvozený v předchozím příkladu. Odvozovat jednu a tu samou věc v jedné hodině několikrát považuji za zbytečné i přes to, že se jinak snažím, aby žáci co nejvíce vycházeli ze základních vztahů.

**Shrnutí:** Duté zrcadlo odráží paprsky tak, že vzniknou různé druhy obrazů podobně jako u čoček.