

Exercice n°10 p. 390 – Connaître l'aspect probabiliste

1. La figure 1 ne laisse apparaître aucun ordre apparent dans l'impact des photons, qui semblent aboutir sur la cellule de façon totalement aléatoire. On ne peut pas prévoir le lieu d'impact d'un photon.
Pour des petits nombres, l'aspect aléatoire prédomine. C'est l'aspect corpusculaire qui domine.
2. La figure 2 laisse apparaître une tendance : quand bien même aucun point de la plaque sensible ne semble inaccessible, les photons ont plus de probabilité d'avoir

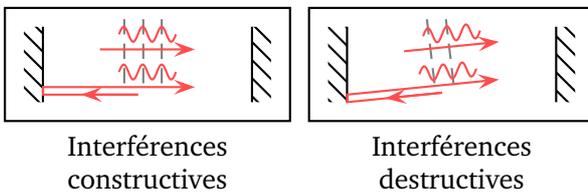
leur impact au niveau de trois bandes verticales.

Pour des grands nombres, l'aspect probabiliste prend le dessus. On obtient des franges d'interférence verticales. C'est l'aspect ondulatoire qui domine.

3. Les phénomènes quantiques sont par nature probabilistes (la fameuse phrase d'EINSTEIN « Dieu joue aux dés »). Les photons présentent une dualité onde-corpuscule intrinsèque.

Exercice n°13 p. 391 – Connaître quelques propriétés d'un laser

- Le laser est une source **monochromatique** (la longueur d'onde est celle de la raie d'émission sur laquelle le pompage optique a lieu) ;
- le faisceau est **peu divergent**, car seuls les photons parallèles au tube peuvent interférer de manière constructive, car ils ont un chemin optique constant. Les éventuels photons qui se dirigent de façon oblique dans le tube vont parcourir des chemins optiques différents et donc interférer de façon constructive.



On peut se rendre compte sur cette explication que le laser présente un pic central principal et des pics secondaires, mais il est facile d'éliminer les pics d'interférences constructives de part et d'autre du pic principal, dès lors que la fenêtre de sortie du laser est de petite taille ;

- le laser est une source **cohérente**, car tous les photons émis ont la même phase. C'est une propriété remarquable ; à contrario, le filament d'une ampoule à incandescence émet des photons de façon aléatoire, et du coup leurs phases sont totalement décorréliées ;
- l'énergie du laser est concentrée sur une petite surface ;
- si le laser fonctionne en continu, son énergie n'est pas concentrée dans le temps (il existe des lasers à impulsion très puissants qui concentrent toute leur énergie dans le temps).

Exercice n°20 p. 392 – Fonctionnement du laser hélium-néon

- 1.a. Les atomes d'hélium sont excités par une décharge électrique.
- 1.b. Les atomes de néon sont excités par des collisions avec des atomes d'hélium excités.
2. L'émission stimulée est initiée par des désexcitations spontanées entre les niveaux \mathcal{E}_4 et \mathcal{E}_3 .
- 3.a. Les photons de longueur d'onde 632,8 nm sont émis lors de la transition des niveaux \mathcal{E}_4 à \mathcal{E}_3 .
- 3.b. Énergie des photons émis :

$$E = \mathcal{E}_4 - \mathcal{E}_3 = \frac{hc}{\lambda}$$

$$E = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{632,8 \times 10^{-9}} = 3,14 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = \frac{3,14 \times 10^{-19}}{1,60 \times 10^{-19}} = 1,96 \text{ eV}$$

- 3.c. Énergie du niveau 3 :

$$E = \mathcal{E}_4 - \mathcal{E}_3 \iff \mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_4 - E$$

$$\implies \mathcal{E}_3 = 20,66 - 1,96 = 18,70 \text{ eV}$$

Exercice n°25 p. 394 – À chacun son rythme

Énergie cinétique :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

La vitesse v de la particule peut être déterminée en connaissant la longueur d'onde de la particule, à l'aide de la relation de de Broglie :

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{avec } p = mv$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{h}{mv} \Leftrightarrow v = \frac{h}{m\lambda}$$

Particule α :

$$v = \frac{6,63 \times 10^{-34}}{7300 \times 9,1 \times 10^{-31} \times 1,04 \times 10^{-14}}$$

$$v = 9,6 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Particule β^- :

$$v = \frac{6,63 \times 10^{-34}}{9,1 \times 10^{-31} \times 2,43 \times 10^{-11}}$$

$$v = 3,0 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Dans chaque cas, la vitesse de la particule v est très inférieure à la vitesse de la lumière ($v \ll c$), on peut donc négliger les effets relativistes et appliquer la formule classique de l'énergie cinétique. Particule α :

$$E_c = \frac{1}{2} \times 7300 \times 9,1 \times 10^{-31} \times (9,6 \times 10^6)^2$$

$$E_c = 3,1 \times 10^{-13} \text{ J} = 5,0 \text{ MeV}$$

Particule β^- :

$$E_c = \frac{1}{2} \times 9,1 \times 10^{-31} \times (3,0 \times 10^7)^2$$

$$E_c = 4,1 \times 10^{-16} \text{ J} = 2,6 \text{ keV}$$

On constate que la particule α a une énergie cinétique bien supérieure à celle de la particule β^- : la première transporte bien plus d'énergie que la seconde.

Exercice n°29 p. 396 – Le laser brûleur devient refroidisseur

1. $E = h\nu$ pour un photon, avec E son énergie en joule (J) et ν sa fréquence en hertz (Hz) ; par conséquent, fréquence et énergie sont proportionnelles, de constante de proportionnalité h , la constante de Planck.

Les photons ultraviolets ont une fréquence plus élevée que les photons visibles ou infrarouges, par conséquent ils ont aussi une énergie plus élevée.

2.a. Relation de Bohr :

$$\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = \frac{hc}{\lambda} \Leftrightarrow \lambda = \frac{hc}{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}$$

2.b. Un laser est une source monochromatique.

2.c. Un laser délivre un faisceau peu divergent, et une énergie localisée dans l'espace. Donc des faisceaux très directs.

3. Pour mettre en évidence l'aspect corpusculaire de la lumière, il faut détecter les quantas d'énergie, les photons, un par un, à leur arrivée sur un éventuel détecteur.

Pour mettre en évidence l'aspect ondulatoire de la lumière, il faut procéder à une expérience d'interférence des photons.

4.a. À l'aide de la relation de Bohr précédente, calculons la quantité d'énergie ΔE gagnée par l'atome de sodium par absorption d'un photon du laser de longueur d'onde $\lambda = 589 \text{ nm}$:

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\Delta E = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{589 \times 10^{-9}}$$

$$\Delta E = 3,38 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,11 \text{ eV}$$

L'atome de sodium étant dans son état fondamental $\mathcal{E}_1 = -5,14 \text{ eV}$, il va passer dans l'état excité 2, puisque $\mathcal{E}_1 + \Delta E = -5,14 + 2,11 = -3,03 \text{ eV}$ est exactement égal à l'énergie \mathcal{E}_2 du niveau excité 2.

Ainsi après absorption du photon l'atome de sodium a l'énergie $\mathcal{E}_2 = -3,03 \text{ eV}$.

4.b. Analyse dimensionnelle :

$$\left[\frac{h}{\lambda \cdot m} \right] = \frac{\text{J} \cdot \text{s}}{\text{m} \cdot \text{kg}}$$

Comme on peut le voir dans une formule comme $E_c = \frac{1}{2}mv^2$, le joule est équivalent à :

$$\text{J} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

En remplaçant dans l'expression précédente et en simplifiant :

$$\left[\frac{h}{\lambda \cdot m} \right] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{s}}{\text{m} \cdot \text{kg}} = \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Donc l'expression est bien homogène à une vitesse.

4.c. Calculons la diminution de la vitesse lors d'un choc :

$$\frac{h}{\lambda \cdot m} = \frac{6,63 \times 10^{-34}}{589 \times 10^{-9} \times 3,82 \times 10^{-26}}$$

$$\frac{h}{\lambda \cdot m} = 2,95 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Quotient de la vitesse de l'atome sur cette diminution de vitesse :

$$\frac{3,0 \times 10^3}{2,95 \times 10^{-2}} = 1,02 \times 10^5 \text{ chocs}$$

Donc plus de cent mille chocs sont nécessaires.

4.d. Si l'on utilise un laser d'une autre longueur d'onde, il faut calculer la quantité d'énergie ΔE transportée par

un tel photon, afin de vérifier si ce photon peut être absorbé par l'atome :

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\Delta E = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{488 \times 10^{-9}}$$

$$\Delta E = 4,08 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,55 \text{ eV}$$

L'atome de sodium étant dans son état fondamental $\mathcal{E}_1 = -5,14 \text{ eV}$, il ne peut pas absorber un tel photon, puisque $\mathcal{E}_1 + \Delta E = -5,14 + 2,55 = -2,59 \text{ eV}$ est une valeur d'énergie de l'atome qui n'est pas permise. Le photon ne sera pas absorbé.

★ ★
★