

**CELLULE DE POCKELS : MESURE DU DEPHASAGE**

**1. Objectifs**

La cellule de Pockels est une lame biréfringente dont on peut ajuster la biréfringence à l'aide d'une tension électrique (effet électro-optique).

Dans un premier temps, on va étudier la figure obtenue en éclairant la cellule en lumière convergente. Cela permettra de déterminer une des caractéristiques de la cellule : sa tension demi-onde.

Ensuite, avec une autre cellule éclairée en incidence normale, on va déterminer expérimentalement la relation entre la différence de marche introduite par la cellule entre les ondes ordinaire et extraordinaire et la tension U appliquée. On vérifiera que cette relation est affine, et on l'utilisera pour déterminer la valeur de U pour laquelle la cellule se comporte comme une lame quart d'onde.

**2. Cellule de Pockels en lumière convergente**

**2.1 Principe**

Ouvrir la simulation *Biref* sur la page internet des TP. Il s'agit d'étudier la réfraction des rayons ordinaire et extraordinaire sur un dioptre cristal/air. Observer particulièrement le cas où l'axe optique est parallèle aux faces (vertical et normal au plan). Noter l'allure des surfaces d'onde dans les deux cas. Comparer au cas du dioptre air/cristal comme sur la figure 1.

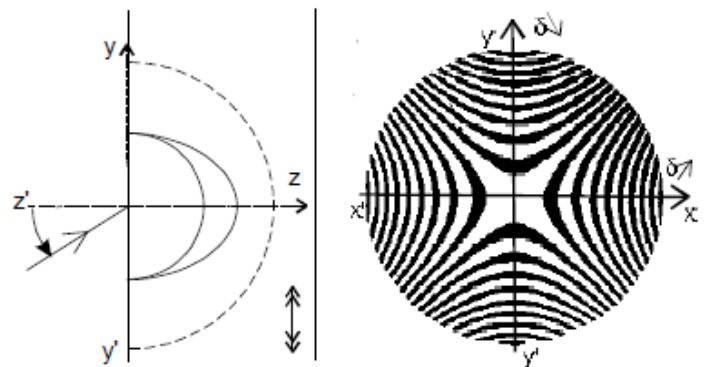


Figure 1 : Axe optique // aux faces

Le cristal  $\text{LiNbO}_3$  est biréfringent uniaxe avec (à 633 nm) les indices  $n_o=2,29$  (indice ordinaire, axe lent) et  $n_e=2,20$  (indice extraordinaire, axe rapide). Une polarisation incidente se décompose en une vibration ordinaire et une vibration extraordinaire qui présenteront en sortie du cristal une différence de marche  $\delta_o=e(n_o-n_e)$  où e est l'épaisseur de lame. Sur la figure 1 sont représentées la surface d'onde dans l'air (pointillé représentant la sphère de rayon c), la surface d'onde ordinaire (sphère de rayon  $v_o=c/n_o$ ) et la surface d'onde extraordinaire (ellipsoïde de demi grand axe  $v_e=c/n_e$ ).

- Lorsque le plan d'incidence est (zy), comment varie la différence d'indices lorsque l'incidence augmente (figure 1) ? En déduire le sens de variation de la différence de marche.
- Lorsque le plan d'incidence est (zx), la différence d'indice est indépendante de l'incidence car l'axe optique est perpendiculaire au plan d'incidence. Comment varie l'épaisseur e traversée lorsque l'incidence augmente ? En déduire le sens de variation de la différence de marche.
- Expliquer qualitativement les sens de variation de la différence de marche  $\delta$  indiqués sur la figure 1 à droite.

Si on place la cellule de Pockels entre polariseur et analyseur croisés, les franges noires correspondent à  $\delta=0$  ou  $k\lambda$  (k entier). A quelles valeurs de  $\delta$  correspondent les franges claires ?

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1 : électrodes                | $e = 20 \text{ mm}$                             |
| 2 : sens du champ électrique  | $d = 2,5 \text{ mm}$                            |
| 3 : trajectoire de la lumière | $\alpha = 1.07 \cdot 10^{-10} \text{ m.V}^{-1}$ |

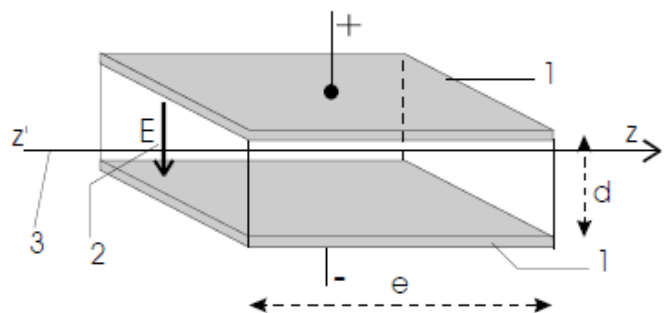


Figure 2 : le cristal  $\text{LiNbO}_3$

Sous l'effet d'un champ électrique  $E=U/d$

( $d$ =hauteur de la cellule) dirigé suivant  $y'y$ , les indices  $n_o$  et  $n_e$  sont modifiés, ainsi que la biréfringence  $(\Delta n)_0 = n_o - n_e$ . La nouvelle biréfringence devient  $(\Delta n)_E = \alpha E + (\Delta n)_0$ .  
 Montrer que variation de tension  $\Delta U$  entre les électrodes distantes de  $d$  (figure 2) provoque une variation de différence de marche  $\Delta(\delta)$  donnée par  $\Delta(\delta) = e\alpha\Delta U/d$ .

Calculer la variation de tension permettant d'obtenir une variation de différence de marche  $\Delta(\delta)$  de  $0,316\mu m = \lambda/2$ . On utilisera les données de la figure 2.

**On appelle tension demi-onde  $U_{\lambda/2}$  cette variation de tension.**

Comment repérer expérimentalement qu'on a effectué une variation de tension égale à  $U_{\lambda/2}$  ?

2.2 Montage

On commence par préparer l'alimentation (figure 3). La cellule de Pockels doit être alimentée par une **tension inférieure à 2,0 kV**.

Positionner le sélecteur (4) de sortie sur la gauche (sortie 7).  
 Ajuster le potentiomètre (2) pour une tension de sortie de 2,0 kV.

Connecter une tension de commande variable de 0 à 2V maximum à l'entrée 9.

Vérifier que lorsque la tension de commande varie de 0 à 2V, l'afficheur (3° indique une variation de 0 à 2,0kV.

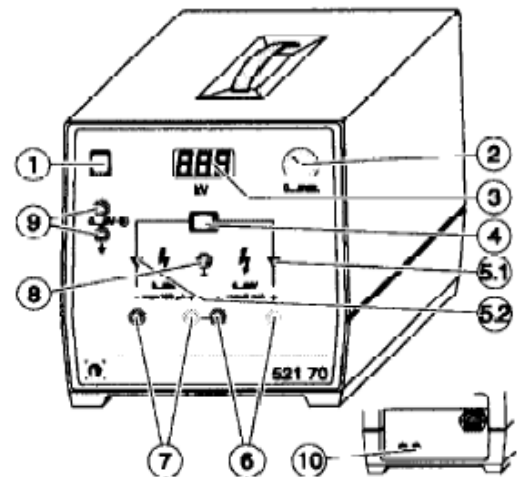


Figure 3 : Alimentation de la cellule de Pockels

On réalise ensuite le montage de la figure 4 :

Vérifier la direction de polarisation du laser.

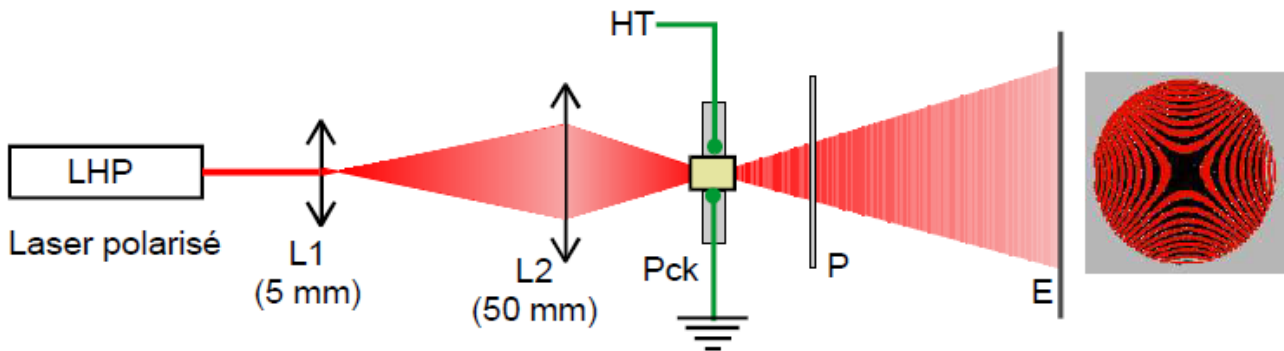
Placer le polariseur P croisé avec le laser.

Placer la cellule là où la section du faisceau est minimale : affiner la position des lentilles pour obtenir un faisceau le plus convergent possible.

Orienter les lignes neutres de la cellule à 45° des polarisations du laser et de P.

Affiner les réglages jusqu'à observer le réseau d'hyperboles sur l'écran.

Observer la modification de la figure d'interférence lorsqu'on oriente différemment P ou les lignes neutres de la cellule.



L1 : lentille  $f = 5 \text{ mm}$     L2 lentille  $f = 50 \text{ mm}$     Branchement sur la sortie gauche (7) de HT (100  $\mu\text{A}$  max)  
 Pck : cellule de Pockels P polariseur    Relier le - de (7) à la prise de terre (8).  
 Potentiomètre (2) en position 2 kV.  
 Tension de commande (0 – 5V) en entrée (9).

Figure 4 : Montage pour observer les franges hyperboliques et mesurer la tension demi-onde

2.3 Mesures

Croiser P avec la polarisation du laser. Placer les lignes neutres de la cellule à 45° de P. Marquer le centre d'une frange sur l'écran et noter la tension affichée.

En faisant varier U (sans dépasser 2,0 kV), repérer les passages des franges sombres et claires sur la marque et noter les tensions correspondantes. Dédurre de ces mesures la tension demi-onde  $U_{\lambda/2}$ .

### 3. Mesure de la différence de marche

La cellule PC100/2 (celle utilisée en TP MO) est formée de quatre cristaux d'ADP (ammonium dihydrogénéphosphate). Les indices ordinaire et extraordinaire varient linéairement en fonction de la tension U appliquée, ainsi que la biréfringence  $\Delta n$ , la différence de marche  $\delta = e\Delta n = \alpha U + \delta_0$  et la différence de phase  $\varphi = 2\pi\delta/\lambda$ .

#### 3.1 Montage

Voir figure 5.

Régler l'orientation X'X de la polarisation du laser horizontalement, à 45° des lignes neutres de la cellule et parallèlement au repère gravé sur la cellule.

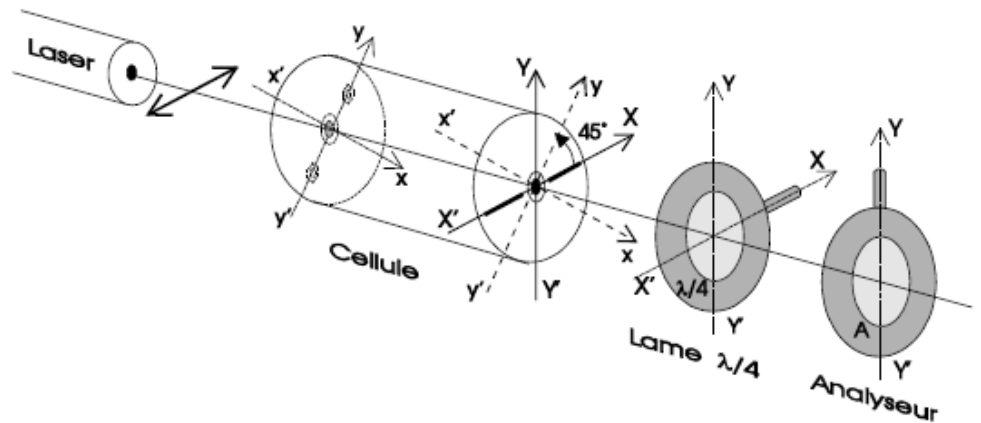


Figure 5 : montage de mesure de la différence de marche

On appelle  $x'x$  et  $y'y$  les lignes neutres de la cellule.

- Montrer que les amplitudes a et b des vibrations suivant les lignes neutres sont égales.
- La superposition de ces vibrations forme une polarisation elliptique que l'on peut caractériser soit par a, b et le déphasage  $\varphi$  entre les vibrations, soit par le demi grand axe A, le demi petit axe B et l'angle  $\theta$  entre  $x'x$  et le grand axe (figure 6). Si  $a=b$ , alors  $\theta=45^\circ$ . Montrer que la polarisation elliptique à la sortie de la cellule a son grand axe dans la direction de la polarisation incidente.

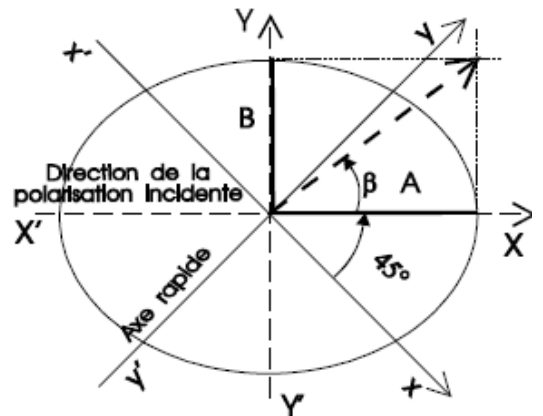


Figure 6 : caractérisations d'une polarisation elliptique

Placer une lame  $\lambda/4$  avec son axe rapide (repère jaune) parallèle à X'X.

La vibration issue de la lame  $\lambda/4$  a une polarisation rectiligne inclinée d'un angle  $\beta$  par rapport à X'X tel que  $\tan(\beta) = B/A = \tan(\varphi/2)$ .

Placer l'analyseur croisé avec la polarisation du laser, c'est-à-dire orienté verticalement suivant Y'Y.

On applique une tension à la cellule de Pockels avec la même alimentation HT qu'en TP MO.

#### 3.2 Mesures

Chercher la tension  $U_1$  donnant une intensité minimale en sortie. On a alors  $\varphi=0$ .

Rechercher la tension  $U_2$  permettant d'obtenir le maximum. Noter  $U_1$  et  $U_2$  (une petite graduation représente 50V). Donner aussi la valeur de leur différence, qui est la tension demi-onde.

Faire varier U de  $U_1$  à  $U_2$  par pas de 50V. Pour chaque valeur de U, tourner l'analyseur d'un angle  $\beta$  à partir de Y'Y pour obtenir l'extinction. En déduire successivement les valeurs de  $\varphi$  et  $\delta$  pour chaque valeur de U.

Faire un tableau de mesures. Représenter  $\delta$  en fonction de U et en déduire  $\alpha$  en nm/V et  $\delta_0$  en nm.

En déduire la valeur  $U_3$  de U pour laquelle la cellule se comporte comme une  $\lambda/4$ . Noter cette valeur et l'appliquer à la cellule. Vérifier que la polarisation à sa sortie est bien circulaire. **Montrer ce réglage.**

NOMS : .....

DATE :

.....

.....

**FEUILLE A RENDRE EN FIN DE SEANCE**

§	Travail à faire	A noter sur place	A noter à l'écrit
2	<b>Lumière convergente</b>		
	Réponses aux questions		____ / 2
	Calcul tension demi-onde		____ / 2
	Montage	____ / 3	
	Mesures, tension demi-onde		____ / 2
3	<b>Mesure de la différence de marche</b>		
	Réponses aux questions		____ / 2
	Montage	____ / 3	
	Mesures, tableau de résultats		____ / 2
	Graphe, valeurs de $\alpha$ et $\delta_0$		____ / 2
	Polarisation circulaire	____ / 2	

**TOTAL : \_\_\_\_\_ / 20****Les comptes-rendus sont à rendre une semaine après le TP, le même jour de la semaine.****Un jour de retard : -2 points****Deux jours de retard : note / 2****Au-delà : points sur place / 2**