

LECON : Polarisation (supérieur)

Biblio: Optique, une approche exp, Houard (Pour des notions historiques, polarisation au soleil couchant, abeilles, mais ça reste assez advance)

H prépa, optique ondulatoire, 1998 (bien pour les définition, et les concepts d'un point de vue explication+ Polarimètre de Laurent + interférences en lumière polarisée)

Physique tout en un PC Sanz, 2016 (bien pour les calculs)

Physique tout en un PCSI Sanz, 2013 (pour la base (constatation du phénomène) et Malus)

Hecht, Physique (des super schémas, illustre bien le concept de train d'onde. Même des images sur l'observation de contrainte mécanique en lumière polarisée)

<https://cddemo.szilab.org/> (schéma dynamique des différentes polarisation)

Physique expérimentale, Fruchart (loi de Malus, expériences de biréfringences)

Optique expérimentale, Sextant (expérience de biréfringence...)

Niveau: Soit BTS mais il n'y a guère plus quand SPCL soit comme on ferait en PC en restant proche de l'expérimentale car il s'agit davantage de connaissance pour les TP, mais en soit ils ont tous le bagage Théorique. (ici on fait niveau PC) (en SPCL ils ont vu la polarisation mais les élèves issue des classes générales qui sont la cible de ce cours .

Prérequis:

- Modèle scalaire de l'onde lumineuse, différence de marche (L2)
- Train d'onde (L2)
- Modèle du rayon lumineux, indice de refractions (L1)
- Modèle de l'onde plane progressive harmonique (L2)
- Onde électromagnétique : vecteur d'onde (trièdre direct des vecteurs E, B et k) (L2)
- Expression du vecteur d'onde dans un milieu d'indice n (L2)
- Intensité lumineuse (expression en fonction de l'amplitude de l'onde) (L2)

Objectifs: -Comprendre l'origine vectorielle de la polarisation de la lumière

-Être capable de mettre au point un protocole pour analyser une lumière de polarisation inconnue.

Partie pris : La leçon se place comme un cours introductif sur la polarisation pour des élèves qui n'en aurait jamais vu mais qui néanmoins serait familier de théories assez avancées dans la description de l'optique et des ondes électromagnétiques. Le cours cherchera à développer des compétences dans une visée expérimentale tout en ayant néanmoins l'ambition d'apporter un socle théorique solide

sur lequel l'élève pourra se reposer afin d'être en mesure de proposer des protocoles pour analyser des sources de lumières. Peu utiliser en pratique l'angle de Brewster ne sera pas intégré à ce cours. Dans ce contexte l'Elément imposé sera traité...

Séquence pédagogique : Le cours s'inscrit en fin de séquence pédagogique sur les ondes électromagnétique car il nécessite ce formalisme pour bien comprendre les phénomènes. De plus ce cours permettra de rappeler brièvement les différents modèles utilisés au cours de leurs cursus et de faire du lien entre ces derniers. Une autre raison à son placement en fin de séquence et son moindre impact de la manière générale comparé à la diffraction par exemple dans les phénomènes physiques qui nous entoure, et l'instrumentation en physique (c'est beaucoup moins une limitation que la diffraction).

On ne sépare pas TP et TD mais plutôt un TP-TD avec analyse de matériaux, détermination de lignes neutre. Ou l'on attendra notamment de l'élève beaucoup d'autonomie.

Difficultés :

-> se représenter la polarisation avec des cercles des droites n'est pas hyper évident.

-> Les calculs surtout en raison de la projection vectorielle.

Comment résoudre les difficultés :

-> on montrera qu'il s'agit d'une projection dans le plan qui constitue une sorte de moyenne temporelle (animation)

-> on posera tous les calculs et on se rattachera toujours à des modèles vus plus tôt dans l'année pour que l'élève ne soit pas désarçonné.

Plan :

I- Description du phénomène de polarisation

A. Modèle vectorielle de l'onde lumineuse

B. Les différentes polarisations

C. La lumière naturelle

II- La polarisation : approche expérimentale

A. polariseur et analyseur

B. Loi de Malus

III- Détermination de la polarisation d'une source de lumière

A. Lames à retard

B. Algorithme expérimentale

Intro leçon :

Jusqu'à maintenant vous avez vu en première années -> l'optique géométrique avec le modèle très simple du rayon lumineux et de sa propagation dans différents milieux matériels.

-> le modèle scalaire de l'onde lumineuse pour décrire notamment les interférences.

A présent on va introduire un nouveau composant utilisé en optique (appareil photo) -> polariseur

Expérience : une source de lumière plus un polariseur pour faire une source de lumière polarisée (boîte noire), un polariseur (à présenter) on tourne le polariseur et l'intensité varie. (on peut rajouter éventuellement une lentille ou un diaphragme pour une belle source)

-> Premiers dispositifs expérimentaux de polarisation (Malus (Brewster) 1809)

-> tourner le polariseur change simplement son orientation il n'y a pas d'effet diaphragme d'aucune sorte.

-> le modèle du rayon lumineux ne l'explique pas et le modèle scalaire non plus. Il va falloir introduire un nouveau modèle de la lumière.

Objectifs :

-> Comprendre l'origine de la polarisation

-> Etablir un protocole pour déterminer la polarisation d'une source inconnue.

I- Description du phénomène de polarisation

A. Modèle vectorielle de l'onde lumineuse

-> Vous connaissez déjà le modèle vectoriel de l'onde lumineuse=onde électromagnétique. **(SLIDE)**

La résolution des équations de Maxwell pour une OPPH dans un milieu sans source implique l'orthogonalité du champ E et B, orthogonaux à la direction de propagation donnée par le vecteur k.

Direction de polarisation ; Définition : la direction de polarisation correspond à la direction que prends le champ électrique en une position de l'espace à un instant donné.

Expression vectorielle :

Pas de composantes selon z (équation de Maxwell pour une OPPH). Dans le cas générale la direction de polarisation change en fonction de la position dans l'espace et le temps.

Le modèle se justifie par la nécessité d'expliquer un phénomène qui échappa à une description par des modèles moins complet. Le modèle de Maxwell est plus complet mais il ne sera pas nécessaire d'aller aussi loin pour comprendre les phénomènes en jeu. De simples projections et considérations trigonométriques suffiront.

Cas générale -> cas particuliers.

B. Les différentes polarisations

Cas $\Phi = 0$ polarisation circulaire $E_x/E_y = \text{cte}$

-> projection dans le plan xy et schématisation simplifiée

-> influence de E_{0x} et E_{0y}

Si $\Phi = \pi/2$ et si E_{0x} et E_{0y} sont égaux

$E_x^2 + E_y^2 = \text{cte}$ c'est l'équation d'un cercle (ellipse si E_{0x} et E_{0y} différents)

-> polarisation circulaire schéma-> Attention ne représente pas la polarisation à un instant donné mais une description globale un peu comme une moyenne temporelle.

Sens de rotation-> on regarde en z fixé, l'onde qui arrive -> on prends t tel que $\omega t - kz = 0$

A $t' = t + \epsilon$ positif E_x diminue mais deux sens possibles vers plus y ou moins y \sin de $\omega t' - kz$ positif, tout dépend de Φ . Si $\Phi = -\pi/2$ circulaire droite, si $\Phi = \pi/2$ circulaire gauche.

ON REGARDE LA LUMIERE EMERGENTE ET ON REGARDE EN DIRECTION DE LA SOURCE.

Autre cas des ellipses -> SLIDE schéma générale (Hprépa p 252)

Mais qu'en est-il des sources de lumières naturelles -> après tout pas un phénomène si courant.

C. lumière naturelle.

La lumière naturelle n'est pas une onde infinie -> limite du modèle qui impose de sérieuses conditions sur les interférences notamment (longueur de cohérence temporelle).

De la même manière la lumière n'a pas de polarisation car les trains d'ondes de polarisation différentes (mettre schéma Hecht p 1013) se superpose et l'œil dont le temps de réponse est de 0,1s ne voit la superposition de tous les trains d'ondes, soit une moyenne non polarisée.

Pour rappel $L_c = \text{micromètre}$ sachant que la vitesse de la lumière est très grande la durée avant qu'il soit complètement absorbé est très faible.

Sources directement polarisée (qui émet des photons polarisés) -> pourtant on trouve de la lumière polarisée partout autour de nous (exemple écran d'ordinateur). -> on va voir comment l'obtenir.

-> En lever le cache et montrer qu'avec la source on avait un polariseur.

II- La polarisation : approche expérimentale

A. polariseur et analyseur

On a déjà entrevu dans l'objet qui permet de mettre en évidence la polarisation, c'est le polariseur.

Dans le montage toujours présent, le deuxième polariseur caractérise le faisceau qui sort du premier polariseur -> c'est l'analyseur. -> il change de nom mais c'est exactement la même chose, ils sont interchangeables.

-> un polariseur est constitué de polymères conducteurs alignés tel que si la composante est parallèle à l'alignement cela excite les électrons et crée un courant qui dissipent l'énergie électrique. Alors qu'un champ orthogonal n'interagit et passe. (Schéma à faire)

Voilà pourquoi l'intensité diminue en sortie du polariseur.

Mais que se passe-t-il dans le cas où le polariseur et l'analyseur forme un angle alpha. On a ici décrit deux cas particuliers.

B. loi de Malus.

On présente à nouveau le dispositif expérimental. (SLIDE)

En sortie du premier polariseur une lumière polarisée rectilignement ; Et en sortie du deuxième pareil.

On effectue une prise de point et on montre la loi de Malus expérimentalement.

$I = I_0 \cos^2(\theta)$ Le carré notamment peut paraître surprenant. Mais la corrélation est bonne. Ou θ est l'angle polariseur analyseur

Démonstration-> vous avez tous les outils pour le démontrer. Ce que l'œil voit et que le capteur mesure c'est l'intensité lumineuse pas l'amplitude du champs. Hors $I = \langle E^2 \rangle$ Et pour l'expression de E en sortie on fait la projection.

Schéma projection.

$$I = \langle (E_0 \cos(\theta) \cos(\omega t - kz))^2 \rangle = I_0 \cos^2(\theta)$$

Finalement on est capable de comprendre pleinement l'évolution de l'intensité observé grâce à notre modèle. On a donc bien décrit les phénomènes de polarisation rectiligne mais l'on a pas encore vu les polarisations circulaires énoncé plus tôt.

III- Détermination de la polarisation d'une source de lumière

A. Lames à retard

Définition : Une lame à retard est une lame mince taillé dans un matériau anisotrope.

C'est-à-dire que l'indice de réfraction dépend de la direction.

Réécriture de l'expression de l'onde dans ce nouveau milieu.

On retrouve le formalisme des interférences avec une différences de marche qui en interférences étaient dû à une différence de distance parcouru mais qui ici est due à une différence d'indice. Donc le chemin optique est différent.

Deux types de lames à retard intéressantes -> demi onde -> déphasage de π (mettre sur slide les expressions et faire un schéma de la polarisation avant et après (symétrie par rapport à Ox)

Lame-quart d'onde. $\Delta = \lambda/4$ et par conséquent $\phi = \pi/2$

On as mis en évidence des axes avec associé des indices de réfraction, on va chercher à les mettre en évidence expérimentalement.

B. Lignes neutres (à placer éventuellement dans la sous-partie précédente).

Expérience (si El lame à retard) -> polariseur et analyseur croisé et on tourne la lame. La ou l'intensité est nul on a une ligne neutre.

Lorsqu'une onde polarisée rectilignement possède la direction de la ligne neutre alors elle conserve sa direction de polarisation.

On dispose maintenant de tout un panel d'outils qui ensemble permettent d'analyser complètement une source de lumière inconnue.

C. Algorithme expérimentale

Jusqu'à présent on a cherché à voir ce que l'on avait en sortie de différents objets. Maintenant on va plutôt se demander ce que l'on avait avant connaissant ce que l'on a en sortie.

On commence par mettre un polariseur, on le tourne si ça varie-> elliptique ou rectiligne, si intensité minimale nul -> rectiligne... slide (photo du sanz physique PC p1064 ou slide de timothée)

Conclusion : On a mis en évidence un nouveau phénomène de manière expérimentale mais que l'on a été en mesure d'expliquer de manière théorique. Cela nécessite néanmoins de dépasser les modèles classiques de l'optique pour utiliser davantage les modèles propres à l'électromagnétisme.

Ouverture : photoélasticité (Houard à la fin du chapitre) ou cristaux en géologie observer en lumière polarisée.

Question :

Si $n_x > n_y$ x est l'axe rapide et y l'axe lent.

Historiquement -> angle de Brewster pour obtenir de la lumière polarisée. (trouvé par Malus) réflexion vitreuse.

Lunettes rouge et bleu : plus on décale les deux images plus ça donne l'impression que l'objet est loin. -> lunette basée sur des filtres.

Polariseur par absorption (ou alcool de polyvinyle plus I2) -> fils métalliques (e- absorbent) alignés qui absorbent toutes les polarisations sauf celle PERPENDICULAIRE au fil (attention contre-intuitif et l'inverse de ce que je représente) (effet joule) -> en pratique marche que pour les micro ondes, car on est limité par le plus petit écart que l'on parvient à réaliser entre deux lames.

Tourmaline : silicate -> polariseur naturelle (mais en pratique les cristaux sont petits impure).

Polariseur par séparation de faisceau : une série de lames placées avec un angle de Brewster -> 57°

Angle de Brewster -> tel qu'entre l'angle réfracté et réfléchi il y ait un angle de 90°

Anti-reflet : Le reflet de la lumière sur l'eau produit une lumière au moins partiellement polarisée. Il est donc possible avec un polariseur de supprimer au moins partiellement les reflets.

Loi de MALUS : expérimentalement démontré avec des miroirs de Nörremberg -> miroir placé à incidence de Brewster dont on fait varier l'angle relatif de l'un par rapport à l'autre.

Photodiode : Semiconducteur avec une jonction P-N dopage P : on rajoute un trou ex un bore dans la silice. Dopage N -> on rajoute un e- en mettant du phosphore par exemple. Temps de réponse plus faible que les photorésistances -> microsec

Dichroïsme : nom donné à la propriété qui autorise le transport d'une polarisation et pas de l'autre.

Raie D du sodium : 589nm

Changer la polarisation d'une lumière -> cristal biréfringent -> quart d'onde lame demi onde.

Dans les plasmas à la pulsation plasma on a une onde longitudinale.

La polarisation c'est le spin du photon -> -1 et 1 circulaire. Et deux circulaire donne spin 0 soit une rectiligne.

LCD : un pol et un anal croisé, au milieu des cristaux liquide en mettant une tensions -> on change la phase

Champ vectoriel : Fonction qui a un point donné associe un vecteur.

Champ scalaire : fonction qui a un point donné associe une valeur.

Pléochroïsme -> changement naturel de couleur selon l'angle.

Quart d'onde : axe lent -> là ou il y a un retard de $\pi/2$ -> axe rapide l'autre -> ligne neutre -> ne change pas la polarisation.

Effet Faraday : tout corps nonj optiquement actif acquiert un pouvoir rotatoire lorsque soumis à un champ B -> utilisé dans les polarimètres électroniques

Photoélasticité -> plastique sous contrainte mécanique présente des propriétés de biréfringence.

Caméra 3D : double objectif.

Origine du pouvoir rotatoire : Fresnel l'a expliqué en décomposant l'onde pol rectilignement en deux ondes une circulaire gauche et une droite. Chacune de ses ondes se déplace dans le milieu avec une vitesse de phase différente. En d'autre terme les indices optiques sont différents.

Le pouvoir rotatoire spécifique diminue avec la température.