Physique Ondulatoire

Maxime Muller

July 12, 2025

Contents

Chapter 1

Lunette astronomique

1.1 Modèle optique de la lunette astronomique

1.1.1 Constitution

Definition 1.1.1 (Lunette astronomique)**.** La lunette astronomique est constituée de deux lentilles convergentes d'axes optiques confondues : l'objectif et l'oculaire.

L'objectif se trouve de coté que l'on souhaite observer, l'objet. Il est modélisé par une lentille convergent L_1 de grande distance focale f'_1.

L'oculaire se trouve du coté de l'œuil. Il est modélisé par une lentille convergente L_2 de petite distance focale f'_2

1.1.2 Un système afocal

Corollary 1.1.1 (Caractère afocal de la lunette astronomique)**.** Le but d'une lunette astronomique est d'observer des objets lointains (donc considéré comme à l'infini) en les grossissant. Pour que l'oeil ne ressente pas de fatigue lors de l'observatoire, le dispositif fait en sorte que l'oeil n'accomode pas, donc observe à l'infini. La lunette astronomique forme donc, d'un objet à l'infini, une image à l'inifini.

C'est un système qui ne comporte pas de foyer et que l'on appelle donc afocal.

1.1.3 Construction graphique

- On commence par placer L_1, L_2, l'axe optique, sachant que $O_1O_2 = f'_1 f'_2$.
- On place l'objet AB_∞ à l'infini.
- On construit l'image de AB_∞ par L_1 : A_1B_1.
- On construit l'image de A_1B_1 par L_2 : $A'B'_\infty$

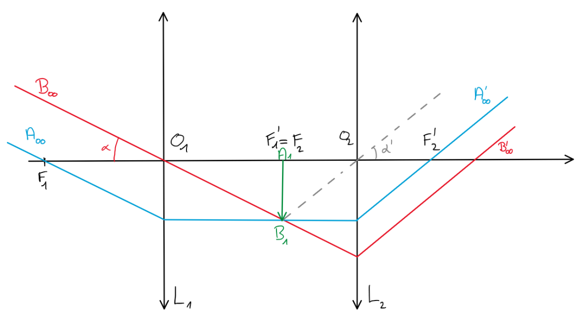

Figure 1.1: Modèle de la lunette astronomique

On constate que l'image est inversée

1.2 Grossissement

1.2.1 Définition : le grossissement d'un systèle afocal

Definition 1.2.1 (Diamètre apparent)**.** L'angle sous lequel on voit un objet à l'infini AB_∞ est appelé diamètre apparent.

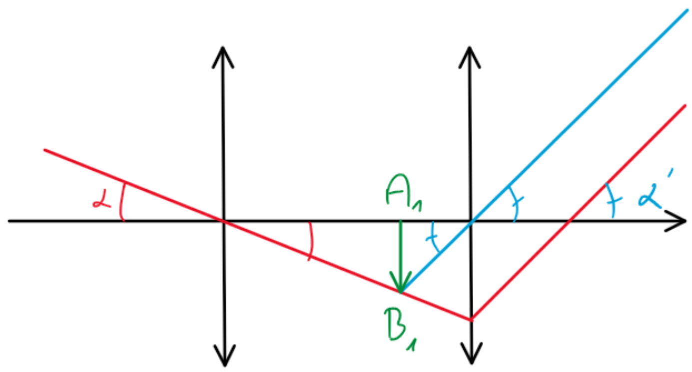

Figure 1.2: Schema du grossissement

Definition 1.2.2 (Grossissement)**.** Le grossissement G d'un système optique afocal est le quotient du diamètre apparent α' par le diamètre apparent α, soit :

$$G : \frac{\alpha'}{\alpha}$$

1.2.2 Grossissement d'une lunette astronomique

Theorem 1.2.1 (Formule alternative du grossissement)**.** Par construction et α étant petit, on a $\tan\alpha \sim \alpha$.

$$\tan\alpha \approx \alpha = \frac{A_1B_1}{f_1'} \text{ et } \tan\alpha' \approx \alpha' = \frac{A_1B_1}{f_2'}$$

On a donc :

$$G = \frac{A_1B_1}{f_2'} \cdot \frac{f_1'}{A_1B_1} = \frac{f_1'}{f_2'}$$

Corollary 1.2.1 (Changement d'oculaire)**.** Pour que la lunette grossisse, on a donc nécéssairement $f_1' > f_2'$. Dans la pratique, l'objectif est fixe, donc f_1' est constante. On peut en revanche faire varier f_2', on peut donc changer d'oculaire pour grandir d'avantage.

Chapter 2

Comportement ondulatoire

2.1 Niveau d'intensité sonore et atténuation acoustique

Definition 2.1.1 (Intensité sonore)**.** Le son est une onde mécanique. Dans fluide (l'air ou l'eau par exemple), la perturbation se déplace de proche en proche en occasionnant un transfert d'énergie. On associe à ce transfert d'énergie une puissance par unité de surface que l'on appelle intensité sonore (notée I). I s'exprime en $\mathrm{W} \cdot \mathrm{m}^{-2}$ et on note :

$$I = \frac{P}{S}$$

Avec P la puissance sonore (en W) et S la surface du récepteur (en m^2).

Corollary 2.1.1 (Propriété des ondes mécaniques)**.** Une onde mécanique se propage dans un milieu matériel.

Definition 2.1.2 (Niveau sonore)**.** Le niveau sonore (ou niveau d'intensité sonore), notée L s'exprime en dB et est défini par :

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Avec $I_0 = 10^{-8} \mathrm{W} \cdot \mathrm{m}^{-2}$.

Remark (Sensation auditive)**.** La "sentation auditive" suite d'avantage le niveau d'intensité sonore que l'intensité sonore.

Definition 2.1.3 (Attenuation)**.** Lors de la propagation d'un son, le niveau sonore dinimue lorsque l'on s'éloigne de la source. La diminution du niveau sonore est appelé atténuation (notée A, en dB). On distingue une atténuation déométrique (à mesure que le son se propage la puissance acoustique se répartit sur une surface S de plus en plus grande) et l'atténuation par absorption (le milieu matériel absorbe une partie de la puissance sonore). On a : $A = L_i - L_f$ avec L_f, le niveau sonore final et L_i le niveau sonore initial.

2.2 Diffraction

2.2.1 Definition

Definition 2.2.1 (Diffraction). La diffraction est la déviation d'une onde lorsqu'elle rencontre une ouverture ou un obstacle dont la dimension est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde.

Cas d'une onde progressive, plan, sinusoïdale de longueur d'onde λ et passant au travers d'une ouverture :

- Si $a \gg \lambda$: abscence de diffraction.

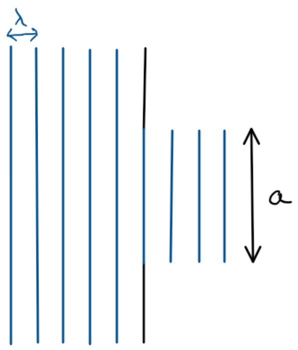

Figure 2.1: Le cas où $a \gg \lambda$

- Si $a \approx \lambda$: diffraction

L'onde diffractée prend la forme d'une onde circulaire centrée sur l'ouverture.

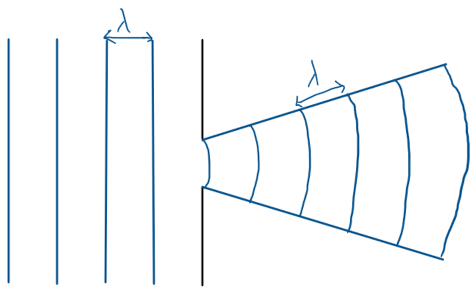

Figure 2.2: Le cas où $a \approx \lambda$

2.2.2 Diffraction d'une onde lumineuse monochromatique

Theorem 2.2.1 (Expression de l'angle de diffraction). Lorsque l'on envoie un faisceau de lumière laser sur une fente rectangulaire fine (avec $a \approx \lambda$), on observe une figure de diffraction sur l'écran. On montre que :

$$\theta = \frac{\lambda}{a} \text{ , avec } \lambda \text{ en m}, a \text{ en m}, \theta \text{ en rad}$$

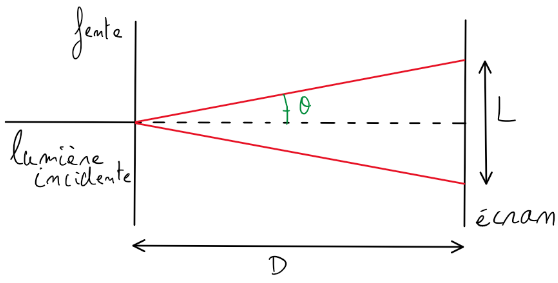

Figure 2.3: Modèle des trous de Young

Corollary 2.2.1 (Longueur de la tache). De plus, $\tan\theta = \frac{\frac{L}{2}}{D}$ et si θ est petit, alors $\tan\theta \approx \theta$.
D'où,

$$L = \frac{2D\lambda}{a}$$

Avec :

- L la largeur de la tache centrale (en m)
- D la distance fente écran (en m)
- λ la longueur du rayonnement (en m).
- a, la langeur de la fente (en m)

Corollary 2.2.2 (Diffraction de lumière blanche). En lumière blanche, la superimposition des figures de diffraction des différentes radiations est irisée (ex 62 p. 483). La tâche centrale est blanche mais bordée de rouge ($\theta_{rouge} > \theta_{bleu}$) Le phénomène de diffraction est le même avec d'autres types d'ondes (onde mécanique comme la houle par exemple).

2.3 Interférences

2.3.1 Définition

Definition 2.3.1 (Interférence). Le phénomène d'interférences résulte de la superposition de deux ondes. On observe ce phénomène en un point de l'espace si deux ondes sont cohérentes (de différence de phase cohérentes avec le temps) et synchrones (de même fréquence).

Example (Exemple). Interférence de deux ondes circulaire à la surface de l'eau

2.3.2 Interférences constructives et destructives

Interférences constructives

Definition 2.3.2 (Interférences constructives)**.** Il y a interférence constructive au point considéré lorsque les deux ondes sont en phase : l'amplitude de l'onde résultante est alors maximale, voir le document 10 page 468.

Definition 2.3.3 (Signaux en phase)**.** Les signaux sont en phase si $\Delta t = kT$, avec k un entier, T la période du signal, et Δt le décalage temporel au point considéré (aussi appelé le retard)

Interférences destructives

Definition 2.3.4 (Interférences destructives)**.** Il y a interférences destructives lorsqu'au point considéré les deux ondes sont en oppositions de phase : l'amplitude de l'onde resultante est alors nulle, voir le document 10 page 468.

Definition 2.3.5 (Signaux en opposition de phase)**.** Les signaux sont en oppositions de phase si $\Delta t = (k + \frac{1}{2})T$.

Différence de marche

Corollary 2.3.1 (Différence de marche)**.** En multipliant les relations précédents par la célérité de l'onde, on obtient pour des signaux en phase $\Delta t \cdot c = k \cdot T \cdot c$, d'où :

$$\Delta d = k \cdot \lambda$$

On appelle Δd la différence de marche, aussi notée δ.
De même, en opposition de phase, on a :

$$\delta = (k + \frac{1}{2})\lambda$$

2.3.3 Déphasage

Theorem 2.3.1 (Déphsage)**.** Soit $\Delta\varphi$ le déphasage entre deux ondes. On a :

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{\Delta t}{T}$$

- Si $\Delta\varphi = 2k\pi$, alors les signaux sont en phase
- Si $\Delta\varphi = 2\pi(k + \frac{1}{2})$, alors les signaux sont en opposition de phase

2.3.4 Interférences d'ondes lumineuses monochromatiques

A partir d'une source laser monochromatique, on divise l'onde en deux sources secondaires au moyen d'un dispositif appelé les fentes de Young.

Avec :

- D, la distance fente-écran
- b, la distance fente-fente

Definition 2.3.6 (Franges claires et sombres)**.** On observe le résultat sur un écran situé à distance D des fentes d'Young. Si les deux signaux sont aux phases au point d'observation, l'intensité est alors maximale. On dit que les points d'observation est situé sur une frange claire et qu'il y a interférence constructive. Inversement, lorsqu'on se situe sur une frange sombre, les deux signaux sont en opposition de phase au point d'observation. On dit que l'interférence est destructive.

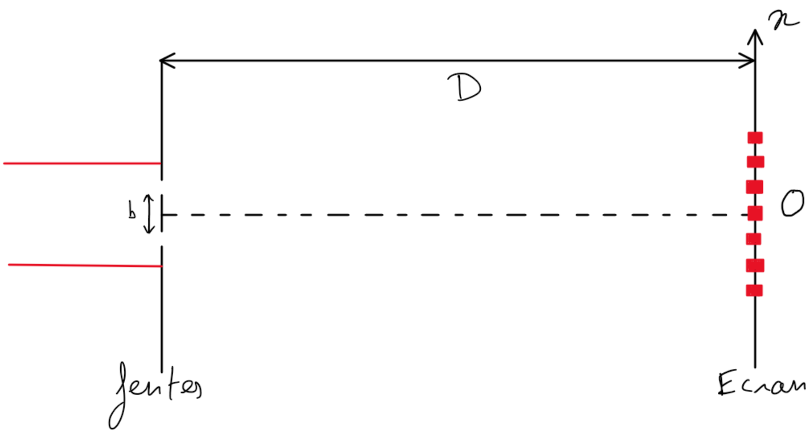

Figure 2.4: Modèle des fentes de Young

Theorem 2.3.2 (Déphasage). On montre que :

$$\delta = \frac{bx}{D}$$

Corollary 2.3.2 (Interférences). Les points pour lesquelles on a des interférences constructives sont tels que: : $\delta = k\lambda$, D'où :

$$x = \frac{k\lambda D}{b}$$

Definition 2.3.7 (Interfrange). On appelle i la distance entre deux franges constructives de même nature :

$$i = \frac{(k+1)\lambda D}{b} - \frac{k\lambda D}{b} = \frac{\lambda D}{b}$$

Avec i, D, λ, b en mètresl.

2.4 Effet Doppler

2.4.1 Définition

L'effet Doppler est la variation apparente de la fréquence d'une onde (accoustique ou lumineuse) émise par une source en mouvement par rapport à un observateur.

2.4.2 Expression

Une sirène émet des "bips" très brefs à intervalle régulière notée T_e. La sirène équipe une ambulance qui roule sur une route rectiligne xx' en se dirigeant à une vitesse constante v vers un observateur immobile en O.

A $T = 0$, la sirène émet un "bip" que l'observateur recoit à $t = t_1 = \frac{d}{c}$, avec c la célérité de l'onde et d la distance entre l'émeteur et l'observateur.

A $t = T_e$, l'ambulance se situe désormais à une distance $d_1 = d - V \cdot T_e$ de l'observateur. L'ambulance émet alors un second "bip".

A $t = t_2$, l'observateur re2coit le second "bip".

$$t_2 = T_e + \frac{d_1}{c} = T_e + \frac{d - v \cdot T_e}{c}$$

Calculons $t_2 - t_1$:

$$t_2 - t_1 = T_e + \frac{d}{c} - \frac{vT_e}{c} - \frac{d}{c} = T_e(\frac{c - v}{c})$$

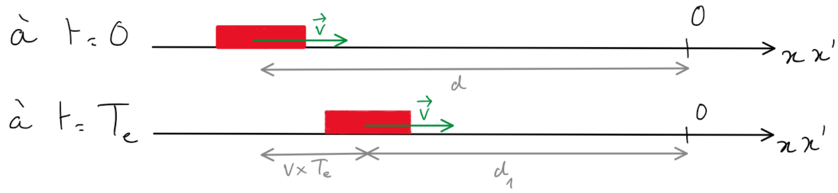

Figure 2.5: Modèle de la situation

On a donc :

$$T_r = T_e \frac{c-v}{c} \text{ et } f_r = f_e \frac{c}{c-v}$$

On écrit aussi :

$$\Delta f = f_r - f_e = f_e(\frac{v}{c-v}) > 0$$

Avec :

- Δf le décalage Doppler (en Hz)
- f_r la fréquence apparente du signal (en Hz)
- f_e la fréquence réelle du signal (en Hz)
- c la célérité de l'onde (en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$)
- v la vitesse de l'émetteur (en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$)

De la même manière, on montre que si l'émetteur s'éloigne du récepteur :

$$f_r = f_e \frac{c}{c+v} \text{ et } \Delta f = -f_e(\frac{v}{c+v})$$

2.4.3 Conclusion

Si l'ambulance se rapproche, $f_r > f_e$ donc le son que la sirène produit parait plus aigu. Inversement, lorsque l'ambulance s'éloigne, $f_r < f_e$ donc le son parait plus grave

Autre exemple

En astronomie, en conséquence de l'expansion de l'univers, il existe un décalage vers les fréquences plus basses des radiations émises par les étoiles que nous re2cevons. On parle d'un décalage vers le rouge (ou redshift).