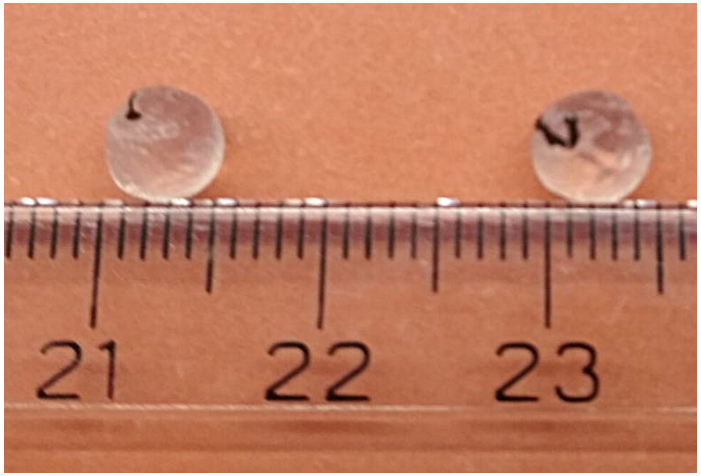
Rybí oko, čočka rybího oka

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 absorbce 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 mm
→ ohnisková vzdálenost f je cca 0,00125 m, tedy 800 dioptrií

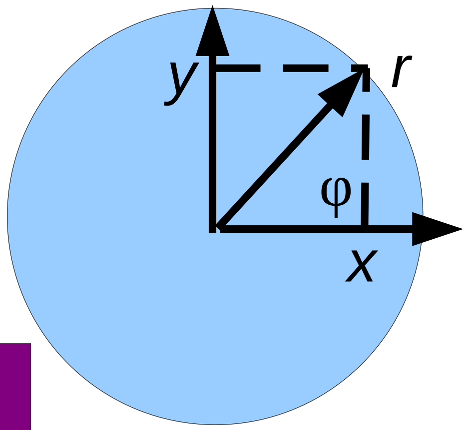
(zdravé lidské oko má 60 dioptrií)

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

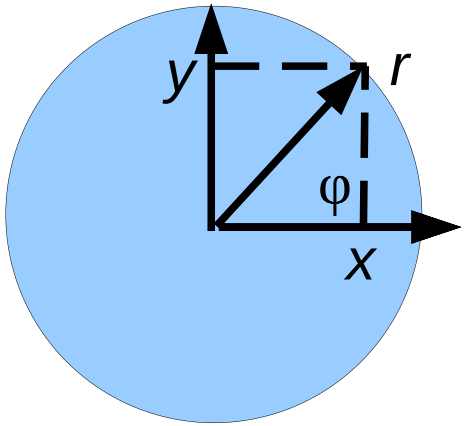


Difrakční integrál ve Fraunhoferově aproximaci:

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

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:

$$x = r\cos\varphi,\quad y = r\sin\varphi \qquad k_x = k\cos\beta,\quad k_y = k\sin\beta$$

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

Skalární součin v exponenciele:

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

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 $\sin\theta \approx 1{,}22\,\dfrac{\lambda}{d}$

Pro 2 mm: θ_1 = ??? mrad

Pro 8 mm: θ_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
```