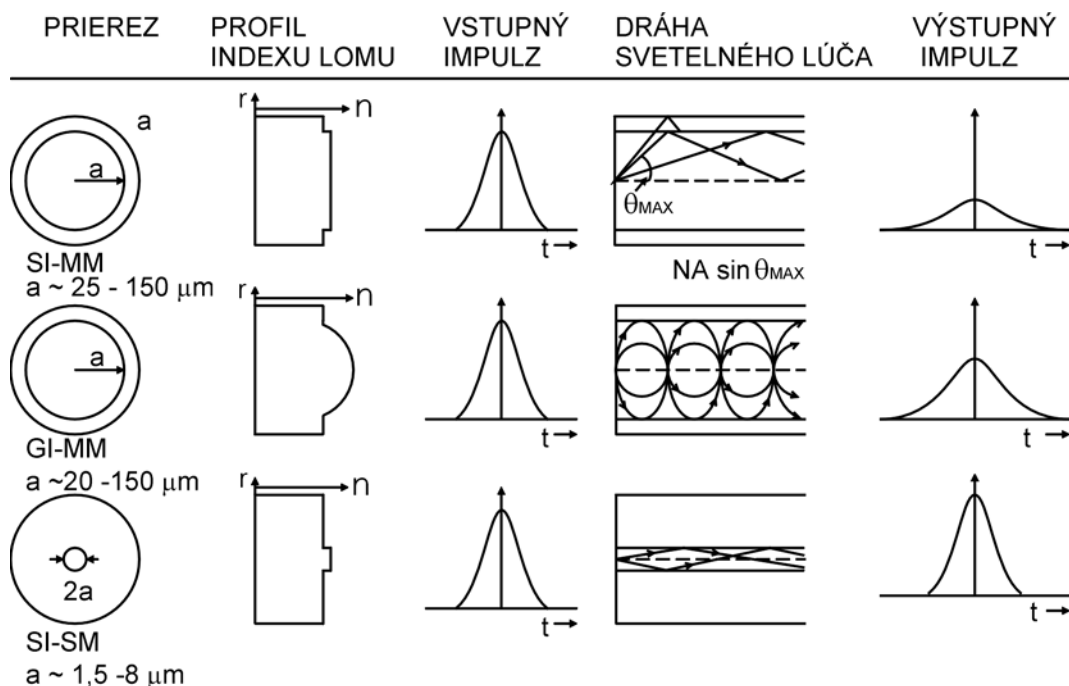


OPTICKÉ VLNOVODY

Pre komunikačné účely sa v súčasnosti najčastejšie používajú tri typy vlákien (**obr. 1**) :

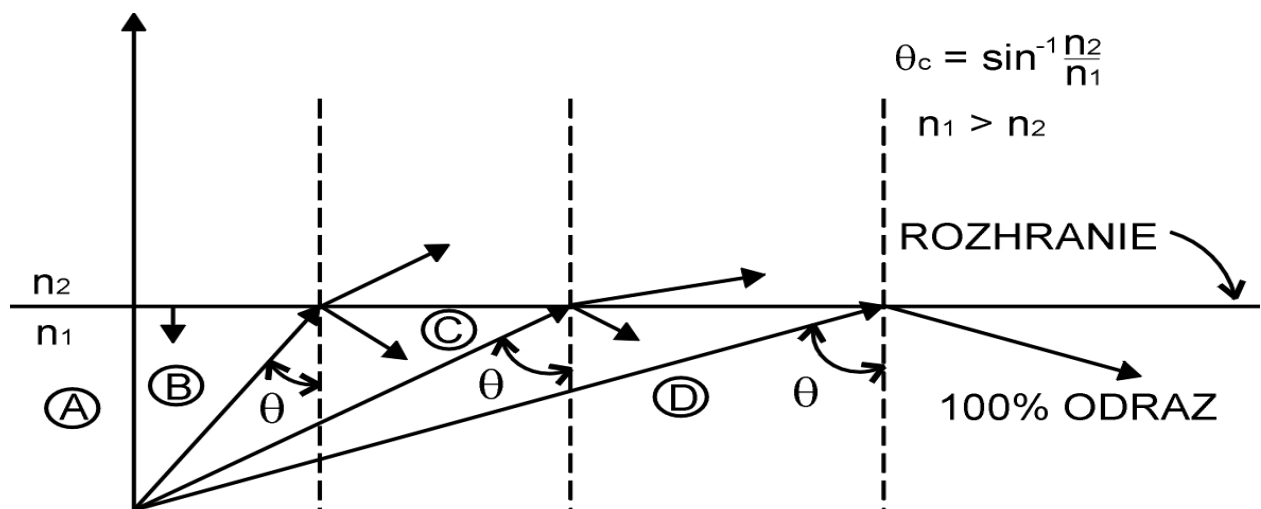
- mnohovidové vlákna so skokovitým (stupňovitým) profilom indexu lomu, tzv. **stupňovité optické vlákna** (SI-MM z angl. Step Index Multi Mode)
- mnohovidové vlákna so spojitým (gradientným) profilom indexu lomu, tzv. **gradientné optické vlákna** (GI-MM z angl. Graded Index Multi Mode),
- jednovidové 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 (optického žiarenia) v stupňovitom optickom vlákne:

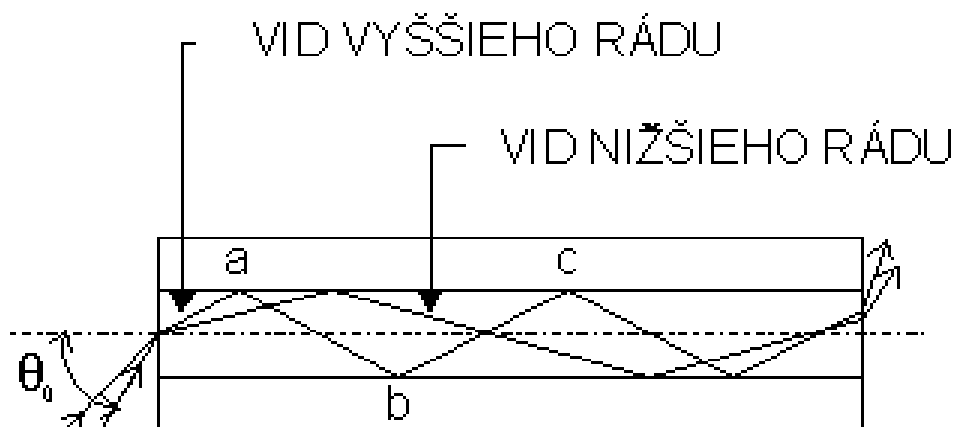
- nech index lomu jadra je n_1 a index lomu plášťa je n_2 , pričom $n_2 < n_1$,
- svetelné lúče, šíriace sa jadrom, môžu dopadať na rozhranie jadro-plášť SI-MM (**obr. 2**) pod rôznym uhlom,
- vo vlákne sa môžu šíriť len také lúče, pre ktoré je uhol dopadu $\theta > \theta_c$ (kde θ_c je určená vzťahom).



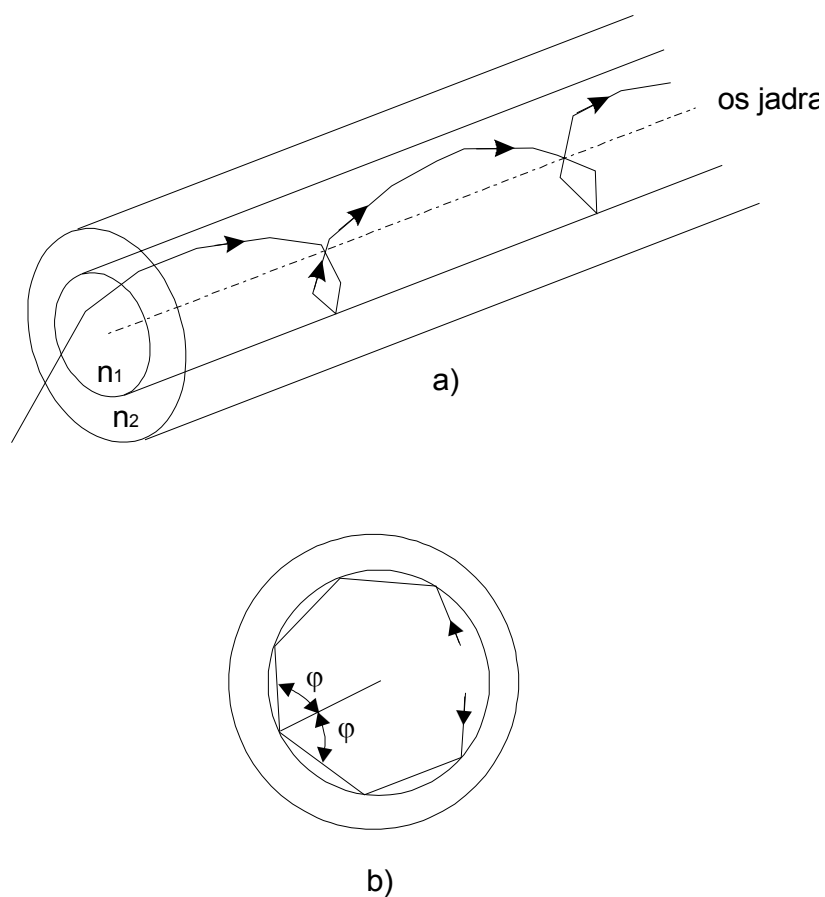
Obr. 2 Úplný odraz na rozhraní jadro-plášť

Klasifikácia lúčov:

- **Meridionálne lúče**, ktoré sa šíria v rovinách, prechádzajúcich cez os vlákna (**obr.3**). Lúče pretínajú dvakrát os vlákna počas periódy odrazov.
- **Šikmé (kosé) lúče**, ktoré neprechádzajú cez os vlákna (**obr.4**) a šíria sa po špirálovej dráhe.

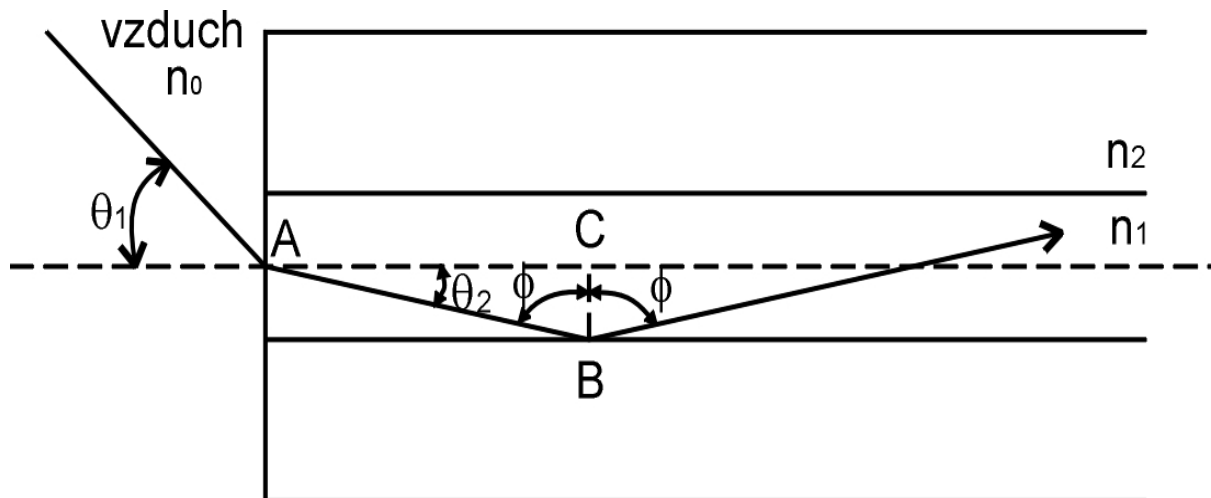


Obr.3 Šírenie meridionálnych lúčov v SI-MM vlákne



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

Šírenie meridionálneho lúča (**obr. 5**) určuje



Obr.5 Dráha meridionálneho lúča

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

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

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

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

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

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 vidov (**obr. 4**)

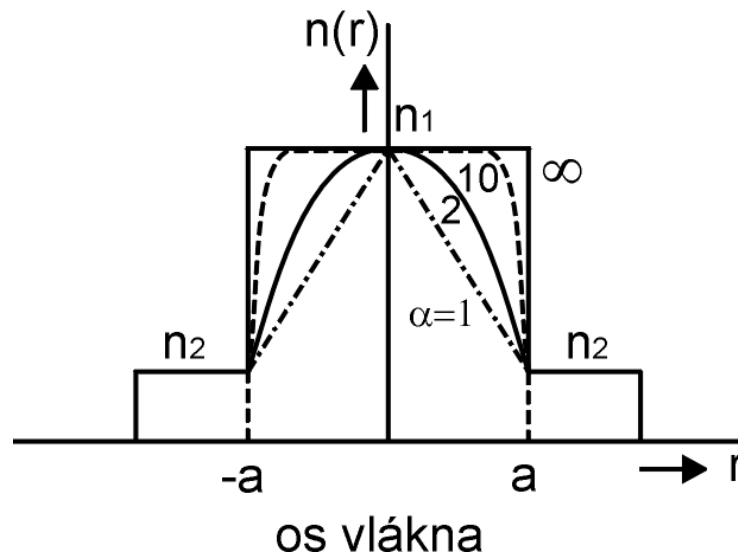
$$\sin \theta_{as} = \frac{n_1 \cos \theta_c}{n_0 \cos \varphi} = \frac{n_1}{n_0 \cos \varphi} \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$

- kde θ_{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:



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

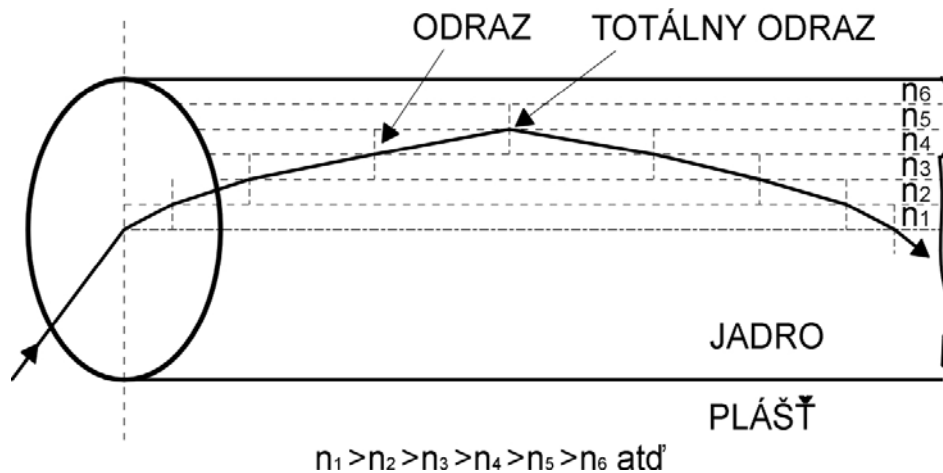
Priebeh indexu lomu (**obr.6**) v radiálnom smere má závislosť

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

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

- kde α je parameter (tzv. **parameter profilu**)
- Δ je relatívny rozdiel indexov lomu jadra a plášťa
- 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).

Šírenie meridionálneho lúča v optickom vlákne s gradientným profilom indexu lomu (**obr.7**)



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

PRÍKLADY

Príklad 1 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 θ_c na rozhraní jadro-plášť, (c) akceptačný uhol pre šikmé lúče ak je vlákno vo vzduchu a uhol odrazu týchto lúčov je $2\varphi=100^\circ$ resp. 150° .

((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) $2\varphi=100^\circ - 18^\circ 7' 41''$, $2\varphi=150^\circ - 50^\circ 36' 2''$ = so vzrastajúcim uhlom odrazu 2φ akceptačný uhol šikmých lúčov **klesá**, akceptačný uhol šikmých lúčov je **väčší** ako akceptačný uhol meridionálnych lúčov)

Príklad 2 Mnohovidové gradientné optické vlákno má vo vzduchu akceptačný uhol 8° . Vypočítajte relatívny rozdiel indexov lomu medzi osou jadra a plášťom pre toto vlákno, ak index lomu na osi jadra je 1,52.

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

Príklad 3 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° . Vypočítajte numerickú apertúru a akceptačný uhol vlákna vo vzduchu, ak uvažujete priblíženie geometrickej optiky. Rýchlosť svetla vo vákuu je $2,998 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

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

PRÍKLADY na precvičenie doma

Príklad 1 Stupňovité optické vlákno s indexom lomu jadra 1,44 a plášťa 1,42 má dostatočný priemer jadra, t.j. možno pre toto vlákno použiť lúčovú teóriu šírenia svetla. Vypočítajte akceptačný uhol tohoto vlákna vo vzduchu pre šikmé lúče, ktoré menia svoj smer pri každom odraze o 130° . ($\theta_{as} = 34,6^\circ$)

Príklad 2 V stupňovitom optickom vlákne s veľkým priemerom jadra (v porovnaní s vlnovou dĺžkou prenášaného svetla) sú šikmé lúče vo vzduchu naviazané len do maximálneho uhla dopadu 42° . Nech tieto šikmé lúče pri každom odraze na rozhraní jadro-plášť menia smer šírenia o 90° . Vypočítajte pre toto vlákno akceptačný uhol pre meridionálne lúče vo vzduchu. ($\theta_{as} = \sin^{-1} NA = \sin^{-1} 0,473 = 28,2^\circ$)

Príklad 3 Optické vlákno vo vzduchu má $NA = 0,4$. Porovnajme akceptačný uhol meridionálnych lúčov s akceptačným uhlom tých šikmých lúčov, ktoré menia svoj smer šírenia o 100° pri každom odraze na rozhraní jadro-plášť. ($\theta_a = 23,6^\circ$, $\theta_{as} = 38,5^\circ$)