

# Základní pojmy optického zobrazování

## Fyzikálně dokonalý OS:

Optický systém, který nevykazuje žádné paprskové vady a jeho obrazový výkon je omezen ohybovými jevy.

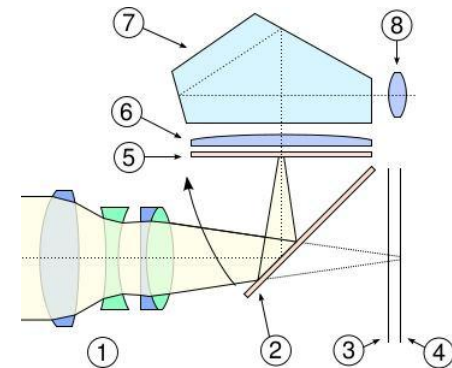
## Reálný OS:

Optický systém tvořený reálnými optickými a mechanickými prvky (soustava čoček, zrcadel).



## Modelový OS:

Nehmotný systém umožňující optimalizaci parametrů a výpočetní analýzu dosaženého obrazového výkonu. Je určen základními geometrickými parametry (poloměry křivosti optických ploch, účinné průměry optických prvků, tloušťky) a materiálovými parametry (indexy lomu).



## Abstraktní OS:

V teorii vlnového zobrazování je modelový OS nahrazen **pupilovou funkcí**, která definuje základní optické vlastnosti modelového OS.

## Aperturní clona:

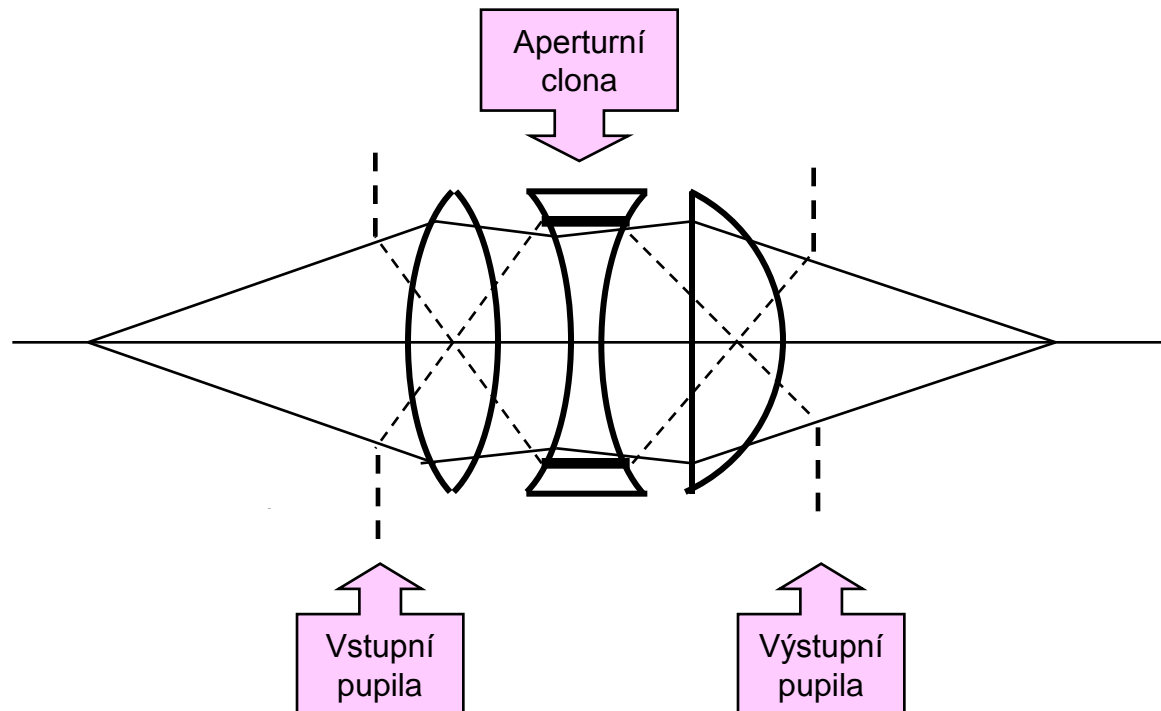
Reálná clona nebo objímka, která omezuje svazek paprsků vstupující do OS z osového bodu (aperturní svazek paprsků).

## Vstupní pupila:

Zobrazením aperturní clony do předmětového prostoru pomocí OS, který předchází aperturní cloně je vytvořen obraz aperturní clony nazývaný vstupní pupila.

## Výstupní pupila:

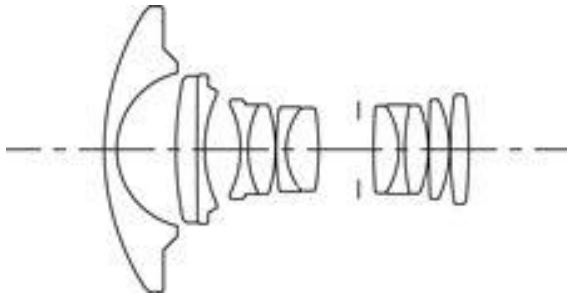
Zobrazením aperturní clony do obrazového prostoru pomocí OS, který následuje za aperturní clonou je vytvořen obraz aperturní clony nazývaný výstupní pupila.



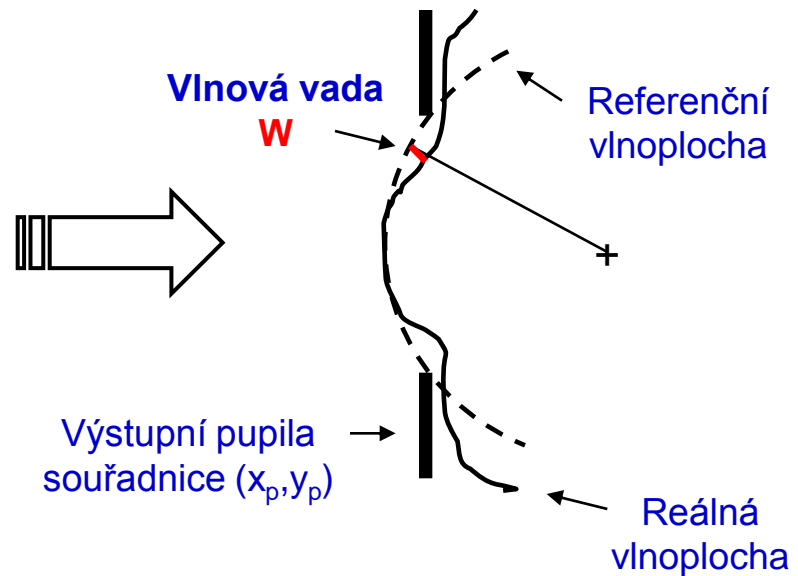
## Pupilová funkce:

Funkce, která je nenulová v oblasti výstupní pupily a nulová mimo ni. Je to komplexní funkce, jejíž amplituda určuje propustnost OS a fázový člen vyjadřuje vlnové vady zavedené OS.

### Modelový optický systém



### Abstraktní optický systém



Pupilová funkce

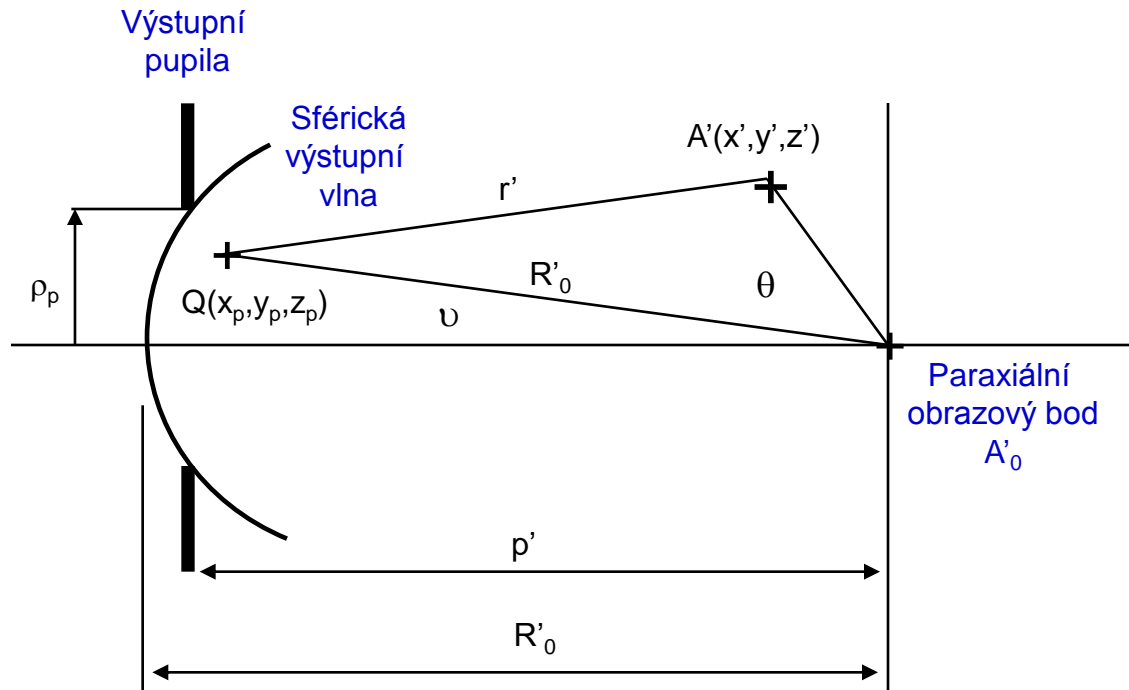
Amplitudová propustnost

Vlnové číslo

Funkce vlnových vad

$$P(x_p, y_p) = P_0(x_p, y_p) \exp[ikW(x_p, y_p)]$$

# Zobrazení bodového zdroje



Komplexní amplituda v bodě  $A'$ :

$$a(x', y', z') \approx i \frac{1}{\lambda R'_0} \exp(ikR'_0) \iint_S P(x_p, y_p, z_p) \exp(-ikr') dS$$

# Komplexní amplituda v obraze bodu

## Difrakční integrál ve sférických souřadnicích

### Pupilové souřadnice:

$$x_p = R_0 \sin \nu \cos \varphi_p$$

$$y_p = R_0 \sin \nu \sin \varphi_p$$

$$z_p = R_0 \cos \nu$$

### Obrazové souřadnice:

$$x' = \rho' \sin \theta' \cos \varphi'$$

$$y' = \rho' \sin \theta' \sin \varphi'$$

$$z' = \rho' \cos \theta'$$

$$a(\rho', \theta') = K \int_0^u \int_0^{2\pi} P(\vartheta, \varphi_p) \sin \vartheta \exp \left[ ik\rho' (\sin \vartheta \sin \theta' \cos \varphi_p \cos \varphi' + \sin \vartheta \sin \theta' \sin \varphi_p \sin \varphi' + \cos \vartheta \cos \theta') \right] d\vartheta d\varphi_p$$

### Kruhově souměrná pupilová funkce: $P(\vartheta, \varphi_p) \equiv P(\vartheta)$

Vyhodnocení obrazu v rovině  $(x', z')$ :

$$J_n(x) = \frac{1}{2\pi i^n} \int_0^{2\pi} \exp(ix \cos \Phi + in\Phi) d\Phi$$

$$a(\rho', \theta') = 2\pi K \int_0^u P(\vartheta) J_0(k\rho' \sin \vartheta \sin \theta') \sin \vartheta \exp(ik\rho' \cos \vartheta \cos \theta') d\vartheta$$

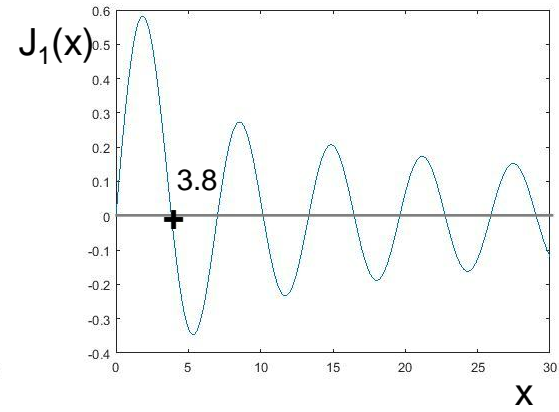
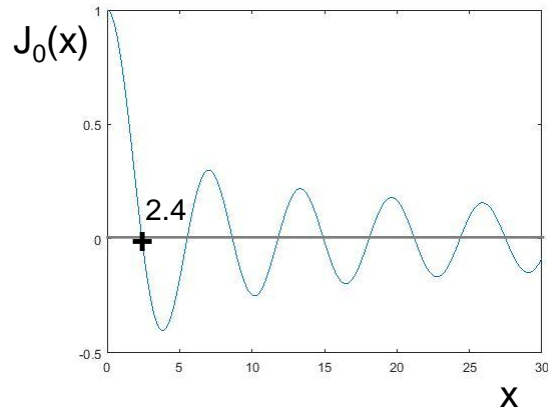
$K$  ..... konstantní výraz (není významný – v zobrazování pracujeme s normovanou intenzitou)

$k$  ..... vlnové číslo ( $k = 2\pi/\lambda$ )

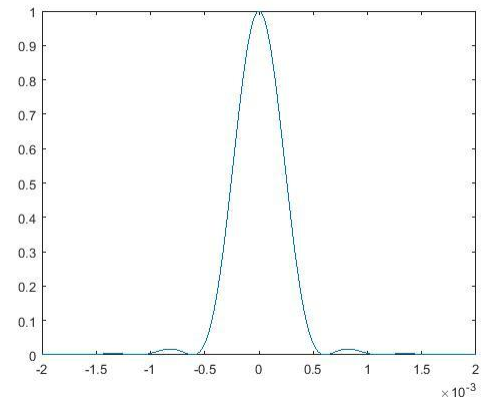
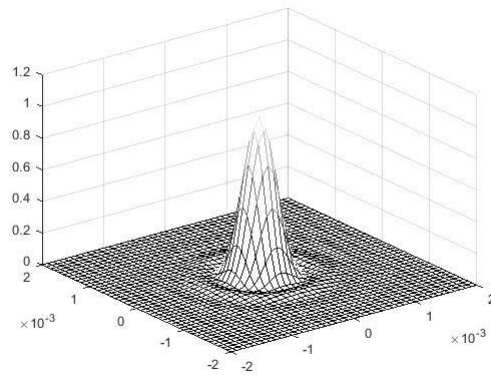
$J_0$  ..... Besselova funkce 1. druhu, nultého řádu

$u$  ..... obrazová apertura optického systému

## Besselova funkce $J_0$ a $J_1$



Obraz bodu (Airyho disk) vytvořený fyzikálně dokonalým systémem s kruhovou pupilou



$$\rho_0 = 0.61 \lambda / \sin u$$

## 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