

21 ** Ralentissement d'un jet d'atomes

Compétences générales Extraire et exploiter des informations – Effectuer un raisonnement scientifique

On considère un jet d'atomes de sodium sortant d'un four à la vitesse $v_0 = 1,00 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ce jet d'atomes est éclairé de face par un faisceau laser choisi de telle sorte que les atomes de sodium, dans leur état fondamental, puissent absorber les photons du faisceau. Lorsqu'un atome absorbe ou émet un photon, sa vitesse est modifiée.



Dans le cas présent, on montre que l'absorption d'un photon s'accompagne d'une diminution de la vitesse donnée par la relation :

$$|\Delta v| = \frac{hv}{mc}$$

avec hv l'énergie du photon et m la masse de l'atome.

- Que signifie la deuxième phrase de l'énoncé ?
- Calculer la diminution de vitesse pour un atome de sodium.
- Comparer cette diminution de vitesse à la vitesse initiale et conclure.
- Lorsqu'un atome de sodium absorbe un photon, il passe dans un état excité puis revient au niveau fondamental quasi-instantanément.

Le cycle absorption-émission a une durée moyenne de 10^{-8} s . Dans le faisceau laser, l'atome va donc subir 10^8 cycles par seconde. Les photons émis lorsque l'atome se désexcite ont une direction aléatoire.

Préciser ce que veut dire « direction aléatoire » et en déduire qu'en moyenne, les photons émis ne modifient pas la vitesse de l'atome.

a. L'énergie des photons associés à cette radiation correspond à une transition possible entre le niveau fondamental et un niveau excité de l'atome de sodium.

b.
$$|\Delta v| = \frac{hv}{mc} = \frac{3,38 \times 10^{-19}}{3,82 \times 10^{-26} \times 3,00 \times 10^8} = 2,95 \times 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

c. Cette diminution est extrêmement faible. Elle correspond à :

$$\frac{2,95 \times 10^{-2}}{1,00 \times 10^3} \text{ soit environ } \frac{3}{100000}^e$$

de la vitesse initiale

d. NB : on s'arrange pour qu'il n'y ait pas d'émission stimulée. Le photon absorbé provient toujours de la même direction alors que le photon est émis dans n'importe quelle direction. Pour un grand nombre d'émissions, les photons sont émis avec la même probabilité dans toutes les directions => Les photons absorbés diminuent la vitesse des atomes alors que les photons émis ne la modifient pas.

Données

- Masse de l'atome de sodium : $m = 3,82 \times 10^{-26} \text{ kg}$.
- Énergie du photon : $hv = 3,38 \times 10^{-19} \text{ J}$.

21 ** Ralentissement d'un jet d'atomes

Compétences générales Extraire et exploiter des informations – Effectuer un raisonnement scientifique

On considère un jet d'atomes de sodium sortant d'un four à la vitesse $v_0 = 1,00 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ce jet d'atomes est éclairé de face par un faisceau laser choisi de telle sorte que les atomes de sodium, dans leur état fondamental, puissent absorber les photons du faisceau. Lorsqu'un atome absorbe ou émet un photon, sa vitesse est modifiée.



Dans le cas présent, on montre que l'absorption d'un photon s'accompagne d'une diminution de la vitesse donnée par la relation :

$$|\Delta v| = \frac{hv}{mc}$$

avec hv l'énergie du photon et m la masse de l'atome.

e. Calculer l'accélération moyenne $a = \left| \frac{\Delta v}{\Delta t} \right|$ due à l'absorption des photons, à laquelle est soumis l'atome de sodium.

Comparer cette accélération à l'accélération de la pesanteur $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

f. À l'accélération calculée précédemment correspond une force \vec{F} de valeur $F = ma$, opposée au mouvement de l'atome. En supposant l'atome soumis uniquement à cette force, calculer le temps qu'il faut pour l'arrêter et la distance parcourue depuis la sortie du four.

Expression de x à partir de v_x :

$$x = \frac{1}{2} (-2,95 \cdot 10^6) t^2 + 1,00 \cdot 10^3 t$$

Donc, pendant les $3,39 \cdot 10^{-4} \text{ s}$, l'atome aura parcouru la distance $x = 0,169 \text{ m}$

Le cycle absorption-émission a une durée moyenne de 10^{-8} s . Dans le faisceau laser, l'atome va donc subir 10^8 cycles par seconde. Les photons émis lorsque l'atome se désexcite ont une direction aléatoire.

Données

- Masse de l'atome de sodium : $m = 3,82 \times 10^{-26} \text{ kg}$.
- Énergie du photon : $hv = 3,38 \times 10^{-19} \text{ J}$.

$$e. \quad a = \left| \frac{\Delta v}{\Delta t} \right| = \frac{2,95 \times 10^{-2}}{10^{-8}} = 2,95 \times 10^6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Cette décélération (accélération négative) est considérable : environ 3×10^5 fois plus grande que l'accélération de la pesanteur

f. En choisissant un axe Ox orienté dans le sens du mouvement des atomes de sodium (vers la gauche), exprimons la vitesse :

$$v_x = a_x t + v_{x0} = -2,95 \cdot 10^6 t + 1,00 \cdot 10^3$$

On en déduit la date à laquelle cette vitesse s'annule :

$$t = -1,00 \cdot 10^3 / -2,95 \cdot 10^6 = 3,39 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

NB : on retrouve ce résultat en considérant le nombre de photons qu'il faut absorber pour que la vitesse passe de 1000 à 0 m/s :

$$t = 10^{-8}(\text{s}) \times 1000 / 2,95 \cdot 10^{-2}$$

21 ** Ralentissement d'un jet d'atomes

Compétences générales Extraire et exploiter des informations – Effectuer un raisonnement scientifique

On considère un jet d'atomes de sodium sortant d'un four à la vitesse $v_0 = 1,00 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ce jet d'atomes est éclairé de face par un faisceau laser choisi de telle sorte que les atomes de sodium, dans leur état fondamental, puissent absorber les photons du faisceau. Lorsqu'un atome absorbe ou émet un photon, sa vitesse est modifiée.



Dans le cas présent, on montre que l'absorption d'un photon s'accompagne d'une diminution de la vitesse donnée par la relation :

$$|\Delta v| = \frac{hv}{mc}$$

avec hv l'énergie du photon et m la masse de l'atome.

g. En réalité, le problème du ralentissement est un peu plus délicat car il faut modifier la fréquence du laser au cours de l'expérience pour que les photons continuent à être absorbés. Justifier cette nécessité en précisant le nom de l'effet mis en jeu.

g. Les atomes étant en mouvement, la fréquence des photons absorbés dépend de la vitesse des atomes de sodium. Il s'agit de l'effet Doppler.

Le cycle absorption-émission a une durée moyenne de 10^{-8} s. Dans le faisceau laser, l'atome va donc subir 10^8 cycles par seconde. Les photons émis lorsque l'atome se désexcite ont une direction aléatoire.

Données

- Masse de l'atome de sodium : $m = 3,82 \times 10^{-26} \text{ kg}$.
- Énergie du photon : $hv = 3,38 \times 10^{-19} \text{ J}$.