Bod na osi X, pre ktorý $z_u = 1$, menuje sa *kladný uzlový bod predmetový* U_+. Jeho obraz je *kladný uzlový bod obrazový* U'_+. Určujú ich súradnice $x_p = f'$, $x'_p = f$. Bod, pre ktorý je $z_u = -1$, nazýva sa *záporný uzlový bod predmetový* U_-. Jeho obraz je *záporný uzlový bod obrazový* U'_-. Určujú ich súradnice $x_p = -f'$, $x'_p = -f$ (pozri aj *obr. 11.8*).

Súradnice hlavných a uzlových bodov sú teda

Bod	Súradnica	Bod	Súradnica
H_+	$-f$	U_+	f'
H'_+	$-f'$	U'_+	f
H_-	f	U_-	$-f'$
H'_-	f'	U'_-	$-f$

Pri zrkadlách predmetová a obrazová ohnisková vzdialenosť sú rovnaké a v dôsledku toho kladné hlavné body sú pri zrkadlách totožné so zápornými uzlovými bodmi a naopak.

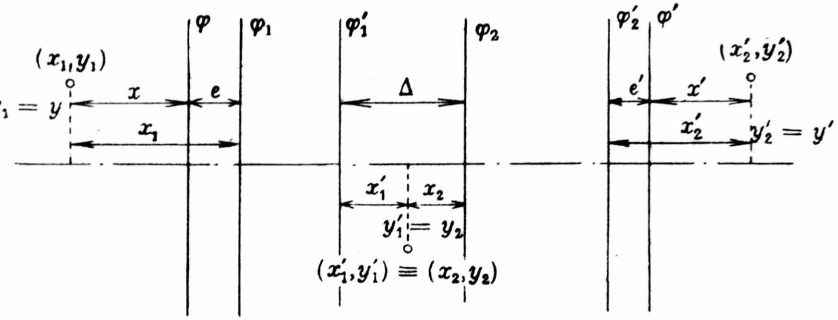
Pri zobrazovacích sústavách dioptrických (lámavé plochy guľové) lúč idúci záporným bodom uzlovým zachováva svoj smer; pri sústavách katoptrických (zrkadlách) lúč idúci kladným uzlovým bodom ostáva so svojím pôvodným smerom len rovnobežný. Ohniská, hlavné roviny a uzlové body sa s výhodou používajú pri grafických konštrukciách obrazov.

11.7. Dve zobrazovacie centrované sústavy. Hovoríme, že dve zobrazovacie zariadenia, ktorých optické osi splývajú, tvoria centrovanú sústavu. Dve guľové plochy odrážajúce alebo lámavé tvoria vždy sústavu centrovanú, pretože každú priamku idúcu stredom krivosti guľovej plochy možno pokladať za optickú os. Optickou osou dvoch zobrazovacích guľových plôch je preto priamka idúca stredmi krivosti obidvoch plôch.

Nech sú ohniskové roviny 1. zobrazovacieho zariadenia centrovanej sústavy φ_1 a φ'_1 a 2. zobrazovacieho zariadenia φ_2 a φ'_2. Vzdialenosť predmetovej ohniskovej roviny φ_2 druhého zariadenia od obrazovej ohniskovej roviny prvého zariadenia φ'_1, meraná kladne v smere postupujúceho svetla, predstavuje optický interval sústavy Δ (*obr. 11.10*). Obraz bodového zdroja svetla, vzhľadom na prvé zariadenie so súradnicami x_1, y_1, má vzhľadom na to isté zariadenie súradnice x'_1, y'_1, vzhľadom na druhé zariadenie však súradnice x_2, y_2, pričom $y_2 = y'_1$. Obraz vytvorený prvým zariadením je predmetom pre druhé zariadenie a jeho obraz vzniká v polohe vzhľadom na druhé zariadenie so súradnicami x'_2, y'_2.

Podľa Newtonových zobrazovacích rovníc platí:

$$x_1' = \frac{f_1 f_1'}{x_1}, \qquad y_1' = -\frac{f_1 y_1}{x_1}$$



Obr. 11.10.

Pretože $x_2 = \Delta - x_1'$ a $y_2 = y_1'$, je

$$x_2' = \frac{f_2 f_2'}{x_2} = \frac{f_2 f_2'}{\Delta - x_1'} = \frac{f_2 f_2'}{\Delta - \dfrac{f_1 f_1'}{x_1}} = \frac{f_2 f_2' x_1}{\Delta \,.\, x_1 - f_1 f_1'} \tag{1}$$

$$y_2' = -\frac{f_2 y_2}{x_2} = \frac{-f_2 y_1'}{\Delta - x_1'} = \frac{-f_2\left(-\dfrac{f_1 y_1}{x_1}\right)}{\Delta - \dfrac{f_1 f_1'}{x_1}} = \frac{f_1 f_2 y_1}{\Delta \,.\, x_1 - f_1 f_1'} \tag{2}$$

Vzdialenosť e predmetovej ohniskovej roviny sústavy od predmetovej ohniskovej roviny 1. zobrazovacieho zariadenia nájdeme z podmienky, aby pre $x_1 = e$ bolo $x_2' = \infty$, čo nastane, keď sa menovateľ vzorca (1) bude rovnať nule. Z rovnice $\Delta \,.\, e - f_1 f_1' = 0$ vyplýva:

$$e = \frac{f_1 f_1'}{\Delta} \tag{3}$$

Vzdialenosť e' obrazovej ohniskovej roviny sústavy od obrazovej ohniskovej roviny 2. zobrazovacieho zariadenia vyplýva podobne z podmienky, že pre $x_1 = \infty$ je $x_2' = e'$. Podľa vzorca (1) je teda

$$e' = \frac{f_2 f_2'}{\Delta} \tag{4}$$

Podľa *obr. 11.10* je:

$$x = x_1 - e, \qquad x' = x_2' - e', \qquad y = y_1, \qquad y' = y_2'$$

Preto

$$x' = x_2' - e' = \frac{f_2 f_2' x_1}{\Delta \,.\, x_1 - f_1 f_1'} - \frac{f_2 f_2'}{\Delta} = \frac{f_2 f_2'(x + e)}{\Delta \,.\, (x + e) - f_1 f_1'} - \frac{f_2 f_2'}{\Delta} =$$

$$= \frac{f_2 f_2' \left(x + \dfrac{f_1 f_1'}{\Delta}\right)}{\Delta \,.\, \left(x + \dfrac{f_1 f_1'}{\Delta}\right) - f_1 f_1'} - \frac{f_2 f_2'}{\Delta} =$$

$$= \frac{f_2 f_2'(\Delta \,.\, x + f_1 f_1')}{\Delta^2 \,.\, x} - \frac{f_2 f_2'}{\Delta} = \frac{f_1 f_2 f_1' f_2'}{\Delta^2 \,.\, x} \tag{5}$$

$$y' = y_2' = \frac{f_1 f_2 y_1}{\Delta \,.\, x_1 - f_1 f_1'} = \frac{f_1 f_2 y}{\Delta \,.\, (x + e) - f_1 f_1'} =$$

$$= \frac{f_1 f_2 y}{\Delta \,.\, \left(x + \dfrac{f_1 f_1'}{\Delta}\right) - f_1 f_1'} = \frac{f_1 f_2 y}{\Delta \,.\, x} \tag{6}$$

Porovnaním vzorca (6) so vzorcom $y' = -\dfrac{fy}{x}$, odvodeným pre jedno zariadenie, vyplýva pre predmetovú ohniskovú vzdialenosť sústavy hodnota

$$f = -\frac{f_1 f_2}{\Delta} \tag{7}$$

Vzorec (6) môžeme upraviť na tvar

$$y = \frac{y' \,.\, \Delta \,.\, x}{f_1 f_2}$$

Zo vzorca (5) vyplýva:

$$x = \frac{f_1 f_2 f_1' f_2'}{\Delta^2 \,.\, x'}$$

teda

$$y = \frac{y' \,.\, \Delta}{f_1 f_2} \cdot \frac{f_1 f_2 f_1' f_2'}{\Delta^2 \,.\, x'} = \frac{f_1' f_2'}{\Delta \,.\, x'} \,.\, y'$$

Z porovnania tohto vzťahu so vzorcom pre jedno zariadenie, $y = \dfrac{-f' y'}{x'}$, vyplýva pre obrazovú ohniskovú vzdialenosť sústavy hodnota

$$f' = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} \tag{8}$$

Použitím ohniskových vzdialeností sústavy rovnice (5) a (6) dostávajú tvar zobrazovacích rovníc zariadení jednoduchých,

$$x' = \frac{ff'}{x}, \qquad y' = -\frac{fy}{x}$$

Keď však obrazová ohnisková rovina prvého zariadenia splýva s predmetovou ohniskovou rovinou druhého zariadenia, optický interval sústavy $\Delta = 0$, ohniskové vzdialenosti sústavy ako celku sú nekonečne veľké a Newtonove zobrazovacie rovnice sústavy sú nepotrebiteľné. Takýmito tzv. *teleskopickými sústavami* sú ďalekohľady. Poloha obrazu môže sa pri teleskopických sústavách počítať s výhodou podľa rovníc (1) a (2):

$$x'_2 = \frac{-f_2 f'_2}{f_1 f'_1} x_1 \tag{9}$$

$$y'_2 = y' = -\frac{f_2}{f'_1} y_1 = -\frac{f_2}{f'_1} y \tag{10}$$

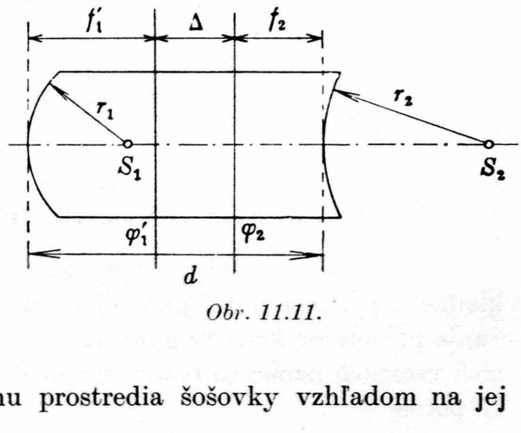
11.8. Hrubá šošovka. Šošovkou sa nazýva homogénne a izotropné priehľadné hmotné prostredie, ohraničené dvoma guľovými plochami alebo guľovou plochou a rovinou. Majme na mysli šošovku ohraničenú dvoma guľovými plochami s polomermi r_1 a r_2, tvaru podľa *obr. 11.11.* Keď absolútny index lomu materiálu šošovky je N a šošovka je obklopená prostredím s abs. indexom lomu N_0, podľa vzorcov (4) a (3) čl. 11.5 ohniskové vzdialenosti vzťahujúce sa na obidve šošovku ohraničujúce lámavé guľové plochy sú:

$$f_1 = \frac{N_0 r_1}{N - N_0} = \frac{r_1}{n - 1}$$

$$f'_1 = \frac{N r_1}{N - N_0} = \frac{n r_1}{n - 1} \tag{1}$$

$$f_2 = \frac{N r_2}{N_0 - N} = \frac{n r_2}{1 - n}$$

$$f'_2 = \frac{N_0 r_2}{N_0 - N} = \frac{r_2}{1 - n} \tag{2}$$



Obr. 11.11.

kde $n = \dfrac{N}{N_0}$ je relatívny index lomu prostredia šošovky vzhľadom na jej okolie.

Podľa *obr. 11.11* pre optický interval obidvoch lámavých plôch šošovky platí vzťah $d = f'_1 + \Delta + f_2$, teda $\Delta = d - f'_1 - f_2$. Podľa vzorca (7) čl. 11.7 predmetová ohnisková vzdialenosť šošovky je preto

$$f = -\frac{f_1 f_2}{\Delta} = -\frac{\dfrac{r_1}{n-1} \cdot \dfrac{n r_2}{1-n}}{d - \dfrac{n r_1}{n-1} - \dfrac{n r_2}{1-n}} =$$