

Activité, transferts quantiques d'énergie

Le LASER

Document 1 Principe de fonctionnement d'un LASER

Le terme LASER provient de l'acronyme anglais « *light amplification by stimulated emission of radiation* », en français : « amplification de la lumière par émission stimulée de rayonnement ».

Le principe physique du laser a été décrit en 1917 par Einstein, il repose sur trois phénomènes physiques qui décrivent l'interaction d'un atome avec la lumière.

- l'**absorption** : un atome qui reçoit un photon de longueur d'onde adéquate, peut l'absorber. Il est alors dans un « état excité ».
- l'**émission spontanée** : l'atome excité peut revenir dans son état initial, appelé « état fondamental », en laissant partir un photon de même longueur d'onde que celui qu'il avait absorbé pour passer dans l'état excité.
- l'**émission stimulée** : lorsqu'un atome excité reçoit un photon dont la longueur d'onde aurait permis de l'exciter s'il avait été dans son état fondamental, ce photon peut « déclencher » (on dit « stimuler ») la désexcitation de l'atome. L'atome va alors émettre un deuxième photon, de même longueur d'onde que celui qu'il a reçu, mais aussi dans la même direction et avec la même phase que le premier. L'atome excité joue alors le rôle de « photocopieuse à photons » (**Fig.1**).

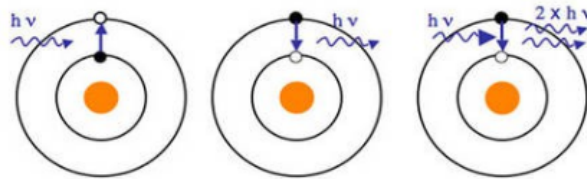


Fig.1 Excitation d'un atome par absorption, désexcitation d'un atome par émission spontanée d'un photon et désexcitation d'un atome par émission stimulée d'un photon.

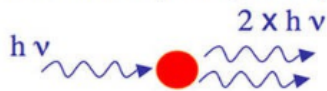
Une source laser associe un **amplificateur optique** basé sur l'effet laser à une **cavité optique**, encore appelée résonateur

L'effet laser repose sur l'émission spontanée. Imaginons un matériau, le milieu amplificateur, où les atomes sont pour la plupart dans un état excité. Tôt ou tard, un atome va émettre un photon par émission spontanée, et ce photon va entraîner une cascade d'émissions stimulées qui vont le « photocopier » un grand nombre de fois, jusqu'à atteindre une grande puissance : le faisceau laser est là (**Fig.2**).

Il n'y aura amplification que si les atomes sont plus nombreux à être dans « l'état excité » (susceptible d'émettre) que dans « l'état fondamental » (susceptible d'absorber) : il est nécessaire d'avoir une « **inversion de population** ».

Cependant, à l'équilibre thermodynamique, « l'état fondamental » est toujours le plus peuplé. Pour maintenir une inversion de population, il est nécessaire de fournir constamment un apport d'énergie extérieure aux atomes, pour ramener dans « l'état excité » ceux qui sont repassés dans « l'état fondamental » après l'émission stimulée : c'est le « **pompage** ». Les sources d'énergie extérieures peuvent être de différent type, par exemple un générateur électrique, ou un autre laser (pompage optique)...

L'émission stimulée « photocopie » les photons



Amplification par l'émission stimulée

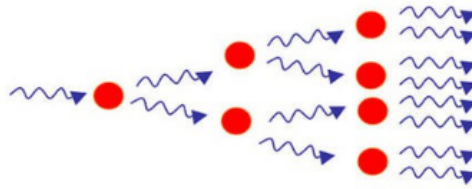


Fig.2 Amplification de photons (les points rouges représentent les atomes excités).

Pour assurer une émission dans la direction choisie, et augmenter l'effet de l'émission stimulée, on place le milieu amplificateur entre deux miroirs de manière à ce que la lumière fasse plusieurs allers-retours avant d'être émise : grâce à cette cavité optique, l'amplification gagne en efficacité (**Fig.3**).

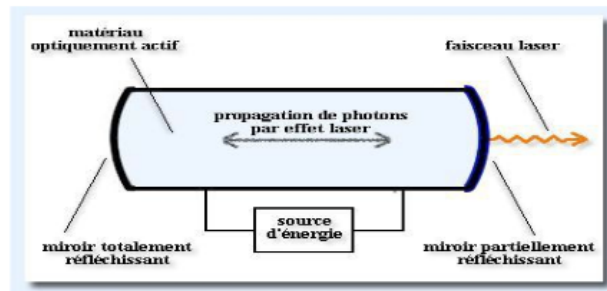


Fig.3 Schéma de principe d'un laser.

On classe les lasers selon six familles, en fonction de la nature du milieu excité. Par ailleurs, les lasers peuvent être aussi bien continu que fonctionner dans un régime impulsionnel, auquel cas on pourra les qualifier également selon la durée caractéristiques de leur impulsions.

Document 2 le LASER à gaz Hélium-Néon

Le laser hélium-néon est un laser à gaz de petite dimension (**Fig.4**). Il s'agit du laser que l'on retrouve le plus souvent dans les établissements scolaires pour les divers démonstrations d'optique. Il émet dans le rouge à 632,8 nm.

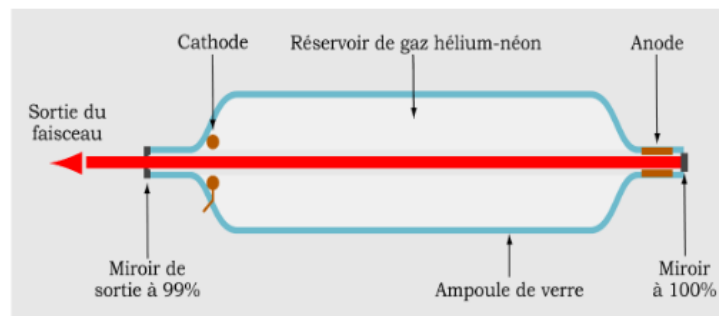


Fig.4 Constitution d'un laser hélium-néon.

Dans un laser hélium-néon, tout commence par la collision d'un électron provenant de la décharge électrique avec un atome d'hélium dans le mélange de gaz. Cette collision excite l'atome d'hélium de son « état fondamental » à un « état excité » à longue durée de vie qui est un « état excité métastable ». Une collision d'un atome d'hélium excité avec un atome de néon dans son « état fondamental » crée un transfert d'énergie vers l'atome de néon qui se trouve alors excité. Ceci est dû à la concordance des niveaux énergétiques des atomes d'hélium et de néon.

Le nombre d'atomes de néon à l'« état excité » augmente au fur et à mesure des collisions entre les atomes d'hélium et de néon, d'où il résulte, in fine, une inversion de population. L'émission spontanée et l'émission stimulée produisent une émission lumineuse à 632,82 nm qui est la longueur d'onde caractéristique du laser hélium-néon (**Fig.5**).

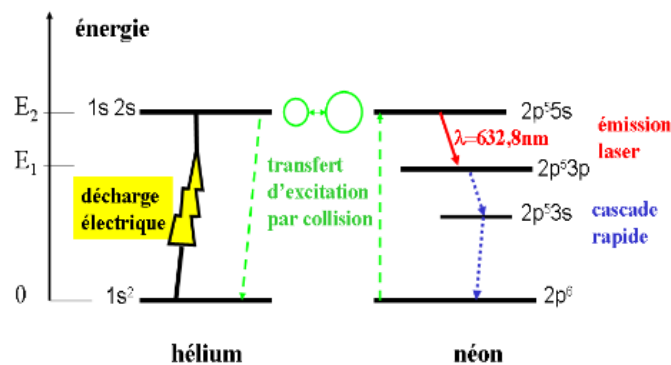


Fig.5 Niveaux d'énergie et transitions électroniques d'un laser hélium-néon.

Il existe d'autres transitions électroniques possibles. En adaptant la cavité optique, le laser hélium-néon peut émettre sur d'autres longueurs d'onde (**Fig.6**).

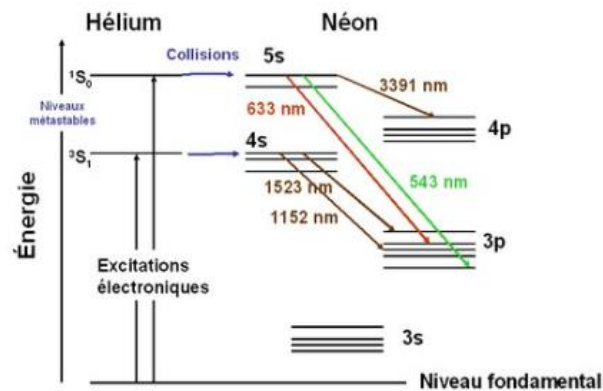


Fig.6 Niveaux d'énergie et transitions électroniques d'un laser hélium-néon plus complet.

Sources

Wikipédia, Futura-sciences, <http://cedric.despax.free.fr>

Questions

1. Rappeler l'allure du diagramme des niveaux d'énergie d'un atome. Placer l'état fondamental, l'état ionisé et les états excités sur le diagramme.
2. Représenter sur ce diagramme une transition correspondant à une émission spontanée. Quelle est l'expression de l'énergie mise en jeu en fonction de la fréquence du photon émis ?
3. Qu'appelle-t-on inversion de population dans le document 1 ? A quoi cela sert-il ?
4. Quelles sont les caractéristiques d'un photon émis par émission stimulée ?
5. La cavité résonante a une longueur choisie de telle manière que les ondes qui se superposent interfèrent de manière constructive à l'intérieur de celle-ci. En déduire l'intérêt de cette cavité résonante.
6. Pourquoi peut-on dire que la lumière émise par le LASER est monochromatique ?
7. Calculer la variation d'énergie en électronvolts associée à l'émission LASER de 632,8nm. On donne : $h=6,62.10^{-34}J.s$ et $1eV=1,6.10^{-19} J$
8. A quels domaines spectraux appartiennent les autres transitions électroniques possibles du LASER Hélium-Néon ? Pourquoi ne les observe-t-on pas dans le spectre de la lumière émise par le LASER qui émet à 632,8 nm ?