



# Prenosové médiá 04

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.

([lubos.ovsenik@tuke.sk](mailto:lubos.ovsenik@tuke.sk); tel. 421 55 602 4336)

[https://data.kemt.fei.tuke.sk/PM\\_PS\\_Prenosove\\_media/](https://data.kemt.fei.tuke.sk/PM_PS_Prenosove_media/)

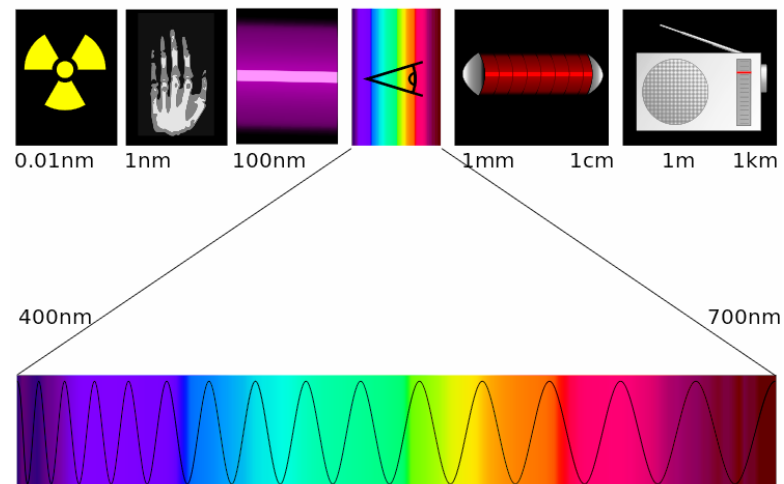
# PEVNÉ OPTICKÉ PRENOSOVÉ MÉDIÁ 1

## (OPTICKÉ VLNOVODY)

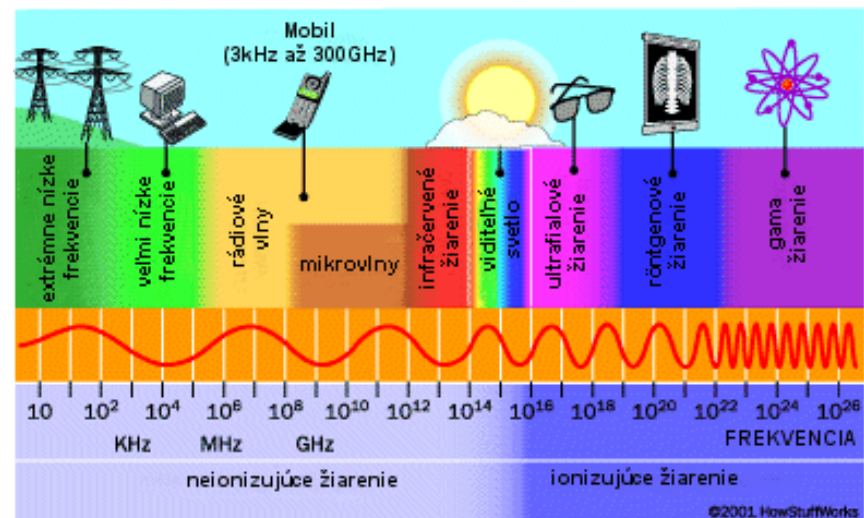
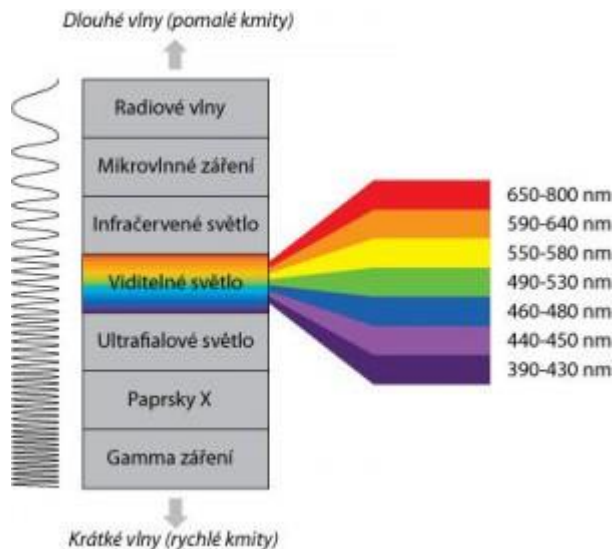
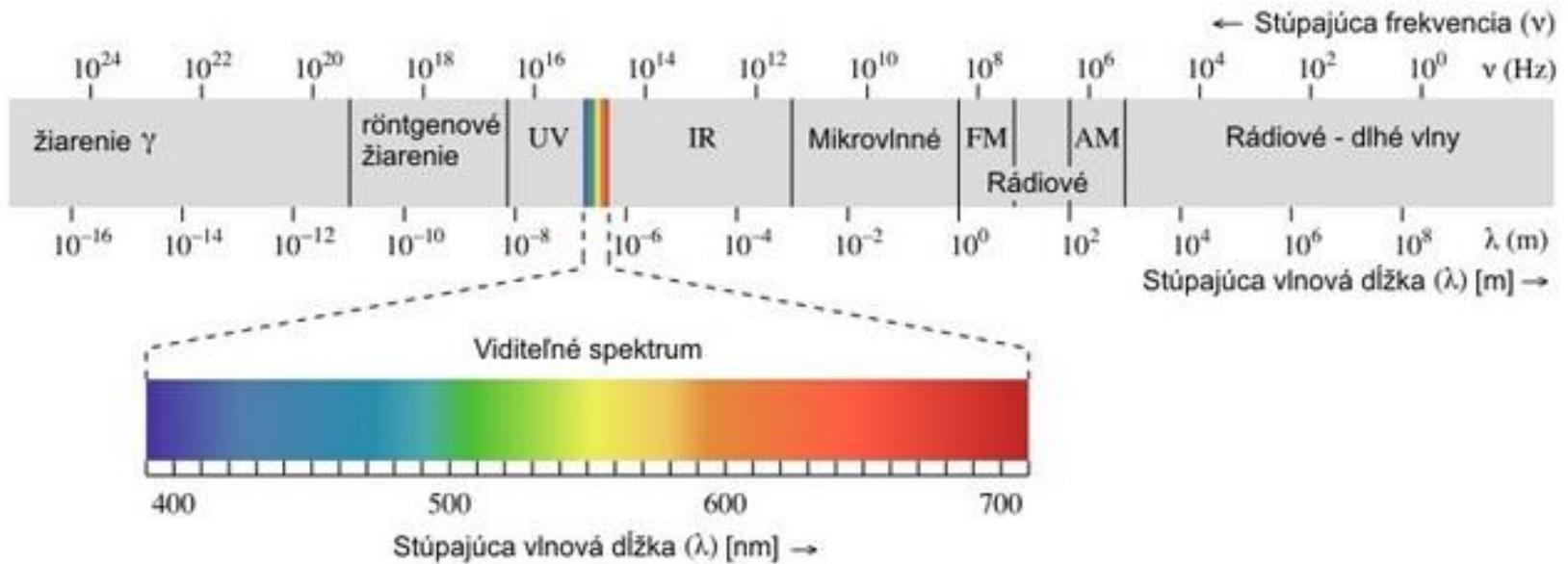
- Úvod do optických prenosových médií
  - Princíp vedenia svetla optickým vláknom
  - Lom, odraz a totálny odraz svetla
- Zloženie optického vlákna
  - Konštrukcia optického vlákna (voľná, tesná)
  - Rozdelenie optických vlákien
  - Mnohovidové optické vlákna
  - Jednovidové optické vlákna
  - Odporúčania ITU – T (G.652-G657)
- Výhody použitia optického vlákna
- Plastové optické vlákna

# Úvod do optických prenosových médií

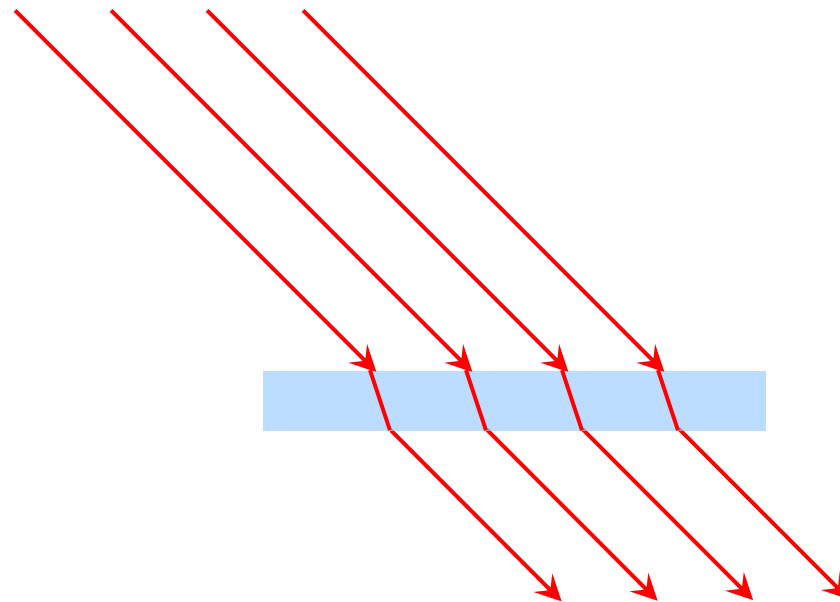
- **metalické prenosové médiá** majú len malú rezervu pre zvyšovanie prenosovej kapacity
  - **krútená dvojlinka** je využívaná „na doraz“
- **pevné optické prenosové médiá (optické vlákna)** majú omnoho väčšiu rezervu
  - signály o vysokých frekvenciách – svetlo  $10^{14}$  MHz (850-1550 nm)
  - vlnový rozsah  $0,8-1,7\mu\text{m} = 375 - 176$  THz, teoreticky použiteľná šírka pásma je teda cca 200THz
  - kladie malý odpor prenášanému signálu
  - malý rozmer, nízka váha
  - nič nevyžarujú
  - imúnne voči vonkajšiemu elektromag. rušeniu (EMI)



# Obr. Frekvenčné pásmo optického žiarenia (Elektromagnetické spektrum)

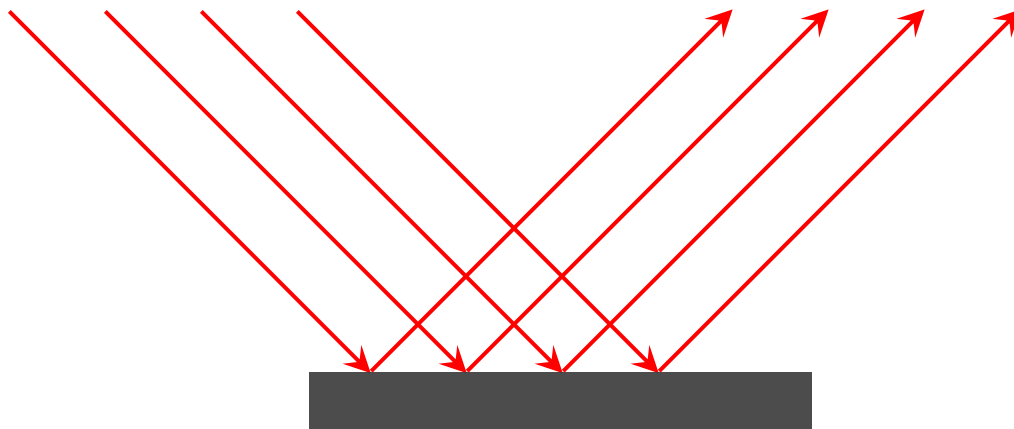


- Optické prostredie:
  - je každé prostredie, ktorým sa svetlo šíri
- Optické prostredie môže byť:
  - priehľadné



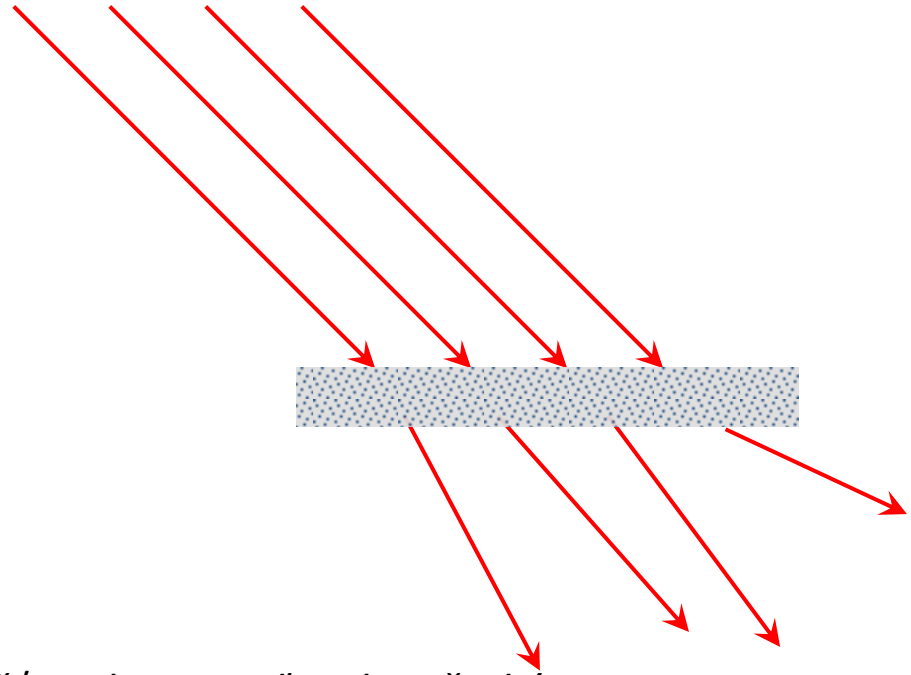
- **Priehľadné prostredie** svetlo prepúšťa bez podstatného zoslabenia, cez toto prostredie vidíme

- Optické prostredie:
  - je každé prostredie, ktorým sa svetlo šíri
- Optické prostredie môže byť:
  - priehľadné
  - **nepriehľadné**



- **Nepriehľadné prostredie** svetlo neprepúšťa, pohlcuje ho, alebo odráža

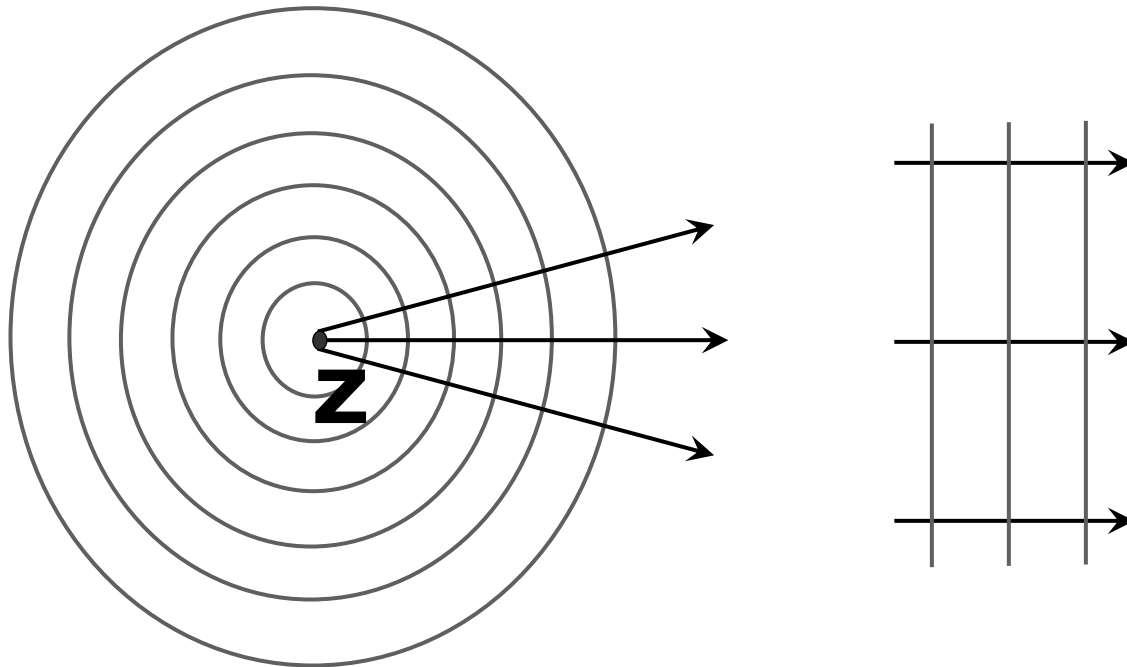
- Optické prostredie:
  - je každé prostredie, ktorým sa svetlo šíri
- Optické prostredie môže byť:
  - priehľadné
  - nepriehľadné
  - **priesvitné**



- **Priesvitné prostredie** svetlo prepúšťa, ale rozptyľuje ho všetkými smermi

- Základné princípy šírenia svetla:

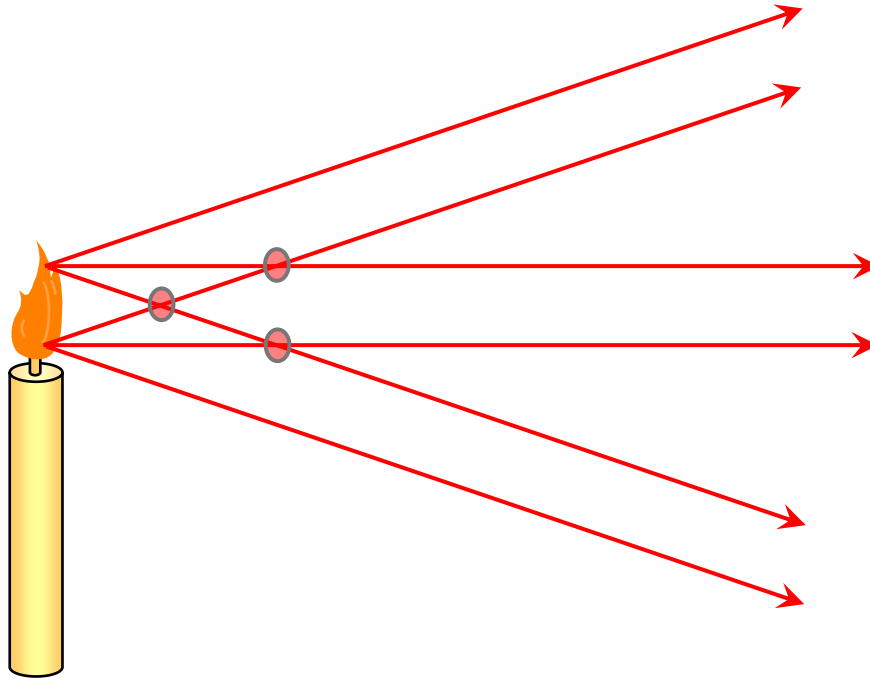
- Princíp priamočiareho šírenia svetla



- V rovnorodom (homogénnom) optickom prostredí sa svetlo šíri priamočiarno



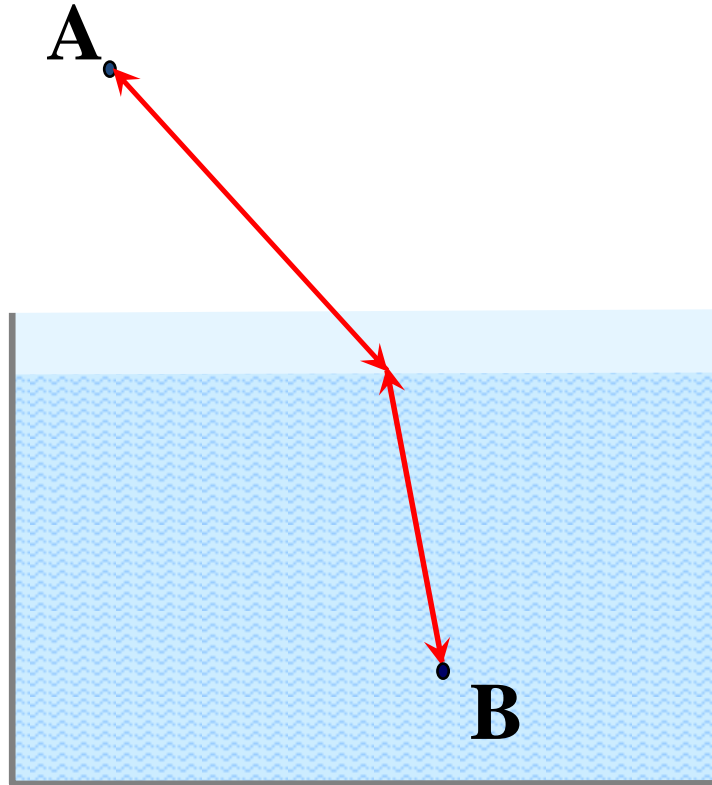
- Základné princípy šírenia svetla:
  - Princíp nezávislosti chodu svetelných lúčov



- Ak sa svetelné lúče pretínajú, neovplyvňujú sa a **postupujú prostredím nezávisle** jeden od druhého

- Základné princípy šírenia svetla:

– Princíp zámennosti chodu svetelného lúča



- Po tej istej trajektórii **môže svetlo prejsť** oboma smermi

- Základné princípy šírenia svetla:
  - **Princíp konštantnej rýchlosti svetla vo vákuu** (Rýchlosť svetla vo vákuu je univerzálnou konštantou)

$$c = 299792458 \text{ m.s}^{-1}$$

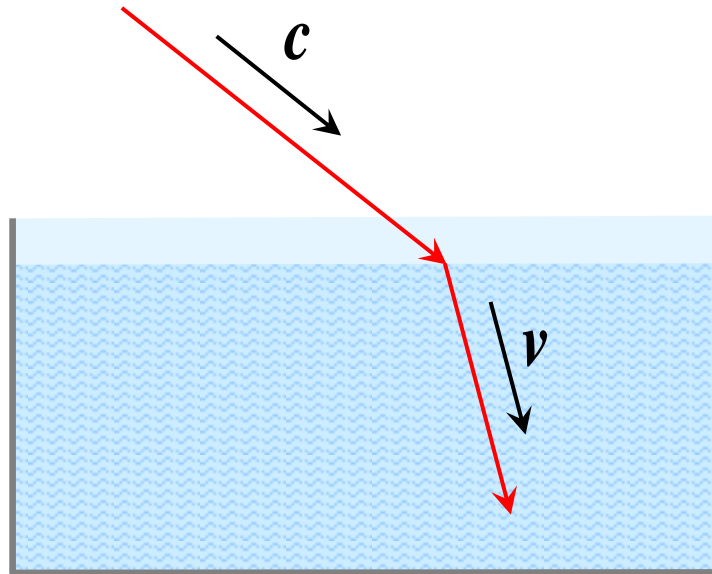
$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$c = 300\,000 \text{ km.s}^{-1}$$

- V iných prostrediach závisí rýchlosť svetla od fyzikálnych vlastností prostredia (napr. teploty, tlaku,...) a od frekvencie svetla

- Základné princípy šírenia svetla:

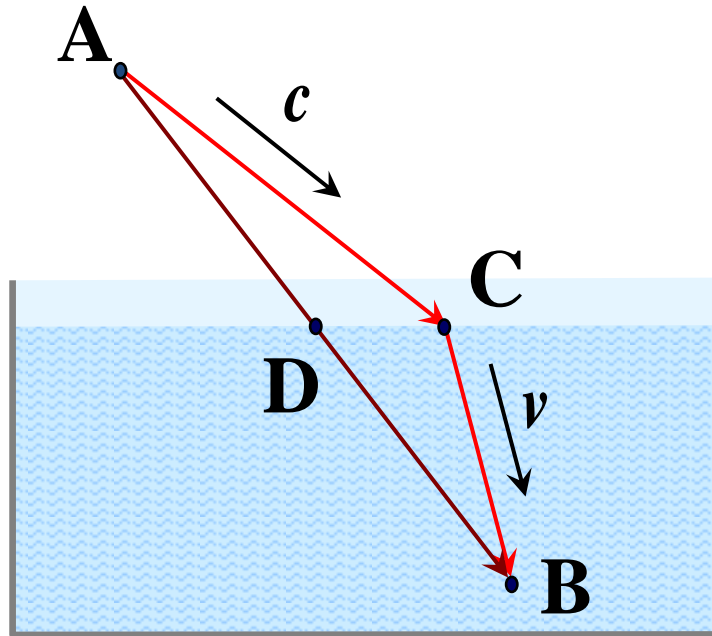
– **Princíp konštantnej rýchlosti svetla vo vákuu** (Rýchlosť svetla vo vákuu je univerzálnou konštantou)



$$n = \frac{c}{v}$$

- Absolútny index lomu látky ( $n$ ) udáva, **koľkokrát je rýchlosť svetla v látke menšia ako rýchlosť svetla vo vákuu**

- Základné princípy šírenia svetla:
  - Fermatov princíp



$$AD \rightarrow c$$

$$DB \rightarrow v$$

$$AC \rightarrow c$$

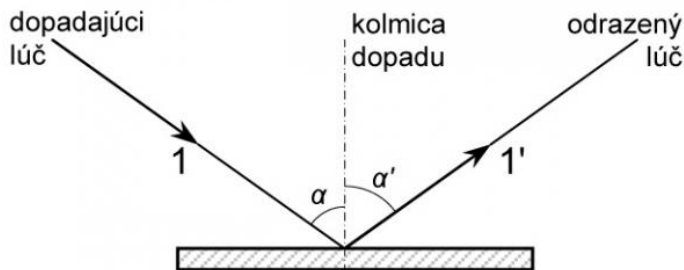
$$CB \rightarrow v$$

- *Po trajektórii **ACB** ide svetlo väčšou rýchlosťou po dlhšom úseku*
- Medzi dvoma bodmi sa **svetlo šíri po takej trajektórii, ktorú prejde za najkratší čas**

# Princíp vedenia svetla optickým vláknom

- svetlo sa šíri všesmerovo, ale my ho chceme „viest“
  - využíva sa zákon o odraze a lome svetla
  - cieľom je dosiahnuť úplný (totálny) odraz svetla
- pri vhodne zvolenom uhle dopadu bude dochádzať len k odrazom a nie k lomu svetla

## zákon odrazu



$\alpha$  - uhol dopadu       $\alpha'$  - uhol odrazu

**zákon odrazu:**

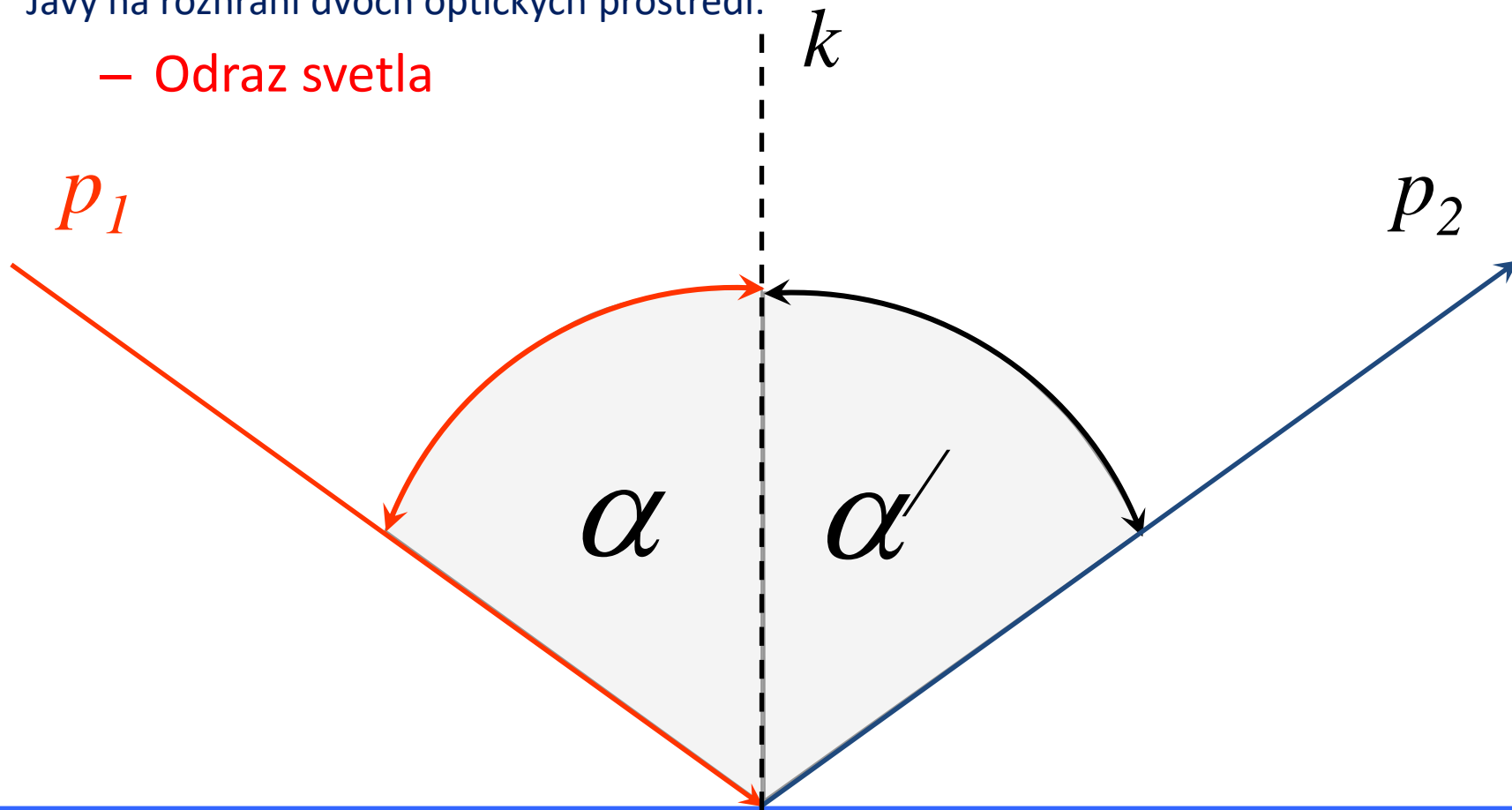
Odrazený lúč zostáva v rovine dopadu a veľkosť uhla odrazu sa rovná veľkosti uhla dopadu.

Rovina dopadu je rovina určená kolmicou dopadu a dopadajúcim lúčom.



- Javy na rozhraní dvou optických prostředí:

– Odraz světla



$k$  - kolmice dopadu

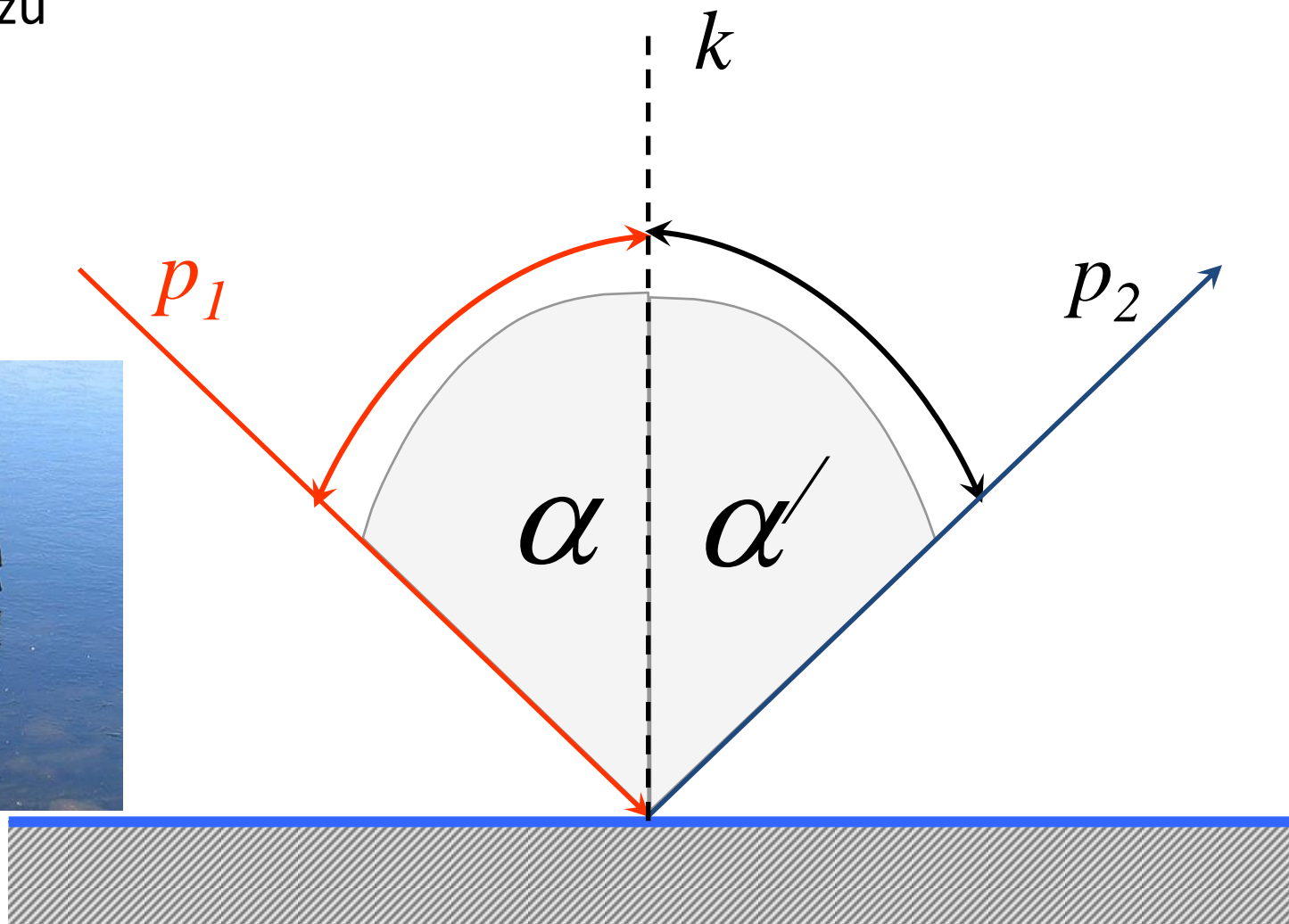
$p_1$  - dopadající lúč

$p_2$  - odražený lúč

$\alpha$  - uhol dopadu

$\alpha'$  - uhol odrazu

# Zákon odrazu



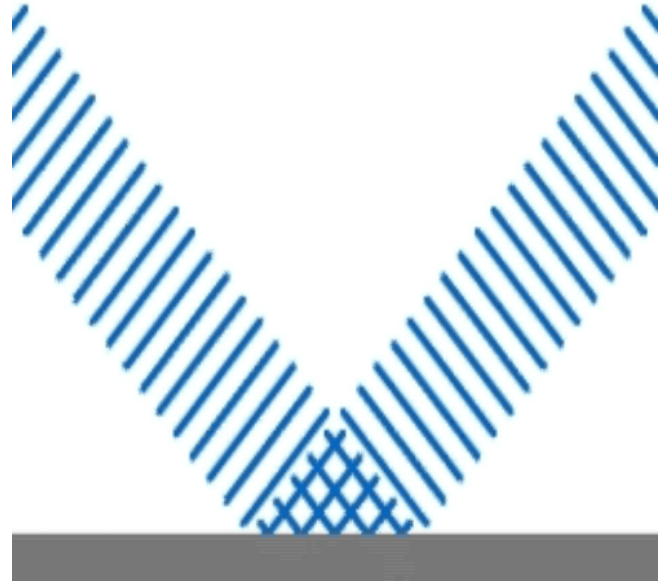
$$\alpha = \alpha'$$

Uhol odrazu vlnenia sa rovná uhlu dopadu.

Odrazený lúč leží v rovine dopadu.



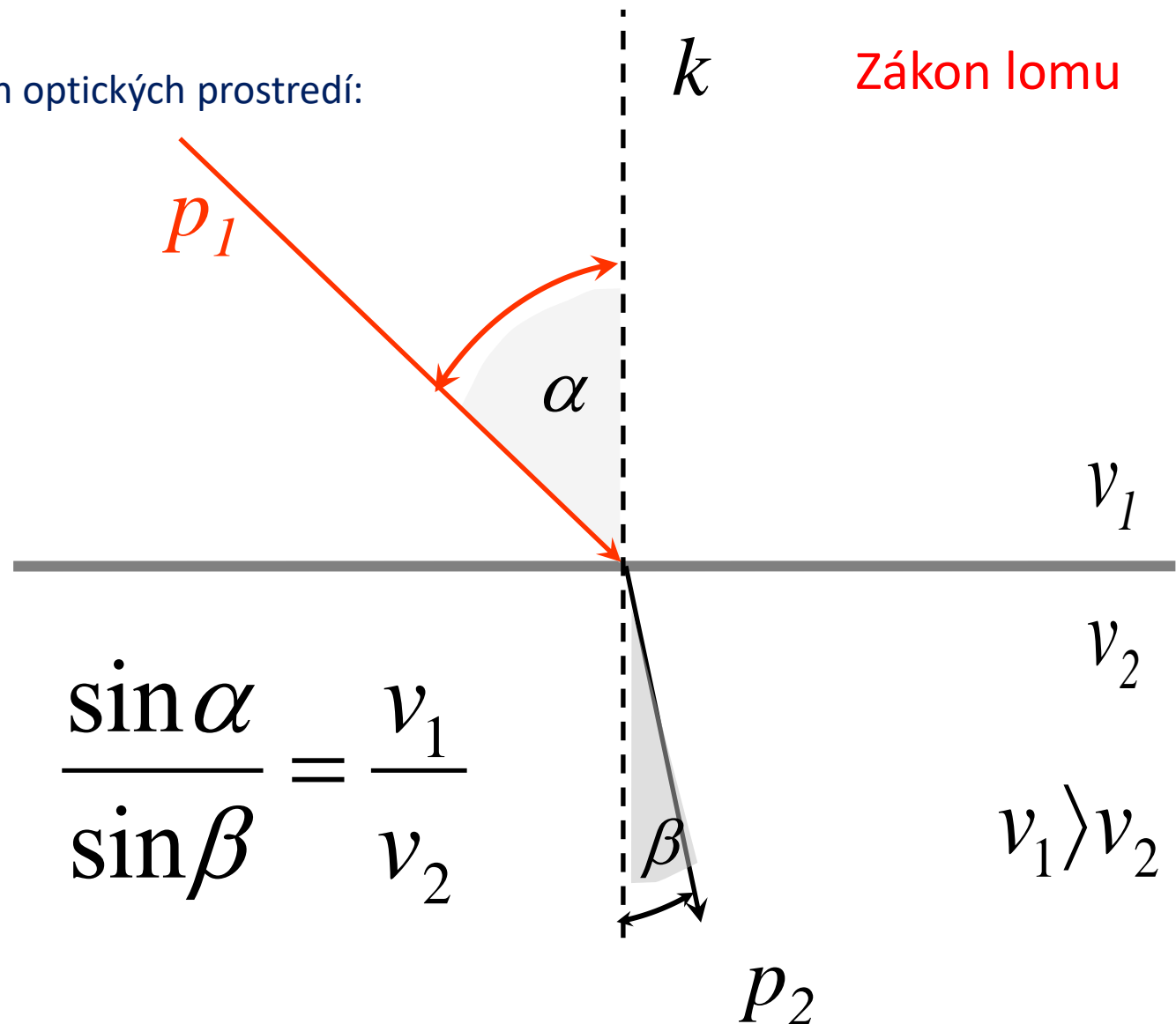
# Odras vlnenia



- Javy na rozhraní dvoch optických prostredí:

– Lom svetla

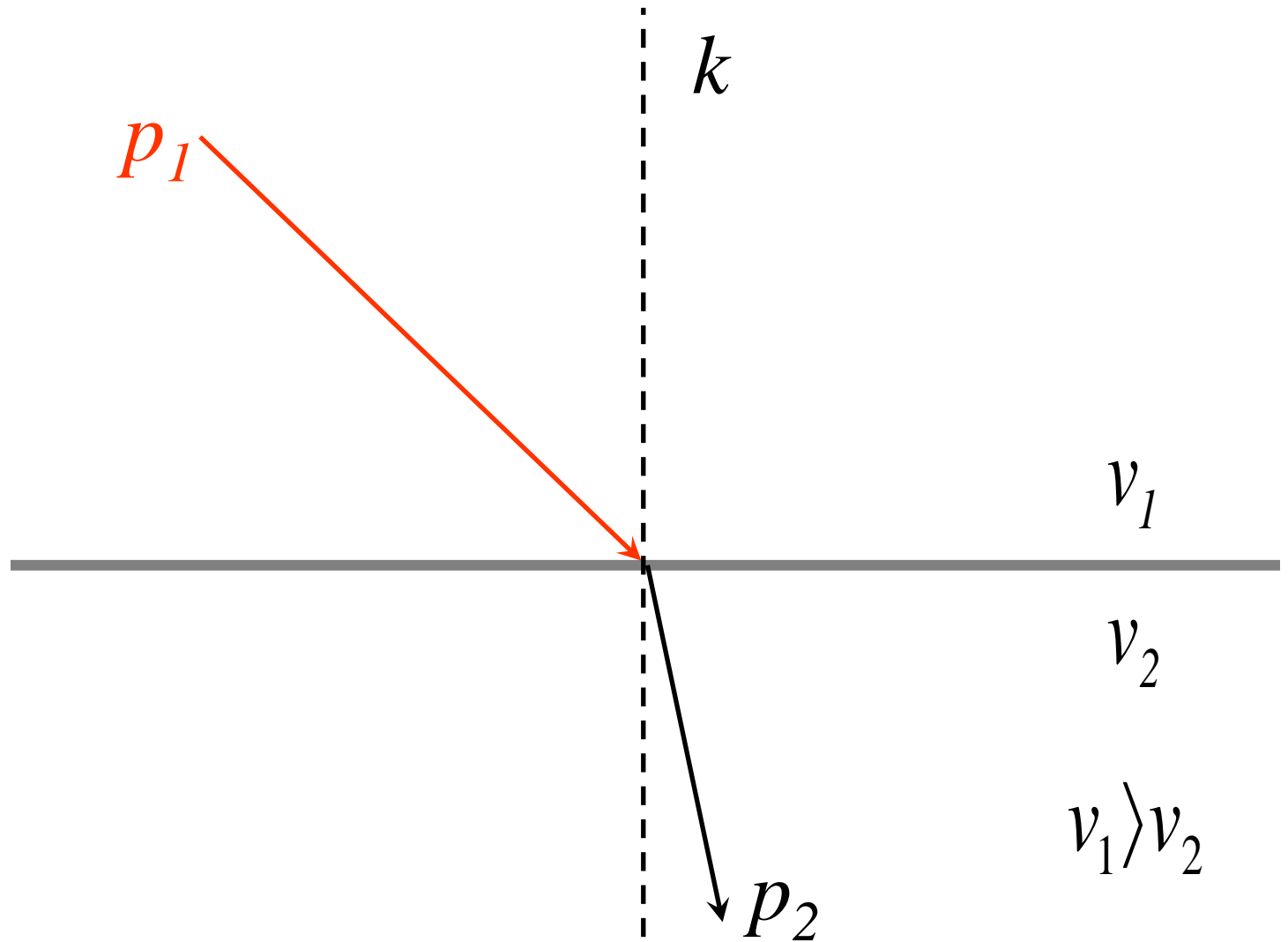
Zákon lomu



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

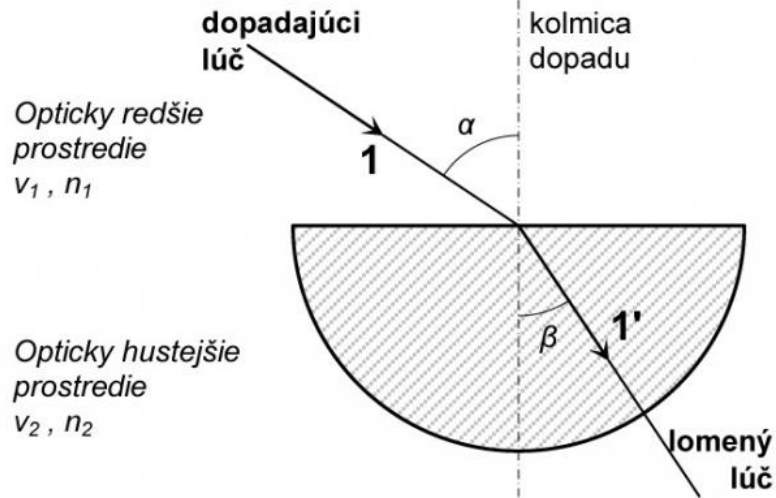
$$v_1 > v_2$$

Pomer sínusu uhla dopadu k sínusu uhla lomu je pre dve dané prostredia veličina stála a rovná sa pomeru rýchlostí v oboch prostrediach

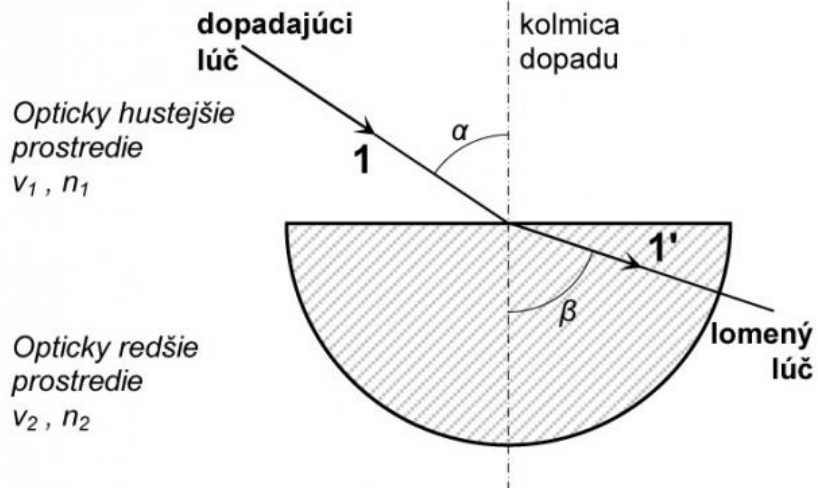


Keď má svetlo v jednom prostredí väčšiu rýchlosť ako v druhom, je prvé prostredie vzhľadom na druhé **opticky redšie** a druhé vzhľadom na prvé **opticky hustejšie**

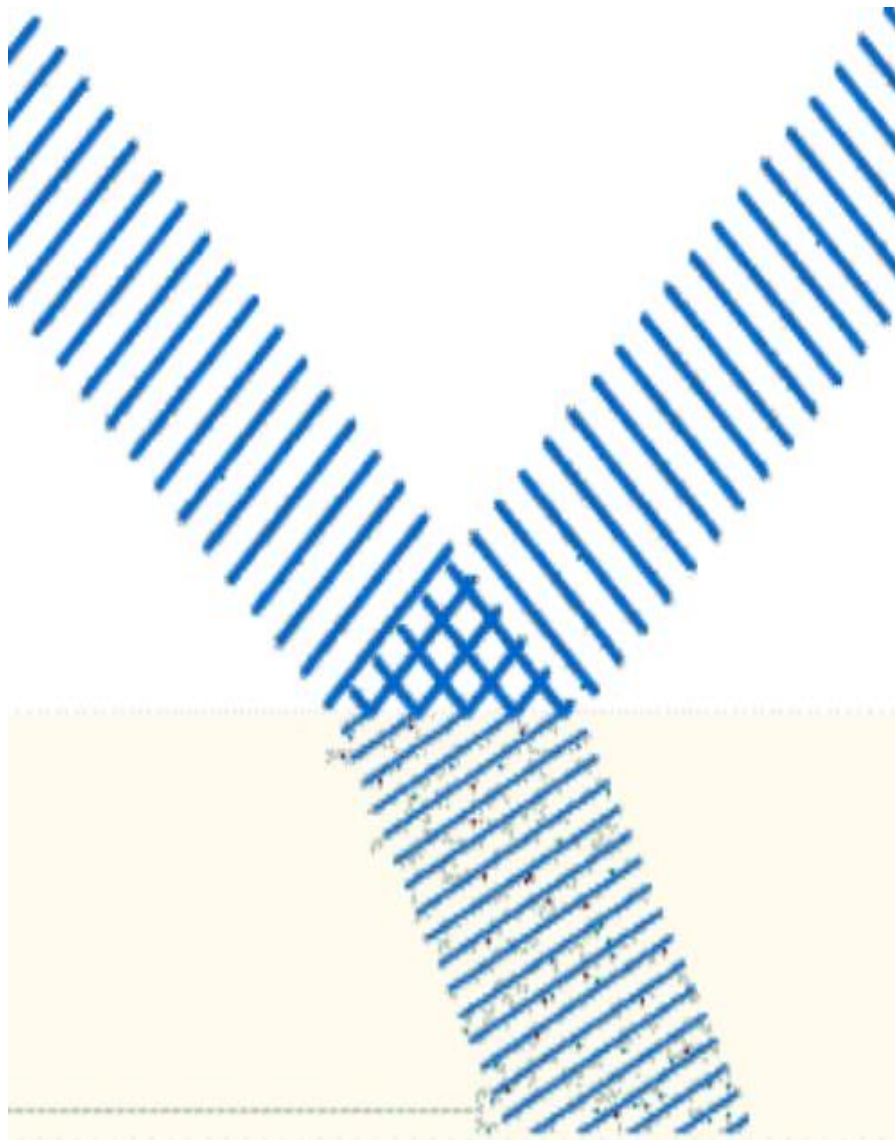
## lom ku kolmici



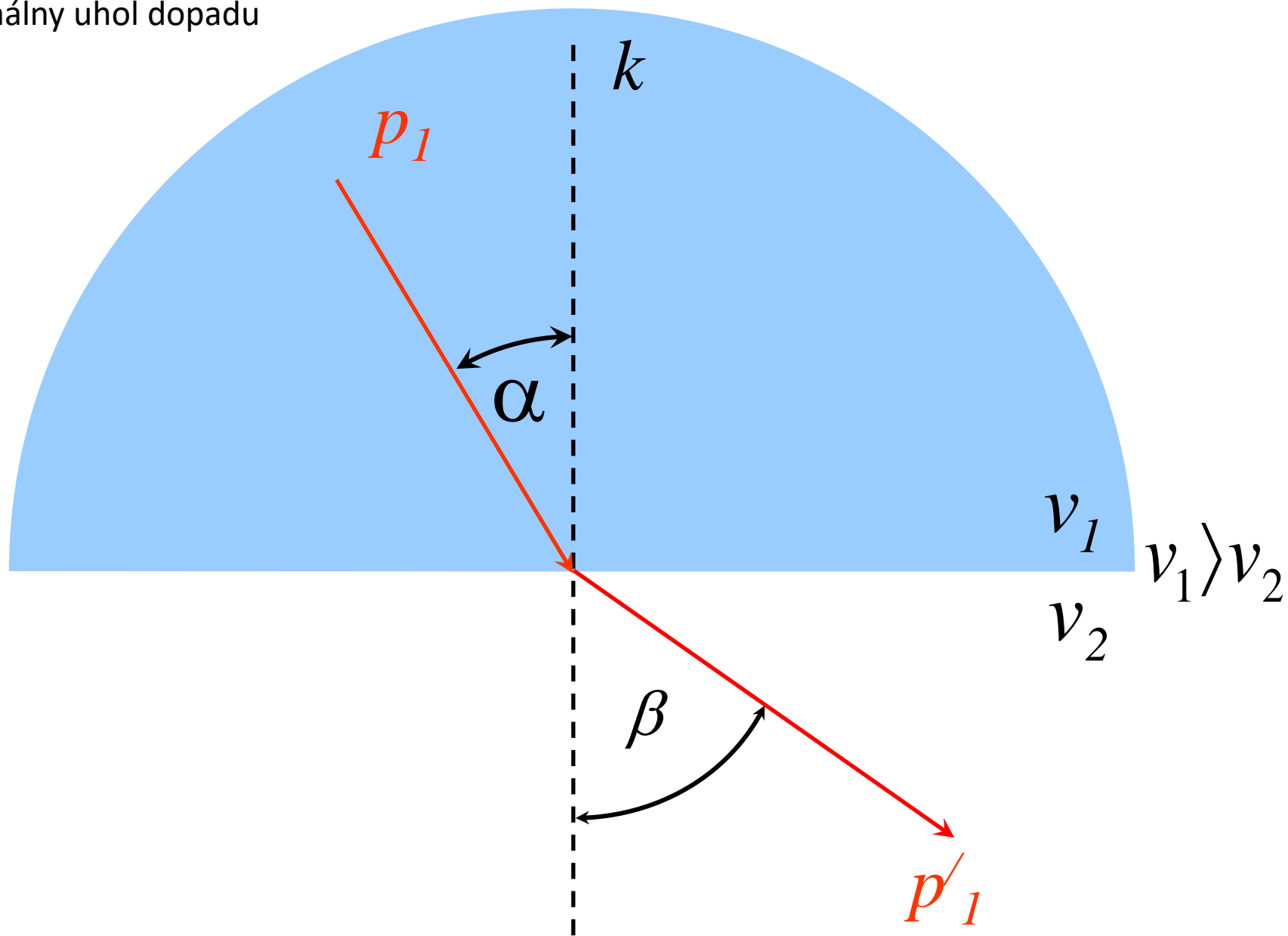
## Lom od kolmice



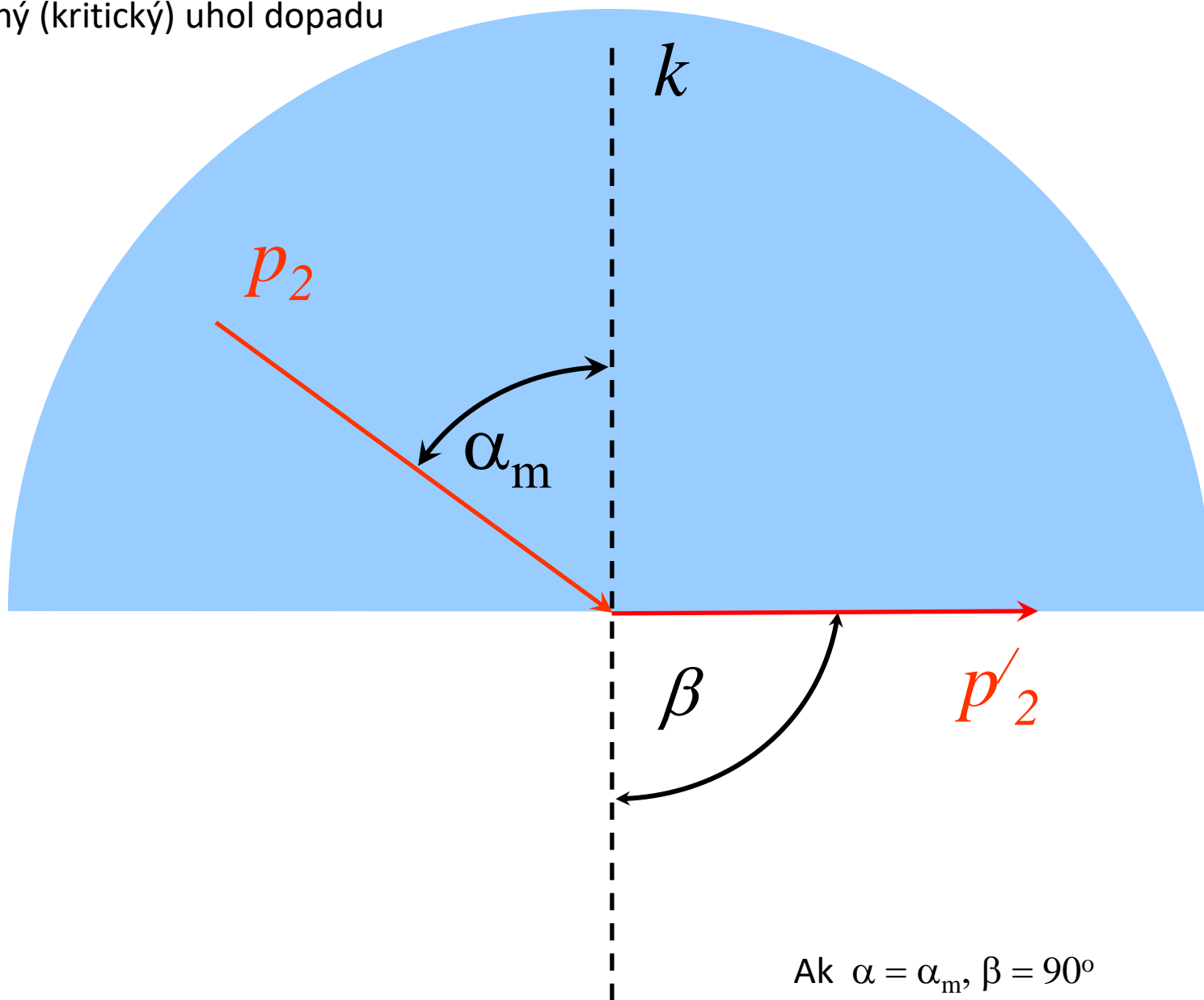
## Odraz a lom vlnenia



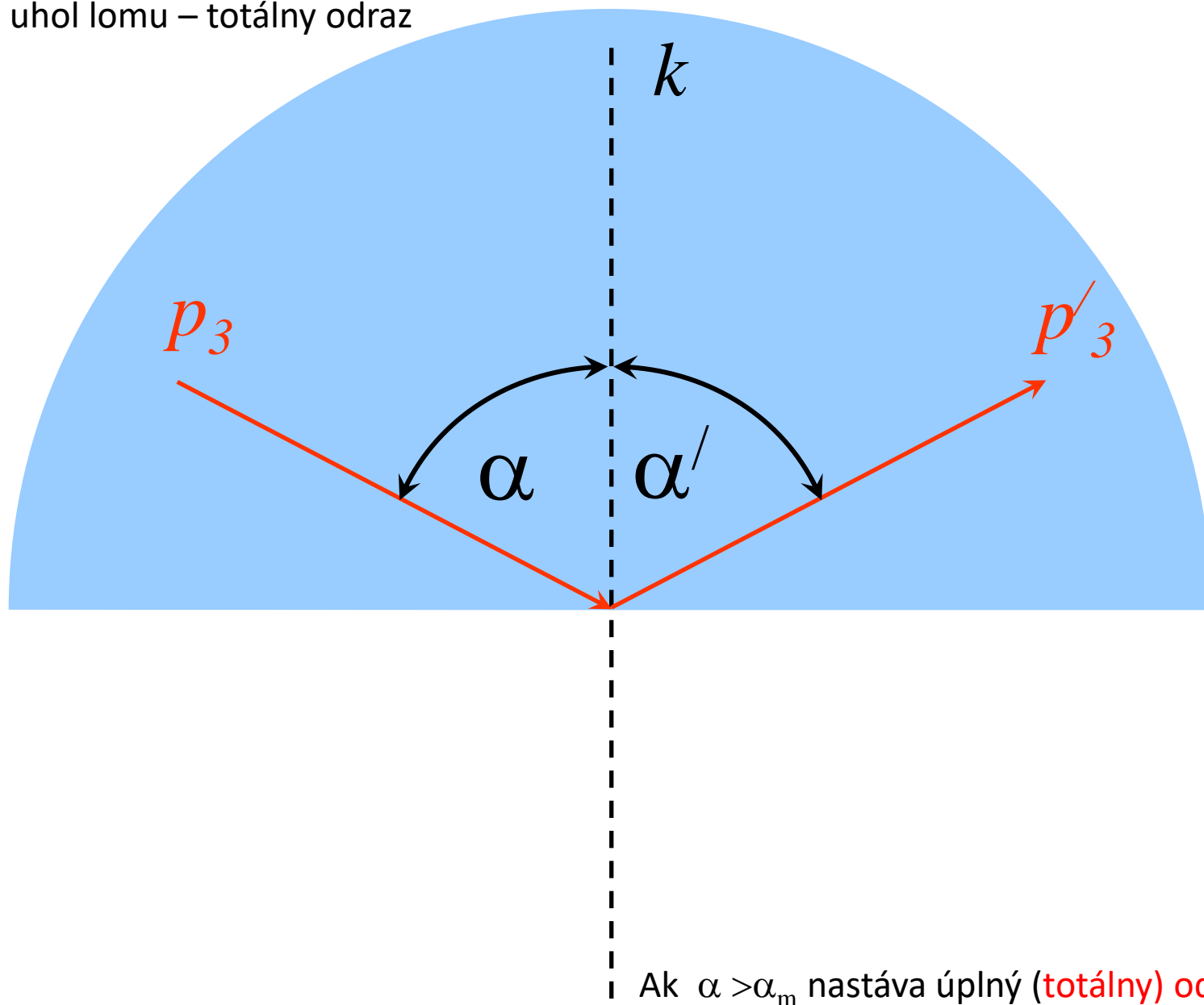
# Normálny uhol dopadu



Medzný (kritický) uhol dopadu



## Nulový uhol lomu – totálny odraz

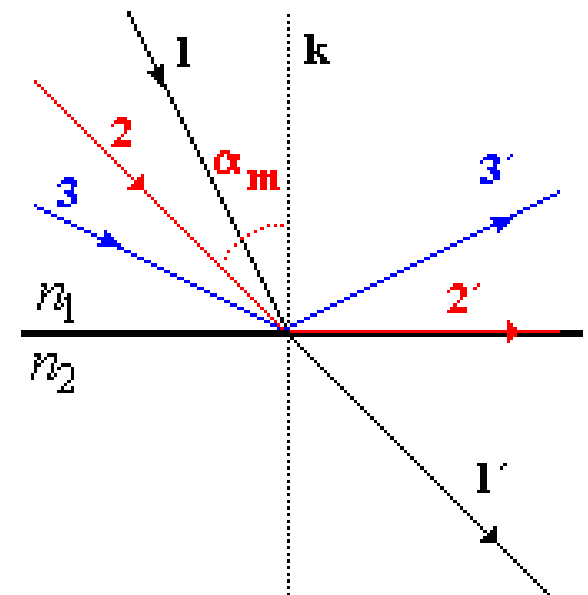
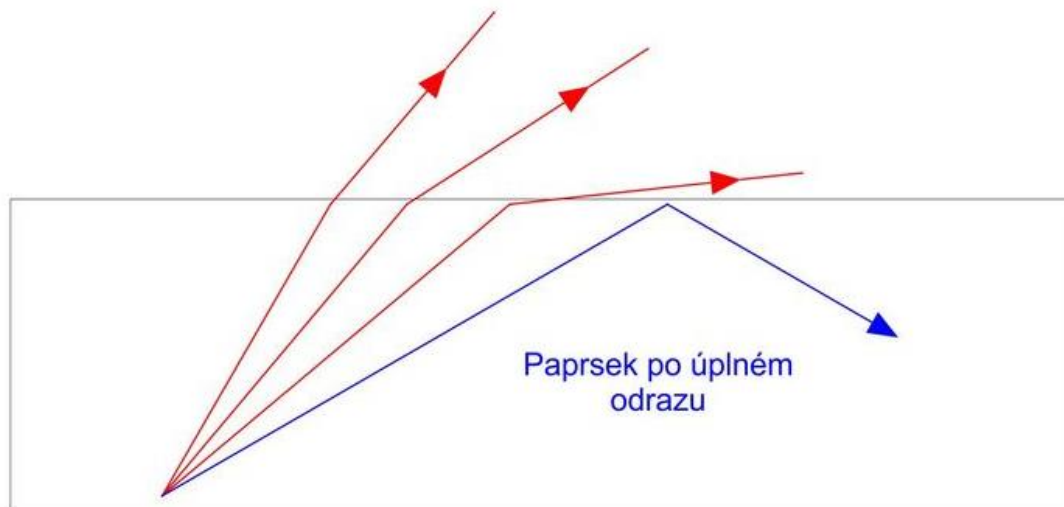


Ak  $\alpha > \alpha_m$  nastáva úplný (totálny) odraz svetla

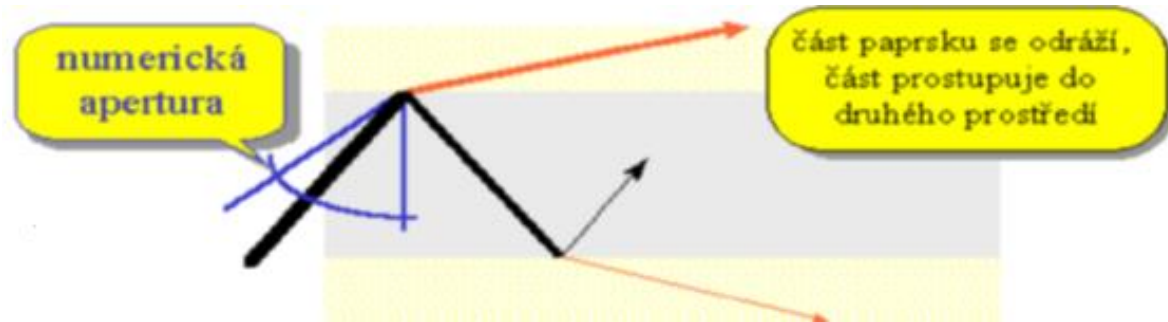


## Úplný (totálny) odraz

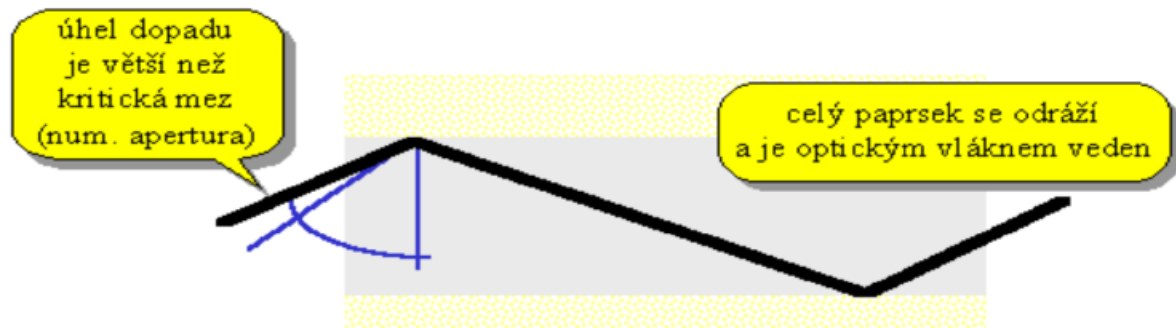
- pri dopade svetla na rozhranie dvoch rôznych prostredí môže, v závislosti na uhla dopadu, prísť k **dvom javom**:
  - časť dopadajúceho svetla môže **vstúpiť do druhého prostredia**, kde dôjde k jeho lomu a zvyšná časť svetla je **odrazená späť do pôvodného prostredia** (Fresnelov odraz)
  - alebo môže prísť k **totálnemu odrazu**, kedy **všetko** dopadajúce svetlo je **odrazené späť do pôvodného prostredia**, do druhého prostredia nevstupuje žiadne svetlo



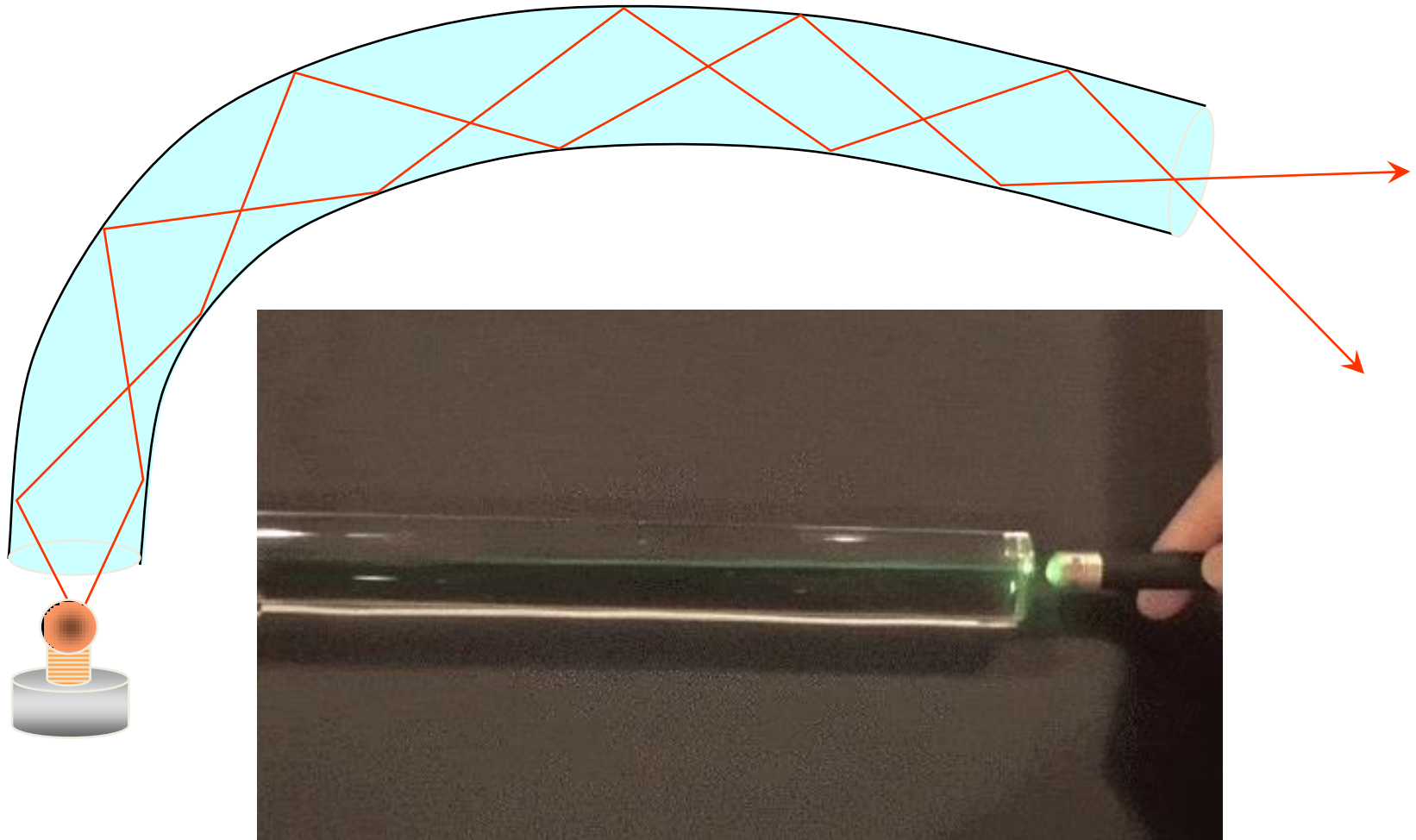
# Princíp vedenia svetla optickým vláknom



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



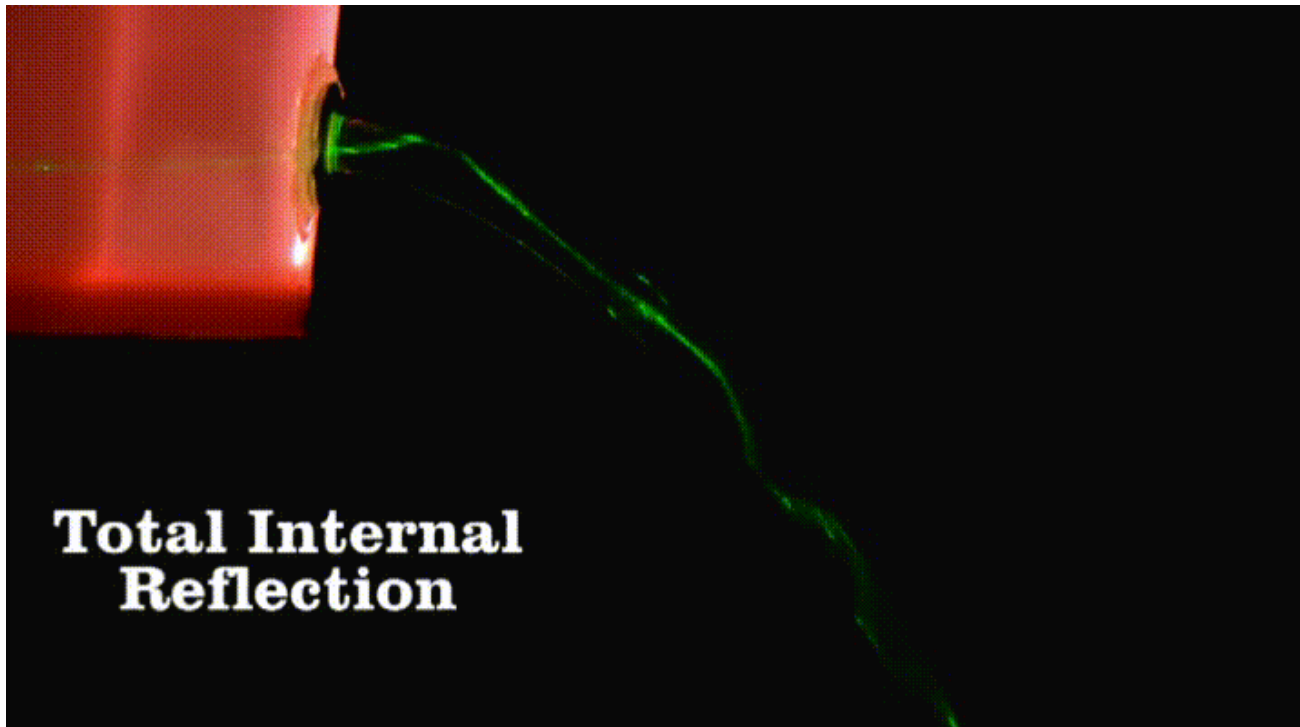
## Princíp vedenia svetla optickým vláknom



Využitie totálneho odrazu svetla – prenos optického signálu dielektrickým prostredím (sklo, voda,..)

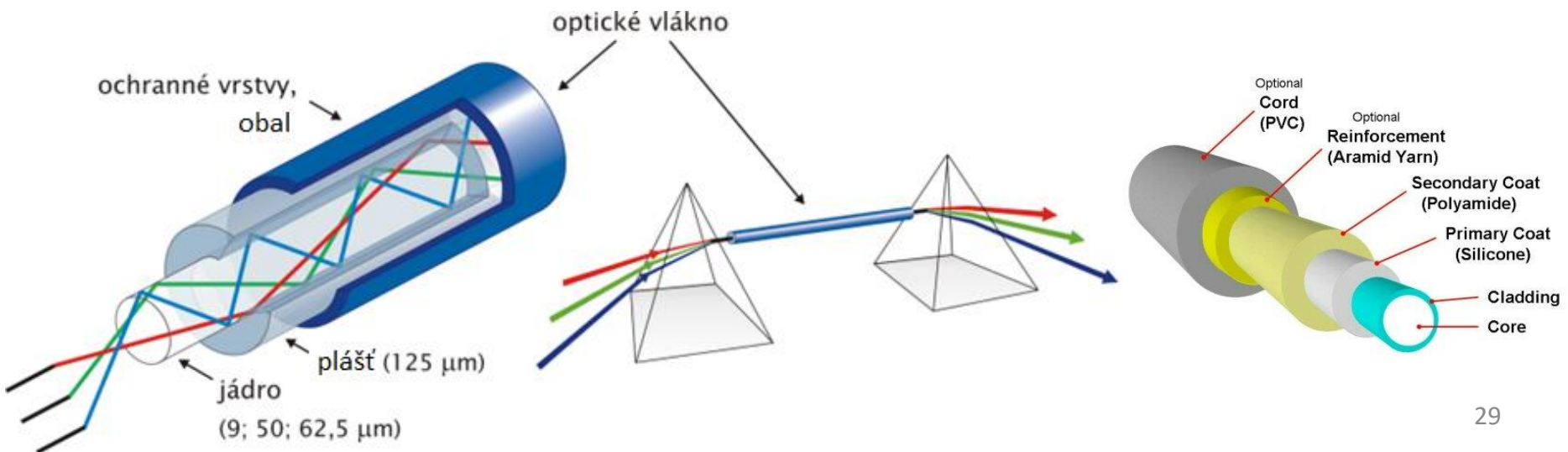
Využitie totálneho odrazu svetla – prenos optického signálu dielektrickým prostredím (sklo, voda,..)

- Prvý optický vlnovod - John Tyndall (1820-1893) - prírodovedec, filozof
  - Experiment (1870):
    - nádoba naplnená vodou a osvetlená voda, ktorá vyteká vedie svetlo (svetlo môže byť vedené dielektrickým prostredím)

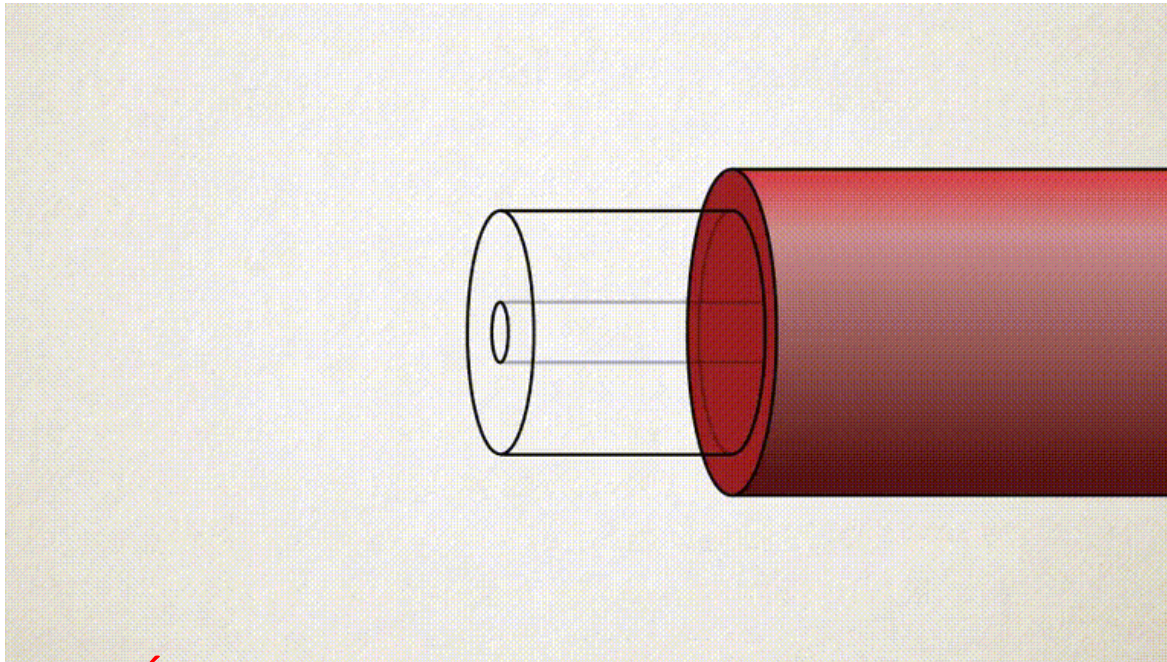


# Zloženie optického vlákna

- **jadro** optického vlákna (core),  $n_1$ 
  - zložené z jedného alebo viacerých sklenených vlákien ( $\text{SiO}_2$ ), ktorými prechádza svetelný signál (môže byť aj iný materiál!!!)
- **plášť** optického vlákna (cladding),  $n_2$ 
  - vyrobené spoločne s jadrom ako jedna časť
  - ochranná vrstva s nižším indexom lomu svetla ako má jadro
- **obal (ochranná vrstva)** optického vlákna (buffer coating)
  - vonkajšie ochranné puzdro (môže byť viacvrstvé)
  - môže byť spoločné pre viacej vlákien



## Naviazanie optického signálu (žiarenia) do OV

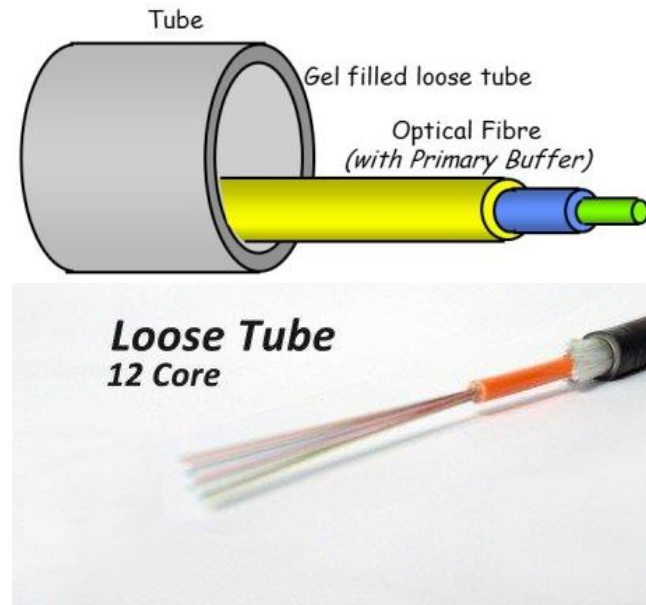
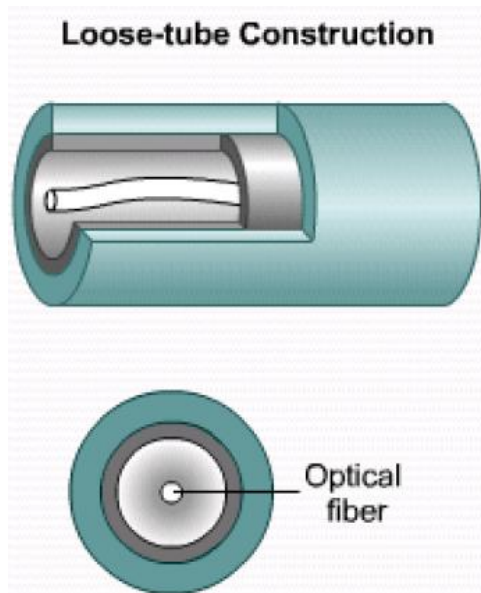


### ■ Teória šírenia vln (svetla) optickým vláknom (geometrická optika)

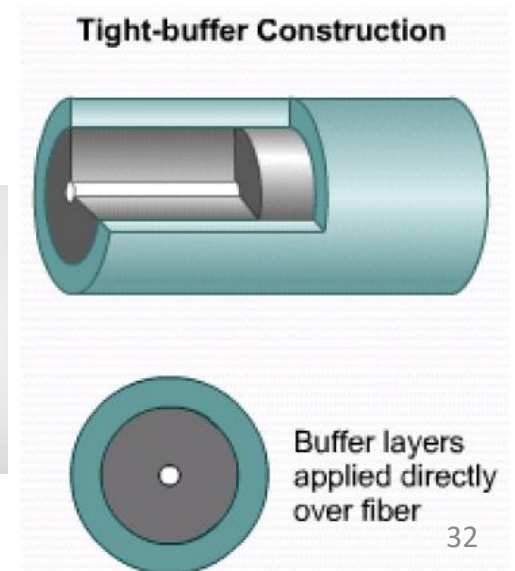
- Optické vlákno je v podstate valcový dielektrický vlnovod zhotovený z vhodného materiálu s nízkymi stratami, napríklad z kremičitého skla
- Je tvorené vnútorným jadrom, ktoré slúži k vedeniu prenášaného žiarenia
- Jadro je uložené vo vonkajšom obale — plášti, ktoré má nepatrne nižšiu hodnotu indexu lomu ako jadro
- Podmienkou šírenia svetla v jadre OV je  $n_1 > n_2$  a uhol dopadu na rozhranie jadro plášť je väčší ako medzný uhol dopadu, t.j. dochádza k **totálnemu odrazu na rozhraní jadro-plášť OV**

# Konštrukcia optického vlákna

- **voľná konštrukcia (Loose-tube)** optického vlákna
  - určené pre **náročné podmienky** vo vonkajšom prostredí
  - optické vlákna "**plávajú**" v robustnej trubici s nadmernou odolnosťou proti oderu, ktorá je naplnená **optickým gélom**
  - pretože ochranná trubica nemá priamy kontakt s vláknom, žiadne rozťahnutie alebo kontrakcie káblového materiálu nezapôsobí namáhanie vlákien (**odolnosť voči mikroohybom**)
  - **gél** taktiež pomáha **chrániť vlákna pred vlhkosťou**, čo robí tieto káble ideálne pre prostredie s vysokou vlhkosťou



- **tesná konštrukcia ( Tight-tube)** optického vlákna
  - sú optimalizované pre **vnútorné aplikácie**
  - tu sa namiesto gélovej vrstvy, ktorá má „voľne uložený kábel“, **používa dvojvrstvový obal**
  - jeden z nich je **plastový** a druhý **vodotesný akrylát**
  - sú **ľahšie inštalovateľné**, pretože neexistuje gél, ktorý treba očistiť
  - vzhľadom k tomu, že vlákno nie je voľné „nepláva“, **pevnosť v ťahu nie je taká veľká** ako u voľnej konštrukcie
  - takýto kábel je ľahší a pružnejší a obvykle sa používa pre menej náročné aplikácie
    - lokálne siete LAN, SAN
    - spojenie P2P v mestách, budovách, továrňach, kancelárskych parkoch a na univerzitách

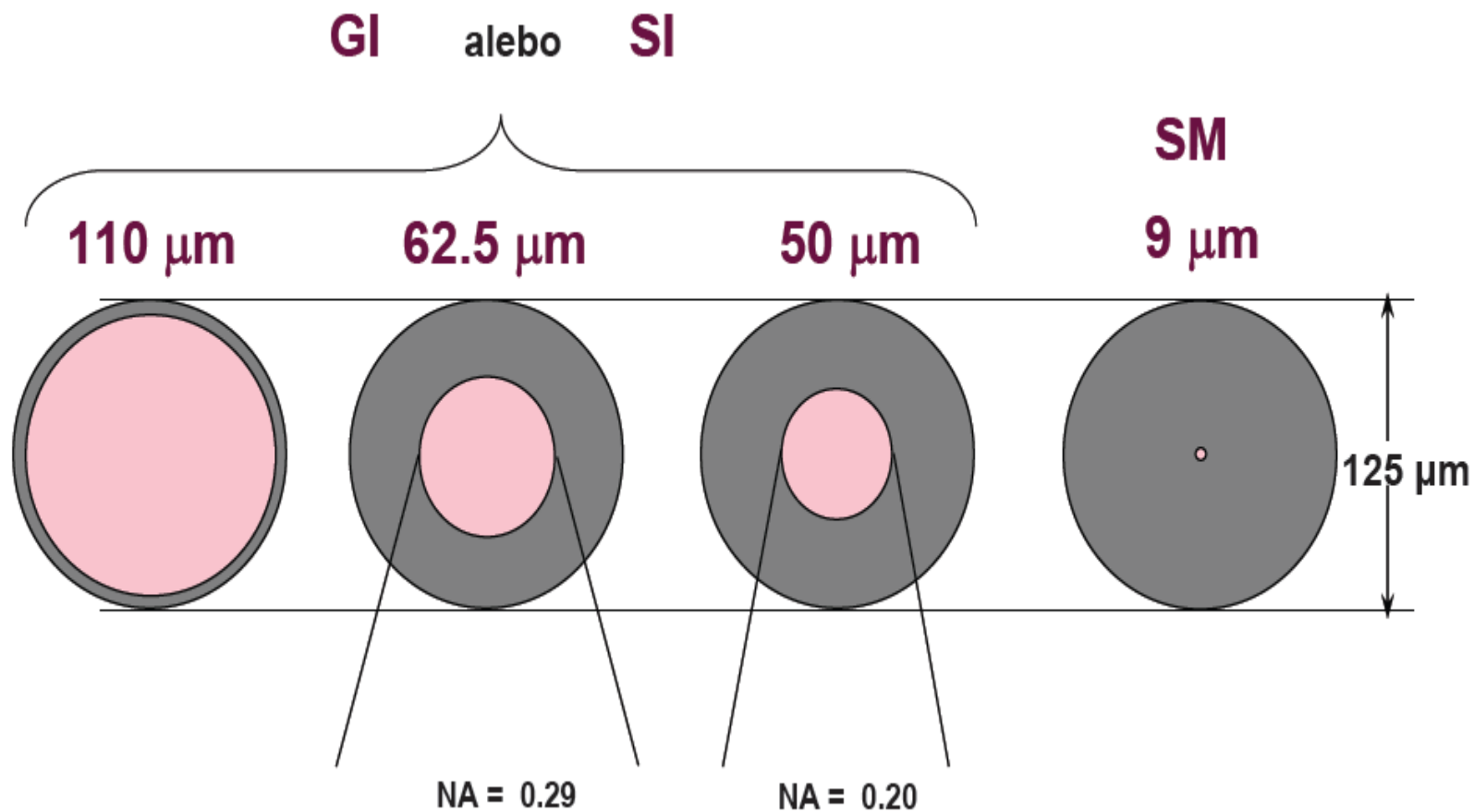




# Rozdelenie optických vlákien

- **podľa aplikácií**
  - komunikačné vlákna
  - optické vláknové senzory (OVS)
  - pre aplikácie v medicíne
  - pre priemyselné aplikácie
  - pre počítačové siete
- **Podľa konštrukcie**
  - plastové
  - kombinované (jadro sklo, obal plast)
  - sklenené na báze  $\text{SiO}_2$
  - špeciálne (úzko vymedzená oblasť využitia)
- **podľa zmeny indexu lomu jadra a plášťa optického vlákna**
  - so skokovou zmenou (Step Index, SI)
  - s plynulou zmenou (Graded Index, GI)
- **podľa počtu prenášaných vidov optickým vláknom**
  - mnohovidové (Multi Mode, MM)
  - jednovidové (Single Mode, SM)

# Štandardné prierezy komunikačných optických vlákien

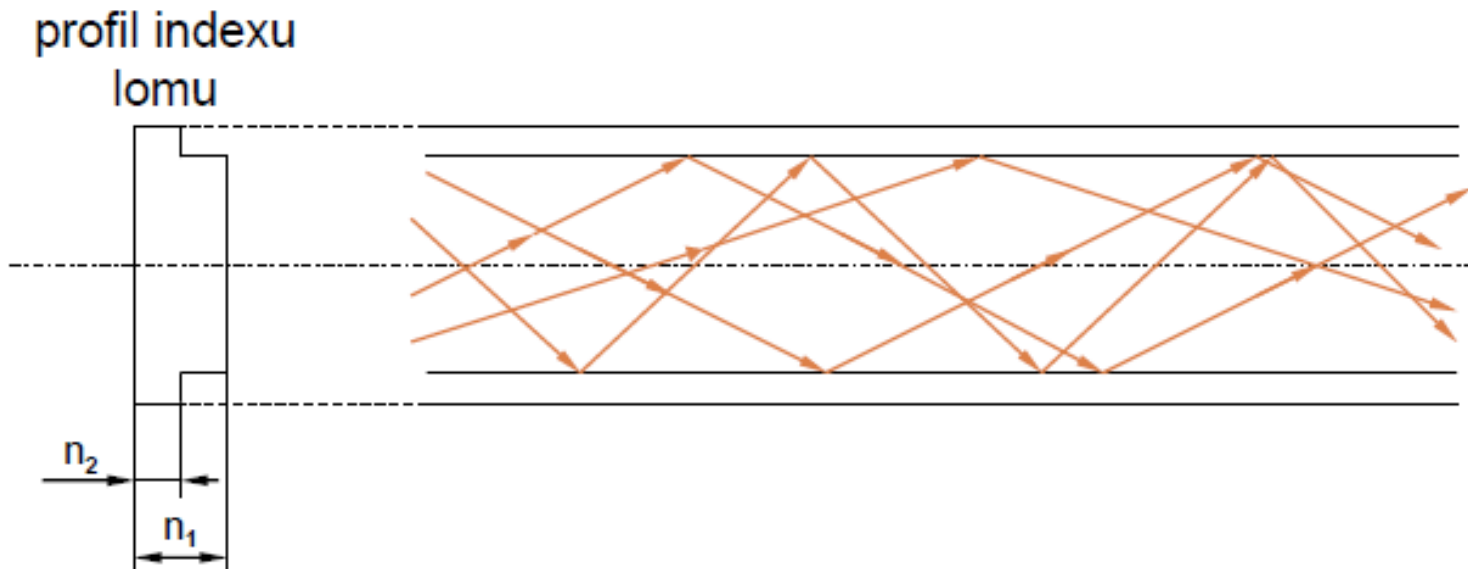


# Mnohovidové optické vlákna

- majú hrubšie jadro – 62.5/125  $\mu\text{m}$  alebo 50/125  $\mu\text{m}$
  - svetelný lúč má „viac priestoru“ a môže sa šíriť v jadre viacerými cestami
  - viacej módov - vidov (svetelných lúčov) pri prenose môže viesť k rušeniu signálu na strane prijímača
  - ako veličina skreslenia sa používa vidová (modálna) disperzia, ktorá sa udáva v ns/km a predstavuje rozdiel medzi najrýchlejším a najpomalším svetelným lúčom
- A. vyrábajú sa dva typy vlákien
- **mnohovidové** optické vlákno so **skokovou** zmenou indexu lomu (step-index multimode, SI MM)
  - **mnohovidové** optické vlákno s **plynulou** zmenou indexu lomu (graded-index multimode, GI MM)

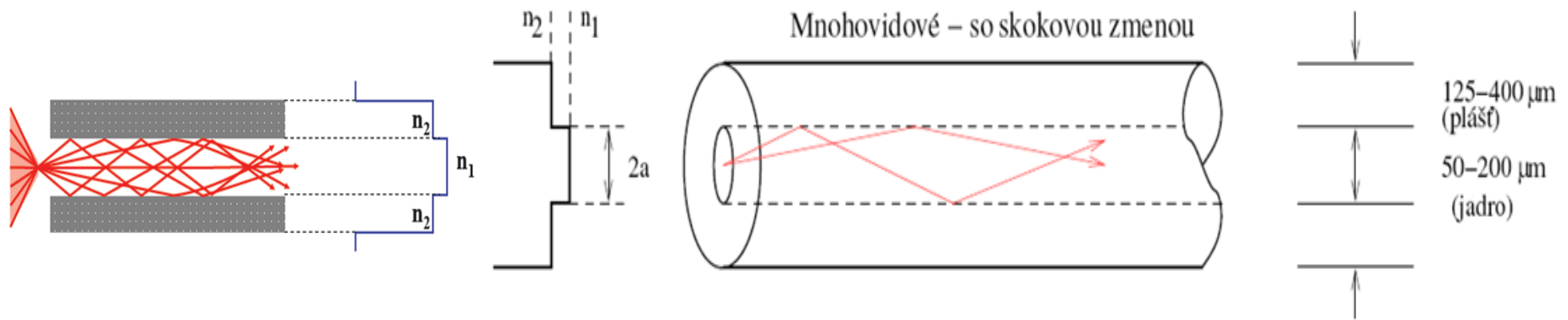
# Step-Index VLÁKNO

- vlákno o **skokovou** zmenou indexu lomu, šírenie je založené na úplnom odraze na rozhraní jadro - plášť ( $n_1 > n_2$ ).
- **vlastnosti:**
  - numerická apertúra NA v rozmedzí 0,3-0,6
  - **prenos signálov na menšie vzdialenosti** do 2000 m ( $\lambda=850$  nm)
  - sú **ekonomickejšie** s použitím lacnejších konektorov a lacnejších aktívnych zariadení – LED vysieláče a pod.
  - **nevýhodou** je najmä starnutie plášťa, väčšie straty a nižšia teplotná odolnosť



- Mnohovidové stupňovité optické vlákna – SI MM (Step Index Multi Mode)

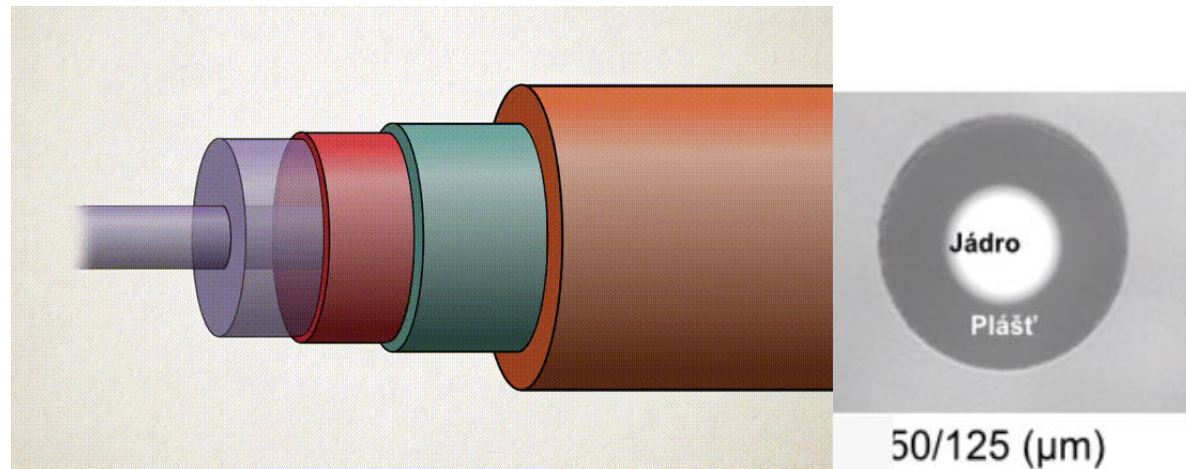
- Šírenie lúčov



- Typický priemer jadra u tohto typu vlákna je  $50/125 \mu\text{m}$  a  $62,5/125 \mu\text{m}$

- Numerická apertúra NA v rozsahu  $0,3-0,6$

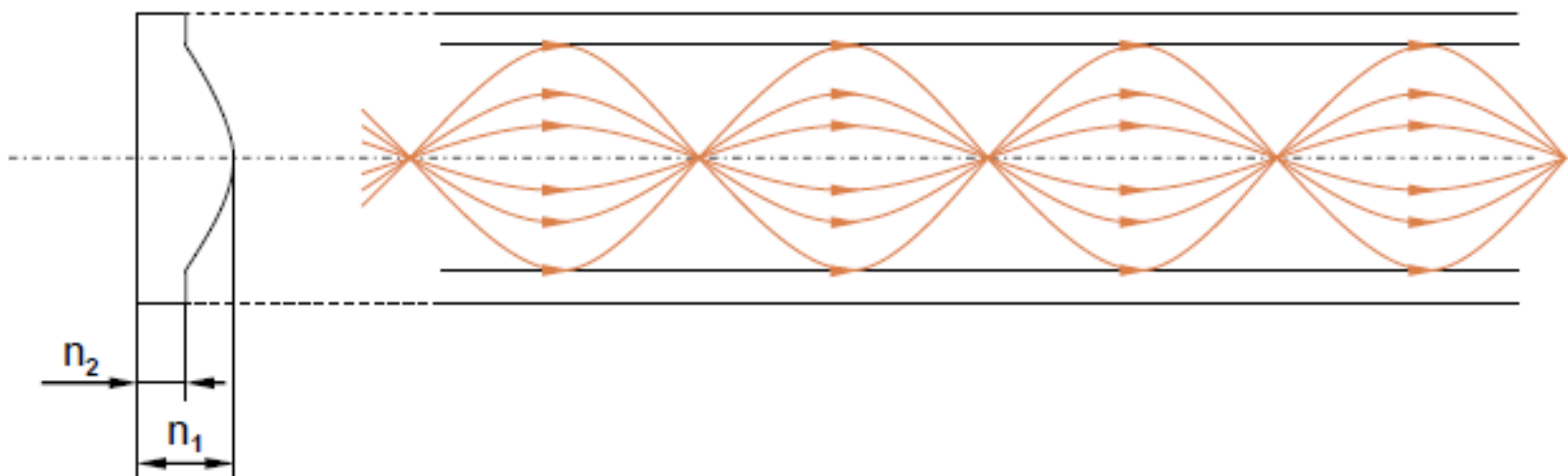
- Vlnová dĺžka  $0,85 \mu\text{m}$



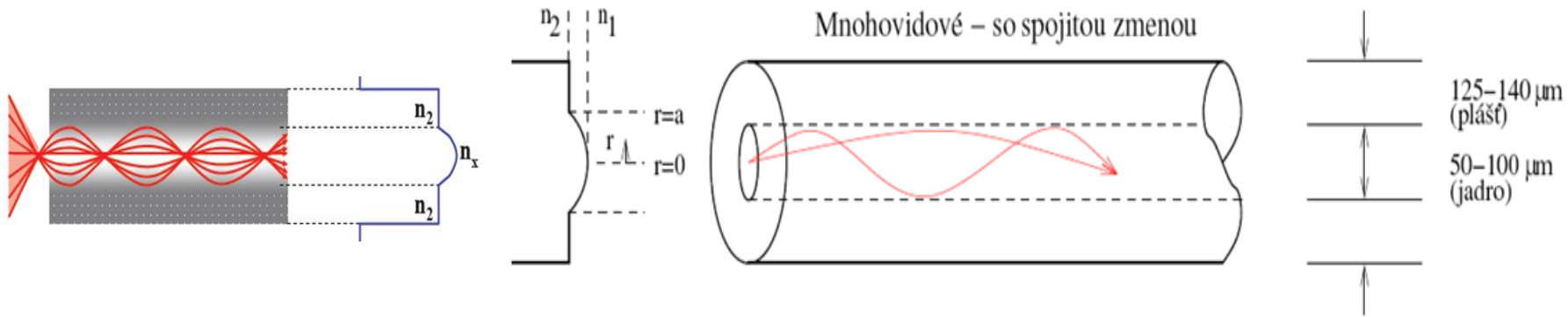
# Graded-Index VLÁKNO

- vlákno s **plynulou** zmenou indexu lomu
- **vlastnosti:**
  - lepšie vedie optický signál - má nižší útlm aj menšiu vidovú disperziu
  - má špeciálnu úpravu profilu indexu lomu jadra
  - typický profil tohto vlákna s priemerom jadra  $62.5\mu\text{m}$  (používa sa taktiež priemer  $50\mu\text{m}$ )
  - vlákno sa využíva pre vlnové dĺžky 850 a 1300 nm

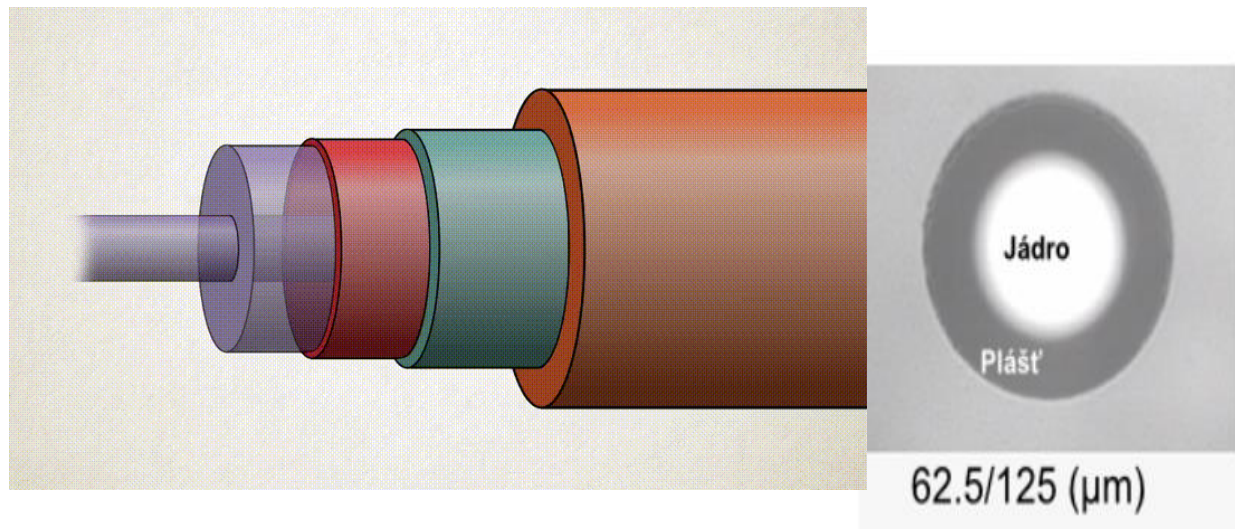
profil indexu  
lomu



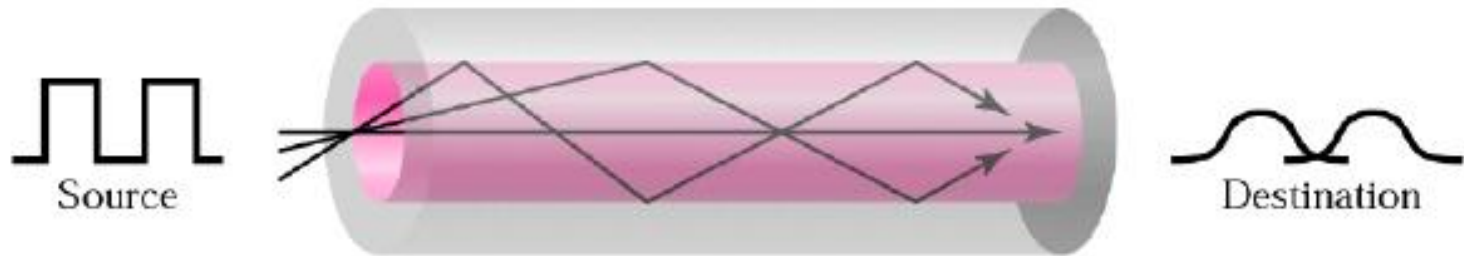
- Mnohovidové gradientné optické vlákna – GI MM (Graded Index Multi Mode)
  - Šírenie lúčov



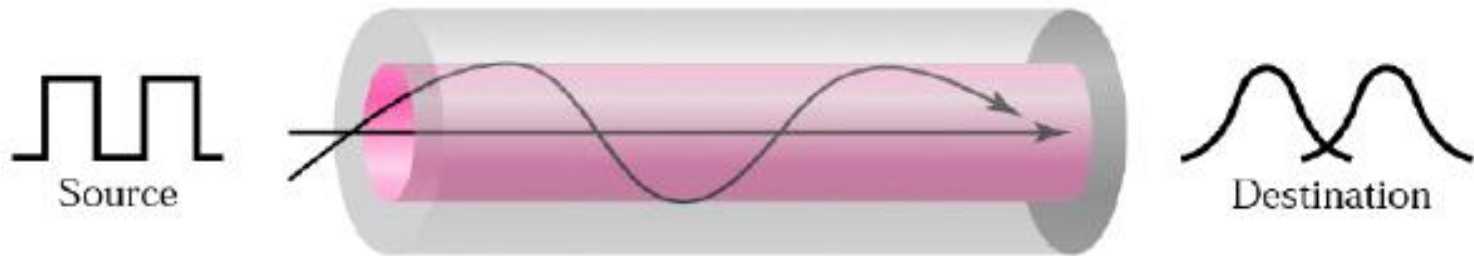
- Typický priemer jadra u tohto typu vlákna je  $50/125 \mu\text{m}$  a  $62,5/125 \mu\text{m}$
- Numerická apertúra NA v rozsahu  $0,18-0,24$
- Vlnová dĺžka  $0,85$  a  $1,3 \mu\text{m}$



# ROZDIELY NA STRANE PRIJÍMAČA



a. Multimode, step-index



b. Multimode, graded-index



# KATEGÓRIE MM VLÁKIEN

- označujú sa **OM-x**
- parametre, **ktorými sa líšia jednotlivé stupne** sú priemer a minimálna šírka pásma počítaná na kilometer (minimum modal bandwidth MHz×km) a tie sa navyše ešte líšia podľa vlnovej dĺžky zdroja a či je zdrojom LEDka alebo laser (LD)

kategorie	průměr vlákna [μm]	1000Base-SX [m]	10GBASE-S [m]	40GBASE-SR4 [m]	100GBASE-SR4 [m]
OM1	62,5	275	33	N/A	N/A
OM2	50	550	82	N/A	N/A
OM3	50	N/A	300	100	100
OM4	50	N/A	500	150	150

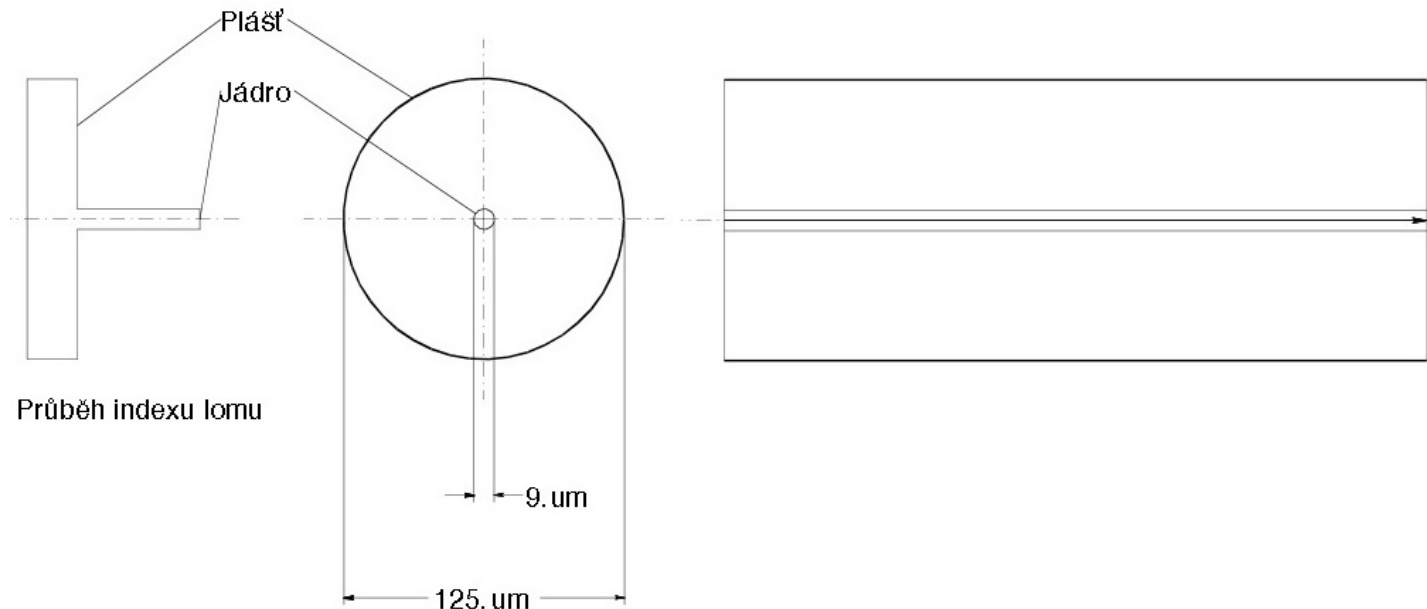
- ako je vidieť "staré" 62.5μm vlákno OM1 je pre gigabit skoro problém a o vyšších rýchlostiach ani nehovoriac
- OM-2 (až OM-4) nič moc pre LEDkové zdroje, s lasermi je to lepšie, ale zase cena OM-3 a OM-4 vlákna je zase vyššia

# ZHRNUTIE MM VLÁKIEN

- pracovná vlnová dĺžka 850 a 1310 nm s LED zdrojmi
- prenosová rýchlosť 1 až 10 Gb/s LD
- nižšie náklady na konenktorovanie
- nižšie náklady na inštaláciu
- nižšie náklady na systém
- nižšia šírka pásma
- vyššie straty (útlm)
- vyššia cena vlákien
- vzdialenosť do 2000 m
- použitie:
  - LAN, SAN, dátové centrá, podniky,...

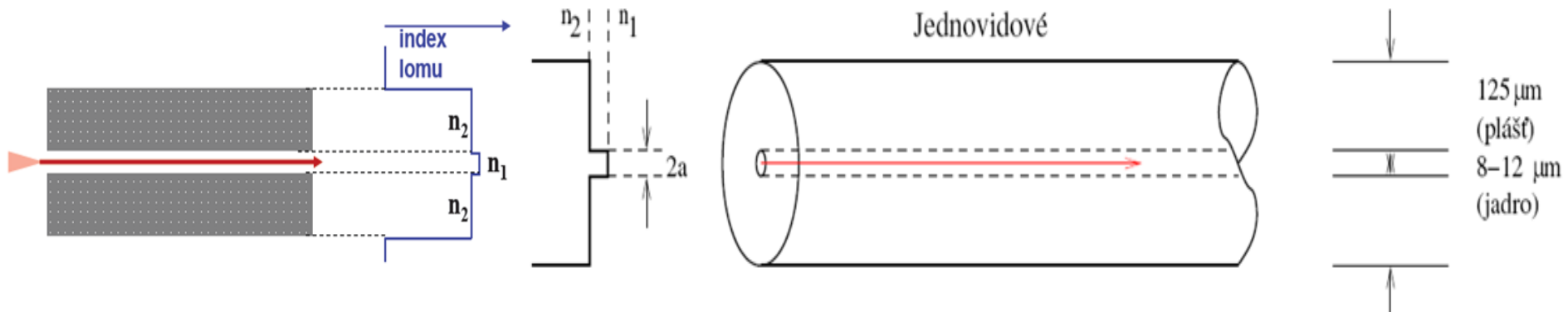
# Jednovidové optické vlákna

- je vlákno s malým polomerom jadra, ktoré **vedie iba základný vid**
- pojem vid možno v tomto prípade stotožniť s pojmom lúč
- priemer jadra 5-10/125 $\mu\text{m}$ 
  - s ohľadom na numerickú apertúru a problémy s naviazaním optického výkonu do jadra, je zvyčajne priemer jadra 9 $\mu\text{m}$
- numerická apertúra v rozsahu 0,08-0,15
- vlákna majú na parametre len dve kategórie **OS1** a **OS2**



- Jednovidové stupňovité optické vlákna – SI SM (Step Index Single Mode)

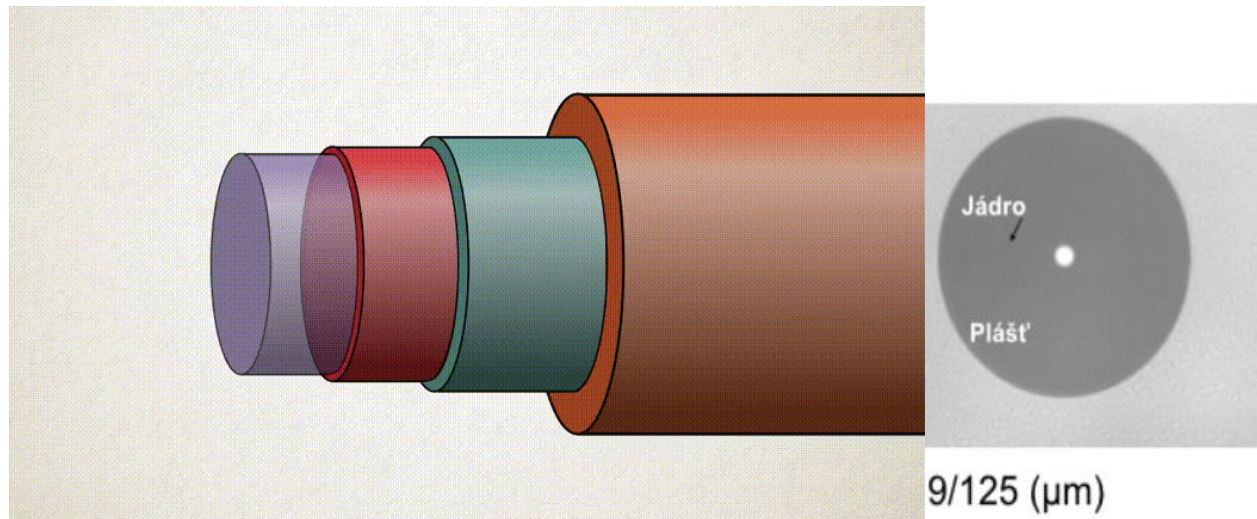
- Šírenie lúčov



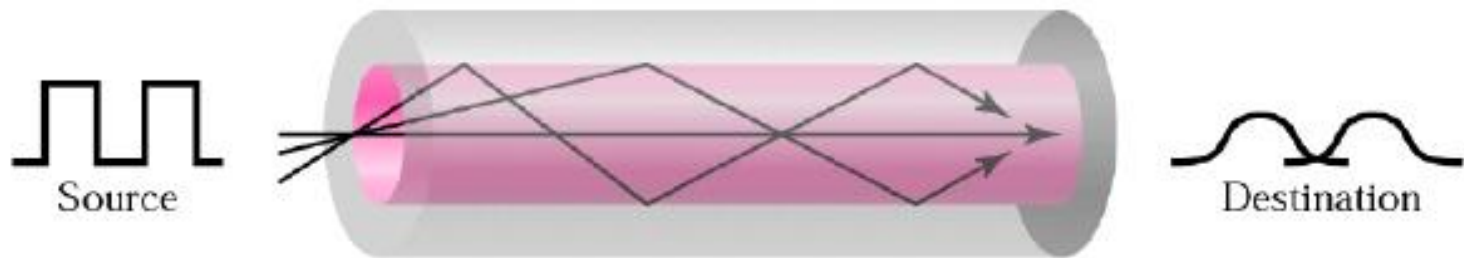
- Typický priemer jadra u tohto typu vlákna je **9/125**  $\mu\text{m}$  a

- Numerická apertúra NA v rozsahu 0,08–0,154

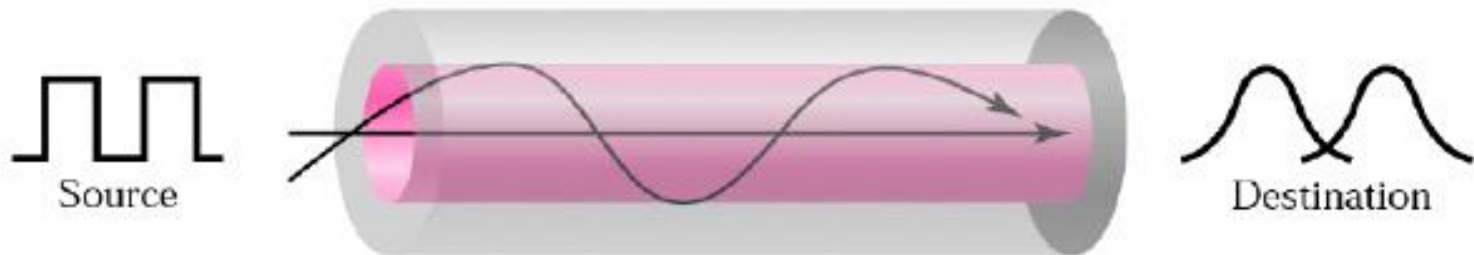
- Vlnová dĺžka 1,3 a 1,55  $\mu\text{m}$



# ROZDIELY NA STRANE PRIJÍMAČA



a. Multimode, step-index



b. Multimode, graded-index



c. Single-mode

# KATEGÓRIE MM a SM VLÁKIEN

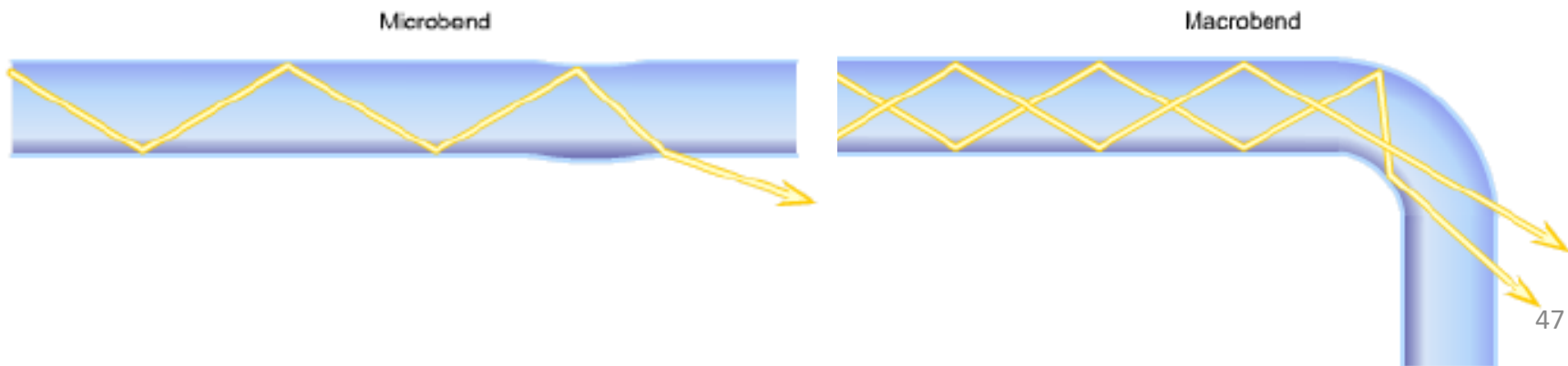
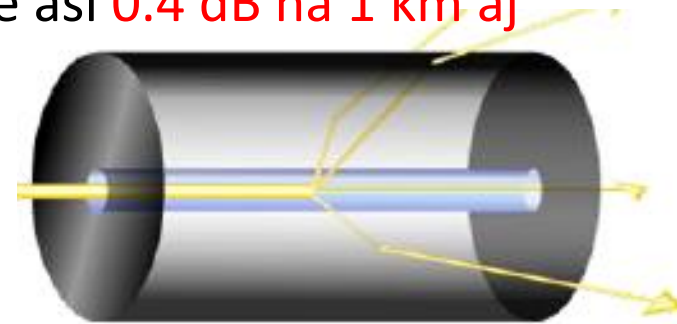
	Typical Wavelength	1 Gig Typical Distance Limitation	10 Gig Typical Distance Limitation	100 Gig Typical Distance Limitation
OM1, 62.5/125 Multimode	850/1310nm	280m (918ft)	33m (108ft)	n/a
OM2, 50/125 Multimode	850/1310nm	550m (1,804ft)	82m (269ft)	n/a
OM3, 10Gig Rated 50/125 Multimode	850/1310nm	800m (2,624ft)	300m (984ft)	100m (328ft)
OM4, 100Gig Rated 50/125 Multimode	850/1310nm	1040m (3,411ft)	550m (1804ft)	150m (492ft)
OS1/OS2, 9/125 Single mode	1310/1550nm	100km (62miles)	70km (43.5miles)	40km (25miles)

	Type	Core / Cladding (um)	Fast Ethernet 100Mb	Gigabit GbE	10Gigabit 10GbE	40Gigabit 40GbE	100Gigabit 100GbE
Multimode	OM1	62.5 / 125	2km	275m	33m	-	-
	OM2	50 / 125	2km	550m	82m	-	-
	OM3	50 / 125	2km	800m	300m	100m	100m
	OM4	50 / 125	2km	1100m	400m	150m	150m
Singlemode	OS1/OS2	9 / 125	40km	100km	40km	40km	40km

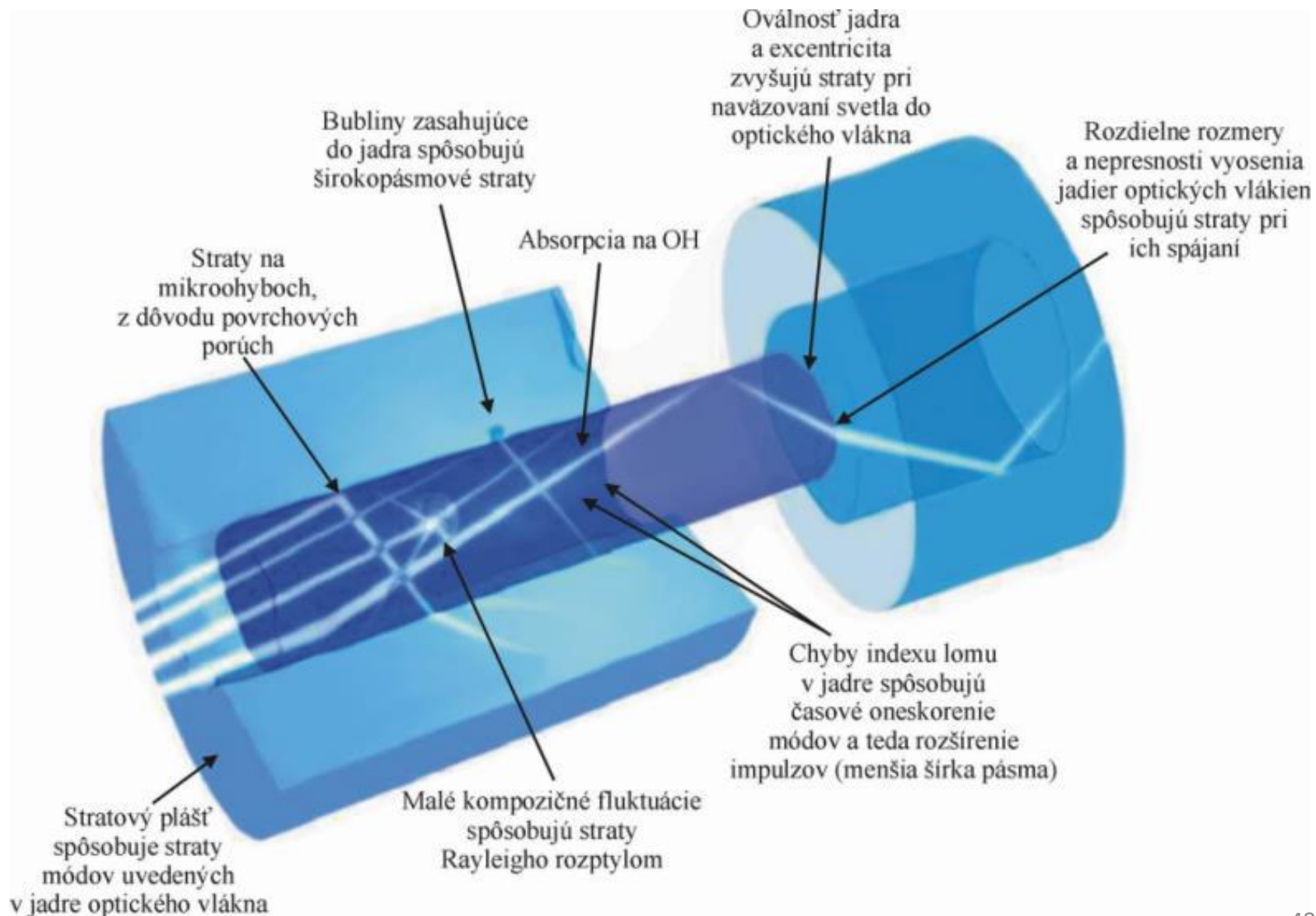
# ÚTLM OPTICKÉHO VLÁKNA

$\alpha$  (dB/km)

- pri najkvalitnejších vláknach (jednovidové) je asi **0.4 dB na 1 km aj menej (OS2)**
- **vnútorný** – spôsobený nečistotou vo vlákne
  - rozptyl - vzniká nepresnosťami pri výrobe
  - absorpcia - vzniká nečistotami v materiáli (hydroxidy OH<sup>-</sup>)
- **vonkajší** – spôsobený vonkajšími mechanizmami
  - makroohyby (macrobending) - vzniká nevhodným ohybom vlákna
  - mikroohyby (microbending) - vzniká drobnými nerovnosťami na vlákne



# Obr. Útlm optického vlákna $\alpha$ (dB/km)





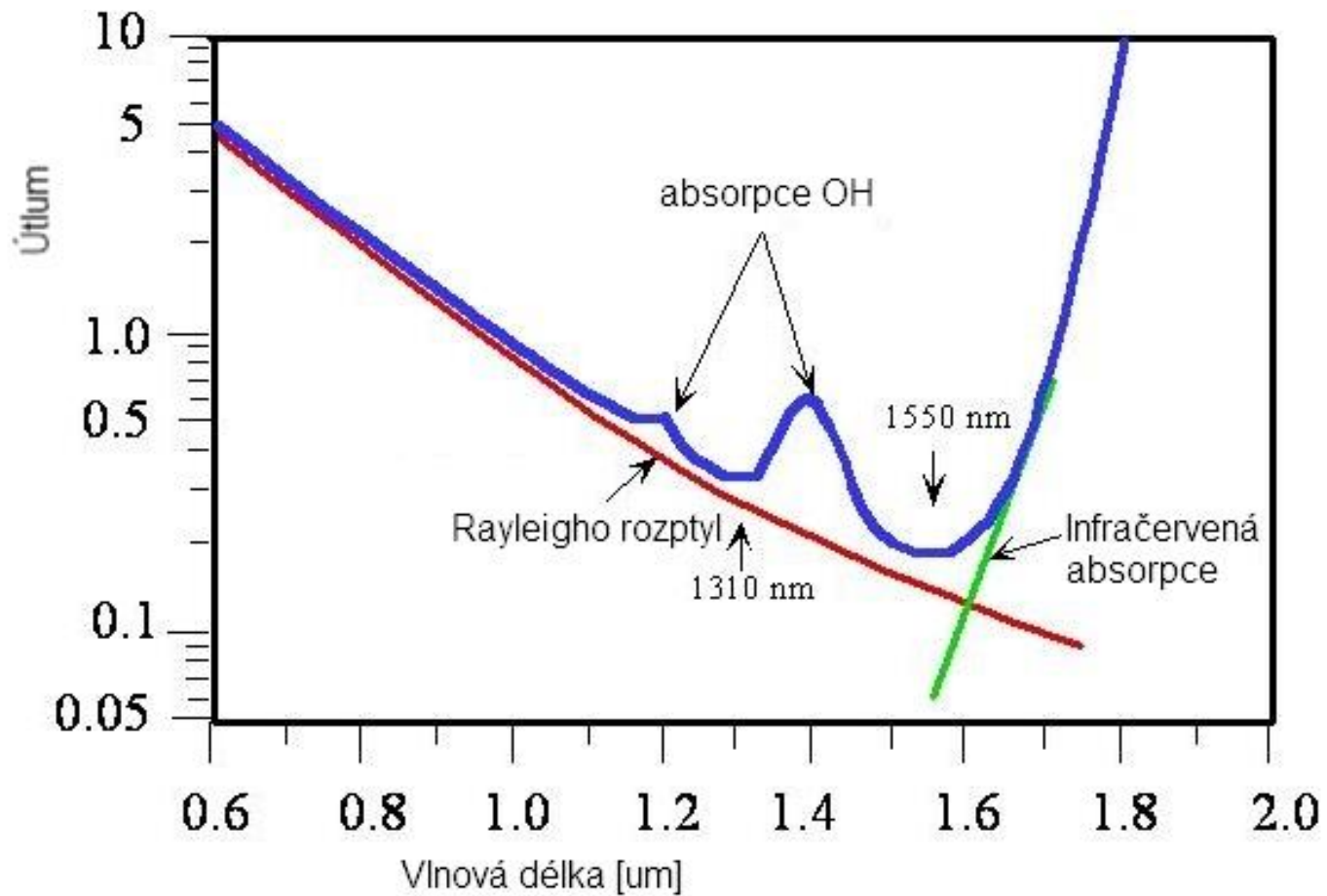
# Obr. Útlm optického vlákna a komponentov

Tabuľka zobrazuje maximálne prípustné hodnoty\* pre kľúčové komponenty:

Komponent	Vlnová dĺžka	Maximálny útlm
Konektor	Všetky	0,75 dB
Spojka	Všetky	0,3 dB
Multimode káble (OM3, OM4)	850nm (base-S protokoly)	3,5 dB/km
	1300nm (base-L protokoly)	1,5 dB/km
OS1 káble	1310 a 1550nm	1 dB/km
OS2 káble	1310 a 1550nm	0,4 dB/km

\* V zmysle relevantných noriem

# Obr. Útlm optického vlákna $\alpha$ (dB/km)

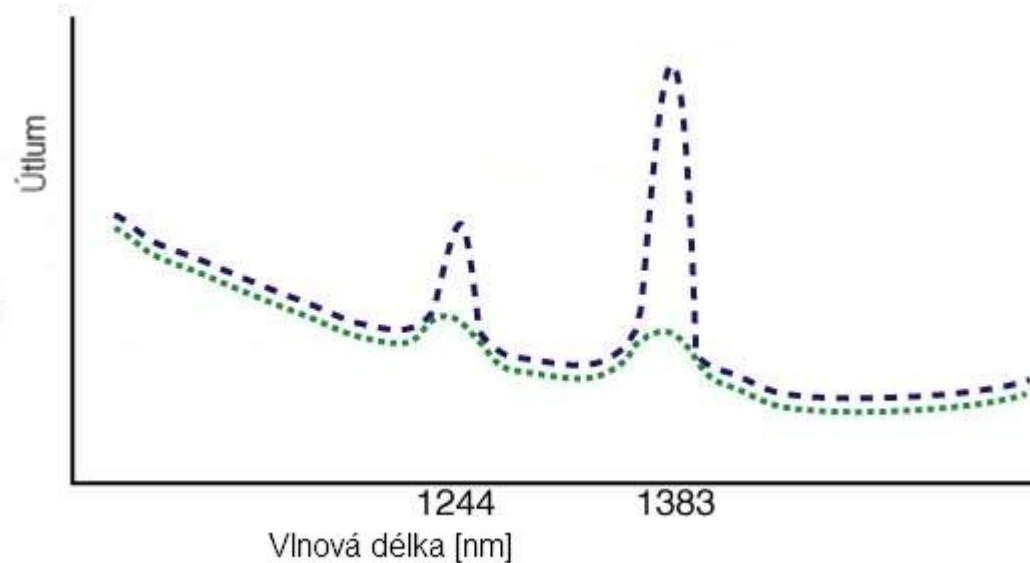


# Odporúčania ITU – T (G.652-G657)

**Medzinárodná telekomunikačná únia ITU** (International Telecommunication Union) definuje v optickej komunikácii štandardy, ktoré určujú geometrické, prenosové a mechanické požiadavky na jednotlivé optické vlákna

- najdôležitejšie odporúčania sú:
- **G.652** - označuje klasické jednoividové vlákna s priermi 9/125 $\mu$ m
  - vlákna s tzv. vnoreným indexom lomu, tzn. že index lomu plášťa je v blízkosti jadra nižšia ako je to v inej časti plášťa, tvorí špeciálnu skupinu
  - vlákna G.652 sú **bez posunutia disperzie** (non-DSF)
  - **G.652a** alebo **G.652b** - základný typ SM vlákna (priebeh útlmu zodpovedá modrej krivke na obrázku vyššie)
    - sú robené **hlavne pre 1310nm**
  - **G.652c** - jedná sa o nový typ vlákna, ktoré je schopné na rozdiel od G.652 využívať celé dostupné SPEKTRUM vlnových dĺžok, vrátane rozsahu **1360 nm až 1460 nm**
  - **G.652d** - je úplne kompatibilný so všetkými vláknami G.652

- **G.652c** alebo **G.652d** tzv. low water peak vlákno má útlmové špičky znížené

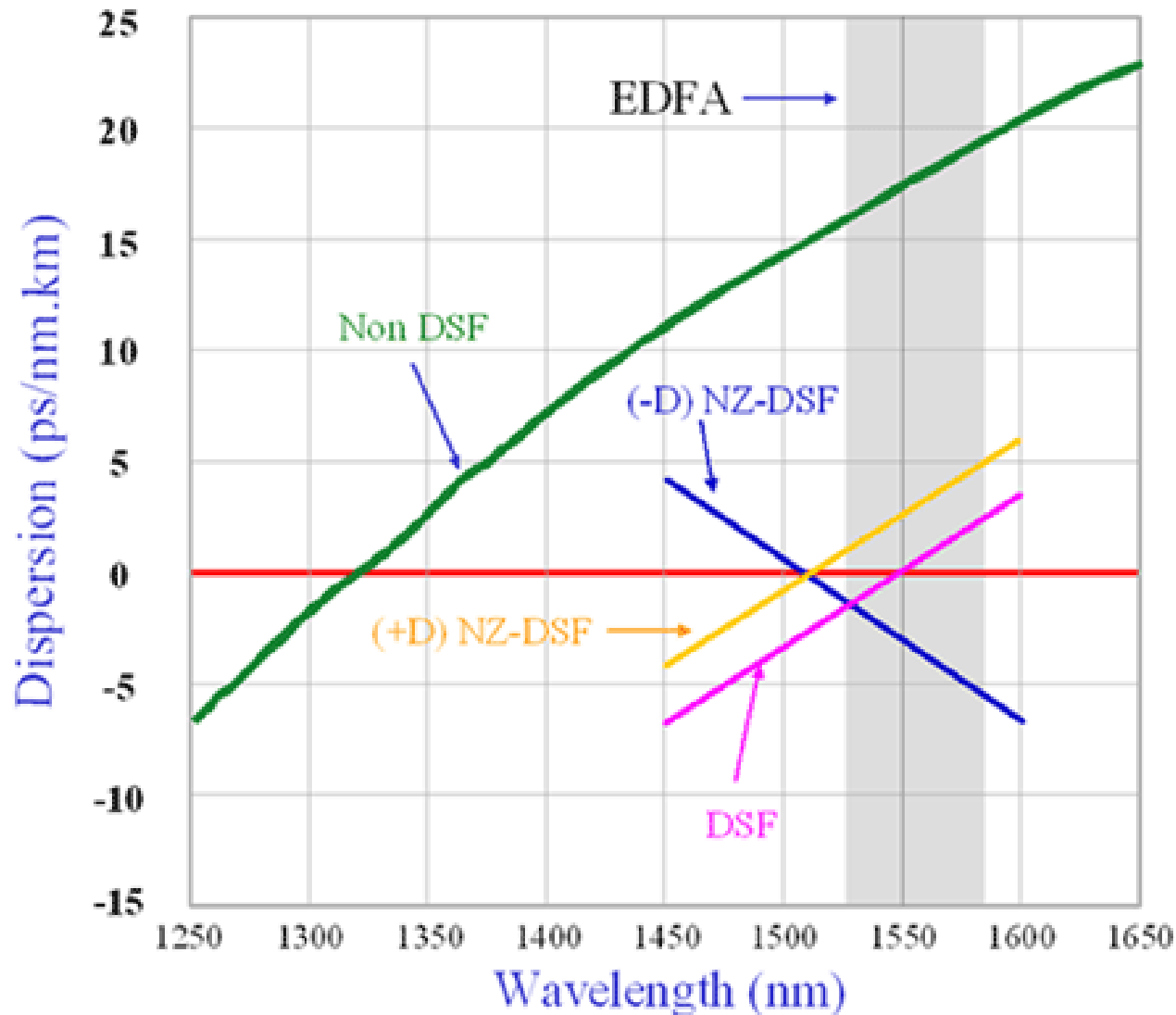


- **G.653** - označujú sa ako DSF (Dispersion Shifted Fiber) a boli vyrobené so zámerom potlačiť chromatickú disperziu pri vlnovej dĺžke 1550 nm
  - svoje uplatnenie našli pri prenose na **veľké vzdialenosti** a majú **veľkú prenosovú rýchlosť**
  - **nevýhodou** je prekrývanie jednotlivých vlnových dĺžok a tým vytváranie presluchoch pri použití vlnového multiplexu (veľký problém pri DWDM)

- **G.654** - ide o špeciálnu variantu základných vlákien G.652, tzv. CSF (Cut off Shifted Fiber)
  - sú navrhnuté pre **veľmi nízky útlm** v spektrálnej časti **1550 nm**
  - ide o náročné vlákna používané pre **prenosy na dlhých trasách**, svoje uplatnenie nachádzajú ako napríklad podmorské káble
- **G.655** - štandardizuje typ vlákna s **posunutou nenulovou disperziou** NZ-DSF, ktoré sú prispôsobené pre prenos v pásme **1550 nm**
  - vlákna sa uplatňujú pri **prenosoch na veľkú vzdialenosť** kvôli ich vysokej prenosovej rýchlosti
  - sú využívané na prevádzku technológie DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)
- **G.656** - norma pre vlákna NZ-DSF (Non Zero-Dispersion Shifted Fiber) a to buď +D alebo -D (kladná alebo záporná disperzia)
  - najmodernejšie vlákna pre CWDM a DWDM systémy
- **G.657** - je vlákno **necitlivé na makroohyby** (to sú ohyby ktoré urobíme na vlákne my pri montáži a pod., mikroohyby vznikajú pri výrobe)
  - v tomto prípade neznamena, že vyššie číslo normy je lepšie, vlákno **G.657a** zodpovedá **G.652d**

# DISPERZIA OPTICKÉHO VLÁKNA

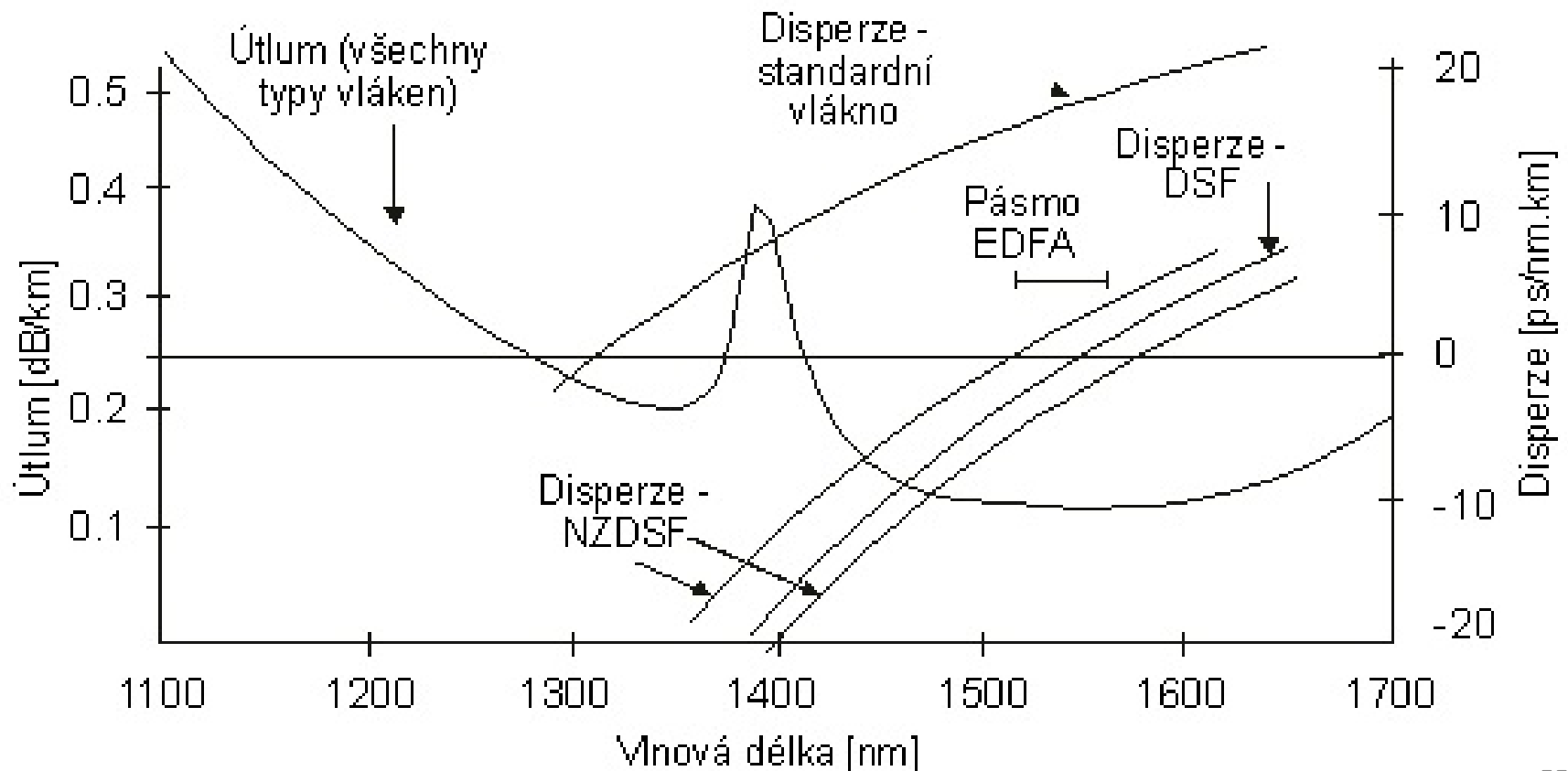
(ps/nm.km)



# ZÁVISLOST MERANÉHO ÚTLUMU A DISPERZIE NA VLNOVÉ DĚLKY

Typy jednovídrových vláken :

- 1) standardní (SSMF) G.652
- 2) vlákno s posunutou disperzí (DSF) G.653
- 3) s nenulovou disperzí (NZDSF) G.655



# ZHRNUTIE SM VLÁKIEN

- pracovná vlnová dĺžka 1310 a 1550 nm s LD zdrojmi
- prenosová rýchlosť 1 až 10 Gb/s s LD
- prenosová rýchlosť 10 Gb/s + s DWDM
- vyššie náklady na konektorovanie
- vyššie náklady na inštaláciu
- vyššie náklady na systém
- väčšia šírka pásma
- nízke straty (útlm)
- nižšia cena vlákien
- vzdialenosť 60 km +
- použitie:
  - WAN, MAN, prístupové siete, campus,...



# Výhody použitia optického vlákna

- **prenos signálu na veľké vzdialenosti:**
  - nízky útlm a vysoká integrita prenášaného signálu umožňuje optickým systémom prenosi na väčšie vzdialenosti, ako tomu je u metalických vedení
  - zatiaľ čo u bežných medených vodičov je nutné použitie signálových zosilňovačov u optických trás nie sú výnimkou úseky po 100 km bez aktívnych prvkov, pričom sa tieto vzdialenosti novými technológiami neustále zvyšujú
- **väčšia šírka pásma, menší priemer a nižšia hmotnosť:**
  - nezrovnateľne vyššia šírka pásma optického vlákna umožňuje prenos podstatne vyššieho množstva informácií než po celom káblovom zväzku medených párov
  - menší priemer a nižšia hmotnosť sa prejavuje aj v nižších nárokoch na trasu a inštalačnú technológiu

## ■ dielektricitá:

- optické káble v nemetalickom prevedení plášťa umožňujú využívať prenos informácie v prostrediach s vysokým stupňom elektrického alebo vysokofrekvenčného zamorenia
- je možné ich inštalovať napr. v tesnom susedstve s rozvodmi elektrickej energie, pričom nedochádza k obmedzeniu prenosových alebo bezpečnostných parametrov

## ■ bezpečnosť:

- vzhľadom k tomu, že pre prenos informácie sa nevyužívajú elektronické princípy, je optické vlákna veľmi obtiažne „odpočúvať“
- akékoľvek prerušenie vlákna je ľahko detekovateľné

# ŠPECIFIKÁCIA OPTICKÝCH VLÁKIEN

- **optické vlákna sú špecifikované** tvarom priemeru jadra a priemerom plášťa svetlovou (jednotkou je mikrometer)
  - **8/125**: jednoividové optické vlákno, veľmi drahé, vhodné pre vlnové dĺžky 1300 nm alebo 1550 nm
  - **50/125**: najpoužívanejšia konfigurácia, vhodné pre 850 nm alebo 1300nm
  - **62.5/125**: najpoužívanejšia konfigurácia, vhodné pre 850 nm alebo 1300 nm
  - **100/140**: špecifikácia IBM pre siete Token-Ring

# AKÉ VLÁKNO SI VYBRAŤ

- v bežných LAN sieťach by som si vybral kábel s G.657 vláknom
- pre tranzitný ISP (poskytovateľ internetového pripojenia), kde sa nedá do budúcnosti očakávať opätovná pokládka káblov by som si vybral z vlákien pre DWDM (G.656)
- pokiaľ by som mal dnes niečo ťahať v „optike“, vybral by som si kábel so singlemodovým vláknom
  - vďaka tomu, že sa „singlu“ vyrobí niekoľkonásobne viac ako „multimodu“, je vlákno aj cez drahšiu technológiu výroby, lacnejšie
  - aj keď sú aktívne prvky pre „singl“ drahšie kvôli nutnosti použitia lasera (LD) namiesto LED, ide len o pár percent (opäť dané tým, že sa ich vyrába omnoho viac)
  - je to jednoducho stávka na budúcnosť
  - možnosti „singlu“ sú jednoducho úplne inde

# VÝVOJ ŠTANDARDOV SIETE ETHERNET NA DOSIAHNUTIE VYŠŠÍCH RÝCHLOSTÍ

## The Evolution of Ethernet Standards to Meet Higher Speeds

Date	IEEE Std.	Name	Data Rate	Type of Cabling
1990	802.3i	10BASE-T	10 Mb/s	Category 3 cabling
1995	802.3u	100BASE-TX	100 Mb/s*	Category 5 cabling
1998	802.3z	1000BASE-SX	1 Gb/s	Multimode fiber
	802.3z	1000BASE-LX/EX		Single mode fiber
1999	802.3ab	1000BASE-T	1 Gb/s*	Category 5e or higher Category
2003	802.3ae	10GBASE-SR	10 Gb/s	Laser-Optimized MMF
	802.3ae	10GBASE-LR/ER		Single mode fiber
2006	802.3an	10GBASE-T	10 Gb/s*	Category 6A cabling
2015	802.3bq	40GBASE-T	40 Gb/s*	Category 8 (Class I & II) Cabling
2010	802.3ba	40GBASE-SR4/LR4	40 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF
	802.3ba	100GBASE-SR10/LR4/ER4	100 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF
2015	802.3bm	100GBASE-SR4	100 Gb/s	Laser-Optimized MMF
2016	SG	Under development	400 Gb/s	Laser-Optimized MMF or SMF

Note: \*with auto negotiation

# Plastové optické vlákna (POF)

## ■ použitie:

- plastové vlákna sú v komunikačných sieťach minoritou
- určite ich nájdeme v spotrebnej elektronike (digitálne audio rozhranie Toslink)
- v počítačových sieťach ich nájdeme tiež

## ■ vlastnosti:

- ich obrovskou výhodou je ľahkosť inštalácie
  - nepotrebujete, žiadnu zväračku alebo gélové konektory, koniec vlákna očistíte jemným brúsnyim papierom a máme "nakonektorované".
- vydrží tiež hrubé zaobchádzanie, ako uzol na kábli a pod.
- nevýhoda je malá šírka pásma, a to že celá technológia je stále dosť drahá
- malé rozšírenie, malá podpora výrobcov aktívnych prvkov

# Kontrolné otázky

- Aký je vlnový rozsah optických signálov?
- Aký je frekvenčný rozsah optických signálov?
- Aká je (teoreticky) použiteľná šírka pásma optických signálov?
- Ako znie zákon odrazu?
- Ako znie zákon lomu?
- Kedy vzniká lom ku kolmici?
- Kedy vzniká lom od kolmice?
- Kedy dochádza k totálnemu odrazu?
- Aký je princíp vedenia svetla optickým vláknom?
- Z akých častí sa skladá optické vlákno?
- Ako sa označuje index lomu jadra?
- Ako sa označuje index lomu plášťa?
- Zloženie voľnej konštrukcie (Loose-tube) optického vlákna.
- Vlastnosti voľnej konštrukcie (Loose-tube) optického vlákna.

- Zloženie tesnej konštrukcie ( Tight-tube) optického vlákna (OV).
- Vlastnosti tesnej konštrukcie ( Tight-tube) optického vlákna (OV).
- Aké je rozdelenie OV podľa zmeny indexu lomu jadra a plášťa OV?
- Aké je rozdelenie OV podľa počtu prenášaných vidov?
- Aký priemer jadra a plášťa majú mnohovidové (MM) OV?
- Na akú max. vzdialenosť sa používajú MM OV?
- Pre akú vlnovú dĺžku prenosového signálu sa používa vlákno typu SI MM?
- Pre akú vlnovú dĺžku prenosového signálu sa používa vlákno typu GI MM?
- Ako sa označujú kategórie MM vlákien?
- Akú max. prenosovú rýchlosť môžu dosiahnuť prenosové systémy s MM OV pri použití LD zdroja optického signálu?
- Ktorý vid vedie jednovidové (SM) optické vlákno (OV)?
- Aký priemer jadra a plášťa majú SM OV?
- Ako sa označujú kategórie SM vlákien?
- Aké typy vnútorného útlmu OV poznáme?
- Aké typy vonkajšieho útlmu OV poznáme?
- Pre aké vlnové dĺžky prenosového signálu sa používajú vlákna typu SM?



- Akú max. prenosovú rýchlosť môžu dosiahnuť prenosové systémy s SM OV pri použití LD zdroja optického signálu?
- Akú max. prenosovú rýchlosť môžu dosiahnuť prenosové systémy s SM OV pri použití WDM multiplexu?
- Na akú vzdialenosť sa používajú SM OV?
- Pre aké siete sa používajú MM OV?
- Pre aké siete sa používajú SM OV?
- Aké výhody má použitie OV v prenosových systémoch?
- Aké je použitie plastových OV (POF)?
- Aké vlastnosti majú OV typu POF?

# Zoznam použitých skratiek

- $\alpha$  útlm (straty) optického vlákna
- CWDM hrubý vlnový multiplex (Coarse WDM)
- CSF špeciálny typ OV (Cut off Shifted Fiber)
- dB jednotka tlmenia (decibel)
- DSF OV s potlačením chromatickej disperzie (Dispersion Shifted Fiber)
- DWDM hustý vlnový multiplex (Dense WDM)
- EDFA erbiom dopovaný optický zosilňovač (Erbium-doped Optical Fiber Amplifiers)
- EMI elektromagnetické rušenie – interferencia (Electromagnetic Interference)
- GI gradientné OV (Graded Index)
- GI MM mnohovidové optické vlákno s plynulou zmenou indexu lomu (graded-index multimode)
- Gbps jednotka prenosovej rýchlosti (Gb/s , Giga bit za sekundu)
- ITU medzinárodná telekomunikačná únia ITU (International Telecommunication Union)
- km jednotky dĺžky (kilometer ,  $10^3$ )
- $\lambda$  vlnová dĺžka
- LAN lokálna počítačová sieť (Local Area Network)

- LD polovodičový laser (Laser Diode)
- LED elektroluminiscenčná dióda, typ vysielacej diódy (Light-emitting Diode)
- $\mu\text{m}$  jednotky dĺžky (mikrometer ,  $10^{-6}$ )
- m jednotky dĺžky (meter)
- MAN mestská (metropolitná) sieť (Metropolitan Area Network)
- Mbps jednotka prenosovej rýchlosti (Mb/s, Mega bit za sekundu)
- MHz jednotka frekvencie (MegaHertz,  $10^6$ )
- MM mnohovidové OV (Multi Mode)
- $n_1$  jadro optického vlákna (core)
- $n_2$  plášť optického vlákna
- NA numerická apertúra
- nm jednotka dĺžky (nanometer,  $10^{-9}$ )
- nonDSF OV bez posunutia disperzie (Non Dispersion Shifted Fiber)
- NZ-DSF vlákna s posunutou nenulovou disperziou (Non Zero-Dispersion Shifted Fiber)
- OV optické vlákno
- OVS optické vláknové senzory
- PAN osobná počítačová sieť (Personal Area Network)

- POF plastové OV (Plastic Optical Fiber)
- P2P spojenie bod-bod (Peer-to-peer (doslova rovný s rovným))
- SAN dedikovaná (oddelená od LAN, WAN, atd.) dátová sieť (Storage Area Network)
- SI stupňovité OV (Step Index)
- SI MM mnohovidové optické vlákno so skokovou zmenou indexu lomu (step-index multimode)
- SiO<sub>2</sub> oxid kremičitý
- SM jednovidové OV (Single Mode)
- THz jednotka frekvencie (TeraHertz, 10<sup>12</sup>)
- WAN rozľahlá počítačová sieť (Wide Area Network)
- WDM vlnový multiplex (Wavelength-division Multiplexing)



Ďakujem za pozornosť