

Chapitre 19 – Transferts quantiques d'énergie

Corrigés des parcours en autonomie

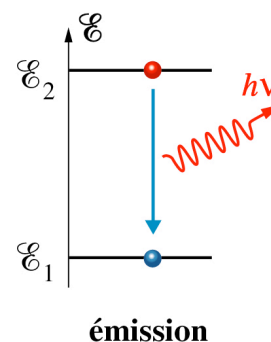
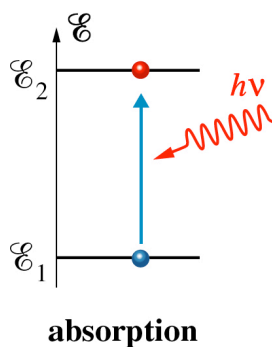
Préparer l'évaluation 14 16 19 22

14 Zoom sur l'interprétation d'une formule

a. L'atome passe du niveau fondamental  $\mathcal{E}_1$ , qui constitue donc l'état initial, au niveau excité  $\mathcal{E}_2$  qui constitue l'état final. On a donc :

$$\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 > 0 \text{ car } \mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1$$

b. L'énergie du photon a pour expression  $\mathcal{E}_{\text{photon}} = h\nu$ . C'est une grandeur toujours positive. D'autre part, il n'y a absorption du photon que si la transition est possible, c'est-à-dire si l'énergie apportée par le photon correspond au passage du niveau fondamental au niveau excité.



On a donc :  $\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = h\nu$

c. L'énergie du photon est la même. Elle est toujours positive et a comme valeur  $\mathcal{E}_{\text{photon}} = h\nu$ .

d. Pour l'émission, l'état excité  $\mathcal{E}_2$  est l'état initial et l'état fondamental  $\mathcal{E}_1$  est l'état final.

On a donc :  $\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 < 0$  car  $\mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1$

e. Puisque l'énergie du photon  $h\nu$  est toujours positive, on peut écrire :

$$\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = -h\nu \text{ ou encore } \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = h\nu$$

Cette relation  $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = h\nu$  est donc vraie à l'émission comme à l'absorption d'un photon.

16 Divergence d'un faisceau laser

a. Lorsque la lumière traverse une ouverture de petite dimension, elle subit le phénomène de diffraction.

b.  $\theta = \frac{1,22\lambda}{D} = \frac{1,22 \times 632,8 \times 10^{-9}}{0,90 \times 10^{-3}} = 8,6 \times 10^{-4} \text{ rad.}$

c. L'angle de divergence est le double de l'angle de première extinction soit  $1,7 \times 10^{-3} \text{ rad.}$

On en déduit le diamètre de la tache à 50 m :

$$d = 1,7 \times 10^{-3} \times 50 = 0,086 \text{ m} = 8,6 \text{ cm}$$

**19** Mesure d'une distance

- a. Elle est nulle puisque les deux faisceaux parcourent la même distance.
- b. Une plage brillante puisqu'il n'y a pas de déphasage entre les deux faisceaux.
- c. Les faisceaux font un aller-retour entre la lame semi-réfléchissante et les miroirs. Le faisceau qui se réfléchit sur le miroir  $M_2$  parcourt donc une distance supplémentaire égale à  $2d$ . On a donc  $\delta = 2d$ .
- d. Il y a interférence constructive si  $\delta = k\lambda$ ,  $k$  appartenant à  $Z$ .
- e. La première plage brillante correspond à  $k = 0$ .

La 633<sup>e</sup> plage brillante correspond à  $k = 632$  :

$$\delta = 2d = 632 \lambda \quad d = 316 \times 632 = 2,00 \times 10^5 \text{ nm} = 0,200 \text{ mm}$$

**22** Objectif BAC – Exploiter des documents

- a. L'énergie transportée par le faisceau laser provient du générateur qui produit la décharge électrique dans le gaz.
- b. La décharge électrique apporte l'énergie nécessaire aux atomes pour passer de l'état fondamental à l'état excité dans lequel ils se trouvent au moment de l'émission stimulée.
- c. La dernière phrase du document peut se mettre sous la forme mathématique :  $2L = n\lambda$ .
- d. En exprimant  $\lambda$  en fonction de la fréquence, cette expression devient :

$$2L = \frac{nc}{\nu_n} \text{ en appelant } \nu_n \text{ la fréquence correspondant à } n \Rightarrow \nu_n = \frac{nc}{2L}$$

Pour obtenir la plus petite différence entre deux fréquences, il faut donner à  $n$  deux valeurs consécutives:

$$\nu_{n+1} - \nu_n = \frac{(n+1)c}{2L} - \frac{nc}{2L} = \frac{c}{2L}$$

A.N. : 
$$\nu_{n+1} - \nu_n = \frac{3,00 \times 10^8}{2 \times 0,300} = 5,00 \times 10^8 \text{ Hz} = 500 \text{ MHz}$$

- e. Le mélange est tel que  $\Delta\nu = 1\,400 \text{ MHz} > \nu_{n+1} - \nu_n$  : il peut donc y avoir plusieurs fréquences émises (3 au total).

Remarque : en supposant que ce laser est le laser hélium néon utilisé dans les lycées, on peut considérer qu'il est monochromatique car :

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3,00 \times 10^8}{632 \times 10^{-9}} = 4,75 \times 10^{14} \text{ Hz} \quad \text{et} \quad \frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{5,00 \times 10^8}{4,75 \times 10^{14}} \approx 10^{-6}$$

**Approfondir** — **21** — **23** — **24**

**21** Ralentissement d'un jet d'atomes

- a. Cette phrase signifie que 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. 
$$|\Delta\nu| = \frac{h\nu}{mc}$$

$$\Delta\omega = \frac{3,38 \times 10^{-19}}{3,82 \times 10^{-26} \times 3,00 \times 10^8} = 2,95 \cdot 10^{-2} \mu \cdot \sigma^{-1}$$

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

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

d. Le photon absorbé provient toujours de la même direction alors que le photon est émis dans n'importe quelle direction, ce qui fait que pour un grand nombre d'émissions, les photons sont émis avec la même probabilité dans toutes les directions. La valeur de la vitesse, diminuée par l'émission d'un photon, peut être augmentée par un photon émis en sens inverse. Sur un grand nombre d'émissions, les variations de vitesse se compensent.

e. Appliquons la relation donnée dans le texte :

$$a = \frac{2,95 \times 10^{-2}}{10^{-8}} = 2,95 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Cette accélération est considérable : environ  $3 \times 10^5$  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, on a :

$$v_x = -2,95 \times 10^6 t + 1,00 \times 10^3$$

et

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

La première équation permet de calculer  $t$  en écrivant que  $v = 0$ . On trouve  $t = 3,39 \times 10^{-4}$  s.

En remplaçant dans la deuxième expression, on trouve  $x = 0,169$  m.

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.

### 23 Apprendre à chercher

a. Énergie transportée dans une impulsion :

$$\mathcal{E}_{\text{imp}} = \mathcal{P}\Delta t = 30 \times 10^6 \times 100 \times 10^{-15} = 3,0 \times 10^{-6} \text{ J}$$

b. Énergie d'un photon :

$$\mathcal{E}_{\text{photon}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \times 3,00 \times 10^8}{532 \times 10^{-9}} = 3,74 \times 10^{-19} \text{ J}$$

c. Nombre de photons par impulsion :

$$N = \frac{\mathcal{E}_{\text{imp}}}{\mathcal{E}_{\text{photon}}} = \frac{3,0 \times 10^{-6}}{3,74 \times 10^{-19}} = 8,0 \times 10^{12} \text{ photons}$$

d. Distance parcourue par la lumière en 100 fs :

$$L = v\Delta t = 3,00 \times 10^8 \times 100 \times 10^{-15} = 3,00 \times 10^{-5} \text{ m} = 3,00 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

e. La section du faisceau étant de  $1,0 \text{ mm}^2$ , les photons sont contenus dans un volume :

$$V = 1,0 \times 3,00 \times 10^{-2} = 3,0 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$$

f. On en déduit le nombre de photons par  $\text{mm}^3$  à la sortie du laser :

$$n = \frac{N}{V} = \frac{8,0 \times 10^{12}}{3,0 \times 10^{-2}} = 2,7 \times 10^{14} \text{ photons/mm}^3$$

## 24 Refroidissement Doppler

### 1. Premier cas

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

b. Non, puisque l'atome est immobile. Il « voit » donc les radiations avec la même fréquence. Celle-ci étant inférieure à la fréquence pour laquelle l'atome absorbe les photons, la probabilité que l'atome absorbe un photon est faible et identique pour les deux faisceaux.

c. Pour que l'atome se mette en mouvement, il faudrait qu'il absorbe les photons provenant d'un seul faisceau, ce qui n'est pas possible puisque la probabilité d'absorber est la même.

### 2. Deuxième cas

a. Non ; pour l'atome, les deux sources sont en mouvement. La source de gauche s'approche et celle de droite s'éloigne. Il y a donc un effet Doppler.

b. Plus la fréquence de la radiation est proche de la fréquence d'absorption, plus la probabilité d'absorber un photon augmente. Comme au départ,  $\nu < \nu_0$ , la probabilité va augmenter du côté où la fréquence vue par l'atome augmente, c'est-à-dire du côté où la source s'approche. Il y aura donc augmentation de la probabilité d'absorber un photon venant de la gauche et diminution de la probabilité d'absorber un photon provenant de la droite (puisque l'écart entre  $\nu$  et  $\nu_0$  augmente de ce côté).

c. L'ensemble « photon-atome » est un système isolé. La quantité de mouvement de l'ensemble reste constante au cours de l'absorption. La quantité de mouvement du photon étant de sens opposé à celle de l'atome, la quantité de mouvement de l'atome après absorption sera plus petite.

$$m\vec{v} + \vec{p}_{\text{photon}} = m\vec{v}' \quad \text{d'où} \quad m\nu - p_{\text{photon}} = m\nu' \quad \text{d'où} \quad \nu' < \nu$$

On peut également raisonner sur la force que subit l'atome lorsqu'il rencontre le photon.

d. Il se passe le phénomène inverse, l'atome va absorber les photons venant de la droite, ce qui va diminuer sa vitesse.

e. Refroidir un gaz, c'est diminuer l'agitation thermique, c'est-à-dire les mouvements désordonnés des atomes. Ces mouvements étant de directions quelconques, il faut pouvoir les ralentir dans les trois dimensions d'où le dispositif.