Signal Dispersion

Concept:

- **Material Dispersion:** This occurs because the refractive index of glass varies with the wavelength of light.
  - Since an LED light source isn't "pure" (it contains a range of wavelengths/colors), different colors travel at different speeds through the fiber.
- **Pulse Broadening:** As these different speeds cause parts of the light pulse to arrive at different times, the pulse "spreads out" or broadens as it travels.
- **Intersymbol Interference (ISI):** For CSE students, the practical impact is **ISI**. If a pulse broadens too much, it starts overlapping with the pulse representing the next bit.
  - The receiver then cannot distinguish between a "1" and a "0".

Exercise: Material Dispersion and Pulse Broadening

Question:

A glass fiber has a material dispersion coefficient (D_{mat}) of **80 ps/(nm·km)** at an operating wavelength of **850 nm**. The light source used is an LED with a spectral width ($\Delta\lambda$) of **40 nm**.

1. Calculate the **pulse broadening (ΔT)** due to material dispersion for a fiber length of **2 km**. (2 Marks)
2. Calculate the maximum **Bit Rate (R_B)** that can be supported by this link, assuming the bit rate is limited to $R_B \approx 1/(2\Delta T)$. (2 Marks)

Solution

1. Calculating Pulse Broadening (ΔT):

The formula for pulse broadening due to material dispersion is:

$$\Delta T = D_{mat} \times L \times \Delta\lambda$$

Where:

- D_{mat} = $80\ \text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$
- L (Length) = $2\ \text{km}$
- $\Delta\lambda$ (Spectral Width) = $40\ \text{nm}$

$$\Delta T = 80 \times 2 \times 40$$

$$\Delta T = 6400\ \text{ps} = \mathbf{6.4}\ \text{ns}$$

$D_{mat} = 80\ \text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ এর অর্থ

এই মানটি আমাদের তিনটি বিষয় একসাথে বলে:

১. **ps (Picoseconds):** এটি হলো সময়ের একক। এখানে $80\ \text{ps}$ মানে হলো আলো বা পালসটি **৮০ পিকোসেকেন্ড** পরিমাণ ছড়িয়ে পড়বে (Broadening)।

২. **nm (Nanometer):** এটি আলোর রঙের বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের (Wavelength) একক। এর মানে হলো, আপনার আলোর সোর্সে যদি **১ ন্যানোমিটার** রঙের পার্থক্য থাকে, তবেই এই ৮০ পিকোসেকেন্ড ডিসপারশন হবে।

- *LED সোর্সে অনেকগুলো রঙ মিশে থাকে (Spectral width), তাই সেখানে এই মানটি বেশি প্রভাব ফেলে।*

৩. **km (Kilometer):** এটি দূরত্বের একক। এর মানে হলো, আলোটি ফাইবারের ভেতর দিয়ে **১ কিলোমিটার** পথ অতিক্রম করলে তবেই এই পরিবর্তনটি ঘটবে।

সহজ কথায় পূর্ণ অর্থ:

যদি আপনার কাছে **১ কিলোমিটার** লম্বা একটি অপটিক্যাল ফাইবার থাকে এবং আপনি এমন একটি আলো ব্যবহার করেন যার স্পেকট্রাল উইডথ (রঙের পার্থক্য) **১ ন্যানোমিটার**, তবে সেই আলোটি ফাইবারের শেষ প্রান্তে পৌঁছাতে পৌঁছাতে **৮০ পিকোসেকেন্ড** চওড়া বা বড় হয়ে যাবে।

১ ন্যানোমিটার ($\Delta\lambda = 1\ \text{nm}$) বলতে কী বোঝায়?

যখন আমরা বলি স্পেকট্রাল উইডথ ১ ন্যানোমিটার, তার মানে হলো ওই সোর্স থেকে বের হওয়া আলোর সবচেয়ে ছোট এবং সবচেয়ে বড় তরঙ্গের মধ্যে পার্থক্য মাত্র **১ ন্যানোমিটার**।

Exercise: Material Dispersion and Pulse Broadening

Question:

A glass fiber has a material dispersion coefficient (D_{mat}) of **80 ps/(nm·km)** at an operating wavelength of **850 nm**. The light source used is an LED with a spectral width ($\Delta\lambda$) of **40 nm**.

1. Calculate the **pulse broadening (ΔT)** due to material dispersion for a fiber length of **2 km**. (2 Marks)
2. Calculate the maximum **Bit Rate (R_B)** that can be supported by this link, assuming the bit rate is limited to $R_B \approx 1/(2\Delta T)$. (2 Marks)

2. Calculating Maximum Bit Rate (R_B):

Using the provided approximation for a dispersion-limited link:

$$R_B = \frac{1}{2\Delta T}$$

$$R_B = \frac{1}{2 \times 6.4 \times 10^{-9}\ \text{s}}$$

$$R_B \approx 78,125,000\ \text{bps}$$

$$R_B \approx \mathbf{78.13}\ \text{Mbps}$$