

Chapitre 15

Transferts quantiques d'énergie et dualité onde-particule

I. Dualité onde-corpuscule

Newton vs Huygens vs Maxwell vs Einstein vs De Broglie

I.1 La lumière

L'effet photoélectrique, découvert par *Heinrich Rudolf Hertz* en 1886, est un phénomène par lequel certains matériaux mettent en mouvement des électrons sous l'action de rayons lumineux. Ce phénomène est parfaitement expliqué par la physique classique.

L'énergie de la lumière est transportée par des **photons** qui présentent un **aspect particulaire** et **ondulatoire**.

Le photon est un quantum d'énergie ayant :

- une masse nulle
- une charge nulle
- une vitesse égale à c dans le vide

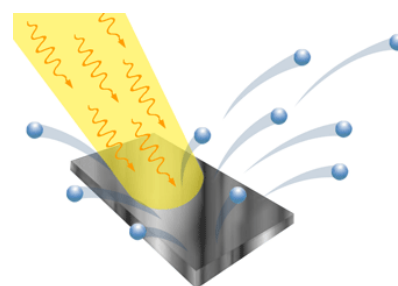
L'énergie E d'un photon est donnée par la relation :

$$E = h\nu \Leftrightarrow E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

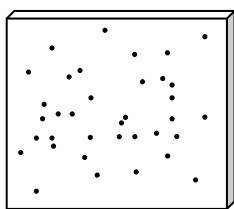
$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

E en J
 h (Cste de Planck) en $J\cdot s$
 c en $m\cdot s^{-1}$
 λ (longueur d'onde) en m
 ν (fréquence) en Hz

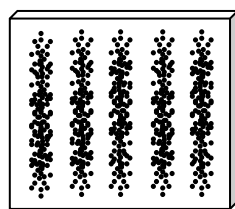
↓ Figure 1 : L'effet photoélectrique



I.2 La matière : exemple des électrons



↑ Figure 5



↑ Figure 6

Des électrons, petits bouts de matière, donnent un patron identique à celui d'une onde : une figure d'interférence.

Chaque électron part du canon comme une particule, mais devient une « onde de possibilités » et passe par les deux fentes en interférant avec lui même, puis tape le détecteur derrière les fentes comme une particule.

$$E = h \nu \quad \text{mais aussi.} \quad E = mc^2$$

- **Relation de De Broglie** : A toute particule de masse m , de vitesse v et de quantité de mouvement $p = m \cdot v$ est associée une onde de longueur d'onde λ telle que :

$$p = \frac{h}{\lambda} \quad \left| \begin{array}{l} h \text{ en } J\cdot s \\ p \text{ en } kg\cdot m\cdot s^{-1} \\ \lambda \text{ en } m \end{array} \right.$$

III. La lumière laser

III.1 Emission stimulée

Une émission spontanée a lieu de manière aléatoire et dans n'importe quelle direction de l'espace.

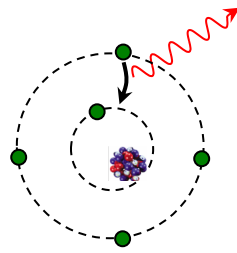


Figure 10.a ↗
Emission spontanée

En 1917, *Albert Einstein* prévoit l'émission stimulée à l'origine du principe de fonctionnement du laser.

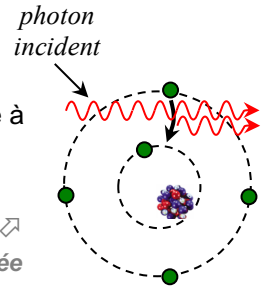
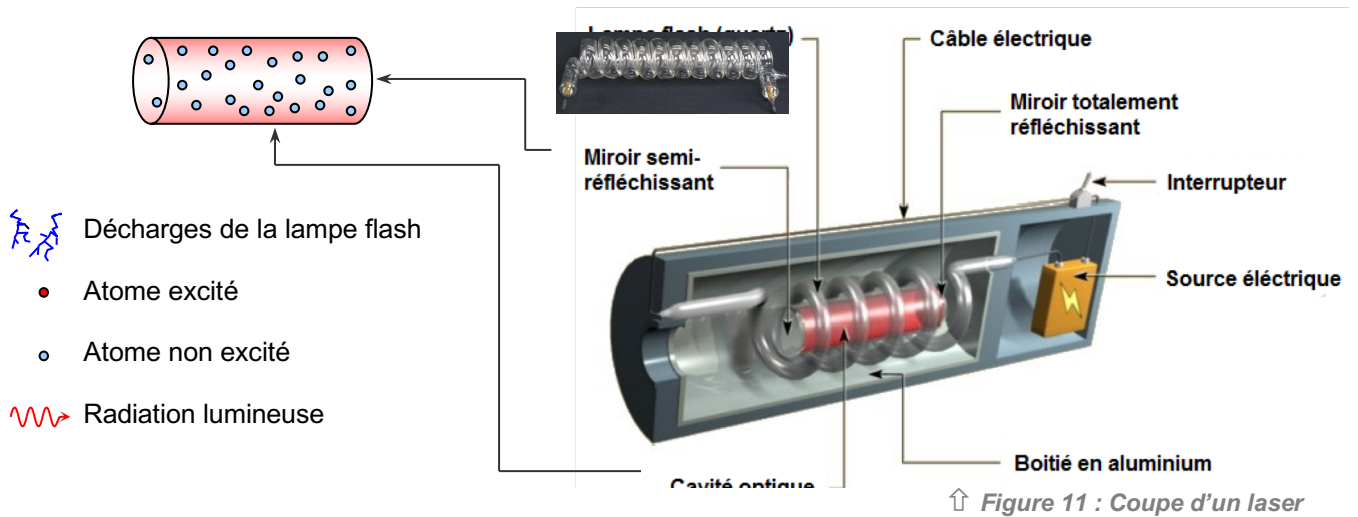


Figure 10.b ↗
Emission stimulée

Lors d'une émission stimulée (fig 10.b), un photon incident d'énergie E force un atome dans un état excité E_{sup} à passer à un niveau d'énergie inférieur E_{inf} en émettant un nouveau photon de même direction, sens, phase et énergie que le photon incident.

III.2 Principe du laser

Le mot **LASER** est un acronyme anglais : *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*



• L'allumage :

Des atomes sont placés dans une **cavité optique** : ils sont coincés entre deux miroirs dont l'un est semi réfléchissant.

Lors de l'allumage du laser, la lampe flash excite les atomes de la cavité (1).

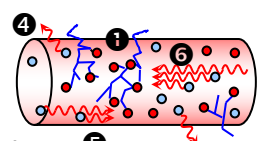
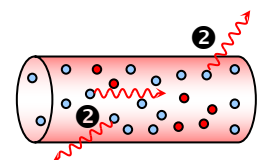
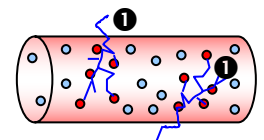
Les atomes alors excités se désexcitent spontanément dans des directions aléatoires (2).

• L'amplification de la lumière :

Les photons émis vers les miroirs sont renvoyés par réflexion à l'intérieur de la cavité optique (3). Les photons émis dans des directions autres que celle de l'axe de la cavité sont perdus (4).

Les deux photons (l'incident et le stimulé) peuvent à leur tour stimuler la désexcitation d'atomes voisins (5) et ainsi de suite. De fait, la lumière s'amplifie encore. Elle arrive alors à l'autre miroir, et ainsi de suite.

Un des miroirs étant semi réfléchissant, il laisse passer une partie de la lumière : c'est le faisceau laser.



⇕ Figure 12