

LOIS DE L'OPTIQUE GEOMETRIQUELes ondes lumineuses

Ce sont des ondes électromagnétiques (champs \vec{E} et \vec{B} orthogonaux entre eux, vibrant en phase).

Une lumière monochromatique de fréquence ν peut être modélisée par une onde plane, progressive, rectilignement polarisée, à variations sinusoïdales: $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos[\omega(t - \frac{z}{c}) - \phi_0]$

- période temporelle $T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega}$ (caractéristique intrinsèque).
 - période spatiale $\lambda_0 = cT$ longueur d'onde ds le vide (fn^o de la nature du milieu)
- Le domaine du visible est compris pour λ_0 entre 400 et 800 nm.

Propagation dans un milieu

Pour un milieu homogène, transparent, isotrope (MHTI), elle se fait à une vitesse $v < c$ dépendant du milieu et de la fréquence.

- indice de réfraction d'un milieu: $n = \frac{c}{v} \geq 1$
- longueur d'onde ds un MHTI: $\lambda = vT = \frac{\lambda_0}{n}$.

Pour l'air, $v \approx c$ ($\forall \nu$)

Dualité de la nature de la lumière.

Outre son aspect ondulatoire, son aspect corpusculaire est illustré par le photon, grain d'énergie lumineuse, de vitesse c dans le vide, transportant le quantum d'énergie

$$W = h\nu = h \frac{c}{\lambda_0}$$

Les sources lumineuses correspondent à des émissions spontanées:

désexcitation électronique dans les lampes spectrales ou à décharge, rayonnement d'énergie de corps chauffés dans les lampes à incandescence... ou à des émissions stimulées: radiation monochromatique émise par un laser.

Propagation rectiligne de la lumière (loi fondamentale dans un MHTI à n constant)

Un rayon lumineux est illustré par un pinceau lumineux cylindrique de rayon $r \gg \lambda_0$.

Lois de Descartes

- 1^{ère} loi: loi de la réflexion: tout rayon réfléchi est dans le plan d'incidence et symétrique du rayon incident par rapport à la normale.

Algébriquement: $r = -i$ ou $\vec{u}_2 = \vec{u}_1 + k\vec{N}$.

- 2^e loi: loi de la réfraction: le rayon réfracté dans le plan d'incidence est tel que:

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad \text{ou} \quad n_1 \vec{u}_1 - n_2 \vec{u}_2 = k\vec{N}$$

si $n_2 > n_1$, existence d'une réfraction limite car le rayon réfracté se rapproche de la normale.

si $n_2 < n_1$, existence d'une réflexion totale au-delà d'un angle limite d'incidence.

$$i_1(i_{1m}) = \text{ARCSIN} \frac{n_2}{n_1}$$

Le prisme.

C'est un MHTI (n) limité par deux dièdres plans non parallèles, utile pour la déviation et la dispersion d'un faisceau lumineux:

$$\sin i = n \sin a$$

$$A = n + n'$$

$$\sin i' = n \sin a'$$

$$D = i + i' - A$$

FORMATION DES IMAGES - MIROIRS ET DIOPTRÉS PLANS - MIROIRS SPHÉRIQUESSystème optique Σ

Dioptrés (surfaces réfractantes) et/ou catadioptrés (surfaces réfléchissantes).

Le point objet est l'ensemble des rayons lumineux entrant dans Σ .

Le point image est l'intersection des rayons émergents de Σ .

Phénomène de stigmatisme

Se produit lorsque tout rayon lumineux issu de A émerge de Σ en passant par A'.

A' est alors l'image conjuguée de A.

Miroir plan : stigmatisme rigoureux

L'image de A (objet réel) est A' (virtuelle) symétrique de A par rapport au miroir.

$$\overline{HA} + \overline{HA'} = 0 \quad \text{de grandissement } \gamma = 1.$$

Dioptrés plans : stigmatisme approché

L'image de A par un dioptré plan ($n \rightarrow n'$) varie avec l'inclinaison de l'incident AI (aberrations géométriques). Pour une incidence faible, on retrouve un stigmatisme approché :

image virtuelle A' telle que : $\overline{HA'} = \frac{n'}{n} \overline{HA}$

grandissement transversal : $\gamma = 1$

En lumière polychromatique, la position de A' varie avec λ (aberrations chromatiques).

Lames à faces parallèles : rayon émergent parallèle à l'incident et translation

de $\overline{AA'} = e \left(1 - \frac{1}{n}\right)$ si $n=1 \rightarrow n \neq 1 \rightarrow n=1$.

Conditions de Gauss

• Système optique centré : axe de symétrie de révolution Δ . Tout rayon arrivant selon Δ n'est pas dévié.

• Diaphragme d'entrée (mais avec $R \gg \lambda$) : stigmatisme approché pour les rayons paraxiaux (faiblement inclinés par rapport à Δ).

Miroirs sphériques

Surfaces sphériques réfléchissantes (centre C, sommet S, rayon $R = \overline{SC}$).

Stigmatisme rigoureux : $C \rightarrow C$ et $S \rightarrow S$.

Système centré local : A sur axe $\rightarrow F'$ (foyer principal image)

F (foyer principal objet) $\rightarrow A$ sur axe ; F et F' sont confondus au milieu de C et S.

$$\text{Vergence : } V = \frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{SF'}} = \frac{2}{\overline{SC}} = \frac{2}{R}$$

Stigmatisme approché dans les conditions de Gauss

• Formule de Descartes (origine en S) : $\frac{1}{\overline{SA}} + \frac{1}{\overline{SA'}} = \frac{1}{f'}$ et $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = -\frac{\overline{SA'}}{\overline{SA}}$

• Formule de Descartes (origine en C) : $\frac{1}{\overline{CA}} + \frac{1}{\overline{CA'}} = -\frac{1}{f'}$ et $\gamma = \frac{\overline{CA'}}{\overline{CA}}$

• Formule de Newton (origine en F, F') : $\overline{FA} \overline{FA'} = \overline{FS} \overline{FS'} = (f')^2$
et $\gamma = -\frac{\overline{FS}}{\overline{FA}} = -\frac{\overline{FA'}}{\overline{FS'}}$

LENTILLES SPHERIQUES MINCES.

Une lentille sphérique est une portion de MHTI limitée par deux dioptres sphériques (l'un peut-être plan) de même axe optique. La lentille est mince lorsque son épaisseur $e = S_1S_2$ est faible par rapport au rayon de courbure des deux dioptres. Les sommets S_1 et S_2 sont alors confondus en O , centre optique de la lentille.

- Tout rayon passant par le centre optique n'est pas dévié.
- Une lentille est approximativement stigmatique dans les conditions de Gauss.

Une lentille est un système centré focal.

- Foyers principaux objet et image symétriques par rapport à O .
- Vergence $V = \frac{1}{f'} = -\frac{1}{f}$ négative pr l. divergente positive pr lentille convergente.
- Un faisceau oblique de rayons parallèles provenant de l'infini objet a son image dans le plan focal image (contenant F') en un point F'' appelé foyer secondaire image (que l'on définit grâce au rayon passant par le centre optique). De même, on peut définir le plan focal objet et foyers secondaires objet.
- Un objet à l'infini de diamètre apparent $\alpha = 2\theta$ a une image dans le plan focal image de taille $A'B' = f'\alpha$ (Réciproquement, $AB = f'\alpha'$)

Construction des images

Objet AB orthogonal à l'axe optique \Rightarrow image $A'B'$ de même.

On détermine B' par deux des trois rayons :

- 1) rayon incident passant par B et O non dévié.
- 2) rayon parallèle à l'axe passant par B , émergent de la lentille en passant par F' .
- 3) rayon passant par B et F , émergent parallèlement à l'axe.

Relations de conjugaison

- Formule de Descartes (origine au centre optique)

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{OA'}{OA} = \frac{P'}{P} \quad \text{et} \quad \frac{1}{P'} - \frac{1}{P} = \frac{1}{f'}$$

- Formule de Newton (origines aux foyers).

$$\gamma = \frac{F'A'}{F'O} = \frac{\sigma'}{-f'} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{FO}{FA} = -\frac{f}{\sigma} \quad \text{d'où} \quad \sigma\sigma' = ff' = -f'^2$$

- Formule de Lagrange-Helmholtz : si α et α' sont les angles algébriques d'ouverture de la lentille, le grandissement angulaire $g = \frac{\alpha}{\alpha'}$ vérifie $g\gamma = 1$

Association de lentilles minces

Accolées : équivalent à une lentille unique $V = V_1 + V_2$

Non accolées : le nouveau système peut être focal ou afocal (alors nécessairement $F_1' \equiv F_2$)

Focométrie

Connaître les diverses méthodes de mesure des distances focales des lentilles convergentes ou divergentes.

INSTRUMENTS D'OPTIQUE.

L'œil peut être modélisé par une lentille mince convergente. Pour l'œil normal ou emmétrope, un point objet à l'infini (punctum remotum) est vu sans accommodation, son image se formant au foyer image sur la rétine. En bombant le cristallin, l'œil diminue sa distance focale (accommodation) ce qui lui permet de voir les objets jusqu'au punctum proximum (≈ 25 cm).

La loupe est une lentille mince convergente qui donne d'un objet AB placé entre son foyer objet F et le centre optique O une image droite, virtuelle et agrandie. Pour l'œil emmétrope placé en F', la vision sans accommodation correspond à AB placé en F (d'où image A'B' à l'∞, soit au PR de l'œil). La latitude de mise au point est la distance entre positions limites de l'objet pour image entre PP et PR de l'œil. La puissance est, si α' est le diamètre apparent de l'image vue par l'œil de l'objet AB, $P = \alpha' / AB$ ou P (dioptries), α' / rad , AB (m); pour une loupe, $P = 1/f'$.

Le pouvoir séparateur est la limite du plus petit objet AB résolu, c'est-à-dire A' et B' sur deux cellules rétinienne différentes de l'œil. $\alpha' \geq 5 \cdot 10^{-4} \text{ rad} \Rightarrow AB_m = \alpha'_m f'$
Le grossissement est, si α est le diamètre apparent de l'objet vu à l'œil nu, placé au PP, $G = \alpha' / \alpha = P d_m$; grossissement commercial $G_c = \frac{P}{4}$ car $d_m = 25$ cm.

Un oculaire est modélisé par deux lentilles convergentes, l'une de champ (L_1) et l'autre de vue (L_2) près de l'œil, tel que: $AB \xrightarrow{L_1} A_1 B_1$ en $F_2 \xrightarrow{L_2} A' B'_{\infty}$ (PR de l'œil en F'_2)
Par la suite, un oculaire est modélisé en loupe.

Un condenseur (2 lentilles plan-convexe accolées) permet d'éclairer la totalité d'un objet.

Un collimateur permet de former un objet à l'infini: source + réticule (2 fils en croix) + lentille convergente (L_c), en amenant le réticule en F_c , image à l'infini jouant le rôle d'objet virtuel.

Lunettes: objectif ($L_1 \downarrow$) + oculaire ($L_2 \uparrow$) + réticule placé en F_2 .

o lunette de visée à l'infini ou lunette astronomique (système afocal).

$$A_{\infty} \xrightarrow{L_1} F'_1 = F_2 \xrightarrow{L_2} A_{\infty} \text{ (œil)}.$$

o lunette autocollimatrice (afocale): on fabrique un objet à l'infini par objectif + miroir plan.

o viseur à frontale fixe: lunette observant un objet à distance finie fixe (au foyer objet de $L_1 + L_2$):

$$A \text{ en } F \xrightarrow{L_1} A_1 \text{ en } F_2 (\neq F'_1) \xrightarrow{L_2} A_{\infty} \text{ (œil)}.$$

Un projecteur comprend une source, un condenseur éclairant l'objet, une lentille convergente pour l'agrandir et un écran (situé à $D > 4f'$ de l'objet) pour le visualiser.

Microscope: objectif ($L_1 \downarrow$) + oculaire ($L_2 \uparrow$) à distance fixe ($\Delta = \overline{F'_1 F_2} = 16$ cm en général) jouant le rôle de loupe pour l'image intermédiaire agrandie.

$$A \xrightarrow{L_1} A_1 \text{ en } F_2 \xrightarrow{L_2} A_{\infty} \text{ (œil)}.$$

L'œil est placé au cercle oculaire juste après F'_2 :

$$P = \frac{\alpha'}{AB} = \frac{\Delta}{f_1 f_2} \quad \text{et} \quad G = \frac{\alpha'}{\alpha} = P d_m.$$

Goniomètre: appareil destiné à la mesure d'angles. Il comprend collimateur + plate-forme mobile avec système dispersif (prisme) + lunette de visée à l'infini.

La mesure de la déviation au minimum (à D fixée) permet de déduire l'indice $n(\lambda)$ du prisme:

$$n(\lambda) = \sin\left(\frac{D_m + A}{2}\right) / \sin\left(\frac{A}{2}\right).$$

Si on associe un collimateur micrométrique, on obtient un spectroscopie à prisme permettant à partir d'une courbe d'étalonnage de mesurer des longueurs d'onde.