TP Polarisation de la lumière

Matériel

Afin d'étudier la polarisation de la lumière, vous disposerez :

- d'une lampe spectrale à vapeur de sodium
- de deux polariseurs
- d'une lame quart d'onde
- d'une cuve remplie d'eau sucrée
- d'un luxmetre

FIGURE 1 – Lampe spectrale, polariseur, lame quart d'onde et luxmetre

I. Loi de Malus

1 - Vérification expérimentale

On considère le montage suivant constitué d'une source de lumière non polarisée, d'un polariseur, d'un analyseur et d'un luxmetre.

Une lumière **non polarisée** arrive sur un premier polariseur linéaire. A la sortie de celui ci, la lumière est polarisée dans un direction nommée axe de transmission du polariseur. Cette lumière passe ensuite par un second polariseur linéaire, nommé **analyseur**, dont l'axe de transmission fait un angle θ avec celui du premier polariseur.

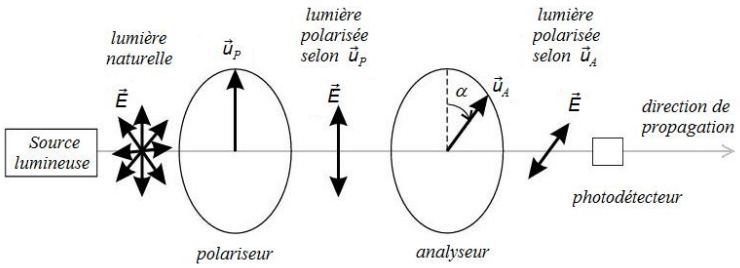


FIGURE 2 – Montage de vérification de la loi de Malus

Appel Professeur, à l'oral

Proposer une méthode expérimentale pour justifier que la lampe spectrale émet une lumière non polarisée.

Définition : *loi de Malus*

Si l'on note I_0 l'intensité lumineuse de la lumière à la sortie du polariseur et I l'intensité de la lumière à la sortie de l'analyseur, on a la relation suivante : $I = I_0 \cos^2 \theta$

Expérience 1

- ✔ Effectuer le montage correspondant au schéma ci-dessus en utilisant une lampe à vapeur de sodium, un polariseur, un analyseur et un luxmètre pour mesurer l'éclairement [a].
- ✔ Relever l'intensité lumineuse I mesurée par le luxmètre, en sortie des polariseurs pour une dizaine de valeurs de l'angle θ comprises entre 0 et 90°. Les valeurs seront rentrées dans un fichier csv, enregistrés avec " ;" comme séparateur de données.

✔ En utilisant le programme python `Loi_malus.py` tracer la courbe $I = f(\theta)$.

✔ Adapter les valeurs des incertitudes de mesures.

a. quantité physique que l'on confondra ici avec l'intensité lumineuse

À rédiger

☐ **Q 1 -** Argumenter le choix des incertitudes de mesures.

☐ **Q 2 -** Imprimer la courbe et conclure, en le **justifiant**, sur la validité du modèle.

2 - Lumière d'un laser

Expérience 2

✔ Remplacer la lampe spectrale par un laser.

✔ le polariseur étant toujours absent, observer les variations de l'intensité lumineuse à la sortie de l'analyseur en faisant varier son angle.

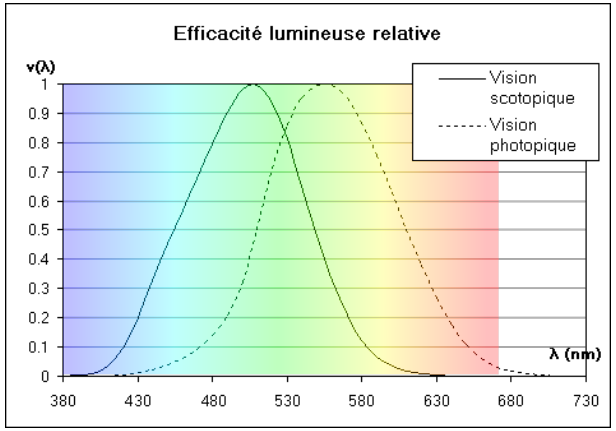
✔ repérer l'angle correspondant au minimum d'intensité.

À rédiger

☐ **Q 3 -** La lumière d'un Laser est-elle polarisée ? Si oui, selon quelle direction. Vous justifierez votre affirmation par la mesure effectuée.

☐ **Q 4 -** Représenter dans ce cas un schéma comprenant le laser et le trièdre $\vec{k}, \vec{E}, \vec{B}$.

3 - Irradiance et lumen



La valeur donnée par le Luxmetre est... en lux... Le lux (lx) est une unité qui correspond à un lumen par mètre carré (lm/m2) appelée éclairement lumineux. Le lumen (lm) est homogène à une puissance, tout comme le watt (W). Mais la mesure des lumen est subjective car elle dépend de la sensibilité de l'oeil humain aux longueurs d'onde émises, tandis que la seconde en est totalement indépendante. Ainsi, un rayonnement visible de longueur d'onde $\lambda = 555\,\text{nm}$ (couleur vert-jaune) d'une puissance de 1 W correspondra à 683 lm. En revanche, un rayonnement infrarouge d'une puissance de 1 W correspondra à 0 lm, parce que l'oeil n'y est pas sensible.

Pour passer des watts par mètre carré aux lux, on utilise la courbe normalisée de l'efficacité lumineuse qui donne la sensibilité de l'oeil humain en fonction de la longueur d'onde. La conversion entre l'éclairement lumineux E_λ (en lux) et l'irradiance I_λ pour une longueur d'onde donnée s'écrit :

$$E_\lambda = K_{555} \times v(\lambda) \times I_\lambda$$

où $v(\lambda)$ est l'efficacité lumineuse relative et $K_{555} = 683\,\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$ correspondant au maximum de sensibilité de l'œil humain.

À rédiger

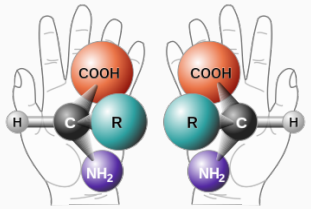
☐ **Q 5 -** À partir d'une valeur relevée au luxmetre, estimer, en justifiant, l'irradiance fournie par la lampe à vapeur de sodium ($\lambda = 590$ nm).

☐ **Q 6 -** En déduire la valeur de la norme du champ électrique émis par cette lampe.

II. Pouvoir rotatoire

Définition :

Une substance **optiquement active** fait tourner le plan de polarisation d'un faisceau de lumière polarisée rectilignement. L'activité optique d'une substance est la manifestation à l'échelle macroscopique de la chiralité (c'est à dire de la dissymétrie) des molécules : la molécule n'est pas superposable à son image dans un miroir.



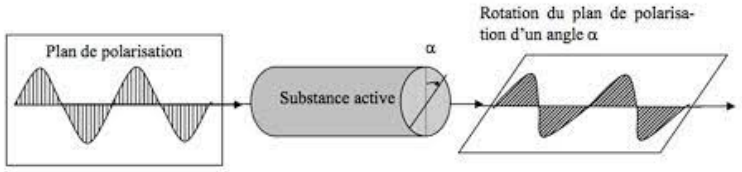


FIGURE 3 – Principe du pouvoir rotatoire d'une substance optiquement active.

Définition : *loi de Biot*

Pour une substance optiquement active en solution liquide, le pouvoir rotatoire α produit par une longueur L de solution pour une longueur d'onde donnée est proportionnelle à la concentration massique c de la solution, à la longueur L traversée et au pouvoir rotatoire spécifique α_S de la substance active dissoute :

$$\alpha = \alpha_S \times c \times L$$

Le pouvoir rotatoire α_S dépend de la longueur d'onde de la lumière utilisée.

Le pouvoir rotatoire spécifique est donné dans les tables pour la raie D émise par une lampe à vapeur de sodium ($\lambda = 589{,}3\,\text{nm}$).

substance	saccharose	fructose	αD glucose	βD glucose	dextrose	maltose
α_S	66	92	112	19	53	139

TABLE 1 – Pouvoir rotatoire spécifique α_S exprimé en $°.g^{-1}.cm^3.dm^{-1}$, si c est exprimée en $g.cm^{-3}$ et L en dm.

Expérience 3

- ✔ Réaliser un montage optique où une lumière polarisée traverse la cuve contenant du sucre.
- ✔ Analyser la lumière polarisée et déterminer l'angle de rotation du plan de polarisation.
- ✔ Estimer les incertitudes associées à cette mesure

La cuve contient une solution sucrée à une concentration de $c = 330\,\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Appel Professeur, à l'oral

Proposer un protocole pour déterminer le type de sucre présent dans la cuve fournie **sans ambiguité**. Vous appuierez votre raisonnement par une mesure associée de son incertitude.

À rédiger

☐ **Q 7 -** À partir des mesures effectuées, proposer une identification du sucre présent dans la cuve.

III. Principe des lunettes 3D à polarisation circulaire

Propriété :

Une lame dite *quart d'onde* (ou $\lambda/4$) présente un axe privilégié ralentissant la lumière en rajoutant une différence de marche de $\lambda/4$ à la composante du champ électrique selon la direction indiquée par le marqueur jaune par rapport à la composante selon la direction orthogonale.

On considère un champ électrique de la forme : $\vec{E}(x,t) = E_0 cos(\omega t - kx)\vec{u_p}$ sortant du polariseur comme indiqué sur la figure ci-dessous. Le vecteur $\vec{u_p}$ fait un angle de 45° avec les droites Oy et Oz.

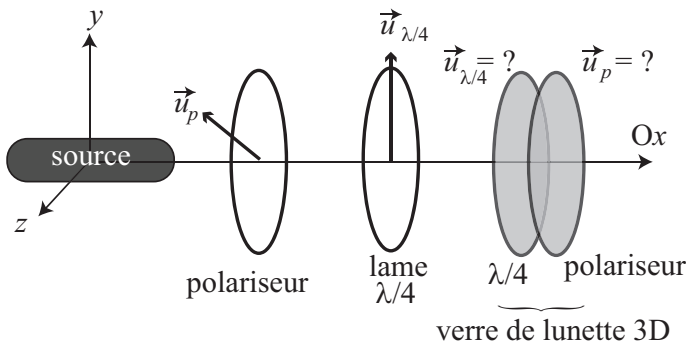


FIGURE 4 – Présence d'une lame quart d'onde

À rédiger

☐ **Q 8 -** Exprimer le champ électrique dans la base Oxyz.

☐ **Q 9 -** Convertir la différence de marche en déphasage. Exprimer alors le champ électrique dans la base Oxyz à la sortie de la lame quart d'onde si la lame est orientée selon Oy : $\overrightarrow{u_{\lambda/4}} = \vec{e}_y$

☐ **Q 10 -** En fixant arbitrairement $x = 0$, représenter l'évolution du vecteur $\vec{E}(0,t)$ dans le plan Oyz, le vecteur $\vec{e}_x$ sortant de la feuille vers le lecteur. Comment qualifier cette polarisation ?

Appel Professeur, à l'oral

Si la lame $\lambda/4$ est ensuite orientée selon $\vec{e}_z$, exprimer le champ électrique dans la base Oxyz. Représenter l'évolution du vecteur $\vec{E}(0,t)$ dans le même plan que précédemment et qualifier cette polarisation.

Chaque verre de lunettes 3D (avec les branches rouges) est composé d'une lame $\lambda/4$ suivie d'un polariseur.

Expérience 4

- ✔ en positionnant les verres des lunettes après la lame quart d'onde, observer l'intensité lumineuse.
- ✔ Modifier l'orientation de l'axe de la lame $\vec{u}_{\lambda/4}$ selon l'axe Oz.

À rédiger

☐ **Q 11 -** Expliquer en utilisant un schéma comment l'orientation particulière de la lame $\lambda/4$ et/ou du polariseur des verres entraîne que la lumière issue du système d'éclairage source+polariseur+ $\lambda/4$, ne parvienne que sur un seul œil lorsque l'on porte les lunettes 3D.

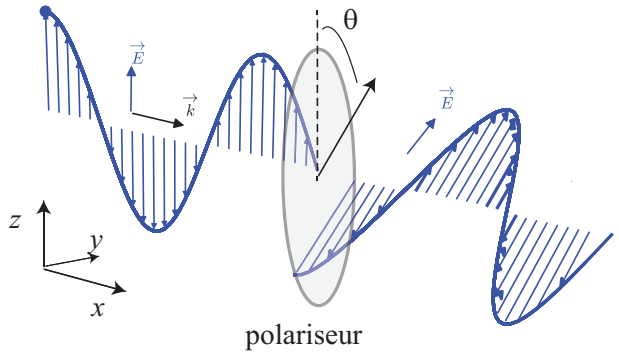
☐ **Q 12 -** Indiquer comment modifier le dispositif pour que la lumière passe uniquement par l'autre verre.

☐ **Q 13 -** Pourquoi un écran métallisé est-il indispensable aux salles voulant projeter des films en 3D ?

Exercice 1 Considérons une OPPM polarisée rectilignement selon Oz, d'amplitude E_0 et se propageant selon Ox.

☐ **Q 1 -** Proposer une expression du champ électrique et du champ magnétique.

Cette onde travers un polariseur faisant un angle θ avec l'axe Oz. Le champ en sortie du polariseur est polarisé selon l'axe de celui-ci et l'amplitude est obtenue en projetant le champ électrique sur l'axe du polariseur.



☐ **Q 2 -** Déterminer l'expression du nouveau champ électrique.

☐ **Q 3 -** En déduire l'expression du champ magnétique.

☐ **Q 4 -** Exprimer la valeur moyenne du vecteur de Poynting avant le polariseur $< \vec{R}_0 >$ en fonction de E_0, c et ε_0

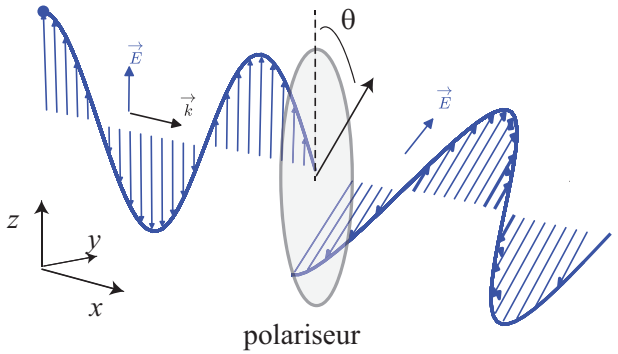
☐ **Q 5 -** Soit $< \vec{R}_1 >$ la valeur moyenne du vecteur de Poynting après le polariseur, montrer que

$$\frac{|| < \vec{R}_1 > ||}{|| < \vec{R}_0 > ||} = \cos^2 \theta$$

Exercice 2 Considérons une OPPM polarisée rectilignement selon Oz, d'amplitude E_0 et se propageant selon Ox.

☐ **Q 1 -** Proposer une expression du champ électrique et du champ magnétique.

Cette onde travers un polariseur faisant un angle θ avec l'axe Oz. Le champ en sortie du polariseur est polarisé selon l'axe de celui-ci et l'amplitude est obtenue en projetant le champ électrique sur l'axe du polariseur.



☐ **Q 2 -** Déterminer l'expression du nouveau champ électrique.

☐ **Q 3 -** En déduire l'expression du champ magnétique.

☐ **Q 4 -** Exprimer la valeur moyenne du vecteur de Poynting avant le polariseur $< \vec{R}_0 >$ en fonction de E_0, c et ε_0

☐ **Q 5 -** Soit $< \vec{R}_1 >$ la valeur moyenne du vecteur de Poynting après le polariseur, montrer que

$$\frac{|| < \vec{R}_1 > ||}{|| < \vec{R}_0 > ||} = \cos^2 \theta$$