

Le laser

Situation-problème :

Comment peut-on engendrer un faisceau lumineux contenant dans l'espace et dans le temps ?

Activité 1 : Propriétés du faisceau laser

Consigne :

Synthèse partielle :

1. Définition du laser

On appelle laser (de l'anglais : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation et en français : Amplification de la Lumière par Emission Stimulée de Radiation), tout appareil pouvant engendrer un faisceau de rayonnement lumineux dans l'espace et dans le temps.

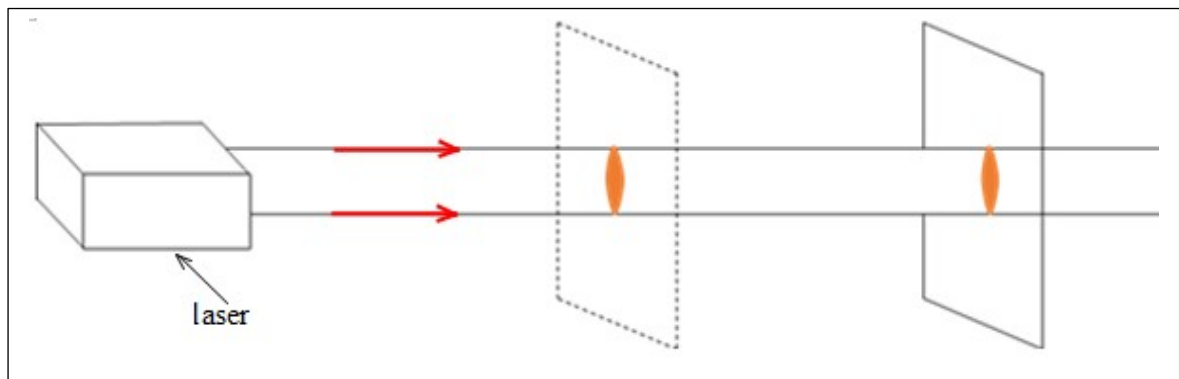
2. Propriétés

Un faisceau laser a quatre propriétés caractéristiques : directif, intense, monochromatique et cohérent.

a. Directivité

Observons un faisceau laser. Projets ce faisceau laser perpendiculairement sur un écran.

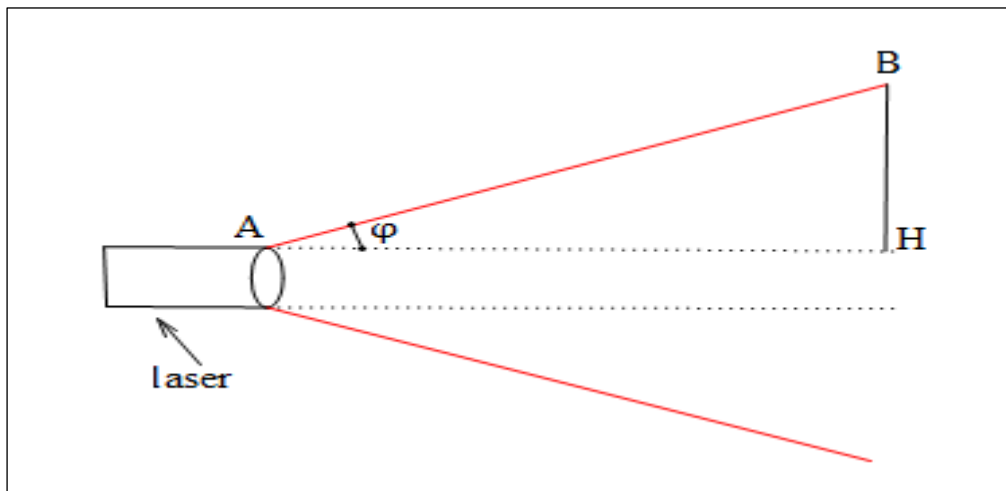
La tâche obtenue est circulaire. Eloignons l'écran ; le diamètre de la tâche augmente très légèrement. Le faisceau laser est peu divergent ; on dit qu'il est très directif.



Faisceau laser : La tâche observée conserve la même surface quand on l'éloigne l'écran.

Remarque : cette propriété lui permet de se propager sur grandes distances.

NB : la divergence est égale à l'angle 2φ du faisceau laser.



Dans le triangle ABH rectangle en H :

$$\tan \varphi = \frac{BH}{AH}$$

φ étant faible alors : $\tan \varphi \approx \varphi$ (en radian), d'où :

$$\varphi = \frac{BH}{AH} \Rightarrow \varphi = \frac{R}{d}$$

BH : rayon de la tâche du faisceau lumineux ;

AH : distance entre le laser et la tâche du faisceau sur l'objet.

Application :

Le rayon du faisceau laser rouge des lycées augmentent de 1 mm environ quand on éloigne l'écran de 1 m.

Calcule la divergence.

Solution :

$$\varphi = \frac{R}{d} = \frac{10^{-3}}{1} = 10^{-3}$$

Alors la divergence est :

$$2\varphi = 2 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

b. Intensité

➤ Puissance des sources laser

La puissance d'un faisceau de laser est liée à son mode d'émission :

$$P = \frac{E}{t}$$

P est la puissance. Elle s'exprime en Watt (W) ;

E est l'énergie transportée. Elle s'exprime en Joule (J) ;

t est la durée d'émission en secondes (s).

Application :

Une impulsion du laser au néodyme transporte l'énergie $E = 10 \text{ J}$ en une durée $t = 10^{-9} \text{ s}$.

Calcule sa puissance.

Solution :

La puissance est :

$$P = \frac{E}{t} = \frac{10}{10^{-9}} = 10 \times 10^9 = 10^{10} \text{ W}$$

➤ Puissance par unité de surface

La section d'un faisceau laser étant petite, sa puissance par unité de surface est grande, on dit que les lasers sont des sources intenses.

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

I : puissance par unité de surface ($W \cdot m^{-2}$) ; P : puissance en Watt (W) ;

S : la surface du faisceau (en m^2)

Application :

Le rayon initial r du faisceau laser hélium-néon utilisé au laboratoire est de l'ordre de $0,4 \text{ mm}$ pour une puissance de 2 mW .

Calcule sa puissance par unité de surface.

Solution :

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{\pi r^2} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{(0,4 \cdot 10^{-3})^2 \times \pi} = 3,98 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot m^{-2} \approx 4 \text{ W} \cdot m^{-2}$$

Cette puissance est quatre fois supérieure à la puissance maximale du rayonnement solaire par unité de surface au niveau du sol. Recevoir le faisceau laser dans l'œil peut donc avoir des conséquences graves.

NB :

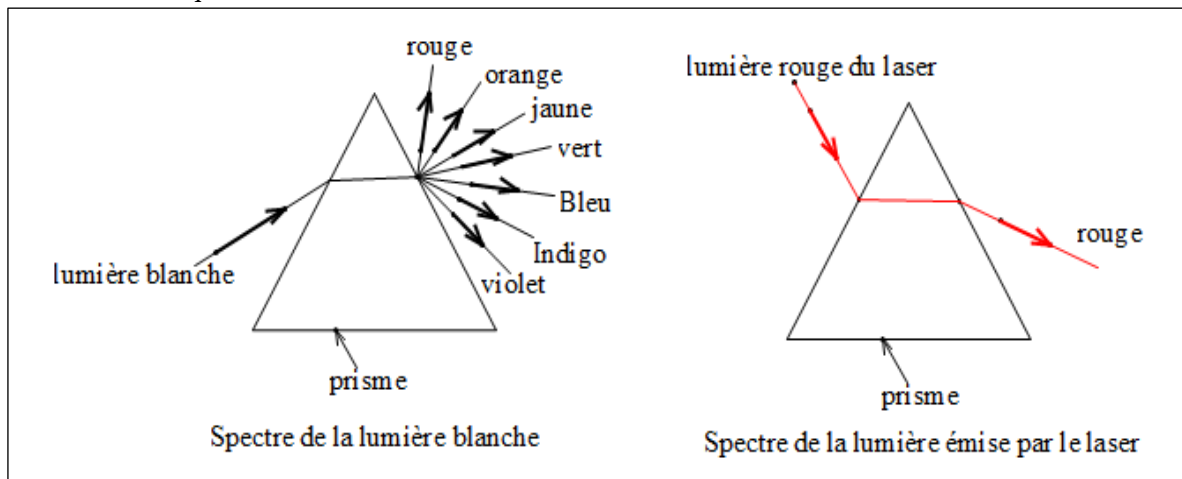
Les lasers sont des sources lumineuses très intenses.

Les faisceaux lasers sont dangereux pour les yeux.

c. Monochromaticité

Nous savons que la lumière est décomposée lors de son passage dans un prisme ; on réalise ainsi le spectre de la lumière. Le spectre des sources classiques est constitué de plusieurs raies ou est continue.

La lumière blanche est polychromatique, elle est constituée de sept raies. Par contre, le spectre de la lumière laser est constitué d'une seule raie : on dit que la lumière laser est monochromatique.



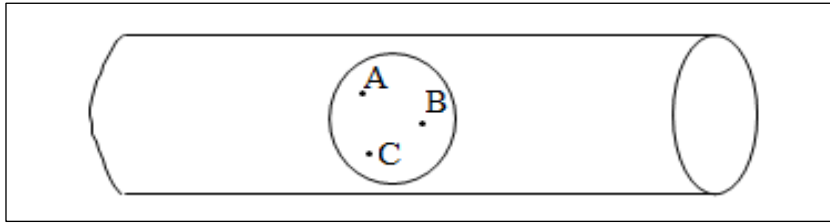
d. Cohérence

La lumière laser possède une grande cohérence spatiale et une grande cohérence temporelle.

➤ Cohérence spatiale

Réalisons une expérience d'interférence en éclairant directement deux ouvertures circulaires S_1 et S_2 identiques par un faisceau laser ; les sources ainsi constituées sont mutuellement cohérentes.

Faisons tourner le faisceau autour de son axe, la figure observée n'est pas modifiée. Nous pouvons en conclure qu'en tous les points d'un plan perpendiculaire au faisceau laser, les ondes sont cohérentes : on dit la lumière laser est spatialement cohérente.



Cohérence spatiale du faisceau laser : en tous les points ($A, B, C \dots$) d'un plan perpendiculaire au faisceau laser, les ondes sont cohérentes.

➤ Cohérence temporelle

La longueur de cohérence est :

$$L = C \times t$$

t : temps de cohérence (durée d'émission) : c'est la grandeur d'un train d'onde caractéristique de la source ;

C est la célérité de la lumière en $(m.s^{-1})$

Application :

Le temps de cohérence d'une source classique est de l'ordre de 10^{-13} s.

Calcule la longueur de cohérence.

Solution :

La longueur de cohérence est :

$$L = C \times t = 3.10^8 \times 10^{-13} = 3.10^{-5} \text{ m} = 30 \text{ } \mu\text{m}$$

Activité 2 : Applications des lasers

Consigne :

Synthèse partielle :

1. Applications liées à la directivité du faisceau :

a. Alignements

La finesse du faisceau laser et sa directivité en font une bonne matérialisation de la ligne droite.

Il peut ainsi servir de guide d'alignement par exemple lors du percement du tunnel sous la manche.

b. Visées

Le faisceau laser est utilisé pour faire des relevés topographiques, pour désigner des éléments sur un écran (pointeurs à laser) ...

c. Télémétrie

Pour mesurer avec une précision la distance d d'un objet, on dirige un faisceau laser vers un miroir lié à cet objet ; la mesure de la durée t d'aller-retour du faisceau permet le calcul de la distance.

$$t = \frac{2d}{C} \implies d = \frac{C \times t}{2} \quad \text{avec} \quad C = 3.10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$$

d : distance en mètre (m) et t le temps en (s)

La méthode est utilisée pour mesurer avec précision la variation de la distance entre la terre et la lune.

2. Applications liées à la puissance par unité de surface du faisceau :

a. L'usinage des matériaux

La découpe, le perçage, la soudure, le nettoyage de matériaux sont réalisés avec des lasers de puissances moyennes.

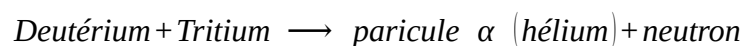
b. Les lasers en médecine

En chirurgie on utilise les lasers comme Scalpes ; Ce sont des lasers à dioxyde de carbone émettant dans l'infrarouge ($\lambda=10,6\mu\text{m}$), d'une puissance de quelques dizaines de Watts.

En ophtalmologie, on utilise un laser à impulsion pour traiter le décollement de la rétine.

c. La fusion nucléaire

A très haute température (de l'ordre de 10^8 K) on peut initier une réaction de fusion nucléaire entre le deutérium et le tritium. La réaction dégage beaucoup d'énergie :



C'est cette réaction qui a lieu lors de l'explosion d'une bombe à hydrogène qui serait réalisée à l'aide de lasers capables de fournir l'énergie nécessaire tel que les *LMJ* (*Lasers Mega Joule*) capables de fournir $1,8 \text{ MJ}$ en 16 ns environ.

3. Applications liées à la cohérence :

a. L'holographie

L'holographie est un procédé d'enregistrement sur une plaque photographique des interférences entre les ondes diffusées sur un objet et le faisceau direct qui l'éclaire ; on obtient un hologramme l'enregistrement holographique qui nécessite l'utilisation d'un faisceau laser.

b. Le refroidissement laser

L'Energie cinétique d'agitation d'un atome est proportionnelle à sa température, on peut donc refroidir des atomes en les ralentissant.

Par interaction entre des faisceaux lasers, on parvient à diminuer l'agitation thermique des atomes.

c. Les télécommunications par les fibres optiques

Dans une télécommunication par laser, c'est une onde lumineuse qu'il faut moduler ; on pourrait alors théoriquement transporter des centaines de millions de communications téléphoniques ou des centaines des milliers de canaux de télévisions.

NB : La fibre optique est un fil en verre ou en plastique transparent très fin, qui permet de canaliser des informations sur de longue distance (transmission des données).

Synthèse générale :

On appelle laser, tout appareil pouvant engendrer un faisceau de rayonnement cohérent dans le temps et dans l'espace.

1. Propriétés du laser

Un faisceau de laser est directif, intense, monochromatique et cohérent.

2. Applications du laser liées à ces qualités (propriétés) :

- a. Directivité :** alignement et télémétrie.
- b. Intensité :** usinages des matériaux, fusion nucléaire.
- c. Monochromaticité et cohérence :** holographie et télécommunications.