

# Cvičenie 03: Optické vlnovody (1.časť)

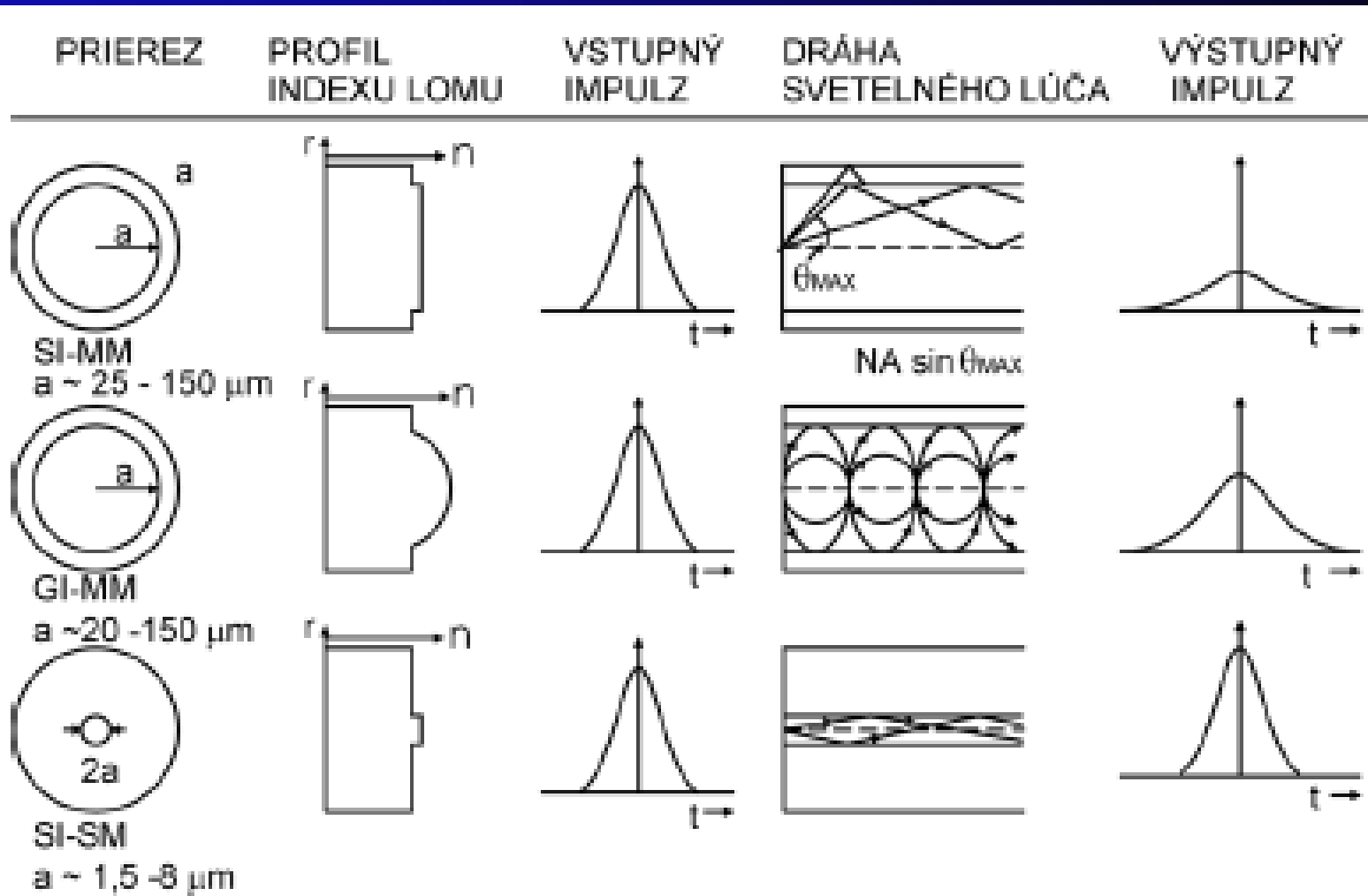
doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.  
(lubos.ovsenik@tuke.sk)

[https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE\\_Optoelektronika/\\_materialy/  
Cvicenia/Cv03](https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/Cvicenia/Cv03)

# Rozdelenie optických vlnovodov

- Pre komunikačné účely sa v súčasnosti najčastejšie používajú tri typy:
  - mnohovidové vlákna so skokovitým (stupňovitým) profilom indexu lomu, tzv. stupňovité optické vlákna (SI-MM z angl. Step Index Multi Mode);
  - mnohovidové vlákna so spojitým (gradientným) profilom indexu lomu, tzv. gradientné optické vlákna (GI-MM z angl. Graded Index Multi Mode);
  - jednovidové vlákna so skokovitým (stupňovitým) profilom indexu lomu, tzv. stupňovité optické vlákna (SI-SM z ang. Step Index Single Mode).

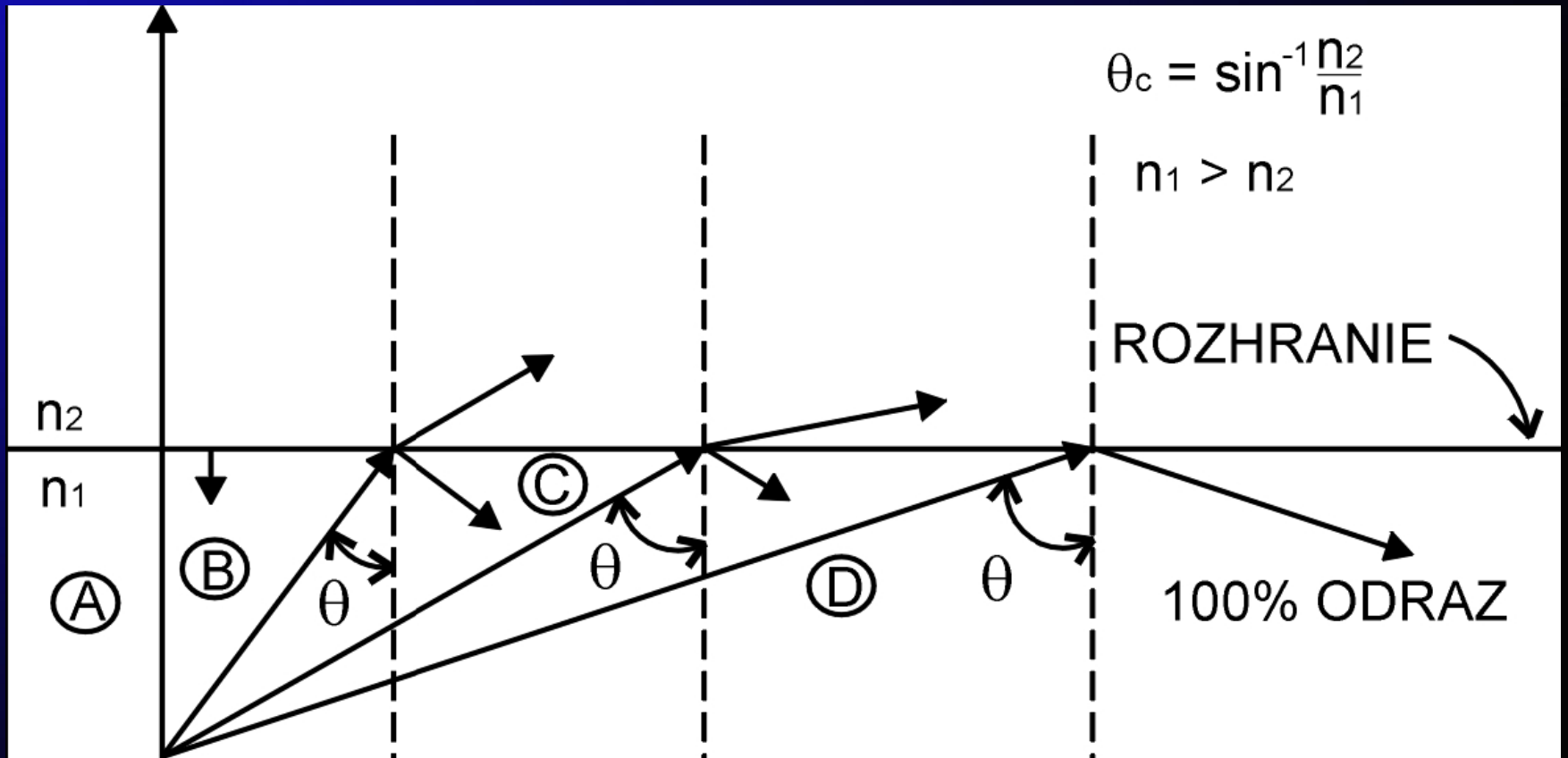
# Obr. 1 Najčastejšie používané komunikačné optické vlákna



# Lúčová teória šírenia svetla

- Lúčová teória šírenia svetla (optického žiarenia) v stupňovitom optickom vlákne:
  - nech index lomu jadra je  $n_1$  a index lomu plášťa je  $n_2$ , pričom  $n_2 < n_1$ ;
  - svetelné lúče, šíriace sa jadrom, môžu dopadať na rozhranie jadroplášť SI-MM (obr. 2) pod rôznym uhlom;
  - vo vlákne sa môžu šíriť len také lúče, pre ktoré je uhol dopadu  $\theta_d > \theta_c$  (kde  $\theta_c$  je určená vzťahom).

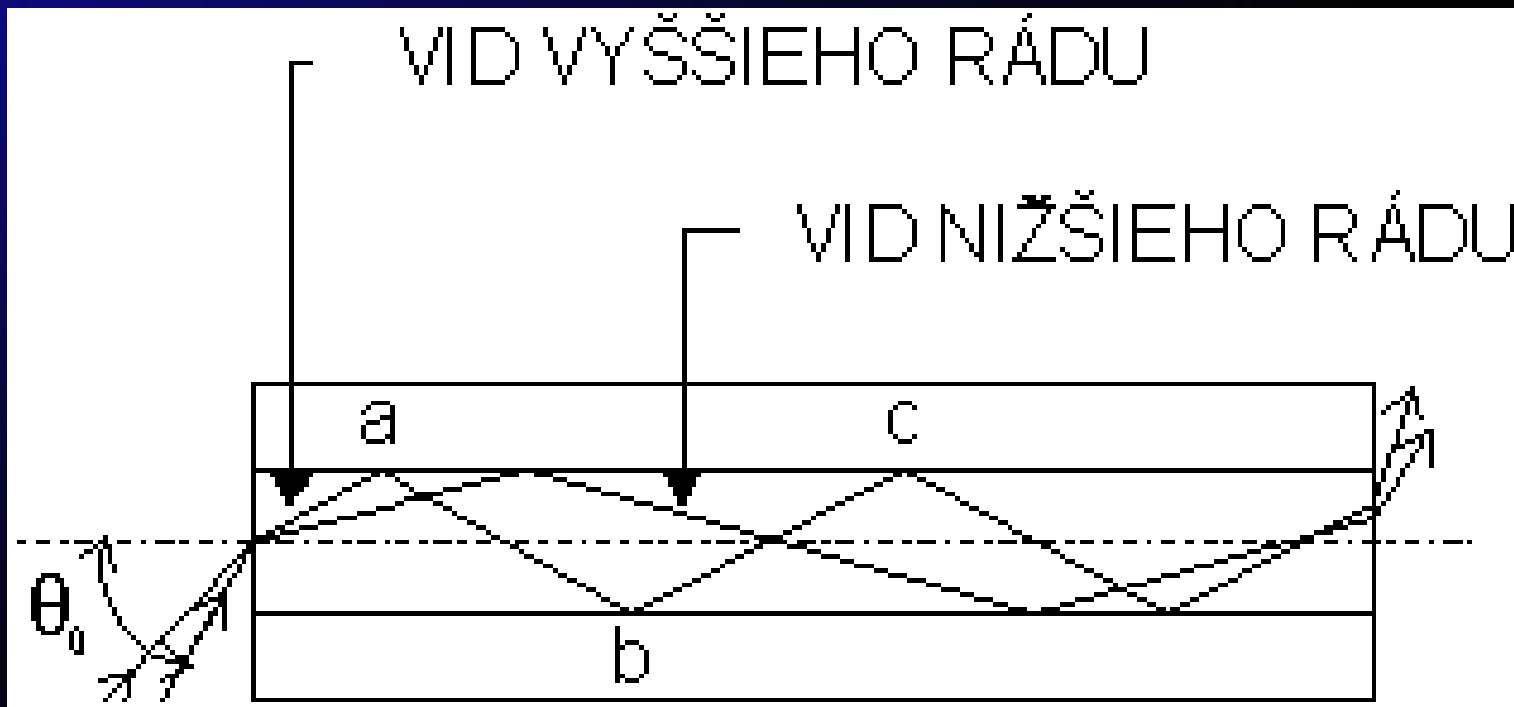
**Obr. 2** Úplný odraz na rozhraní jadro-plášť



# Klasifikácia lúčov:

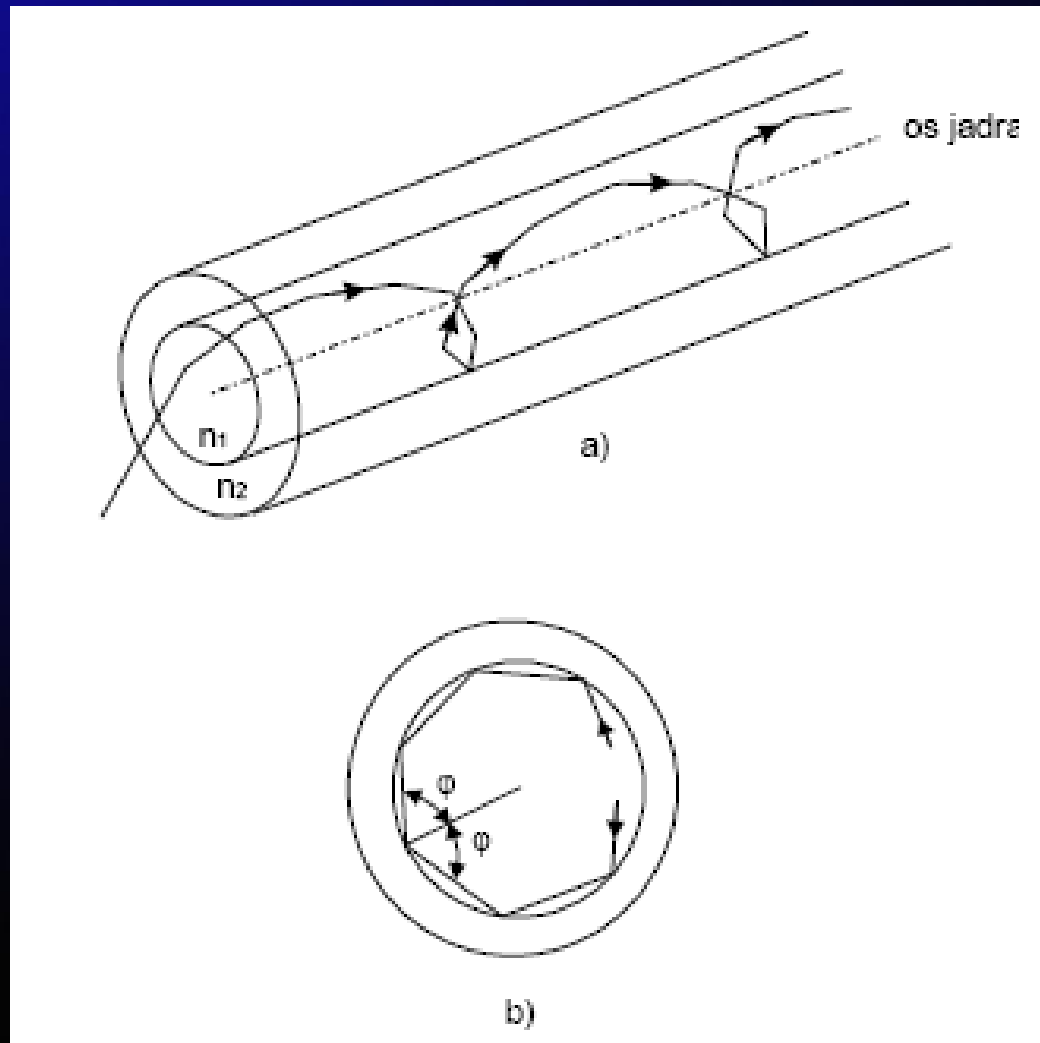
- **Meridionálne lúče**, ktoré sa šíria v rovinách, prechádzajúcich cez os vlákna (obr.3)
  - lúče pretínajú dvakrát os vlákna počas periódy odrazov.

Obr.3 Šírenie meridionálnych lúčov v SI-MM vlákne



- **Šikmé (kosé) lúče**, ktoré neprechádzajú cez os vlákna (obr.4) a šíria sa po špirálovej dráhe.

**Obr.4** Špirálová dráha šikmých lúčov v SI-MM vlákna (a) a jej priečna projekcia (b)

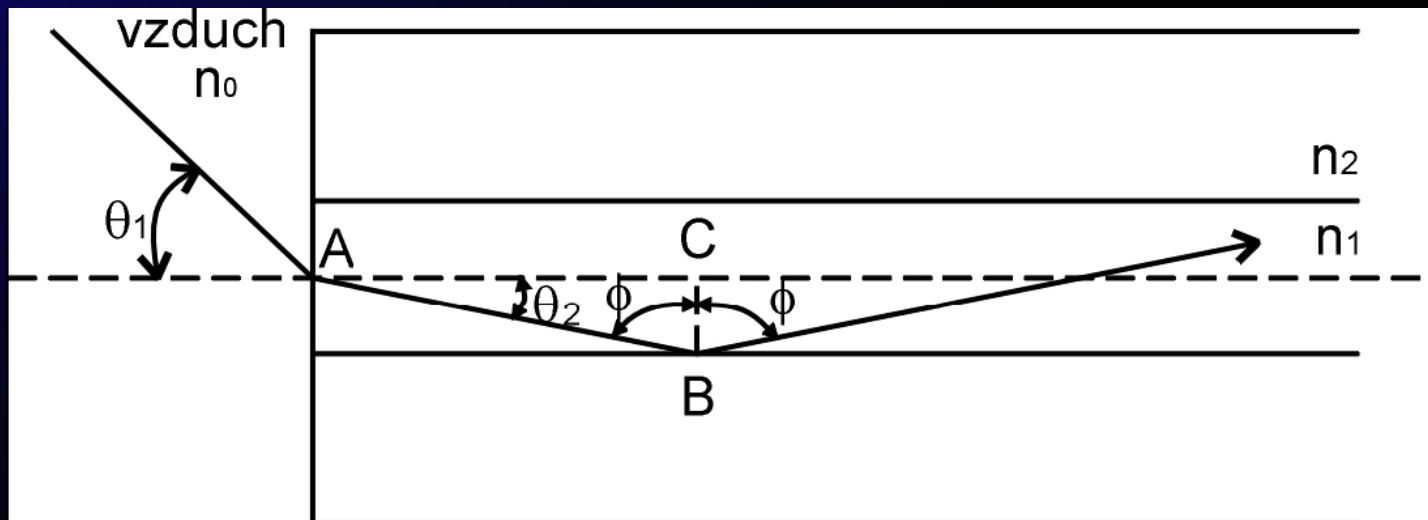


# Šírenie meridionálneho lúča

- Šírenie meridionálneho lúča (obr. 5) určuje rovnica

$$n_0 \sin \theta_1 = n_1 \cos \phi = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \phi}$$

Obr.5 Dráha meridionálneho lúča





- v limitnom prípade  $\phi = \theta_c$  a uhol  $\theta_1 = \theta_a$  je **akceptačný uhol** optického vlákna pre **meridionálne lúče**

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

- ktorý určuje tzv. **akceptačný kužeľ** optického vlákna ( $n_0$  je index lomu optického vlákna obklopujúceho prostredia)
- **Numerická** (číselná) **apertúra** optického vlákna

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

- A je **relatívny rozdiel indexu lomu** jadra a plášťa

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \text{ pre } \Delta \ll 1$$

- potom pre **numerickú apertúru** NA platí

$$NA \approx n_1 \sqrt{2\Delta}$$

# Šírenie šikmých lúčov

- Šírenie šikmých lúčov (obr. 4) určuje rovnica

$$\sin \theta_{as} = \frac{n_1 \cos \theta_c}{n_0 \cos \varphi} = \frac{n_1}{n_0 \cos \varphi} \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$

- kde  $\theta_{as}$  je maximálny vstupný uhol, alebo akceptačný uhol pre šikmé lúče, čo pomocou NA je

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

# Lúčová teória šírenia svetla (optického žiarenia) v gradientnom optickom vlákne

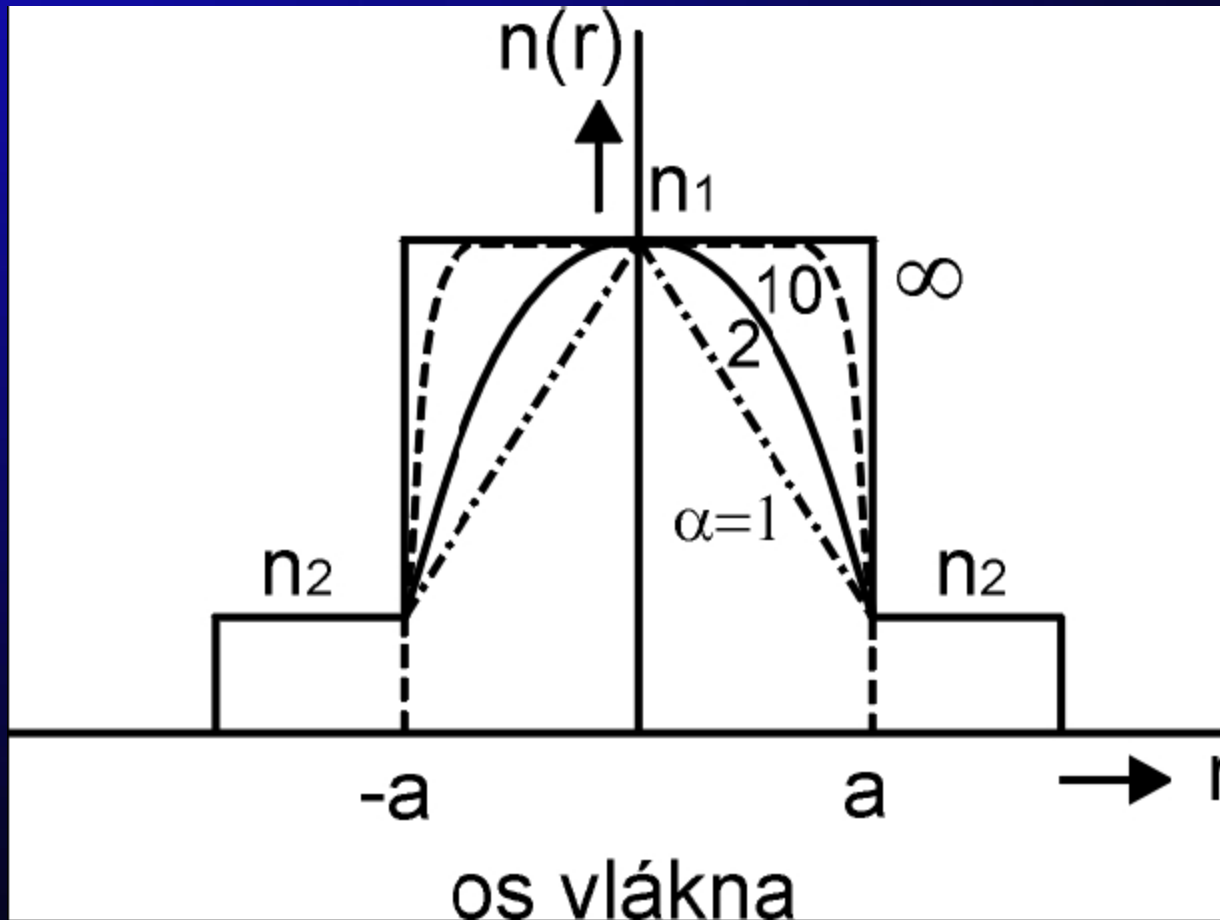
- Priebeh indexu lomu (obr.6) v radiálnom smere má závislosť

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

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

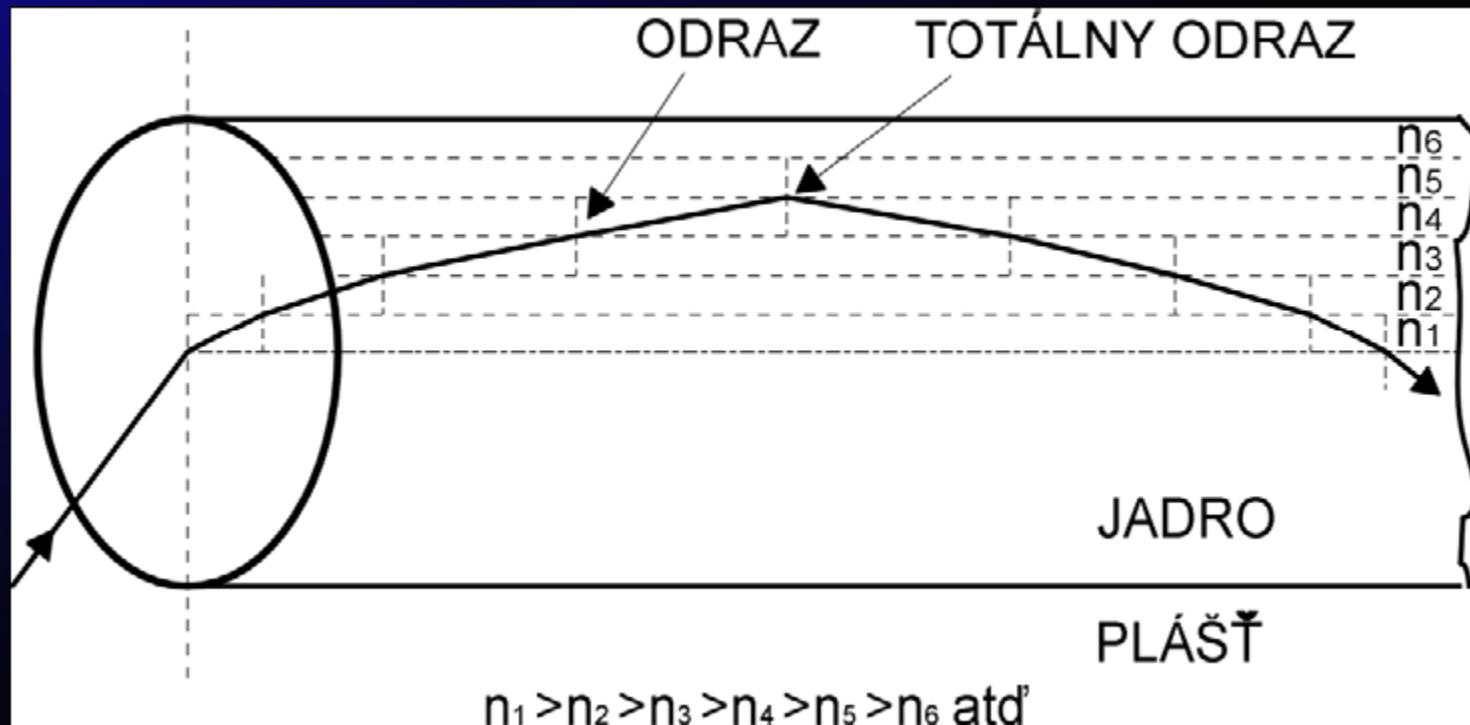
- kde  $\alpha$  je parameter (tzv. parameter profilu) a  $\Delta$  je relatívny rozdiel indexov lomu jadra a plášťa

**Obr. 6** Profil indexu lomu tzv. gradientného optického vlákna



- pre  $\alpha \rightarrow \infty$  dostaneme OV so **skokovou zmenou** indexu lomu,
- pre  $\alpha = 1$  dostaneme tzv. **trojuholníkový profil**,
- pre  $\alpha = 2$  **parabolický profil** (najčastejšie používaný v praxi).

**Obr.7** Šírenie meridionálneho lúča v optickom vlákne s gradientným profilom indexu lomu



# Príklad č. 1

## Zadanie:

- Pre stupňovité optické vlákno s numerickou apertúrou 0,20 a indexom lomu plášťa 1,59 vypočítajte:
  - (a) akceptačný uhol pre meridionálne lúče ak je vlákno vo vode (index lomu 1,33) a vzduchu ( $n_0=1$ );
  - (b) kritický uhol  $\theta_c$  na rozhraní jadro-plášť;
  - (c) akceptačný uhol pre šikmé lúče ak je vlákno vo vzduchu a uhol odrazu týchto lúčov je  $2\phi=100^\circ$  resp.  $150^\circ$ .

## Riešenie:

- (a) voda  $8^\circ 38' 55''$ , vzduch  $11^\circ 32' 13''$  = so vzrastajúcim indexom lomu prostredia  $n_0$  akceptačný uhol meridionálnych lúčov **klesá**
- (b)  $82^\circ 50' 20''$
- (c)  $2\phi=100^\circ - 18^\circ 7' 41''$ ,  $2\phi=150^\circ - 50^\circ 36' 2''$  = so vzrastajúcim uhlom odrazu  $2\phi$  akceptačný uhol šikmých lúčov **klesá**, akceptačný uhol šikmých lúčov je **väčší** ako akceptačný uhol meridionálnych lúčov

## Príklad č. 2

Zadanie:

- Mnohovidové gradientné optické vlákno má vo vzduchu akceptačný uhol  $8^\circ$ . Vypočítajte relatívny rozdiel indexov lomu medzi osou jadra a plášťom pre toto vlákno, ak index lomu na osi jadra je 1,52.

Riešenie:

- $(\Delta = 4,24 \cdot 10^{-3} = 0,42\%)$



## Príklad č. 3

Zadanie:

- Rýchlosť svetla v jadre stupňovitého optického vlákna je  $2,01 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$  a kritický uhol na rozhraní jadro-plášť je  $80^\circ$ . Vypočítajte numerickú apertúru a akceptačný uhol vlákna vo vzduchu, ak uvažujete priblíženie geometrickej optiky. Rýchlosť svetla vo vákuu je  $2,998 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ .

Riešenie:

- $(\text{NA}=0,25877, \theta_a=14^\circ 59' 50'')$

**Ďakujem za pozornosť**