

Dualité onde corpuscule et quantification de l'énergie

Flasher ce code pour
accéder aux corrigés



Exercices

Exercice 1 : Longueur d'onde de de Bröglie d'une balle de tennis

[◇◇◇◇]

Nadal sert à $200 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, la balle est-elle diffractée par la raquette de Federer ?

Exercice 2 : Bras automatisé d'un robot

[◆◇◇◇]

Considérons le bras automatisé d'un robot chargé d'enfoncer une pièce dans une autre.

- ▷ Masse de la pièce : $m = 10 \text{ g}$;
 - ▷ Position finale de la pièce : doit être précise à mieux que $\Delta x = 0,1 \text{ mm}$;
 - ▷ Vitesse de la pièce au moment où elle est enfoncée : inférieure à $\Delta v = 1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.
- La précision du robot est-elle limitée par la physique quantique ?

Exercice 3 : Piégeage d'atomes

[◆◇◇◇]

Par des techniques de refroidissement laser et confinement magnétique, on peut piéger un nuage d'atomes de sodium.

- ▷ Masse d'un atome de sodium : $m = 4 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$;
 - ▷ En étudiant les positions des atomes du nuage, on mesure une dispersion $\Delta x \sim 3 \mu\text{m}$;
 - ▷ En étudiant les vitesses de ces atomes, on mesure une dispersion $\Delta v \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Peut-on améliorer le piégeage en gardant la même dispersion des vitesses ?

Exercice 4 : Expérience de Shimizu, Shimizu, et Takuma

[◆◆◆◇]

Cet exercice est basé sur l'article « Double-slit interference with ultracold metastable neon atoms », publié dans *Physical Review A* le 1^{er} juillet 1992 par les physiciens japonais F. Shimizu, K. Shimizu et H. Takuma. Ils ont réalisé une expérience d'interférences avec des atomes de néon dans un dispositif de fentes d'Young représenté figure 1 ci-dessous.

Un nuage de quelques millions d'atomes de néon est d'abord capturé dans une cellule à vide (« vacuum enclosure ») puis refroidi à $2,5 \text{ mK}$ dans un piège laser (« trap »). La taille du piège est de l'ordre de 1 mm . Les lasers formant le piège sont alors éteints, ce qui libère les atomes sans vitesse initiale. On peut alors les considérer en chute libre. Le piège est situé $d = 76 \text{ mm}$ au dessus de deux fentes séparées d'une distance $a = 6 \mu\text{m}$ (« double slit »). La largeur d'une fente est de $2 \mu\text{m}$. Un écran MCP (« microchannel plate detector ») est placé à une distance $D = 113 \text{ mm}$ sous la double fente et détecte les atomes de Néon avec une résolution de l'ordre de $20 \mu\text{m}$.

L'écran MCP enregistre l'impact de chaque atome, un impact étant représenté par un point sur la figure 2 ci-dessous. Ces impacts se distribuent suivant un système de franges semblable à celui obtenu dans le cas des interférences lumineuses ou acoustiques : des zones sombres (beaucoup d'impacts donc flux d'atomes intense), parallèles à la direction des fentes, alternent avec des zones claires (peu ou pas d'impacts donc flux d'atomes faible).

Données :

- ▷ Masse molaire du néon : $M = 20 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- ▷ La distance séparant deux franges de même type est appelée interfrange i et dans le cas d'une expérience de fentes d'Young, elle reliée à la longueur d'onde par

$$i = \frac{\lambda D}{a} .$$

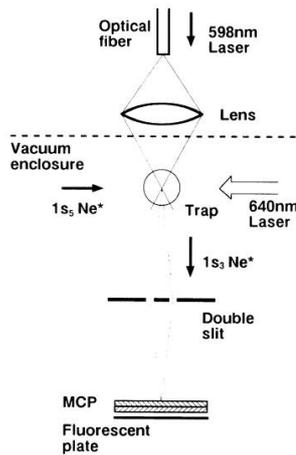


FIG. 1. Schematic experimental configuration. Details of the trap are not shown.



FIG. 2. The interference fringe pattern on the MCP for atoms with the initial velocity of approximately zero. The vertical length of the slit image is 2.8 mm. The spatial resolution of the picture is 20 and 32 μm for the horizontal and vertical directions, respectively. The narrowing of the fringe separation on the upper part is due to the damage of the double-slit structure. This figure contains approximately 6×10^3 atomic counts.

- 1 - Comment se manifestent respectivement les caractères corpusculaire et ondulatoire des atomes de néon dans cette expérience ?
- 2 - En admettant que les atomes se comportent indépendamment les uns des autres, expliquer ce qu'il advient d'un atome de néon lors de sa traversée du dispositif.
- 3 - Estimer l'ordre de grandeur de la longueur d'onde λ des atomes de néon dans ce dispositif interférentiel.
- 4 - En déduire un ordre de grandeur de la vitesse v des atomes de néon au cours de leur chute. Comparer à la vitesse d'un solide après une chute libre sans vitesse initiale de hauteur h qui vaut $v = \sqrt{2gh}$, où $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Exercice 5 : Taille de l'atome d'hydrogène



L'objectif de cet exercice est d'estimer l'ordre de grandeur de la taille de l'atome d'hydrogène par une modélisation semi-quantique, et par la même de comprendre comment la mécanique quantique permet d'expliquer la stabilité des atomes. Rappelons que le noyau de l'atome d'hydrogène est constitué d'un seul proton autour duquel « gravite » un électron sur une « orbite » de rayon a .

Données : masse de l'électron $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, constante de Planck réduite $\hbar = 1,1 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, permittivité diélectrique du vide $\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$.

- 1 - En admettant que l'électron de l'atome d'hydrogène doit être décrit par la mécanique quantique, donner l'ordre de grandeur de sa quantité de mouvement en fonction du rayon a .
- 2 - L'énergie totale de l'électron s'écrit sous la forme

$$E = \frac{\hbar^2}{2ma^2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 a}$$

Interpréter chacun des termes.

- 3 - Estimer l'ordre de grandeur de la taille a de l'atome, sachant qu'elle est telle que l'énergie de l'électron soit minimale.
- 4 - Une modélisation classique indique que l'électron en orbite circulaire à une distance a du proton a pour énergie mécanique

$$E_{\text{class}} = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a}$$

En outre, l'électron perd de l'énergie par émission d'une onde électromagnétique. Expliquer alors en quoi la mécanique quantique est à l'origine de la stabilité des atomes.