

CHAPITRE 16 : TRANSFERTS QUANTIQUES D'ÉNERGIE ET DUALITÉ ONDE-CORPUSCULE

I. Deux descriptions de la matière

1. Rappels (chapitre 12)

L'approche **microscopique** décrit le **comportement individuel** des constituants d'un système (atomes, molécules, ..). Leur description passe par la mesure de leur vitesse, leur masse, leur charge électrique, ... Et leur observation peut se faire à l'aide de microscopes optiques très performants t.q. le **microscope à effet Tunnel** et le **microscope à force atomique** (activité). L'approche **macroscopique** ne s'intéresse qu'au **comportement d'ensemble** des constituants du système, à une échelle facilement accessible à l'être humain. Elle utilise des grandeurs comme la quantité de matière, la température, la pression, ..

Le passage d'une échelle à l'autre peut se faire en utilisant la **constante d'Avogadro** $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ (nombre d'entités dans une mole de cette entité).

Exemple : $m(\text{Fe}) = 15\text{g} \Rightarrow n(\text{Fe}) = m(\text{Fe})/M(\text{Fe}) = 2,7 \cdot 10^{-1} \text{ mol}$ et $N = n \cdot N_A = 1,6 \cdot 10^{23}$ atomes de Fer.

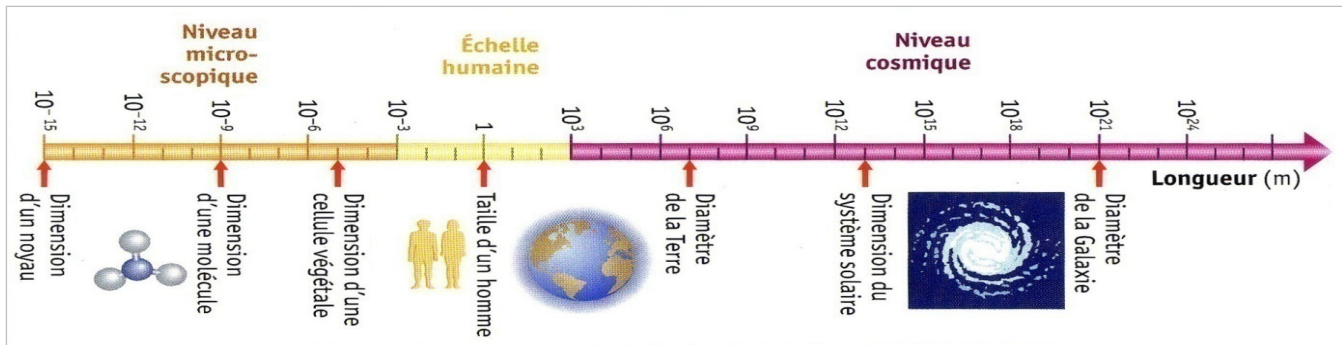
2. Ordres de grandeurs

L'ordre de grandeur d'un nombre représente la plus proche puissance de 10 de ce nombre.

On exprime ce nombre en puissance de 10, par exemple $N = a \times 10^n$.

- Si $a < 5$, alors on arrondit a à 1, et l'ordre de grandeur de N est 10^n .
- Sinon, si $a \geq 5$, alors on arrondit a à 10, et l'ordre de grandeur de N est 10^{n+1} .

Remarque : Attention à mettre le nombre en écriture scientifique d'abord !



II. Transferts quantiques d'énergie

1. Emission et absorption de photons par les atomes

La matière peut absorber ou émettre des rayonnements électromagnétiques. Au niveau microscopique cela correspond à l'absorption ou l'émission de photons par les atomes et il existe deux mécanismes de base :

- **L'absorption** d'un photon (l'atome passe d'un état d'énergie E_1 à un état d'énergie E_2 supérieure).
- **L'émission spontanée** d'un photon (désexcitation de l'atome dont l'énergie passe de E_2 à E_1 plus petite).

L'énergie $E = E_2 - E_1$ et la fréquence de la radiation associée au photon sont liés par la relation :

$$E = h \cdot \nu$$

où $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ est la constante de Planck.

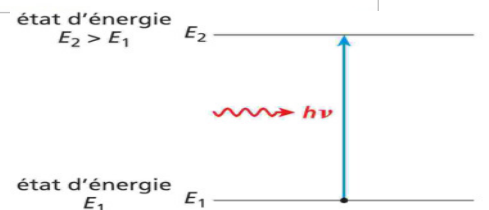


Fig. 1 Absorption d'un photon d'énergie $h\nu$.

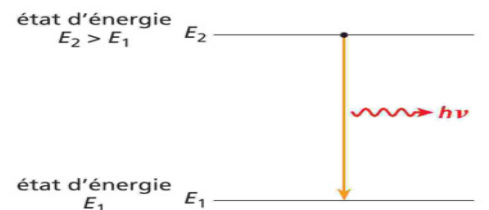
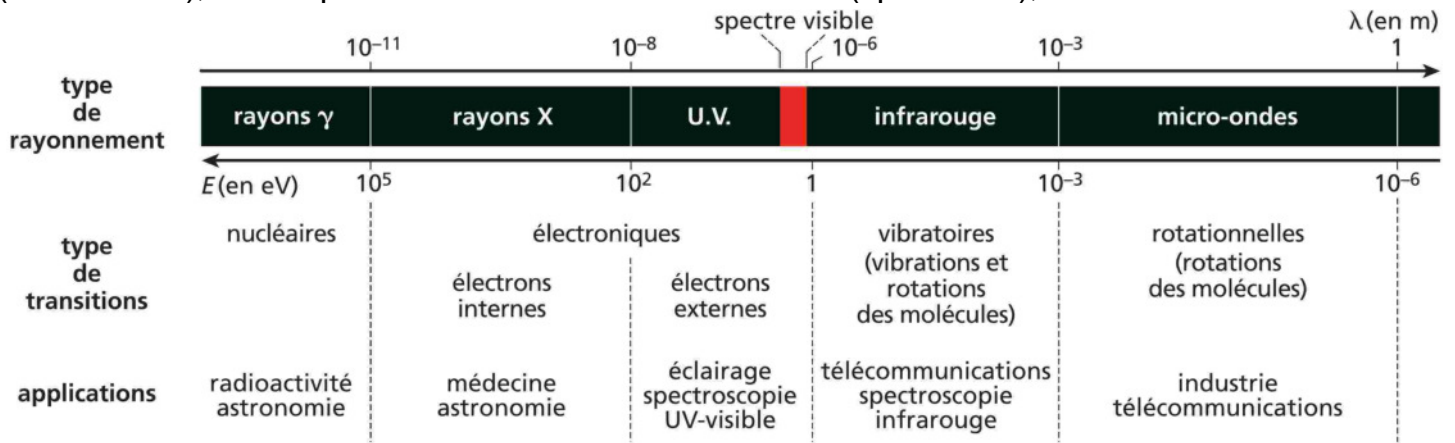


Fig. 2 Émission spontanée d'un photon d'énergie $h\nu$.

2. Types de transition d'énergie et domaines spectraux

L'interaction de la lumière avec la matière est à l'origine de nombreux phénomènes électriques, magnétiques, optiques et chimiques observables t.q. les interactions électriques entre les

électrons et le noyau d'un atome (spectro. UV-visible), nucléaires au sein des noyaux (radioactivité), électriques entre atomes d'une molécule (spectro IR), ..



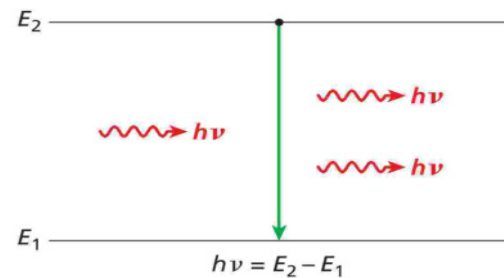
III. La lumière laser

1. Principe de fonctionnement

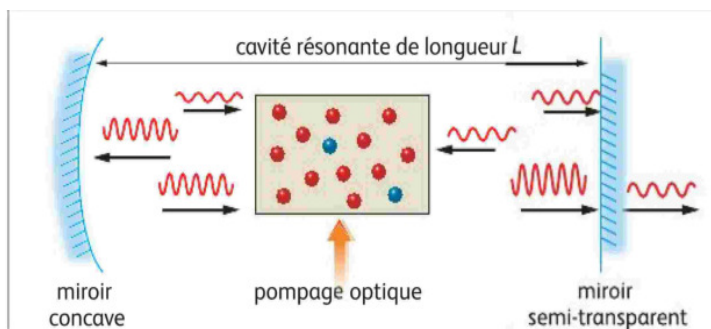
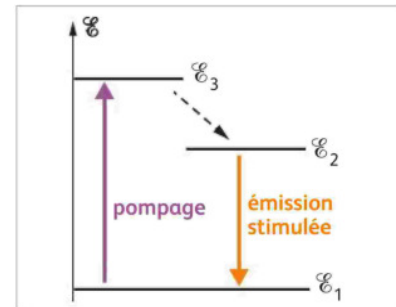
Laser = **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation.

En 1917 A.Einstein prévoit un autre mode d'émission : l'E.S.

Lors de l'émission stimulée (E.S.), un photon incident interagit avec un atome initialement excité et provoque l'émission d'un second photon par cet atome. L'énergie du photon incident doit être = à la différence d'énergie entre deux niveau d'énergie de cet atome. 2 photons sont alors obtenus après émission stimulée (le photon émis et le photon incident). Ils ont même fréquence, mêmes direction et sens de propagation et sont en phase.



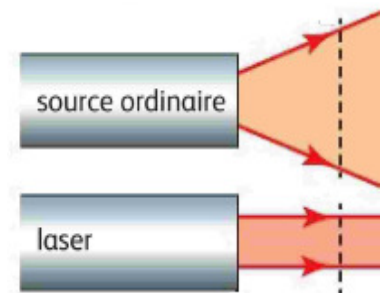
L'émission stimulée est favorisée par le phénomène d'**inversion de population** qui consiste à maintenir plus d'atomes dans un état excité que dans l'état fondamental (stable) Cette inversion de population se fait en fournissant de l'énergie aux atomes selon un procédé appelé **pompage optique**.



Dans un laser la cavité est limitée par deux miroirs (l'un partiellement transparent) entre lesquels les émissions stimulées successives font augmenter le nombre de photons qui ont même fréquence, même direction et sens de propagation et qui sont en phase. C'est **l'amplification par effet Laser**.

2. Caractéristiques de la lumière laser

- **Monochromaticité** du faisceau (1 longueur d'onde donnée est amplifiée_ Exple : 632,8nm pour le laser rouge du laboratoire).
- **Directivité** (étalement très limité de la lumière).
- **Concentration spatiale et temporelle de l'énergie** (puissance du laser concentrée sur une petite surface et émission qui peuvent être de brèves impulsions concentrant ainsi l'énergie dans le temps).



IV. Dualité onde-corpuscule (Louis de Broglie_1923)

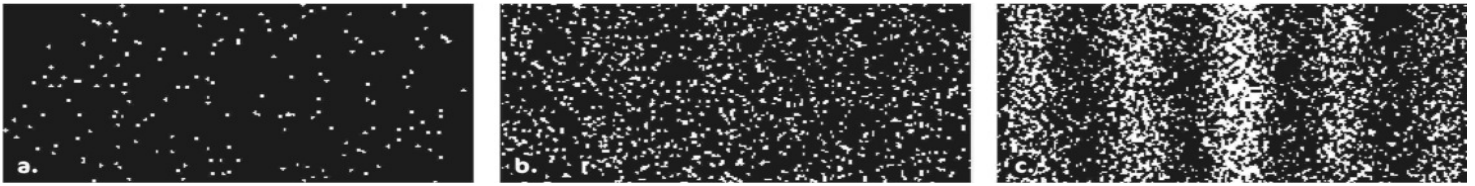
1. Définitions

- Pour la lumière : Le **photon** est une **particule** associée à une **onde** électromagnétique de fréquence ν . Il a une charge électrique et une masse nulles et se déplace dans le vide à une vitesse : $c=3,00.10^8\text{m.s}^{-1}$ avec une énergie $E=h \nu$
- Pour la matière : A toute particule de quantité de mouvement p (**$p=mv$**) est associée une onde de longueur d'onde λ t.q. : **$p=h/\lambda$** où p est en kg.m.s^{-1} et h la constante de Planck

Remarque : Pour que l'aspect ondulatoire de la matière se manifeste, la masse de la particule doit être relativement élevée (exple : électrons, protons et neutrons).

2. Interférences particule par particule

L'expérience des fentes d'Young est menée avec une source lumineuse dont on diminue l'intensité jusqu'à ce que les photons arrivent un par un sur l'écran (chaque photon produisant un impact). L'écran ne présente alors plus l'aspect d'une figure d'interférence.



On ne peut pas prévoir le lieu d'impact des photons sur l'écran mais on peut établir la probabilité de les observer à un endroit précis. Pour un grand nombre d'impacts cette probabilité est maximale à certains endroits et minimale à d'autres (c).

Les **phénomènes quantiques** présentent donc un **aspect probabiliste** : on peut au mieux établir une probabilité de présence.

Doc. Activité :

Le microscope à force atomique (ou AFM pour *atomic force microscope*) peut servir à visualiser la surface d'un échantillon, par contact avec celui-ci.

Une pointe en silicium (**Fig. 1**) est montée sur un levier flexible et réfléchissant, qui l'oblige à être en contact avec la surface à étudier (**Fig. 2**). À courte distance apparaissent des forces répulsives dues aux interactions entre nuages électroniques des atomes de silicium de la pointe et des atomes de la surface étudiée. La pointe balaie cette surface ; son mouvement vertical est suivi grâce à l'enregistrement par la photodiode de la déviation du faisceau laser envoyé sur le levier. Une des applications possibles est l'étude in vitro de l'ADN (**Fig. 3**).

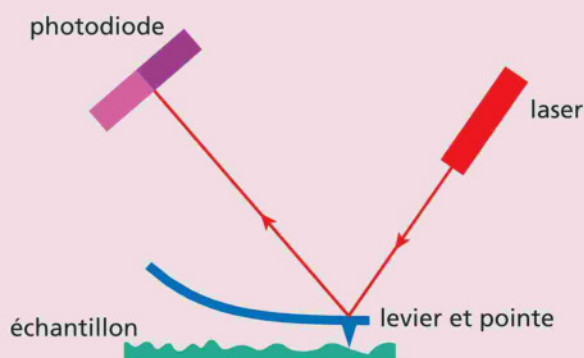


Fig. 2 Schéma de principe d'un microscope à force atomique.

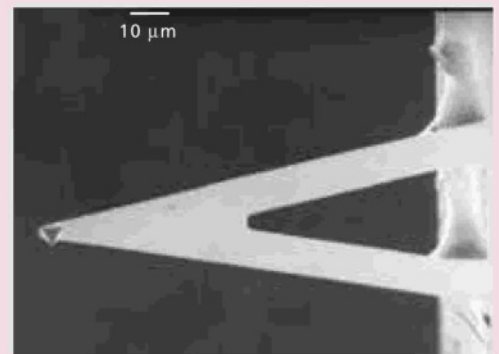


Fig. 1 Pointe d'un microscope à force atomique.

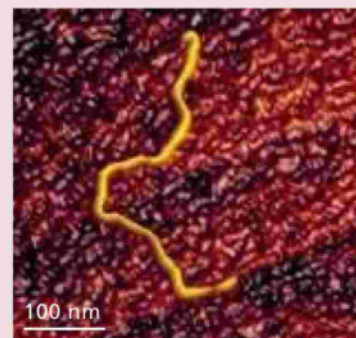


Fig. 3 Image d'un brin d'ADN observé à l'aide d'un microscope à force atomique.