

Devoir Maison

FINI

A rendre pour le Mardi 13 Décembre 2011

En cas de questions : claire.michel@unice.fr

Exercice 1 - Propagation de rayons

On considère une fibre optique constituée d'un cœur en silice d'indice $n_{co} = 1.45$ entouré d'une gaine, également en silice, d'indice $n_{ga} = 1.41$. Le cœur a un rayon $a = 30 \mu\text{m}$. Un faisceau issu d'un laser se propageant dans l'air pénètre dans la fibre avec un angle d'incidence $i_0 = 5^\circ$.

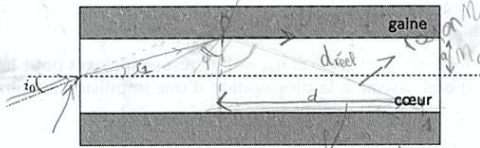


FIGURE 1 – Rayon à l'entrée de la fibre optique

- 1- Représentez schématiquement et calculez l'angle de réfraction i_1 après passage du faisceau de l'air dans le cœur de la fibre.
- 2- En déduire l'angle d'incidence φ avec lequel le rayon arrive ensuite sur l'interface cœur-gaine.
- 3- Cet angle φ satisfait-il la condition de réflexion totale? Justifier votre réponse.
- 4- A partir des réponses aux questions précédentes, en déduire la distance parcourue par le rayon entre 2 réflexions successives. La fibre optique mesure 100 mètres. Combien de réflexions le rayon va-t-il subir avant de sortir de la fibre optique? Calculer le temps mis par le rayon pour parcourir les 100 mètres de fibre. Avec quel angle i_s le rayon va-t-il sortir de la fibre optique?

Exercice 2 - Courbure d'une fibre optique

On considère une fibre optique de rayon $a = 100 \mu\text{m}$, à laquelle on impose une courbure (voir schéma ci dessous, Fig. 2). La fibre optique est composée de silice, avec un indice optique $n_{co} = 1.48$ pour le cœur, et un indice $n_{ga} = 1.44$ pour la gaine.

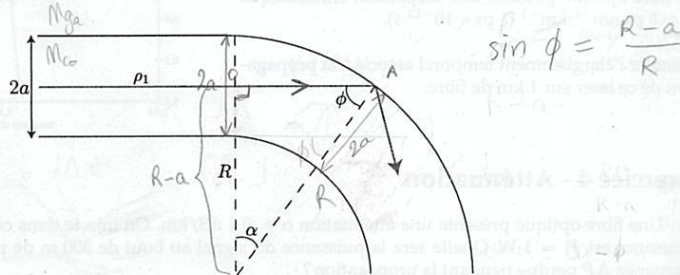


FIGURE 2 – Rayon se propageant dans une fibre optique courbée

On s'intéresse au rayon ρ_1 se propageant au centre de la fibre optique. Il vient se réfléchir sur l'interface cœur-gaine au niveau de la courbure, faisant un angle ϕ par rapport à la normale à l'interface.

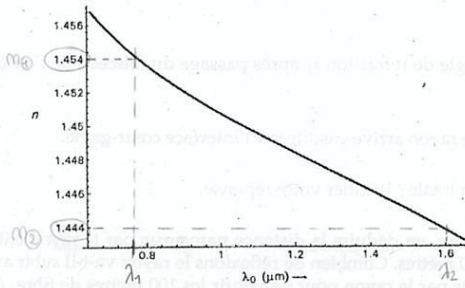
- 1- Calculer l'ouverture numérique de la fibre, ainsi que l'angle critique pour lequel un rayon quelconque reste guidé dans la fibre optique.
- 2- Trouver la relation entre ϕ et α , puis entre R et ϕ , en fonction de a .
- 3- Considérant $R = 1$ cm, le rayon ρ_1 arrivant sur la courbure avec l'angle ϕ est-il guidé dans la fibre?
- 4- Jusqu'à quel rayon R_{\min} pouvons-nous courber la fibre pour que le rayon ρ_1 soit toujours guidé?
- 5- En considérant une application aux télécommunications, expliquer pourquoi il est recommandé de ne pas imposer de rayon de courbure trop important à une fibre optique.

Exercice 3 - Dispersion temporelle

1- Soit une fibre optique d'indices $n_{co} = 1.465$ et $n_{ga} = 1.44$ respectivement pour le cœur et la gaine optique. Calculer l'élargissement temporel associé à la propagation d'une impulsion sur une distance $L = 1$ km, en ns/km.

$$\tau = \frac{L \cdot n_1}{c} \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right)$$

2- On considère une fibre optique dont le cœur est constitué de silice pure. La variation de l'indice optique de la silice pure en fonction de la longueur d'onde est représentée ci dessous.

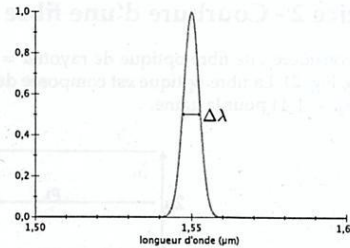


Calculer les temps mis par deux rayons ρ_1 et ρ_2 se propageant en ligne droite dans cette fibre optique aux longueurs d'onde $\lambda_1 = 0,76 \mu\text{m}$ et $\lambda_2 = 1,6 \mu\text{m}$ pour parcourir une distance $L = 1$ km.

$$t(\lambda) = \frac{L \cdot n(\lambda)}{c}$$

3- Application aux télécommunications

On considère la propagation dans une fibre optique d'un laser dont le spectre en fréquence présente un pic centré en $\lambda_0 = 1.55 \mu\text{m}$ et de largeur $\Delta\lambda = 10$ nm. La fibre optique possède une dispersion chromatique $D = 5 \text{ ps} \cdot \text{nm}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$).



Calculer l'élargissement temporel associé à la propagation de ce laser sur 1 km de fibre.

$$\Delta t = \frac{\Delta t}{L \cdot \Delta \lambda}$$

$$\Delta t = D \times L \times \Delta \lambda = 5 \times 1 \times 10 = 50 \text{ ps}$$

Exercice 4 - Atténuation

1- Une fibre optique présente une atténuation $\alpha = 0.9 \text{ dB/km}$. On injecte dans cette fibre un signal dont la puissance est $P_i = 1 \text{ W}$. Quelle sera la puissance du signal au bout de 500 m de propagation? Quelle est la puissance ΔP perdue pendant la propagation?

2- On s'intéresse à la propagation d'un rayon dans cette fibre optique. Sachant qu'il faut 5×10^6 réflexions à ce rayon pour parcourir 500 m de fibre, et sachant que chaque réflexion s'accompagne d'une perte de puissance de $2 \times 10^{-6} \%$, calculer la puissance perdue au bout de 500 m. Ce résultat est-il cohérent avec le résultat de la question précédente?

$$-\frac{\alpha L}{10} = \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \Rightarrow \alpha = \frac{10}{L} \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

$$P_{out} = P_{in} 10^{-\frac{\alpha L}{10}} = 1 \cdot 10^{-\frac{0.9 \times 0.5}{10}} = 10^{-0.045} \approx 0.9 \text{ W}$$