

2 Le LASER

2.1 Propriétés du LASER

- Contrairement aux sources de lumière classique, la lumière laser se propage dans une direction privilégiée : elle est *directive* (1).
- La lumière laser a une longueur d'onde clairement identifiée : elle est *monochromatique* (2).

Définition

Le laser présente des propriétés de *concentration spatio-temporelle* (3).

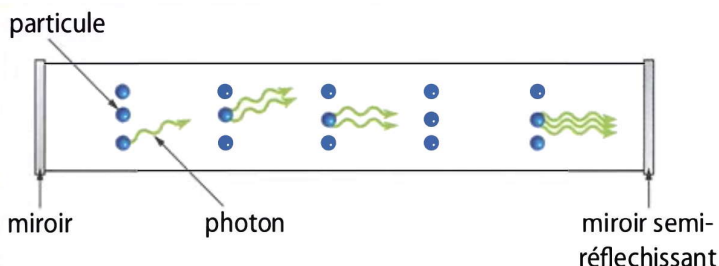
- La *concentration spatiale de l'énergie* (4) est une conséquence directe de sa directivité : l'ensemble de l'énergie produite est dirigé selon une direction, contrairement aux sources classiques.
- Le laser peut fournir son énergie de façon continue ou de façon pulsée. Dans ce dernier cas, plus l'impulsion est brève, plus le laser délivre une puissance instantanée importante : c'est la *concentration temporelle de l'énergie* (5).

2.2 Émission stimulée et amplification

Définition

Le laser émet des photons produits par *émission stimulée* (6).

L'émission stimulée permet, à partir d'un photon d'énergie adaptée, de faire apparaître un autre photon identique.



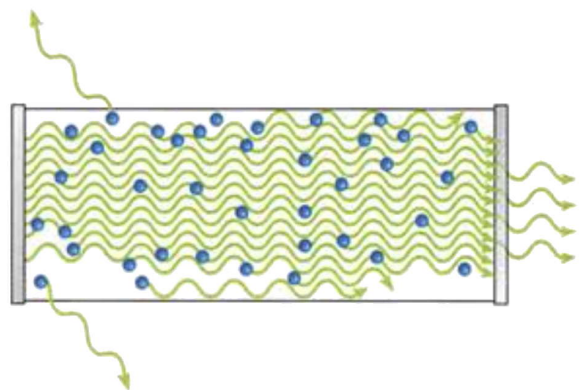
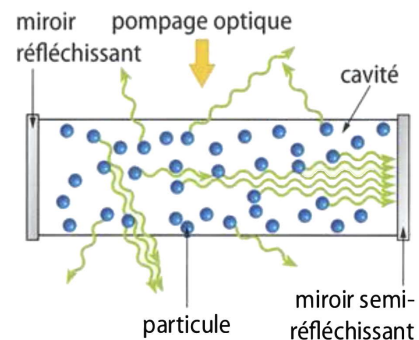
Définition

L'émission stimulée a pour effet d'*amplifier* (7) l'onde lumineuse incidente.

Pour qu'il y ait amplification de l'onde lumineuse, il faut qu'il y ait plus de particules dans un état d'énergie excitée, prêtes à produire des photons par émission stimulée, que dans l'état fondamental.

Donc pour amplifier l'onde lumineuse, il faut placer une majorité des particules de la cavité dans un état excité : c'est *l'inversion de population* (8).

On utilise couramment des flashes de lumière pour l'inversion de population, et dans ce cas particulier on parle de « pompage optique ». Bien entendu, d'autres types de « pompes » sont possibles.

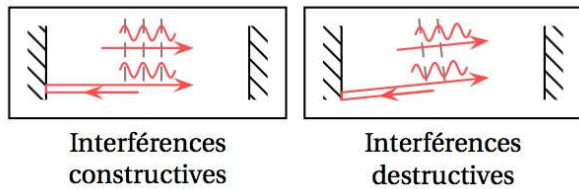


Définition

L'opération de *pompage* (9) consiste à placer une majorité des particules de la cavité laser dans un état excité : c'est *l'inversion de population* (10).

2.3 Principe du laser

Le laser produit une lumière très directive. Pour obtenir ce faisceau, la cavité est placée entre deux **miroirs** (11), l'un parfaitement réfléchissant, l'autre semi-réfléchissant. Les photons qui ne se déplacent pas dans une direction perpendiculaire aux miroirs disparaissent ou sont absorbés par les parois, ou par interférences destructives :



Seuls les photons parallèles au tube peuvent interférer de manière constructive, car ils ont un chemin optique constant.

La distance entre les deux miroirs est un multiple de la longueur d'onde des photons (ce réglage est essentiel, afin d'avoir des interférences constructives !). Le miroir partiellement réfléchissant laisse sortir le rayonnement laser.

Définition

Seuls les photons qui se déplacent dans la direction perpendiculaire aux miroirs peuvent sortir de la cavité laser : les miroirs ont ainsi pour effet de *sélectionner la direction* (12) des photons.

Le miroir semi-réfléchissant réfléchit 99 % des photons dans la cavité laser, qui joue ainsi le rôle de milieu amplificateur. Seuls 1 % des photons sortent de la cavité laser dans le cas d'un laser émettant en continu !

Définition

La multiplication des passages permet *d'augmenter* (13) le nombre de photons identiques produits par émission stimulée. Les pertes (photons disparus ou absorbés par les parois) sont compensées par des flashes qui maintiennent l'inversion de population.

Ce type de cavité est appelé :

$$\circ \quad (14)$$

D'où l'acronyme LASER : *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, en français : Amplification de la Lumière par Émission Stimulée de Rayonnement (ALÉSR).

2.4 Bilan du fonctionnement

Définition

Un laser fonctionne en trois étapes :

- *émission* (15) des photons stimulés ;
- *inversion de population* (16) d'atomes (pompage optique) ;
- *amplification* (17) du rayonnement émis.

Remarque

On peut comparer ce processus à l'effet *Larsen*, qui se produit lorsqu'un amplificateur (une chaîne HiFi) a sa sortie (le haut-parleur) trop proche de l'entrée (le micro). Le moindre bruit capté par le micro est amplifié, émis par le haut-parleur, capté par le micro, ré-amplifié jusqu'à la saturation du système (quand celui-ci fournit l'énergie maximum possible de par sa conception).

Dans un laser, cette énergie maximale est limitée par la puissance de la source de pompage, et par le nombre d'atomes qui peuvent être simultanément excités.

2.5 Réalisation de l'inversion de population

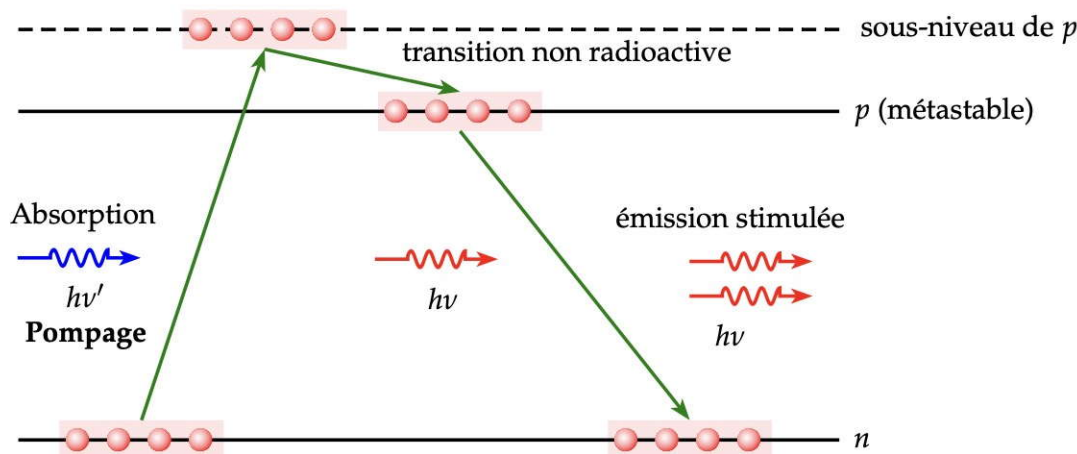
Comme vu précédemment, pour avoir une émission stimulée, les atomes doivent être dans un état excité. On oblige alors un grand nombre d'atomes à passer de l'état fondamental n à un état excité en absorbant des photons d'une certaine fréquence ν' (voir la figure ci-après).

En réalité, les atomes se trouvent à des sous-états énergétiques dans un premier temps pour passer dans la suite à l'état excité p .

Lors de l'émission stimulée, un grand nombre d'atomes parmi cette population va passer à l'état fondamental n en émettant un rayonnement de fréquence ν . Comme expliqué précédemment, cette phase d'amplification va être démultipliée par les multiples aller-retours des photons dans la cavité.

Remarque

Tous les atomes ne possèdent pas d'état métastable qui évite les émissions spontanées. C'est par exemple le cas avec le laser à rubis.




2.6 Bilan des propriétés du laser

1. Un faisceau laser est un rayonnement *monochromatique* (18). En effet un laser possède une fréquence très précise.
2. Un faisceau laser est un rayonnement *unidirectionnel* (19). En effet le faisceau émis est très peu *divergent* (quelques milliradians).
3. Un faisceau laser est un rayonnement *cohérent* (20). Tous les photons sont *en phase*.
4. Un faisceau laser possède une *grande* (21)

puissance lumineuse, car il est très concentré. Par exemple, le faisceau d'un petit laser hélium-néon d'une puissance de quelques milliwatts a une luminance, dans le rouge, mille fois supérieure à celle du Soleil!

Le laser a de multiples utilisations : dans l'industrie mais aussi pour la lecture de CD, la chirurgie ophtalmologique, l'épilation... et bientôt dans les ordinateurs « quantiques » (dans lesquels le silicium est remplacé par des chemins optiques).

 Activité n° 2 p. 365 et exercices n° 4, 5, 6, 10, 16 et 17 p. 392 à 396.