

5.2.6 Čočky

Předpoklady: 5103, 5201, 5203

Pedagogická poznámka: Na začátku si studenti do dvojic rozdají kompletní pokusnou sadu čoček a navíc si každá dvojice vezme jednu z čoček, které jsem nashromáždil časem při rozebírání různých přístrojů určených k vyhození.

Čočky už jsme měli v rukou – vytvořili jsme s jejich pomocí první pořádné obrazy. Teď je prozkoumáme blíž.

Čočka – kus skla (nebo jiného průhledného materiálu), jeho okraje tvoří části kulových ploch (nebo rovina), index lomu materiálu čočky (značíme n_2) je větší než index lomu okolního prostředí (většinou vzduch) n_1 .

Dva druhy čoček:

- **spojky** (spojné čočky) – jsou uprostřed nejtlustší, vytvářejí obraz na papíře,
- **rozptylky** (rozptylné čočky) – jsou uprostřed nejjužší, obraz na papíře nevytváří, vidíme přes ně zmenšeně, ale ostře.

Dodatek: Samozřejmě se dělají i čočky exotičtějších tvarů, v běžné praxi se s nimi většinou nepotkáme.

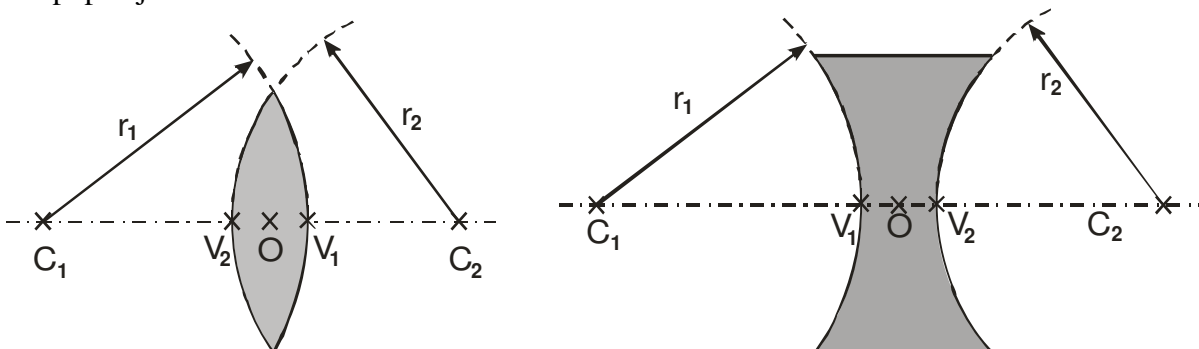
Př. 1: Existují dva druhy nerovinných zrcadel (duté a vypuklé) i dva druhy čoček (spojky a rozptylky). Najdi podobně se chovající páry čočka-zrcadlo.

Spojka \Leftrightarrow duté zrcadlo: vytváří (reálné) obrazy na papíře, vidíme přes ní zvětšeně (vzdálené předměty rozmazaně).

Rozptylka \Leftrightarrow vypuklé zrcadlo: nevytváří (reálné) obrazy na papíře, vidíme přes ní zmenšeně.

Čočky odpovídají zrcadlům ve svém páru i dalších charakteristikách, zejména ve znaménkách ohniskové vzdálenosti a ve způsobu, kterým přes ně prochází charakteristické paprsky.

Jak popisujeme čočku?

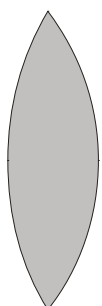


- C_1 , C_2 - středy optických ploch,
- r_1 , r_2 - poloměry křivosti optických ploch,
- přímka C_1C_2 - optická osa čočky,

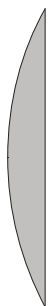
- V_1 , V_2 - vrcholy čočky,
- O - optický střed čočky,
- vzdálenost $|V_1 V_2|$ - tloušťka čočky.

V našich úvahách budeme všechny čočky považovat za tenké \Rightarrow tloušťku čočky zanedbáme a body V_1 , V_2 , O splynou v jeden (při pohledu na čočky na stole je jasné, že tento předpoklad není vždy úplně oprávněný).

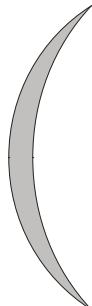
Galerie spojek



dvojvypuklá



ploskovypuklá

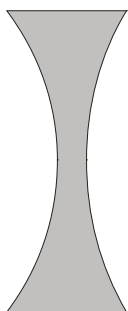


dutovypuklá

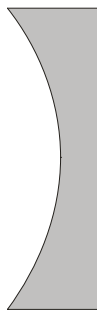


značka tenké spojky

Galerie rozptylek



dvojdutá



ploskodutá



vypuklodutá



značka tenké rozptylky

Př. 2: Pojmenování čoček v galerii vychází z poměrně jednoduchého systému. Zformuluj jej.

Pojmenování čoček se sestává ze dvou slov:

- druhé slovo vyjadřuje typ plochy, která rozhoduje o typu čočky (vypuklá = spojka, dutá = rozptylka), tato plocha má menší z poloměrů,
- první slovo vyjadřuje typ druhé plochy (plochy s větším poloměrem).

Př. 3: Najdi způsob, jak co nejjednodušeji rozhodnout o typu povrchu. Urči druhy všech pokusných čoček na lavici.

Nejjednodušší je položit čočku plochou na lavici (nebo jinou rovnou plochu). Vypuklé plochy se lavice dotýkají ve středu (je možné je rozkývat), rovné plochy se dotýkají celou plochou a duté plochy se dotýkají po okraji (snadno se ověří, když čočku vysuneme na okraj lavice).

Záleží na konkrétní situaci. Naše základní sada se skládá ze dutovypuklé a ploskovypuklé spojky a jedné vypukloduté rozptylky. Ve směsi zbývajících čoček jsou všechny tři druhy spojek a další vypukloduté rozptylky.

Podobně jako u zrcadel je základní charakteristikou čočky **ohnisková vzdálenost f** .

Pro ohniskovou vzdálenost tenké čočky najdeme v tabulkách vztah: $\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$.

Př. 4: Dvojevypuklá spojka s poloměry křivosti $r_1=20\text{ cm}$, $r_2=50\text{ cm}$ je vyrobena ze skla s indexem lomu 1,6. Urči její ohniskovou vzdálenost ve vzduchu.

$$r_1=20\text{ cm}, r_2=50\text{ cm} \text{ (obě plochy jdou vypuklé)}, n_2=1,6, n_1=1, f=?$$

$$\text{Dosadíme do vzorce: } \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) = \left(\frac{1,6}{1} - 1\right) \left(\frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,5}\right) \Rightarrow$$

$$f=0,24\text{ m}=24\text{ cm}.$$

Daná spojka má kladnou ohniskovou vzdálenost 24 cm.

Př. 5: Urči ohniskovou vzdálenost ve vzduchu pro vypuklodutou čočku s poloměry křivosti $r_1=20\text{ cm}$, $r_2=50\text{ cm}$ a indexem lomu 1,6.

Problém: Všechny udané číselné hodnoty se shodují s hodnotami v předchozím příkladu, přesto je jasné, že musíme získat jiný výsledek, protože se liší charakter jedné z ploch (a také výsledný typ čočky) \Rightarrow duté poloměry zřejmě musíme odlišit záporným znamínkem. Vypuklodutá \Rightarrow jde o rozptylku \Rightarrow menší z poloměrů je záporný (rozhodne o výsledném typu čočky).

$$r_1=-20\text{ cm}, r_2=50\text{ cm}, n_2=1,6, n_1=1, f=?$$

$$\text{Nyní již můžeme dosadit do vzorce: } \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) = \left(\frac{1,6}{1} - 1\right) \left(\frac{1}{-0,2} + \frac{1}{0,5}\right) \Rightarrow$$

$$f=-0,56\text{ m}=-56\text{ cm}.$$

Daná rozptylka má zápornou ohniskovou vzdálenost -56 cm.

Pedagogická poznámka: Konvence pro znaménka poloměrů není uvedena záměrně, protože není uvedena ani v tabulkách a žáci by si jednak měli všimnout, že bez zohlednění faktu, že jedna z ploch je dutá, vedou oba příklady na stejný výsledek (což je zjevně špatné), jednak by se měli naučit domyslet pravidlo, které se často neudává kompletní. Na předchozím příkladu je možné dokumentovat i potřeba souvislostí a alespoň částečného přehledu o problematice.

Př. 6: Jak by se změnila ohniskové vzdálenosti čoček z předchozích příkladů, kdyby byly čočky umístěny ve vodě ($n_1=1,33$)?

Převrácená hodnota ohnisková vzdálenosti by vyšla menší (zmenšila by se velikost závorky $\left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)$) \Rightarrow absolutní hodnota ohniskové vzdálenosti by se zvětšila.

$$\text{Číselně: spojka } \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) = \left(\frac{1,6}{1,33} - 1\right) \left(\frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,5}\right) \Rightarrow f=0,70\text{ m}=70\text{ cm}$$

$$\text{rozptylka: } \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) = \left(\frac{1,6}{1,33} - 1\right) \left(\frac{1}{-0,2} + \frac{1}{0,5}\right) \Rightarrow$$

$$f=-1,64\text{ m}=-164\text{ cm}.$$

Při výrobě brýlí se místo ohniskové vzdálenosti používá **optická mohutnost** Φ . Platí: $\Phi = \frac{1}{f}$

Jednotkou optické mohutnosti je $\frac{1}{m} = m^{-1}$, daleko častěji se však používá název **dioptrie [D]**, platí $m^{-1} = D$

Př. 7: Vypočti optické mohutnosti pokusných čoček. Jejich ohniskové vzdálenosti jsou 7,5 cm, 26,2 cm a -12 cm.

$$\text{Dutovypuklá spojka: } f = 7,5 \text{ cm} = 0,075 \text{ m} \Rightarrow \varphi = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,075} = 13,3 \text{ D} .$$

$$\text{Ploskovypuklá spojka: } f = 26,2 \text{ cm} = 0,262 \text{ m} \Rightarrow \varphi = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,262} = 3,82 \text{ D} .$$

$$\text{Vypuklodutá rozptylka: } f = -12 \text{ cm} = -0,12 \text{ m} \Rightarrow \varphi = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,12} = -8,3 \text{ D} .$$

Př. 8: Ověř, že ohnisková vzdálenost pokusných spojek je udána správně.

Jak ověřit ohniskovou vzdálenost spojky?

Spojka láme do ohniska paprsky, které jdou z rovnoběžně s osou, tedy paprsky z velmi vzdáleného předmětu \Rightarrow zjistíme, do jaké vzdálenosti od spojky musíme dát papír, aby se na něm udělal ostrý obraz vzdálených předmětů (předmětů za oknem) \Rightarrow tato vzdálenost je ohniskovou vzdáleností čočky.

Př. 9: Urči poloměr kulové plochy ploskovypuklé spojky s ohniskovou vzdáleností 26,2 cm. Index lomu použitého skla má hodnotu 1,54.

$$r_1 = \infty \text{ (jedna z ploch je rovinou), } r_2 = ? , n_2 = 1,54 , n_1 = 1 , f = 26,7 \text{ cm} = 0,267 \text{ m}$$

$$\text{Upravíme vzorec: } \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (\text{použijeme } r_1 = \infty \Rightarrow \frac{1}{r_1} = 0).$$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1} \right) \left(0 + \frac{1}{r_2} \right)$$

$$\frac{n_1}{f \cdot (n_2 - n_1)} = \frac{1}{r_2} \Rightarrow r_2 = \frac{f \cdot (n_2 - n_1)}{n_1} = \frac{0,267 \cdot (1,54 - 1)}{1} \text{ m} = 0,144 \text{ m} = 14,4 \text{ cm}$$

Poloměr vypuklé roviny ploskovypuklé čočky je 14,4 cm.

Shrnutí: Používáme dva druhy čoček: spojky (analogie dutého zrcadla) a rozptylky (analogie vypuklého zrcadla).