

PRAKTICKÁ OPTIKA

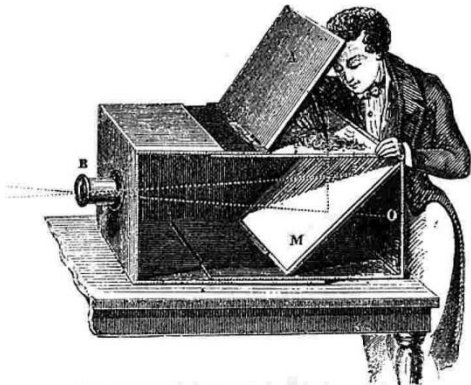


Kurz: **VIDEOTECHNIKA A MULTIMÉDIA**

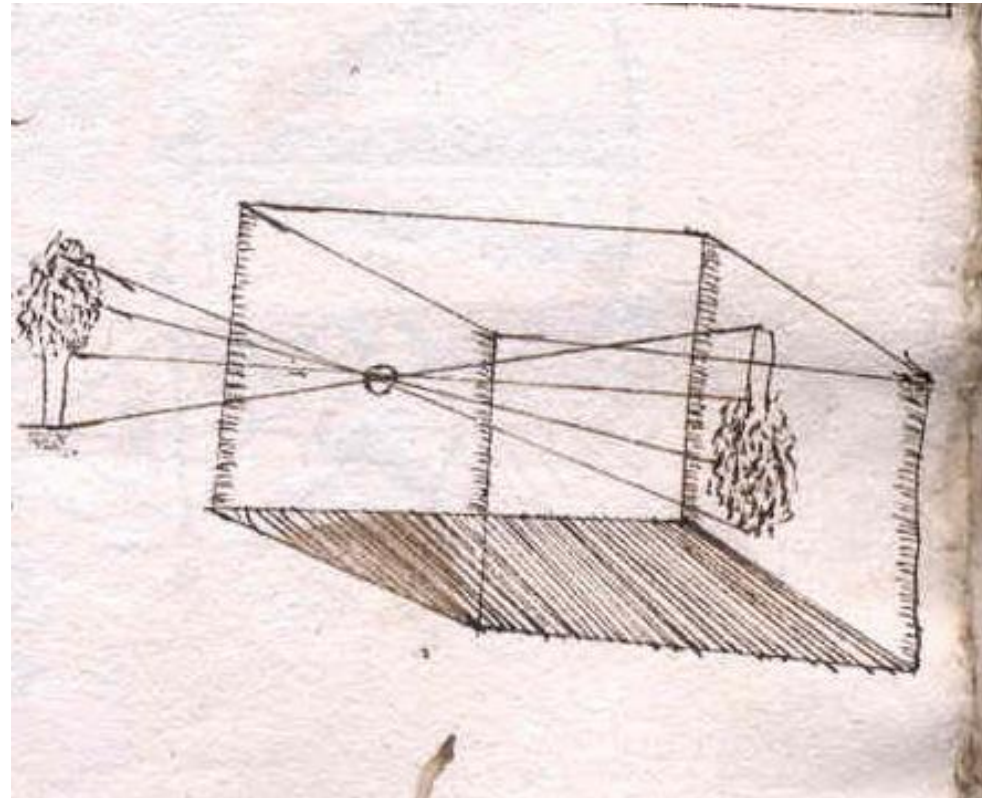
Lektor: Kamil Říha

Princip perspektivního promítání

- *Camera obscura* (temná komora): dírková komora, *pinhole camera*
- první zmínky o tomto principu už v 5 století př. n. l.
- používáno pro realistické zakreslování skutečnosti (obkreslování promítaného obrazu)



naučný slovník, 19. století

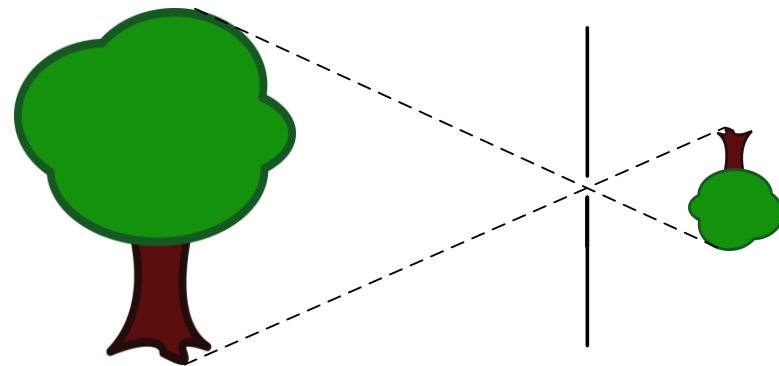


Principia Optices, 17. století

Princip perspektivního promítání

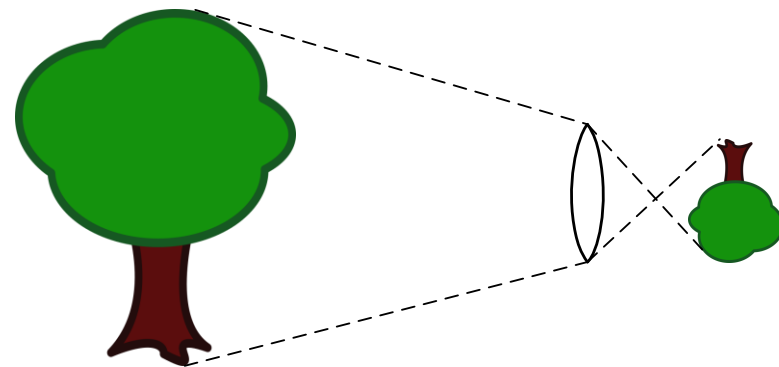
Dírková kamera:

- zachytává málo světla (větší otvor → větší rozostření)
- dochází k ohybu paprsků na hranách dírky (Huygensův princip → způsobí rozostření)
- nemá optické vady



Čočka, optická soustava (objektiv):

- zachytává více světla (větší plocha)
- musí obsahovat zaostřovací mechanismus
- má optické vady, geometrické zkreslení



Princip optické čočky

1. Refrakce (lom světla), Snellův zákon (1621)

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

2. na rozhraní dvou prostředí s rozdílným absolutním indexem lomu:

$$n_x = \frac{c}{v},$$

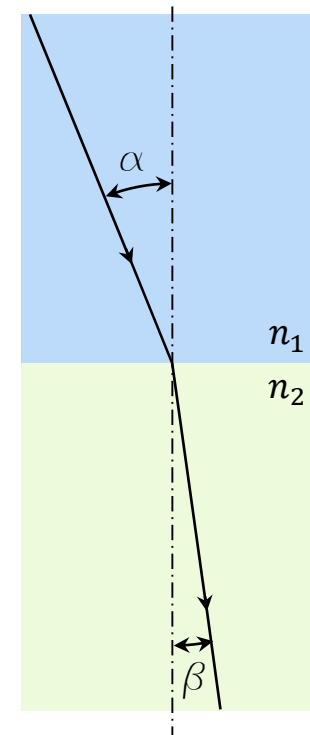
kde c je rychlost šíření světla ve vakuu a

v je rychlost šíření světla v daném prostředí (materiálu)

n je pak relativní index lomu mezi dvěma prostředími

vakuum má absolutní index lomu = 1, ostatní > 1

3. kontrolní otázka: je pro daný obrázek $n_1 > n_2$, nebo $n_1 < n_2$?
ve kterém prostředí se šíří světlo pomaleji?
4. kontrolní odpověď: $n_2 > n_1$,
světlo se šíří v prostředí s n_2 pomaleji



Princip optické čočky

1. Refrakce (lom světla), Snellův zákon (1621)

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

2. na rozhraní dvou prostředí s rozdílným absolutním indexem lomu:

$$n_x = \frac{c}{v},$$

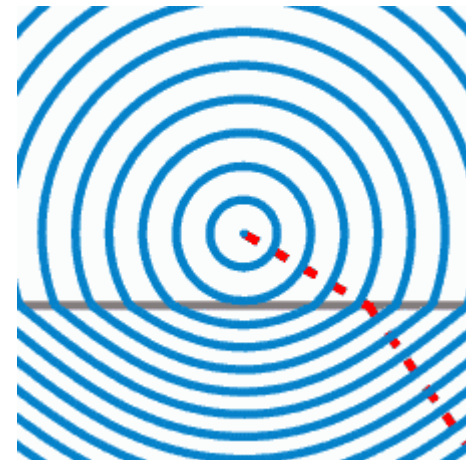
kde c je rychlost šíření světla ve vakuu a

v je rychlost šíření světla v daném prostředí (materiálu)

n je pak relativní index lomu mezi dvěma prostředími

vakuum má absolutní index lomu = 1, ostatní > 1

3. různé rychlosti šíření v různých prostředích => různé vlnové délky => různé úhly



Princip optické čočky

1. Refrakce (lom světla), Snellův zákon (1621)

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

2. na rozhraní dvou prostředí s rozdílným absolutním indexem lomu:

$$n_x = \frac{c}{v},$$

kde c je rychlost šíření světla ve vakuu a

v je rychlost šíření světla v daném prostředí (materiálu)

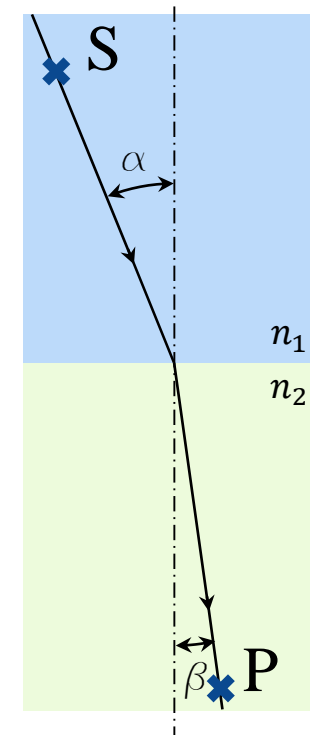
n je pak relativní index lomu mezi dvěma prostředími

vakuu má absolutní index lomu = 1, ostatní > 1

3. Fermatův princip nejkratšího času:

Světlo se mezi dvěma body šíří po takové dráze, aby ji urazilo za nejkratší dobu.

Je možné dokázat, že světlo se z bodu S do bodu P šíří po takové trase, aby dorazilo do cíle za nejkratší dobu (v prostředí s n_1 má vyšší rychlost, než v prostředí s n_2).



Princip optické čočky

1. Refrakce (lom světla), Snellův zákon (1621)

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

2. na rozhraní dvou prostředí s rozdílným absolutním indexem lomu:

$$n_x = \frac{c}{v},$$

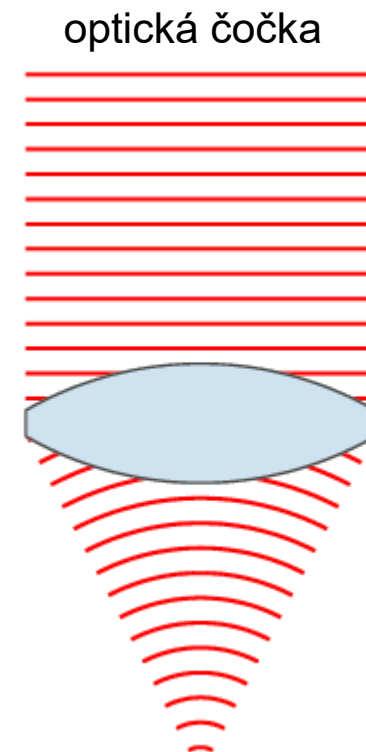
kde c je rychlost šíření světla ve vakuu a

v je rychlost šíření světla v daném prostředí (materiálu)

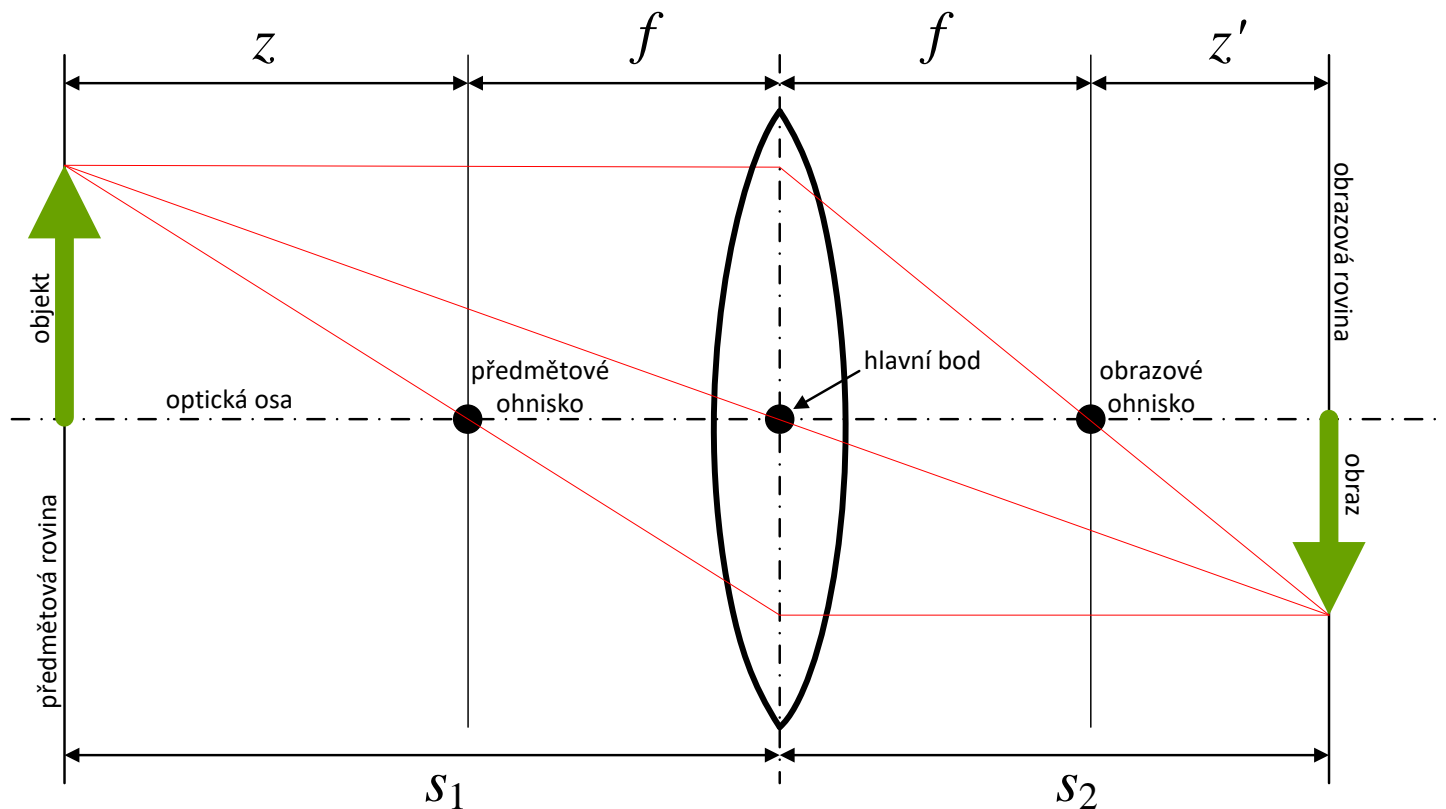
n je pak relativní index lomu mezi dvěma prostředími

vakuu má absolutní index lomu = 1, ostatní > 1

3. kontrolní otázka: je pro daný obrázek $n_1 > n_2$, nebo $n_1 < n_2$?
ve kterém prostředí se šíří světlo pomaleji?
4. kontrolní odpověď: $n_2 > n_1$,
světlo se šíří v prostředí s n_2 pomaleji



Spojná čočka (tenká)

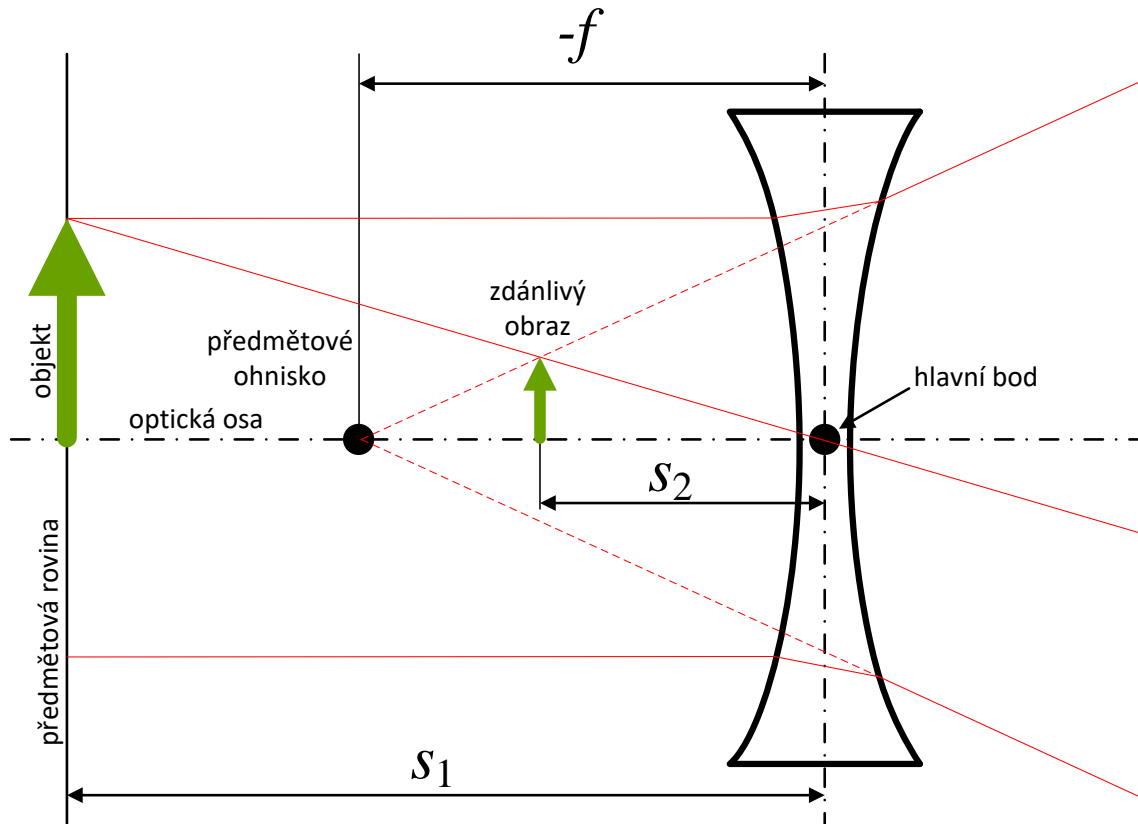


$$f = zz'$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2}$$

zvětšuje obraz pozorovaného objektu (lupa)

Rozptylná čočka (tenká)



zmenšuje obraz pozorovaného objektu (dalekohledy)

...záporné ohnisko...

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2}$$

tedy např.: $f = -10$,
 $s_1 = 20$

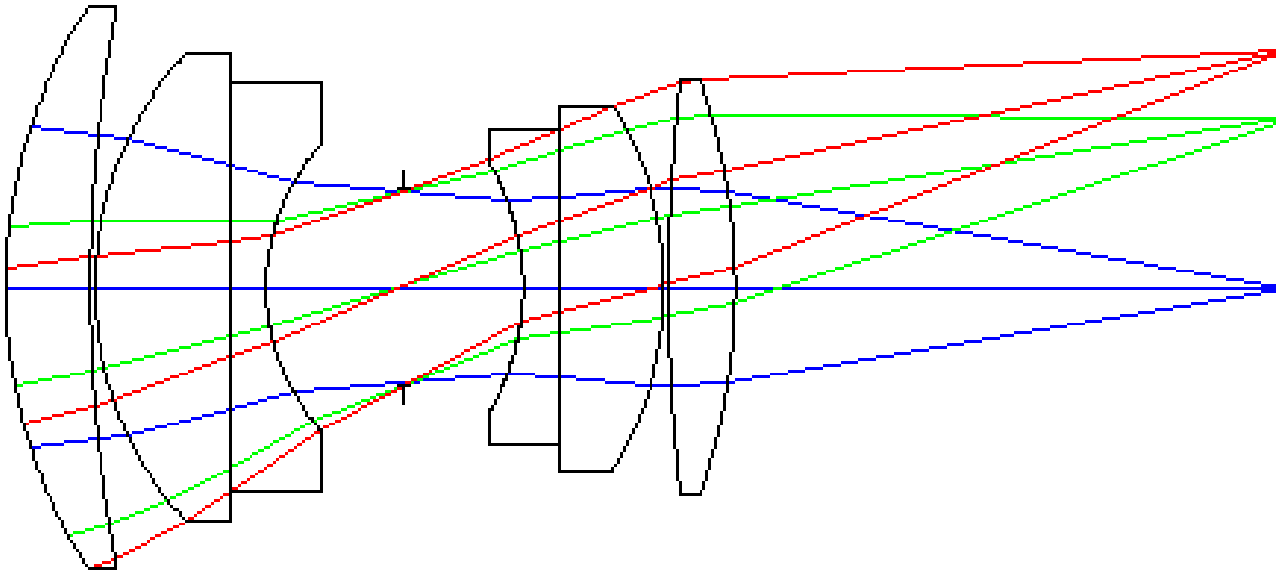
$$\frac{1}{-10} = \frac{1}{20} + \frac{1}{s_2}$$

$$\frac{1}{s_2} = \frac{1}{-10} - \frac{1}{20} = -\frac{3}{20}$$

$$s_2 = -\frac{20}{3} = -6,\bar{6}$$

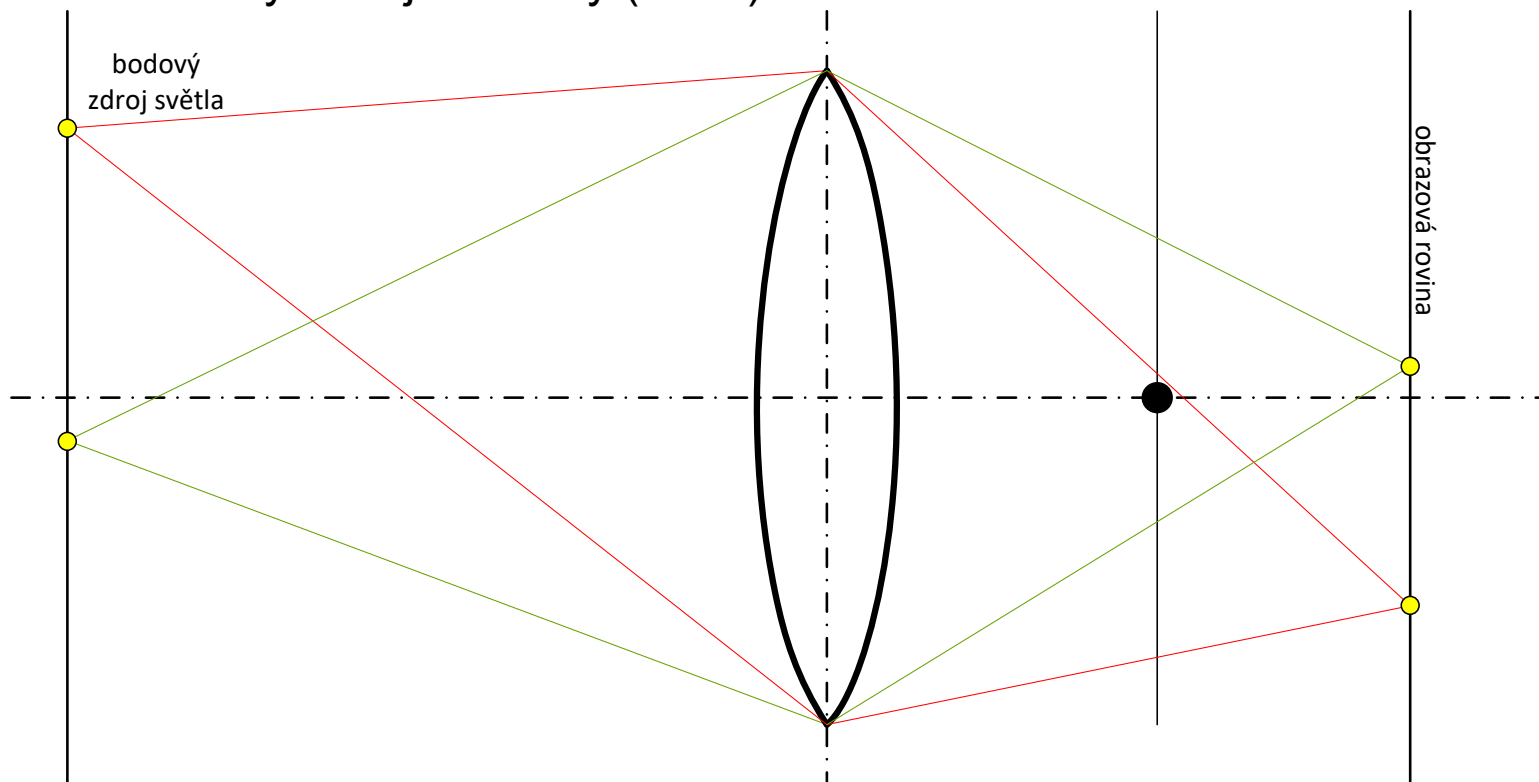
Optické soustavy.....

1. Dvojitý Gaussův objektiv



Zaostření

Existuje rovina, ze které jsou všechny bodové zdroje promítány čočkou do obrazové roviny také jako body (ostře)

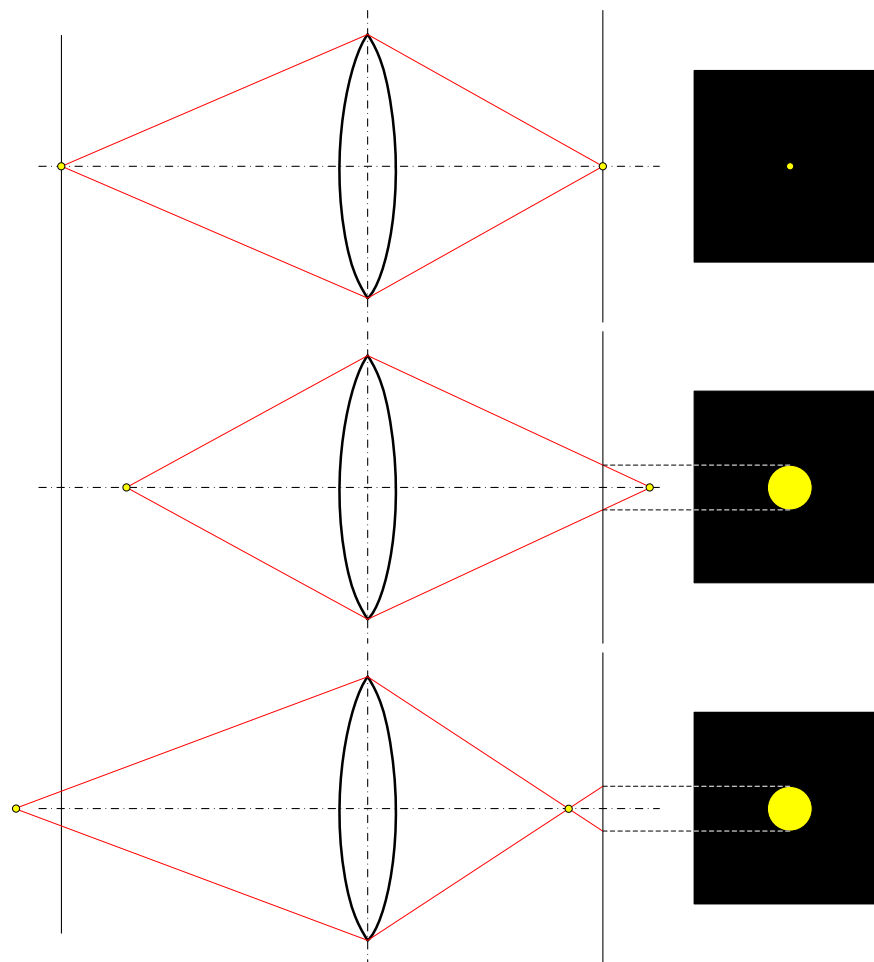


Rozptylový kroužek (Circle of Confusion)

zaostřený bodový zdroj

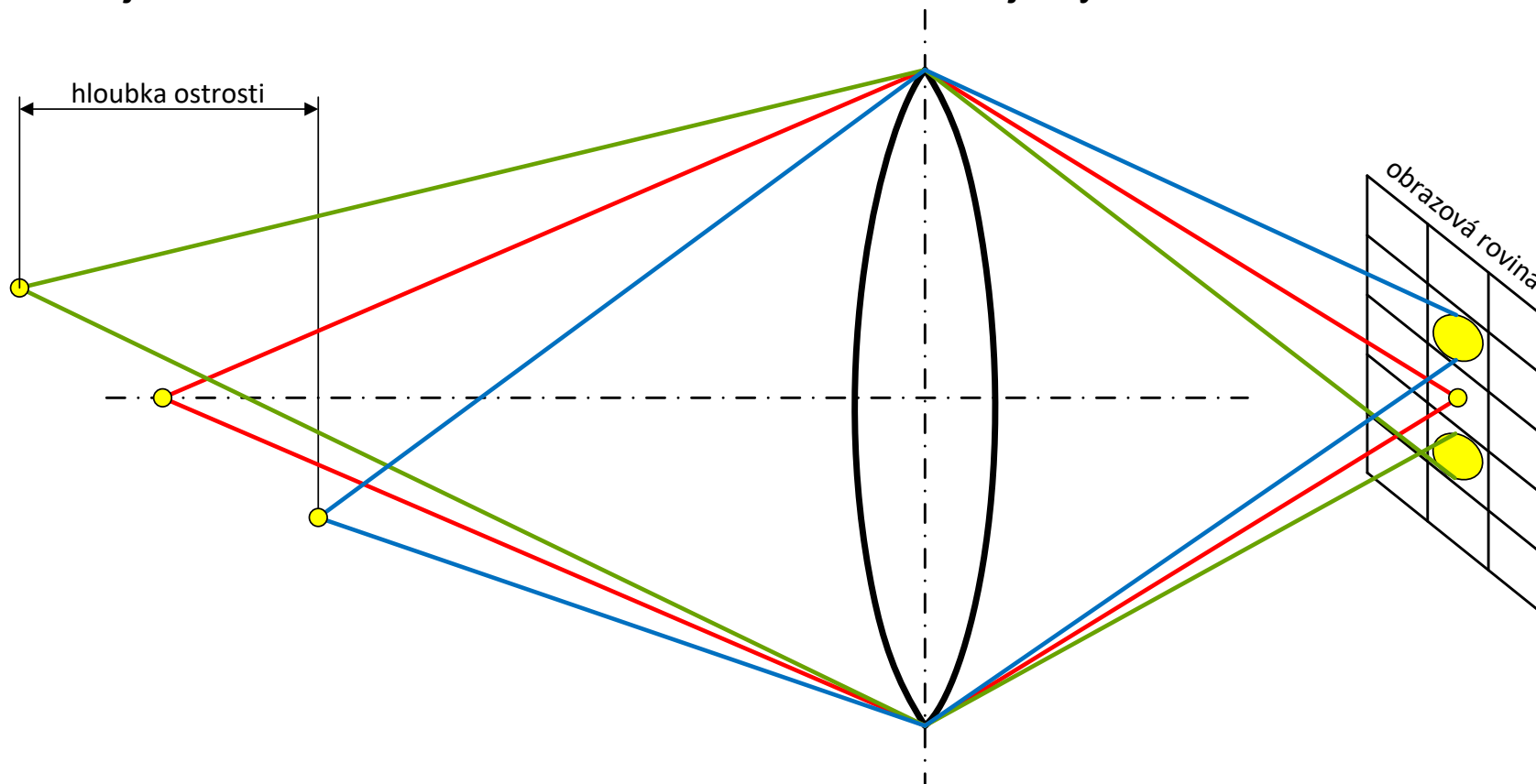
bodový zdroj blízko čočce

bodový zdroj daleko od čočky



Hloubka ostrosti (DoF – Depth of Field)

Existuje rozsah vzdáleností, ve kterém se budou objekty zobrazovat zaostřeně



Hloubka ostrosti (DoF – Depth of Field)

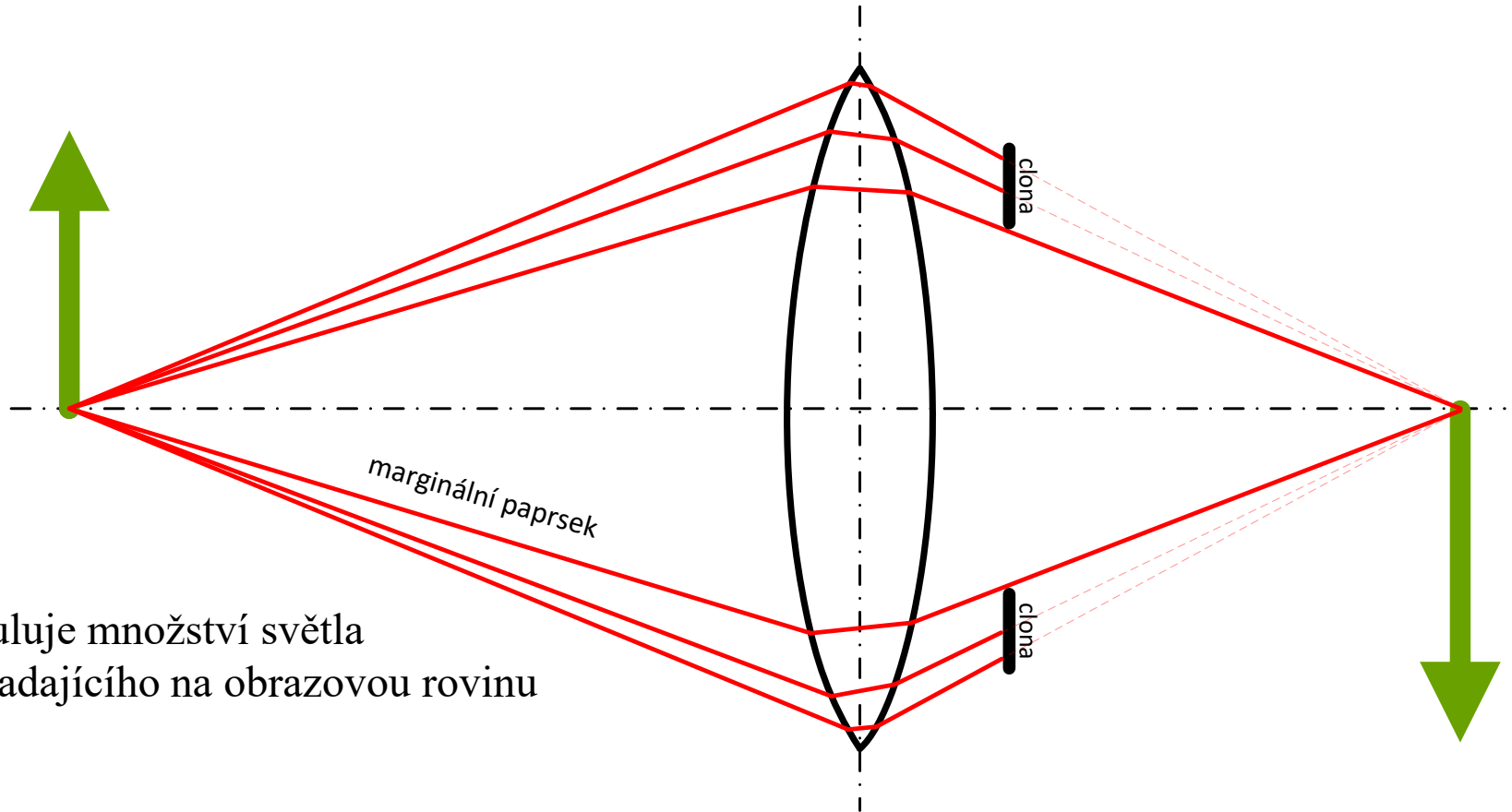
Existuje rozsah vzdáleností, ve kterém se budou objekty zobrazovat zaostřeně



bokeh

bokeh

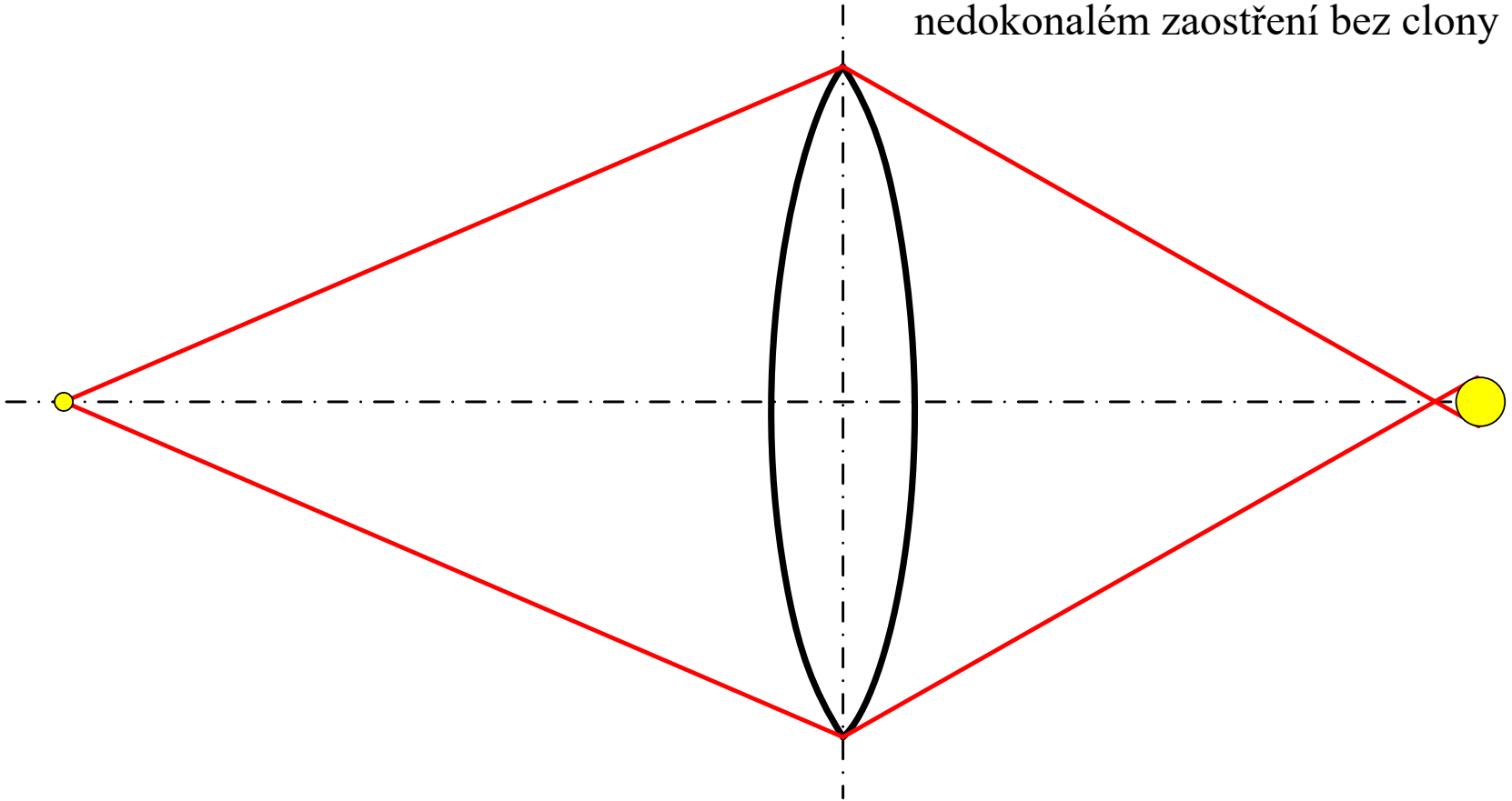
Clona



reguluje množství světla
dopadajícího na obrazovou rovinu

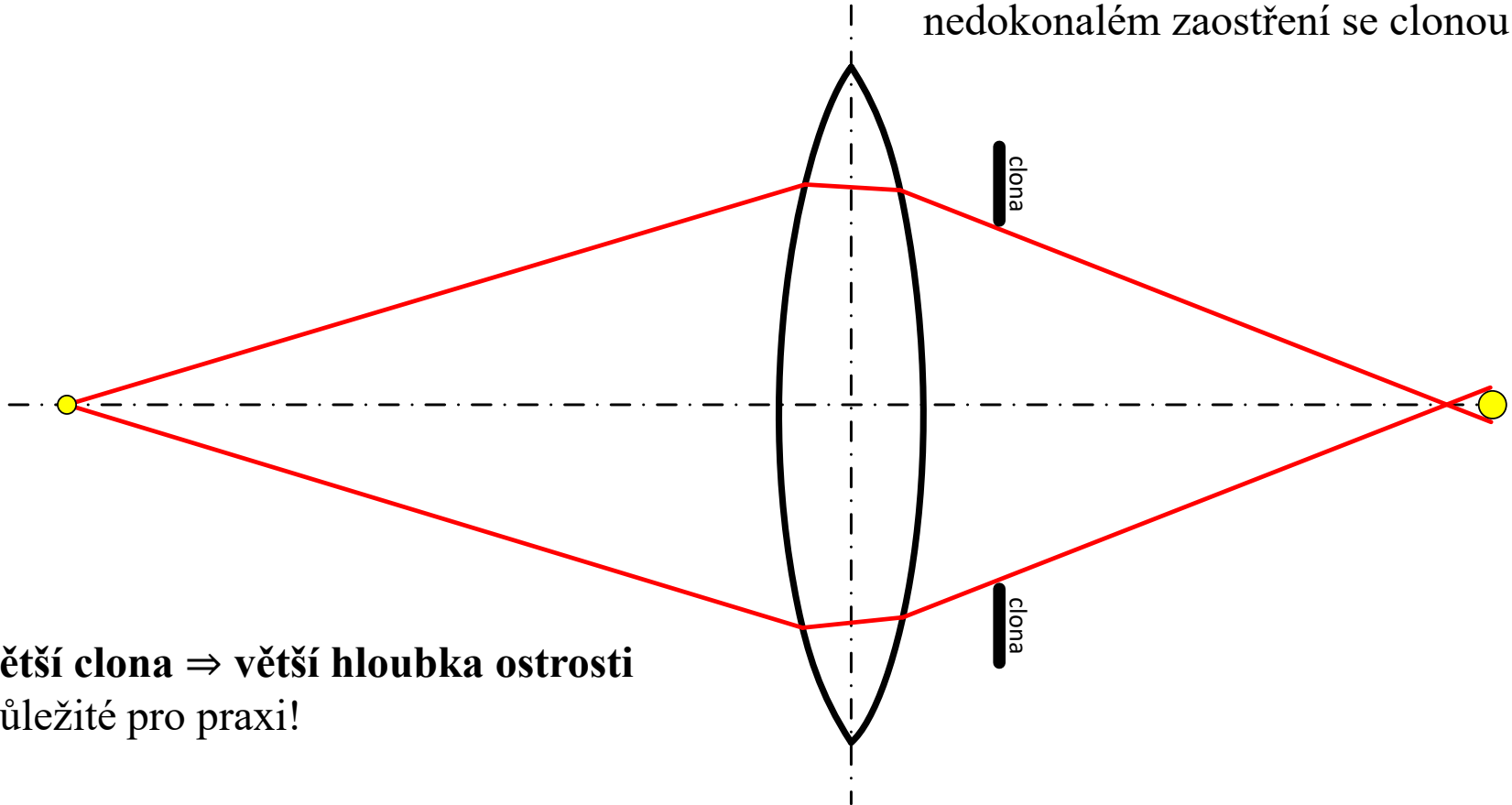
Vztah clony a hloubky ostrosti

rozptylový kroužek při
nedokonalém zaostření bez clony



Vztah clony a hloubky ostrosti

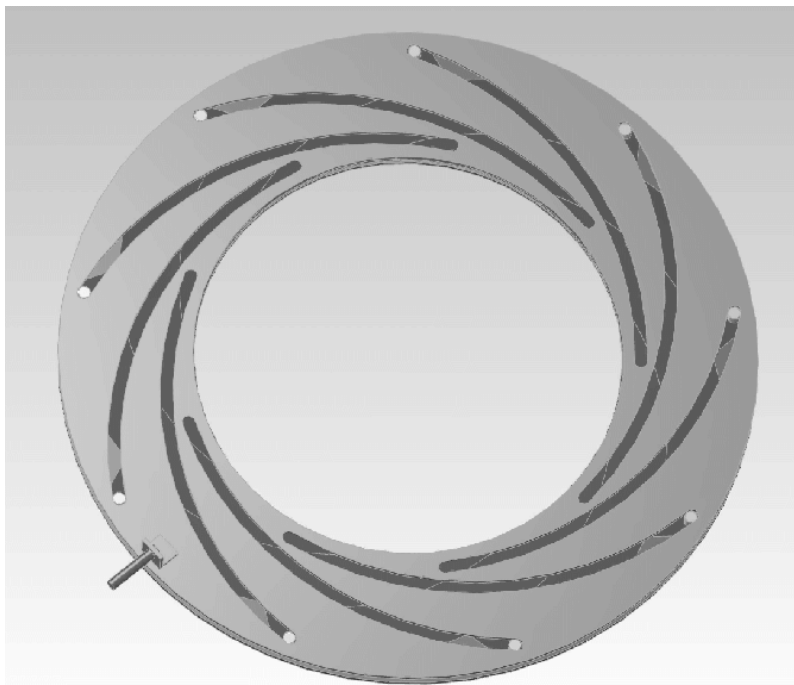
rozptylový kroužek při nedokonalém zaostření se clonou



větší clona \Rightarrow větší hloubka ostrosti
důležité pro praxi!

Clona: realizace

lamelová konstrukce



f/2.8



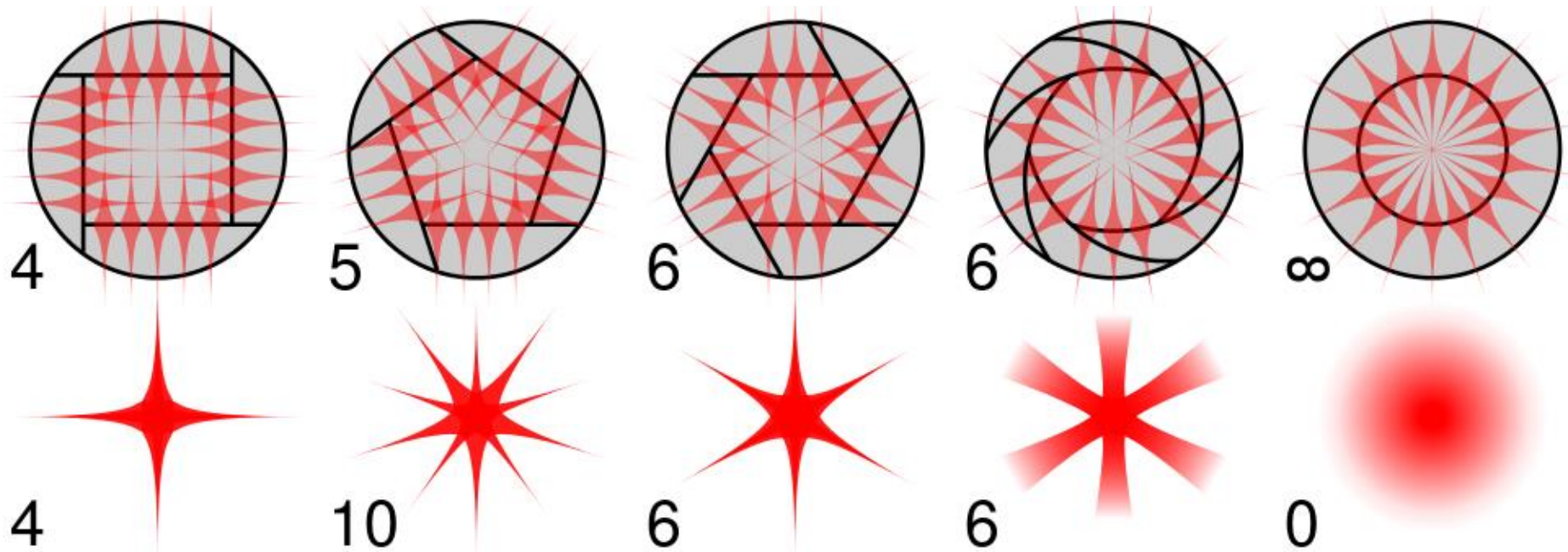
f/16



By User:Catsquisher, Mohylek, via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

Clona: difrakční hroty (diffraction spikes)

různé geometrie lamel produkují různé difrakční obrazce



By Cmglee [CC BY-SA 3.0 or GFDL] from Wikimedia Commons

Clona: difrakční hroty - příklad pro 4-lamely, 4 hroty



By ESA/Hubble [CC BY 4.0], via Wikimedia Commons

Clona: difrakční hroty - příklad pro 5-lamel, 10 hrotů



By Prateek Karandikar [GFDL or CC BY-SA 4.0], from Wikimedia Commons

Clona: difrakční hroty - příklad pro 6-lamel, 6 hrotů



By Dimitry B. [CC BY 2.0], via Wikimedia Commons

Clona: difrakční hroty - příklad pro 7-lamel, 14 hrotů



By U.S. Navy photo by Mass Communication Specialist 1st Class James E. Foehl [Public domain], via Wikimedia Commons

Clona: difrakční hroty - příklad pro 9-lamel, 18 hrotů



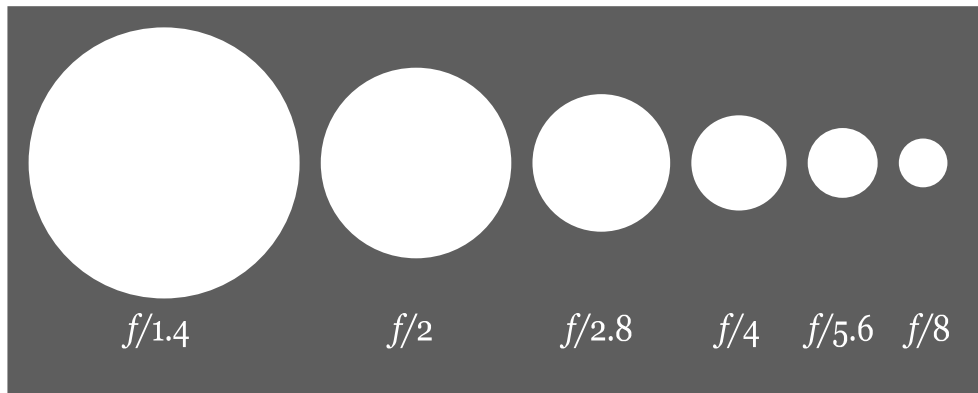
By T. Anthony Bell, Fort Lee Public Affairs (United States Army) [Public domain], via Wikimedia Commons

Clonové číslo

$$F = \frac{f}{d},$$

kde f ... ohnisková vzdálenost

d ... průměr otvoru clony



- konstrukčně obtížné vyrobit objektiv s clonovým číslem < 1
- clonová řada: geometrická řada s koeficientem $\sqrt{2}$

1; 1,4; 2, 2,8; 4; 5,6; 8; 11; 16; 22; 32
atd.

- řada pro 1/3 krok zvětšování plochy (koeficient $\sqrt[3]{\sqrt{2}} \doteq 1.12$):

1,0; 1,1; 1,2; **1,4**; 1,6; 1,8; **2,0**; 2,2; 2,5; **2,8**; 3,2; 3,5; **4,0**; 4,5; 5,0; **5,6**; 6,3; 7,1;
8; 9; 10; **11**; 13; 14; **16**; 18; 20; **22**; 25; 29; **32**; 36; 40; **45**; 51; 57; **64**; 72; 80; **90**...

$$\pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{d_2}{2} \right)^2 \cdot 2$$

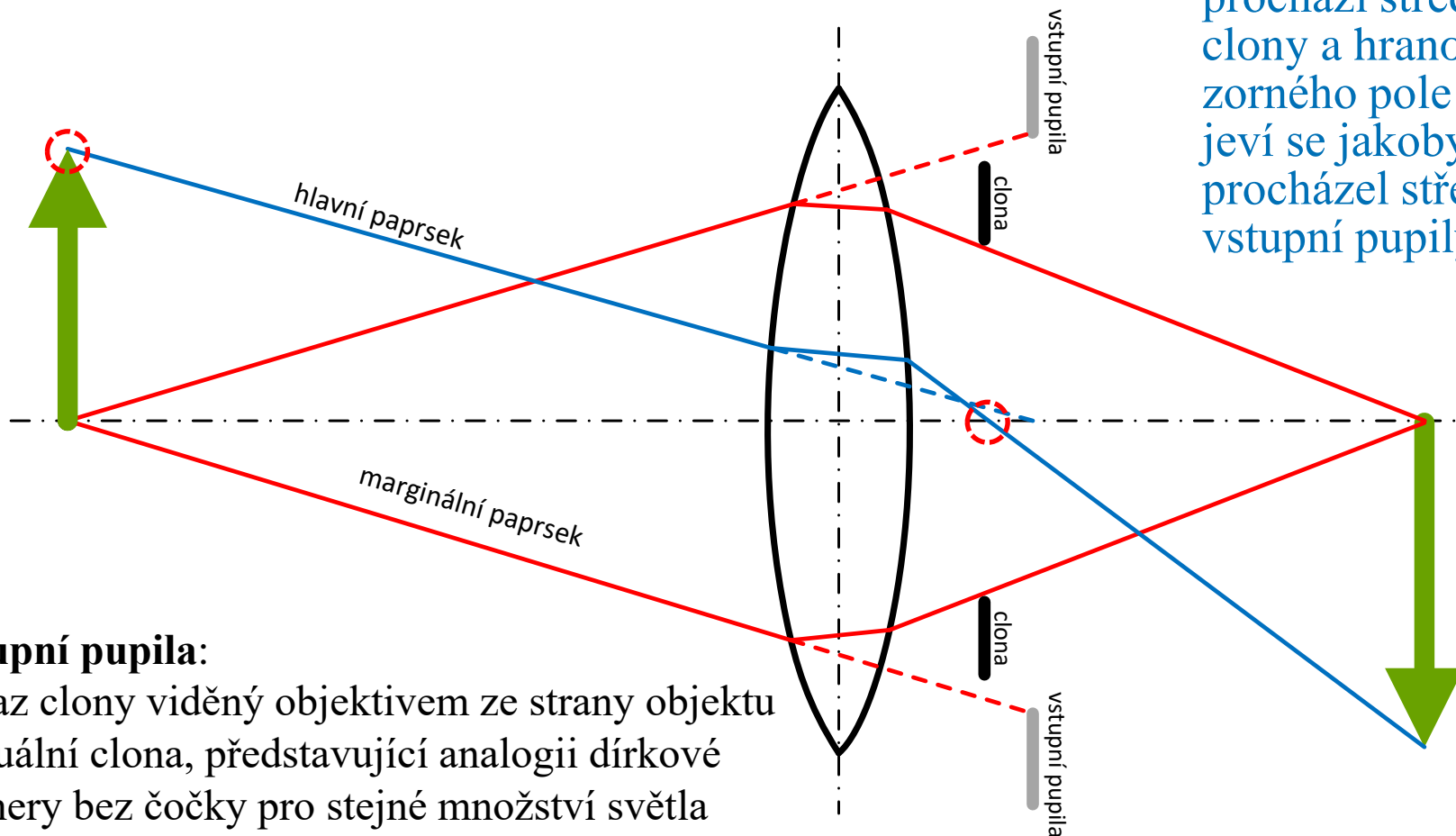
$$d_1^2 = d_2^2 \cdot 2$$

$$d_1 = \sqrt{2 \cdot d_2^2} = \sqrt{2} \cdot d_2$$

By Cbuckley via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

Vstupní pupila

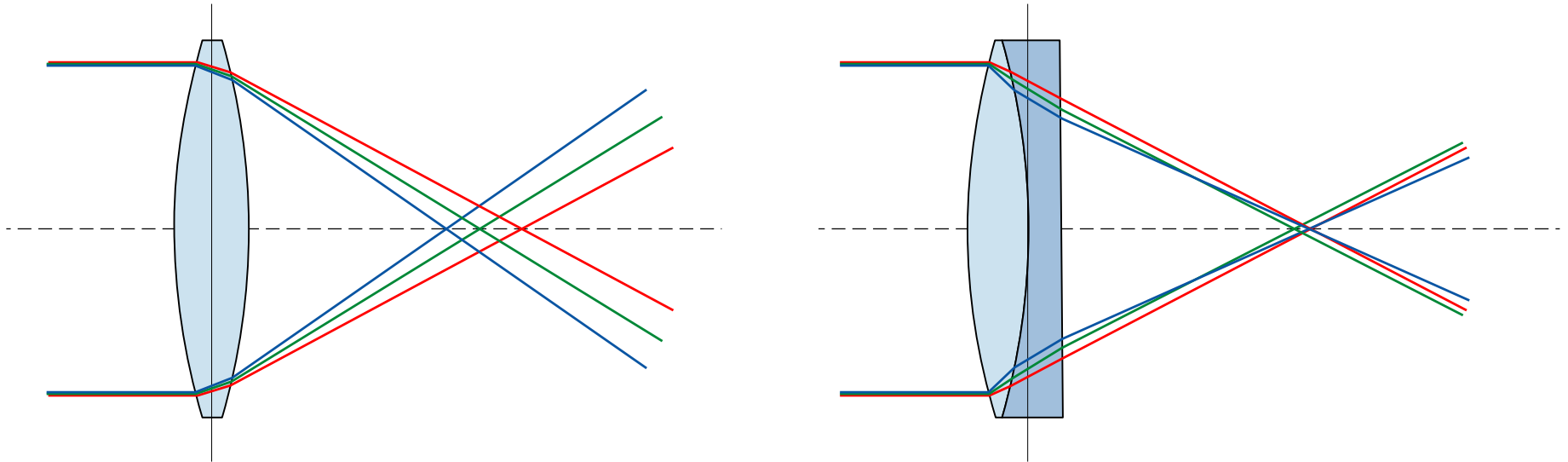
hlavní paprsek:
prochází středem
clony a hranou
zorného pole
jeví se jakoby
procházel středem
vstupní pupily



vstupní pupila:
obraz clony viděný objektivem ze strany objektu
virtuální clona, představující analogii dírkové
kamery bez čočky pro stejné množství světla

Typické vady optických soustav

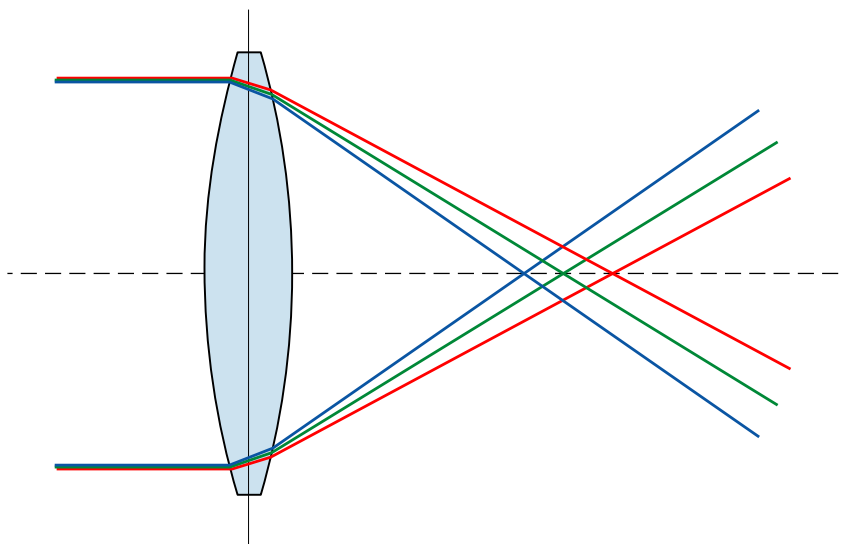
chromatická aberace: závislost ohniska na vlnové délce, patrnější na okrajích
odstraňuje se kompenzací pomocí achromatické dvojice
(aberrace obecně je odchylka od teoretického modelu)



By DrBob, Pitel via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

Typické vady optických soustav

chromatická aberace



By DrBob, Pitel, and Stan Zurek via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

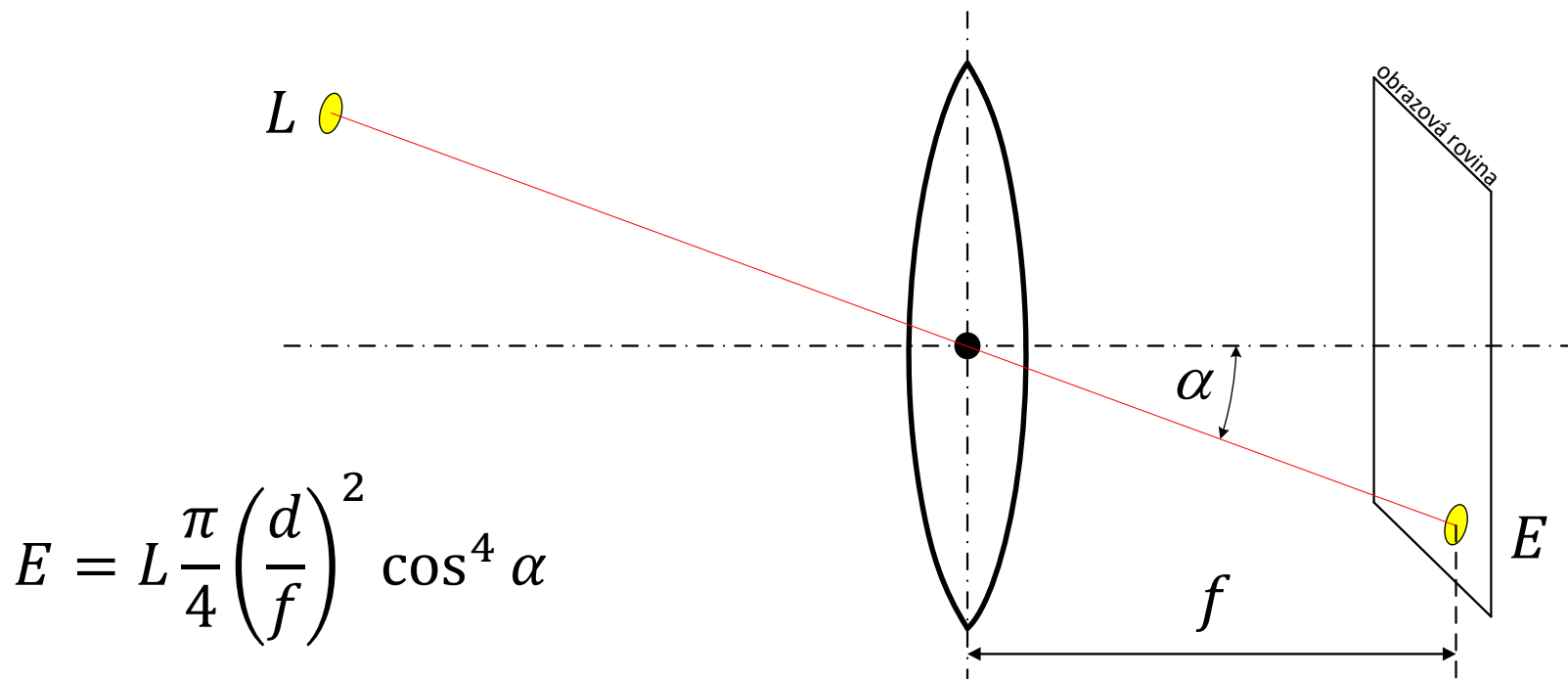
Typické vady optických soustav

Vinětace



Typické vady optických soustav

přirozená viněta: vyplývá z rovnice ozáření odvozené z modelu dírkové kamery, kde E je intenzita ozáření senzoru [Wm^{-2}], L je intenzita záření zobrazovaného bodu (elementární plošky) [Wm^{-2}], d je průměr clony, f je ohnisková vzdálenost



Typické vady optických soustav

optická viněta: je způsobena fyzickými rozměry čočky (tloušťkou skla) více se projevuje při otevřené cloně: paprsky na krajích mají delší dráhu průchodu soustavou čoček

mechanická viněta: v podstatě blokování částí obrazu (zorného pole) mechanickými překážkami (například nevhodná sluneční clona)

pixelová viněta: není vadou objektivu, ale vadou digitálních senzorů, kdy na okrajové elementy dopadají paprsky pod ostřejším úhlem než na elementy uprostřed, což se projeví jako ztmavnutí díky směrové charakteristice prvků snímače

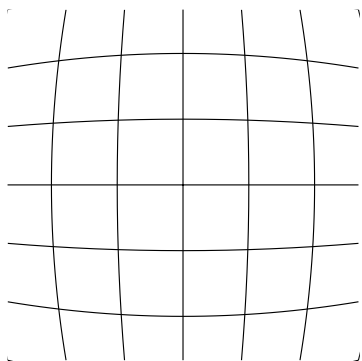
viněta se obecně může relativně snadno **korigovat** lokálním zvýšením jasu na základě známého modelu konkrétního objektivu



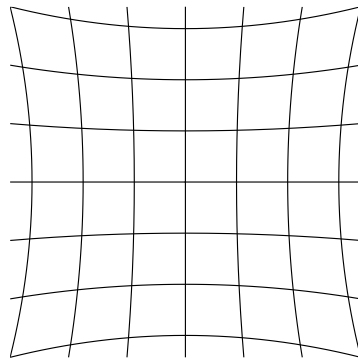
Typické vady optických soustav

radiální zkreslení: geometrické zkreslení zejména širokoúhlých objektivů

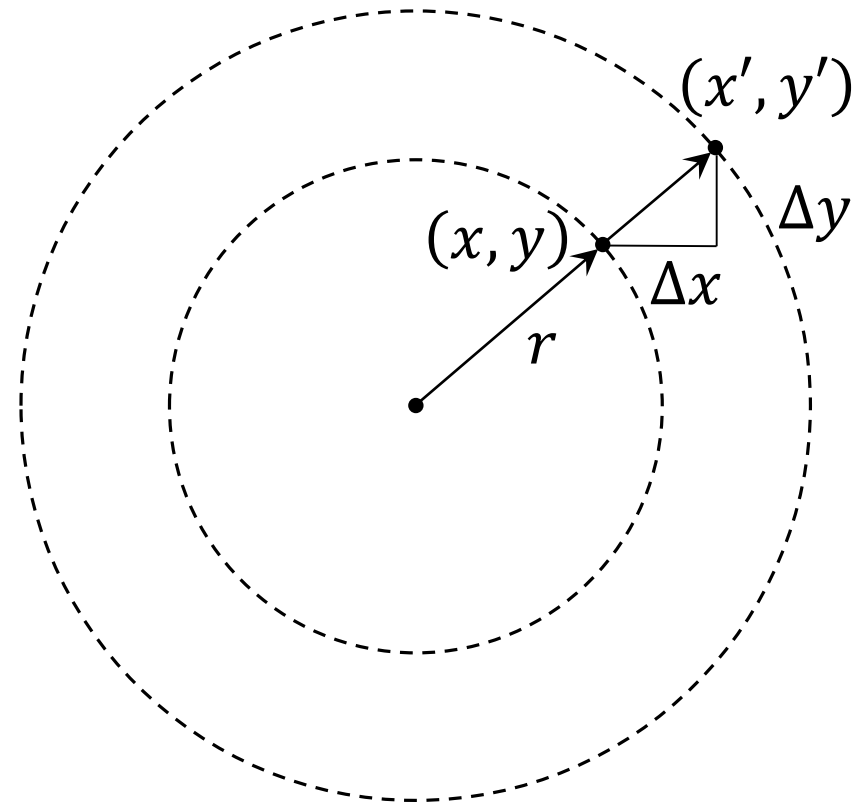
koriguje se na základě softwarové kalibrace.



soudkovité



polštářkovité



By WolfWings via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

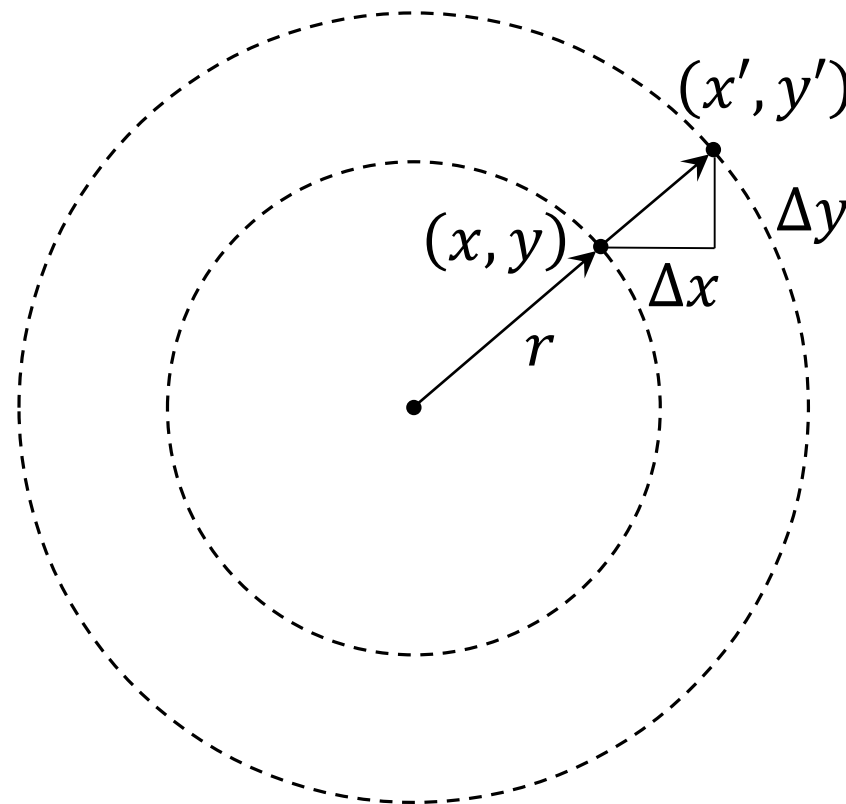
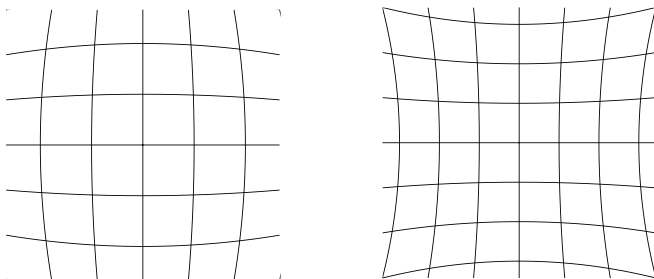
Typické vady optických soustav

model radiálního zkreslení

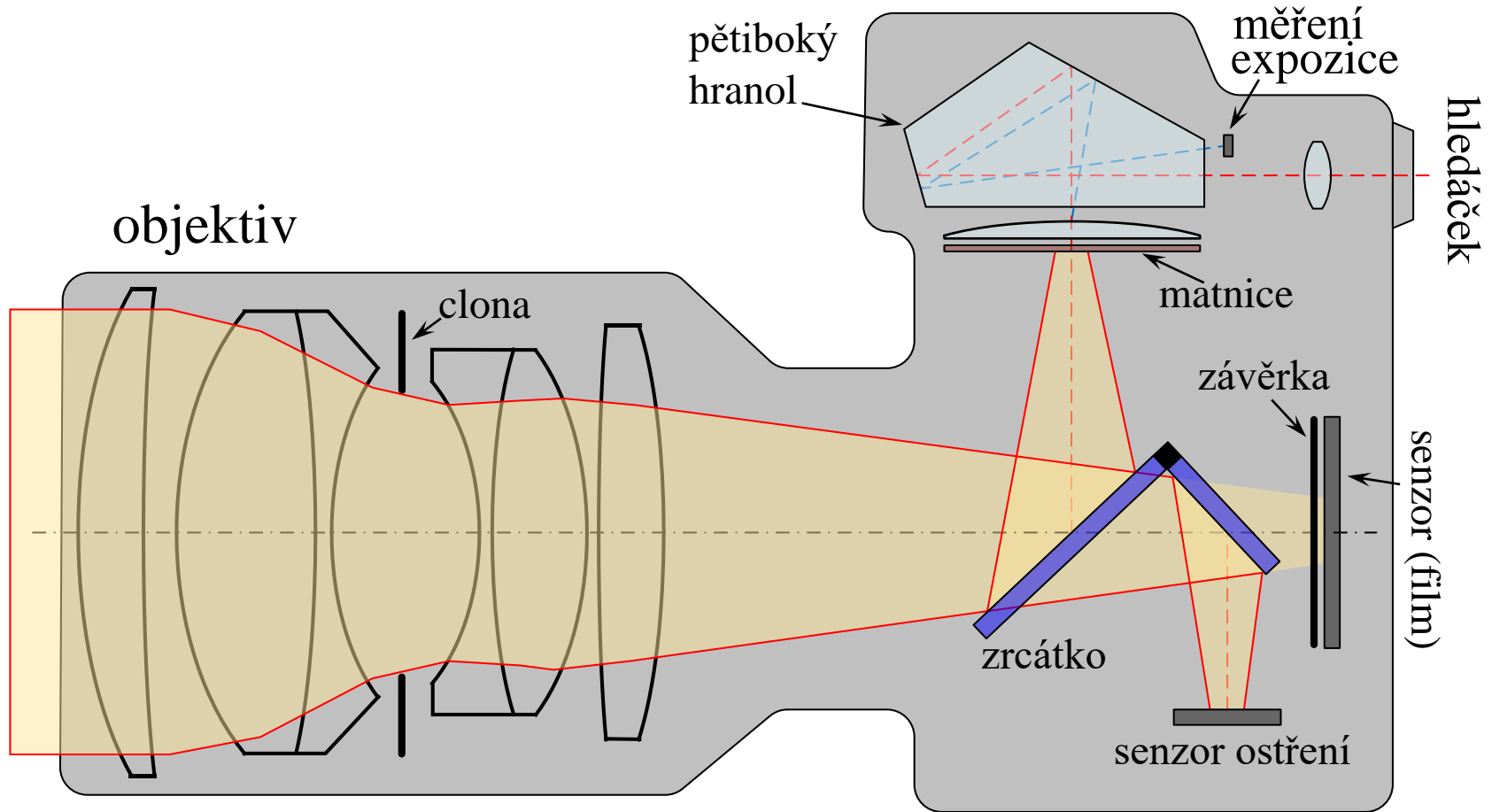
$$r = \sqrt{(x' - x_c)^2 + (y' - y_c)^2}$$

$$x' = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)$$

$$y' = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)$$



Jednooká zrcadlovka (Single-Lens Reflex camera)



Děkuji za pozornost