Propagation de la lumière

Au programme



Savoirs

- ♦ Définir une onde sinusoïdale/monochromatique.
- ♦ Caractériser une source lumineuse par son spectre.
- ♦ Relier la longueur d'onde dans le vide et la couleur.
- Connaître la valeur numérique de la célérité de la lumière dans le vide.
- ♦ Définir l'indice d'un milieu transparent.



Savoir-faire

♦ Déterminer la longueur d'onde d'un rayonnement dans un milieu à partir de sa longueur d'onde dans le vide.

I L'onde lumineuse



Nature ondulatoire de la lumière

La nature de la lumière a été l'objet de discussions et controverses durant des siècles, opposant principalement au XVII^e NEWTON avec sa théorie corpusculaire et HOOKE puis HUYGENS avec la théorie ondulatoire. Le débat s'est clos avec les expériences d'interférences de Young et Fresnel (début XIX^e) notamment, prouvant son comportement ondulatoire (nous aurons l'occasion de les réaliser nous-mêmes).

Ce n'est cependant qu'à la fin du XIX^e avec les théories de MAXWELL que cette onde est décrite par la propagation de grandeurs électromagnétiques (champ électrique, champ magnétique, et donc pas dans un milieu matériel).

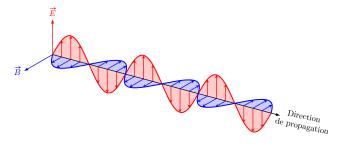


FIGURE 1.1 – Représentation des oscillations du champ électromagnétique lors de la propagation de la lumière

Le XX^e vint bousculer cette vision en attestant de la dualité onde-corpuscule des particules élémentaires de l'Univers avec l'avènement de la physique quantique. Selon les conditions d'études, l'une ou l'autre des visions sera appliquée.

В

Célérité de la lumière

I.B.1

Dans le vide

En tant qu'onde électromagnétique, la lumière n'est pas une onde mécanique nécessitant un milieu matériel pour se propager ¹.



Définition

Nous appelons célérité de la lumière dans le vide, et la notons c, la vitesse de l'onde lumineuse.



Valeur

La valeur de c est fixée par définition 2 , telle que

Nous utiliserons et retiendrons cependant la valeur

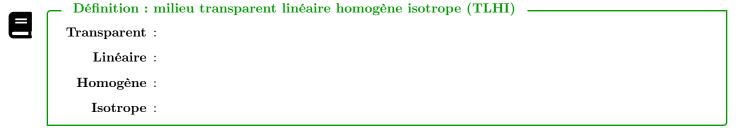
 $c = 2.99792458 \times 10^8 \,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$

^{1.} À la différence d'une vague sur l'eau ou d'une corde de guitare qui se propagent sur un milieu matériel.

^{2.} Elle n'est donc théoriquement plus mesurable, puisque les mesures de distances se basent sur la valeur de la célérité de la lumière

I.B.2 Dans un milieu

Elle peut cependant se propager dans certains milieux matériels transparents, comme l'air, l'eau, le verre... Dans le cadre de la physique de cette année, nous étudierons des milieux particuliers :



Lorsque la lumière passe dans un tel milieu, sa vitesse **diminue**. Nous caractérisons cette diminution via la définition de l'indice optique :

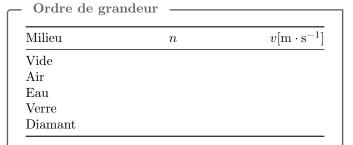
Nous appelons indice optique la grandeur associée à un milieu transparent et caractérisant la vitesse de la lumière en son sein, telle que :

Remarque

Étant donné que la vitesse de la lumière dans le vide est absolue et indépassable, la vitesse de la lumière dans un milieu transparent ne peut qu'être plus petite, et donc

Par la définition de l'indice optique, nous déduisons l'expression de la vitesse de la lumière dans un milieu par :

Implication



I.B.3 Selon la fréquence

L'indice optique dépend de la fréquence d'une onde lumineuse, et ainsi la vitesse de la lumière dans un milieu TLHI aussi. Comme la couleur de la lumière correspond à la fréquence de l'onde la représentant, cela cause la **dispersion** de la lumière ³. Cet effet est cependant souvent négligé car faible par rapport à d'autres phénomènes.

C Longueur d'onde d'une onde sinusoïdale

		Définition : onde sinusoïdale	
_	1		
	1		
	1		

Une lumière rouge est monochromatique, et est décrite par une onde lumineuse de longueur d'onde ≈ 700 nm. Une lumière **blanche** ne l'**est pas**, c'est une *superposition* d'ondes sinusoïdales sur le domaine du visible.

3. Pensez par exemple au prisme de Pink Floyd.

Lycée Pothier 2/5 MPSI – 2023/2024



Propriété

Une onde lumineuse se caractérise par sa fréquence, appelée f ou ν^4 . En effet, la fréquence d'une onde est indépendante du milieu traversé. En revanche, sa longueur d'onde en dépend.



Implication

Avec l'analyse dimensionnelle, on trouve directement qu'une longueur d'onde λ doit s'écrire

Or, dans le vide $v_{\text{onde}} = c$, et dans un milieu TLHI d'indice optique n, $v_{\text{onde}} = \frac{c}{n}$; ainsi avec λ_0 dans le vide :



Ainsi, quand on parle de la longueur d'onde d'une couleur, on parle en réalité de sa longueur d'onde dans le vide.



FIGURE 1.2 - Longueurs d'ondes des ondes monochromatiques dans le vide.



Un laser rouge émet un rayonnement de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 633\,\mathrm{nm}$. Déterminer sa longueur d'onde λ dans du verre, d'indice optique n=1,5. Sa couleur change-t-elle?

II | Sources lumineuses primaires

On parle de source primaire quand l'objet en question émet directement de la lumière. Les sources secondaires ne font qu'en renvoyer, par exemple la Lune, la peau, les arbres...



Spectre d'émission

Pour caractériser un rayonnement électromagnétique, on trace son spectre d'émission, c'est-à-dire la courbe de l'intensité lumineuse en fonction de la fréquence (ou longueur d'onde dans le vide).

Les sources primaires sont classées selon leur contenu spectral qui découle du type de processus d'émission lumineuse :

Sources thermiques:

Sources spectrales:

Sources LASER:



Les sources thermiques

L'agitation thermique des atomes émet un rayonnement électromagnétique dépendant de sa température : c'est le type de rayonnement du Soleil ou des ampoules à incandescence (chauffage d'un métal qui brille).

4. Se lit « nu ».



Caractéristiques du rayonnement d'un corps chaud



Exemples

- À température ambiante $(T \approx 300 \,\mathrm{K})$, un corps émet dans l'infrarouge (c'est le principe d'une caméra infrarouge);
- Pour une lampe, le filament est à $T \approx 2800 \,\mathrm{K}$. Son maximum est dans l'infrarouge mais son spectre s'étale sur le domaine visible;
- La température de surface du Soleil est de $T \approx$ 5700 K. Son maximum d'émission est dans le domaine visible.

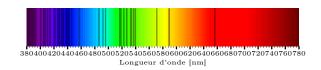


FIGURE 1.3 – Spectre lumineux que l'on reçoit du Soleil.

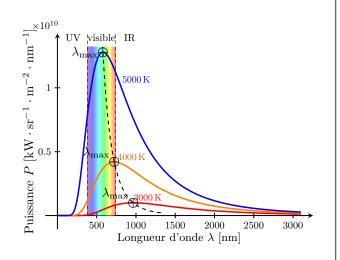


Figure 1.4 – Spectre d'émission d'un corps chaud selon quelques températures.



Les sources spectrales

Une lampe spectrale contient un élément chimique sous forme de gaz, et deux électrodes de part et d'autre du contenant génère des décharges électriques qui excitent les atomes. C'est un état instable. En revenant dans leur état fondamental, ils émettent des photons à une énergie précise correspondant à la différence des niveaux d'énergie quantiques de l'élément $(f = \frac{\Delta E}{h})$; voir chapitre introduction à la physique quantique).



Caractéristiques du rayonnement spectral -



Exemples

On trouve des lampes au néon, de couleur rouge; des lampes au mercure, de couleur bleue; des lampes à sodium, dans l'orange... On utilisera principalement ces deux dernières en laboratoire.

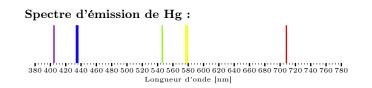


Figure 1.5 – Spectre d'émission d'une lampe à vapeur de mercure.



Le LASER

LASER est l'acronyme de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiations, c'est-à-dire « amplification de la lumière par émission stimulée de radiations ». Il est composé d'une cavité remplie d'un milieu recevant de l'énergie, excité par une source extérieur, et fermée par deux miroirs. Celui de la face de sortie est légèrement transparent.

La lumière passe au travers du milieu qui réémet de la lumière sans atténuer la première, et grâce au miroir le tout est réfléchi pour permettre de nombreux aller-retours, amplifiant l'intensité lumineuse à chaque passage.



Caractéristiques du rayonnement LASER





Exemple

Un laser hélium-néon donne un faisceau rouge de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0=632.8\,\mathrm{nm}.$

Spectre d'émission d'un laser He-Ne

380 400 420 440 460 480 500 520 540 560 580 600 620 640 660 680 700 720 740 760 780 Longueur d'onde [nm]

Figure 1.6 – Spectre d'émission d'un laser hélium-néon.



Attention

Si la puissance totale du faisceau est communément assez faible ($P \approx 1\,\mathrm{mW}$), sa surface l'est également ($S \approx 1\,\mathrm{mm}^2$). La puissance surfacique est donc en réalité très grande, et particulièrement dangereuse pour l'œil. On veillera donc à ne jamais le diriger vers un œil, mais aussi à éviter toute réflexion involontaire (notamment sur tout métal : bijou, tige de support...).