Exercices transferts d'énergie quantique – P 417

Ex n°10

- Pour l'absorption du photon, l'atome doit se trouver dans l'état E_1.
- Pour l'émission simulée, l'atome doit se trouver dans l'état E_2.

Ex n°17

a. $\tan(\alpha/2) = d/2D$ donc $d = 2D \times \tan(\alpha/2)$ A.N. $d = 400 \times \tan(1{,}0\times10^{-3}) = 0{,}40$ m soit 40cm
b. $d' = 1$mm donc $D' = d' / (2\tan(\alpha/2))$ A.N. $D' = 1\times10^{-3} / 2\times\tan(1{,}0\times10^{-3}) = 0{,}5$ m soit 50cm La longueur de la cavité résonante est de 50cm ce qui est possible.

Ex n°18

a. $P_{max} = E/\Delta t$ A.N. $P_{max} = 30$ MW
b. Apporte suffisamment d'énergie pour casser les liaisons entre atomes.

Ex rappel : interférences avec des fente d'Young :

Pour réaliser des interférences, on éclaire directement des fentes d'Young à l'aide d'un faisceau laser. L'interfrange, mesurée sur un écran placé à 2,00 m du plan des fentes, vaut $i = 2{,}53$ mm.

a. Quelle propriété du faisceau laser permet d'obtenir des interférences sans placer une fente-source devant les fentes d'Young ?

b. Sachant que les fentes sont distantes de 0,50 mm, calculer la longueur d'onde de la lumière laser utilisée.

a. Interférences possibles car Laser source cohérente (les photons sont émis en même temps par les 2 fentes d'Young)
b. Rappel : interfrange : $i = \lambda.D/a$ où a : distance entre les 2 fentes
D'où $\lambda = i.a/D$ A.N. $\lambda = 2{,}53\times10^{-3} \times 0{,}50\times10^{-3} / 2{,}00 = 6{,}3\times10^{-7}$ m soit 630nm environ

Ex n°20

a. Il s'agit du domaine des infrarouges
b. $\Delta E = h.\nu = h.c/\lambda$ A.N. $\Delta E=1{,}2\times10^{-19}$ J soit $\Delta E = 7{,}7\times10^{-1}$ eV
E est de l'ordre de 1eV ce qui correspond à une énergie vibrationnelle d'une molécule.

Ex n°19

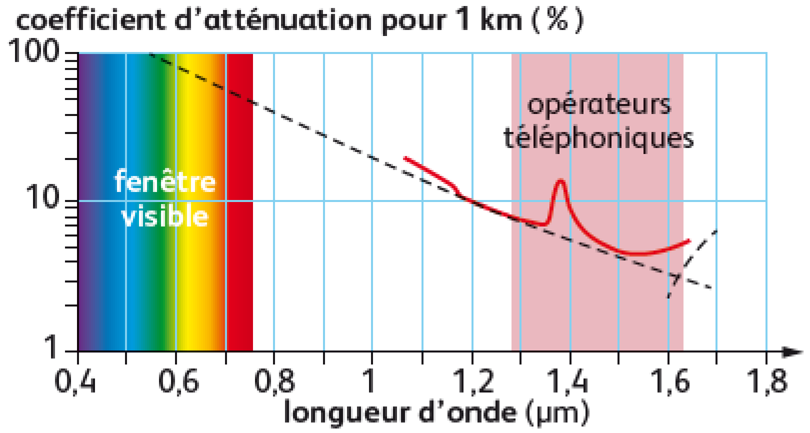
$\lambda = h.c/\Delta E$ A.N. $\lambda = 3{,}5\times10^{-7}$ m soit 350nm il s'agit des UV

Ex n°29

Energie d'un photon : $\Delta E = h.\nu = h.c/\lambda$ A.N. $\Delta E = 3{,}1\times10^{-19}$ J
Energie émise chaque seconde : 2×10^{-3} J.s^{-1}
Nombres de photons émis chaque seconde : $2\times10^{-3} / 3{,}1\times10^{-19} = 6{,}4\times10^{15}$ photons.s^{-1}

Exercice rappels : atténuation des ondes électromagnétiques

Pour transmettre de l'information à travers le monde (sons, images, vidéos, etc), on guide la lumière produite par des lasers à l'aide de fibres optiques. Ces fibres optiques, qui quadrillent le monde sur Terre et sous les mers, sont plus ou moins transparentes selon la longueur d'onde de la radiation lumineuse transportée. La figure ci-dessous représente le coefficient d'atténuation du signal optique en fonction de la longueur d'onde (courbe rouge).



a. Dans quel domaine spectral se situe la fenêtre de télécommunication ?

b. Dans quelle bande de longueurs d'onde faut-il émettre pour réduire les pertes ?

c. Quel est alors le coefficient d'atténuation ?

d. Tous les 50 à 100 km de fibre optique, on place des amplificateurs optiques. Justifier leur utilisation.

a. La fenêtre de télécommunication se situe dans les ondes radio
b. Pour limiter les pertes, il faut émettre des longueurs d'ondes suivantes $1{,}5\mu m < \lambda < 1{,}6\mu m$
c. Le coefficient d'atténuation est alors de 5% par km parcouru
d. Calcul de l'amplitude du signal :
   à 0km 100%
   au bout de 1km : $100\times(0{,}95)$ %
   au bout de 2 km : $100 \times (0{,}95) \times (0{,}95)$ %
   au bout de n km : $100 \times (0{,}95)^n$ %

   Au bout de 50km : $100 \times (0{,}95)^{50} = 7{,}6\%$
   Au bout de 100km : $100\times(0{,}95)^{100} = 0{,}6\%$

   Il faut amplifier le signal avant qu'il ne s'annule totalement, soit entre 50 et 100 km (il passe de 7 à 0%)

Ex n°25

a. Rappel : nombre d'onde $\sigma = 1/\lambda$ donc $\lambda = 1/\sigma$
   $\lambda_1 = 1/(2000) = 5\times10^{-4}$cm soit 5×10^{-6}m soit 5µm
   $\lambda_2 = 1/(4000) = 2{,}5\times10^{-3}$cm soit $2{,}5\times10^{-5}$m soit 25µm
   $5\mu m < \lambda < 25\mu m$ correspond au domaine des infrarouges dont les longueurs d'ondes sont supérieures à 800nm et inférieurs à 1mm
b. Calcul de l'énergie du photon infrarouge le plus énergétique (λ_1=5µm) : $E_1 = hc/\lambda_1$
   A.N. $E_1 = 6{,}63\times10^{-34}\times3{,}00\times10^{8}/5\times10^{-6} = 4\times10^{-20}$ J soit $E_1=2{,}5\times10^{-1}$eV
   Pour une transition de niveau d'énergie électronique, il faut $\Delta E > 1$eV. Le photon infrarouge le plus énergétique ne permet pas une telle transition.

c. Calculons E_2 (λ_2=25µm) $E_2=hc/\lambda_2 = E_1/5$ car $\lambda_2 = 5\lambda_1$ d'où $E_2=5{,}0\times10^{-2}$eV

d. Les états possibles de la molécule sont correspondent à des niveaux d'énergie nombreux et très serrés, pratiquement continus ; un grand nombre de photons d'énergies différentes peuvent être absorbées pour faire passer la molécule d'un des niveaux fondamentaux aux niveaux du 1er état excité, ce qui se traduit par l'absorption d'une bande (« plage ») continue d'énergie.

Exercice rappel diffraction par un trou

Le miroir semi-transparent du laser He-Ne présent dans les lycées a un diamètre utile de 0,90 mm (c'est le diamètre du faisceau à la sortie du laser).

a. Quel est le phénomène subi par la lumière lorsqu'elle traverse une ouverture de petite dimension ?

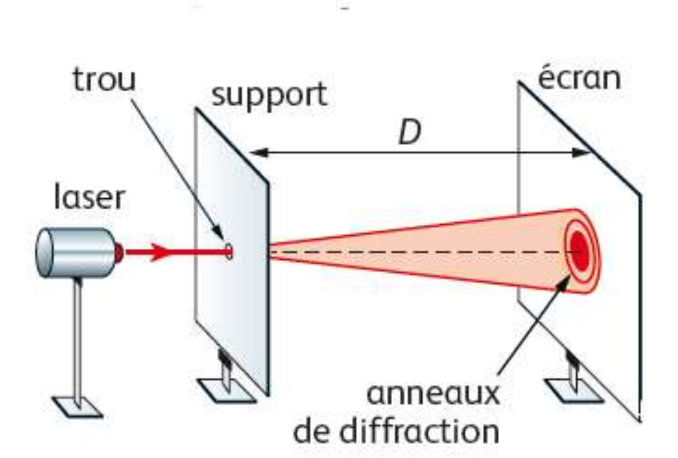
b. Calculer l'angle de première extinction θ, sachant que pour une ouverture circulaire : $\theta = \frac{1{,}22\lambda}{D}$, avec D le diamètre du trou.

c. En déduire l'angle de divergence du faisceau ainsi que le diamètre de la tache lumineuse sur un écran placé à 50 m.

Donnée : longueur d'onde de la lumière laser $\lambda = 632{,}8$ nm.

a. La lumière subit une diffraction.

Rappel :



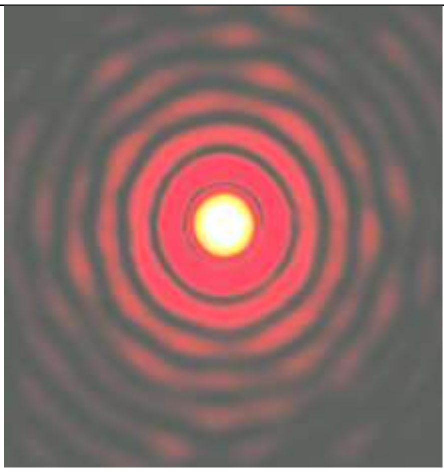
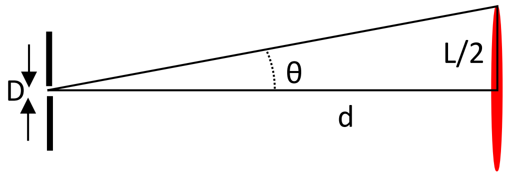


Figure de diffraction appelée tache d'Airy

- Ecart angulaire θ : $\theta = 1{,}22 \cdot \frac{\lambda}{D}$



b. $\theta = \frac{1{,}22\lambda}{D}$ A.N. $\theta = \frac{1{,}22\times632{,}8\times10^{-9}}{10{,}6\times10^{-6}} = 7{,}28\times10^{-2}\,rad$

c. Angle de divergence : α = 2θ = $1{,}46\times10^{-1}$rad

Dimension de la tache : $\theta \approx \tan\theta = \frac{L/2}{d}$ L = 2dθ A.N. L = $2\times50\times1{,}46\times10^{-1} = 7{,}28$m

Ex n°26

a. Domaine des infrarouges (10µm=1×10^{-5}m)

b. LA couleur du faisceau est rouge.

c. Il faut un guide visible pour bien cibler les ondes infrarouges invisibles.

d. Energie d'un photon : $E = h \cdot \nu = \dfrac{h \cdot c}{\lambda}$ A.N. $E = \dfrac{6{,}63\times10^{-34}\times3{,}00\times10^{8}}{10{,}6\times10^{-6}} = 1{,}88\times10^{-20}\,J$

Energie de tous les photons émis en 1s : $E_{tot} = E \cdot N$

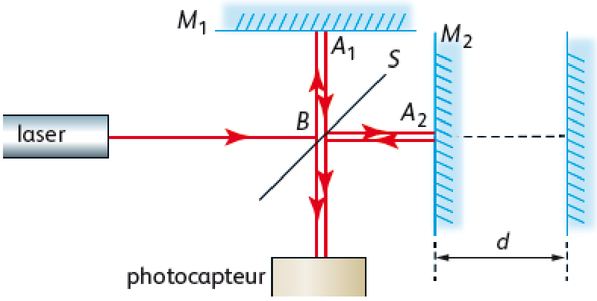
A.N. $E_{tot} = 1{,}88\times10^{-20}\times2{,}7\times10^{21} = 50{,}8J$

Puissance : $P = \dfrac{E}{\Delta t}$ A.N. $P = \dfrac{50{,}8}{1} = 50{,}8W$

Exercice rappel interférences

Pour mesurer avec précision la longueur d'un déplacement, on utilise un interféromètre de Michelson. Cet appareil comporte deux miroirs plans M_1 et M_2, perpendiculaires entre eux, et une lame séparatrice semi-réfléchissante S inclinée à 45° par rapport à M_1 et M_2.
Les faisceaux transmis ou réfléchis par S arrivent sur les miroirs sous incidence normale aux points notés A_1 et A_2. Le miroir M_2 est mobile sur un axe BA_2. À la sortie du dispositif, deux faisceaux parallèles, qui ont parcouru des trajets différents, peuvent interférer : leur état d'interférence est contrôlé par un photocapteur relié à une chaîne électronique de comptage.

On suppose que les faisceaux qui arrivent sur le photocapteur ont la même intensité.



Initialement, les deux miroirs sont symétriques l'un de l'autre par rapport à la lame semi-réfléchissante.

a. Que peut-on dire de la différence de marche δ entre les deux faisceaux qui interfèrent depuis leur séparation en B sur la lame S jusqu'à leur retour en ce point ?
b. Dans ces conditions, le photocapteur enregistre-t-il une plage sombre ou une plage brillante ?
c. On recule le miroir M_2 d'une distance d.
Exprimer la nouvelle différence de marche entre les deux faisceaux en fonction de d.
d. Quand le miroir s'immobilise, le photocapteur détecte une plage brillante et le compteur a enregistré le défilement de 632 plages sombres.
Rappeler la relation entre la différence de marche et la longueur d'onde dans le cas d'une interférence constructive.
e. Calculer la distance d sachant que la lumière émise par le laser a une longueur d'onde λ = 632 nm.

a. La différence de marche entre les photons est nulle : δ = 0

b. Les interférences sont constructives (δ = 0×λ). On observe une plage brillante.

c. Lorsqu'on recule le miroir M_2 de la distance d, le photon réfléchi par ce miroir parcourt une distance δ=2d en plus par rapport au photon réfléchi par le miroir M_1.

d. Dans le cas d'une interférence constructive : δ = k × λ où k est un nombre entier.

e. Le défilement de 632 plages sombres correspond à k = 632.
On a donc : d = δ/2 = k.λ/2 A.N. d = 632×632×10^{-18}/2 = 2,00×10^{-13}m

Ex n°32

a. La phrase signifie qu'on prend un laser émettant des photons dont l'énergie correspond exactement à la différence d'énergie entre l'état fondamental et l'état excité de l'atome de sodium.

b. $|\Delta V| = \dfrac{h\nu}{mc}$ A.N. $|\Delta V| = \dfrac{3{,}38\times10^{-19}}{3{,}82\times10^{-26}\times3{,}00\times10^{8}} = 2{,}95\times10^{-2}\,m\cdot s^{-1}$

c. $\dfrac{|\Delta v|}{v_0} = 0{,}003\%$ La diminution de vitesse n'est que de 0,003% pour l'absorption d'un seul photon.

d. Les photons sont émis dans des directions multiples, majoritairement différentes de celle de propagation des photons. Ils ne rencontrent donc pas de nouveaux atomes et ne modifient pas leurs vitesses.

e. Chaque seconde, il y a 10^8 absorptions. La diminution totale de vitesse est donc :
$\Delta V_{tot} = 2{,}95\times10^{-2}\times10^8 = 2{,}95\times10^6$ m.s^{-1}
L'accélération correspondante (en fait décélération) : $a = \Delta V_{tot}/\Delta t$
A.N. : $a = 2{,}95\times10^6/1 = 2{,}95\times10^6$ m.s^{-2}
Cette accélération est presque 30000 fois plus grande que g !

f. Par intégration de l'accélération, on a : $v(t) = - a . t + v_0$
Calculons t_{max} pour lequel $v(t_{max}) = 0$ $t_{max} = v_0 / a$ A.N. $t = 1000/2{,}95\times10^6 = 3{,}39\times10^{-3}$s
On peut aussi utiliser la définition de l'accélération : $a = \frac{|\Delta V|}{\Delta t}$
avec $\Delta V = 0 - v_0 = - v_0$ variation de vitesse pendant Δt
On a donc $\Delta t = \frac{|\Delta V|}{a} = \frac{v_0}{a}$

g. Il faut adapter la fréquence du laser en raison de l'effet Doppler : l'atome de sodium (cible) en mouvement perçoit un photon dont la fréquence diffère selon sa propre vitesse.

Ex n°34*

a. L'énergie transportée par le faisceau provient des décharges électriques
b. La décharge électrique est responsable du pompage optique : elle permet l'inversion de populations ce qui correspond à davantage d'atomes dans l'état excité que dans l'état fondamental.
c. Condition sur la longueur de la cavité optique : $2L = n.\lambda$
d. $2L = \lambda_1=c/\nu_1$ ou $2L = 2\lambda_2 =2c/\nu_2$ ou $2L = 3\lambda_3 = 3c/\nu_3$
On en déduit : $\nu_1 = c/2L$ ou $\nu_2 = c/L$ ou $\nu_3 = 3c/2L$
La plus petite différence $\Delta\nu = \nu_3 - \nu_2 = \nu_2 - \nu_1 = c/2L$
A.N. $\Delta\nu = 3{,}00\times10^8/0{,}600 = 5{,}00\times10^8$ Hz soit 500MHz
e. D'après l'étude menée plus haut, si $\Delta\nu$ n'est pas nulle, alors le Laser peut émettre plusieurs fréquences….

Ex n°33

Calcul de l'énergie d'un photon : $E_{photon} = hc/\lambda$ A.N. $E_{photon} = 3{,}74\times10^{-19}$ J

Calcul de l'énergie émise par le Laser pendant 1 impulsion :
$E = P.\Delta t$ A.N. $E = 3{,}00\times10^8\times100\times10^{-15} = 3{,}00\times10^{-6}$ J

Calcul du nombre de photons dans 1 impulsion : $N = E / E_{photon} = 8{,}02\times10^{12}$ photons

Calcul de la distance parcourue par les photons pendant 1 implusion (100fs) :
$d = c.\Delta t$ A.N. $d = 3{,}00\times10^8 \times 100\times10^{-15} = 3{,}00\times10^{-5}$m

Volume correspondant : $V = d\times S$ A.N. $V = 3{,}00\times10^{-2} \times 1{,}0 = 3{,}0\times10^{-2}$ mm^3

Calcul du nombre de photons par mm^3 : $N' = N / V = 2{,}67\times10^{14}$ photons