

Difrakční integrál v kartézských souřadnicích

Komplexní amplituda v obraze bodového zdroje je určena jako
Fourierova transformace pupilové funkce:

$$a(X', Y', \Delta Z') = K \int \int_{-\infty}^{+\infty} P(X_p, Y_p, \Delta Z') \exp[i2\pi(X_p X' + Y_p Y')] dX_p dY_p$$

$$X_p = \frac{x_p}{\rho_p}, \quad Y_p = \frac{y_p}{\rho_p},$$

normované pupilové souřadnice

$$X' = \frac{(x' - x_0)\rho_p}{\lambda R_0'}, \quad Y' = \frac{(y' - y_0)\rho_p}{\lambda R_0'},$$

normované obrazové souřadnice

$$P(X_p, Y_p, \Delta Z') = P(X_p, Y_p) \exp(ikW_D), \quad W_D = -\frac{(X_p^2 + Y_p^2)\rho_p^2 \Delta Z'}{2R_0'^2}.$$



Výsledná
pupilová funkce

Pupilová funkce
systému

Fázový člen
způsobený
rozostřením

Difrakční integrál ve válcových souřadnicích

Pro rotačně souměrný systém je komplexní amplituda v obraze bodu vyjádřena pomocí válcových souřadnic jako **Hankelova transformace pupilové funkce:**

$$a(R') = K \int_0^{\infty} P(R_p, \Delta Z') J_0(2\pi R_p R') R_p dR_p$$

$R_p = (X_p^2 + Y_p^2)^{1/2}$ radiální válcová souřadnice v pupile

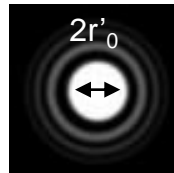
$R' = (X'^2 + Y'^2)^{1/2}$ radiální válcová souřadnice v obrazové rovině

J_0 Besselova funkce 1. druhu 0. řádu

Přesně zaostřený fyzikálně dokonalý OS s kruhovou homogenně propustnou pupilou (P=konst) :

Airyho disk

$$a(R') \approx \frac{2J_1(2\pi R')}{2\pi R'}$$



Poloměr Airyho disku

Normované obrazové souřadnice:

$$\Delta R' = \frac{3.8}{2\pi} \approx 0.61$$

Původní obrazové souřadnice:

$$\Delta r'_0 = \frac{\lambda p \Delta R'}{\rho_p} = 0.61 \frac{\lambda}{u}$$

Jacobiho-Angerův rozvoj

$$e^{ix \cos \theta} = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} i^m J_m(x) e^{im\theta}$$

$$\int_0^{2\pi} \cos(n\theta) \cos(m\theta) d\theta = \pi \delta_{nm}$$

$$\int_0^{2\pi} \sin(n\theta) \sin(m\theta) d\theta = \pi \delta_{nm}$$

$$\int_0^{2\pi} \sin(n\theta) \cos(m\theta) d\theta = 0$$

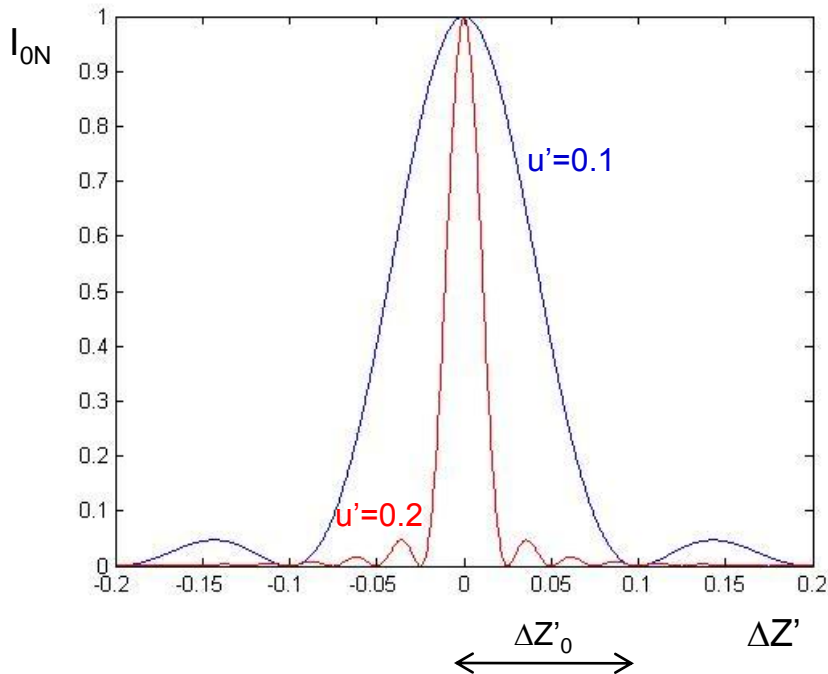
Osová intenzita obrazu při rozostření

$$a_0(\Delta Z') \equiv a(R'=0) = K \int_0^{\infty} P(R_p, \Delta Z') R_p dR_p$$

$$a_0(\Delta Z') = K \int_0^1 \exp\left(-i \frac{1}{2} k R_p^2 u'^2 \Delta Z'\right) R_p dR_p$$

Změna normované osové intenzity při rozostření obrazu

$$I_{0N}(\Delta Z') = \text{sinc}^2\left(\frac{\pi u'^2 \Delta Z'}{2\lambda}\right), \quad \text{kde } u' = \frac{\rho_p}{R_0'}$$



Maximální rozostření
(pokles I_{0n} na nulovou hodnotu)

$$\Delta Z'_0 = 2 \frac{\lambda}{u'^2}$$

Zobrazení bodu fyzikálně dokonalým systémem

Fyzikálně dokonalý systém v programu OSLO

Menu programu Oslo:

„Perfect Lens“ (PL)

Parametry PL:

- ohnisková vzdálenost
- příčné měřítko zobrazení
 - obrazová apertura

Vlastnosti PL:

bodové zobrazení rovinného předmětu při zvoleném příčném měřítku
(vliv ohybu světla uvažován)

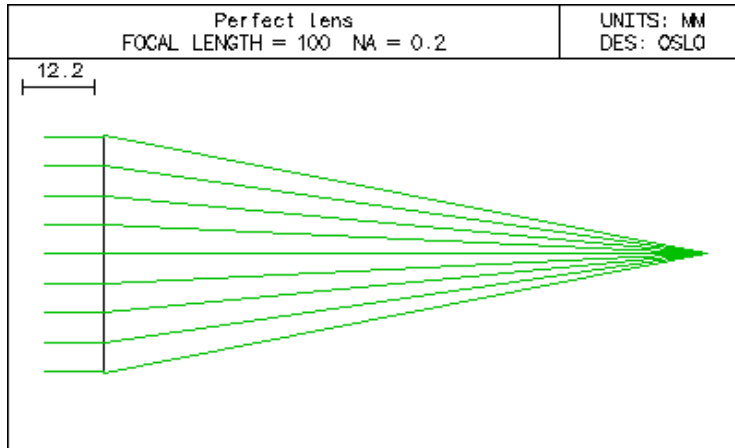
Použití PL:

- analýza difrakčně limitovaného zobrazení
 - analýza vlivu zobrazovací geometrie
- (systém pro jiné měřítko zobrazení není dokonalý)

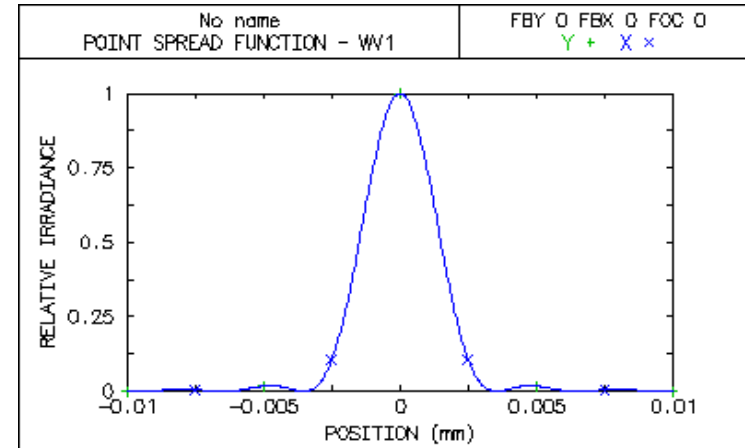
Fyzikálně dokonalé zobrazení v programu OSLO

Bodová rozptylová funkce (PSF – Point Spread Function)

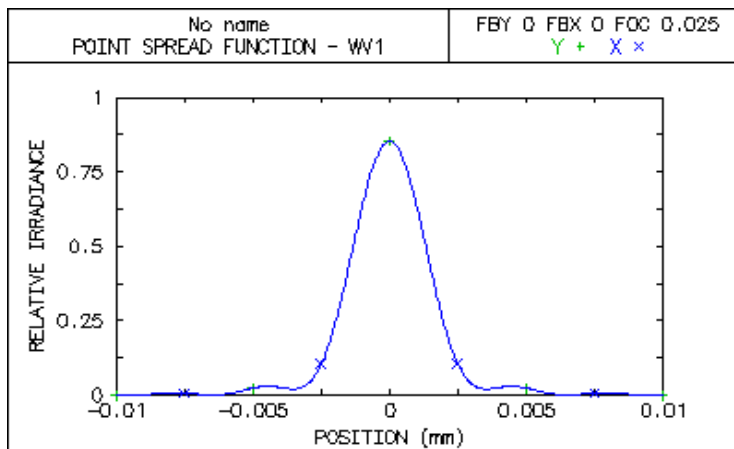
Znázornění „Perfect Lens“



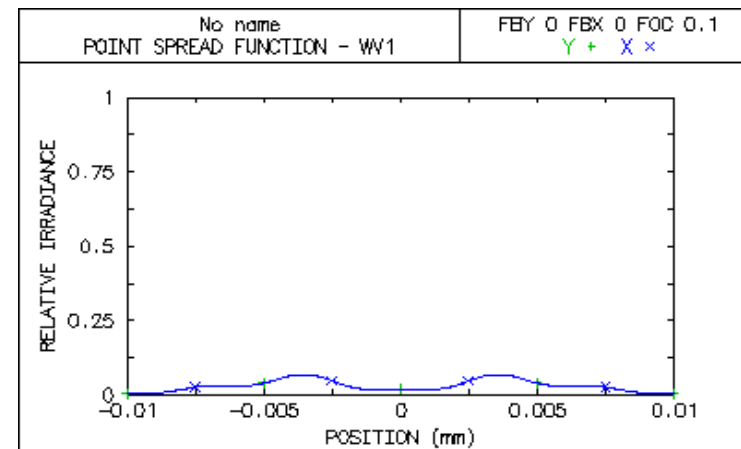
Airyho disk při fokusaci



Přípustné rozostření
(pokles normované osové intenzity na 0.8)

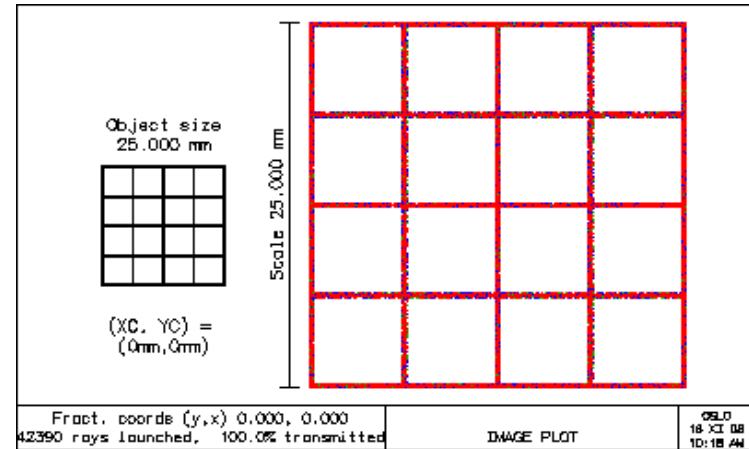
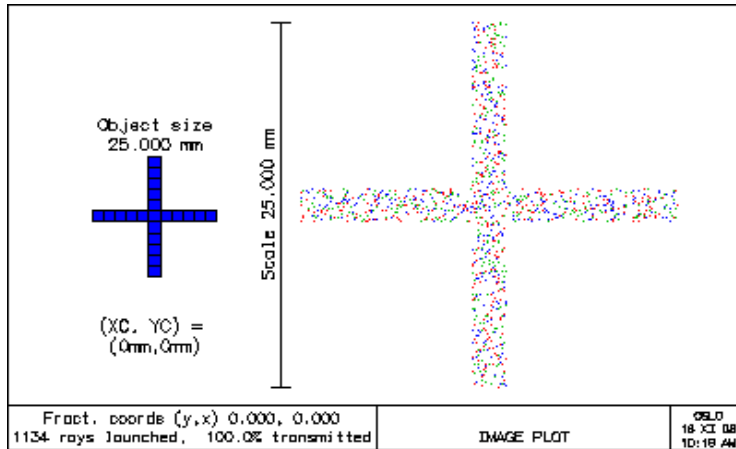


Maximální rozostření
(pokles normované osové intenzity na nulu)

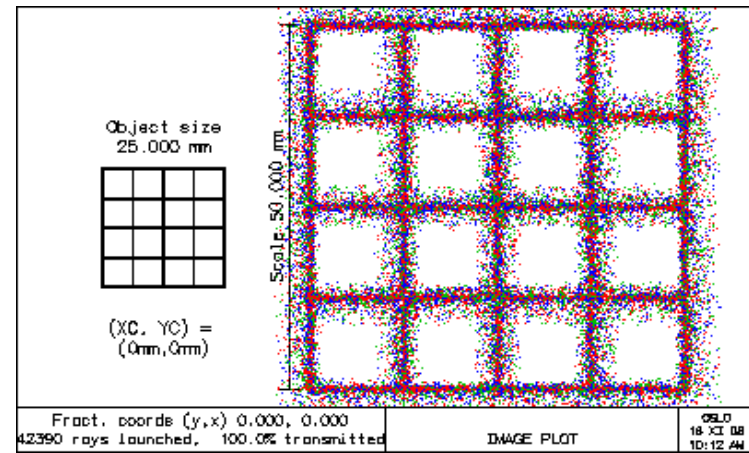
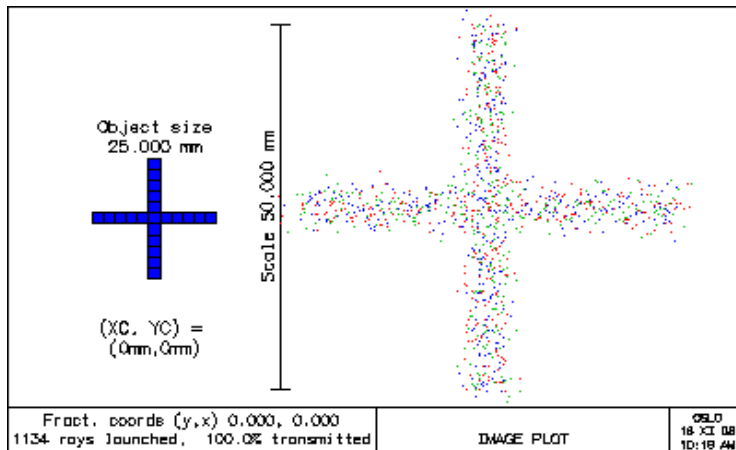


Analýza vlivu změny měřítka zobrazení

Zobrazení „Perfect Lens“: $f'=100$, $NA'=0.3$, $m=-1$



Zobrazení „Perfect Lens“: $f'=100$, $NA'=0.3$, $m=-2$



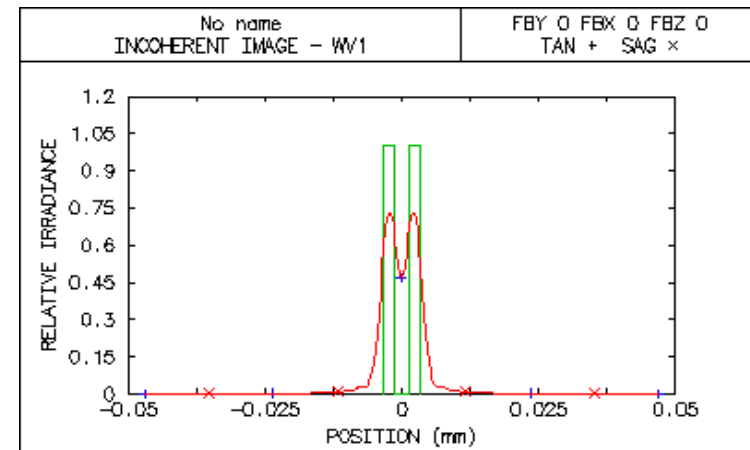
Fyzikálně dokonalé zobrazení v programu OSLO

Zobrazení dvou nekoherentních zdrojů

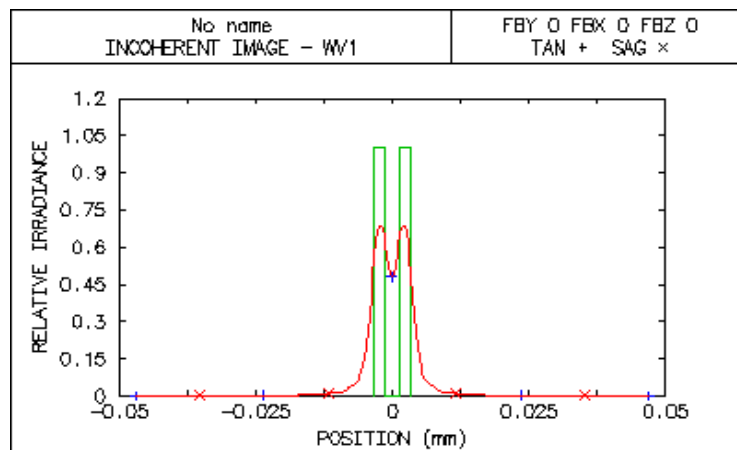
Podmínky zobrazení:

- Optický systém – „Perfect Lens“
- Nekoherentní zdroje stejné intenzity
- Vzdálenost zdrojů = 1.5 násobek poloměru Airyho disku

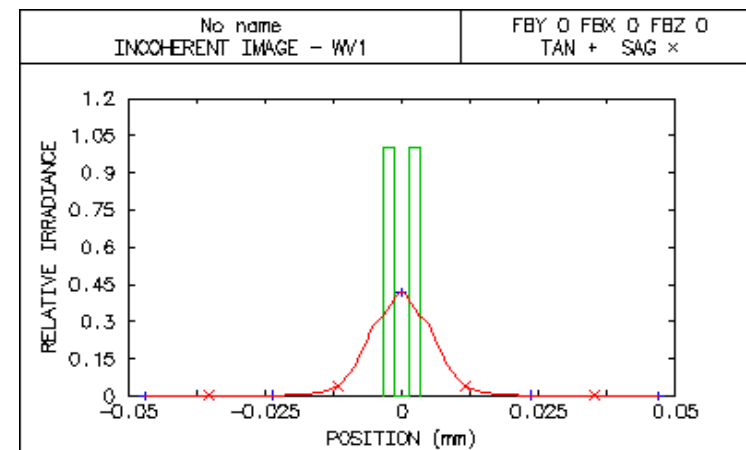
Přesné zaostření



Přípustné rozostření (normovaná osová intenzita 0.8)

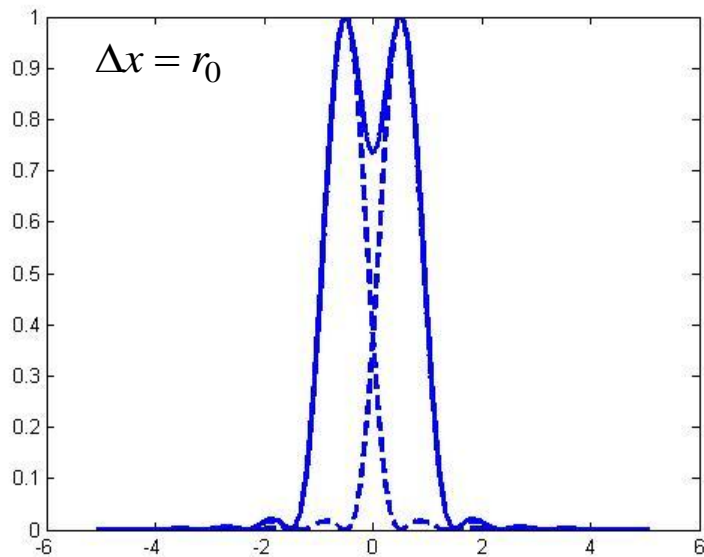


Maximální rozostření (normovaná osová intenzita 0)

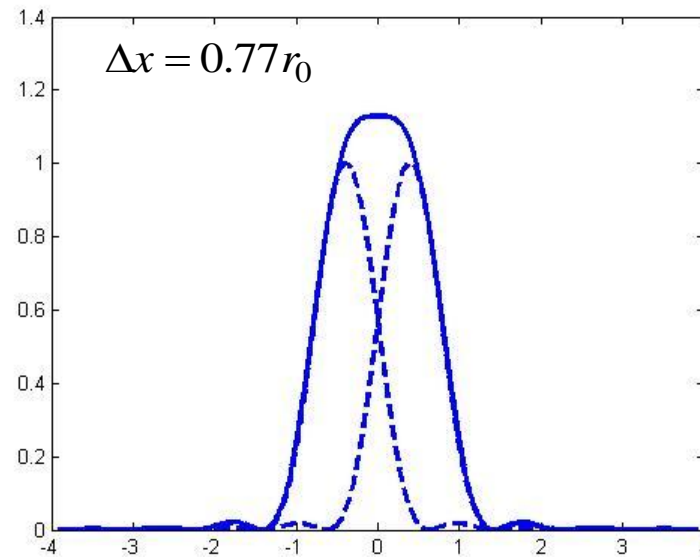


Rozlišení dvou nekoherentních bodových zdrojů

Rayleighovo kritérium

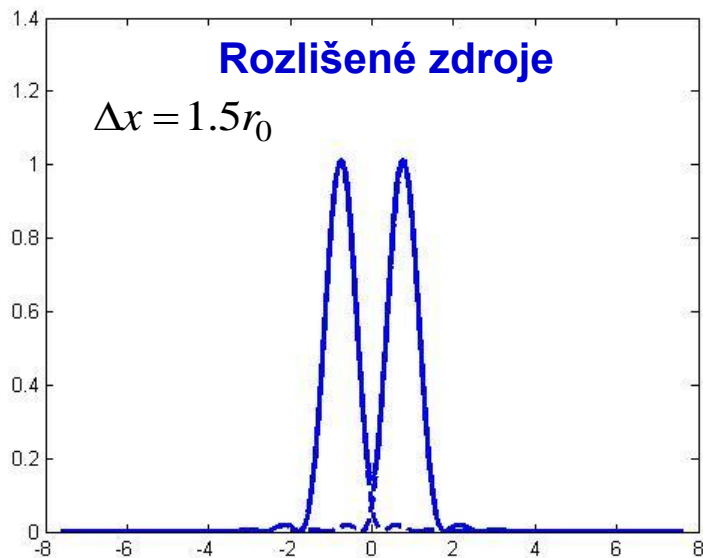


Sparrowovo kritérium



$$r_0 = 0.61 \frac{\lambda}{u}$$

Rozlišené zdroje



Nerozlišené zdroje

