به نام خدا

شبکه های ارتباطی فیبر نوری و کاربردهای نوین آن

OPTICAL FIBER NETWORK & NEW APPLICATIONS

ارائه : شهریار یزدانی
ولی اله امیری

مقدمه:

چند سالی است که استفاده ازطول موج های نور مریی به عنوان حمل کننده اطلاعات یا کاریرروا‌ج پیدا کرده است.امواج فرکانس پایین یا طول موج بلند جهت این کار مناسب می باشند زیرا دارای تضعیف کم در فواصل طولانی می باشند.از طرف دیگر ظرفیت انتقال اطلاعات با فرکانس کاریررابطه مستقیم دارد.لذا باید یک توازن بین این دو پارامتر ایجاد شود.بطور مثال امواج رادیویی نرخ فرکانسی بالا دارند.بعد از آن به امواج دیگری مانند امواج مایکرویوی و میلیمتری می رسیم.از روی طیف فرکانسی امواج الکترومغناطیسی می توان امواج رابه همراه فرکانس و طول موجشان بررسی نمود.
سپس به موج منتشره در فیبر نوری می رسیم که طول موج آن بین ۸۰۰ تا ۱۷۰۰ نانومتر است.(۱۳۱۰ و ۱۵۵۰ دو طول موج بسیار مهم جهت فواصل کوتاه و دور).در سال ۱۹۶۰ لیزر اختراع شد و همزمان با آن بحث منبع نور همسان و مدولاسیون در آن در فرکانس بالا مطرح شد.

انواع محیط های انتقال :

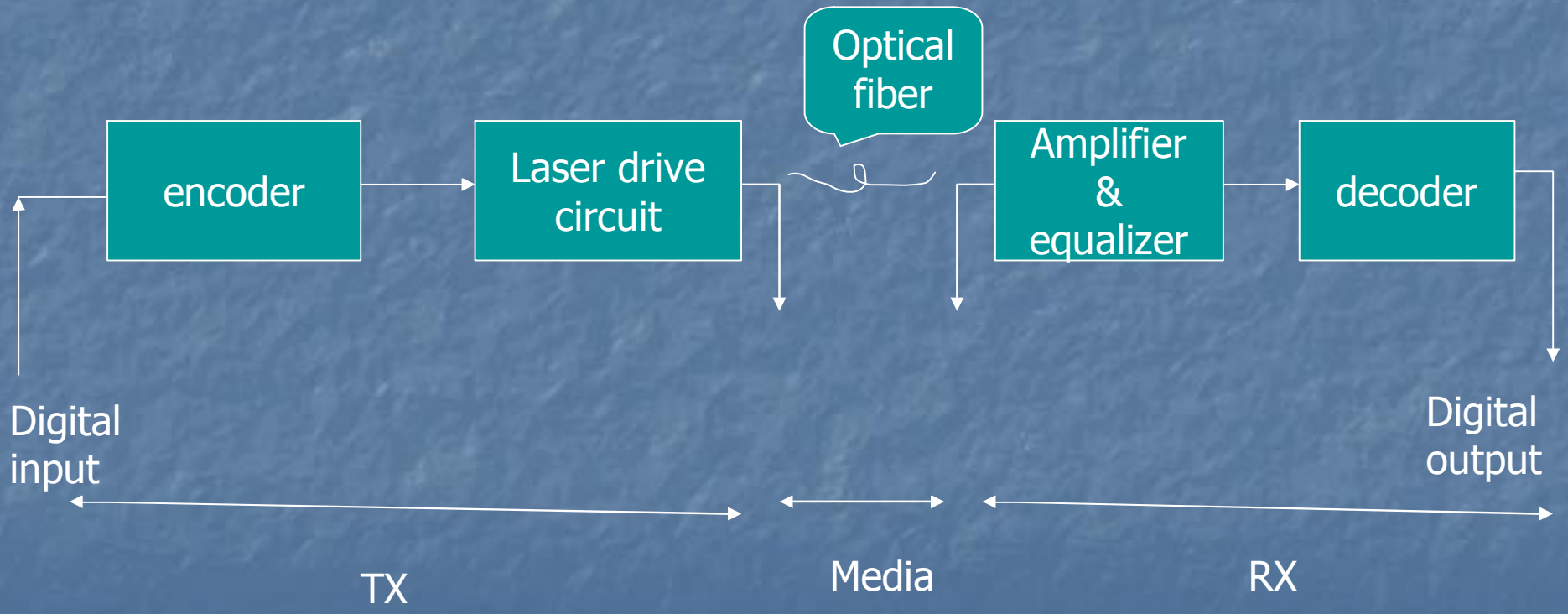
فضای آزاد – بی سیم wireless : مانند آنتن های مایکرویوی . رادیویی و...

کابل کواکسیال-هم محورcoaxcial cable : مانند کابل کواکسیال ارتباطی آنتن تا تلویزیون

زوج سیم بهم تابیده شده twisted per line : همان رانژه های مخابراتی است

فیبر نوریoptical fiber : کابل فیبرنوری دارای انواع مختلف ومشخصات متفاوت با یکدیگر

بلوک دیاگرام کلی یک سیستم مخابراتی :



مزایای فیبرنوری :

۱-پهنای باند زیاد :
به طور مثال می توان با استفاده از فیبر نوری تا رنج چند گیگا هرتز در چند کیلومترو چند صدمگاهرتز درچند ده کیلومتر بدون ریپیتر انتقال سیگنال داشت.۲

۲-حجم و وزن کم :
به علت کوچک بودن قطر فیبر نوری در حد میکرومتر می باشد.

۳-عایق بودن از لحاظ الکتریکی:
به علت جنس مغزی فیبر نوری که آلیاژی از سیلیکون می باشد(نوعی ترکیب شیشه) لذا عایق الکتریکی می باشد.در نتیجه جهت استفاده در زمینه وسایل برقی نیز مفید بوده و هرگونه خراش روی فیبر هیچ جرقه و یا اتصال کوتاهی را در پی ندارد.

۴-حفاظت در برابر تداخل:
پدیده خط روی خط ویا تداخل اتفاق نیفتاده سیگنال در این محیط انتقال هرگز تحت تاثیرمیدان های انتقال اطراف قرار نخواهد گرفت.همچنین تعدادی از کابل های فیبر نوری را می توان بدون تداخل در کنار هم قرار داد.(بدون هیچ گونه نویز)
نویز:عبارت است از سیگنال ناخواسته ای که به سیگنال اصلی اضافه شده فرم و یا شکل آن را تحت تاثیر قرار می دهد.

۵-امنیت اطلاعات :

عوامل مزاحم نمی توانند از اطلاعات کد شده ای که از داخل فیبر عبور می کند آگاهی پیدا کرده ود حقیقت نور داخل فیبر هرگز به بیرون راه نخواهد یافت.به دلیل این مزیت در زمینه شبکه های بانکی-امور نظامی-شبکه های کامپیوتری کاربرد دارد.

۶-تضعیف کم در انتقال:Attenuation

مقدار تضعیف یا افت سیگنال در واحد طول بر حسب دسی بل بر کیلومتر برای این محیط انتقال دررنج مطلوبی می باشد.به طور مثال ۰/۲ دسی بل بر کیلومتر.

۷-قابلیت انعطاف زیاد:

انعطاف پذیری زیاد از پارامترهای مثبت این رسانه بوده باعث می شود که بتوان مغزی آن را به دور محور اصلی پیچش داد.

۸- قابلیت اطمینان و نگهداری آسان:

به علت استفاده از حداقل تعداد تقویت کننده لذا در موقع رفع خرابی کار بسیار ساده تر خواهد بود. در کل نگهداری این رسانه در مدت طولانی نسبت به دیگر محیط های انتقال آسان می باشد.

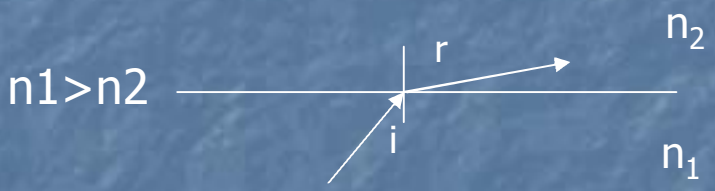
۹-صرفه اقتصادی:

میزان مواد مصرفی اولیه کم و ارزان و وفور آن در طبیعت نسبت به دیگر مواد مواد مصرفی در محیط های انتقال مانند مس باعث به صرفه بودن آن در دراز مدت می شود.

نظریه انتشار نور در فیبر نوری:

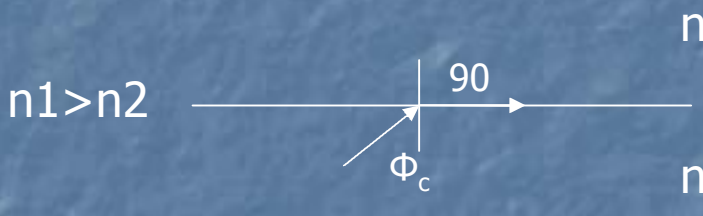
شکست نور

$n_1 \sin i = n_2 \sin r$

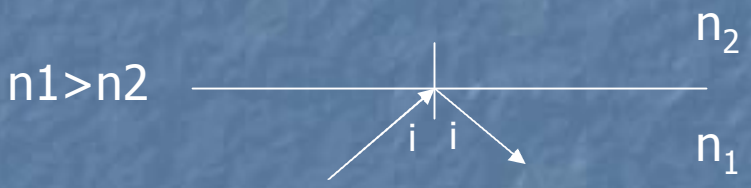


حالت بحرانی

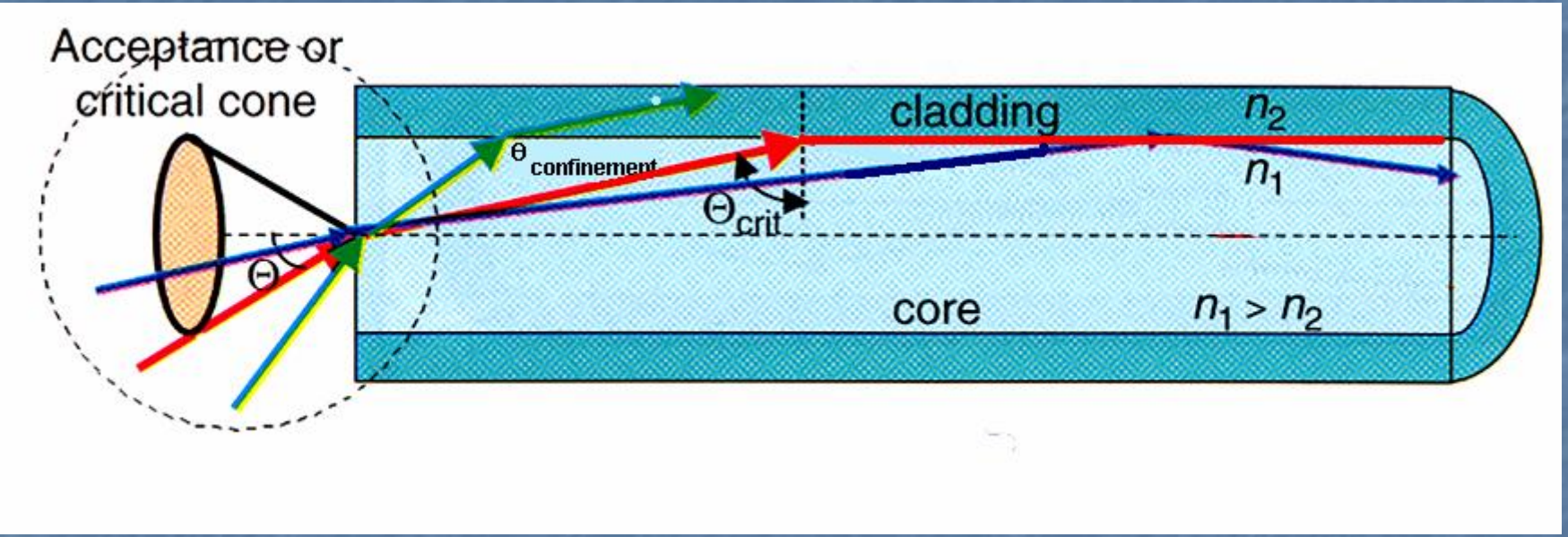
$\mathrm{Sin}\Phi_c = n_2/n_1$



بازتابش کلی



انتشار نور در فیبر نوری:



$N.A = \sin(\theta_a)=\sqrt{(n_1^2-n_2^2)}$

N.A:numerical apperture

$N.A \sim \sin(\theta_a)=n_1\sqrt{(2\Delta)}$

$\Delta = (n_1-n_2)/n_1$ اختلاف ضریب شکست نسبی:

مثال:اگر ضریب شکست هسته و غلاف برابر ۱,۵ و ۱,۴۷ باشد بیابید :
۱-زاویه بحرانی در مرز هسته و غلاف
۲-پارامتر روزنه عددی
۳-زاویه پذیرش نور برای این فیبرنوری

- $n_1=1.5$, $n_2=1.47$
- $\Phi_c = \sin^{-1}(n_2/n_1)=78.5$ degree
- $N.A=\sqrt{(n_1^2-n_2^2)}=0.3$
- $\Theta_a=\sin^{-1}(N.A)=17.4$ degree

انواع فیبر نوری از حیث ضریب شکست:

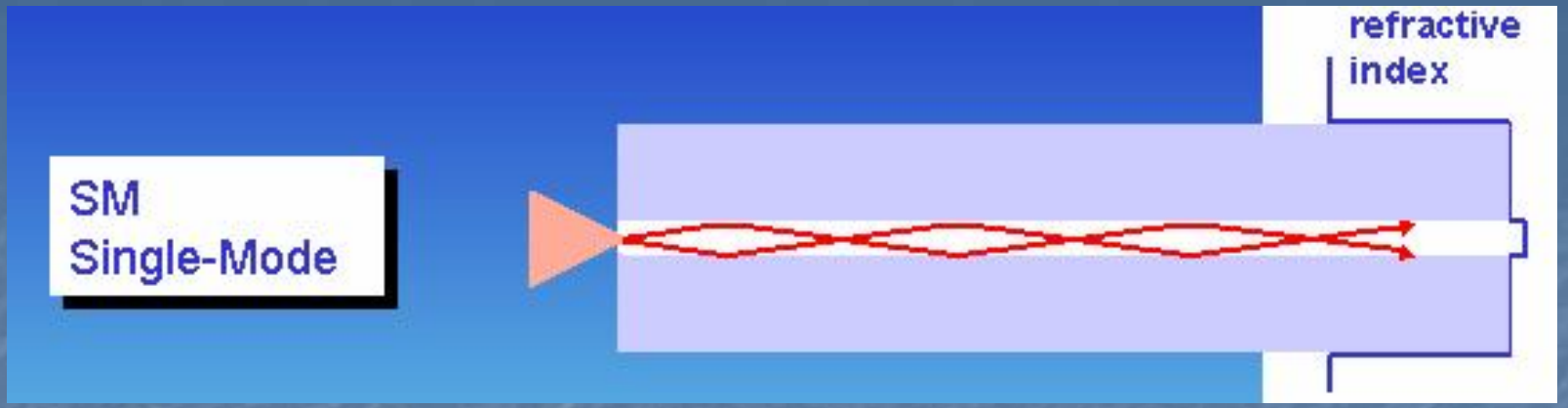
۱-پله ای Step Index
۲-تدریجی Graded Index

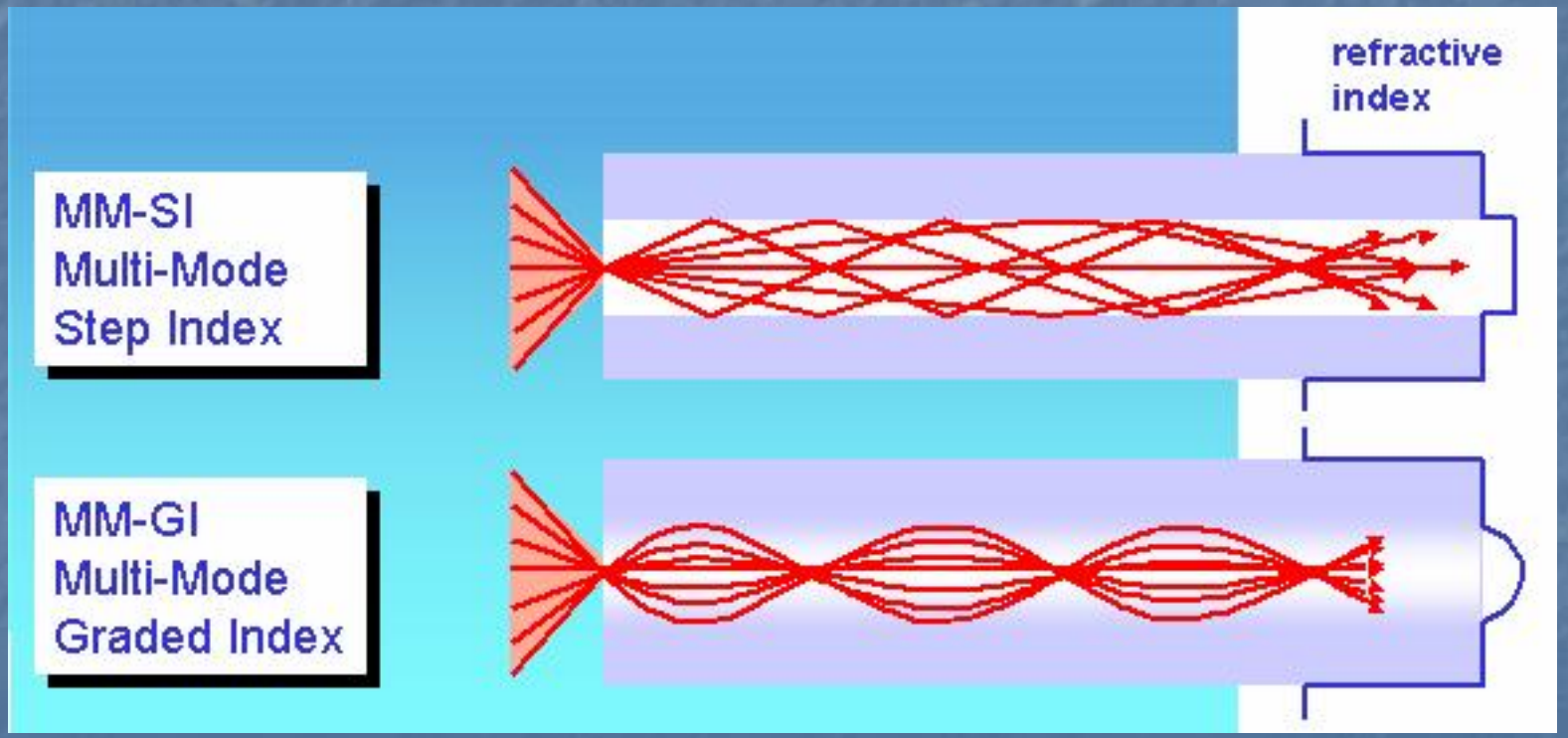
انواع فیبر نوری از حیث مود:

- ۱-تک مود Single Mode
- ۲- چند مودی Multi Mode

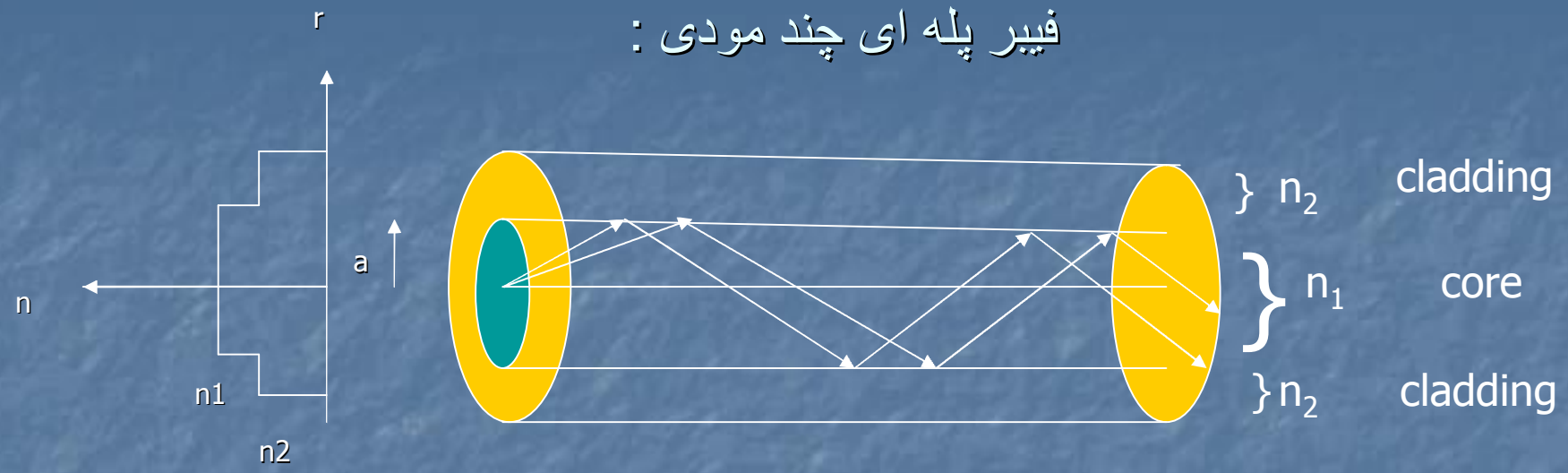
انواع فیبر نوری از حیث ضریب شکست و مود :

۱- پله ای تک مودی
۲- پله ای چند مودی
۳- تدریجی چند مودی


refractive
index
SM
Single-Mode

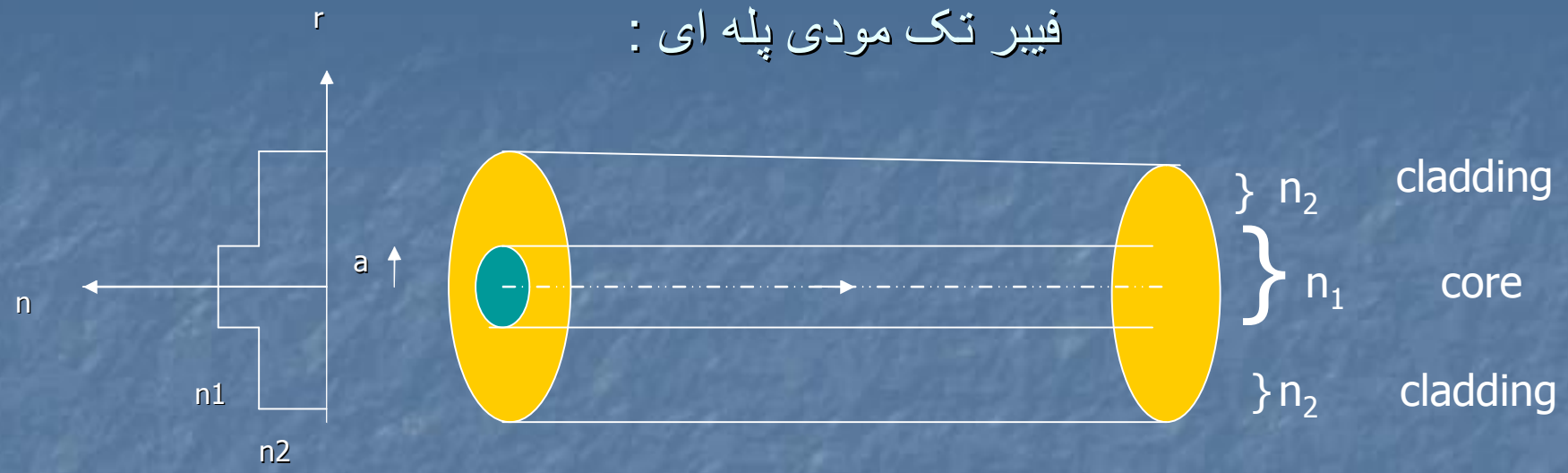

refractive
index
MM-SI
Multi-Mode
Step Index
MM-GI
Multi-Mode
Graded Index

فیبر پله ای چند مودی :



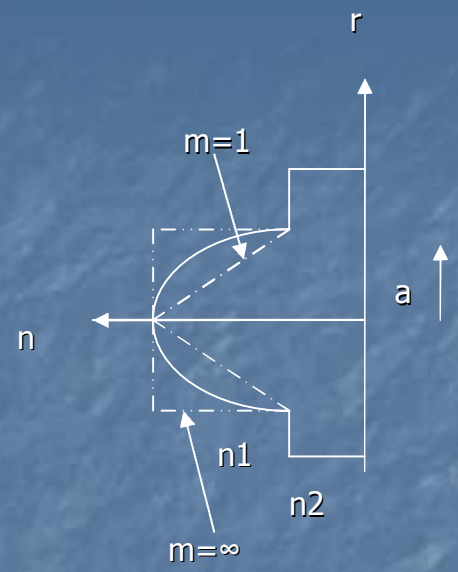
- مشخصات :
- قطر مغزی = ۵۰ میکومتر
- پهنای باند = ۲۰ مگاهرتز
- پاشندگی = زیاد

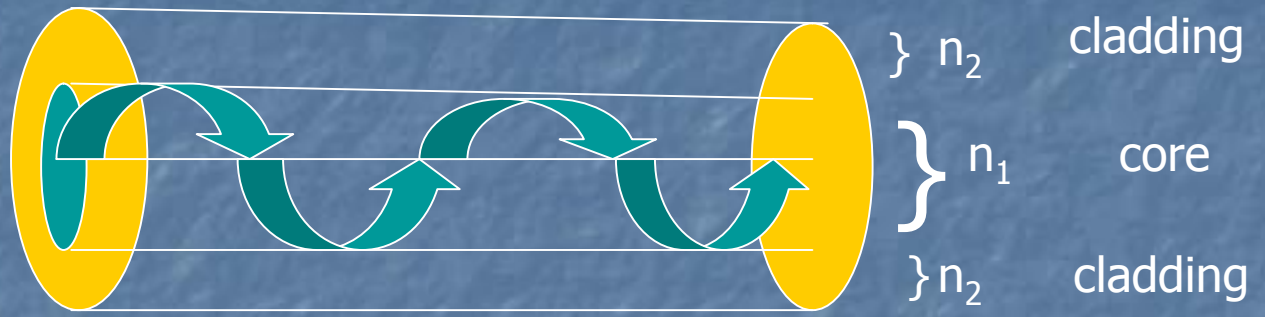
فیبر تک مودی پله ای :



- مشخصات :
- قطر مغزی = ۲ تا ۱۰ میکومتر
- پهنای باند = ۱۰۰گیگاهرتز
- پاشندگی =خیلی کم (از نوع Inter modal)

فیبر تدریجی چند مودی :





$$n(r) = \begin{cases} n1[1 - 2\Delta(r/a)^{m}]^{1/2} & \text{If } r<a \\ n1(1 - 2\Delta)^{1/2} & \text{If } r>=a \end{cases}$$

- مشخصات :
- قطر مغزی = ۵۰ میکومتر
- پهنای باند = ۱ گیگاهرتز
- پاشندگی =در حد متوسط

مزایای فیبر چند مودی پله ای نسبت به تک مودی :

-در فیبرچند مودی می توان از منابع LED(نا همدوس) استفاده نمود ولی در فیبر تک مودی تزویج ناچیز است.

-مقدار N.A فیبرچند مودی پله ای بیشتر بوده زاویه پذیرش نوربه داخل فیبر بزرگتر است.

-اتصال فیبر پله ای چند مودی به کنکتورهای فیبر راحت تر از تک مودی است.

فیبر چند مودی:

فرکانس نرمالیزه: $v=(2\pi/\lambda)an_1\sqrt{(2\Delta)}=(2\pi/\lambda)a(N.A)$

تعداد مود: $M_s=v^2/2$ $M_g=v^2/4$

λ: طول موج انتشار:

a: شعاع مغزی:

Δ: اختلاف ضریب شکست نسبی:

مثال:برای فیبرچند مودی پله ای قطرمغزی ۸۰ میکرومتر واختلاف ضریب شکست نسبی برابر ۱,۵٪ و طول موج انتشار ۰,۸۵ میکرومترو ضریب شکست مغزی ۱,۴۸می باشد.مطلوبست : فرکانس نرمالیزه و تعداد مود منتشره

V = 75.8

Ms = 2873

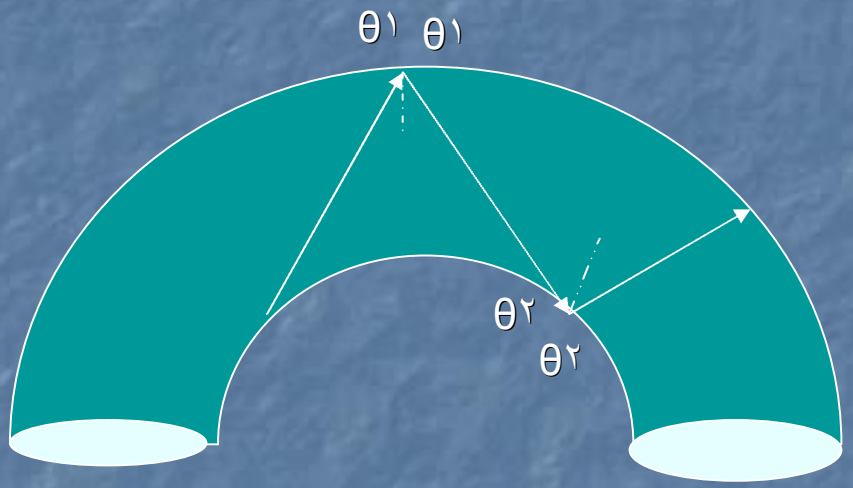
نکته : برای فیبر تک مودی فرکانس نرمالیزه بین ۰ تا ۲,۴۰۵ می باشد.

فیبر تک مودی از نوع W :

توجه : این فیبر از نوع دو غلافه می باشد .

تزویج مود : Coupling

- در اثر اختلال در موج بر اثر خمش در فیبر و یا تغییر ضریب شکست در طول فیبر مشخصه های انتشار در فیبر تغییر می کنند.این امر باعث انتقال انرژی از مودی به مود دیگر شده باعث تغییر خواص انتقال در فیبر می شود.علت این امر تغییر زوایای انتشار می باشد.در شکل زیر این پدیده نشان داده شده است.



مشخصه های انتقال فیبرنوری :

- تضعیف : Attenuation
- پهنای باند-(پاشندگی):BandWidth (Dispersion)

پاشندگی :

- به پهن شدن پالس (سیگنال) گویند که در اثر دو عامل زیر در فیبر نوری ایجاد می شود:
- ۱-اختلاف سرعت مود های مختلف
- ۲-تعدادمودهای داخل فیبر

در فیبرهایی که تنوع مودی دارند(چند مودی)به دلیل اختلاف سرعت مود های مختلف و تاخیر در رسیدن پالس به انتهای فیبردر نتیجه پالس پهن تر شده فرم اصلی سیگنال تغییر می کند.به این پدیده پاشندگی گویند.واضح است که بنا به این دلیل فیبرهای تک مودی کمترین پاشندگی را دارا هستند.
پس از این نوع فیبرها می توان گفت که فیبرهای تدریجی نسبت به پله ای دارای وضعیت بهتری از لحاظ پاشندگی می باشند.علت این امر از روی شکل انتشار مود در فیبر(در صفحه ۱۳)قابل مشاهده می باشد.بنا به رابطه زیر هرچه پهنای پالس بیشتر شود ظرفیت انتقال سیگنال کاهش می یابد.ظرفیت انتقال سیگنال مقدار اطلاعات ارسالی (بر حسب بیت) در واحد زمان (ثانیه) می باشد.

$B_T <= 1/(2\tau)$:bit/s

τ :s

تضعیف:Attenuation

- در صورتی که در اثر عبور سیگنال از فیبردامنه آن سیگنال کاهش یابد گویند که فیبر تضعیف دارد.واحد آن دسی بل و در صورتی که در واحد طول در نظر گرفته شود دسی بل بر کیلومتر خواهد بود .
- Attenuation = 10 log ($P_{i/} p_o$) db
- p_o : توان سیگنال در انتهای فیبر
- P_i: توان سیگنال در ورودی فیبر

مثال :فیبری با مشخصات زیر مفروض است:
طول مسیر ۱۰کیلومتر/ توان ورودی ۱۲۰میکروواتt/ تضعیف هر مفصل واقع درهرکیلومتر ۱ دسی بل/تضعیف فیبر در واحد طول ۲ دسی بل می باشد.مطلوبست:
تضعیف کلی بر حسب دسی بل-تضعیف کلی در واحد طول-توان خروجی

جواب:

- ۹ مفصل در مسیر وجود دارد در نتیجه :
- 9*1=9 db & 10*2=20 db ⇒ 9+20=29 db
- 29db/10=2.9 db/km
- $p_i/p_o=10^{(Attenuation/10)}$ ⇒ p_o =120 µw/794.3

اقسام تضعيف :

- Attenuation
  - Material absorbtion
    - intrinsic
    - extrinsic
  - Linear scattering
    - Rayligh — Linear
    - Mie — Linear
    - Brilloen — Nonlinear
    - Raman — Nonlinear
  - Bend

تلفات جذب ماده از نوع ذاتی:

- یک یا چند جزء تشکیل دهنده شیشه که جذب انرژی کند ، باعث افت توان و تضعیف ظاهر می شود.هر چه درجه این ناخالصی بیشتر باشد،مقدار تضعیف بیشتر است.

- راه حل:
- باید در تکنیک ساخت استفاده از شیشه های غیراکسیدی (ترکیبی از سیلیس) استفاده نمود .

- نکته: به ازای پیوندهای زیر می توان طول موجهای تشدید یا رزونانس را تا حدی افزایش داد.(مطابق زیر) :

- Si-O ..... 9.2 µm
- P-O ..... 8.1 µm
- B-O ..... 7.2 µm
- Ge-O ..... 11 µm

تلفات جذب ماده از نوع خارجی :

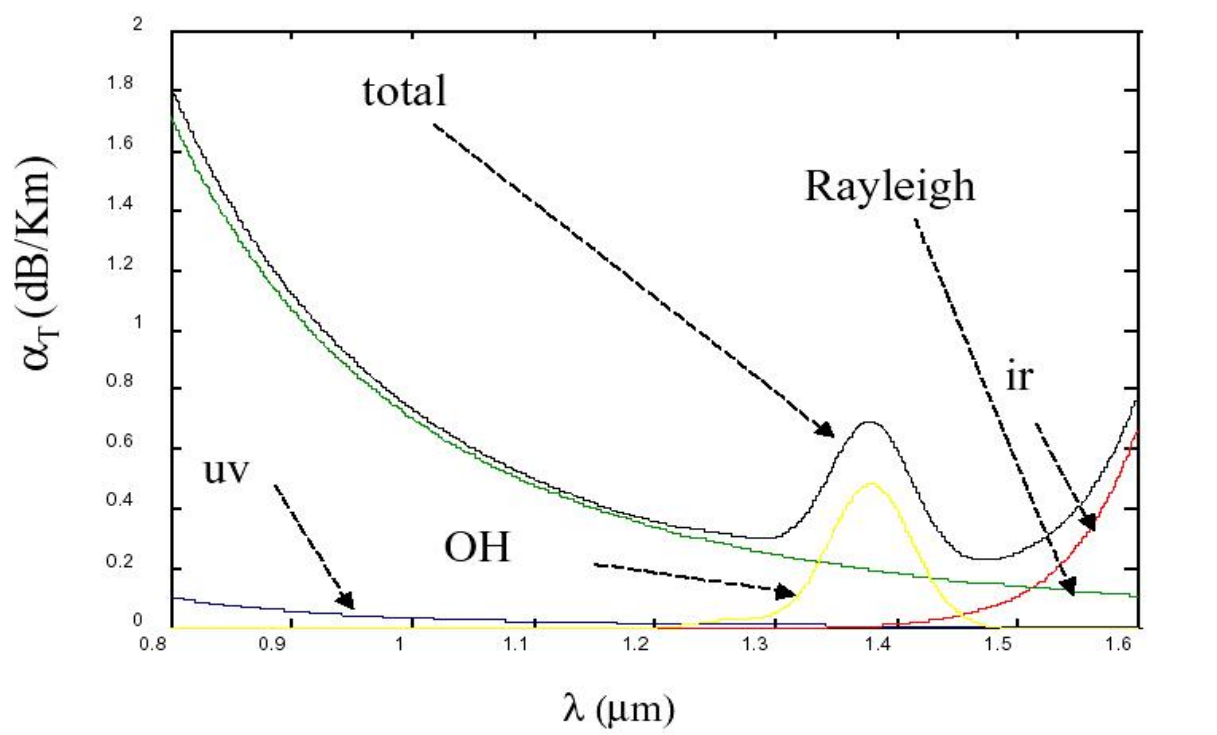
- در حین فرایند ساخت در اثر تکنیک ذوب کردن مداوم ، ناخالصی های یونی وارد ترکیب اصلی شیشه مغزی فیبر شده ، باعث تلفات جذب ماده از نوع خارجی می شود .

- نکته : به ازای یون های زیر که به شیشه اضافه گردد ، مقداری تضعیف از این نوع برای فیبر ایجاد می شود (مطابق زیر) :

- Cr^{3+} …….. 625nm ……1.6 db/km : one part in 10^9

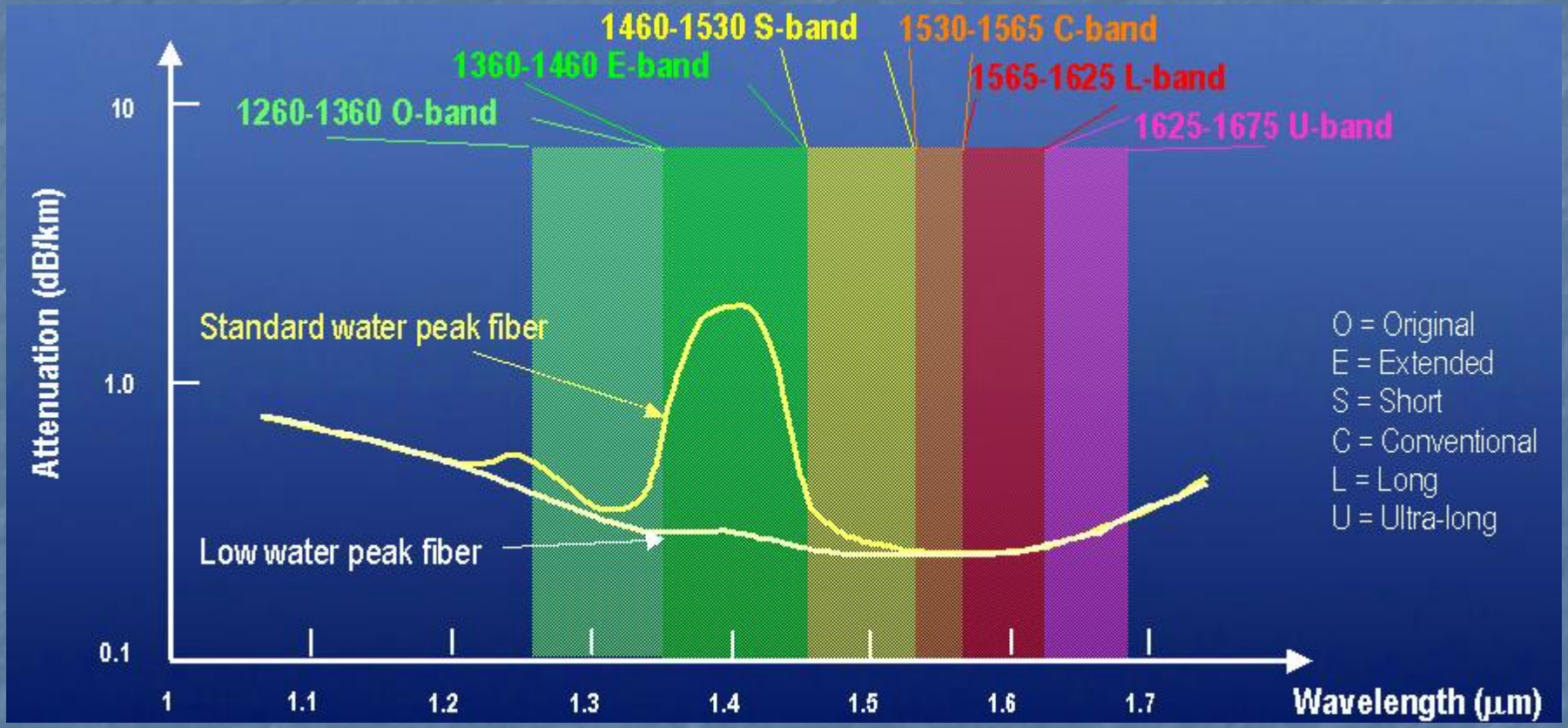
  Cr^{2+} …….. 685nm ……0.1 db/km : one part in 10^9

  Cu^{2+} …….. 850nm ……1.1 db/km :one part in 10^9



$$Loss(dB/unit\ length) = \frac{10\log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right)}{L}$$

Fiber Bands


1460-1530 S-band
1530-1565 C-band
1360-1460 E-band
1565-1625 L-band
1260-1360 O-band
1625-1675 U-band
10
1.0
0.1
Attenuation (dB/km)
Standard water peak fiber
Low water peak fiber
O = Original
E = Extended
S = Short
C = Conventional
L = Long
U = Ultra-long
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
Wavelength (μm)

تلفات پراکندگی خطی :

- بر اثر این پدیده توان نوری از مودی به مود دیگر انتقال می یابد .این انتقال با توان مود رابطه دارد.ضمنا چون پدیده خطی است هیچ گونه تغییر فرکانسی حاصل نمی شود . (در پدیده ازنوع غیر خطی تغییر فرکانسی از قبیل ایجاد هارمونیک یا ایجاد مجموع یا تفاضل فرکانسی روی می دهد .)

تلفات پراکندگی خطی از نوع رایلی :

- در اثر وجود ناهمگنی های تصادفی در مقیاس کوچکتر از طول موج نظیر تغییر ضریب شکست در هنگام فرآیند ساخت ، پراکندگی از نوع رایلی ایجاد می شود .رابطه آن طبق زیر می باشد .

- $L=\exp(-\text{gama}_R\ l)$: فاکتور تضعیف انتقال
- $\text{Attenuation} = 10\log_{10}(1/L)$ db/km : تضعیف
- $\text{Gama}_R = (8\pi^3 n^8 p^2 \beta_c k T_F)/(3\lambda^4)$ 1/m : ضریب پراکندگی رایلی

- l : طول فیبر بر حسب متر
- T_F: دمای ساخت فیبر
- β_c: تراکم پذیری هم دمایی
- p: متوسط ضریب فتوالاستیک
- gama_R : ضریب پراکندگی
- n : ضریب شکست شیشه فیبر
- K : ثابت هولتزمن
- λ: طول موج نوری

نتیجه : هرچه طول موج افزایش (و یا فرکانس کاهش) یابد ، ضریب پراکندگی رایلی کمتر شده و مقدار تضعیف بر حسب دسی بل بر کیلومتر کاهش می یابد .

- مثال :

- T_F=1400k , β_c=7 * 10 $^{-11}$ m^2 N^{-1} , n=1.46 , p=0.286 , l=1km
- For λ=0.63 ; λ=1
- Result : ?

- λ=0.63 ⟶ $gama_R$=1.99 * 10 $^{-3}$ 1/m, Attenuation = 5.2 db /km
- λ= 1 ⟶ $gama_R$=1.895 * 10 $^{-4}$ 1/m, Attenuation = 0.8 db/km

تلفات پراکندگی خطی از نوع مای :

- این پراکندگی در اثر نقص در ساختار استوانه ای موج بر اتفاق افتاده می تواند ناشی از بی قاعده گی در حد فاصل هسته و غلاف ، تغییر در ضریب شکست در طول فیبر ، تغییر قطر فیبر ، وجود حباب و رگه های در آن (هنگامی که در مقایسه با یک دهم طول موج قابل چشم پوشی نباشد) به وجود آید . این پراکندگی در جهت مستقیم است .

- برای کاهش این نوع پراکندگی راه های زیر وجود دارد :
- ۱- خذف نقص های ساختاری در هنگام فرآیند ساخت .
- ۲- دقت در هنگام قالب ریزی و پوشش بندی .
- ۳- افزایش مقدار اختلاف ضریب شکست نسبی فیبر .

- با این رویه ها می توان مقدار این نوع پراکندگی را تا حد مطلوب پایین آورد .

تلفات پراکندگی از نوع غیر خطی :

- این نوع پراکندگی توان نوری از مودی به مود دیگر انتقال یافته و پدیده تغییر فرکانسی رخ خواهد داد . به گونه ای که بعد از پرش مود به مود فرکانس های جدید با هیچ کدام از فرکانس مودهای اولیه سازگار نیست . این نوع پراکندگی شامل دو نوع زیر است :
  - ۱- بریلوئن
  - ۲- رامان

پراکندگی غیر خطی از نوع بریلوئن :

- در اثر ارتعاشات حرارتی مولکولی نور مدوله می شود .بر اثر این پدیده تغییر فرکانسی رخ داده بصورت مجموع یا تفاضل فرکانسی حادث می شود .نور مدوله یا پراکنده شده بصورت باندهای جانبی بالایی و پایینی ظاهر می شود . فوتون تابیده شده در این فرآیند یک فونون (از جنس حرارت)با فرکانس اکواستاتیکی به همراه یک فوتون (از جنس نور) ایجاد می کند .این نوع پراکندگی در جهت معکوس است .
- عامل ایجاد :
- در صورتی که توان تابیده شده به فیبر از مقدار مجاز (یا حد آستانه) بیشتر باشد این پراکندگی رخ می دهد .مقدار این حد آستانه از رابطه در صفحه بعد بدست می اید .

رابطه محاسبه حدآستانه برای پراکندگی غیر خطی از نوع بریلوئن :

- $P_b = 4.4 * 10^{-3} * d^2 * \lambda^2 * Attenuation * B$ watt

- P_b: مقدار حد آستانه توان نوری بر حسب وات
- d: قطر فیبر بر حسب میکرومتر
- λ: طول موج بر حسب میکرومتر
- Attenuation: تضعیف بر حسب دسی بل بر کیلومتر
- B: پهنای باند منبع بر حسب گیگاهرتز

مثال :

- Attenuation=0.5 db/km, λ=1.3 μm, d=6 μm , B=600 MHz
- P_b = ?

- Result :
- P_b= 80.3 μwatt

- نتیجه :
- در صورتی که توان نور تابیده شده به فیبر از این مقدار بیشتر باشد ، پراکندگی بریلوئن روی می دهد .

پراکندگی غیر خطی از نوع رامان :

- این نوع پراکندگی نیز مانند پراکندگی بریلوئن از نوع غیر خطی بوده ، تفاوت آن در این است که در جهت مستقیم بوده و به جای فونون تنها فوتون تولید می شود . ضمنا مقدار حد آستانه آن نیز از نوع بریلوئن بیشتر است . مقدار این حد آستانه از رابطه زیر بدست می اید :

- $p_R = 5.9 * 10^{-2} * d^2 * \lambda * attenuation$
- for before value, the result is :
- $p_R = 1.38$ watt

خلاصه ای کلی از پارامترهای انتقال :

- Attenuation: تضعیف
  - روی دامنه سیگنال اثر می گذارد و با طولانی شدن مسیر افزایش می یابد .
- Dispersion: پاشندگی
  - روی پهنای پالس اثر گذاشته آن را افزایش می دهد .برای فیبرهای با تعداد مود زیاد بدترین حالت را دارد.
- Scattering: پراکندگی
  - روی فرکانس سیگنال و یا توان آن اثر گذاشته آن را تغییر می دهد . در صورتی که طول موج افزایش یابد وضعیت بهبود یافته تضعیف نیز کاهش می یابد .

تضعیف ناشی از خمش :

همان طور که در شکل دیده می شود به علت خمش بیش از حد مجاز حالت زیر رخ داده است :
در محل خمش (دربخش میانی هسته وغلاف) نور منتشره طبق حالت کلی خود تمایل به حفظ وضعیت تخت بودن خود دارد لذا نوری که در فاصله بیشتری از مرکز خمش قرار دارد باید سرعت بیشتری پیدا کند که این امر ممکن نبوده و لذا نوراز هسته خارج می گردد .
تضعیف مربوطه از رابطه زیر محاسبه می گردد :

شعاع خمش بحرانی (حداقل شعاع مجاز): $Rc=(3n_1^2\ \lambda)/(4\pi\ (n_1^2-n_2^2)^{3/2})$

تضعیف : $Attenuation = c_1 \exp(-c_2 R)$

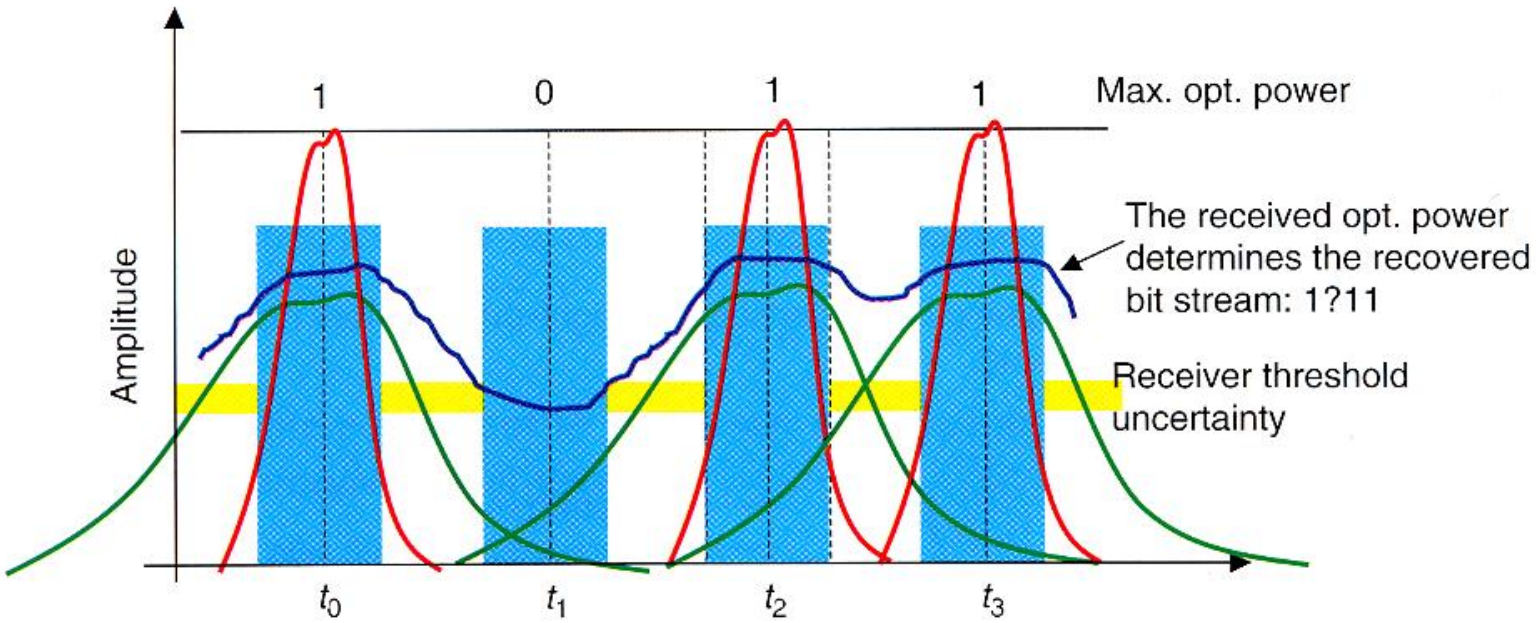
c_1 , c_2 : constant

روش های کاهش شعاع بحرانی :

- ۱- افزایش اختلاف ضریب شکست نسبی
- ۲- کاهش طول موج

پاشندگی :

- تعریف پاشندگی در قبل ارائه شد . در ادامه باید گفت که در اثر این پدیده که همان پهن شدن پالس می باشد پدیده تداخل بین سمبل (یا همان سیگنال)روی می دهد :
- ISI : Inter Symbol Interference



در اثر این پدیده خطا در ارسال اطلاعات رخ داده تداخل سیگنالی پیش می آید .(لازم به ذکر است که خطا در اثر دو عامل تضعیف در طول مسیر و پارامتر سیگنال به نویز در گیرنده ایجاد شده و می تواند تغییر پیدا کند .)
به هر حال در اثر پاشندگی دستیابی به حداکثر پهنای باند برای ما محدود می شود و در واقع مقدار اطلاعات ارسالی ما می تواند تحت تاثیر قرار گیرد طبق رابطه زیر :

- $B_T <= 1/ (2\ \tau)$
- B_T : مقدار اطلاعات ارسالی
- τ : پهنای پالس

- مقدار اطلاعات ارسالی نیز بنا به نوع کدینگ که استفاده می شود می تواند به پهنای باند بستگی داشته باشد طبق زیر :

- NRZ : B_T (max) =2 B
- RZ : B_T (max) =B

نتیجه مهم :
در اثر ایجاد پاشندگی (پهن شدن پالس) مقدار اطلاعات ارسالی و نیز دسترسی به حداکثر پهنای باند محدود می گردد .

- راه حل :
- زیاد کردن فاصله بین پالس ها می باشد . با این کار تداخل سیگنالی روی نمی دهد .

مثال : در مورد فیبر چند مودی تدریجی مقدار پهن شدگی پالسی ۰,۱ میکرو ثانیه و طول فیبر برابر ۱۵ کیلومتر می باشد . مطلوبست :

۱- ماکزیمم پهنای باند قابل دسترسی (با فرض عدم وجود تداخل) ؟

۲- پاشندگی در واحد طول ؟

۳- B * L = ؟

- $B = B_T = 1/(2\ \tau) = 1/(2 * 0.1 * 10^{-6}) = 5$ MHz
- Dispersion = $(0.1 * 10^{+3})$15km=6.67 ns/km
- B * L = 5MHz * 15km = 75 MHz . km

انواع پاشندگی :

- Dispersion
  - Intra Modal (chromatic)
    - Material
    - Waveguid
  - Inter Modal
    - Multimode Step Index
    - Multimode Graded Index

توضیح : پاشندگی درون مودی به دلیل پهنای باند منبع است . (منبع تک فرکانس نیست)
پاشندگی بین مودی به علت تعداد مود و اختلاف سرعت گروه می باشد .

منابع نوری :Optical Sources

- در سیستم های تار نوری شعاع های نوری تولید شده توسط منابع نور ، حامل اطلاعات هستند.
- متداولترین منابع نوری دیودهای لیزری و نورگسیل می باشند :

- LED (Light Emitting Diode) :
- یک نیمه هادی از نوع پیوند (مثبت – منفی) می باشد .وقتی در بایاس مستقیم قرار گیرد از خود نور ساطع می کند .

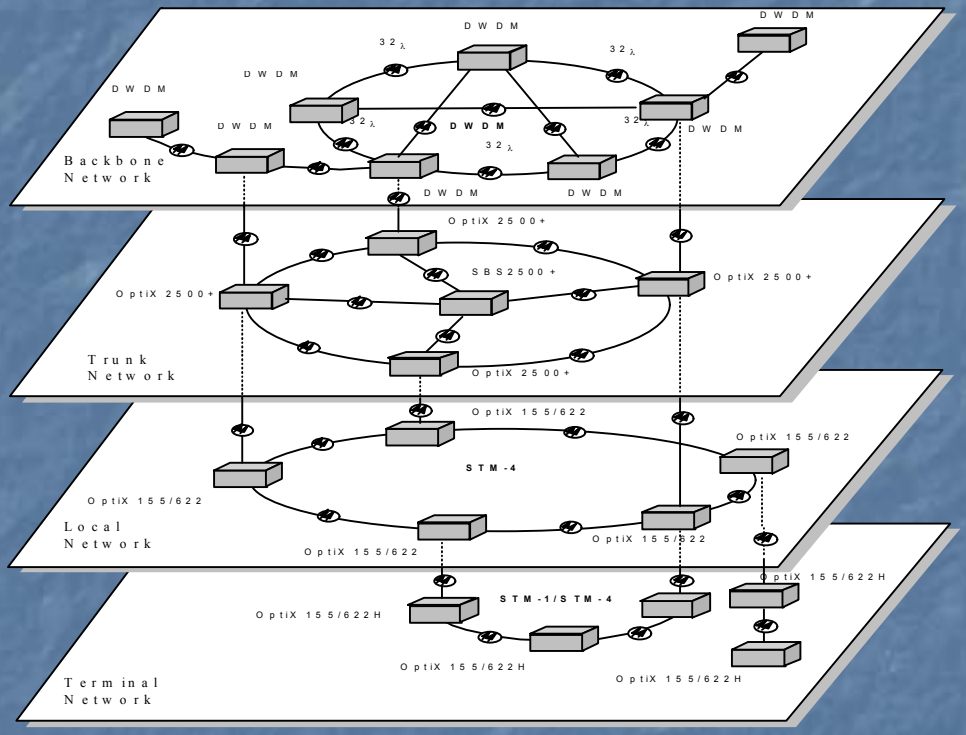
- LD (Laser Diode):
- دیود های لیزری خیلی شبیه به دیودهای نور گسیل می باشد با این تفاوت که دیودهای لیزری همیشه از لبه تابش می کنند .در این دیود نیز با بایاس مستقیم امکان انتشار نور برای دیود فراهم می شود.

آشکارسازهای نوری : Optical Detector

- جهت تشخیص و بازیابی سیگنال در سمت مقصد از آشکارساز نوری استفاده می شود .(چشم انسان نیز نوعی آشکارساز است ولی جهت سیگنالهای ضعیف مناسب نمی باشد .)آشکارسازها بر اساس دو تکنیک کار می کنند :
- ۱- اثر فوتوالکتریک خارجی : که در آن در اثر برخورد جریانی از فوتون ها به یک سطح فلزی انرژی آنها جذب شده و الکترون آزاد می شود .آشکار سازهای زیر از این اثر استفاده می کنند :
- دیود نوری خلاء و چند برابر کننده نوری .

- ۲- اثر فوتوالکتریک داخلی : در این روش آشکارسازها پیوندهای نیمه هادی هستند که در آنها در اثر جذب فوتون ها حامل های آزاد (الکترونها و حفره ها) ایجاد می شوند .آشکارسازهایی که از این روش استفاده می کنند عبارتند از :
- دیود نوری PIN(ارزان ترین) ، دیود نوری دارای پیوند pn و دیود نوری بهمنی .

انواع توپولوژی در شبکه های فیبر نوری :



NETWORK CONFIGURATION

(1) Chain network;

(2) Star network;

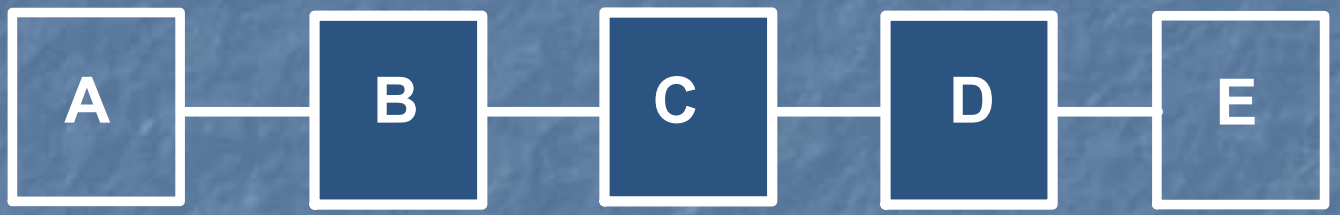
(3) Tree network;

(4) Ring network;

(5) Mesh network.

Chain Network

For this kind of network topology all the nodes are put in series with both ends open.



Chain Network

Application situations:

Along railway, power line in which the nodes are scattered in a long line.

Advantages:

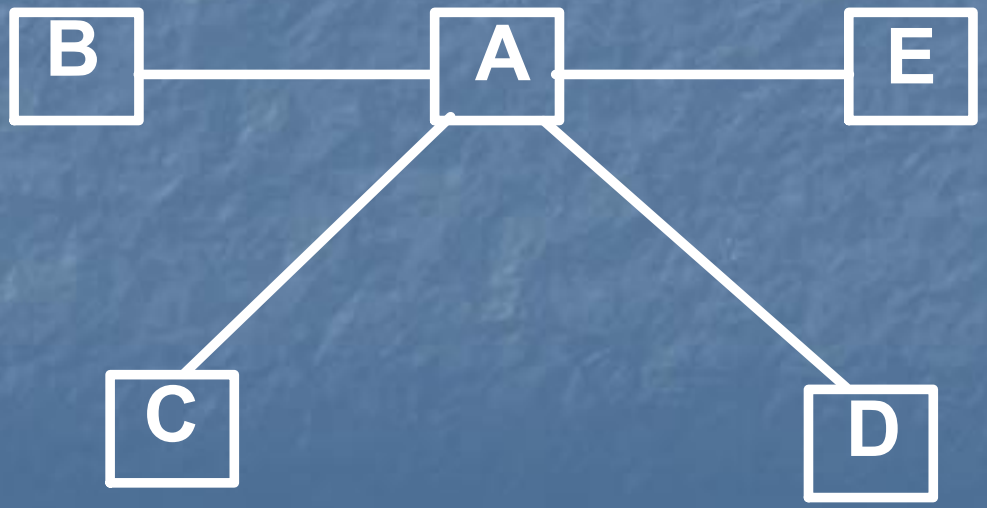
Comparing with other network topology applied in such network along railway,the investment of lines can be more reduced.

Disadvantages:

Comparing with ring networks,services on chain networks can not be protected.

Star Network

In a communication network, if there is a special node connected via direct routes with all other nodes,this network is considered to have a star or hub topological structure.



Star Network

Application situations:

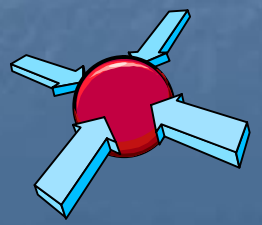
Star networks are mainly used in access networks or rural telephone networks in which nodes are scattered here and there and the services are not very important.

Advantages:

Having the capability to manage bandwidth resources comprehensively and flexibly.

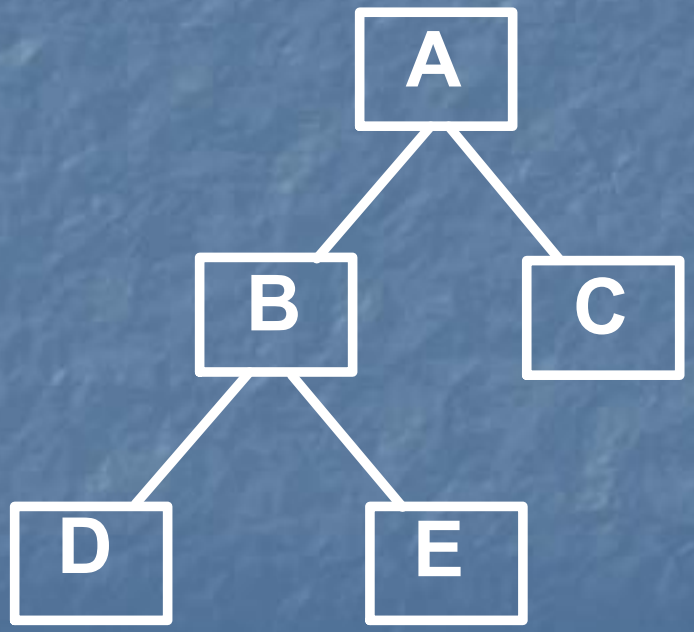
Disadvantages:

At the hub node, potential bottle neck of bandwidth resources and equipment failure may result in the breakdown of the entire network.



Tree network

A tree topological structure can be considered as the combination of chain and star structures.



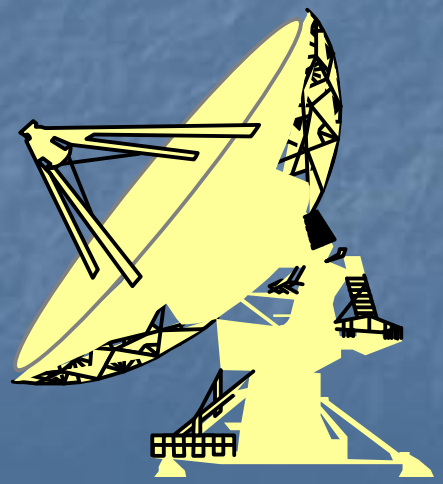
Tree Network

Application Situations:

It is suitable for broadcast services.

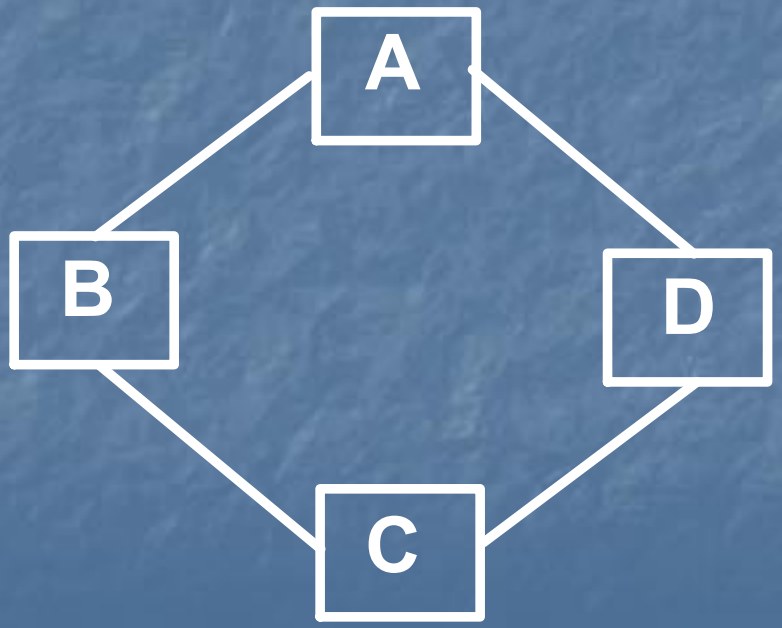
Disadvantages:

Due to the bottle neck problem and the limitation of optical power budget, it is not suitable in providing bi-directional communication services.



Ring Network

Ring networks are such communication networks in which all nodes are connected in series and the two end nodes at both ends are connected together to form a ring.



Ring Network

Application situations:

For its high survivability, ring network enjoys very broad application in the networking of SDH equipment.

Advantages:

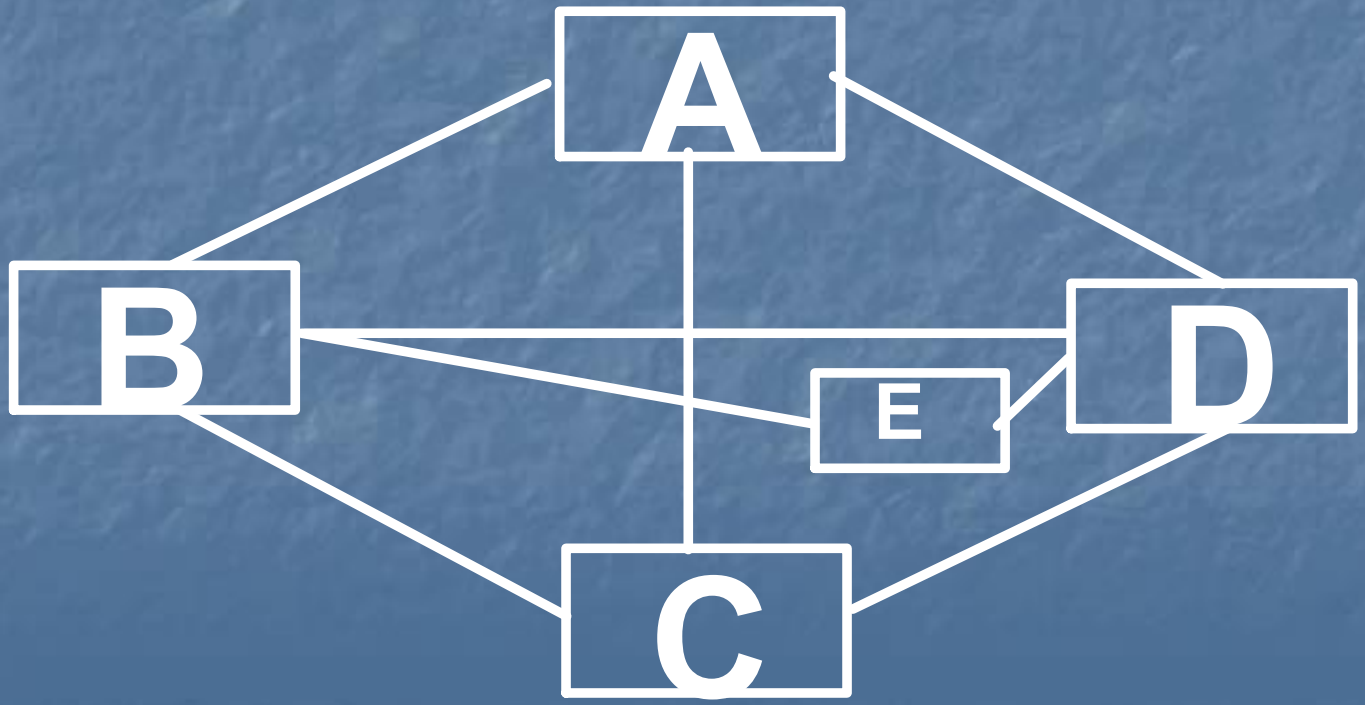
High survivability: Services on ring networks can be protected by using self-healing technology, so it is widely used.

Disadvantages:

To implement the self-healing ability,the NEs on ring networks must be designed very complex. The maintenance of ring networks becomes complex,too.

Mesh Network

Mesh networks are such communication networks in which many nodes are interconnected with each other via direct routes.



Mesh Network

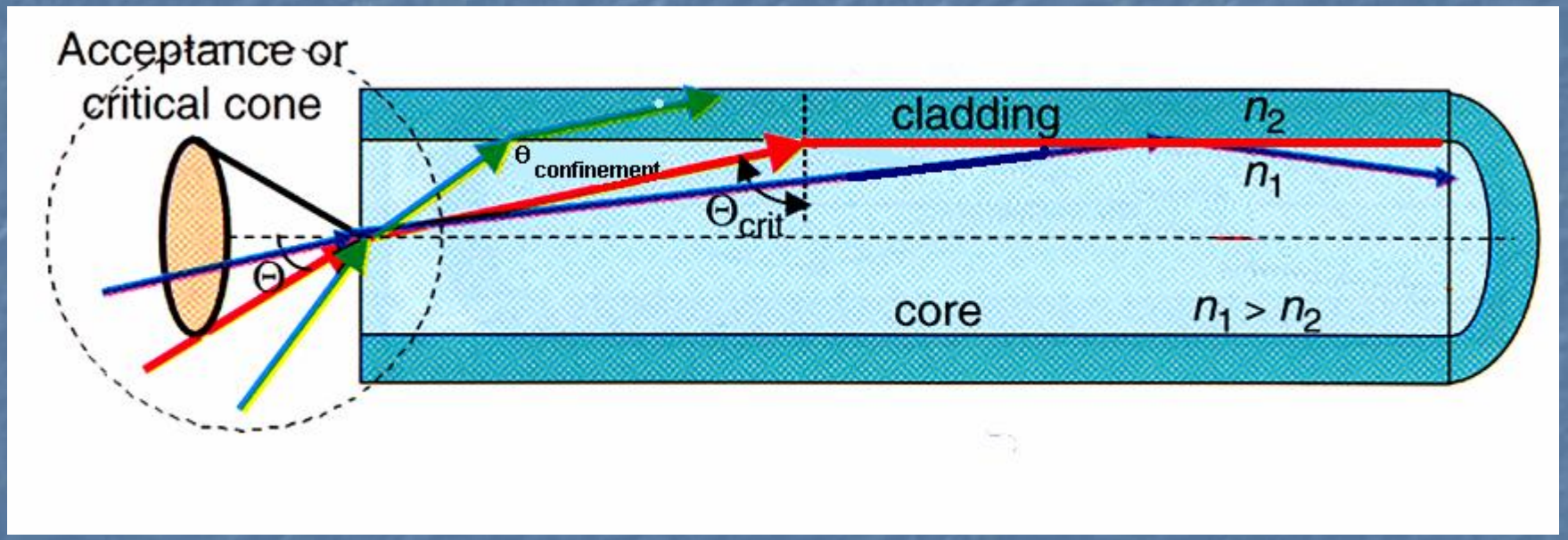
Application Situations:
Mesh networks are suitable for the regions with large traffic or/and high hierarchy communication networks.

Advantages:
No bottle neck problem exists;Since more than one routes can be selected between any nodes, when any equipment fails, services can still be transmitted smoothly through other routes. Thus, the reliability of service transmission is increased.

Disadvantages:
Mesh networks are more complicated, costly and difficult to manage.

ضميمه :

- the transmission of light in optical fiber is commonly explained using the principle of ***Total Internal Reflection.***



- **Critical angle inside fiber is**

$$\theta_{crit} = \arcsin\left(\frac{n_{cladding}}{n_{core}}\right)$$

- **Confinement angle is the maximum angle that a ray of light can have, measured with respect to the axis of the fiber, in order to propagate in the fiber.**
- **From geometry:**

$$\theta_{confinement} + \theta_{crit} = 90°$$

Acceptance Angle

- Total angle over which light in the air at the end of the fiber can propagate into the fiber.
- Often the half-acceptance angle is used.
  - Angle measured from axis of the fiber

$$\sin \theta_{half\text{-}acceptance} = NA$$

$$NA = \sqrt{n_{core}^2 - n_{cladd}^2}$$

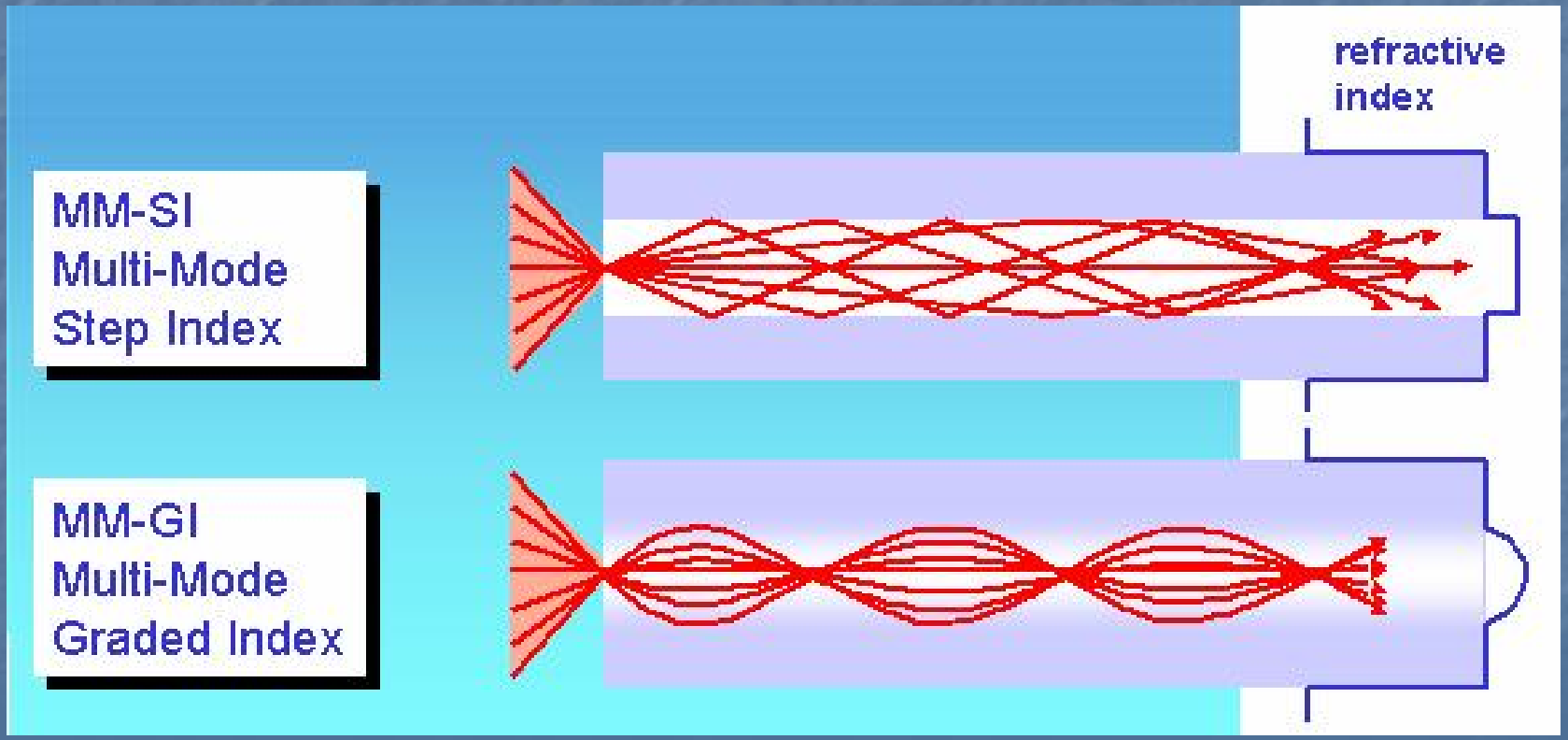
Types of Fibers:

Multimode

(Core diameter: 50 or 62.5 μm Cladding diameter: 125 μm)

Step-index

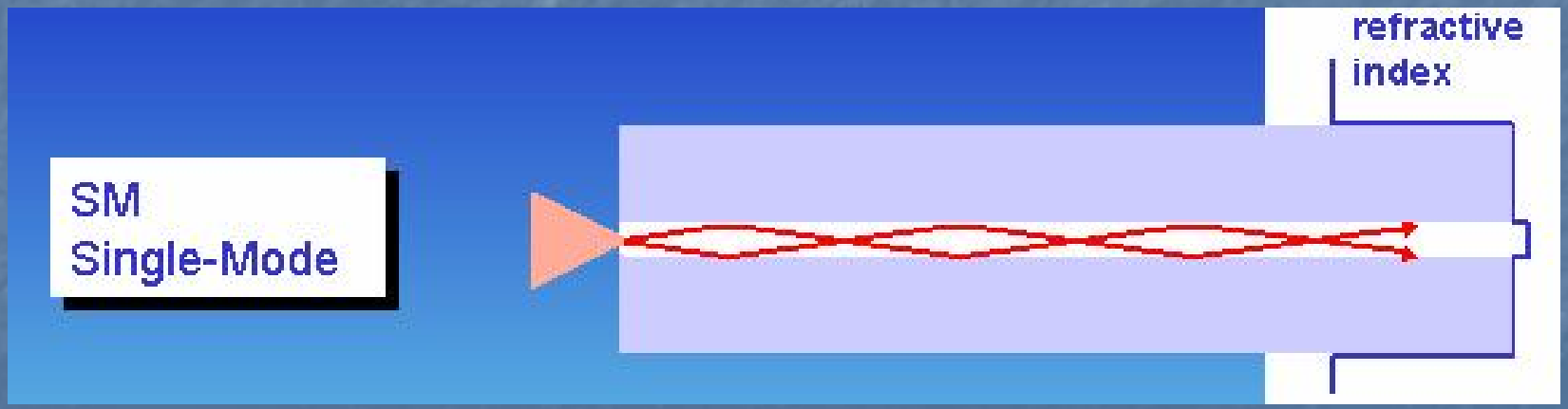
Graded-index



Single-mode

(Core diameter: 8-12 μm Cladding diameter: 125 μm)

- If the fiber core is very narrow compared to the wavelength of the light in use then the light cannot travel in different modes and thus the fiber is called "single-mode" or "monomode".



Limitations in Fibers

- **Attenuation**
  - Absorption, Scattering
- **Dispersion**
  - Modal, Chromatic, PMD
- **Nonlinear effects**
  - SPM, XPM, FWM, SBS, SRS

Attenuation

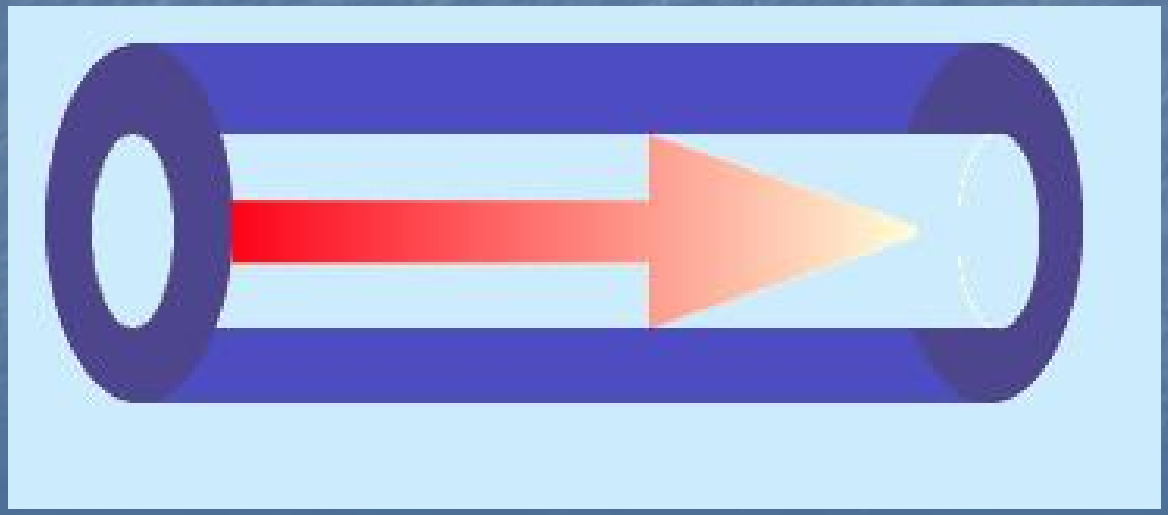
- Optical attenuation is the loss of signal strength due to transmission along the fiber.
- Attenuation in optical fiber is caused by **intrinsic factors, primarily *scattering* and *absorption***, and by **extrinsic factors, including stress from the manufacturing process, the environment, and physical bending.**
- Light can leak from a fiber that is coiled too tightly or kinked
- Microbends inside fiber jacket also cause losses

- **Absorption**

  caused by:

- intrinsic properties of the material
- impurities
- atomic defects in the glass

- Varies depending on wavelength



peak at 1400 nm due to the OH^- ions in the fiber

- **Scattering**

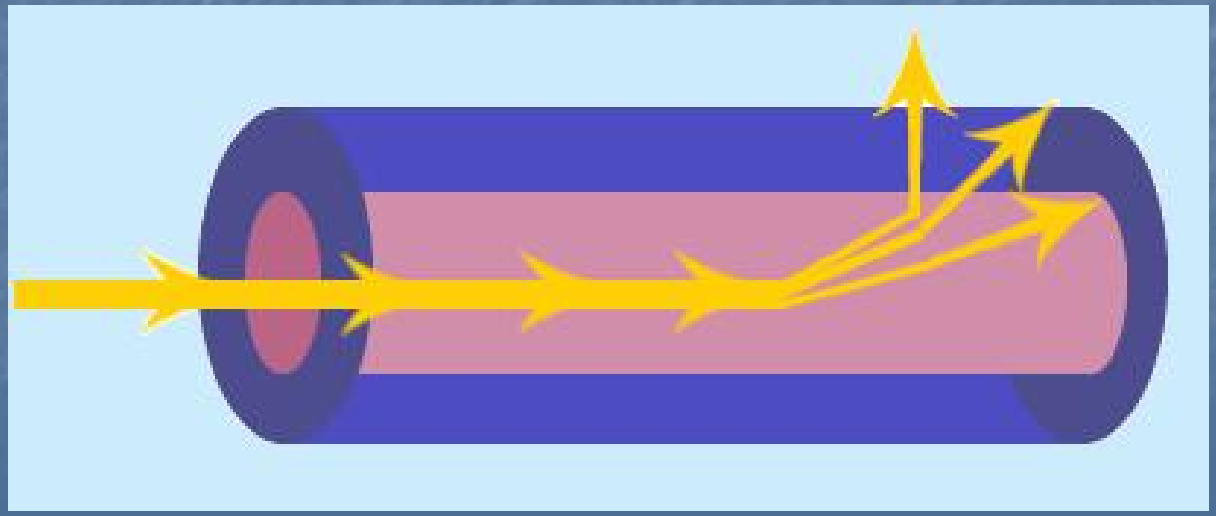
  Rayleigh scattering:

- caused by small variations in the density of glass as it cools

- **Causes a change in direction which usually causes light to escape from the core**

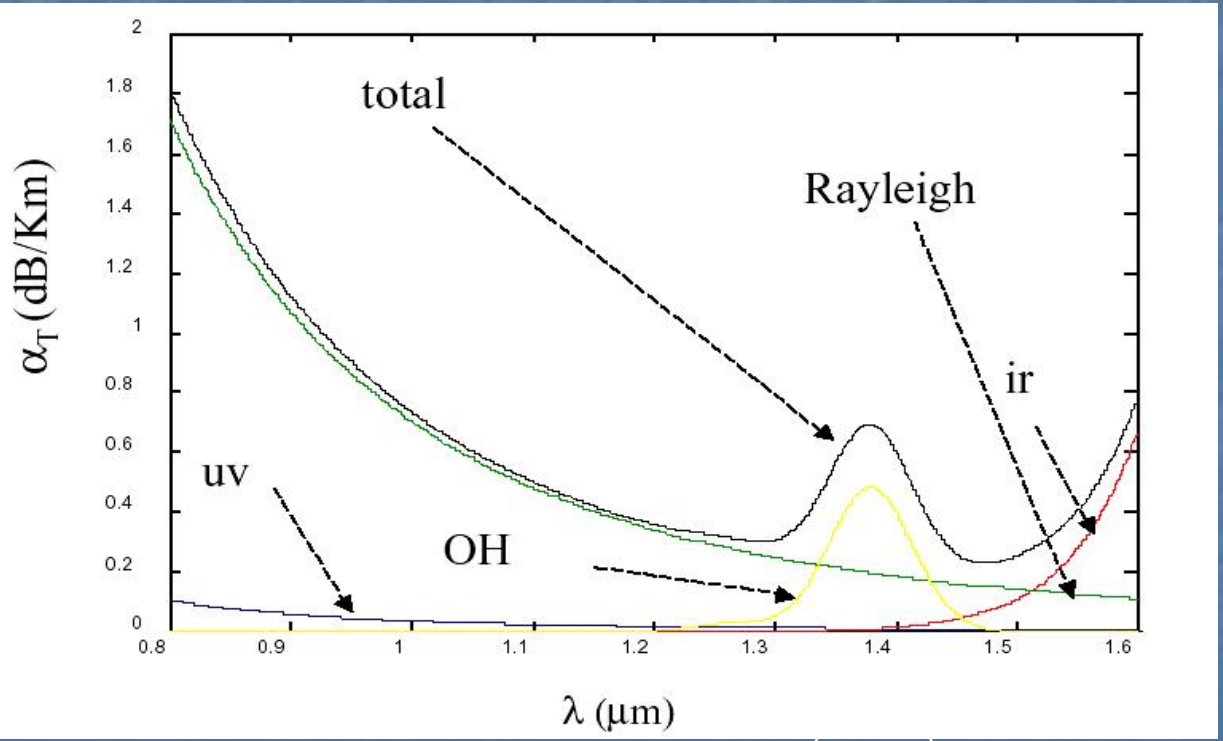
- more scattering at shorter wavelengths

Scattering varies inversely with 4th power of wavelength



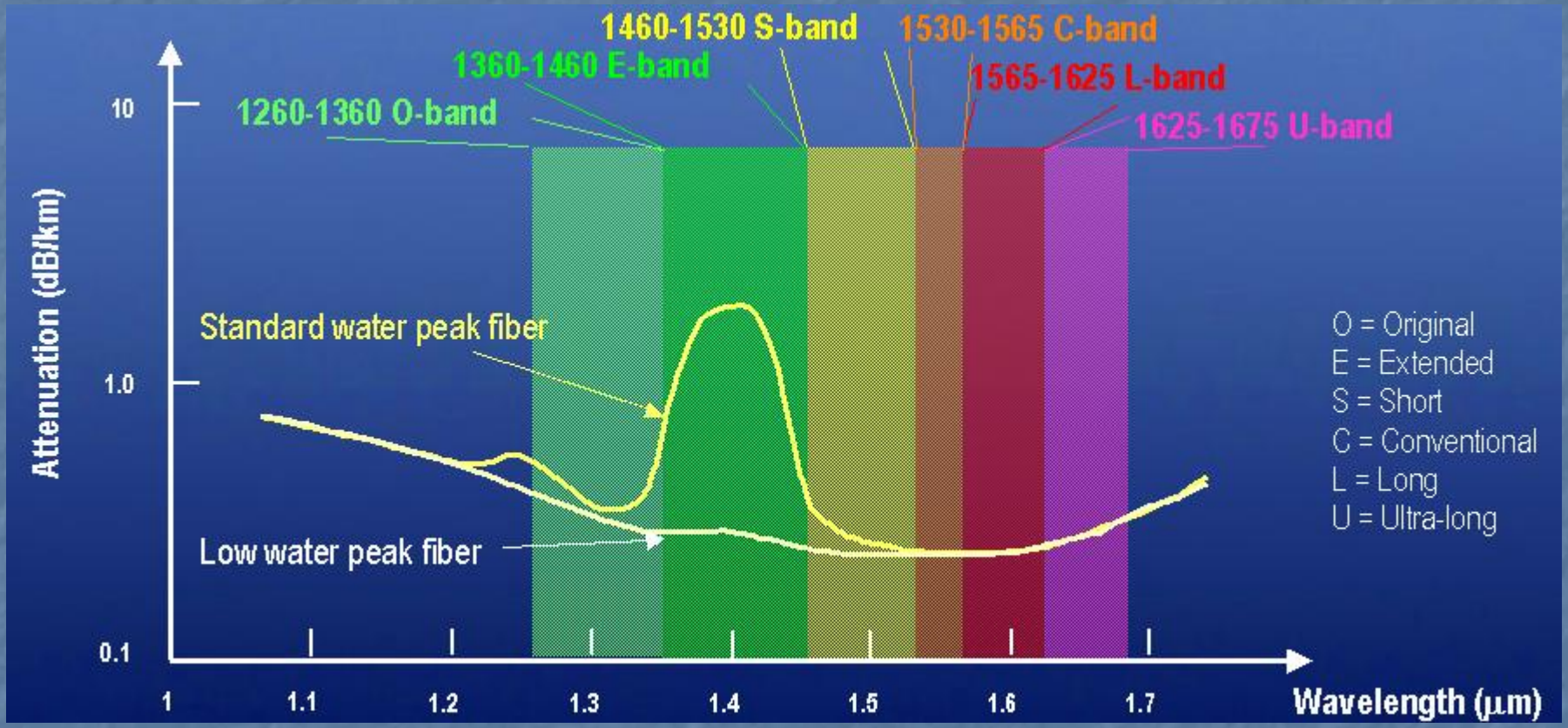
- Losses due to absorption and scattering add
- The primary factors affecting attenuation in optical fibers are the length of the fiber and the wavelength of the light.

Attenuation profile



$$Loss(dB/unit\ length) = \frac{10\log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right)}{L}$$

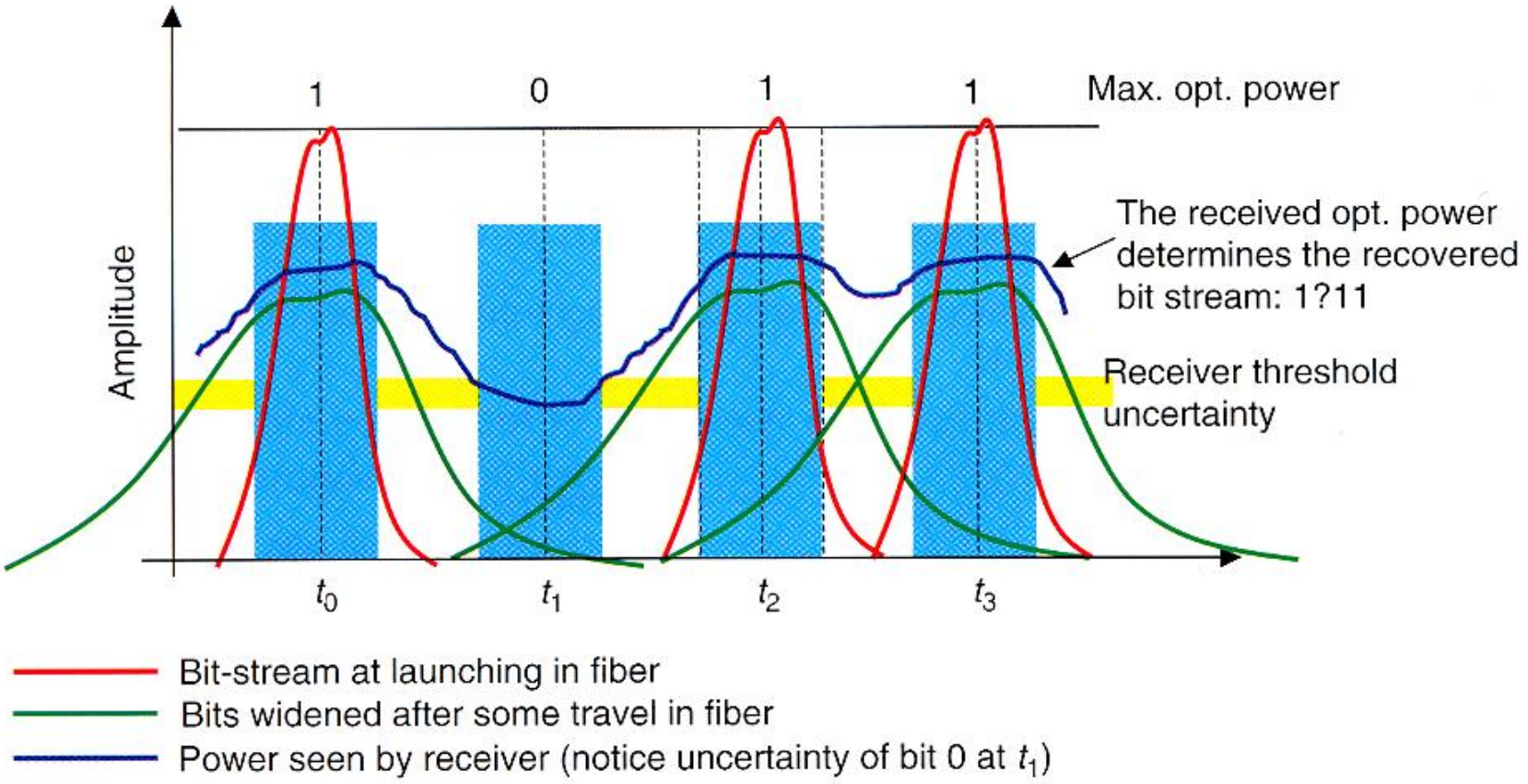
Fiber Bands


1460-1530 S-band
1530-1565 C-band
1360-1460 E-band
1565-1625 L-band
1260-1360 O-band
1625-1675 U-band
10
1.0
0.1
Attenuation (dB/km)
Standard water peak fiber
Low water peak fiber
O = Original
E = Extended
S = Short
C = Conventional
L = Long
U = Ultra-long
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
Wavelength (μm)

Dispersion

- the laser light consists of a range of wavelengths.
- Modulation of the light also increases its bandwidth.
- Different wavelengths propagate at slightly different velocities in a fiber.
- A short pulse will become longer due to pulse spreading (dispersion).
- When dispersion is too large, pulses run together.

- **When dispersion is too large, pulses interfere with each other.**

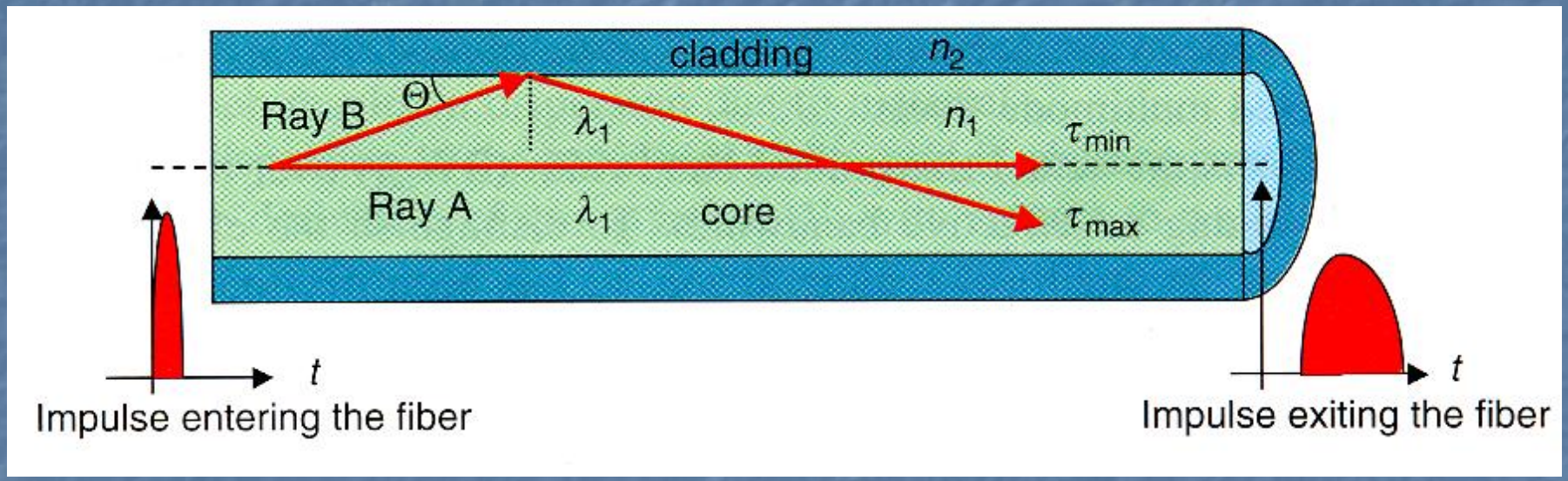


Dispersion Types

- Modal Dispersion
- Chromatic Dispersion
- Polarization Mode Dispersion

Modal Dispersion

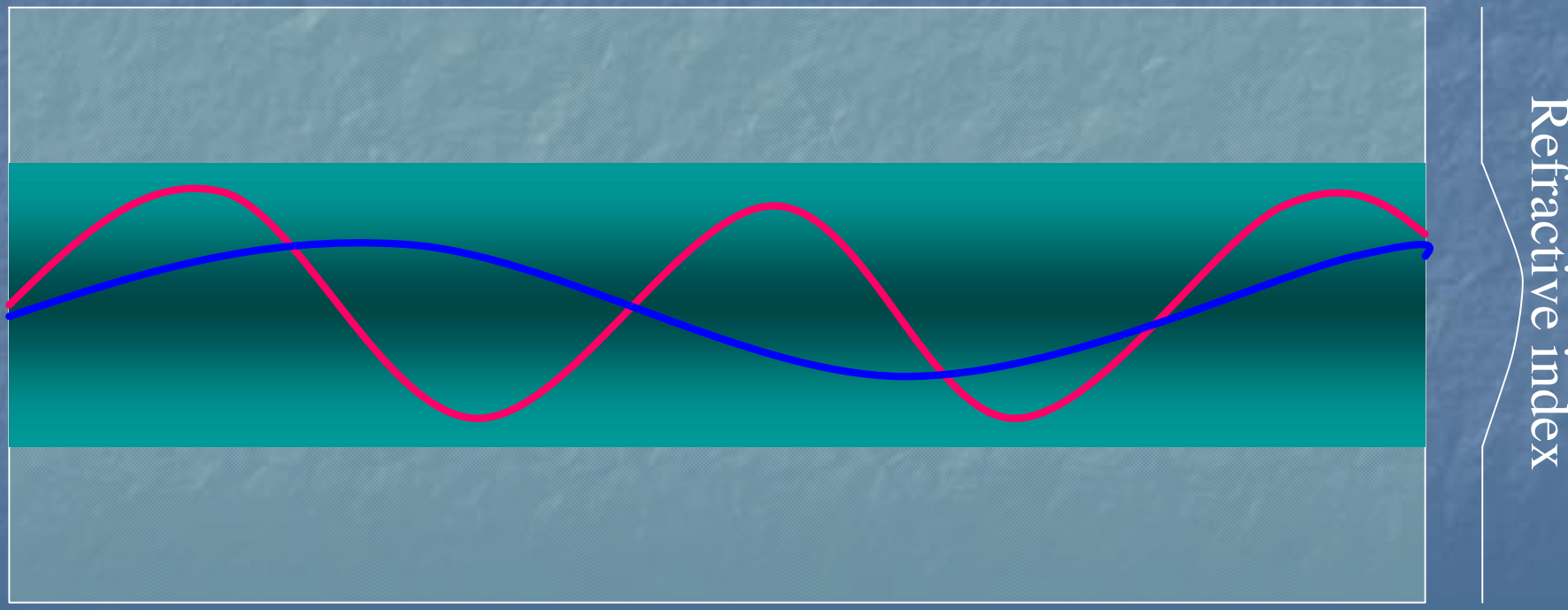
Each ray (mode) travels a different distance, so it arrives at a distant point of the fiber at a different time



Modal Dispersion is zero in Single Mode Fiber

Modal dispersion in Graded-Index Fiber

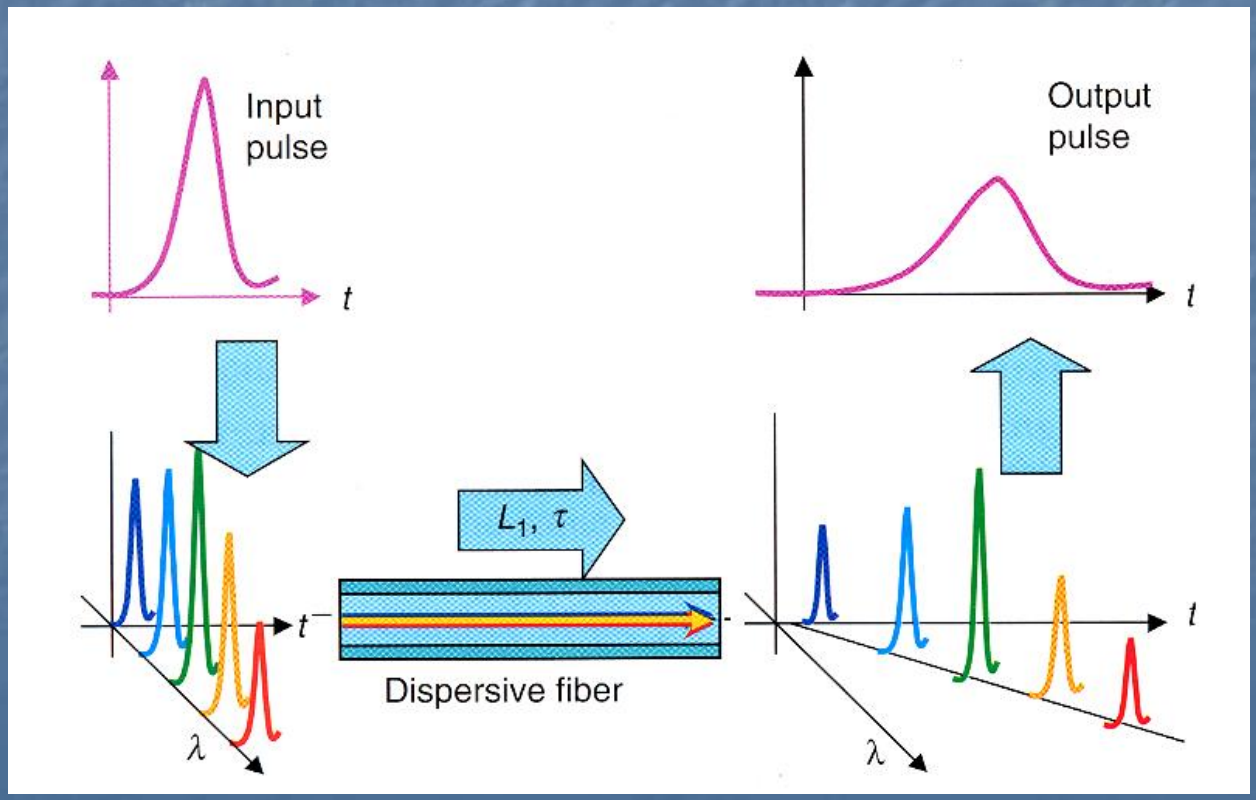
- Velocity is lowest in center of core, highest near its edges.
- The graded index increases the group velocity of higher-order modes, relative to low-order modes, reducing dispersion



Chromatic dispersion

different wavelengths propagate at different Speeds

Chromatic dispesion is measured in ps/nm/Km (picoseconds of dispersion per nanometer of signal bandwidth per kilometer of distance travelled.



Chromatic dispersion

1- Material dispersion

due to the dependence of refractive index to wavelength, $n(\lambda)$

2- Waveguide dipersion

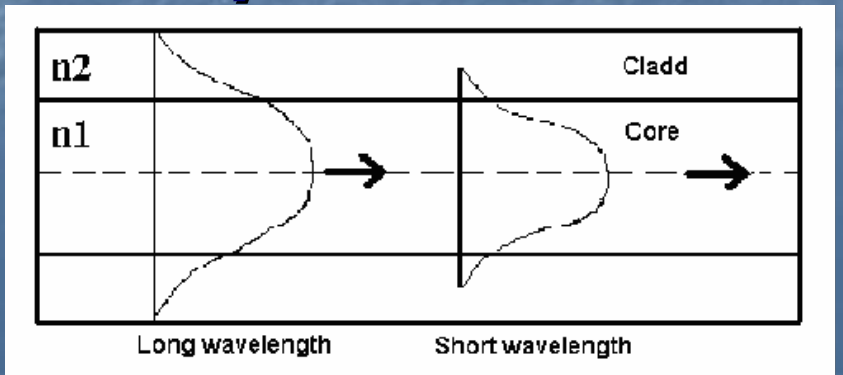
due to the different refractive indices of the core and cladding

long wavelengths: $n_{eff} \sim n_{claddin}$

short wavelengths: $n_{eff} \sim n_{core}$

Different n_{eff} cause different velocity

Different n_{eff} cause different velocity

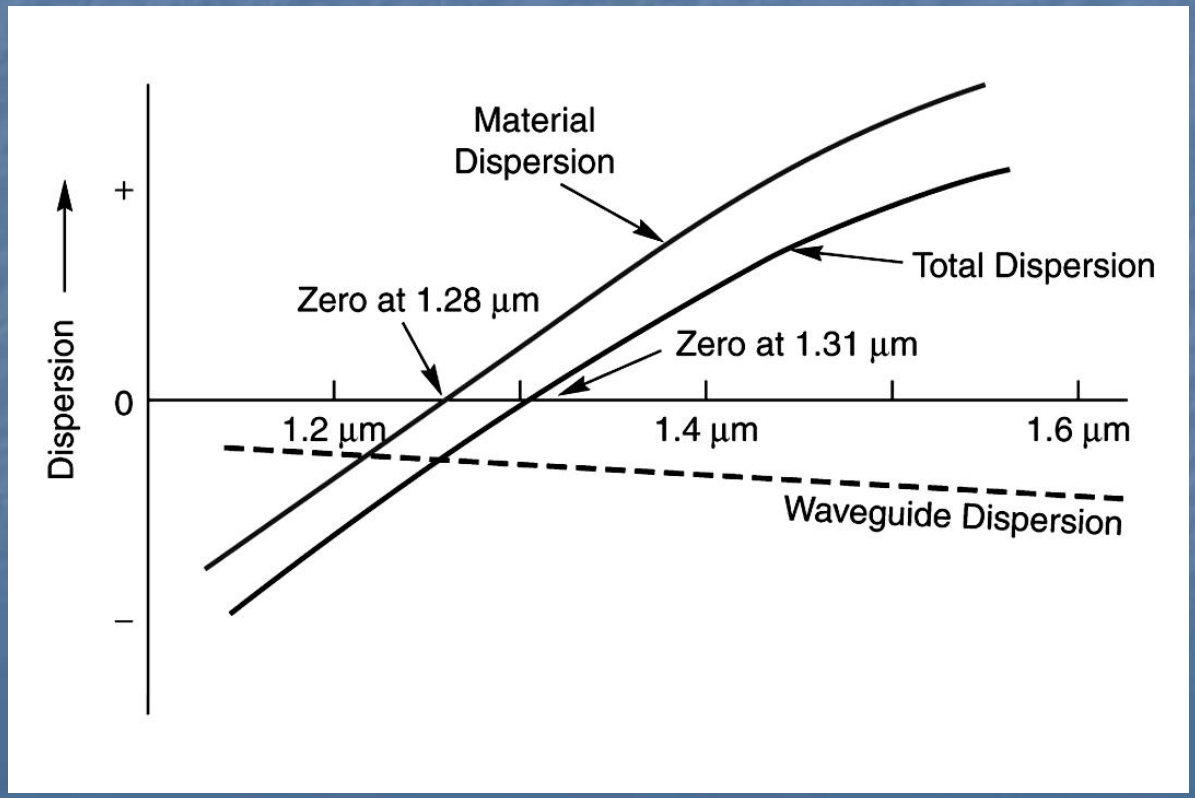


Types of Single-mode fibers

- **Non-Dispersion-Shifted Fiber (NDSF) or standard single-mode, G.652**

zero chromatic dispersion at 1310 nm

Lasers and Detectors at 1310 nm are inexpensive.



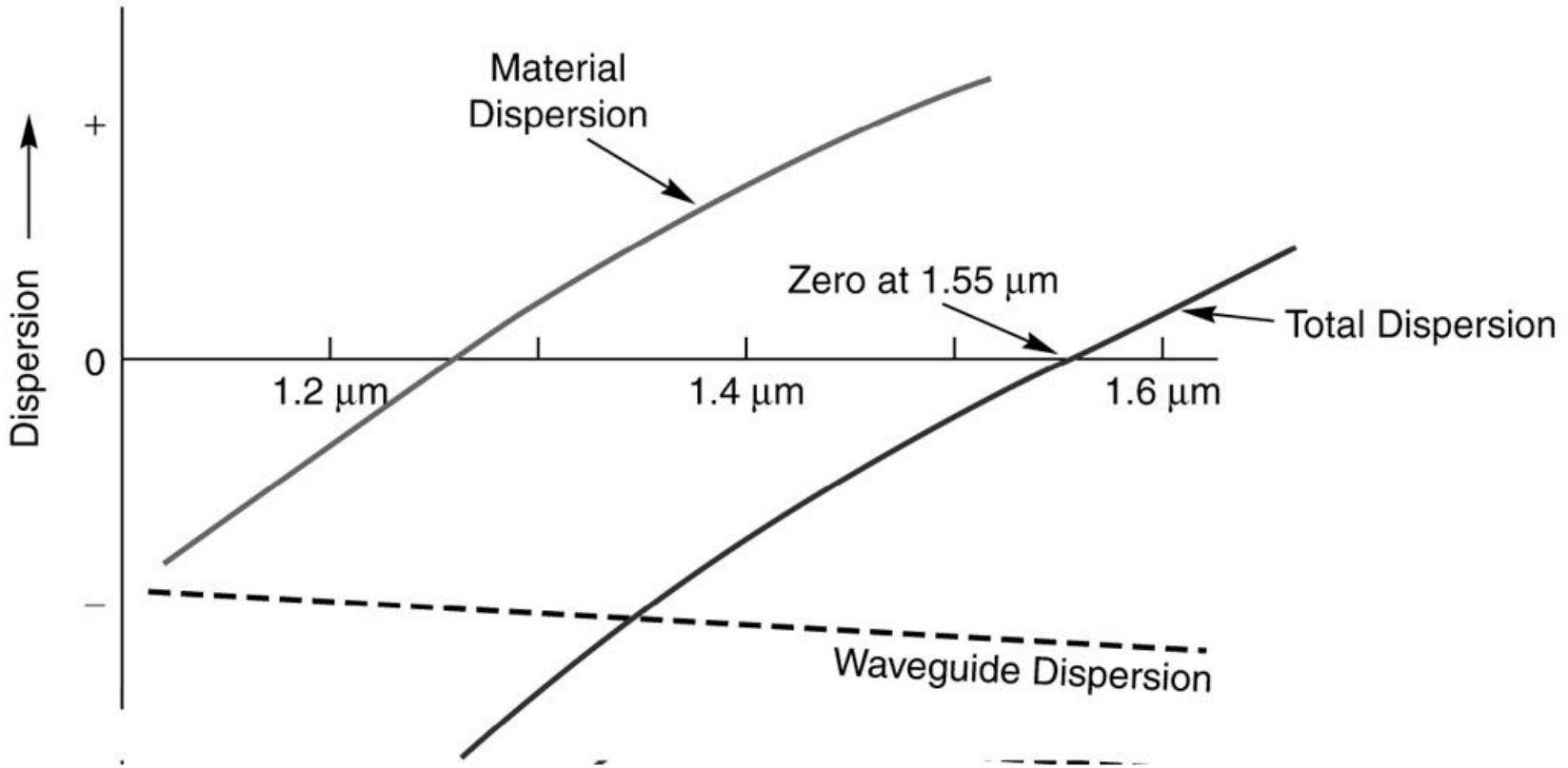
for C and L bands :

- lower attenuation
- operating wavelength is the same as that of EDFA 's
- but dispersion characteristics are severely limiting

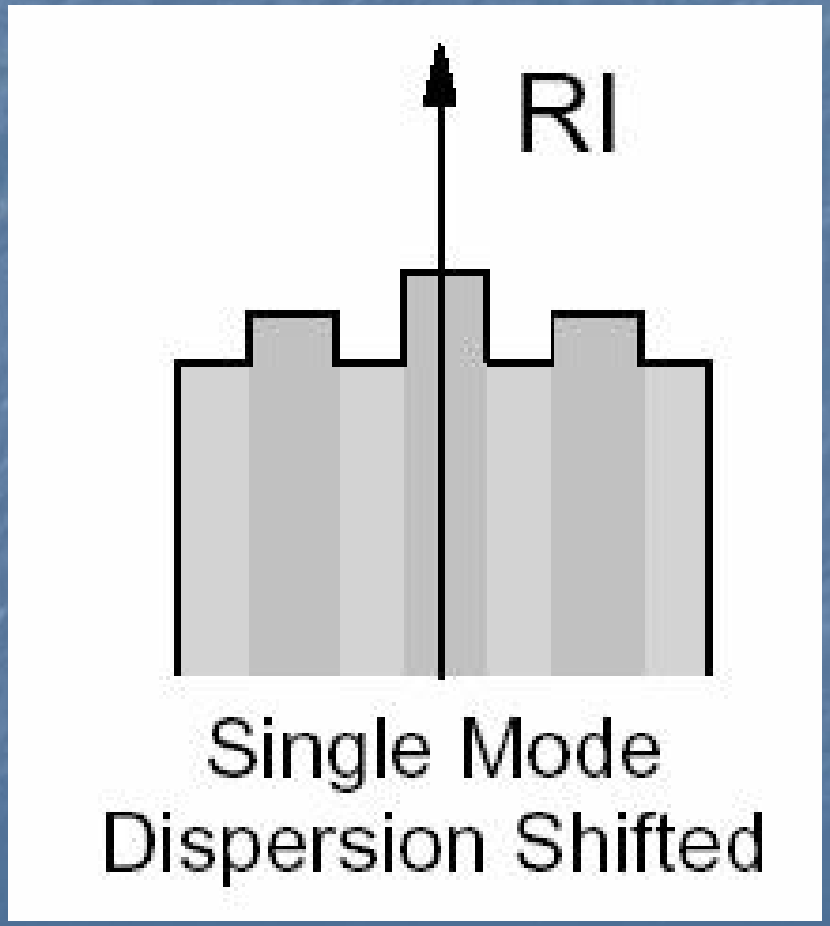
So

- Dispersion-Shifted Fiber (DSF), G.653
- Material and waveguide dispersion normally cancel at about 1310 nm
- This can be moved to 1550 nm by using a layered core design

  zero-dispersion point at 1550 nm


Material
Dispersion
Zero at 1.55 μm
Total Dispersion
Dispersion
+
0
–
1.2 μm
1.4 μm
1.6 μm
Waveguide Dispersion

Refractive index profile of the core for DSF

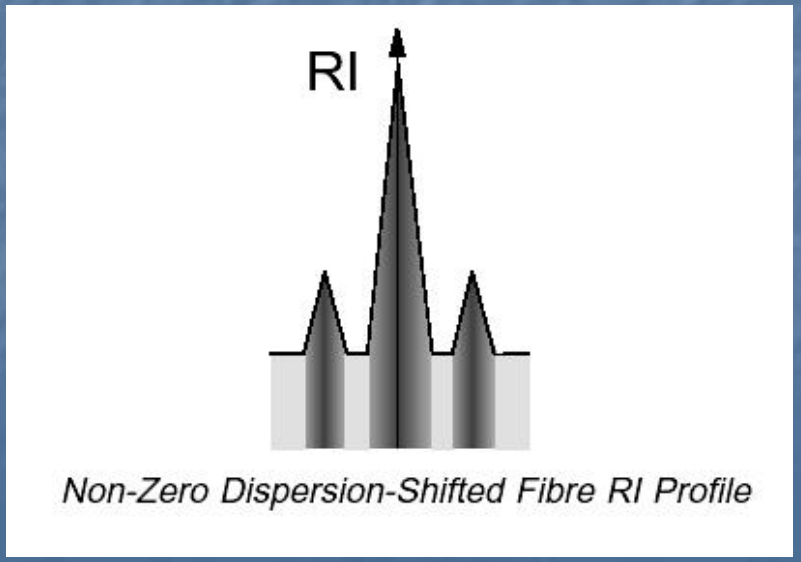


- destructive nonlinearities in optical fiber near the zero dispersion point
- not suitable for DWDM applications

So

Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber (NZ-DSF), G.655

- low dispersion in the 1550 nm region, but not zero
- designed specifically to meet the needs of DWDM

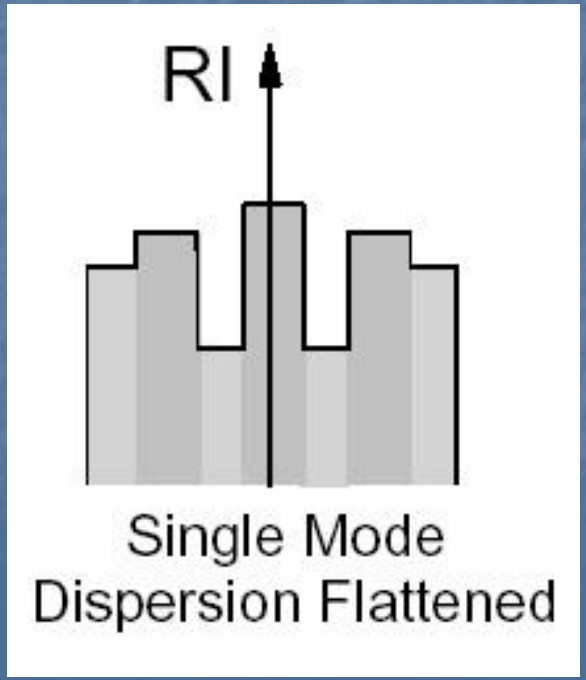


Non-Zero Dispersion-Shifted Fibre RI Profile

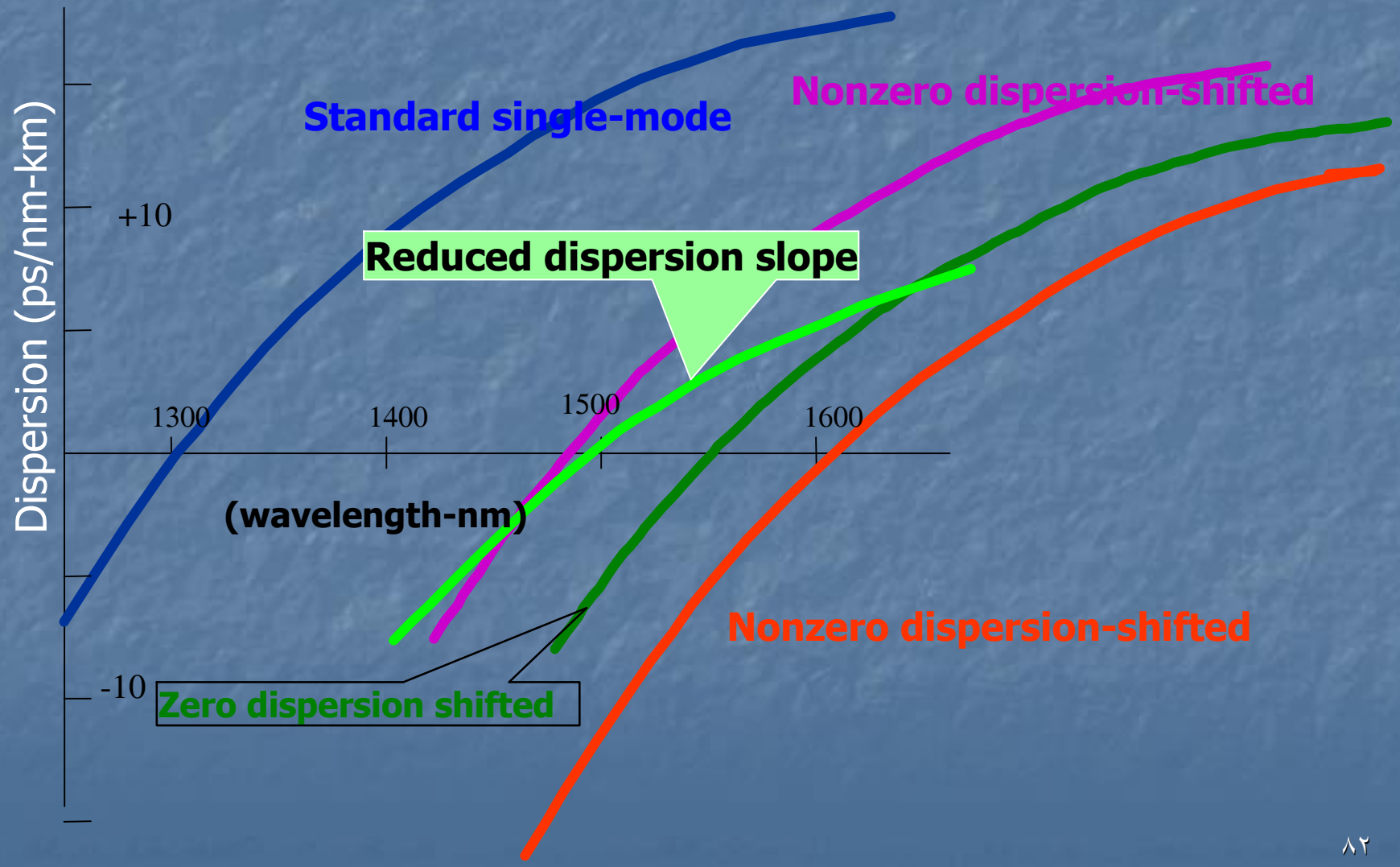
Reduced Dispersion Slope Fiber

- Designed so that dispersion remains relatively constant across the useful range of wavelengths
- This makes compensating for dispersion easier

Refractive index profile of the core for dispersion-flattened fiber

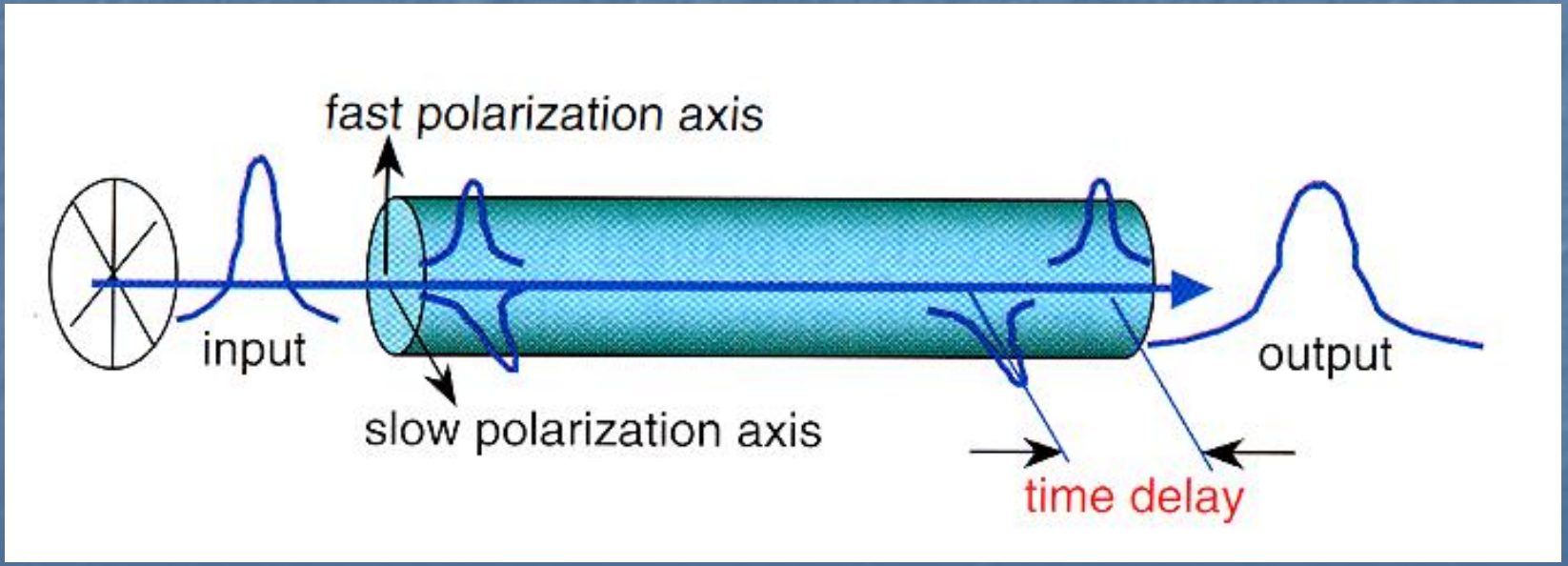


Chromatic dispersion in single-mode fibers



Polarization Mode Dispersion (PMD)

- caused by asymmetry and stress in the fiber core that results in birefringence
- An arbitrarily polarized pulse of light entering the fiber can be resolved into two components. These polarization modes will travel at different speeds through the fiber. It leads to pulse broadening
- PMD is measured in ps/($Km^{1/2}$)



PMD is important over 40 Gbps

Nonlinear effects

Response of fiber to optical power is nonlinear. Nonlinear effects appear when the power launched into fiber is high.

- **Change of Refractive index :**
  - **Self-Phase Modulation (SPM)**
  - **Cross-Phase Modulation (XPM)**
  - **Four-Wave Mixing (FWM)**
- **Stimulated Scattering:**
  - **Stimulated Brillouin Scattering (SBS)**
  - **Stimulated Raman Scattering (SRS)**

Self-Phase Modulation (SPM)

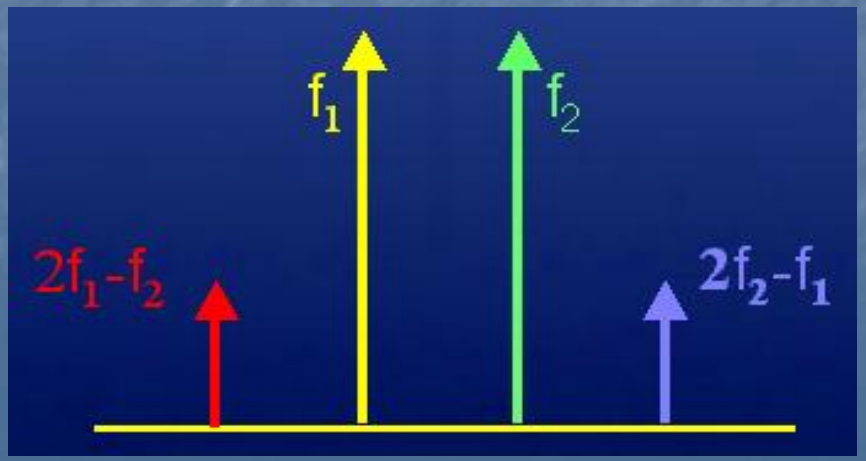
- The presence of light in a fibre causes a (tiny) change in the refractive index of the fibre. This is because the electromagnetic field that constitutes the light acts on the atoms and molecules that make up the glass. This is called the "Kerr Effect".
- As a result of Kerr effects At different points within a single pulse of light in the fibre the RI of the glass is different. So there is a (tiny) difference between the RIs at the leading edge, at the trailing edge and in the middle. This changes the phase of the lightwaves that make up the pulse. Changes in phase amount to changes in frequency. Therefore the frequency spectrum of the pulse is broadened. SPM creates a "chirp" (a gradual shift in frequency) over the whole duration of a pulse.

Cross-Phase Modulation (XPM)

- When there are multiple signals at different wavelengths in the same fiber, Kerr effect caused by one signal can result in phase modulation of the other signal(s). This is called "Cross-Phase Modulation" (XPM) because it acts between multiple signals rather than within a single signal. The result can be asymmetric spectral broadening and distortion of the pulse shape. It seems obvious that you can't have XPM without also having SPM. All this of course means added noise.
- One channel modulates other light wavelengths by changing the refractive index
- XPM only occurs in multi-channel links.

Four-Wave Mixing (FWM)

- FWM is combination of wavelengths to produce new wavelengths
- Number of new wavelengths are $\frac{1}{2}*(N^3-N^2)$, where N is the number of original wavelengths.
- If these products fall on top of another channel they can cause problems



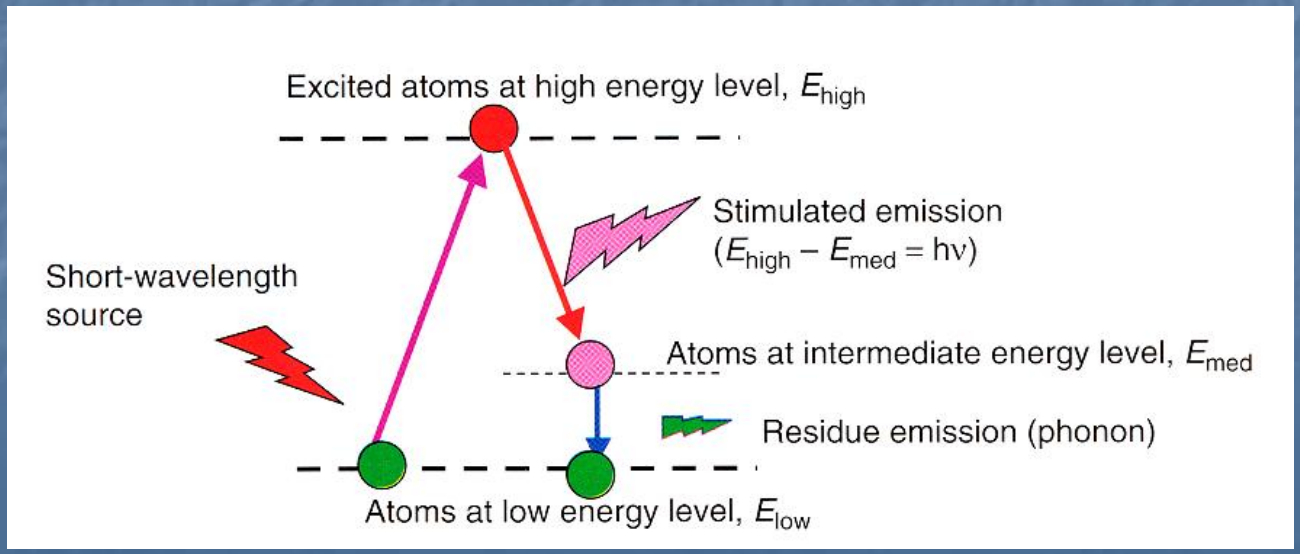
Stimulated Brillouin Scattering (SBS)

- Stimulated Brillouin Scattering is a scattering of light backwards towards the transmitter caused by mechanical (acoustic) vibrations in the transmission medium (fiber). The reflected wave produced is called the "Stokes Wave".

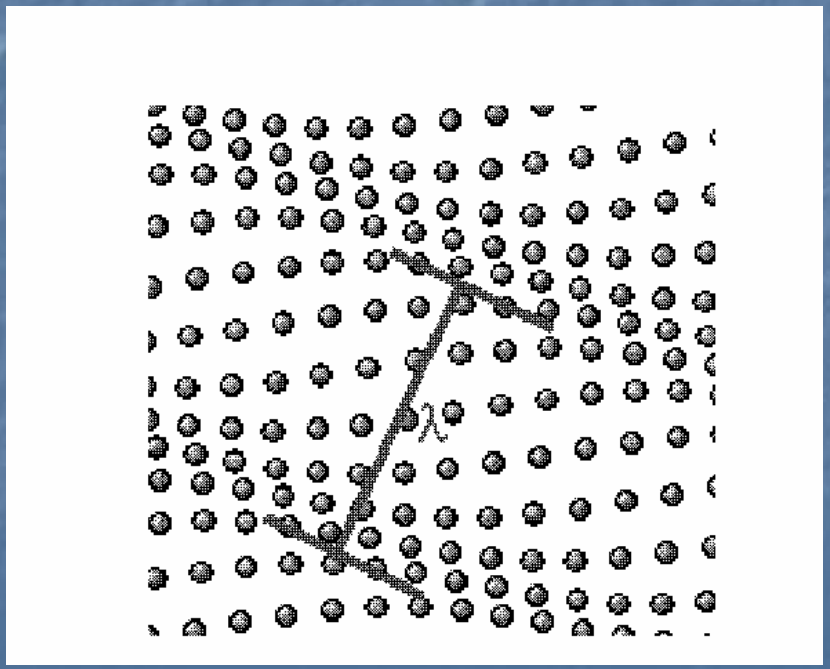
- Stimulated Brillouin Scattering is caused by the presence of the optical signal itself.
- The electromagnetic field of optical signal causes mechanical vibrations in the fiber which produce a regularly varying pattern of very slight differences in the refractive index. The Brillouin Scattering effect is caused by light being reflected by the diffraction grating created by the regular pattern of RI changes. The reflected light is reflected backwards from a moving grating.
- Frequency of the backward propagating light is downshifted from the original signal (Doppler effect). The shift of the reflected wave in standard single-mode fiber is around 11.1 GHz

Stimulated Raman Scattering (SRS)

- Stimulated Raman Scattering is caused by a similar mechanism to the one which produces SBS. However, the interactions involved are due to molecular vibrations **(optical phonon)** rather than acoustic ones. Scattered light can appear in both the forward and backward directions.
- **When multiple channels are present, Stimulated Raman Scattering can cause power transfer from shorter wavelengths to longer ones.**



- Due to the connections between atoms, the displacement of one or more atoms from their equilibrium positions will give rise to a set of vibration waves propagating through the lattice.
- Phonon: quantum of vibrational energy.



- In real solids, there are two types of phonons: "acoustic" phonons and "optical" phonons. "Acoustic phonons", have frequencies that become small at the long wavelengths, and correspond to sound waves in the lattice. Longitudinal and transverse acoustic phonons are often abbreviated as LA and TA phonons, respectively.
- "Optical phonons," which arise in crystals that have more than one atom in the unit cell, always have some minimum frequency of vibration, even when their wavelength is large. They are called "optical" because in ionic crystals (like sodium chloride) they are excited very easily by light (in fact, infrared radiation). This is because they correspond to a mode of vibration where positive and negative ions at adjacent lattice sites swing against each other, creating a time-varying electrical dipole moment

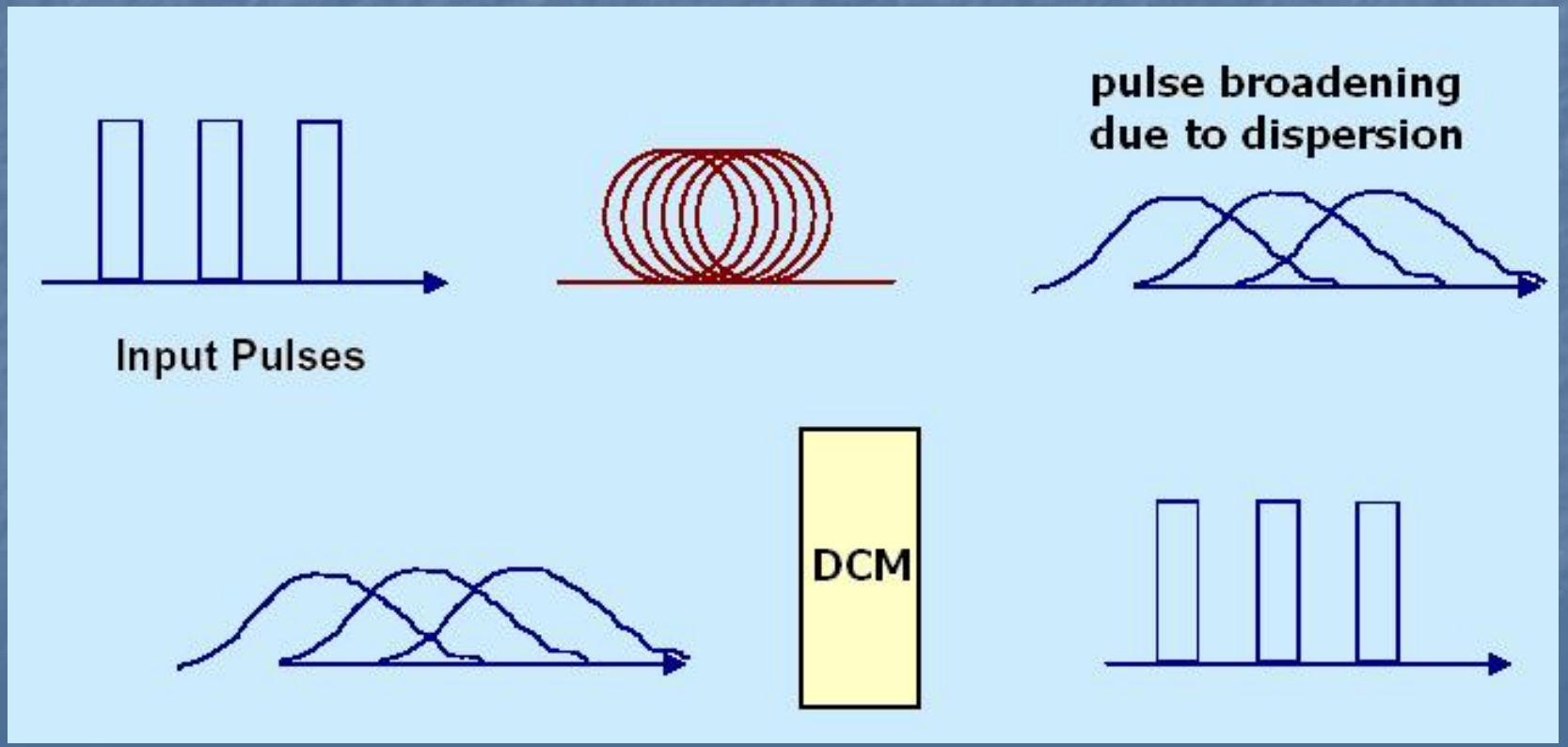
Large Effective Area Fiber (LEAF)

- Effective area larger than conventional NZ–DSFs (80μm^2 compared to 55 μm^2).

- This allows more power to be pumped through the fiber and minimizing the non-linear effects.

Dispersion Compensation Module (DCM)

DCM can spectrally shrink (compensate for) dispersed pulses and allow them to travel over longer fiber lengths.

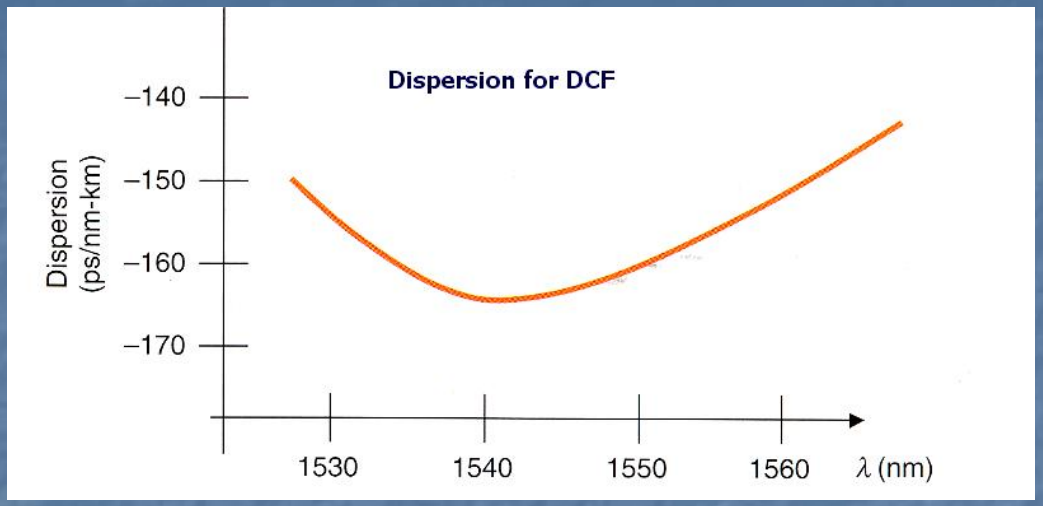


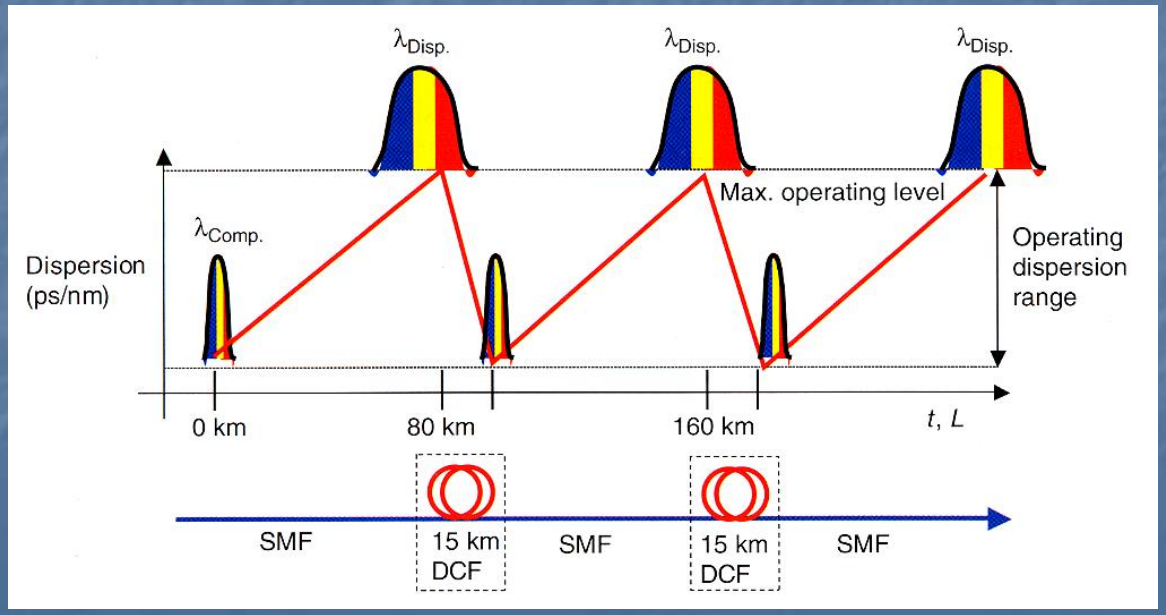
Chromatic Dispersion Compensation Methods

- Dispersion Compensating Fiber (DCF)
  - Negative & Positive Fiber
  - Circulator and Mirror
- Chirped Fiber Bragg Grating (CFBG)
- 2-mode Fibers

DCF (Negative & Positive Fiber)

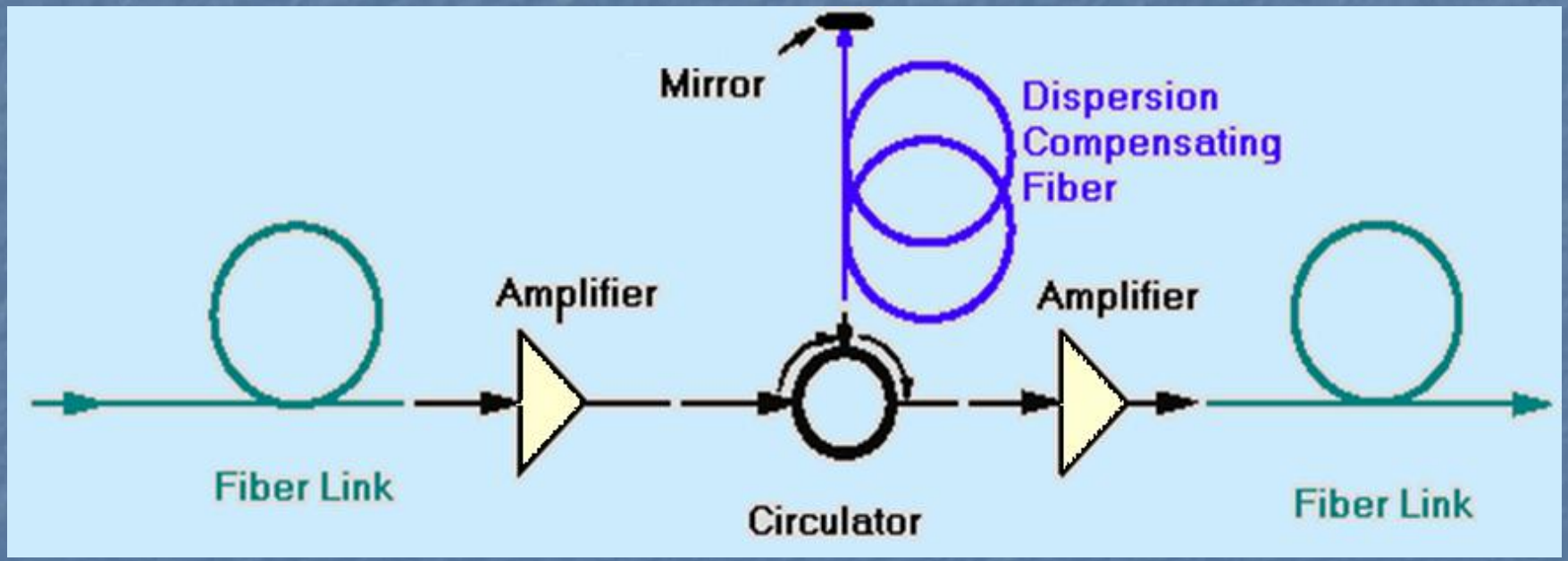
- Fibers with negative and positive dispersion at given wavelengths are used frequently.
- 80 Km of regular fiber compensating with 15 Km of dispersion compensating fiber.





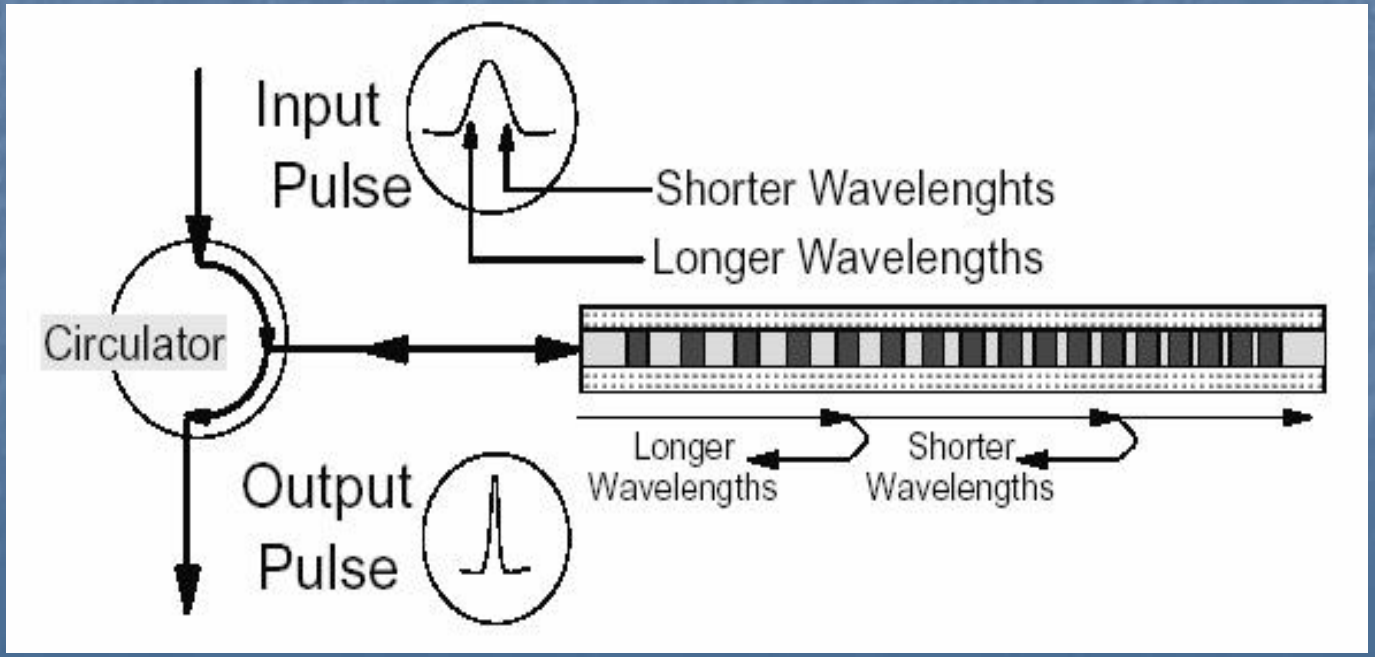
DCF (Circulator and Mirror)

- **Using circulator and mirror, efficiency is twice.**

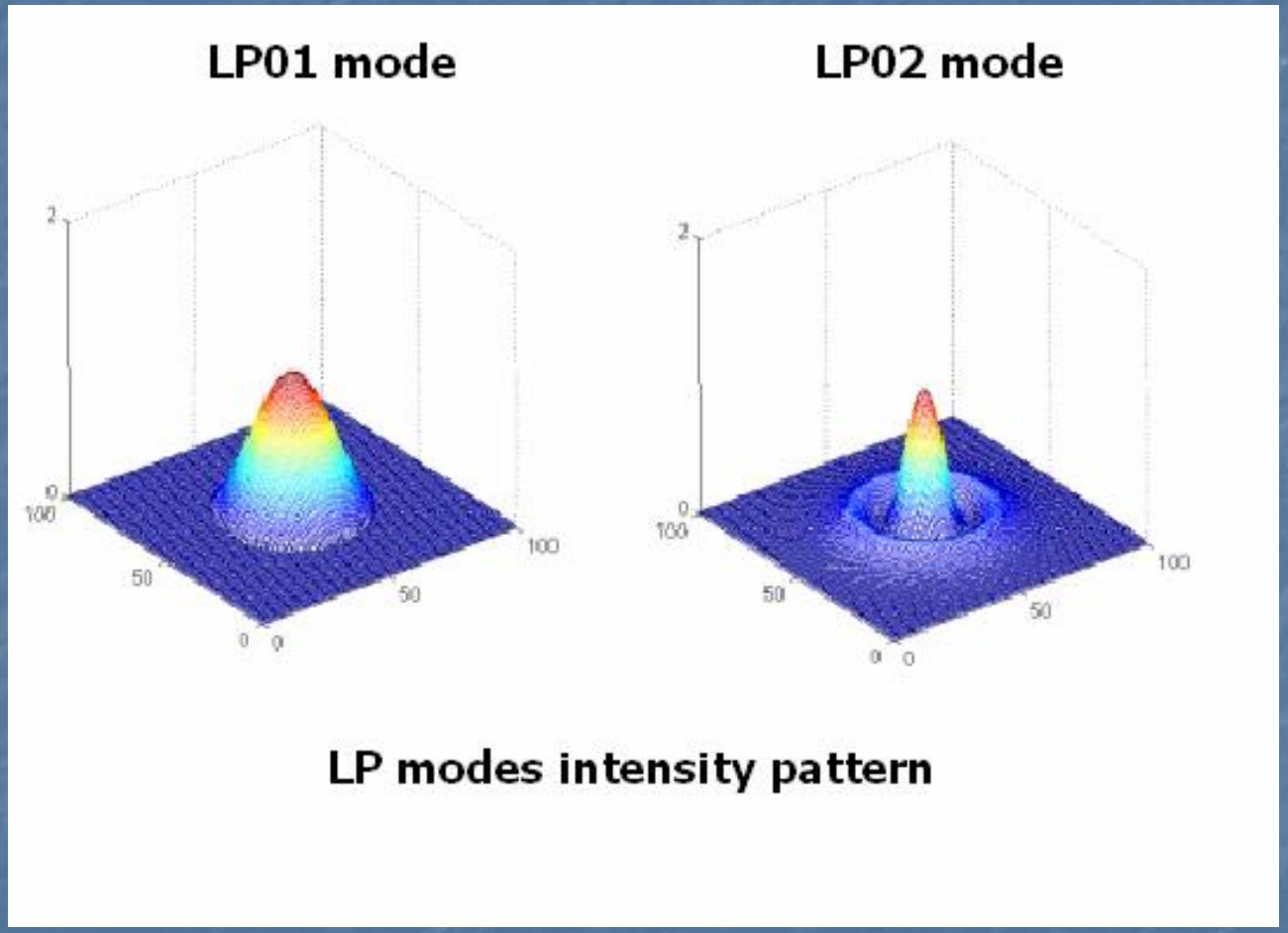


Chirped Fiber Bragg Grating (CFBG)

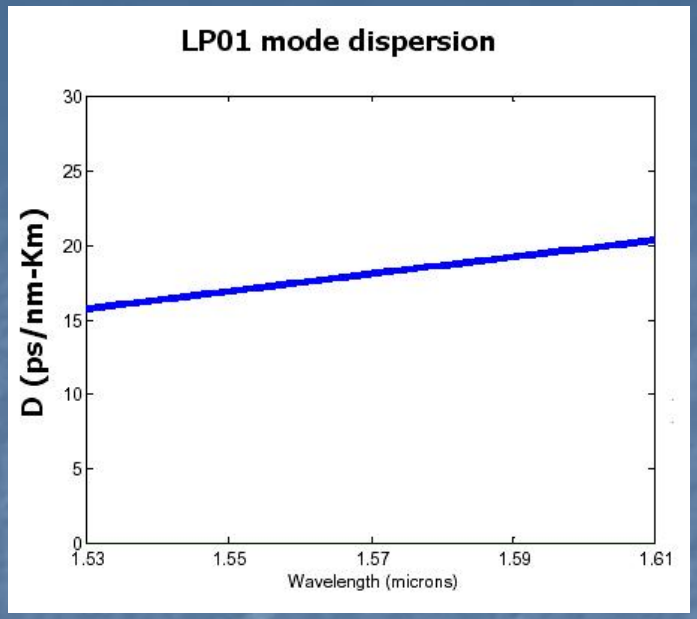
- In a regular fiber, chromatic dispersion introduces larger delays for the longer wavelength components in a pulse.
- CFBG do exactly the opposite.
- In CFBG, period of the grating varies linearly with position
- This causes that the grating reflect different wavelengths at different points along its length.
- Therefore CFBG introduces larger delays at shorter wavelengths

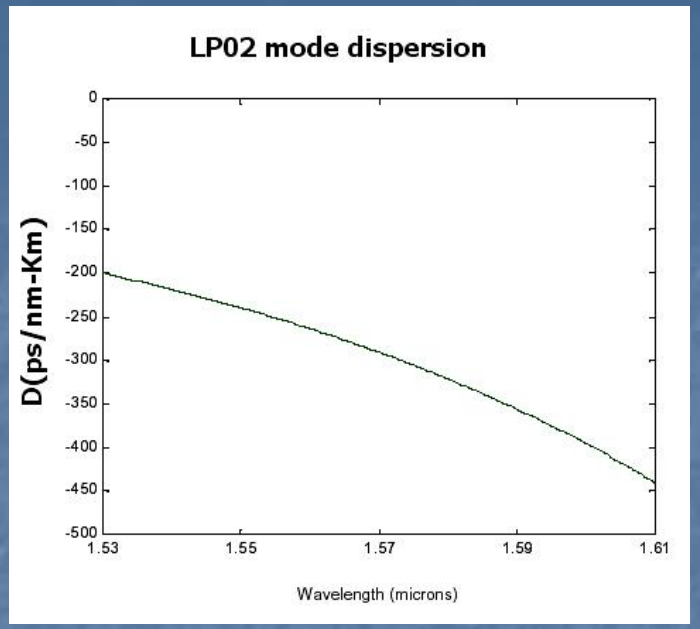


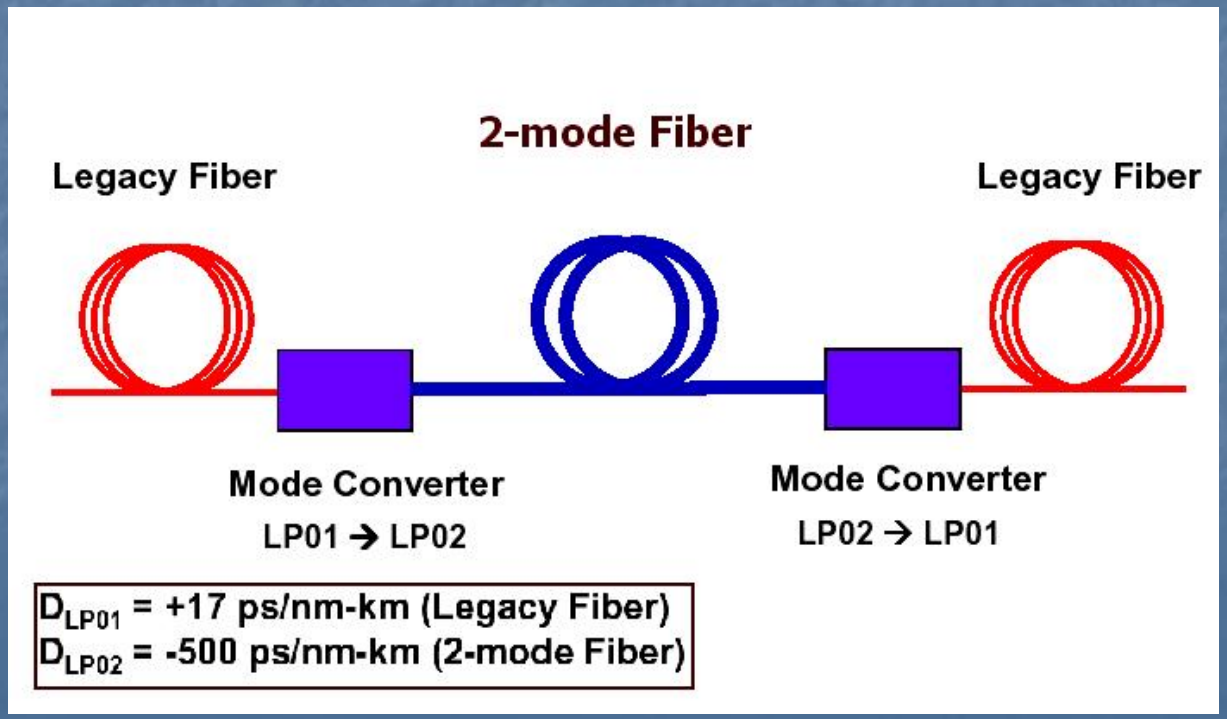
2-mode fibers



LP modes intensity pattern


LP01 mode dispersion
D (ps/nm-Km)
Wavelength (microns)
30
25
20
15
10
5
0
1.53
1.55
1.57
1.59
1.61

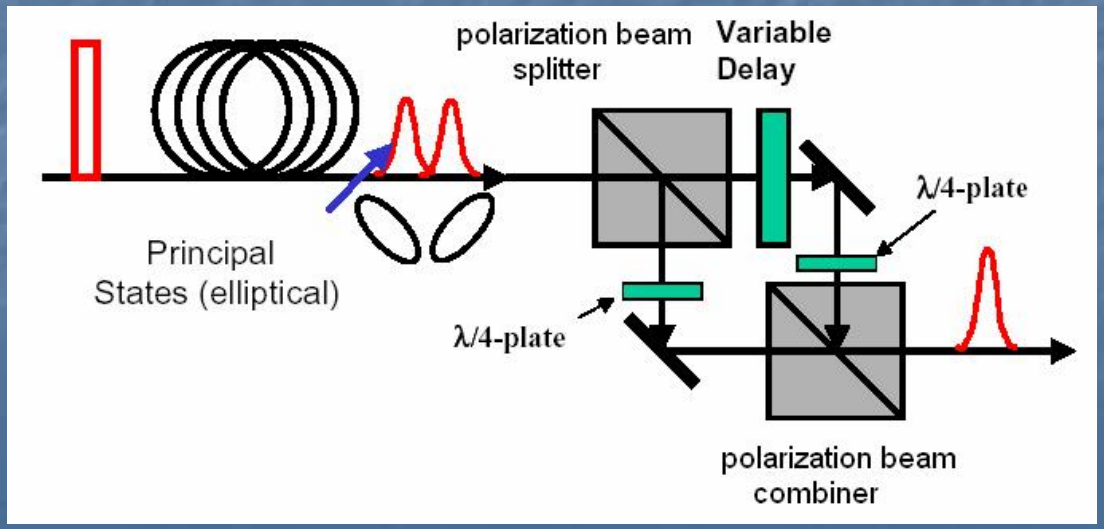

LP02 mode dispersion
D(ps/nm-Km)
Wavelength (microns)
0
-50
-100
-150
-200
-250
-300
-350
-400
-450
-500
1.53
1.55
1.57
1.59
1.61


2-mode Fiber
Legacy Fiber
Legacy Fiber
Mode Converter
LP01 → LP02
Mode Converter
LP02 → LP01
D_{LP01} = +17 ps/nm-km (Legacy Fiber)
D_{LP02} = -500 ps/nm-km (2-mode Fiber)

PMD Compensator (PMDC)

- one of the two orthogonal polarization states that to be compensated is delayed by the fixed phase shift of the compensator such that the two states are matched in phase at the output

- PMD compensation is done for one channel at a time.
- Hence, in a DWDM environment, the channels would have to be demultiplexed before each channel is individually compensated for PMD.



- منابع :

- Optical fiber principles & practice , John M.senior
- Nonlinear effects in optical fibers: limitations and benefits Mário F. S. Ferreira Department of Physics, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal
- NONLINEAR EFFECTS IN OPTICAL FIBERS: ORIGIN, MANAGEMENT AND APPLICATIONS S. P. Singh † and N. Singh Department of Electronics and Communication University of Allahabad Allahabad-211002, India

پایان