Fiber Attenuation (Link Length Calculation)

- Problem: The mean optical power launched into an optical fiber link is 1.5 mW and the fiber has an attenuation of 0.5 dB/km. Determine the maximum possible link length without repeaters when the minimum mean optical power level required at the detector is 2 μW.

Solution:

- Convert powers to dBm:
  - $P_{in} = 10 \log_{10}(1.5 \text{ mW}/1 \text{ mW}) = 1.76 \text{ dBm}.$
  - $P_{out} = 10 \log_{10}(2 \times 10^{-3} \text{ mW}/1 \text{ mW}) = -26.99 \text{ dBm}.$
- Total allowable loss $(\alpha_{tot}) = P_{in} - P_{out} = 1.76 - (-26.99) = 28.75 \text{ dB}.$
- Maximum length $(L) = \text{Total Loss}/\text{Attenuation per km} = 28.75/0.5 = 57.5 \text{ km}.$

Explanation: Attenuation limits the distance a signal can travel before it becomes too weak to be detected. It is primarily caused by absorption and scattering within the silica glass.

dBm হিসাব করা হয় ১ মিলিওয়াটকে (1 mW) ভিত্তি ধরে।

- যদি পাওয়ার ঠিক **১ মিলিওয়াট (1 mW)** হয়, তবে সেটি হবে **0 dBm** $(10 \log_{10}(1/1) = 0)$.
- যদি পাওয়ার **১ মিলিওয়াট এর বেশি** হয়, তবে মান আসবে **পজিটিভ (+)**।
- যদি পাওয়ার **১ মিলিওয়াট এর কম** হয়, তবে মান আসবে **নেগেটিভ (-)**।

Cutoff Wavelength in Single-Mode Fiber

Exercise: A single-mode step index fiber has a core radius of $4.5\ \mu\text{m}$ and a numerical aperture of 0.11. Estimate the cutoff wavelength (λ_c) for the fiber.

- **Solution:** For single-mode operation, the normalized frequency V must be ≤ 2.405.
  - $\lambda_c = (2\pi \cdot a \cdot NA)/2.405 = (2\pi \cdot 4.5 \cdot 10^{-6} \cdot 0.11)/2.405 \approx 1.29\ \mu\text{m}.$

- **Explanation:** The cutoff wavelength is the minimum wavelength at which the fiber supports only the fundamental mode.
- Below this wavelength, the fiber becomes multimode.

Link Power Budgeting (Attenuation)

Exercise: A 15 km optical link uses fiber with an attenuation of $1.5\ \text{dB/km}$. It has 14 joints, each with a $0.8\ \text{dB}$ loss. If the required power at the receiver is $0.3\ \mu\text{W}$, determine the minimum power to be launched.

- **Solution:**
  - Total fiber loss $= 15\ \text{km} \times 1.5\ \text{dB/km} = 22.5\ \text{dB}$.
  - Total joint loss $= 14 \times 0.8\ \text{dB} = 11.2\ \text{dB}$.
  - Total system loss $= 22.5 + 11.2 = 33.7\ \text{dB}$.
  - Input power in dBm: $P_{out}(\text{dBm}) + \text{Loss} = 10\log_{10}(0.3 \times 10^{-3}\ \text{mW}) + 33.7 = -35.23 + 33.7 = -1.53\ \text{dBm}$.

$-1.53\ \text{dBm} = 0.703\ \text{mW}$

- **Explanation:** Budgeting ensures that after all losses (scattering, absorption, and connections), enough signal remains for the detector to "see".

> **১. dBm এককের মূলনীতি:** dBm হলো পাওয়ার বা শক্তির একটি একক যা ১ মিলিওয়াট (1 mW) কে রেফারেন্স ধরে পরিমাপ করা হয়।
>
> - যদি মান $0\ \text{dBm}$ হয়, তার মানে পাওয়ার ঠিক $1\ \text{mW}$।
> - যদি মান **পজিটিভ** $(+)$ হয়, তার মানে পাওয়ার $1\ \text{mW}$ এর বেশি।
> - যদি মান **নেগেটিভ** $(-)$ হয়, তার মানে পাওয়ার $1\ \text{mW}$ এর চেয়ে কম।