

LASER

EIDD 2A GP

2023-2024

TD 1

Généralités sur les lasers

Exercice 1 : Caractéristiques de la lumière laser

Pour chacune des propriétés de la lumière laser suivantes, expliquer en quoi elle consiste et citer une (ou plusieurs) application(s) qui utilisent cette propriété

- Cohérence temporelle
- Monochromaticité
- Cohérence spatiale
- Faible divergence, directivité
- Grande puissance surfacique
- Focalisabilité (concentration spatiale de puissance)
- Concentration temporelle d'énergie

Exercice 2 : Composants du laser

Quels sont les trois composants essentiels d'un laser ? Pour chacun, donner son rôle, quelles propriétés du laser il va influencer et un exemple de réalisation physique.

Exercice 3 : Laser et cohérence temporelle

On peut considérer qu'une source réelle émet de la lumière sous forme d'une succession de trains d'ondes de phase aléatoire. Chaque train d'onde est formé d'une portion de sinusoïde à la fréquence de ν , de durée τ .

- 1- Représentez sur votre feuille une succession de trains d'ondes. À votre avis, quel est la forme du profil spectral d'une telle source ?
- 2- On appelle longueur de cohérence temporelle $L_c = c\tau$. Quelle est l'interprétation physique de cette longueur ?
- 3- Pour cette question, on place la source à l'entrée d'un interféromètre de Michelson réglé en lame d'air (d'épaisseur e). Que verra-t-on en sortie de l'interféromètre dans les cas suivants :
 - $e \sim L_c$?
 - $e \ll L_c$?
 - $e \gg L_c$?
- 4- Pour les sources suivantes, calculer la longueur de cohérence et la finesse relative de la source $\Delta\nu/\nu$, où $\Delta\nu$ est la largeur du profil spectral. Pourquoi la lumière laser est-elle remarquable ? (plus difficile) À quelle propriété de l'émission stimulée cela est-il dû ?

Source	λ (nm)	Largeur spectrale $\Delta\nu$
Lumière du soleil	570	$3 \cdot 10^{14}$ Hz
Lampe spectrale à vapeur de mercure	546.1	10^{12}
Laser He-Ne de TP	632.8	10^9

- 5- Les lasers utilisés pour la chirurgie oculaire (lasik) sont des 'lasers femtosecondes' qui ont une très grande largeur spectrale ($\Delta\nu \sim 10^{14}$ Hz). Quel est, à votre avis, l'intérêt d'un tel dispositif ?

Exercice 4 : Laser et niveaux d'énergie

Rappeler le modèle d'Einstein de l'interaction lumière-matière. Puis, expliquer qualitativement (sans utiliser d'équations) pourquoi

- Il n'est pas possible de réaliser un laser utilisant comme milieu actif un système à deux niveaux ?
- Le problème est résolu en utilisant 3 niveaux ou plus ? Quelles propriétés doivent alors avoir ces niveaux ?

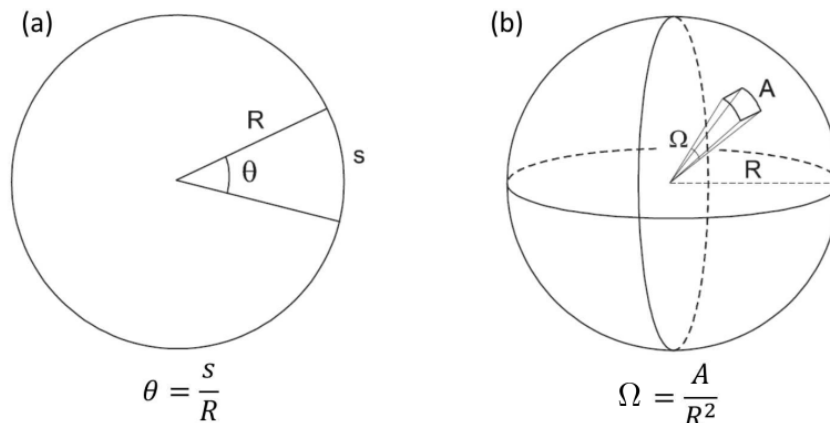
Exercice 5 : Angle solide et luminance

L'angle solide Ω est l'analogie tridimensionnelle de l'angle plan θ . On rappelle que l'angle plan (en radians, rad) est défini comme le rapport entre la longueur de l'arc intercepté et le rayon du cercle. De façon analogue, l'angle solide (en stéradians, sr) est défini comme le rapport entre l'aire de la calotte sphérique interceptée et le carré du rayon de la sphère.

- 1- Quel est l'angle solide qui correspond à une sphère? A une hémisphère ?
- 2- Ecrire l'angle solide élémentaire en coordonnées sphériques (r, θ, ϕ) .
- 3- Calculer l'angle solide d'un cône de révolution de demi angle au sommet α . Donner l'expression de cet angle solide dans l'approximation des petits angles $\alpha \ll 1$.

La luminance B (en anglais *brightness* ou *radiancy*) d'une source est définie comme la puissance optique émise par la source par unité d'angle solide par unité de surface émettrice apparente. Elle s'exprime en $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ sr})$. Une source de lumière de grande luminance émet dans un petit angle solide à partir d'une petite surface.

- 4- Donner l'expression de la luminance d'une source de puissance P , de surface S , qui émet dans la direction θ par rapport à la normale à la surface dans un angle solide Ω .
- 5- Calculer la luminance d'un pointeur laser vert de puissance 5mW, de divergence $\alpha = 1 \text{ mrad}$ et avec un diamètre du faisceau de sortie de 1 mm (on supposera que le laser émet selon la normale à la surface de sortie). Pour comparaison, une lampe dans le vert de très grande brillance a $B = 95 \text{ W}/(\text{cm}^2 \text{ sr})$. Commenter.



(a) Définition de l'angle plan. (b) Définition de l'angle solide.