

Asférické zrcadlo

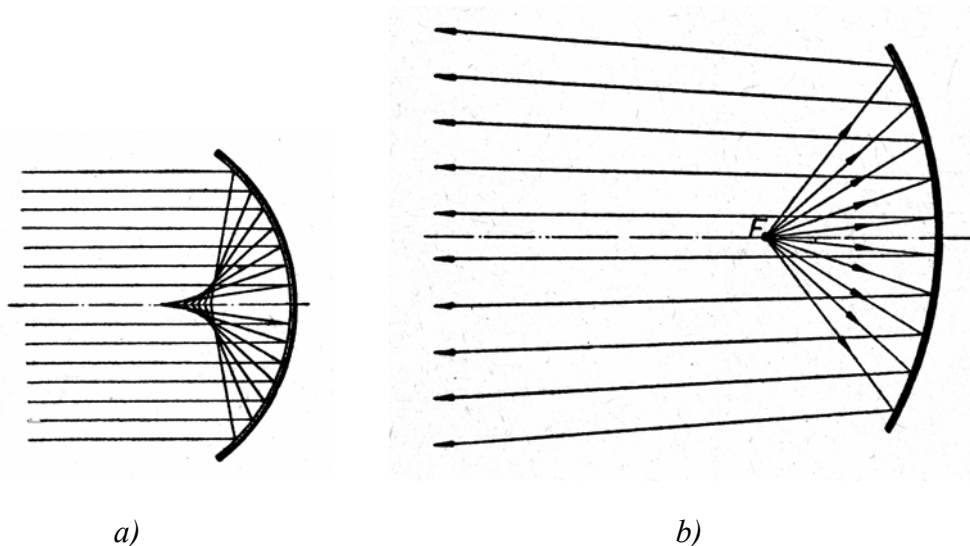
Jitka Prokšová, Pedagogická fakulta ZČU Plzeň

Z vlastní zkušenosti a díky základům geometrické optiky ze školních let víme, že k nejjednodušším optickým systémům patří zrcadla. I v přístrojové optice je zrcadlovým soustavám dáвана přednost z řady důvodů. Nejdůležitějším z nich je, že obraz vytvořený zrcadlem není zatížen vznikem chromatické vady, která vždy provází lom bílého světla při průchodu čočkami. Podle tvaru rozlišujeme dva druhy zrcadel:

- zrcadla **kulová** neboli **sférická** (v případě, že poloměr křivosti zrcadla $R \rightarrow \infty$, je jejich zvláštním typem rovinné zrcadlo),
- zrcadla **nekulová** neboli **asférická** (např. paraboloidická, elipsoidická aj.).

Při teoretickém rozboru zobrazování zrcadly či jinými optickými soustavami se většinou používá tzv. nulových (paraxiálních) paprsků. Prakticky jsou to paprsky svírající s optickou osou úhel menší než 2° . Tak je možné v řadě výpočtů zjednodušit vztahy pro sinu či tangenty úhlů tím, že je nahradíme oblouky (arkusy), a neuvažovat o optických vadách systému, které se projeví při použití paprsků více odkloněných. Výjimku tvoří pouze rovinné zrcadlo, u kterého není nutné se omezovat na body ležící v prostoru velmi blízkém optické ose (Gaussův nitkový prostor), neboť bodového zobrazení lze dosáhnout libovolně širokými svazky paprsků. Užitečnost zobrazování rovinným zrcadlem je však značně omezena, protože zrcadlením na rovinné ploše se pouze přenáší předmět nebo obraz vytvořený jinou optickou soustavou v nezměněném tvaru na jiné místo.

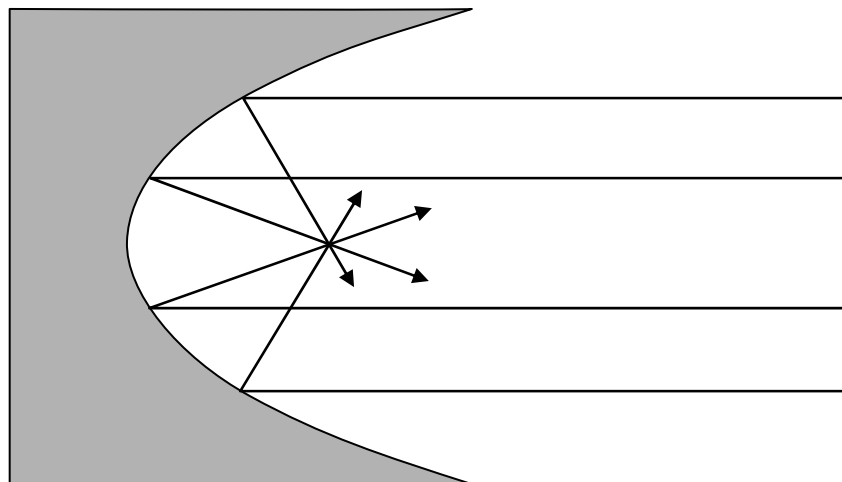
U kulových zrcadel bývá při zobrazování širokým svazkem paprsků hlavní nevýhodou vznik otvorové vady. Lehce se o tom přesvědčíme pokusem znázorněným na obr. 1a: na duté kulové zrcadlo necháme dopadat široký svazek rovnoběžných paprsků světla.



Obr. 1

Vidíme, že paprsky se po odrazu na zrcadle neprotínají v jednom bodě (ohnisku), ale v různých bodech na optické ose. Není tedy splněna podmínka bodového zobrazení – neboli bod se zobrazuje jako ploška. Obálkou všech odražených paprsků je tzv. kaustická plocha (odražené paprsky jsou tečnami v každém jejím bodě). Je tedy zřej-

mé, že umístíme-li bodový zdroj do ohniska takového kulového zrcadla, paprsky se neodráží rovnoběžně s optickou osou, ale rozbíhají se (obr. 1b). Otvorová vada se dá odstranit například vložením dutovypuklé čočky před zrcadlo. Pokud chceme tuto vadu u kulových zrcadel pouze omezit, stačí buď zmenšit zorné pole nebo použít zrcadel malých průměrů. V praxi se častěji použije místo kulového tvaru zrcadlo paraboloidické, u kterého ke zmíněné vadě nedochází. Na obr. 2 je vidět, že u zrcadla tvaru rotačního paraboloidu je tato vada odstraněna pro bod v nekonečnu.

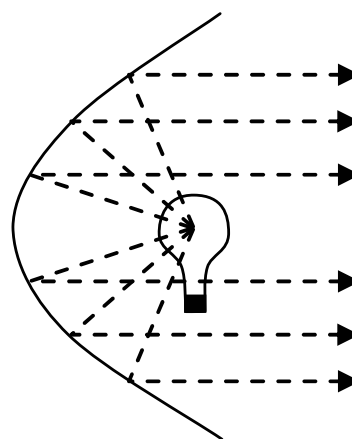


Obr. 2

Kulových nebo paraboloidických zrcadel se kvůli zmíněným vlastnostem používá například při konstrukci zrcadlových objektivů velkých dalekohledů, kde jsou žádoucí zrcadla o velkých poloměrech křivosti. Je známo, že dalekohledy používané k astronomickým pozorováním bývají buďto čočkové (refraktory), nebo zrcadlové optické systémy (reflektory). Hlavní předností reflektorů proti kombinovaným a čočkovým dalekohledům je, že u nich nedochází k chromatické vadě. S vlastnostmi paraboloidálního zrcadla se můžeme setkat i při pozorování v oboru rádiových vlnových délek. Radioteleskopy, které astronomům pozorování v oblasti rádiových vln umožňují, jsou přístroje, jejichž hlavní části tvoří anténa, citlivý přijímač a registrační zařízení. Právě anténa, zachycující záření a určující směr ke kosmickému zdroji, je obvykle tvořena obrovským kovovým paraboloidem s dipólem v ohnisku (např. jeden z největších radioteleskopů je postaven ve vyhaslém kráteru sopky v Portoriku a má průměr 300 metrů).

Zrcadel tvaru rotačního paraboloidu se také často používá u vojenských světlometů, automobilových reflektorů a jiných těles určených k osvětlovacím účelům. Princip funkce paraboloidického reflektoru znázorňuje obr. 3.

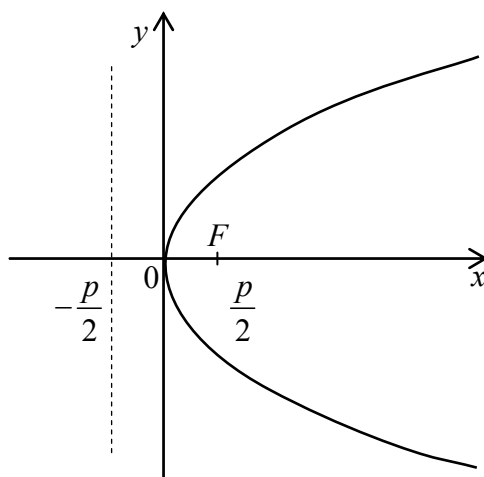
Je zřejmé, že k získání rovnoběžného svazku paprsků vycházejícího z reflektoru je nutné zdroj světla umístit do jeho ohniska. Prakticky však nelze uskutečnit bodový svítící zdroj, a proto se i paprsky odražené v paraboloidálním zrcadle rozbíhají v kužel s malým vrcholovým úhlem. Pro běžné užití to však není na závadu.



Obr. 3



Představme si nyní, že známe průměr a objem paraboloidálního reflektoru terénního automobilu Mitsubishi Pajero. Naším úkolem bude určit, do jaké vzdálenosti od vrcholu reflektoru má být výrobcem umístěno vlákno žárovky, což znamená určit ze zadaných parametrů reflektoru ohniskovou vzdálenost f .



Obr. 4

Kanonický (normální) tvar rovnice paraboly s osou v ose x a s vrcholem v počátku souřadné soustavy je

$$y^2 = 2 \cdot p \cdot x = 4 \cdot f \cdot x, \quad (1)$$

kde p je vzdálenost ohniska od řídicí přímky a $f = \frac{p}{2}$ označuje ohniskovou vzdálenost.

Objem rotačního paraboloidu se určí ze vztahu

$$V = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot v, \quad (2)$$

kde r je poloměr kruhové podstavy a v je výška paraboloidu (viz obr. 5). Pro daný typ reflektoru máme k dispozici tyto údaje: průměr reflektoru $d = 18$ cm a jeho objem $V = 900$ cm³.

Ze vztahu (2) nejprve vyjádříme výšku (hloubku) reflektoru

$$v = \frac{2 \cdot V}{\pi \cdot r^2} \quad (3)$$

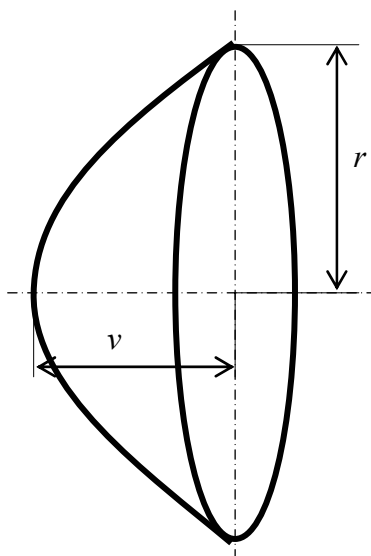
a z rovnice (1) ohniskovou vzdálenost f :

$$f = \frac{y^2}{4 \cdot x}. \quad (4)$$

Za y dosadíme poloměr reflektoru $r = \frac{d}{2}$ a za x pak jeho výšku (hloubku) v . Po úpravě tedy obdržíme

$$f = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot V} = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot V}. \quad (5)$$

Dosazením číselných hodnot dostaneme $f \doteq 3 \text{ cm}$.



Obr. 5

K zabezpečení správné funkce tohoto typu paraboloidálního reflektoru proto musí být vlákno žárovky vzdáleno od vrcholu reflektoru přibližně 3 cm.

LITERATURA:

- [1] Fuka J., Havelka B.: *Optika*. SPN, Praha 1961.
- [2] Hänsel H., Neumann W.: *Physik*. Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg – Berlin – Oxford 1993.
- [3] Lhotský D., Hlavička A.: *Optika*. SPN, Bratislava 1963.