Dispositifs électro-optiques**Cours:**

- KDP en configuration longitudinale
 - modulation de polarisation
 - modulation d'amplitude
 - modulation de phase
- Linéarité du modulateur d'amplitude
- Configuration longitudinale vs. configuration transverse
- KDP en configuration transverse
 - modulation de polarisation
 - modulation d'amplitude
 - modulation de phase

Exercice 1: Étude d'un obturateur optique en KDP

Le KDP (KH_2PO_4) est un cristal anisotrope uniaxe (axe optique selon z) d'indices $n_o = 1.5074$ et $n_e = 1.4659$ à 633 nm et de symétrie $\bar{4}2m$ dont le tenseur électro-optique s'écrit:

$$\bar{r} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ r_{41} & 0 & 0 \\ 0 & r_{41} & 0 \\ 0 & 0 & r_{63} \end{pmatrix}$$

avec $r_{41} = 8 \text{ pm/V}$ et $r_{63} = 11 \text{ pm/V}$ à la longueur d'onde 633 nm.

On veut réaliser avec ce cristal un obturateur de faisceau laser destiné à moduler les pertes intra-cavité d'un laser déclenché (Q-switch actif): à champ nul l'obturateur est bloquant (sa transmission est nulle), et il est passant lorsqu'on applique un champ adapté (sa transmission est alors de 100 %).

On envisage dans un premier temps la configuration dans laquelle le faisceau laser traverse les électrodes (configuration longitudinale). Pour cette partie, on suppose un cristal qui est taillé dans ses axes principaux.

a) Proposer un montage à base de polariseurs et le cristal KDP qui permette de réaliser cet obturateur. Préciser sur un schéma les orientations des polariseurs et les axes principaux du cristal KDP.

b) Donner l'expression de la variation d'indice et du déphasage résultant de l'application d'un champ électrique longitudinal

c) Donner l'expression de la tension minimale qu'il faut appliquer entre les deux électrodes pour commuter la transmission de l'obturateur entre 0 et 100 %.
L'évaluer numériquement.

On envisage dans un second temps la configuration dans laquelle le champ appliqué est perpendiculaire à la direction de propagation du faisceau laser (configuration transverse). L'épaisseur et la longueur du cristal valent respectivement $d = 3$ mm et $L = 100$ mm. Le cristal est taillé de manière qu'une face est orthogonal à son axe optique, et les deux autres faces sont à 45° des axes principaux x, y .

d) Proposer un montage à base de polariseurs et le cristal KDP qui permette de réaliser l'obturateur dans cette configuration transverse.
Préciser sur un schéma les orientations des polariseurs et les axes principaux du cristal KDP.

e) Exprimer le déphasage total ϕ entre les composantes x et z du faisceau laser résultant de la propagation à travers le cristal.

f) Comment s'exprime la fonction de transmission $T = I_{\text{out}}/I_{\text{in}}$ de l'obturateur en fonction de ce déphasage?

g) À tension nulle T est en général non-nul. Pourquoi?
Proposer une solution pour s'affranchir de ce problème et assurer que $T = 0$ à tension nulle.
Estimer la faisabilité de cette solution en pratique.

h) Donner l'expression de la tension minimale qu'il faut appliquer entre les deux électrodes pour commuter la transmission de l'obturateur entre 0 et 100 %.
L'évaluer numériquement.
Quel est l'avantage de la configuration transverse par rapport à la configuration longitudinale?

Les fluctuations de température θ sont un problème dans la configuration transverse car elles induisent des fluctuations de l'indice de réfraction du matériau:

$$\frac{\partial n_o}{\partial \theta} = -3.4 \cdot 10^{-5} / ^\circ C; \quad \frac{\partial n_e}{\partial \theta} = -2.3 \cdot 10^{-5} / ^\circ C$$

...et des fluctuations de ses dimensions, le coefficient de dilatation thermique, perpendiculairement à l'axe optique du cristal vaut:

$$K_{\text{ortho}} = \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial \theta} = 2.5 \cdot 10^{-5} / ^\circ C$$

i) Supposant que la tension est nulle, et partant d'une situation dans laquelle la transmission de l'obturateur est nulle, évaluer la variation de température qui conduit à une transmission résiduelle de 10 %.

j) Une telle stabilité de température n'est pas facile à réaliser en pratique. Comment est-il possible de s'affranchir de cette dépendance aux fluctuations de température?