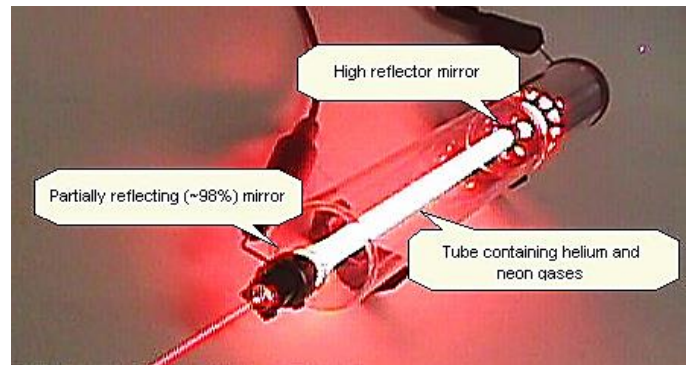


Activité 15.2 : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Depuis le premier faisceau laser dû à l'américain T. Maiman en 1960, de nombreux lasers ont été développés. Grâce à leurs propriétés très particulières (faisceau lumineux directif, monochromatique et très intense à la fois) les lasers ont aujourd'hui de nombreuses applications dans le domaine du traitement des matériaux, de la médecine, télécommunications, de l'instrumentation de précision . . .



1/ Les différents transferts d'énergie dans un atome :

Compétence travaillée : Extraire et utiliser des informations

Quand les atomes sont chauffés, excités par un courant électrique ou quand ils absorbent de la lumière, leurs électrons gagnent de l'énergie. Mais ils ne peuvent stocker l'énergie que de manière très spécifique. Ainsi que l'a montré Niels Bohr en 1913, les atomes ont des niveaux d'énergie bien précis, dits quantifiés, entre lesquels ils peuvent transiter. Ce faisant, l'atome absorbe ou émet une particule de lumière dénommée photon, dont l'existence, tout d'abord postulée par Max Planck en 1900, a été affirmée par Einstein en 1905. De même que les niveaux d'énergie de l'atome, *l'énergie du photon échangé et donc sa longueur d'onde et sa couleur qui s'en déduisent, sont déterminées par le type d'atome ou de molécule concerné.*

Dans les lampes habituelles, on fournit de l'énergie aux atomes avec un courant électrique, c'est-à-dire qu'on met un certain nombre de leurs électrons dans les états supérieurs ou « excités ». Ils redescendent rapidement et retombent vers l'état de plus basse énergie en émettant de la lumière de manière spontanée et désordonnée, dans toutes les directions et sur plusieurs longueurs d'onde.

Mais outre cette émission spontanée, il existe un autre processus, découvert par Einstein en 1917, appelé émission stimulée. [...] La lumière peut forcer l'atome à redescendre de son état excité en cédant son énergie : un photon frappe un atome et deux photons en ressortent. L'intérêt de ce processus est que la lumière est exactement identique à la lumière incidente ; elle va dans la même direction, et les deux ondes sont exactement en accord de phase.

Élisabeth Giacobino, « Les lasers », *La Physique et les éléments*, Odile Jacob, 2002.

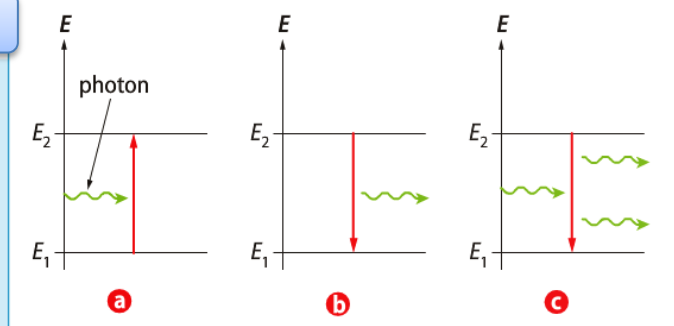


Fig. 1 Trois modes de transfert quantique d'énergie.

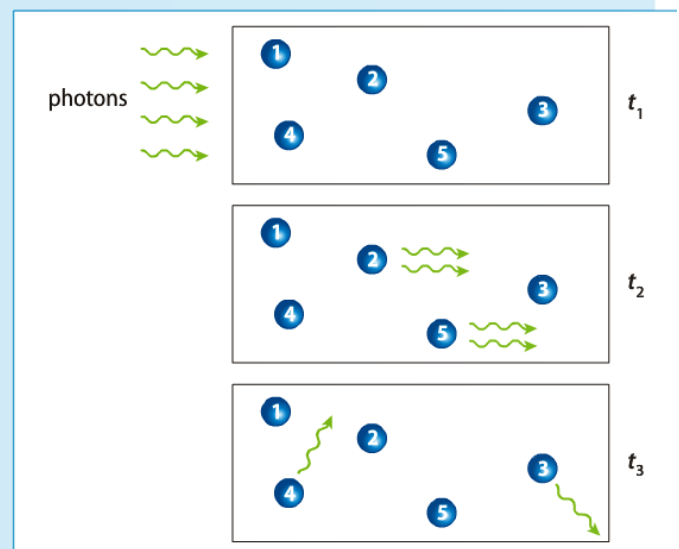


Fig. 2 Enceinte d'atomes identiques exposés à un ensemble de photons à trois dates croissantes.

Q1) Pourquoi dit-on que les échanges d'énergie avec l'atome sont quantifiés ?

Q2) Quels sont les trois modes de transfert d'énergie de l'atome évoqués dans le texte ? Associer chacun d'eux aux schémas de la fig. 1 et expliquer comment les mettre en œuvre.

Q3) Quels transferts d'énergie ont subis les cinq atomes de la fig.2 entre les instants t_1 et t_2 ? puis entre t_2 et t_3 ?

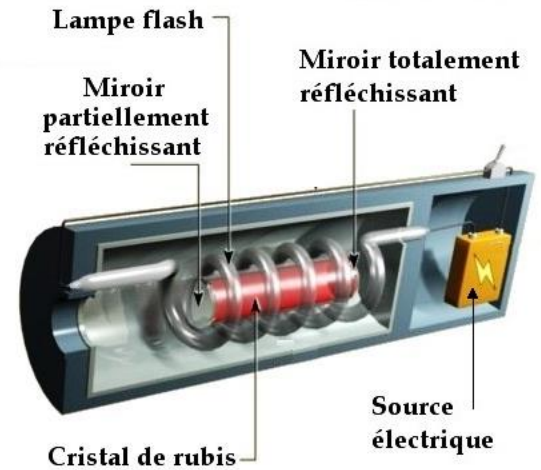
Q4) Quelles sont les caractéristiques des deux modes d'émission décrits dans le texte ?

2/ Fonctionnement du laser à rubis :

Compétences travaillées : Associer un modèle à un phénomène

Constitution :

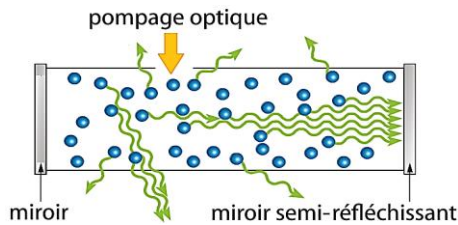
Le rubis est un cristal d'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) contenant des impuretés de chrome (Cr^{3+}) qui donne sa couleur rouge à la pierre. Dans un laser à rubis, une lampe au xénon émet un rayonnement lumineux qui excite ces ions Cr^{3+} , responsables de l'émission laser de longueur d'onde $\lambda = 694\text{nm}$:



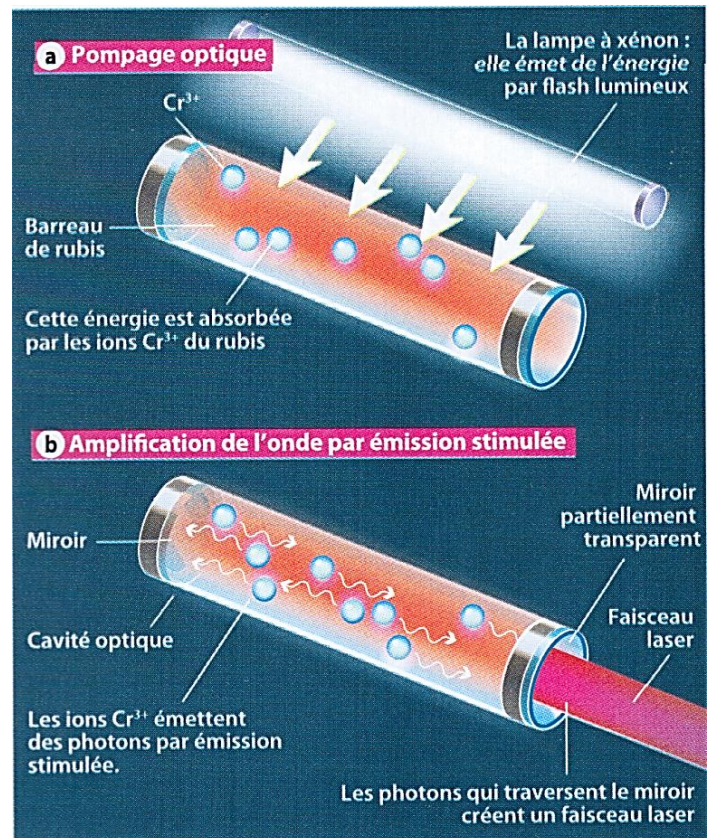
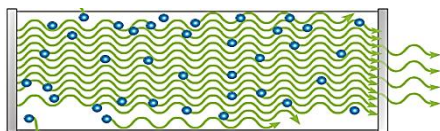
Principe de fonctionnement :

a) Les ions Cr^{3+} du barreau de rubis sont mis dans un état excité par apport extérieur d'énergie : c'est la phase de « pompage optique »

b) Les photons émis spontanément par les ions Cr^{3+} excités sont réfléchis par les miroirs placés de part et d'autre du barreau et provoquent l'émission stimulée des ions encore excités. Les photons libérés sont à leur tour réfléchis par les miroirs et le grand nombre de réflexions se traduit par une forte amplification de l'onde EM : c'est la phase « amplification par émission stimulée »



c) Un régime stable s'instaure ; l'un des miroirs étant semi transparent, une onde monochromatique et très directive sort du laser :



Q5) D'où provient l'apport extérieur d'énergie lors du pompage optique ? Pourquoi ce processus est-il nécessaire ?

Q6) Quelle est la valeur de la longueur d'onde des photons provoquant la désexcitation des ions Cr^{3+} ? la valeur de la longueur d'onde des photons émis lors de l'émission stimulée des ions Cr^{3+} ?

Q7) Schématiser le processus d'amplification par émission stimulée en précisant à quelles parties de la cavité optique elle est due.

Q8) Qu'est-ce qui permet d'expliquer la directivité du laser ? sa monochromaticité ?

3/ Les différents types de lasers :

Compétences travaillées : Identifier les paramètres jouant un rôle dans un phénomène physique

Il existe des lasers rouge, vert, bleu, mais aussi infrarouge ou ultraviolet. De quoi dépend la longueur d'onde d'un laser ?

Dans un laser, c'est le milieu amplificateur qui définit le type de rayonnement produit.

Le *laser He-Ne* est un laser à gaz. Le milieu amplificateur est constitué d'un mélange gazeux d'atomes d'hélium et de néon. C'est le néon qui est à l'origine de la radiation lumineuse émise. L'inversion de population, qui consiste à placer davantage d'atomes dans un état excité que dans l'état fondamental, est assurée par l'hélium. Les atomes d'hélium sont excités à l'aide d'une décharge électrique, puis cèdent leur énergie aux atomes de néon par collision. La collision a pour effet de placer les électrons du néon dans des états d'énergie supérieurs. Les électrons dans cet état excité vont céder leur énergie par émission stimulée, en produisant une radiation à 632 nm (Fig. 1).

Dans le *laser CO₂*, le milieu amplificateur est cette fois-ci un mélange gazeux de molécules de dioxyde de carbone et de diazote. C'est la molécule de dioxyde de carbone qui est responsable de la radiation émise et l'inversion de population est réalisée par la molécule de diazote. Le diazote, excité par une décharge électrique, transmet son énergie par collision au dioxyde de carbone. Contrairement à l'atome, qui n'échange de l'énergie que par des transitions électroniques, la molécule a aussi la possibilité d'emmagasiner de l'énergie sous forme vibratoire et donc d'effectuer des transitions entre ces niveaux d'énergie. En effet, les atomes d'une molécule sont comme liés par des micro-ressorts qui vibrent lorsqu'ils sont excités. La molécule de dioxyde de carbone est capable de vibrer selon les trois modes représentés sur la figure 2. Chaque mode de vibration correspond à un niveau d'énergie. Les deux transitions d'énergie du laser au dioxyde de carbone sont d'origine vibratoire. Les radiations produites ont pour longueurs d'onde 9,6 μm et 10,6 μm (Fig. 3).

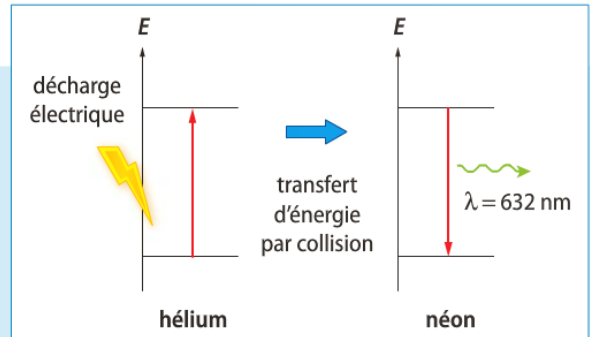


Fig. 1 Diagramme d'énergie simplifié du laser He-Ne.

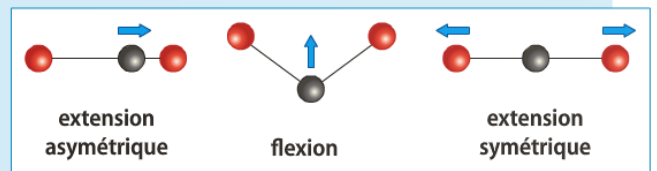


Fig. 2 Modes de vibration de la molécule de CO₂.

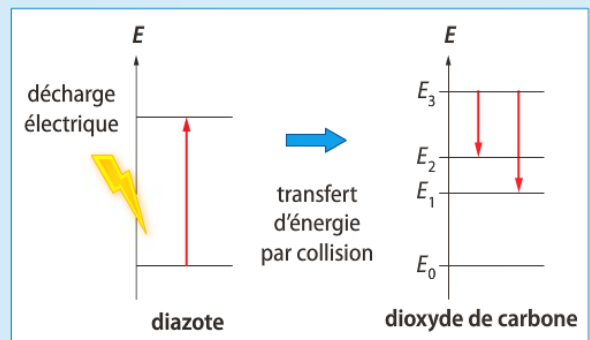


Fig. 3 Diagramme d'énergie simplifié du laser CO₂.

- Q9) Quelle différence existe-t-il entre le pompage optique du laser à rubis et celui du laser He-Ne ?
- Q10) Associer à chaque laser (rubis, He-Ne, CO₂) le milieu amplificateur et la longueur d'onde qui lui correspond.
- Q11) Sous quelle forme est emmagasinée l'énergie dans le laser à rubis ? dans le laser à He-Ne ? dans le laser à CO₂ ?
- Q12) Repérer sur la fig.3 à quelles transitions correspondent les émissions à 9,6 et 10,6 μm ?
- Q13) Dans quel domaine spectral émet le laser CO₂ ?
- Q14) Comparer les ordres de grandeur des énergies des transitions électroniques et vibratoires.