



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE  
**ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA**

KATEDRA TELEKOMUNIKÁCIÍ A MULTIMÉDIÍ

# Geometrická optika a klasifikácia optických vlákien

Prednáška č. 1

J. Dubovan

# Kontakt

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

## **Ing. Jozef Dubovan, PhD.**

- tel.: +421 41 513 2219
- e-mail: [jozef.dubovan@fel.uniza.sk](mailto:jozef.dubovan@fel.uniza.sk)
- miestnosť: ND327b (KTaM – 3. posch. EF)

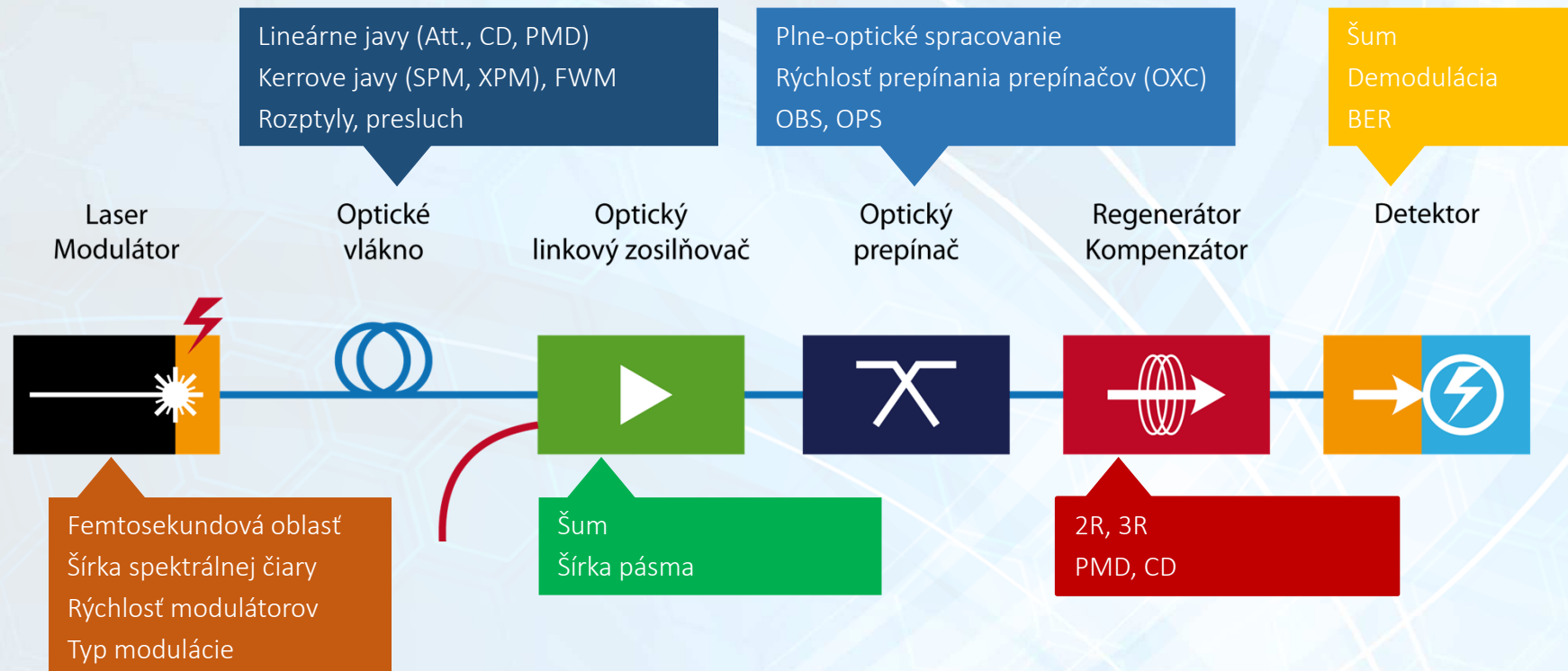


# Úvod do optických prenosových médií

Úvod

# Optický komunikačný systém

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



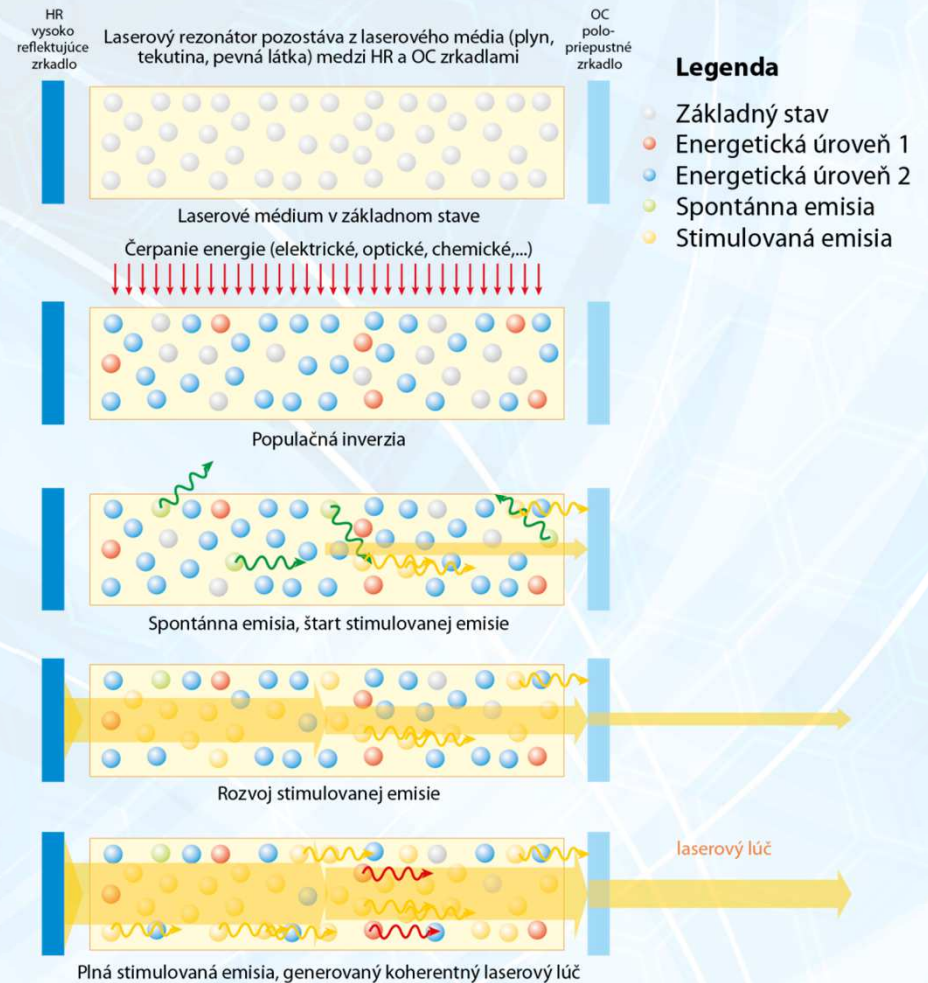
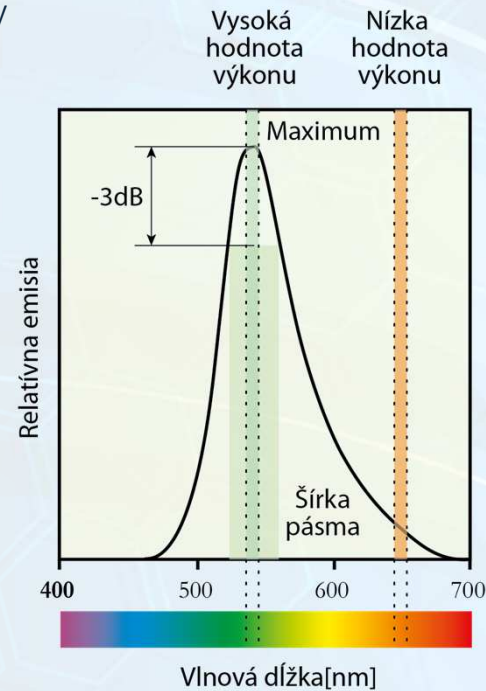
Zjednodušený optický prenosový systém.

# Laser

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

## ■ **L**ASER je akronym pre

- **L**ight
- **A**mplification by
- **S**timulated
- **E**mission of
- **R**adiation



### Legenda

- Základný stav
- Energetická úroveň 1
- Energetická úroveň 2
- Spontánna emisia
- Stimulovaná emisia



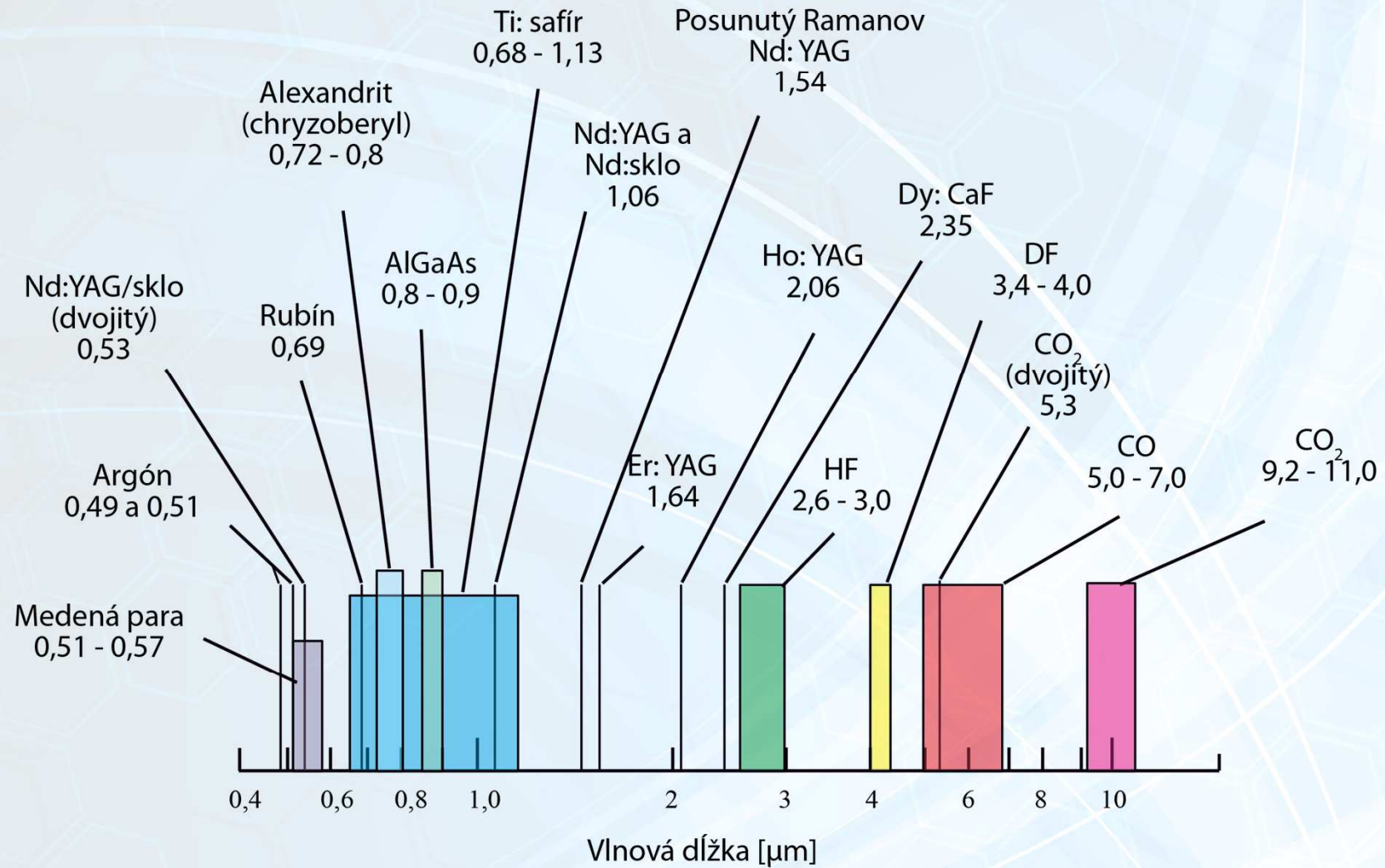
# Zdroje pre optické vysieláče

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

- K dispozícii máme viacero typov optických zdrojov:
  - Light Emitting Diodes (LED) – **LED fotodiódy**
  - Solid state lasers – **pevnolátkové lasery**
  - Gas lasers – **plynné lasery**
  - Semiconductor lasers – **polovodičové lasery**
  - Fiber lasers – **vláknové lasery**
- Preferované sú polovodičové lasery, pretože:
  - sú napájané el. energiou
  - priamo konvertujú **elektrický** signál na **optický**
  - generujú **koherentné** svetlo na rozdiel od LED

# Emisné spektrá

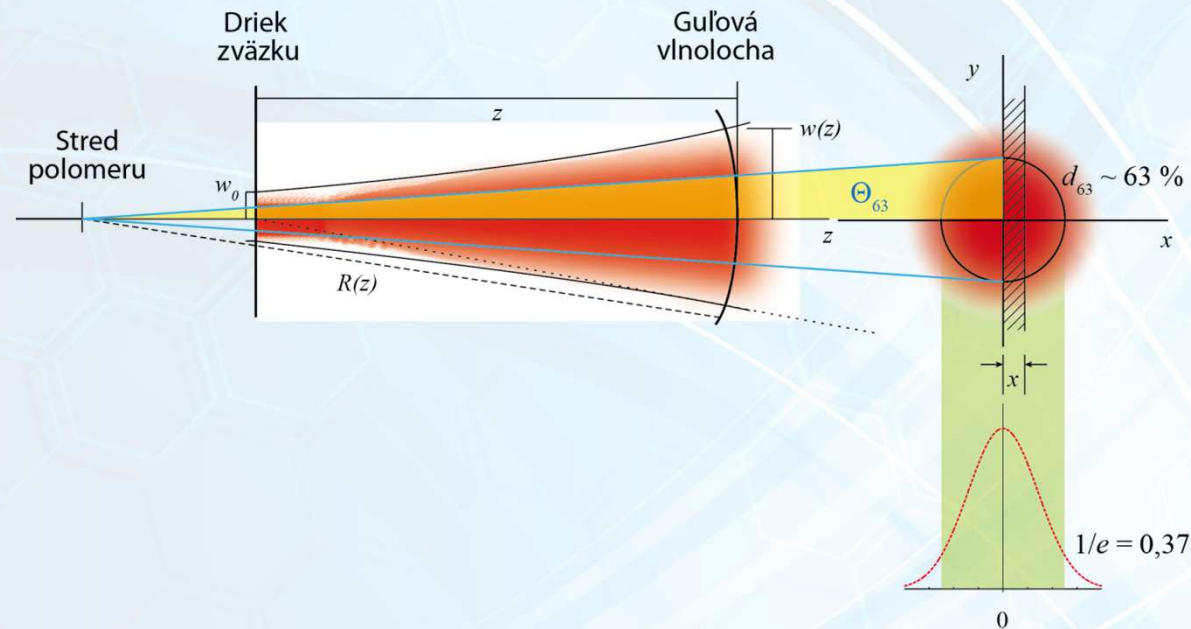
ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



# Základné parametre laserov

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

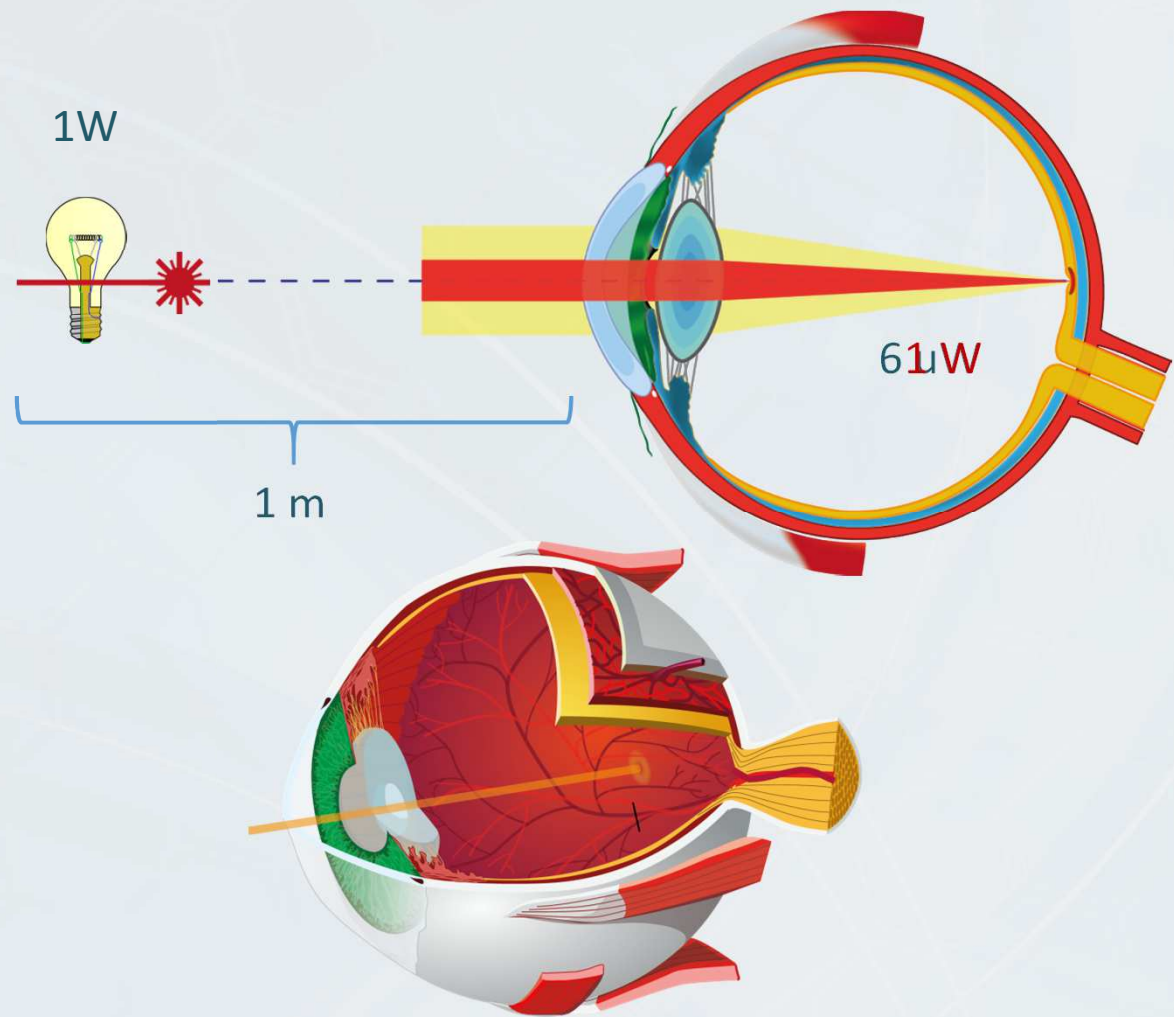
- Priemer zväzku laserového žiarenia – je vzdialenosť medzi protiľahlými bodmi zväzku, v ktorých je hustota energie (výkonu) rovná  $1/e$  násobku maximálnej hustoty.
- Rozbiehavosť (divergencia) zväzku žiarenia – je celý uhol rozbiehavosti zväzku meraný medzi protiľahlými priamkami prechádzajúcimi rovnoľahlými bodmi zväzku, v ktorých hustota žiarivého toku v tom istom priereze. Udáva sa v miliradiánoch [mrad].





# Bežný zdroj vs. laser

- svetlo bežného zdroja generuje polychromatické svetlo, zväzok má divergentný charakter, výkon pri priemere zornice 7 mm zo vzd. 1 m je približne 6  $\mu\text{W}$ , priemer obrazu cca 100  $\mu\text{m}$ ,
- laserové svetlo sa vyznačuje úzkou spektrálnou čiarou (takmer monochromatické), zväzok má len malú divergenciu, za rovnakých podmienok ako v prvom prípade sa na sietnicu dostáva takmer plný výkon t.j. 1W, priemer obrazu cca. 10  $\mu\text{m}$  – porov. so žltou škvrnou, tzn. že i krátkotrvajúci impulz znamená definitívne oslepnutie.



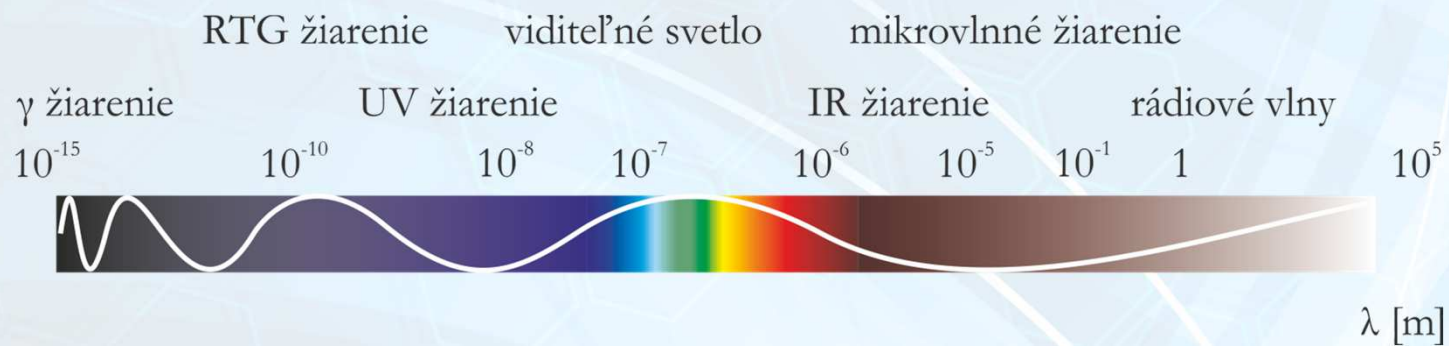
Vplyv žiarenia na poškodenie zraku

# Opis šírenia sa svetla v zmysle geometrickej optiky

Geometrická optika (angl. Ray optic)

# Svetlo

ŽILinskÁ UNIVERZITA V ŽILINE



$$E = h\nu \quad [\text{J}]$$

Dualita fotónu

Častica

Vlna

Optika (opis)

Geometrická

Vlnová

Kvantová

Materiály

Priehľadné (transparentné)

Priesvitné

Nepriesvitné



# Základné parametre a zákony

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

- Index lomu

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$$

- Vlnová dĺžka

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

- Vlnové číslo

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

- Snellov zákon

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

- Zákon odrazu

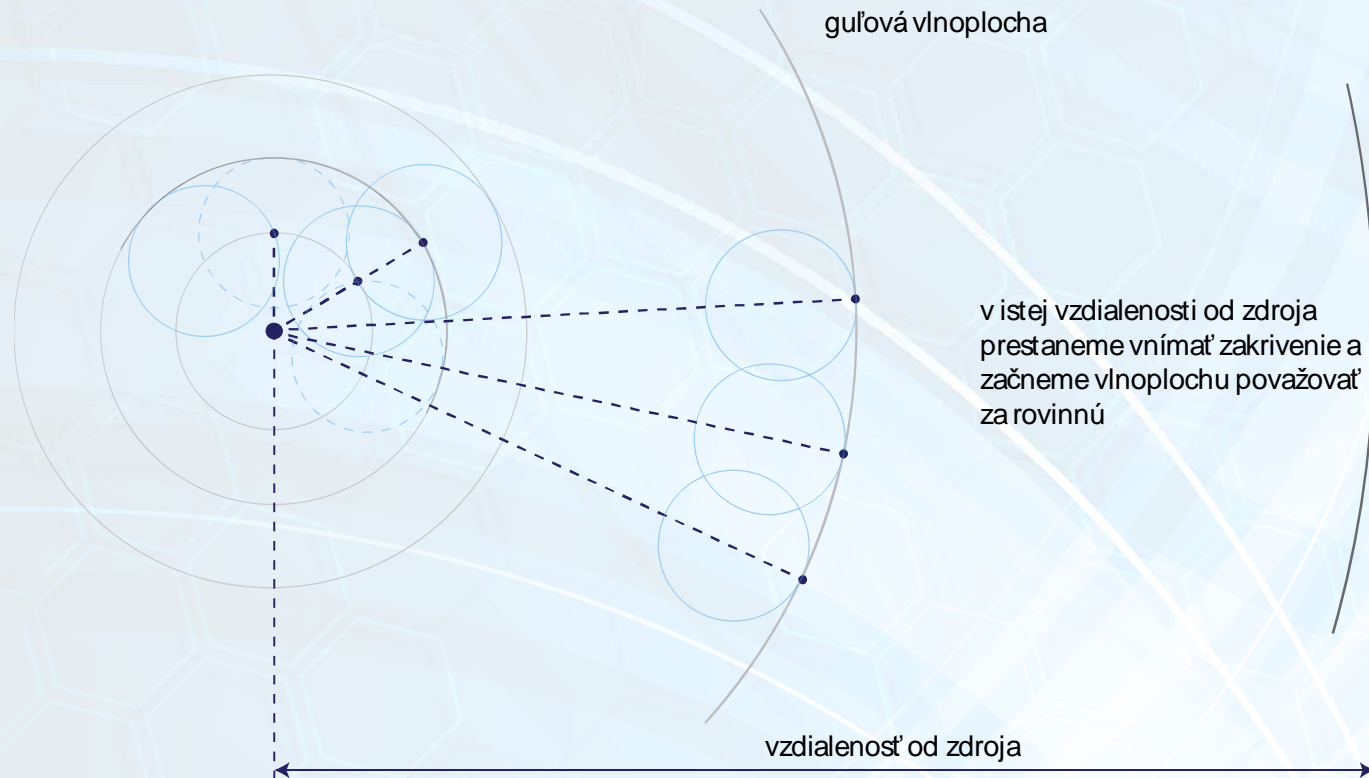
$$\alpha = \alpha'$$

- Relatívny rozdiel indexov lomu

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

# Huygensov princíp

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

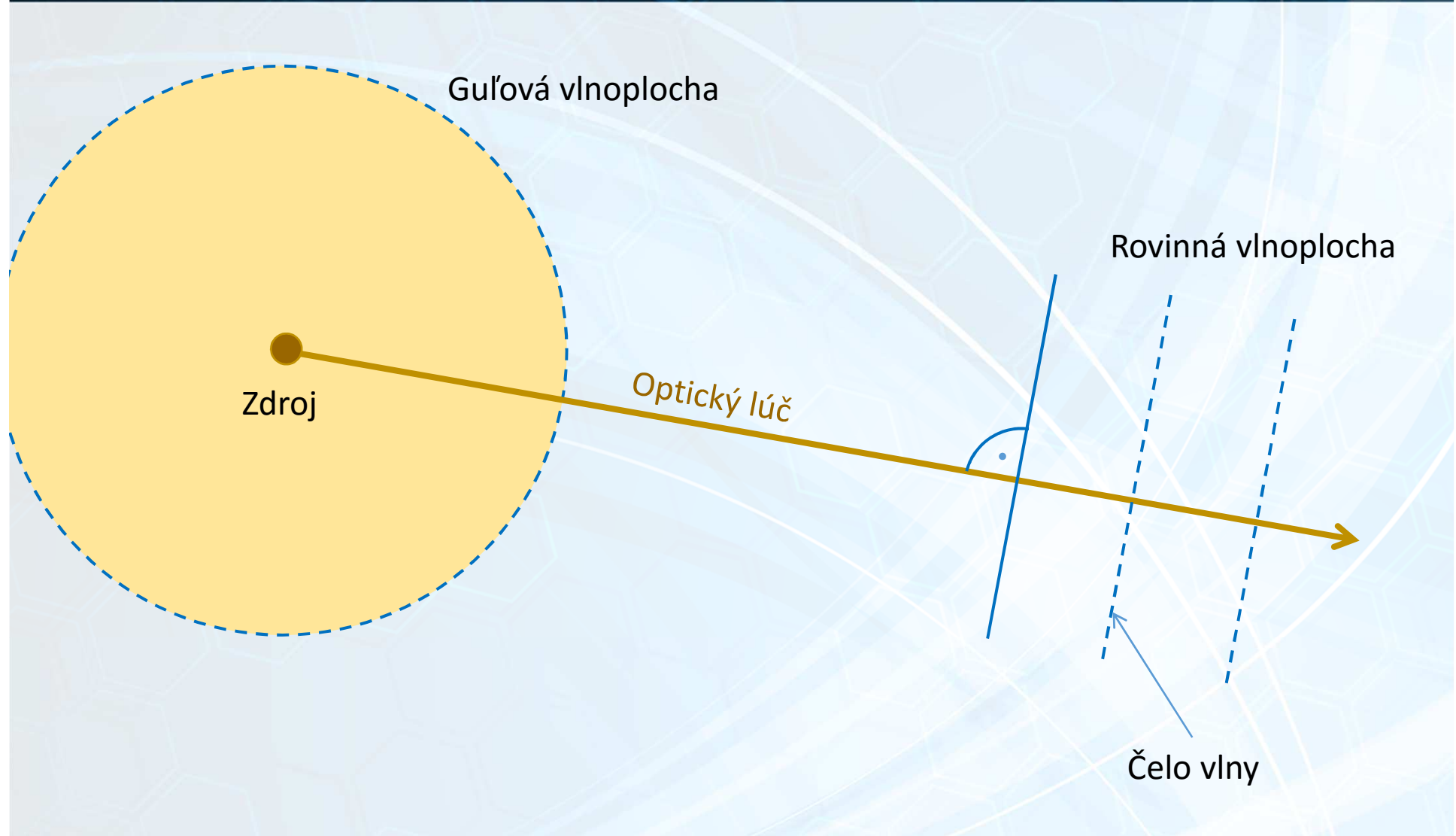


## Geometrická (lúčová) optika

Geometrická (lúčová) optika predstavuje jeden z najstarších opisov šírenia sa optického signálu transparentným, respektíve čiastočne transparentným médiom. Zjednodušene môžeme hovoriť o určitom zidealizovaní predstavy o optickom lúči. Tento typ opisu šírenia sa svetla však nedokáže vysvetliť javy ako je interferencia alebo difrakcia.

# Geometrická (lúčová) optika

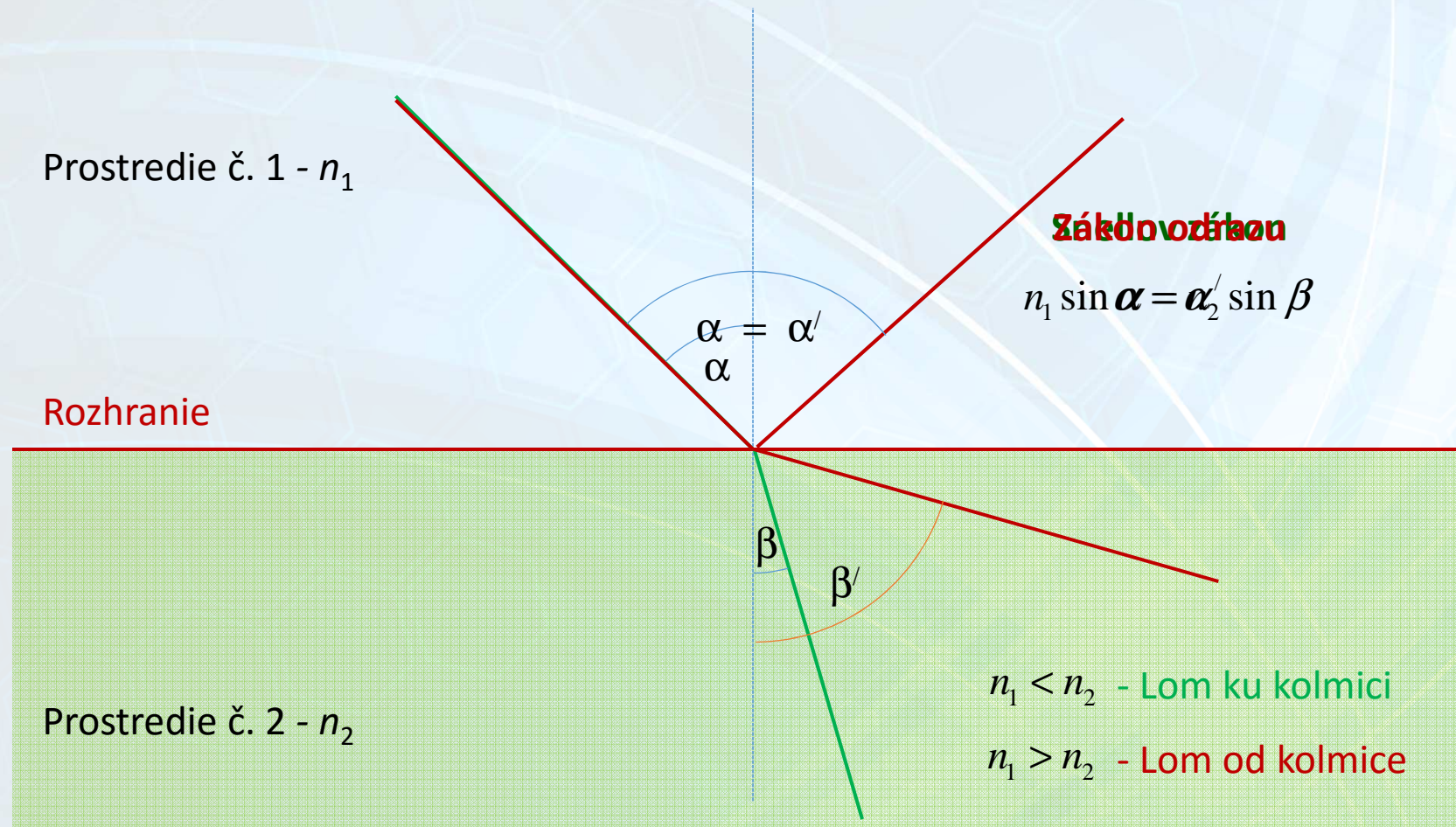
ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE





# Základné zákony lúčovej optiky

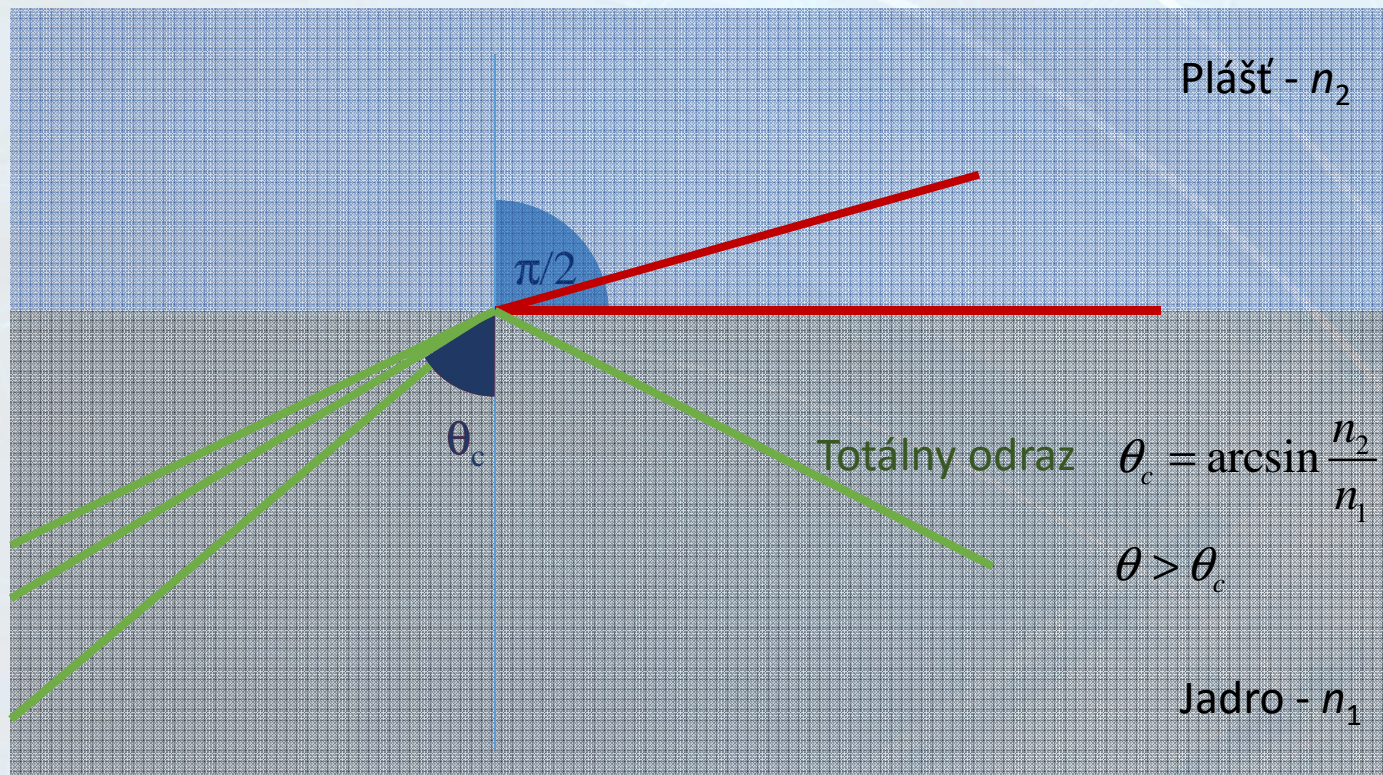
ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



# Totálny vnútorný odraz

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Totálny odraz predstavuje optický jav, ku ktorému dochádza keď na rozhranie dvoch prostredí dopadá optický lúč pod uhlom väčším ako je *kritický* (obr. dole). Toto sa deje v prípade ak je na opačnej strane médium s menším indexom lomu.



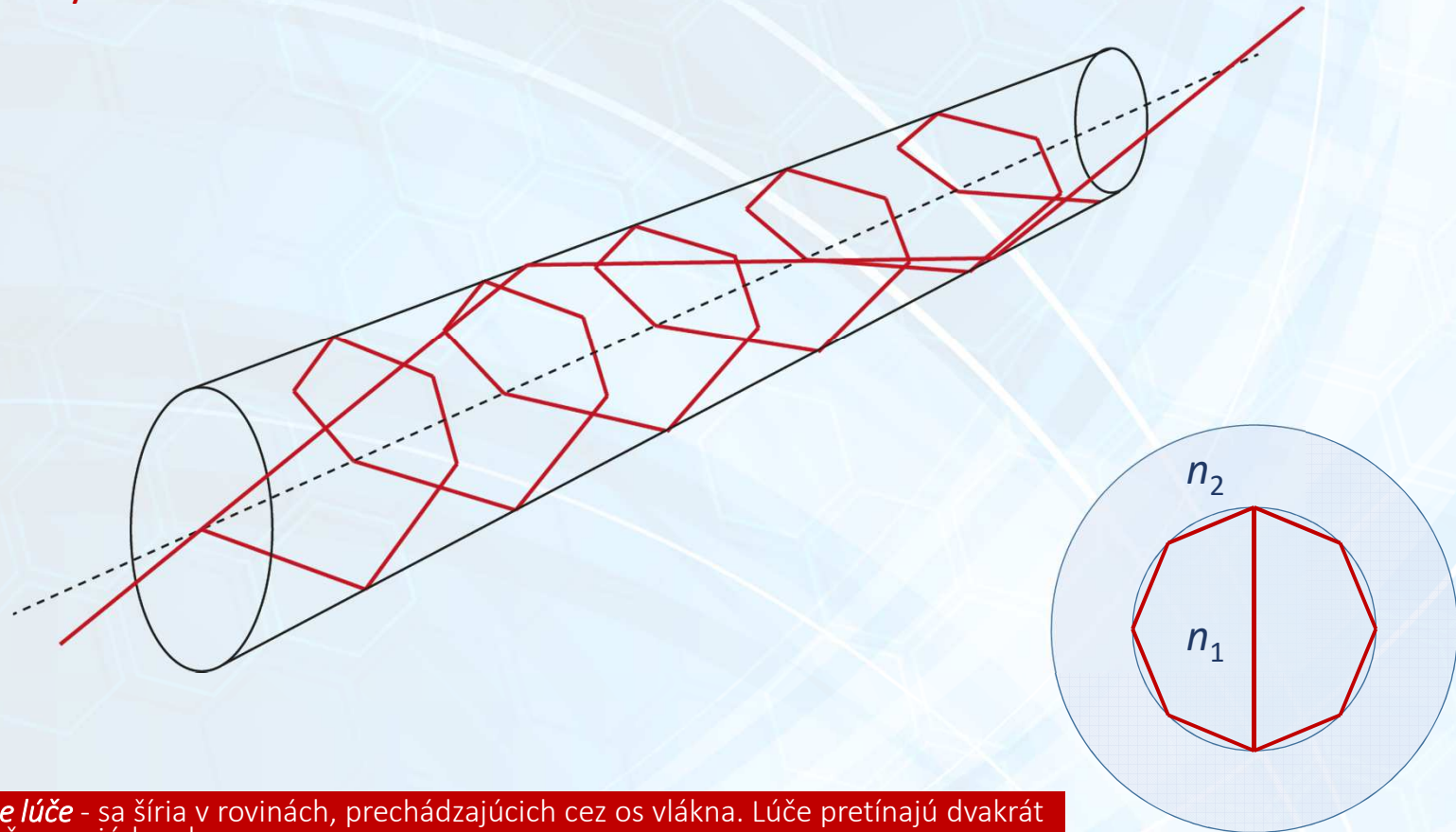
$$\theta_c = \theta_i = \arcsin \left( \frac{n_2}{n_1} \right)$$



# Klasifikácia lúčov

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

## Klasifikácia lúčov

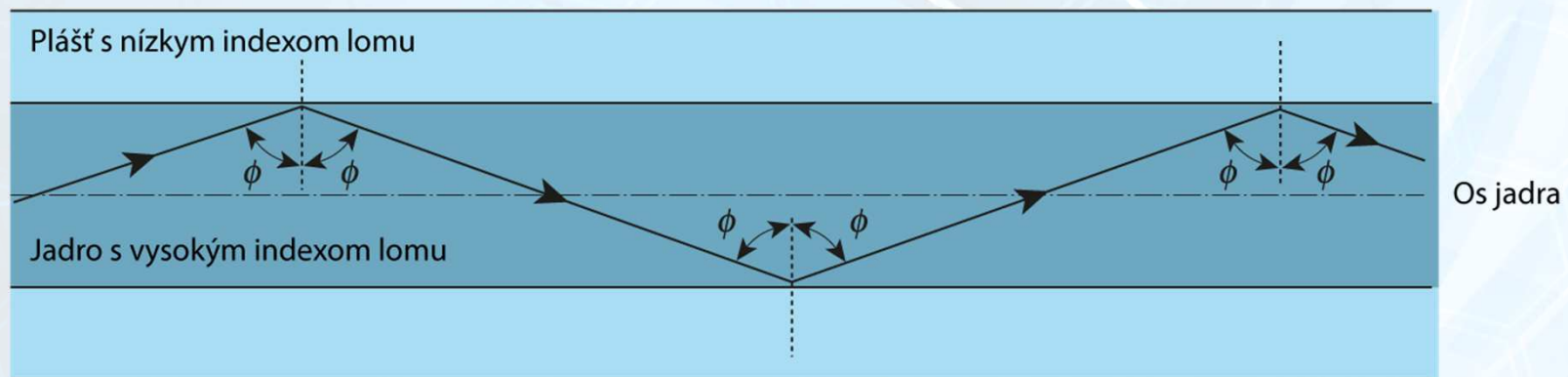


- **Meridionálne lúče** - sa šíria v rovinách, prechádzajúcich cez os vlákna. Lúče pretínajú dvakrát os vlákna počas periódy odrazov.
- **Šikmé (kosé) lúče** - neprechádzajú cez os vlákna a šíria sa po špirálovej dráhe.



# Prenos perfektným vláknom

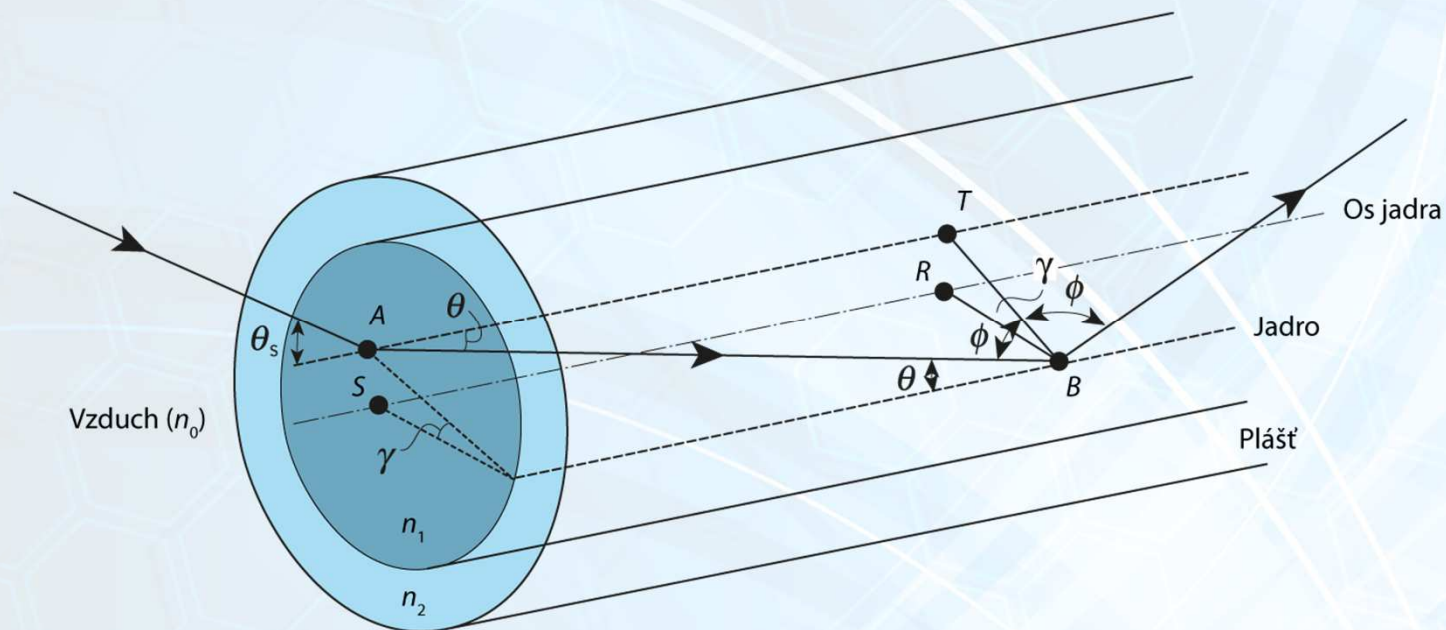
ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



Šírenie meridionálneho lúča

# Prenos perfektným vláknom

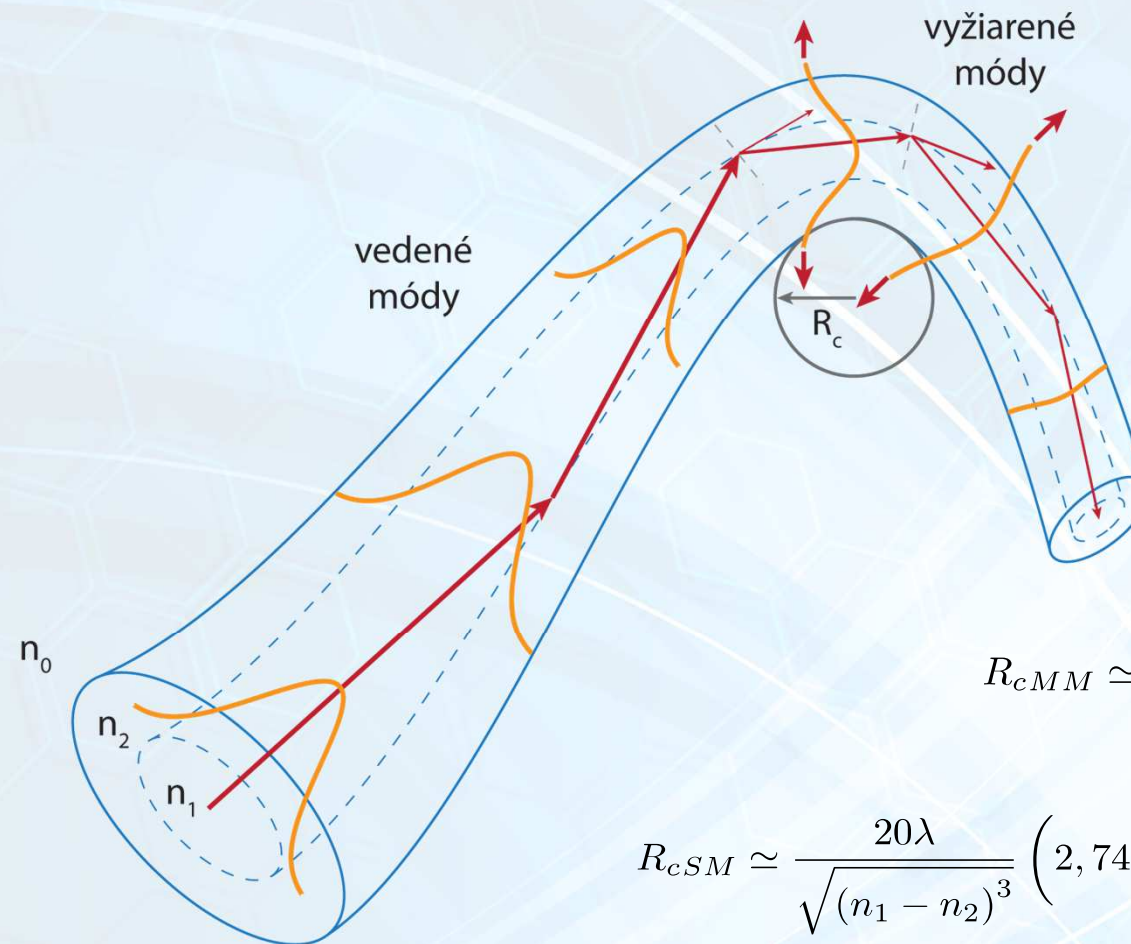
ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



Šírenie kosého lúča

# Porušenie podmienok šírenia sa svetla

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



$$R_{cMM} \simeq \frac{3n_1^2\lambda}{4\pi\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)^3}}$$

$$R_{cSM} \simeq \frac{20\lambda}{\sqrt{(n_1 - n_2)^3}} \left( 2,748 - 0,996\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^{-3}$$



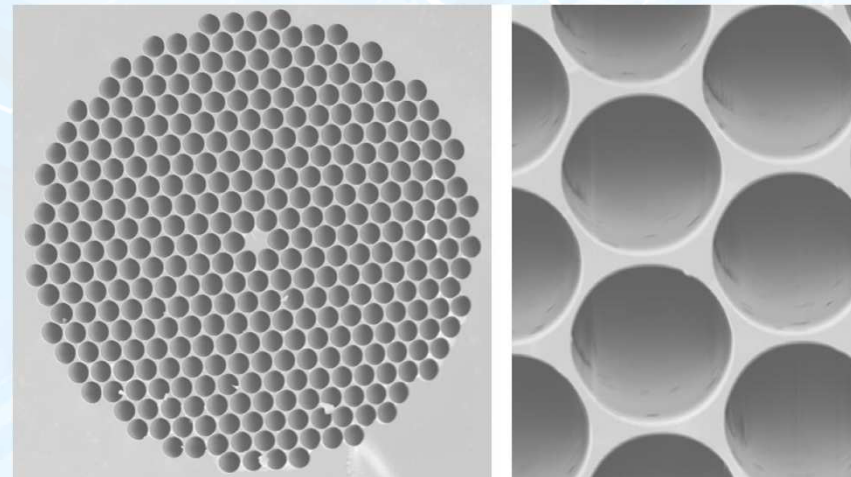
# Klasifikácia optických vlákien

## Konvenčné

- Sklené
  - *Jednojadrové*
    - SM (SI, GI)
    - MM (SI, GI)
  - *Viacjadrové*
    - SM
    - SM+MM

## Nekonvenčné

- Sklené
  - rôzny priemer
  - PCF (2. typu) + Braggovo
- Plastové (POF)

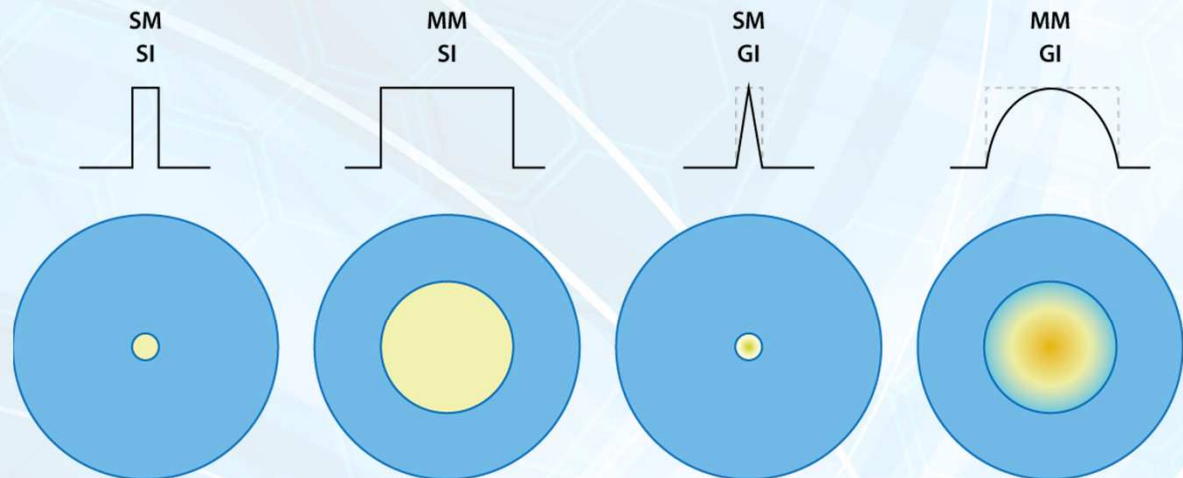


# Konvenčné a PCF vlákna

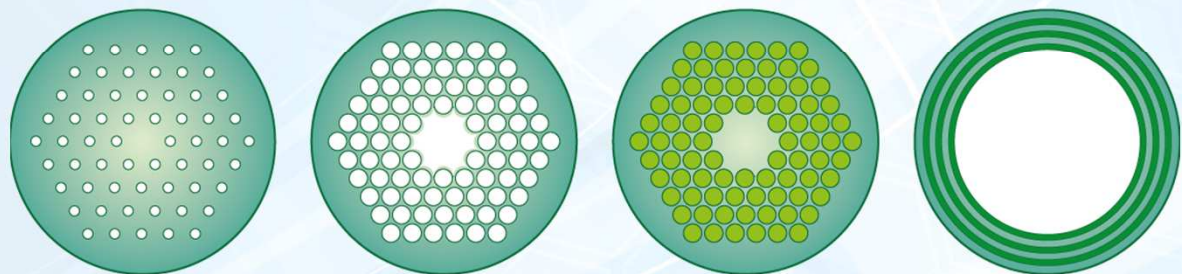
ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

## Konvenčné telekomunikačné vlákna

### Typ a profil indexu lomu



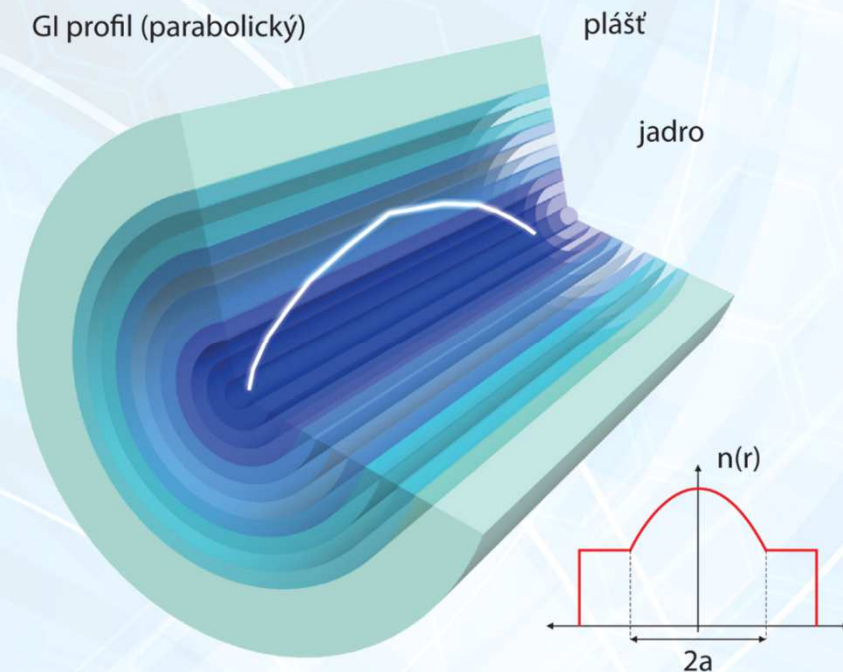
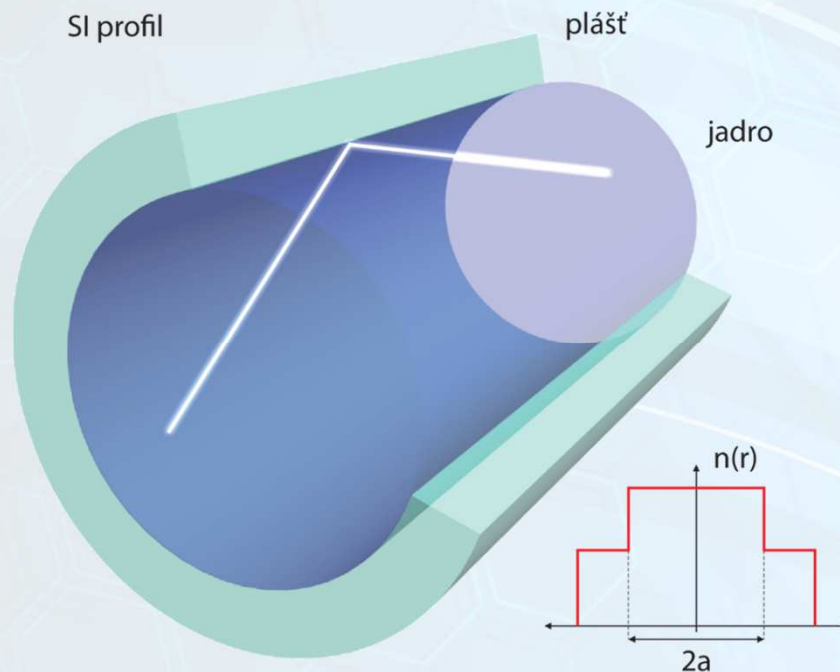
## Fotonické kryštáľové vlákna





# Základné typy telekomunikačných optických vlákien

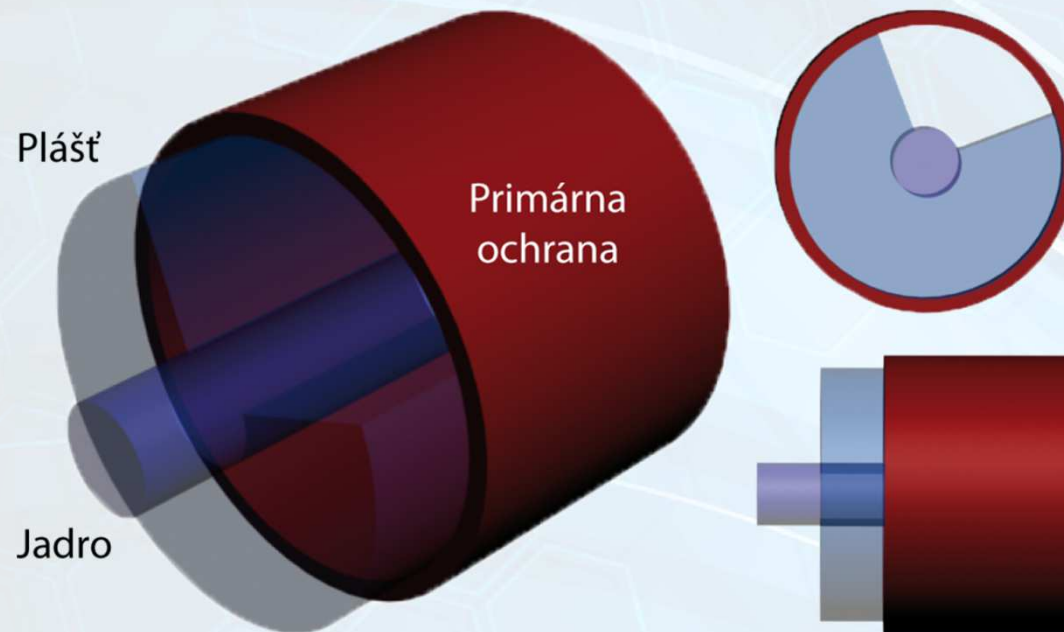
ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



Za základné členenie môžeme chápať delenie na jedno a multimódové vlákna. Toto delenie je z pohľadu rozloženia poľa v optickom vlákne. Parametre optických vlákien však vyžadujú podrobnejšie delenie.

# Fyzické rozmery konvenčných telekomunikačných vlákien

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



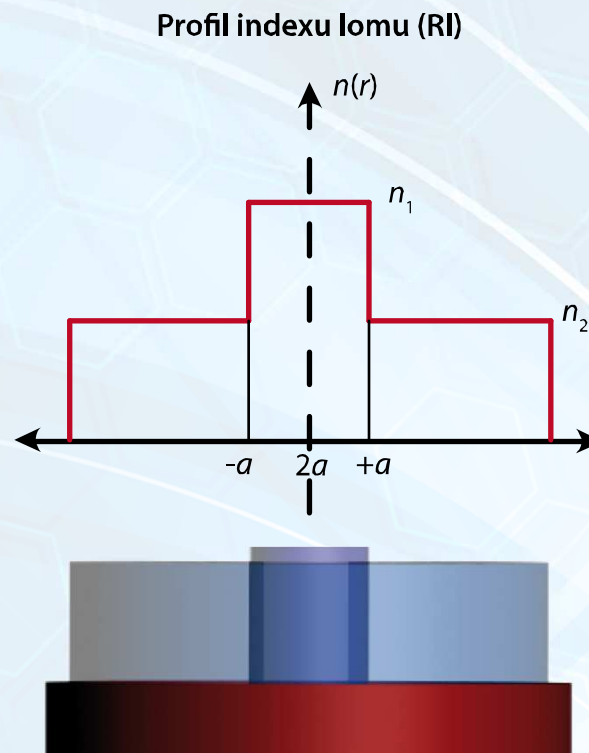
Fyzické rozmery SM OV

Parameter	rozmer [ $\mu\text{m}$ ]
priemer jadra	2 - 9
priemer plášťa	125
priemer PO	250

Pri konvenčných vláknach vždy platí:  $n_1 > n_2$

# Optické vlákno – profil indexu lomu

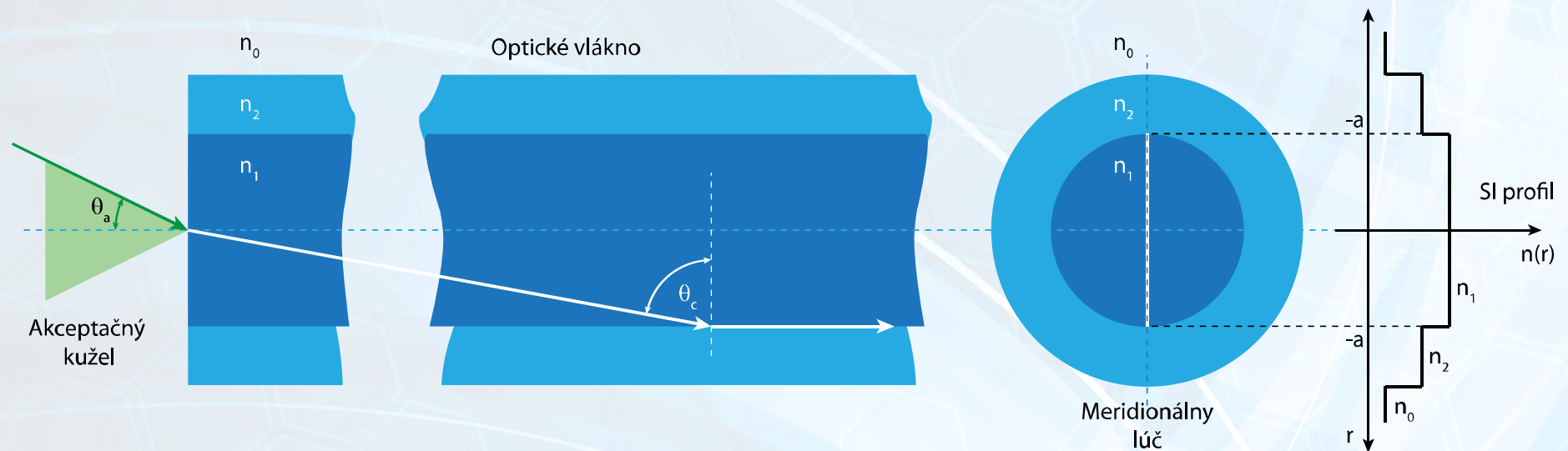
ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE





# Numerická apertúra (akceptačný kužel)

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



## Meridionálne

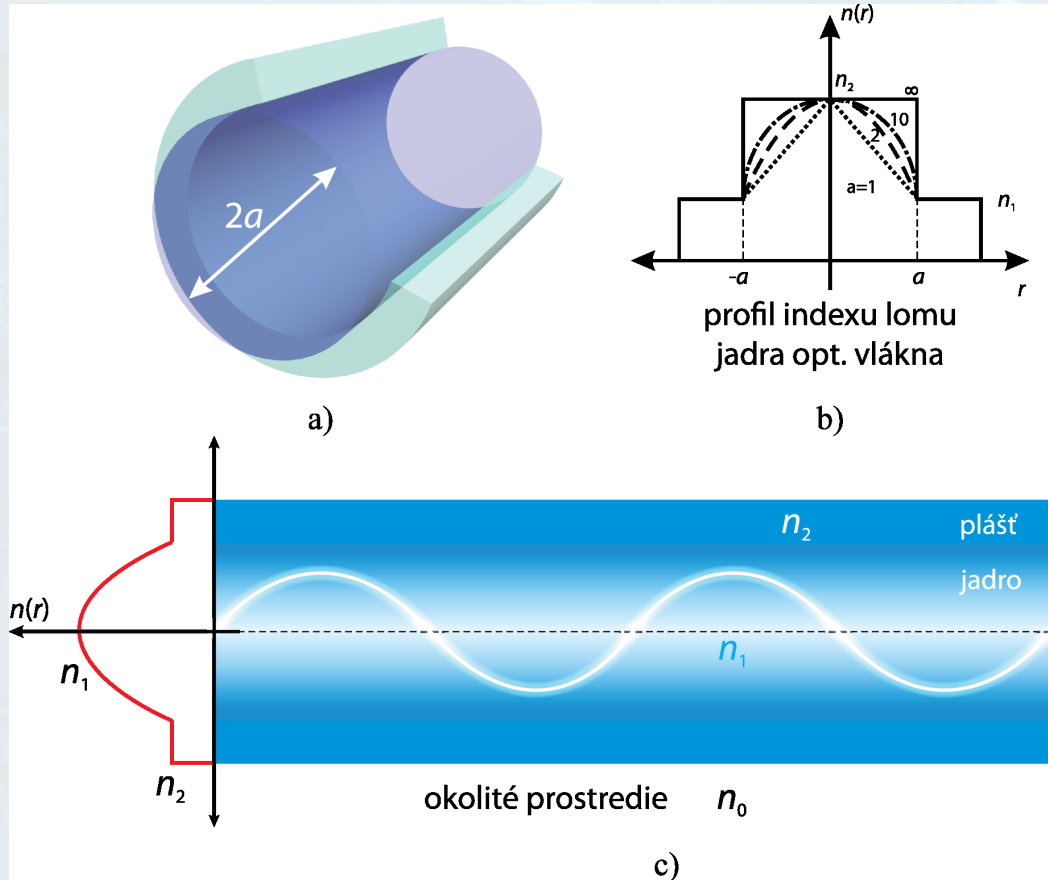
$$NA = n_0 \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

## Kosé (šikmé)

$$n_0 \sin \theta_{as} \cos \varphi = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = NA$$

# Gradientné optické vlákna (profil indexu lomu)

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



Zmena indexu lomu

Jadro

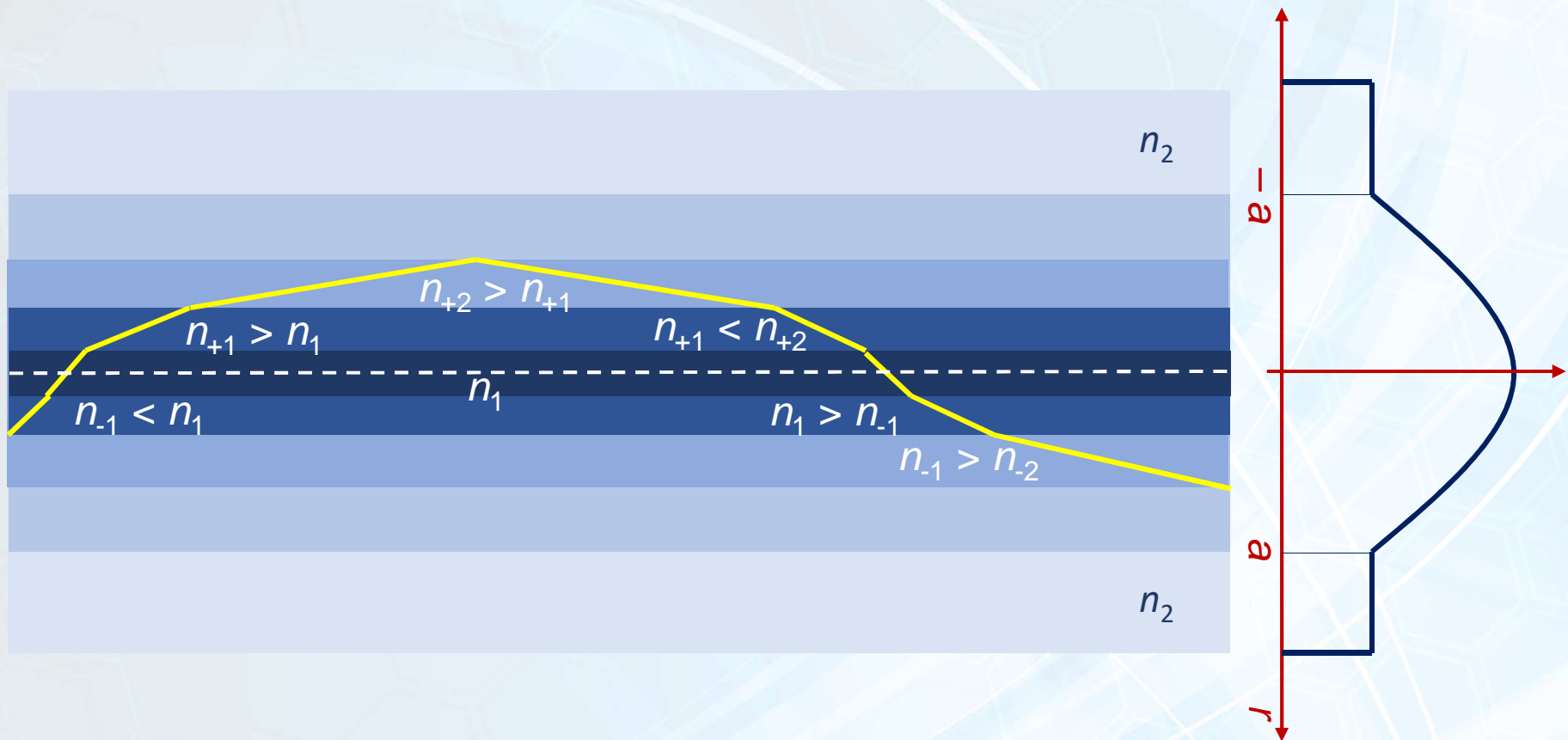
$$n(r) = n_1 \sqrt{1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha} \text{ pre } r < a$$

Plášť

$$n(r) = n_1 \sqrt{1 - 2\Delta} \text{ pre } r > a$$

# Ukážka šírenia sa lúča v GI vlákne

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



Parabolický profil



**Ďakujem za pozornosť**

[jozef.dubovan@fel.uniza.sk](mailto:jozef.dubovan@fel.uniza.sk)