! notation

Faire manip.

Phénomène de polarisation optique.

Niveau L_2

Pré requis. description en electromag

Intro

lumière naturelle, en générale, $\hat{E}$ varie aléatoirement au cours de la propagation = non polarisée. champ electrique

Ds cette leçon ≠ type de polarisation pr retrouver la loi de Malus ou comment fct un polarimètre de Laurent.

↳ polariseur + ana → lumière s'éteind et on va voir pk.

I] Polarisation rectiligne.

Arago / Fresnel.

1) Def

milieu homogène & isotrope.

$\vec{k} = k\vec{e_x}$ (vecteur d'onde)

$E_x(x,t) = 0$

$E_y(x,t) = E_{0y} \cos(kx - \omega t + \varphi_1)$

$E_z(x,t) = E_{0z} \cos(kx - \omega t + \varphi_2)$

Def: Une onde lumineuse présente une polar rect si le champ électrique $\vec{E}$, garde, au cours de sa propag, une direct° cte.

$$\alpha = \frac{E_z(x,t)}{E_y(x,t)} \qquad \alpha = cte \Rightarrow \text{rectiligne}$$

⇒ condition particulière :

on pose $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$

$$E_y(x,t) = E_{0y} \cos(kx - \omega t + \varphi_2 - \varphi)$$

$$= E_{oy}\left[\cos(kx-\omega t+\varphi_2)\cos\varphi+\sin(kx-\omega t+\varphi_2)\sin\varphi\right].$$

~~Ezz~~

$$\Rightarrow \alpha = \frac{E_z(x,t)}{E_y(x,t)}$$

$$\Rightarrow E_{oz}\cos(kx-\omega t+\varphi_2) = \alpha E_{oy}\big(\cos(kx-\omega t+\varphi_2)\cos\varphi + \sin(kx-\omega t+\varphi_2)\sin\varphi\big)$$

$$\Rightarrow (E_{oz}-\alpha E_{oy}\cos\varphi)\cos(kx-\omega t+\varphi_2)-\alpha E_{oy}\sin\varphi\sin(kx-\omega t+\varphi_2)=0.$$

de la forme $A\cos X + B\sin X = 0$

$\Rightarrow$ uniquem^t si $A=0$ et $B=0$

$$\Rightarrow E_{oz}-\alpha E_{oy}\cos\varphi = 0 \quad \text{et} \quad \alpha E_{oy}\sin\varphi = 0$$

Donc on a une onde lumineuse rectiligne si :

$$\varphi = \varphi_2-\varphi_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{E_z(x,t)}{E_y(x,t)} = \frac{E_{oz}}{E_{oy}}$$

$$\varphi = \varphi_2-\varphi_1 = \pi \quad \Rightarrow \quad \frac{E_z(x,t)}{E_y(x,t)} = \frac{-E_{oz}}{E_{oy}}$$

$\rightarrow$ Fig 2.2 p 38 Maurel.

2) Loi de Malus.

$\rightarrow$ montage polariseur analyseur

sortie au polariseur $\vec{E} = E\,\vec{u_p}$.

sortie ~~p~~ analyseur : $\vec{E}' = E\cos\alpha\,\vec{u}_a'$
α angle entre pola & analyseur

La relation qui lie I et I' est simple puisque
$I \propto \langle E \rangle^2$.

Loi de Malus : $I' = I\cos^2\alpha$
ac α angle entre pola et analyseur.

=> prévoit notament que $\alpha = 90$
=> $I' = 0$
extinction lumineuse
=> ds la pratique permet de det la direction de pola rect d'une onde

-> on ne peut pas relier I & I_0 directem^t car I_0 ne correspond pas a onde pola.
=> moyenne s/ ttes les direct° naturelles.

$$I = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} I_0\cos^2\alpha\,d\alpha = \frac{I_0}{2}.$$

exp si $I_0 = 20\ W/m^2$ $\alpha = 30°$.

$$I = \frac{I_0}{2} = 10\ W/m^2$$

$$I' = 10\cos^2(30) = 7{,}5\ W/m^2.$$

3) Polarisation rectiligne par reflexion, incidence de Brewster

-> onde plane polarisé linéairement ac $\vec{E} \perp$ plan d'incidence
-> onde refracté ac un angle de refract° θ_t
=> 1 champ électriq met en mvt les e^- liés au milieu ds ce cas $\perp$ au plan d'incidence
=> réemission de l'energie

en partie sous forme d'une onde réfléchie.
=> réfléchie & réfractée ds un état P ⊥ au plan d'incidence

Si E ds le plan d'incidence
-> 8.32 Hecht p 363.
=> onde réfléchie forme un angle θ ac axe dipôle

=> on peut faire en sorte que $\theta = 0$
ou $\theta_r + \theta_t = \frac{\pi}{2}$.
=> onde réfléchie disparait.

=> Pour une onde non polarisée incidente, composé de 2 états P ⊥ et incohérents, seule la compo polarisée ⊥ au plan d'incidence et dc // à la surface, sera réfléchie.

Angle incident pr lequel cela se produit: θ_p. angle de Brewster
$$\theta_p + \theta_t = \frac{\pi}{2}$$

$$n_i \sin \theta_p = n_t \sin \theta_t$$

$\theta_t = \frac{\pi}{2} - \theta_p$ => $n_i \sin \theta_p = n_t \cos \theta_p$

$$\boxed{\tan \theta_p = \frac{n_t}{n_i}}$$ loi de Brewster

ds le verre : $\theta_p \simeq 56°$
ds l'eau : $\theta_p \simeq 53°$.

-> photo p8.33, p 364 Hecht

~~-> Pb ac la méthode faiseau réflechi faible intensité.~~
Utilisé en photo.

4) Biréfringence.

Déf : un matériau est dit biréfringent si son indice de réfraction pour la propagat° d'une onde lumineuse dép de la direct° de polarisat° de cette onde.

→ certain cristaux $CaCO_3$; SiO_2
↑ calcite ↑ quartz

Figure 20.15 Perez
extraordinaire décalé
ordinaire pas décalé.

II 7 Ondes polarisées elliptiquement et circulairement.

Biot Faraday Savart

a) Déf :

Soit $\vec{E} = A_1 \vec{e_x} \cos\omega t + A_2 \vec{e_y} \cos(\omega t - \phi)$

$E_x = A_1 \cos\omega t$ $\quad\quad E_y = A_2 \cos(\omega t - \phi)$

$\cos(\omega t - \phi) = \cos\omega t \cos\phi + \sin\omega t \sin\phi$

$$\frac{E_y}{A_2} = \frac{E_x}{A_1}\cos\phi + \left(1 - \frac{E_x^2}{A_1^2}\right)^{1/2}\sin\phi$$

$$\Rightarrow \left(\frac{E_y}{A_2} - \frac{E_x}{A_1}\cos\phi\right)^2 = \left(1 - \frac{E_x^2}{A_1^2}\right)\sin^2\phi$$

$$\text{et} \quad \frac{E_x^2}{A_1^2} + \frac{E_y^2}{A_2^2} - \frac{2E_xE_y}{A_1A_2}\cos\phi = \sin^2\phi$$

rem : $\phi = \pm\frac{\pi}{2}$ a $A_1 = A_2 = A_0$ ⇒ circulaire

Pour déterminer le sens de parcours de l'ellipse

$$\frac{dE_x}{dt} = -A_1 \omega \sin \omega t \qquad \frac{dE_y}{dt} = -A_2 \sin(\omega t - \phi)$$

si $\omega t = 0$ $\quad \frac{dE_x}{dt} = 0 \quad \frac{dE_y}{dt} = +A_2 \sin \phi$

$\Rightarrow \phi > 0 \Rightarrow$ sens trigo = hélicité positive (vers la gauche anti-horaire)

$\Rightarrow \phi < 0 \Rightarrow$ sens des aiguille d'une montre.

Rem : on retrouve le cas des ondes pola rect avec $\phi = 0$ ou $\phi = \pi$.

montrer à l'oscillo. → $\boxed{2 \text{ GBF}}$

2) Paramètres géométriques.

3 para indep. $\underbrace{A_1, A_2}_{\text{amplitude}}$ et ϕ ← retard de phase

parfois besoin de $\underbrace{a, b}_{\text{demi axe ellipse}}$ et ψ ← angle d'inclinaison.

$\sin \phi = \frac{ON}{A_2}$ avec N point d'intersection ellipse Oy.

→ figure 20.8 p 252 Perez

3) Relation entre (A_1, A_2, ϕ) et (a, b, ψ)

A enlever

3 relations imp: $\quad I = A^2 = A_1^2 + A_2^2 = a^2 + b^2.$

$$\sin(2\eta) = \sin(2\gamma) \sin\phi$$

avec $\tan \gamma = \frac{A_2}{A_1}$; $\tan \eta = \pm \frac{b}{a}$.

A enlever

$$\sin(2\psi) = \frac{2A_1 A_2 \cos\phi}{(I^2 - 4A_1^2 A_2^2 \sin^2\phi)^{1/2}}$$

$$\cos(2\psi) = \frac{A_1^2 - A_2^2}{(I^2 - 4A_1^2 A_2^2 \sin^2\phi)^{1/2}}.$$

→ comment les obtenir cs Perez. projeter p252 & 253

III / Polarimètre de Laurent, mesure du pvr rotatoire:

1) ~~A~~ Pvr rotatoire.

Certains composés, dits optiquem^t actifs, présentent un pvr rotatoir ou activité optique. Ils induisent une rotation de la direction de ~~la~~ polarisation de la lumière dans le plan d'onde.

p55 Maurel

2) Lame demi onde

fig 2.21 Maurel

Comme on le voit sur le schéma, pour le pola de Laurent il y a une lame ½ λ.
⇒ Qu'est-ce que c'est?

lame onde, demi onde ou quart d'onde.

λ $\quad$ $\frac{\lambda}{2}$ $\quad$ $\frac{\lambda}{4}$

lame taillé // à l'axe optique et rayon d'incidence normale (diff de marche $\delta = (n_o - n_e)e$)

ordinaire extraordinaire

dephasage   nombre

Si $\varphi = 2n\pi$ $\delta = n\lambda$ => lame onde.

→ dir de polarisat° id à l'entrée & sortie.

Si $\varphi = (2n+1)\pi$ $\delta = (n+1/2)\lambda$ => lame demi onde.

pola sortie sym à la pola en entrée par rap à la ligne neutre ⊥ à l'axe optique.

=> la $\frac{\lambda}{2}$ symétrise l'état de polarisation par rap à l'axe ⊥ de l'a. opti.

→ Fig A.10 Maurel p 277

$$\vec{E_i} = \begin{pmatrix} 0 \\ E\cos\alpha \\ E\sin\alpha \end{pmatrix} \exp(i\omega t)$$

$$\vec{E_s} = \begin{pmatrix} 0 \\ E\cos\alpha \\ -E\sin\alpha \end{pmatrix} \exp(i\omega t').$$

Si $\varphi = (n+\frac{1}{2})\pi$. $\delta = (n+\frac{1}{2})\frac{\lambda}{2}$ => lame $\frac{\lambda}{4}$.

pola de l'onde de sortie : elliptique,

axe de l'ellipse coïncident avec les lignes neutres de la lame.

$0 < \varphi < \pi$ → elliptique gauche

$\pi < \varphi < 2\pi$ → ... droite.

$\alpha = \frac{\pi}{4}$ => circulaire (sym par rap aux lignes neutres).

3) Polarimètre de Laurent.

→ mesure du pvr rotatoire

u_p axe polariseur

θ angle $(\vec{u_p} ; \vec{Oy})$

disque : moitié $\frac{\lambda}{2}$, moitié materiau transparent sans activité optiq

ms dép. ← verre amorphe ↳ lequel ?

=> $\frac{1}{2}$ faisceau pas modifié
$\frac{1}{2}$ faisceau modif par $\frac{\lambda}{2}$

Fig 2.22 Maurel

=> on obtient dc en sortie d'analyseur $\vec{E}'_1$ & $\vec{E}'_2$ formant le m̂ angle ac Oy.

Fig 2.23 Maurel.

→ Mesure de l'angle de rot dû à l'activité optiq.
Fig 2.25

a - Réglage tel que $\alpha = 0$ et $-\vec{E}'_1 = \vec{E}'_2$

b - Introduct° de subs active. $E'_1 \neq E'_2$

c - tourner analyseur pr avoir $E'_1 = E'_2$
=> trouver α.

α sens trigo lévogyre
sinon ~ dextrogyre.

Loi de Biot : $\alpha = K L$
longueur substance traversé

cristal $K = \rho_\lambda$ ← pvr rot- du cristal

liq ougaz $K = \mu [\alpha]^T_\lambda$
↳ pvr rot spécifiq à λ. à t°T.
masse volumique

solut° : $K = \sum_i c_i [\alpha]^T_{i,\lambda}$ ⟶ idem.
c° du composé i

rem : $[\alpha]_\lambda \propto \frac{1}{\lambda^2}$.

biréfringent & pas rotatoire.

Quartz lumière jaune sodium $\lambda = 589{,}0$ nm.

$\rho_{589} = 21° \cdot mm^{-1}$

max de sensibilité de l'œil (jaune ou vert).

Conclusion:

La polarisat° partout : appareil photo
lunette soleil
lunette 3D.
+nb outil en phys & chimie.

bien revoir le fct.

-> lire les calculs au début.
-> loi de Malus dessin.
-> nom composé
-> Ajouter phénomène : rectiligne par diffusion
↳ ciel bleu
↓
90°
par rapport
à ~~l'angle~~
l'axe soleil/œil
(ss nuage).

I) Descript° vectoriel de la lumière.