TD laser

I. **Applications du cours**

1. Donner l'écart en fréquence entre deux modes longitudinaux dans une cavité linéaire dont la longueur optique est $L = 300\ mm$.

2. Calculer le rapport N_2/N_1 à l'équilibre thermodynamique à $T = 300\ K$ pour deux niveaux d'énergie tels que les photons émis ou absorbés entre ces deux niveaux ont pour longueur d'onde $\lambda = 633\ nm$. Données: $h = 6,6.10^{-34}\ J.s$ et $k_B = 1,38.10^{-23}\ SI$.

3. Un laser hélium néon a pour waist $w_0 = 20\ cm$ et pour longueur d'onde $\lambda = 633\ nm$. Estimer le demi angle au sommet du faisceau conique et la longueur de Rayleigh. On pointe ce faisceau vers la Lune, située à distance $D = 384\ 000\ km$. Estimer le diamètre d_L de ce faisceau sur la lune.

4. Dans un système à deux niveaux d'énergie $E_2 > E_1$, on donne le taux d'accroissement de la population N_2 des atomes dans le niveau E_2:

$$\frac{dN_2}{dt} = Bu(\nu)N' - AN'' - Bu(\nu)N'''$$

A et B désignent les coefficients d'Einstein et $u(\nu)$ la densité volumique spectrale d'énergie de l'onde.

Dire à quels processus correspond chacun des termes et remplacer N', N'' et N''' par N_1 ou N_2. Exprimer $N_2 - N_1$ en régime stationnaire et en déduire s'il peut y avoir inversion de population.

On ajoute un processus de pompage décrit par le taux d'accroissement $(\frac{dN_2}{dt})_{pompage} = P$ constant. Déterminer la condition pour qu'en régime stationnaire, il puisse y avoir inversion de population.

5. Dans un système à deux niveaux d'énergie E_1 et E_2. Etablir l'équation différentielle vérifiée par $N_2(t)$ en présence du seul phénomène d'émission spontanée et en déduire $N_2(t)$. On donne A_{21} le coefficient d'Einstein lié à ce processus. En déduire une interprétation de A_{21}.

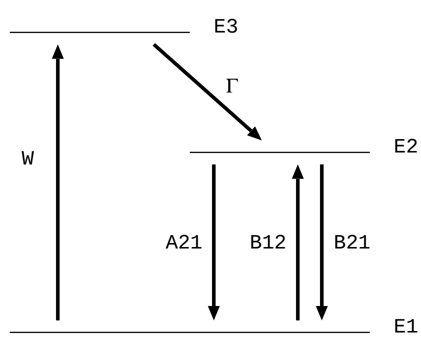
Réponses: 1- $\Delta f = 500\ MHz$ 2- $N_2/N_1 = 1,5.10^{-33}$ 3- $\theta = 3,17.10^{-6}\ rad$ et $d_L = 2,4\ km$ 4- $N_2 - N_1 = \frac{-AN_2}{Bu(\nu)}$ 6- $N_2(t) = N_2(0)e^{-At}$

II. **Laser à 3 niveaux d'énergie**

Le schéma des niveaux et des transitions d'un laser à 3 niveaux est donné ci-contre. On note $u(\nu)$ la densité énergétique donnée par la loi de Planck (en $J.m^{-3}.Hz^{-1}$).

On note N_1, N_2 et N_3 les nombres d'atomes dans les niveaux d'énergie E_1, E_2, E_3.

Les coefficients A_{21}, B_{21} et B_{12} sont les coefficients d'Einstein respectivement pour l'émission spontanée, l'émission stimulée et l'absorption. On a $B_{12} = B_{21} = B$. Les coefficients W et Γ sont en s^{-1}.



1. Ecrire en fonction des données $\frac{dN_3}{dt}$ et $\frac{dN_2}{dt}$. Pourquoi n'est ce pas nécessaire d'écrire $\frac{dN_1}{dt}$?

2. On pose $\Delta N = N_2 - N_1$ et $N_1 + N_2 + N_3 = N$. Exprimer N_2 en fonction de ΔN, N et N_3.

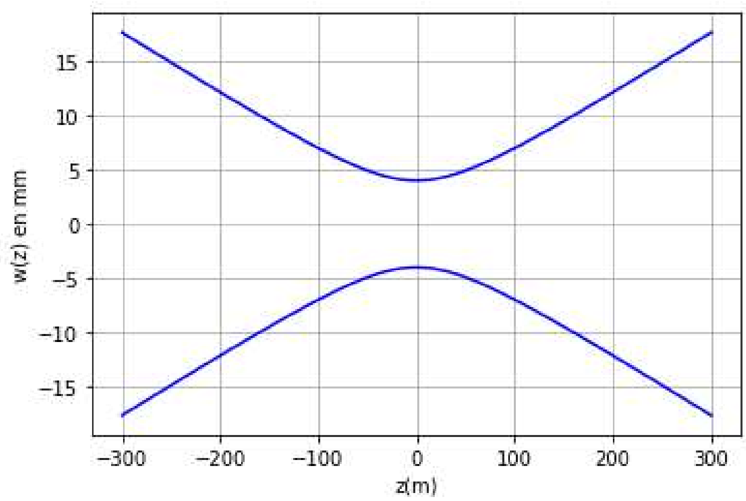
3. En régime stationnaire, montrer que l'on a $\Delta N = \frac{W - A_{21}}{W + A_{21} + 2Bu(\nu_0)}(N - N_3)$. En déduire une condition pour réaliser une inversion de population entre le niveaux 1 et 2.

Réponse: 2- $N_2 = \frac{\Delta N + N - N_3}{2}$ *3-* $W > A_{21}$

III. **Le faisceau laser**

Un faisceau laser de longueur d'onde $\lambda = 720\ nm$ est de révolution autour de l'axe Oz, la propagation se faisant selon Oz croissant. La puissance lumineuse du faisceau est $P = 1\ mW$.

La figure ci contre représente la coupe longitudinale du faisceau laser. L'échelle en abscisse est en millimètre et en ordonnée en mètre.



1. Lire sur le graphe la valeur du rayon minimal w_0 du faisceau, quel nom porte-t-il? En déduire l'intensité moyenne sur la section minimale du faisceau. Que vaut l'intensité du faisceau sur une section en $z = 200\ m$?

2. Déterminer graphiquement la longueur de Rayleigh.

3. Définir l'ouverture angulaire θ du faisceau (demi angle au sommet du faisceau conique). Calculer θ et prévoir la valeur numérique du rayon du faisceau pour $z = 500\ m$. On donne $L_R = \dfrac{\pi w_0^2}{\lambda}$: en déduire l'expression de θ en fonction de λ et w_0 et interpréter cette relation.

4. En optique géométrique, comment faut-il opérer pour obtenir un faisceau cylindrique plus large que le faisceau cylindrique incident en utilisant deux lentilles convergentes de focales images f_1' et f_2'? Préciser les conditions nécessaires et faire un schéma du dispositif pour expliquer. Exprimer en fonction de f_1' et f_2' le grandissement du système.

5. Le faisceau laser est dans sa zone de Fresnel (zone cylindrique) et traverse une lentille convergente L_1 de focale $f_1' = 5\ cm$. Déterminer les caractéristiques w_0', L_R' et θ' du faisceau gaussien émergent de la lentille L_1.

On place derrière L_1, une seconde lentille notée L_2 de telle sorte que le faisceau émergent de L_2 soit cylindrique avec un waist $w_0'' = 20,0\ mm$. Faire un schéma du montage et préciser la valeur de f_2'.

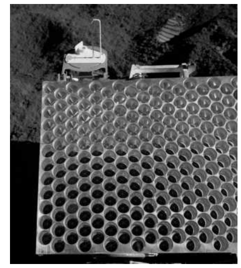
Réponses: 1- $I = 20\ W.m^{-2}$ *et* $I' = 2,0\ W.m^{-2}$ *2-* $L_R = 70\ m$ *3-* $\theta = 5,7.10^{-5}\ rad$ *4-* $\gamma = \dfrac{f_2'}{f_1'}$ *5-* $\theta' = 0,08\ rad,\ f_2' = 25\ cm$

IV. **Mesure de distance Terre Lune**

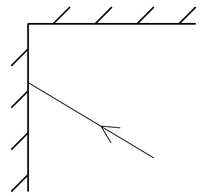
L'expérience laser-lune de l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA) a pour but la détermination précise de la distance Terre-Lune et de ses variations. Le principe est la mesure de la durée d'aller-retour d'une impulsion laser émise du sol vers un réflecteur lunaire, panneau composé d'une mosaïque d'éléments catadioptriques, de type "coins de cube".

Observatoire de la Côte d'Azur

Réflecteur lunaire



1. Tracer le rayon lumineux après réflexion sur chacun des miroirs. Montrer que le rayon sortant est parallèle au rayon incident. C'est le principe du coin de cube (trois miroirs plans forment un coin de cube).



2. L'intervalle de temps entre l'émission de l'impulsion et son retour est de $\Delta t = 2,56\ s$. En déduire la distance moyenne Terre-Lune.

3. La distance actuelle est déterminée au centimètre près. En déduire la précision nécessaire sur la mesure de la durée de l'aller-retour.

Le laser employé est un laser YAG-Nd de longueur d'onde $\lambda = 532\ nm$. Le waist du faisceau à la sortie du laser est de $w_0 = 18\ cm$.

4. À l'aide d'un modèle cône/cylindre du faisceau, exprimer en ordre de grandeur θ (le demi angle au sommet du faisceau conique) et L_R, la longueur de Rayleigh (demi-longueur de la partie cylindrique). Faire les AN.

5. Calculer le rayon R du faisceau laser lorsque celui-ci atteint la Lune.

Le laser émet des impulsions d'énergie $E = 0,3\ J$ sur une durée $\tau = 0,3\ \mu s$.

6. Calculer la puissance du laser et l'intensité I_S sortant du laser et I_L l'intensité arrivant sur la Lune en présence des deux lentilles, que vaut le rapport I_L/I_S?

7. Calculer le nombre de photons émis pendant une impulsion. Donnée: $h = 6,6.10^{-34}\ J.s$.

La fraction effective des photons détectés après aller-retour est de l'ordre de 10^{-20}. Combien d'impulsions faut-il envoyer pour espérer détecter un photon ?

Réponses: 2- $D_L = 384.10^3\ km$ *3-* $\Delta t = 6,6.10^{-11}\ s$ *4-* $\theta \approx 2,96\ \mu rad$ *5-* $R = 1,13\ km$ *6-* $I_L/I_S = 2,85.10^{-5}$ *7-* $N = 8,06.10^{17}$ *photons et* 124 *impulsions*