

Digitalni sistemi prenosa

Profesor dr Miroslav Lutovac

- Optički sistemi
- mr Danilo Lalović
- Preporučena knjiga:
Telekomunikacioni sistemi
Vladanka Aćimović-Raspopović, Slobodan Lazović

Disperzija



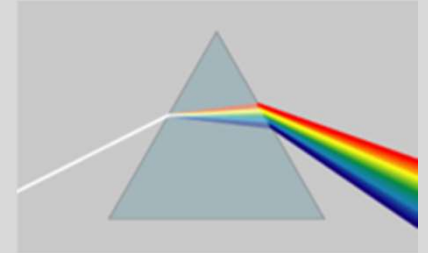
- Dispersija svetlosti je zavisnost optičkih osobina jedne sredine od učestanosti svetlosti koja prolazi kroz tu sredinu, zavisnost indeksa prelamanja te sredine od kružne učestanosti neke svetlosti
- Kriva koja pokazuje tu zavisnost naziva se kriva dispersije, u kojoj intervali I i III čine oblast normalne dispersije u kojoj indeks prelamanja n raste sa porastom kružne učestanosti, a interval II je oblast anomalne dispersije u kojoj indeks prelamanja sa porastom kružne učestanosti opada
- U istoj sredini, različite monohromatske svetlosti (monohromatske svetlosti različitih talasnih dužina) imaju različite brzine i različite indekse prelamanja

Disperzija

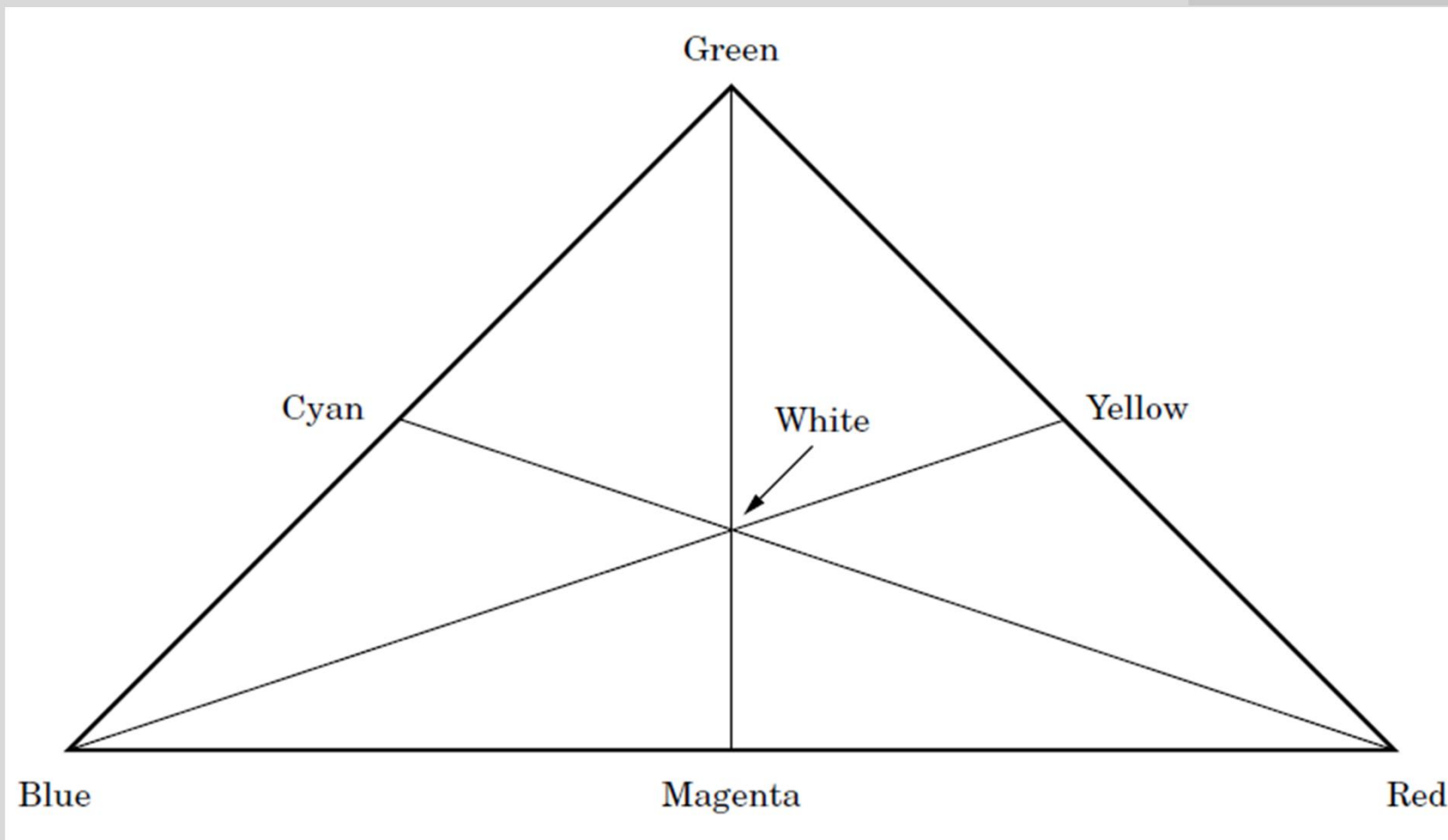


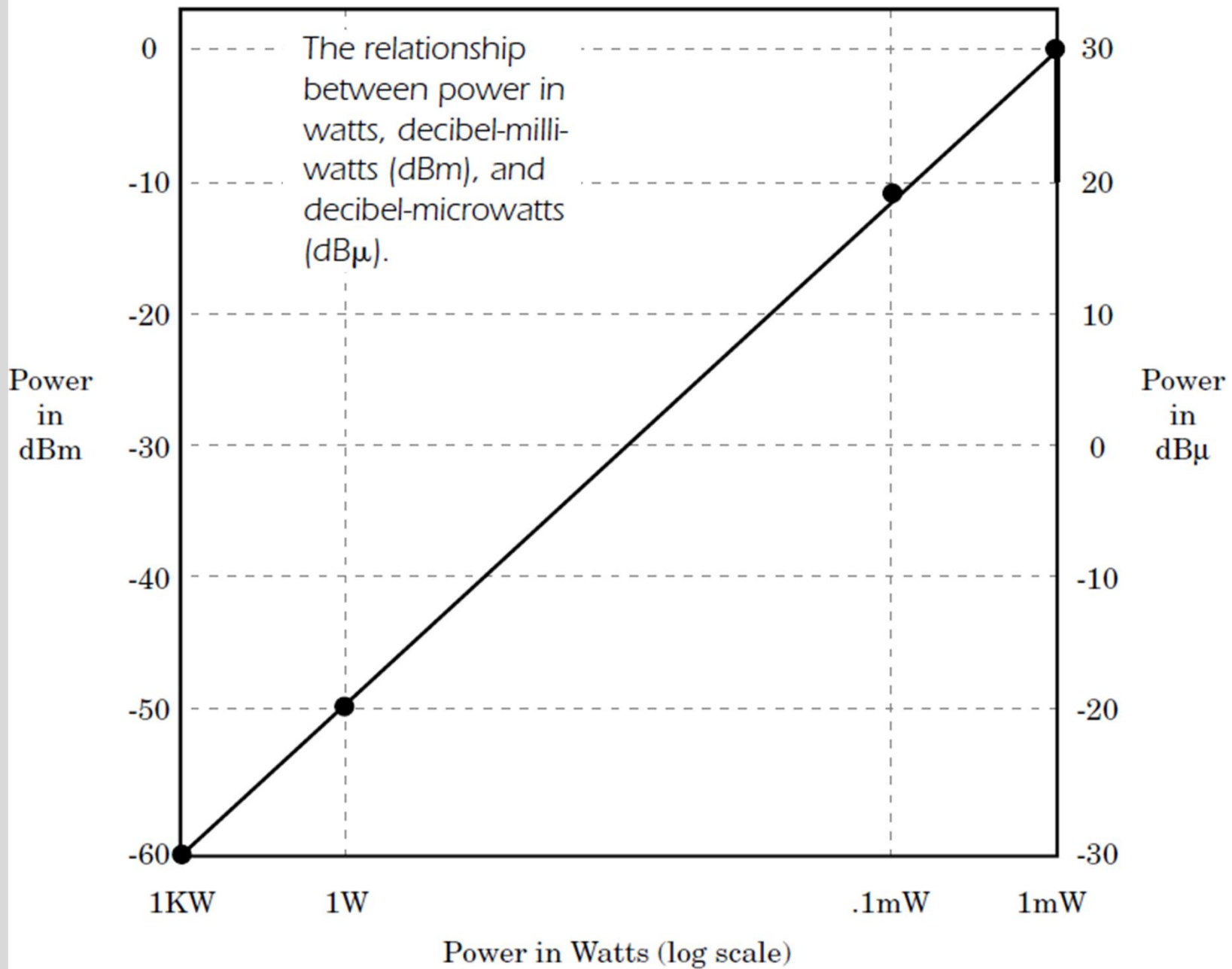
- Razlaganje bele svetlosti se lako uočava ako se snop usmeri na jednu od bočnih strana trostrane staklene prizme (Njutnov ogled). Posle prelamanja kroz prizmu, na zaklonu se dobija spektar duginih boja (staklo inače prelama u oblasti normalne dispersije, pa za veću kružnu učestanost svetlosti, za manju talasnu dužinu, skretni ugao svetlosti je veći)
- Zbog toga crvena svetlost, koja ima manju čestanost, ima i manji skretni ugao, obeležen sa δ_{cr} , od ljubičaste svetlosti veće frekvencije, čiji je ugao skretanja obeležen sa δ_{lj}
- Ove dve boje su granične boje disperzionog spektra. Ugao između njihovih pravaca naziva se disperzioni ugao D , i on je jednak razlici skretnih uglova ljubičaste i crvene svetlosti, dakle $D = \delta_{lj} - \delta_{cr}$

Disperzija

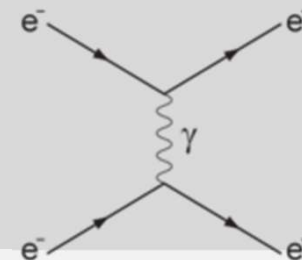


- Po izrazu za prelamanje monohromatske svetlosti kroz tanku prizmu, to je dalje
 $D = (n_{lj} - n_{cr}) \cdot \alpha$, pri čemu su n_{lj} i n_{cr} indeksi prelamanja prizme za ljubičastu i crvenu boju, a α je ugao prizme
- Razlika ova dva navedena indeksa obično se uzima kao kvantitativno obeležje dispersije neke providne sredine
- Osim razlaganja bele svetlosti na spektar, moguće je postići i obrnutu pojavu slaganja bele svetlosti od komponenti njenog spektra tako što se druga prizma stavi iza prve, tako da se nalazi na putu razložene bele svetlosti



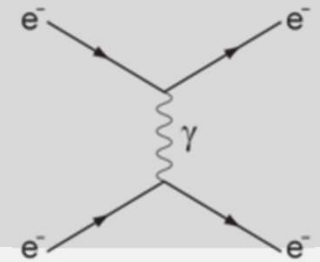


Scattering, Rasejanje



- Rasejanje je fizički proces kada se izmeni prvobitna trajektorija snopa čestica pod uticajem spoljašnje sile. Cilj eksperimenta rasejanja je odrediti strukturu čestica i osobine interakcije između čestica koje se sudaraju.
- Jedan od prvih čuvenih eksperimenata sa rasejanjem bilo je rasejanje alfa-čestica na jezgrima atoma za koje je Ernest Raderford dobio Nobelovu nagradu 1925. godine.
- Zbog Rejljevog rasejanja, nebo preko dana ima plavu boju, a pri zalasku Sunca, nebo poprima crvenkastu nijansu

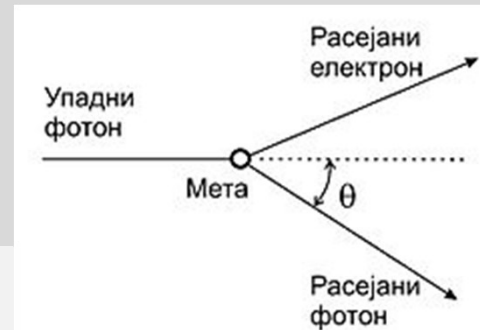
Rejlijevo rasejanje



- Rejlijevo rasejanje (britanski fizičar) je elastično rasejanje svetlosti ili drugog tipa elektromagnetnog zračenja na česticama mnogo manjih dimenzija od talasne dužine svetlosti
- Čestice mogu biti zasebni atomi ili molekuli
- Do ovog tipa rasejavanja dolazi kad svetlost putuje kroz providna čvrsta tela ili tečnosti, ali najčešće se viđa u gasovima
- Rejlijevo rasejanje je rezultat električne polarizabilnosti čestica
- Čestica postaje mali dipol koji zrači, a zračenje se vidi kao rasejana svetlost

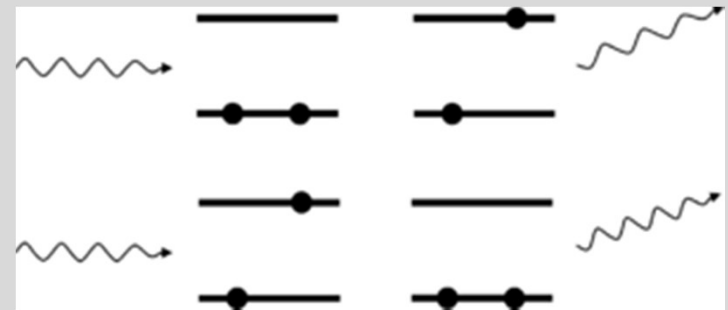
Komptonov efekat

- Komptonov efekat je rasejanje fotona sa atoma pri čemu foton gubi deo energije, menja talasnu dužinu. Efekat je značajan jer je potvrdio korpuskularnu (čestičnu) prirodu svetlosti. Može kvantitativno da se objasni ako se predstavi kao igra bilijara fotona i elektrona.
- Ovaj efekat je bio važan za razvoj moderne fizike jer je pokazao da svetlost ne može u potpunosti da se opiše kao talasna pojava
- Klasična teorija rasejanja elektromagnetnih talasa sa naelektrisane čestice ne može da objasni promenu talasne dužine rasejanog zraka. Za objašnjenje Komptonovog rasejanja neophodno je uzeti u obzir čestičnu prirodu svetlosti. Komptonov eksperiment je najzad uverio fizičare da se svetlo ponaša i kao mlaz čestica **čija je energija proporcionalna frekvenciji.**
- Komptonovo rasejanje se javlja na svim materijalima, najviše sa fotonima srednjih energija, 0,5 do 3,5 MeV



Ramanovo rasejanje zračenja

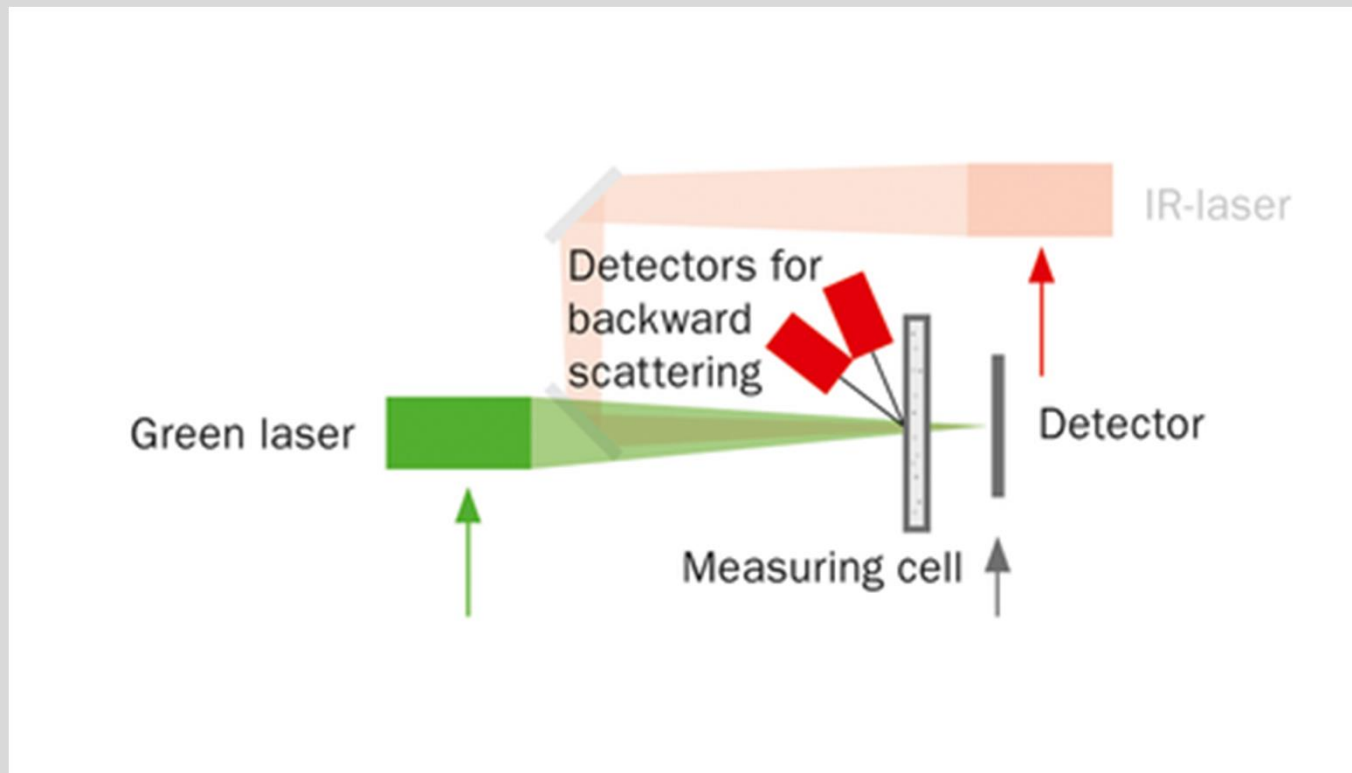
- Upadni foton prilikom rasejanja razmenjuje energiju sa nekim od unutrašnjih oblika kretanja u molekulu (rotacije, vibracije) pa se rasejava sa malo većom ili manjom energijom od prvobitne
- Iako je njihov broj vrlo mali, oni se lako detektuju jer skreću sa prvobitne putanje upadnih fotona
- Ramanovo rasejanje je primer neelastičnog rasejanja gde se menja i energija rasejanog fotona i energija sistema. Najveći broj fotona se rasejava elastično ali u sistemima koji imaju i dodatno unutrašnje kretanje (vibracije ili rotacije molekula) poneki foton može da primi energiju molekulskog kretanja i da se raseje sa malom većom energijom (antistoksovo rasejanje), ili da preda energiju unutrašnjem kretanju pa da se raseje sa nešto nižom energijom



Briluenovo rasejanje

- Briluenovo rasejanje javlja se usled molekularnih vibracija postavljanja vlakna
- Proračuni slabljenja zasnovani su na empirijskim formulama
- Dovodi do pojačanja svetlosti u pravcu prijemnika. ali sa promenjenom učestanosti

Backward scattering



- **Brillouinovo rasejanje** (backward scattering) – je nelinearan efekat prouzrokovan akustičkim talasima
- Ono ograničava snagu koja može da se ubaci u vlakno

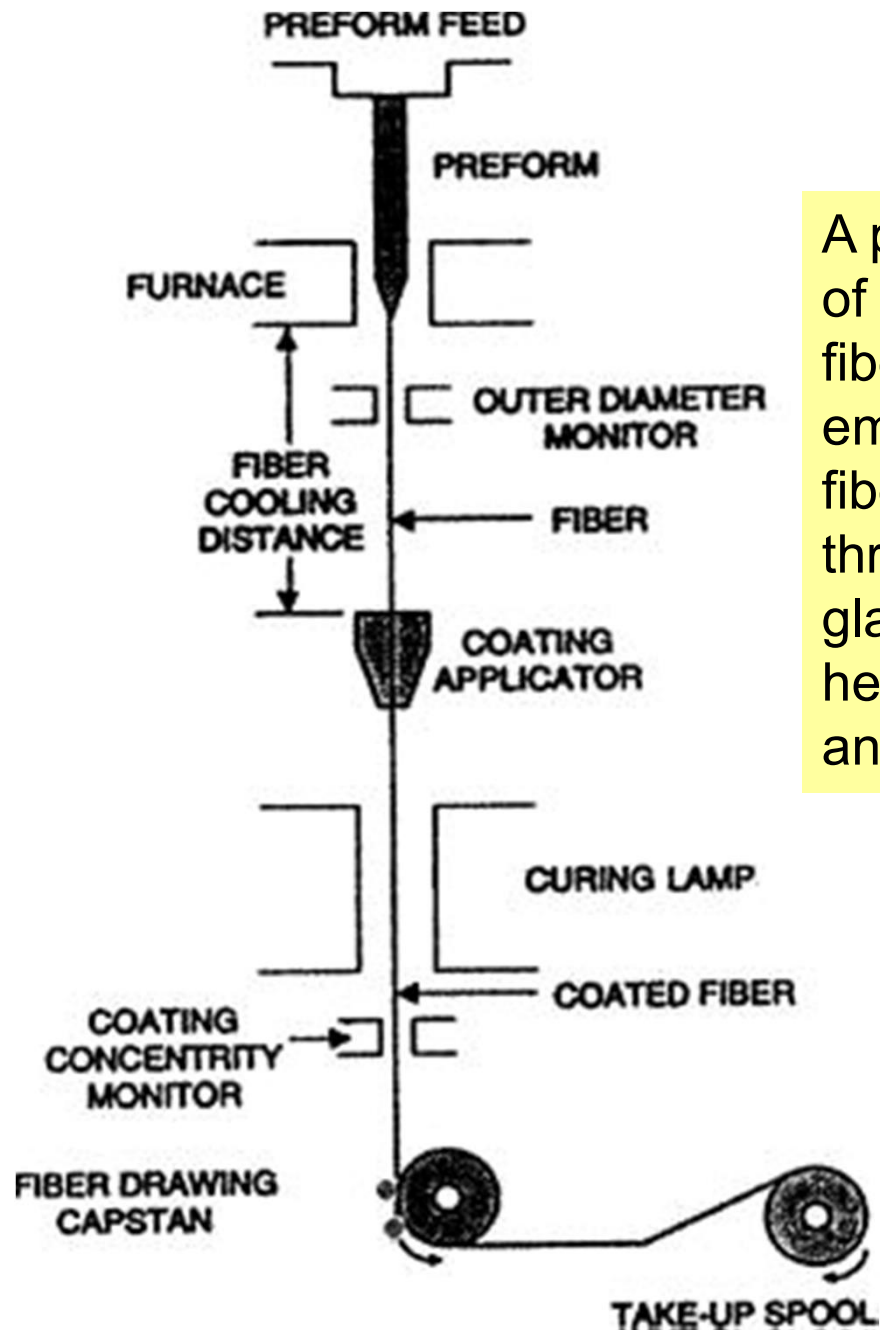
Proces proizvodnje optičkih vlakana

- Proizvodnja optičkih vlakana je podeljena u 2 procesa
 - pravljenje predforme staklenog štapa
 - izvlačenje optičkog vlakna
- Podužno slabljenje optičkog vlakna i disperzione karakteristike zavise u velikoj meri od procesa pravljenja predforme, geometrijske karakteristike vlakna i mehanička čvrstoća zavise od procesa izvlačenja optičkog vlakna
- Za izradu predforme se koriste različite metode hemijske depozicije
- Predforma je uveličana verzija željenog optičkog vlakna

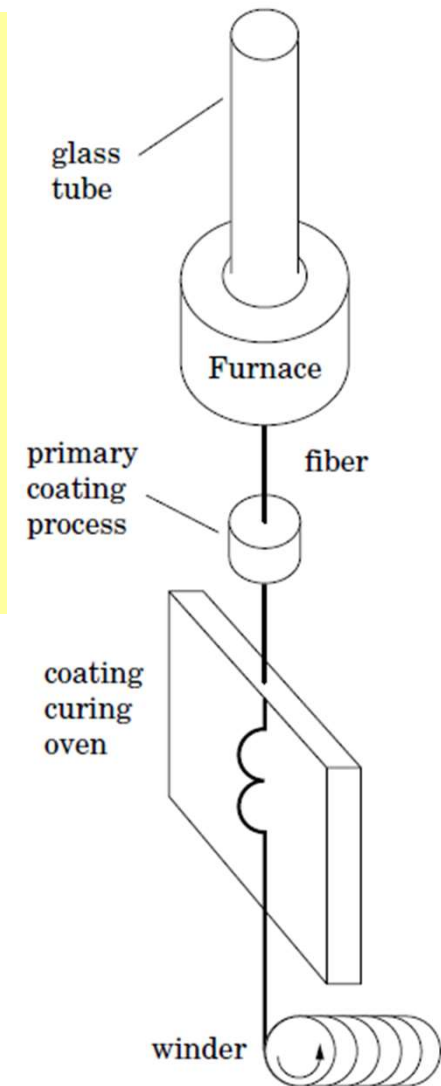
Proces proizvodnje optičkih vlakana

- U specijalnoj mašini za izvlačenje, koja je šematski prikazana na slici, predforma se zagreva u peći na 2000 °C
- Predforma se lagano unosi u peć, a sa donjeg kraja se izvlači vlakno većom brzinom
- Odmah po izlasku iz peći, vrši se kontrola spoljnog prečnika vlakna i vlakno se provlači kroz specijalnu posudu iz koje izlazi sa omotačem od plastike
- Ovaj zaštitni omotač štiti vlakno od nepoželjnog dejstva atmosfere i daje dodatnu čvrstinu vlaknu
- Vlakno sa omotačem se namotava na doboš i time je proizvodnja vlakna okončana
- Tipična vrednost prečnika vlakna sa zaštitnim omotačem je 245 µm.

Proces izvlačenja vlakna



A popular method of manufacturing fiber strands employs a fiber-drawing tower through which a glass compound is heated, stretched, and spooled



temi prenosa

Slabljenje u optičkim vlaknima

- Ukupna snaga koja se ubacuje u vlakno se deli na deo koji se absorbuje A_λ , deo koji se reflektuje R_λ i deo koji se prenese kroz optičko vlakno T_λ :

$$A_\lambda + R_\lambda + T_\lambda = 1$$

- Deo snage koji se prenosi optičkim vlaknom može se predstaviti sledećom jednačinom:

$$T_\lambda = T_0 e^{-\alpha x}$$

T_0 je snaga koja je ubačena na početku vlakna, dok su α koeficijent slabljenja i x dužina vlakna

- Snaga se gubi u vlaknu zbog absorpcije, rasejanja i podužno slabljenje se definiše kao:

$$\alpha = \frac{-10}{L} \log \frac{P_{iz}}{P_{ul}} [dB / km]$$

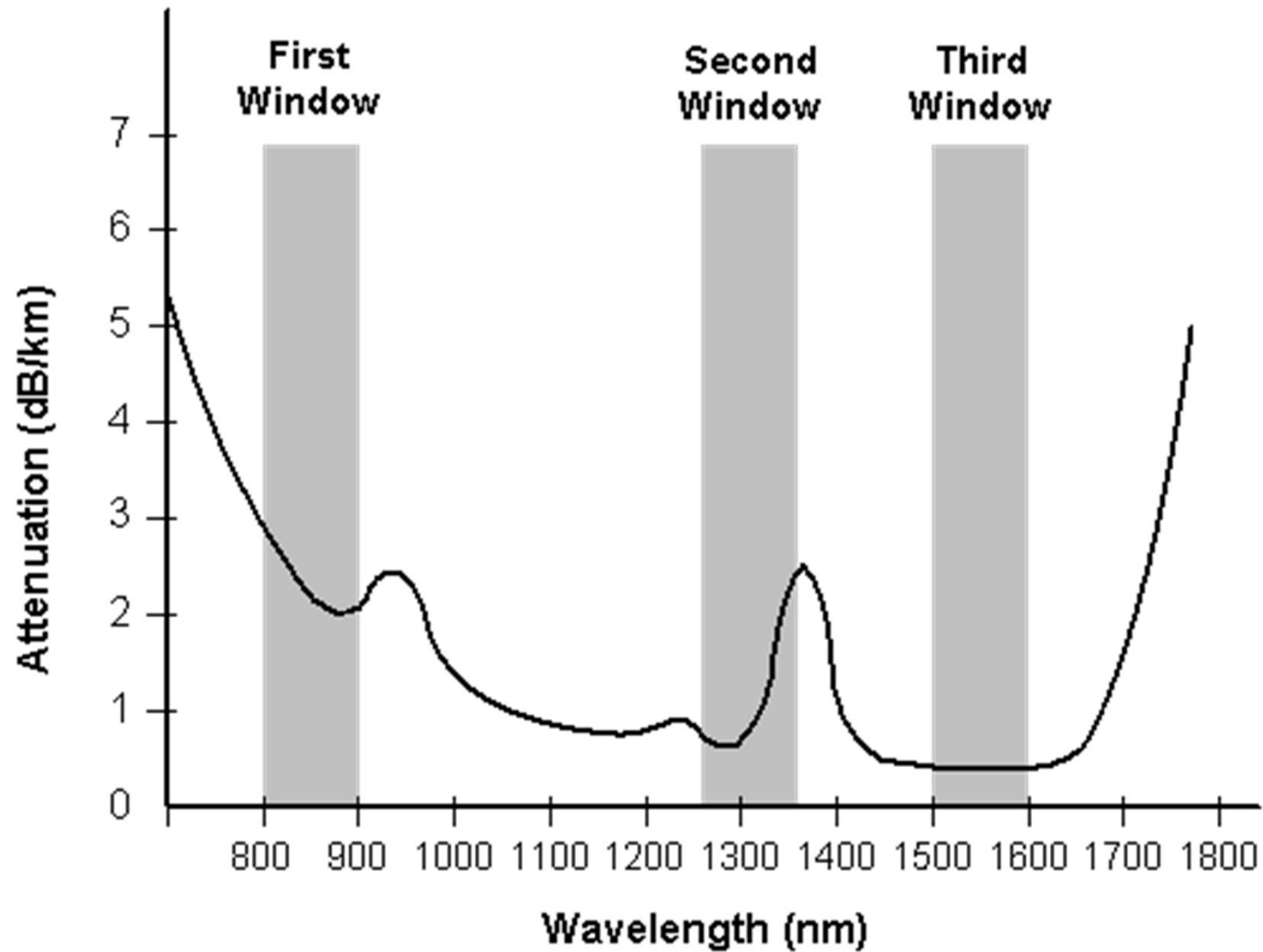
- gde je

L – dužina vlakna

P_{iz} – snaga na izlazu iz vlakna

P_{ul} – snaga na ulazu u vlakno

Kriva podužnog slabljenja



- Postoje 3 oblasti u okviru kojih slabljenje optičkog vlakna ima lokalne minimume
- Ove oblasti talasnih dužina se nazivaju “prozori”
- “Prvi prozor” predstavlja oblast talasnih dužina 850 - 900 nm
- “drugi prozor” predstavlja oblast 1310 nm
- “treći prozor” oblast 1550 nm
- Današnja monomodna vlakna na 1310nm imaju tipično podužno slabljenje u opsegu 0.35dB/km-0.4dB/km, a na 1550 nm podužno slabljenje u opsegu 0.18dB/km – 0.25 dB/km.
- Ukupnom slabljenju u optičkom vlaknu doprinose rasejanja, absorpcija, krivine vlakna i polarizacioni efekti

Najvažniji mehanizmi rasejanja u optičkim vlaknima su:

- Rayleigh-ovo rasejanje – uzročnik je promenljiva gustina materijala vlakna i potiče od interakcije svetlosti sa defektima reda veličine $(1/10) \lambda$
- Usled nehomogenosti u sastavu stakla, odnosno nečistoća, svetlost se na tim mestima rasejava u svim pravcima
- Ovaj proces je ekvivalentan procesu rasejanja sunčeve svetlosti na molekulima atmosfere pri kome se najefikasnije rasejava plavi deo spektra što uzrokuje plavi doživljaj neba
- Rasejanje je manje pri većim talasnim dužinama, pa zato telekomunikacioni sistemi rade u drugom i trećem prozoru, gde su gubici usled Rayleigh-ovog rasejanja najmanji
- Slabljejnje je proporcionalno sa $1/\lambda^4$.
- Ramanovo rasejanje je posledica molekularne vibracije fotona u staklenoj rešetki. Zavisi od temperature i spada u nelinearne efekte koji mogu da se jave ukoliko je velika snaga ubačena u vlakno.
- Brillouinovo rasejanje (backward scattering) – takodje je nelinearan efekat prouzrokovan akustičkim talasima. Ono ograničava snagu koja može da se ubaci u vlakno.

Absorpcija u vlaknu je posledica

- Sopstvene absorpcije – zavisi od energetskog procepa između valentne i provodne zone materijala od kog je vlakno napravljeno
- Nečistoće koje mogu da se unesu u bilo kojoj fazi fabrikacije i koje menjaju odnos valentne i provodne zone, odnosno širinu energetskog procepa čime se povećava absorpcija. Poseban uzročnik absorpcije je voda koja se može uneti bilo mehanički bilo hemijski pri sinterovanju porozne predforme.
- Lokalni maksimumi slabljenja prouzrokovani molekulama vode se jasno vide na karakteristici slabljenja tipičnog monomodnog vlakna.
- Krivine vlakana u optičkom kablju uzrokuju dodatno slabljenje.

- Gubici usled mikrosavijanja su izazvani malim periodičnim savijanjima ose vlakna (reda nm), periode ponavljanja reda mm
- Do mikrosavijanja dolazi usled grešaka tokom proizvodnje kabla, nejednake raspodele opterećenja pri dejstvu spoljnih mehaničkih sila i nepravilnog postavljanja vlakana u kablove
- U monomodnim vlaknima mikrosavijanje zavisi od talasne dužine
- Sa porastom talasne dužine raste prečnik moda, a time i gubici usled mikrosavijanja. Empirijski se može pokazati da povećanje indeksa prelamanja jezgra smanjuje osetljivost na mikrosavijanje. Isto se može postići i smanjenjem prečnika jezgra kod multimodnih vlakana, odnosno prečnika polja moda kod monomodnih vlakana

- Pri instalaciji optičkog kabla mogu se napraviti krivine čiji su prečnici reda nekoliko cm, što će takođe doprineti povećanju slabljenja
- Ovo dodatno slabljenje je poznato kao slabljenje usled makrosavijanja
- Smanjenje osetljivosti na makrosavijanje podrazumeva takođe smanjenje prečnika jezgra, tj. polja moda, kao i povećanje nivoa dopanata čime će se pokvariti inicijalno slabljenje vlakna
- Uticaj mikrosavijanja i makrosavijanja se mora uskladiti sa ostalim uzročnicima slabljenja u optičkom vlaknu kako se ne bi desilo da se postupcima kabliranja i instalacije kabla značajno degradiraju karakteristike upotrebljenih vlakana

Disperzija u optičkim vlaknima

- Indeks prelamanja n funkcija je optičke talasne dužine λ i kod stakla on opada sa porastom λ . Brzina prostiranja v zato postaje zavisna od talasne dužine $v=c/n$, i ta karakteristika je poznata kao disperzija. Pošto svetlost iz optičkih predajnika ima određenu spektralnu širinu $\Delta \lambda$, pojavljuje se razlike u kašnjenju čak i unutar jednog talasnog moda. Postoji više tipova disperzije: modalna disperzija, disperzija materijala, talasovodna, profilna i polarizaciona.
- Talasovodna disperzija i materijalna disperzija su vezane za efekte čiji se kombinovani efekti nazivaju hromatska disperzija.
- Profilna disperzija je vezana za promenu profila indeksa prelamanja na poprečnom preseku vlakna.
- Polarizaciona disperzija je posledica birefraktivnosti, a vezana je i za izvor svetlosti.
- Disperzija ograničava brzinu prenosa u optičkim komunikacionim sistemima i meri se pikosekundama proširenja impulsa po kilometru dužine vlakna i nanometru spektralne širine optičkog izvora [$\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$]

- U monomodnim vlaknima postoje hromatska, profilna i polarizaciona disperzija. Ako je proizvodnja vlakna dobro izvedena profilna disperzija se može zanemariti u odnosu na hromatsku.
- Polarizaciona disperzija se može zanemariti samo u slučaju malih binarnih protoka.
- Kada su u pitanju multimodna vlakna, kod njih postoje svi navedeni tipovi disperzije. Modalna disperzija predstavlja dominantan tip disperzije, pa se svi ostali tipovi disperzije zanemaruju, pogotovu ako se radi o drugom prozoru.

- Modalna disperzija je posledica superpozicije modova identične talasne dužine, koji imaju različite putanje prostiraju kroz vlakno
- Tipičan izvor svetlosti emituje zrake pod različitim uglovima u okviru konusa prihvatanja. Različiti zraci će imati različite dužine puta kroz staklo. Zraci sa manjim incidentnim uglovima će stići na kraj vlakna ranije u odnosu na one sa većim incidentnim uglovima. Na kraj vlakna će najranije stići zrak koji upada normalno u vlakno., a najkasnije onaj zrak čiji je incidentni ugao $\Theta_{\max}$. Na ovaj način dolazi do pojave da ubacivanjem svetlosnog impulsa na ulazu u vlakno dolazi do velikog broja vremenski pomerenih zraka, što dovodi do širenja impulsa. Širenja impulsa, kao funkcija geometrije različitih puteva kroz vlakno, može da se kontroliše promenom indeksa prelamanja unutar jezgra.

- Obično se profil indeksa prelamanja bira tako da ima maksimalnu vrednost u centru jezgra i da se kontinualno smanjuje ka omotaču. Takva vlakna se nazivaju vlaknima sa gradijentnim indeksom prelamanja. Zraci a većim incidentnim uglom se prostiru većom brzinom, jer njihova putanja bliže granici sa omotačem, gde je indeks prelamanja manji, od onih koji upadnu pod manjim uglom, tj. bliže centru, gde je indeks prelamanja veći. Ovim se praktično izbalansiraju uticaji dužine puta (posledica incidentnog ugla) i brzine prostiranja (koja zavisi od n) čime se smanjuje ukupno širenje impulsa koja je posledica modalne disperzije.
- Optički izvori emituju zrake sa različitim talasnim dužinama. U praksi optički izvori emituju svetlost sa nekom određenom spektralnom širinom $\Delta\lambda$ (laserske diode imaju spektralnu širinu od 1 nm do 5 nm. Zbog zavisnosti indeksa prelamanja n od λ , odnosno zbog zavisnosti brzine prostiranja v od λ , zraci sa različitim talasnim dužinama putuju različitim brzinama kroz optičko vlakno i ne stižu u isto vreme na kraj optičkog vlakna, što uzrokuje širenje svetlosnog impulsa na izlazu. Ova pojava definiše disperziju materijala i ona je karakteristika predajnika.

- Hromatska disperzija predstavlja zbir disperzije materijala i talasovodne disperzije . Disperzija materijala nastaje usled promene indeksa prelamanja sa talasnom dužinom i manifestuje se širenjem impulsa u toku prolaska kroz optičko vlakno. Talasovodna disperzija zavisi od disperzivnih osobina vlakna, odnosno od indeksa prelamanja i poluprečnika jezgra. Ova disperzija je svojstvena konstrukciji samog vlakna , a nastaje usled zavisnosti fazne konstante-talasovodnih osobina optičkog vlakna, od talasne dužine.
- Ove dve disperzije mogu biti različitog znaka i na taj način na pojedinim talasnim dužinama ostvaruju nultu hromatsku disperziju. Tačka nulte disperzije je 1310nm u standardnim monomodnim vlaknima sa step –indeksom prelamanja. Međutim, na talasnoj dužini 1550 nm , u trećem prozoru, postoje prednosti u prenosu signala. To je tačka minimalnog slabljenja optičkog vlakna, a takođe i opseg rada EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier). Treći prozor je stoga optimalan za prenos signala na većim rastojanjima.
- Smanjenjem prečnika jezgra i povećanjem talasovodne disperzije može se povećati talasna dužina pri kojoj će se anulirati ukupna disperzija.

- Standardna monomodna vlakna se koriste u opsegu 1550 nm sve dok je širina impulsa izvora mala . Međutim disperzija postaje problem pri većim brzinama prenosa ili u DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) sistemima, gde su kanali veoma gusto raspoređeni. Usled toga su razvijeni drugi tipovi monomodnih vlakana : DSF -Dispersion Shifted Fibres i posebna vlakna za DWDM sisteme.
- Za potrebe sistema visokih performansi neophodno je koristiti prenos u trećem prozoru 1550nm, a to zahteva promenu karakteristike disperzije monomodnih vlakana. Disperzija materijala je vezana za materijal od kog se pravi optičko vlakno, za silicijum, te se na nju ne može uticati.
- Učinjen je napredak u smislu povećanja talasovodne disperzije (koja je negativnog predznaka) i time se može menjati ukupna hromatska disperzija optičkog vlakna. Ovaj efekat je iskorišćen za pomeranje talasne dužine nulte disperzije u vlaknima sa pozitivnom disperzijom.

- U DSF vlaknima je tačka nulte disperzije pomeren na 1550 nm, tako da je ostvareno prilagođenje sa tačkom minimalnog slabljenja optičkog vlakna.
- Međutim, pokazalo se da DSF vlakna nisu odgovarajuća za korišćenje u DWDM sistemima, jer se talasna dužina nulte disperzije nalazi u oblasti talasnih dužina mnogo kanala, čime se povećava međukanalno preslušavanje usled četvorotalasnog mešanja.
- Ovaj problem se rešio sa vlaknima tipa NZDSF (Non Zero Dispersion Shifted Fibers) tako što se tačka nulte disperzije pomerila van opsega 1550 nm.

Kada se govori o disperziji važno je objasniti pojam Disperzije Polarizacionog Moda (PMD). Monomodna vlakna prenose dva među sobom ortogonalna moda po jedan za svaku polarizaciju, koji se prostiru istovremeno. Kada bi vlakno imalo idealnu kružnu simetriju jezgra i potpuno simetričnu raspodelu indeksa prelamanja, oba polarizaciona moda bi se prostirala istom brzinom i samo vlakno bi se ponašalo kao monomodno. Polarizacija na ulazu i izlazu vlakna bi bila identična.

Međutim, pošto realna monomodna vlakna nikada nemaju idealne karakteristike zbog asimetričnosti jezgra, unutrašnjih pritisaka u staklu kao posledice izvlačenja vlakna, usled naprezanja, bočnih pritisaka, uvrtanja i krivljenja vlakna pri kabliranju), javlja se anizotropan indeks prelamanja (različiti indeks prelamanja duž različitih pravaca) i usled toga dolazi do različite brzine polarizacionih modova.

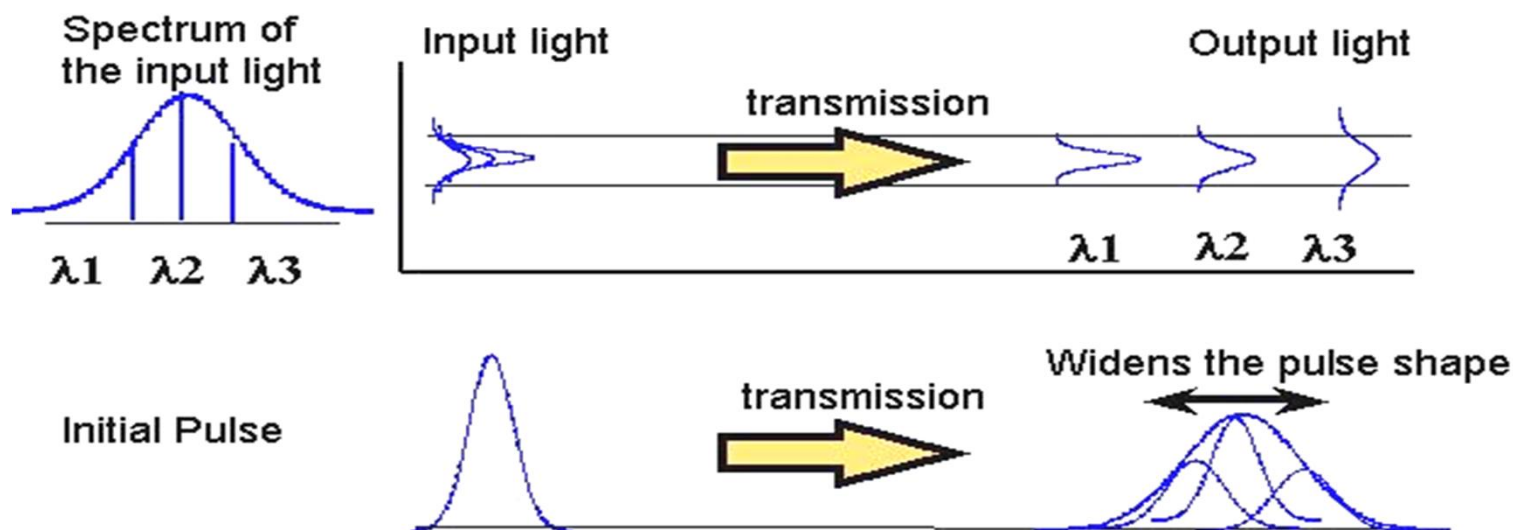
Svetlost koja se prostire kroz takvo vlakno se razdvaja na dve komponente i usled toga, polarizacioni modovi će se prostirati različitim brzinama kroz vlakno i tako stići u nejednakim vremenskim trenutcima na izlaz. Ovaj vid proširenja impulsa na izlazu monomodnog vlakna se zove disperzija polarizacionog moda (PMD). PMD izaziva i dodatno slabljenje svetlosnog impulsa.

U poređenju sa hromatskom disperzijom, uticaj disperzije polarizacionog moda na kvalitet prenosa je manje izražen, ali je problem kompenzacija disperzije polarizacionog moda. Vrednost PMD nije konstantna veličina i njena vrednost zavisi i od načina instaliranja kabla. Vrednost PMD može da varira i u zavisnosti od spoljašnjih faktora, kao što je mehaničko naprezanje, pritisak, pa čak i temperatura. Uticaj PMD je izraženiji u sistemima sa binarnim protocima 10 Gbit/s i većim.

Hromatska Disperzija (CD)

Efekti i posledice

- Indeks refrakcije ima faktor koji zavisi od talasne dužine, tako da različite spektralne komponente putuju različitim brzinama (veće talasne dužine putuju brže nego manje talasne dužine)
- Rezultujući efekat je širenje optičkih impulsa i posledična interferencija između proširenih impulsa.



Mere koje se mogu preduzeti kada je u pitanju CD

- ◆ CD kompenzacija, korišćenje DSF ili NZDSF vlakana, ili kombinacija ovih tehnika

SMF, DSF, NZDSF

- SMF : Single Mode Fiber

ITU-T G.652 Preporuka

- DSF : Dispersion Shifted Fiber

ITU-T G.653 Preporuka

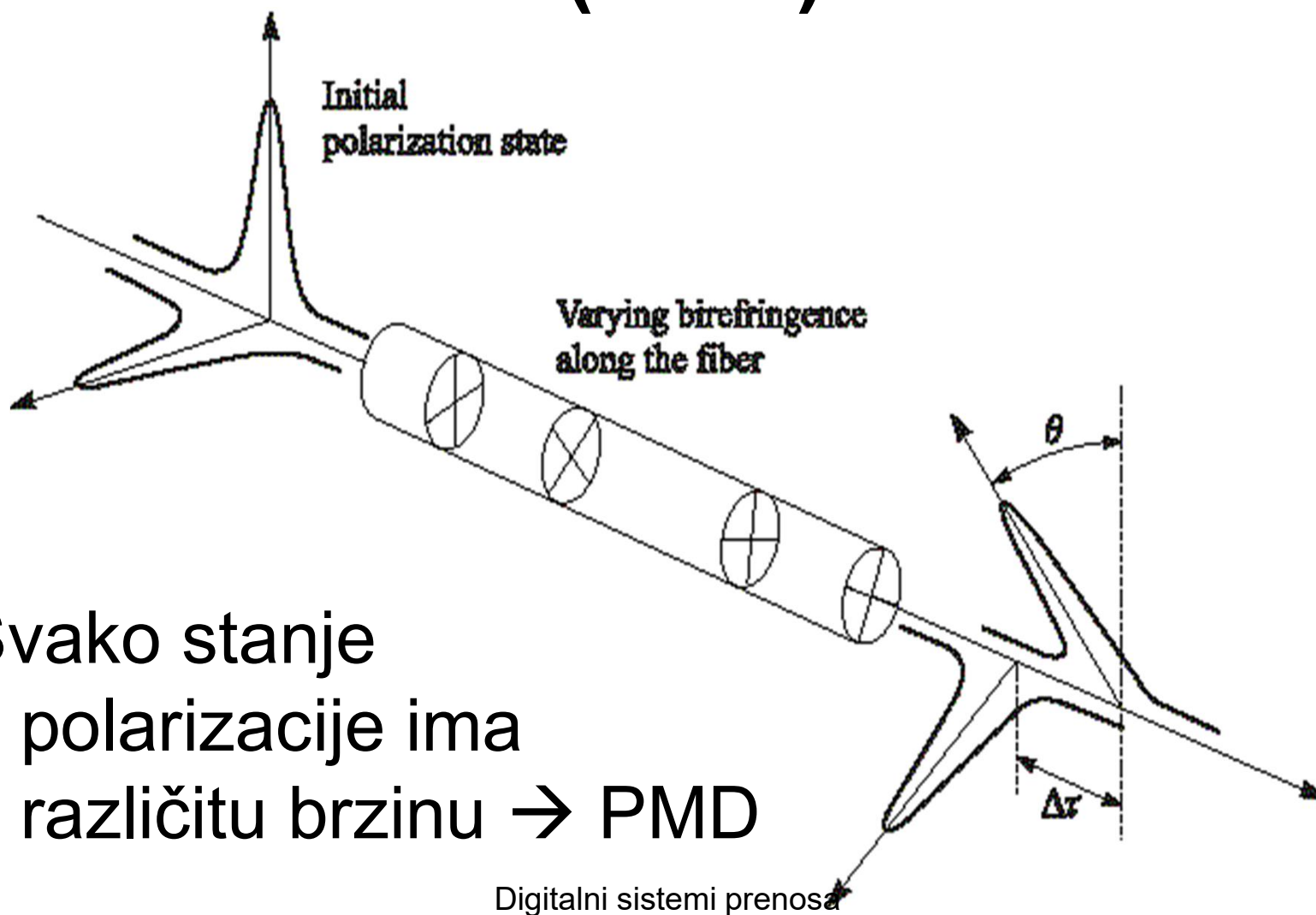
- NZDSF : Non-Zero Dispersion Shifted Fiber

ITU-T G.655 Preporuka

Disperzija polarizacionog moda

- Monomodno prostiranje ima u stvari dve ortogonalne komponente.
- Stvarno vlakno nije potpuno simetrično.
- Komponente se prostiru različitim brzinama tako da je ovo još jedna vrsta disperzije (PMD).
- Vrednosti PMD nisu velike, ali je veoma značajna, posebno kada su ostale vrste disperzije smanjene.

Disperzija polarizacionog moda (PMD)



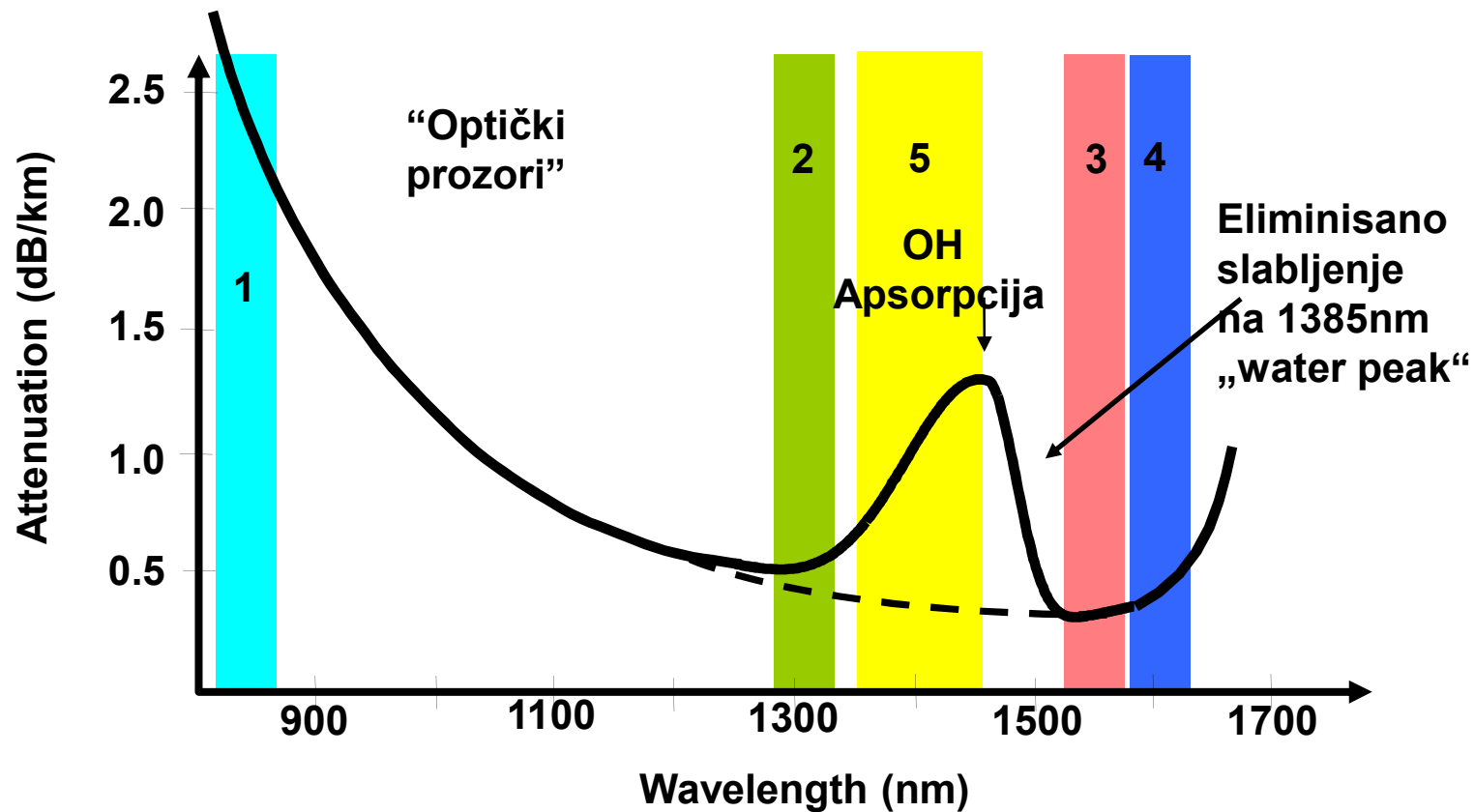
Širenje impulsa usled PMD

$$\Delta t_{PMD} = D_{PMD} \sqrt{L}$$

- Tipična vrednost: 0.5 ps/√km što znači 5 ps za vlakno dužine 100 km.

UTICAJI NA PRENOS OPTIČKIH SIGNALA U VLAKNU

Karakteristika slabljenja

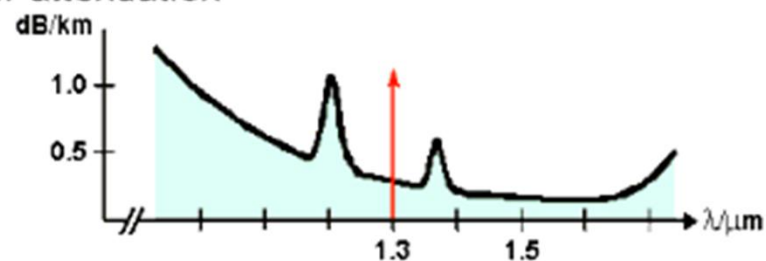


Glavni uzrok slabljenja: Rayleigh-ovo rasejanje

Digitalni sistemi prenosa

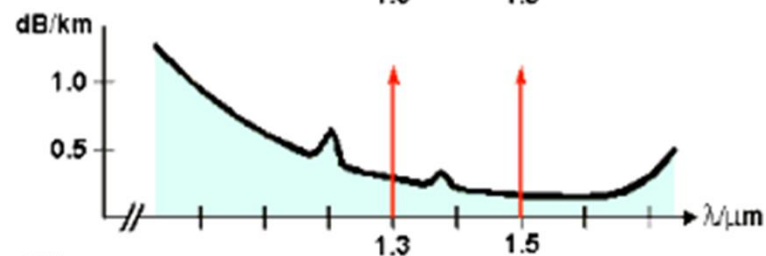
Jednokanalni i višekanalni optički sistemi

Fiber attenuation

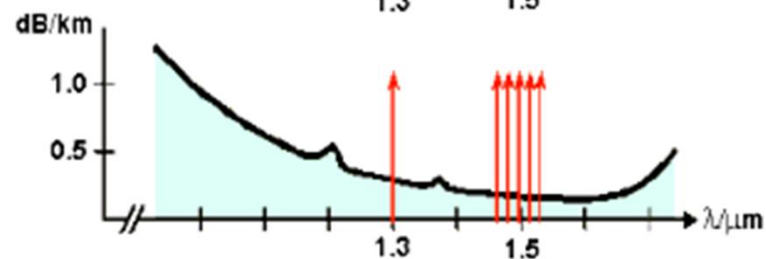


Channel rates

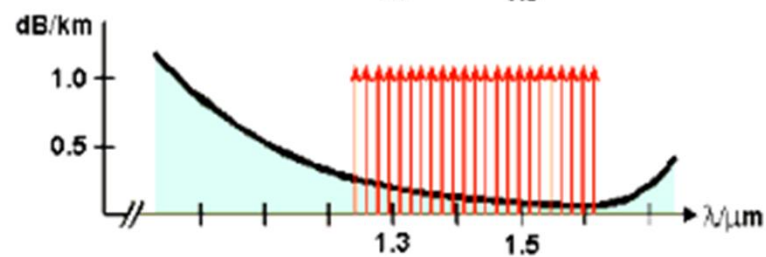
140 Mbit/s



2.5 Gbit/s



10 Gbit/s



40 Gbit/s

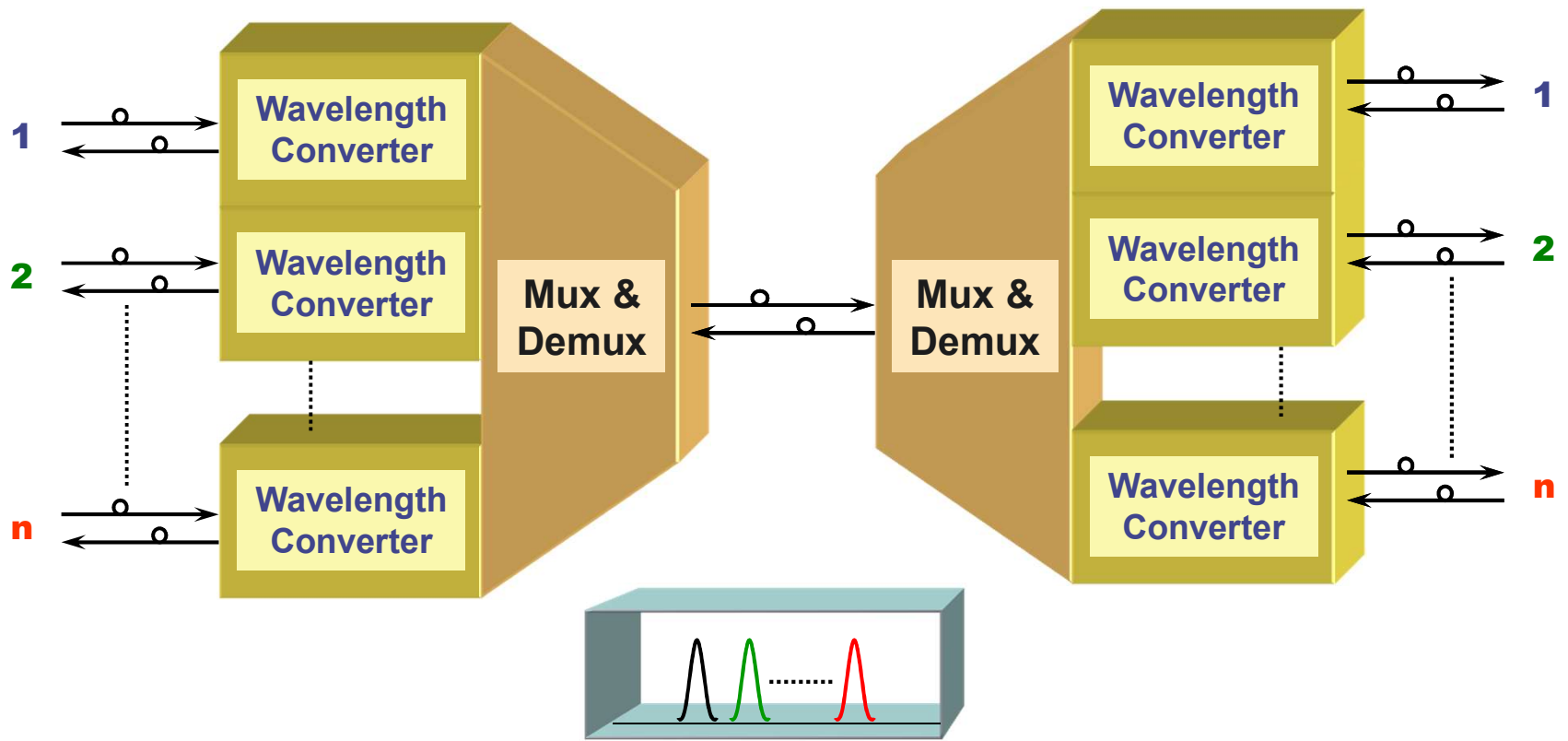
100 Gbit/s

Digitalni sistemi prenosa

Multipleksiranje

- Postoje dva načina za povećanje kapaciteta prenosa:
 1. Povećanje bitske brzine
 2. Multipleksiranje po talasnim dužinama
WDM: wavelength division multiplexing
- 1. Time Division Multiplexing (TDM) STM-16 (2.5 Gbit/s) , STM-64 (10 Gbit/s), 1 Gbit/s Ethernet, 10 Gbit/s Ethernet ili 100 Gbit/s Ethernet.
- 2. $N \times \lambda$, gde je protok po kanalu (λ) 10 Gbit/s , 100 Gbit/s , a moguće su i veće vrednosti bitske brzine

WDM Sistem



Značajni Parametri za projektovanje WDM mreža

- Broj talasnih dužina
- Bitska brzina po talsnoj dužini
- Rastojanje između kanala
- Korisni propusni opseg
- Rastojanje između optičkih pojačavača
- Rastojanje bez regeneracije signala

Profesor dr Miroslav Lutovac

mlutovac@viser.edu.rs

Ova prezentacija je nekomercijalna.

Slajdovi mogu da sadrže materijale preuzete sa Interneta, stručne i naučne građe, koji su zaštićeni Zakonom o autorskim i srodnim pravima.

Ova prezentacija se može koristiti samo privremeno tokom usmenog izlaganja nastavnika u cilju informisanja i upućivanja studenata na dalji stručni, istraživački i naučni rad i u druge svrhe se ne sme koristiti –

Član 44 - Dozvoljeno je bez dozvole autora i bez plaćanja autorske naknade za nekomercijalne svrhe nastave:

(1) javno izvođenje ili predstavljanje objavljenih dela u obliku neposrednog poučavanja na nastavi;

- ZAKON O AUTORSKOM I SRODNIM PRAVIMA

("Sl. glasnik RS", br. 104/2009 i 99/2011)