

Rybí oko, čočka rybího oka

Jak vidí ryby?

- **rybí čočka je kulatá**, tvar je neměnný
- zaostřování probíhá přibližováním a oddalováním čočky od sítnice
- ryby jsou krátkozraké
- široký pozorovací úhel, cca 150–170°
- ryby vidí barevně
ovšem: barevné podání pod vodou závisí na čistotě vody a na hloubce (červené světlo proniká jen mělce)
- index lomu a absorpce čočky závisí i na množství parazitů v ní žijících (jedno vývojové stádium motolice) – ryba hůř vidí a tak se nechá snadněji sežrat finálním ptačím hostitelem :-)



Čočka *kapra obecného* (to černé je úpon svalu): kulatá, $2R = 5 \text{ mm}$
 → ohnisková vzdálenost f je cca 0,00125 m, tedy 800 dioptrií

(zdravé lidské oko má 60 dioptrií)

Viz též u **fotoaparátů širokoúhlý objektiv** (předsádka, adaptér) **typu rybí oko:**



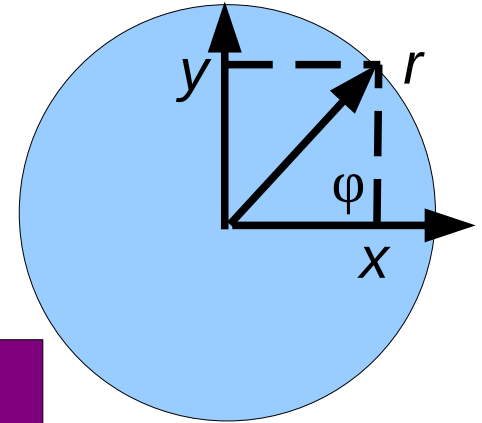
Nikon 8–15 mm f/3,5–4,5E ED

Výpočty pro difrakci na kruhovém otvoru

Kartézské a polární souřadnice, Besselovy funkce 1. a 2. řádu

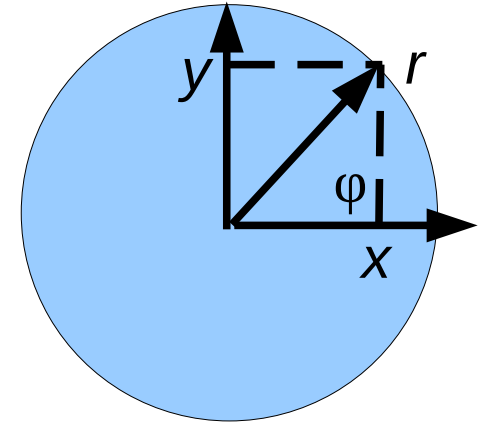
Difrakční integrál ve Fraunhoferově aproximaci:

$$E = \iint E(r) dx dy = \frac{A}{r_0} \iint e^{-i(k_x x + k_y y)/a'} dx dy$$



Výpočty pro difrakci na kruhovém otvoru

Kartézské a polární souřadnice, Besselovy funkce 1. a 2. řádu



Difrakční integrál ve Fraunhoferově aproximaci:

$$E = \iint E(r) dx dy = \frac{A}{r_0} \iint e^{-i(k_x x + k_y y)/a'} dx dy$$

Převod kartézské ↔ polární souřadnice:

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi$$

$$k_x = k \cos \beta, \quad k_y = k \sin \beta$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \varphi = \arctan y/x$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \varphi = \arctan y/x$$

Skalární součin v exponenciále:

$$k_x x + k_y y = k r (\cos \varphi \cos \beta + \sin \varphi \sin \beta) = k r \cos(\varphi - \beta)$$

Výpočet difrakčního integrálu:

$$E = \frac{A}{a'} \int_0^R r dr \int_0^{2\pi} e^{-i k r \cos(\varphi - \beta)} d\varphi$$

- prvním integrováním vyjde Besselova funkce nultého řádu $J_0(\dots)$
- po druhém integrování vyjde Besselova funkce prvního řádu $J_1(\dots)$
- konečný výsledek:

$$I(r) = |E^2| = I_{\max} \left(\frac{2 J_1(k r R/a')}{k r R/a'} \right)^2 \equiv I_{\max} \left(\frac{2 J_1(k R \sin \theta)}{k R \sin \theta} \right)^2$$

Mezní rozlišovací schopnost – lidské oko

... aneb aplikace Rayleighova kritéria rozlišení

Rozlišení oka:

- vzdáleností čípků na sítnici je cca 5 μm , vzdáleností sítnice od zornice je cca 17 mm
- jaký je pozorovací úhel jednoho čípku (= pixelu) ve stupních, v úhlových minutách, a v radiánech?
- Kolik je jedna úhlová minuta je v radiánech (rad) či miliradiánech (mrad)?
- Zornice má průměr $d = 2$ až 8 mm.
Mezní difrakční úhel v radiánech se spočte z Rayleighova kritéria $\sin \theta \approx 1,22 \frac{\lambda}{d}$

Pro 2 mm: $\theta_1 = ???$ mrad

Pro 8 mm: $\theta_2 = ???$ mrad

Kreslení grafů Besslových funkcí v programu gnuplot

... a grafické nalezení „magické konstanty“ 1,22

Interaktivní kreslení v programu gnuplot, www.gnuplot.info

Použité příkazy:

```
plot besj0(x), cos(x)
```

```
set xrange [-5*pi:5*pi]
plot besj0(x), cos(x)
```

```
plot besj1(x), sin(x)
plot besj1(x)**2, sin(x)**2
plot (besj1(x)/x)**2, (sin(x)/x)**2
```

```
# ted najit graficky prvni minimum:
# u funkce sin(x) je to pi, u besj1(x) je to 3.83
# lepe se hleda nulovy bod u besj1(x) nez u besj(x)**2
```

```
print 3.8317/pi
```

```
# => podil vyjde 1.22
```

