

MP5

Physique

plan du cours d'optique

INTRODUCTION À L'OPTIQUE

Remarques préliminaires :

1. Description en termes d'ondes scalaires
2. Utilisation de valeurs moyennes temporelles
3. Éclairement : $\mathcal{E}(\mathbf{M}) = k \langle (E(\mathbf{M}, t))^2 \rangle$ (k = constante)
4. Intensité lumineuse : $I(\mathbf{M}) = K \langle (E(\mathbf{M}, t))^2 \rangle$ (K = constante)

I) SOURCES ET DÉTECTEURS DE LUMIÈRE :

1) Différentes sources de lumière

2) Différents détecteurs de lumière :

a) Caractéristiques des détecteurs :

- sensibilité globale
- sensibilité spectrale
- temps de réponse
- linéarité
- rendement quantique

b) Différents détecteurs :

- détecteurs thermiques
- détecteurs photoniques

II) LOIS DE DESCARTES :

1) Position du problème :

définition : on appelle dioptre la surface de séparation entre deux milieux homogènes d'indices différents

définition-théorème (rappel) : $V = C/\sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}$ est la célérité (locale) de la lumière dans le milieu caractérisé par ϵ_r et μ_r

définition : $n = C/V$ est l'indice (local) de réfraction du milieu

théorème : $n = \sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}$

L'expérience montre que, si une onde électromagnétique se propageant dans un milieu d'indice n_1 arrive sur la surface de séparation avec un milieu d'indice n_2 , alors :

- a) il existe une onde électromagnétique réfléchie dans le milieu d'indice n_1
- b) il existe une onde électromagnétique transmise (ou : réfractée) dans le milieu d'indice n_2 .

2 Fréquences des ondes réfléchie et transmise :

théorème : la réflexion et la transmission se font sans changement de fréquence

3) Lois de Descartes relatives à la réfraction :

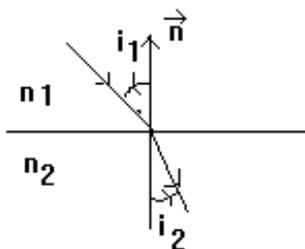
a) Première loi :

définition : on appelle plan d'incidence le plan défini par: M, k_i, n où :

- M est le point d'incidence de l'onde sur le dioptre;
- k_i est le vecteur d'onde de l'onde incidente;
- n est le vecteur normal, en M , au dioptre.

loi : le vecteur d'onde de l'onde transmise (ou : réfractée) est dans le plan d'incidence

b) Deuxième loi :



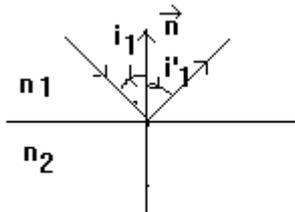
$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

remarque : si $n_2 < n_1$, alors il y a réflexion totale (c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'onde transmise) lorsque: $i > \Lambda$, où: $\Lambda = \text{Arcsin}(n_2/n_1)$

4) Lois de Descartes relatives à la réflexion :

a) Première loi : loi : le vecteur d'onde de l'onde réfléchie est dans le plan d'incidence

b) Deuxième loi :



$$i'_1 = -i_1$$

5) Fibres optiques:

définition : une fibre optique est un cylindre de matériau transparent (c'est-à-dire non absorbant) d'indice non uniforme et décroissant avec la distance à l'axe du cylindre

différents types de fibres optiques:

- * fibres à saut d'indice
- * fibres à gradient d'indice

III) L'APPROXIMATION DE L'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE :

L'optique géométrique est une approximation de l'optique ondulatoire (c'est-à-dire de la propagation des ondes électromagnétiques) valable pour des ondes monochromatiques dont l'amplitude (pour les champs électrique et magnétique) varie peu sur des distances de l'ordre de la longueur d'onde dans le vide ; on sera dans le cadre de l'approximation de l'optique géométrique chaque fois que l'on considérera une onde lumineuse émise par une source dans une région très éloignée de la source, c'est-à-dire plus précisément dans une région située à une distance $r \gg \lambda_0$ (longueur d'onde dans le vide de l'onde émise par la source), à condition que la permittivité diélectrique relative réelle positive ϵ_r et la perméabilité magnétique relative réelle positive μ_r (en général: $\mu_r \approx 1$) du milieu varient peu sur des distances de l'ordre de la longueur d'onde dans le vide de l'onde considérée

IV) STRUCTURE DE L'ONDE EN OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE : PHASE D'UNE ONDE LUMINEUSE MONOCHROMATIQUE :

1. Forme mathématique de l'onde électromagnétique dans l'approximation de l'optique géométrique :

a) Fonction eikonale, surface d'onde :

théorème : dans le cadre de l'approximation de l'optique géométrique, les champs électrique et magnétique d'une onde lumineuse émise par une source peuvent se mettre sous la forme :

$$E = E_0(M). \exp \left[j \left(\omega t - k_0 L(M) \right) \right]$$

$$B = B_0(M). \exp \left[j \left(\omega t - k_0 L(M) \right) \right]$$

où $L(M)$ est appelée (fonction) eikonale de l'onde, qui dépend de la source créant l'onde et du milieu dans lequel se propage l'onde et où, si \vec{u} est le vecteur unitaire normal à la surface isoeikonale contenant le point M : $\vec{\text{grad}}L(M) = n(M)\vec{u}$ (équation d'eikonale vectorielle)

définition : on appelle surface équiphase de l'onde lumineuse une surface telle que la phase des champs électrique et magnétique de l'onde soit uniforme à un instant fixé, ceci devant être vrai à tout instant

corollaire : les surfaces équiphases de l'onde lumineuse sont des surfaces isoeikonales ($L(M)=\text{constante}$)

remarque : la grandeur fondamentalement utile en optique étant la phase du champ électrique de l'onde lumineuse, et non son amplitude, on appelle souvent (abusivement !) surfaces d'onde les surfaces équiphases

b) Structure de l'onde lumineuse :

théorème : dans le cadre de l'approximation de l'optique géométrique, les ondes électromagnétiques ont localement une structure d'onde plane (onde "quasiplane") se propageant dans la direction de $\vec{\text{grad}}L(M)$; on a : $\vec{B} = \frac{\vec{u}}{V} \wedge \vec{E}$

2. Rayon lumineux :

définition : on appelle rayon lumineux une ligne de champ de la valeur moyenne temporelle du vecteur de Poynting, c'est-à-dire une courbe tangente en chacun de ses points à la valeur moyenne temporelle du vecteur de Poynting de l'onde

3. Equation d'un rayon lumineux :

théorème : l'équation d'un rayon lumineux est : $\frac{d}{ds} \left(n \frac{d\vec{M}}{ds} \right) = \vec{\text{grad}}(n)$ (ERL)

4. Théorème de Malus-Dupin :

théorème de Malus-Dupin : les rayons lumineux sont des courbes orthogonales en tout point aux surfaces d'onde (ou surfaces équiphases) de l'onde électromagnétique

5. Rayons lumineux dans un milieu homogène :

théorème : cas particulier d'un milieu homogène : forme mathématique de l'onde électromagnétique pour un rayon lumineux donné:

cas général :
$$E = E_0(M) \cdot \exp\left[j\left(\omega t - k_0 n u_0 \cdot \overrightarrow{OM}\right)\right]$$
 où $E_0(M)$ est orthogonal à u_0

théorème : dans un milieu homogène, les rayons lumineux sont des droites ou encore : la lumière se propage en ligne droite

6. Chemin optique :

a) Définition :

définition : le chemin optique de M_1 à M_2 le long d'un rayon lumineux considéré est :

$$\left[M_1 M_2\right] = \frac{\Phi(M_1, t) - \Phi(M_2, t)}{k_0} = \frac{\lambda_0}{2\pi} \left(\Phi(M_1, t) - \Phi(M_2, t)\right) = L(M_2) - L(M_1)$$

définition équivalente : le chemin optique de M_1 à M_2 le long d'un rayon lumineux considéré

est :
$$\left[M_1 M_2\right] = \int_{M_1}^{M_2} n(M) \cdot ds(M)$$

où s est l'abscisse curviligne le long du rayon lumineux (orienté dans le sens de la propagation de la lumière)

conséquence : une surface d'onde pour une onde émise par une source ponctuelle S est caractérisée par l'équation : $[SM] = \text{constante}$

b) Interprétation :

Le chemin optique de M_1 à M_2 le long du rayon lumineux considéré est la distance que franchirait dans le vide la lumière pendant le temps t qu'elle met à parcourir le rayon lumineux considéré dans le milieu considéré

7. Stigmatisme :

définition : un système optique est dit stigmatique pour un couple de points A et A' si, et seulement si tout rayon passant par A avant la traversée du système passe par A' après la traversée du système (ou inversement)

définition équivalente : deux points A et A' tels que le système optique soit stigmatique pour A et A' sont dits conjugués (par le système optique)

théorème : la condition générale de stigmatisme pour un couple de points A et A' s'écrit: $[AA'] = \text{constante}$, à condition de compter négativement le chemin optique correspondant aux portions de rayons virtuels, que l'on affecte de l'indice du milieu où se propage le prolongement (réel) de ces rayons virtuels

8. Principe de Fermat : (hors programme)

principe : le trajet effectivement suivi par la lumière pour aller d'un point A à un point B correspond à un chemin optique extrémal par rapport aux chemins optiques correspondant à tous les autres trajets possibles

9. Loi du retour inverse de la lumière :

dans un milieu quelconque donné, la lumière suit, pour aller d'un point B à un point A le ou les mêmes chemin(s) que pour aller du point A au point B, ce(s) chemin étant parcouru en sens inverse