TS2 Génie Optique **PRINCIPES DES LASERS**

BTS 2006

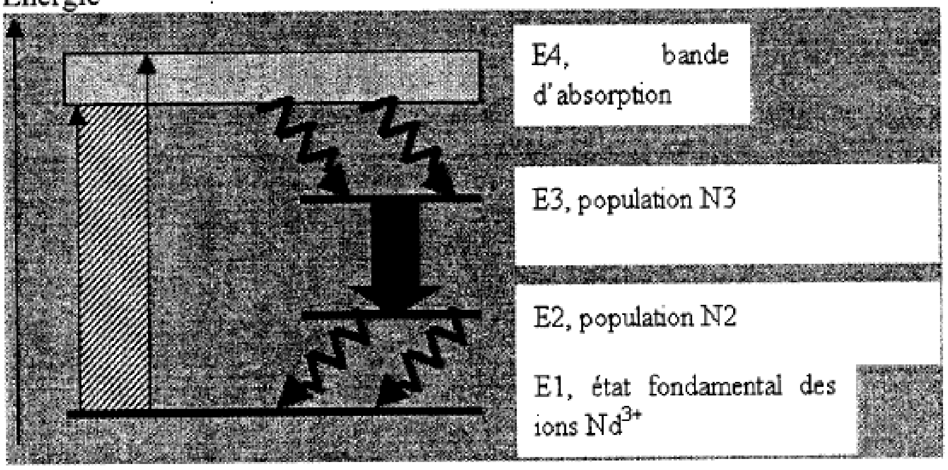
Données :
Constante de Planck h = $6{,}626 \times 10^{-34}$ J.s ;
Célérité de la lumière dans le vide c = $3{,}000 \times 10^{8}$ m.s^{-1} ;
$\cos(2a) = 1 - 2\sin^2 a$

A - Le laser (5 points)

On éclaire le fluide avec un laser Nd-YAG doublé en fréquence et émettant à 532 nm.

1. Le laser Nd-YAG est un laser à 4 niveaux dont le principe de fonctionnement est rappelé par l'intermédiaire du schéma suivant. Un pompage optique peuple la bande d'énergie E_4, laquelle se dépeuple par transition non radiative au profit du niveau E_3. La transition laser s'effectue alors entre le niveau E_3 et E_2.

Énergie



En spectroscopie, on repère souvent les niveaux d'énergie en cm^{-1}.
Le niveau E_3 est ainsi situé à $\sigma_3 = 11\,500$ cm^{-1} et le niveau E_2 est situé à $\sigma_2 = 2\,111$ cm^{-1}, ce qui correspond respectivement à $2{,}286 \times 10^{-19}$ J et à $4{,}196 \times 10^{-20}$ J.
La correspondance entre énergie du photon émis et longueur d'onde de l'onde correspondante se traduit alors simplement par la relation :

$$\sigma_3 - \sigma_2 = \frac{1}{\lambda}$$

où λ est exprimé en cm, σ_2 et σ_3 en cm^{-1}.

1.1. Calculer la longueur d'onde de cette transition laser.
Justifier l'expression « doublé en fréquence » qualifiant le laser.
1.2. Quel est l'intérêt du pompage optique ?

2. Trajet des rayons dans la cavité laser :
La cavité laser est constituée d'un miroir concave M_1 de rayon de courbure R = 1,0 m et d'un miroir plan M_2 éloigné de M_1 de la distance d = 40 cm.
On suppose les conditions de Gauss respectées.
Sur l'annexe 1 à rendre avec la copie, prolonger le trajet d'un rayon parallèle à l'axe optique en prenant en compte quatre réflexions.
On positionnera au préalable le foyer F du miroir concave.

BTS 2008

A – Étude de la source (6 points)

On donne la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8\ m.s^{-1}$.

1. Étude de la diode laser

On utilise pour alimenter le modulateur intégré une diode laser dont le spectre est donné ci-dessous :

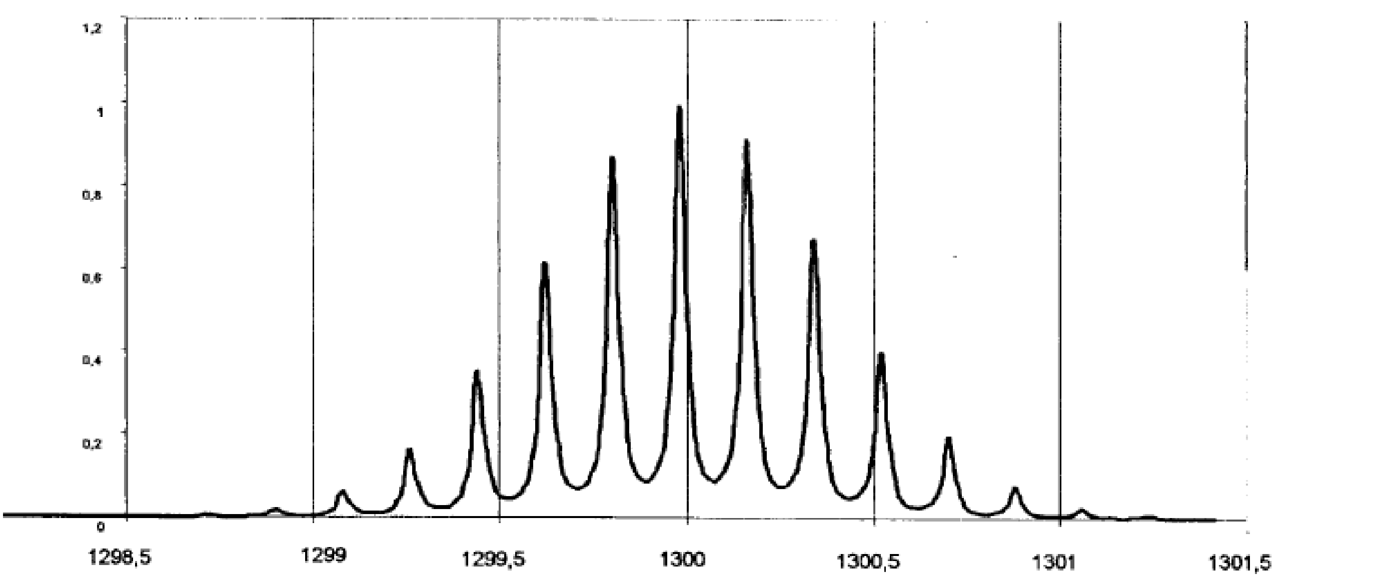


Fig 2 : spectre de la diode laser

1.1. Déterminer l'écart moyen en longueur d'onde $\Delta\lambda$ entre deux modes longitudinaux successifs.

1.2. En déduire l'intervalle spectral libre (ISL) en fréquence $\Delta\nu$ entre deux modes.

1.3. Sachant que l'intervalle spectral libre en fréquence s'exprime par la relation :

$$\Delta\nu = \frac{c}{2nl} \quad \text{où } n = 3,6 \text{ est l'indice du milieu actif,}$$

trouver la longueur l de la cavité résonnante.

1.4. L'émission laser se fait par une ouverture rectangulaire de petite taille. Donner la forme géométrique de la section du faisceau laser dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation et indiquer quel phénomène est responsable de la divergence du faisceau.

BTS 2004

I. Sélection de modes dans la cavité d'un laser ND-YAG (sur 8,5 points)

1. Modes d'une cavité Fabry-Pérot à miroirs plans

1.1. On appelle L le chemin optique correspondant à un aller simple dans la cavité résonante Fabry-Pérot d'un laser à miroirs plans. On prend, pour l'air qui remplit la cavité, une valeur de l'indice égale à 1,00.

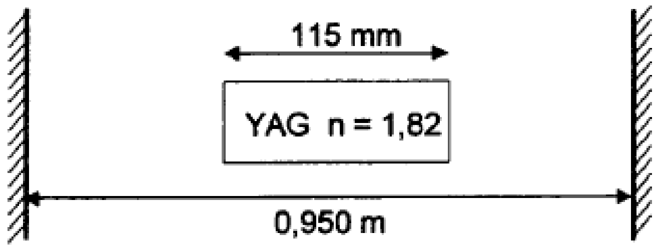
Donnée : célérité de la lumière dans le vide $c = 3,00 \times 10^8$ m.s^{-1}

1.1.a. Exprimer les fréquences permises ν_P en fonction du chemin optique L et de la célérité c de la lumière (on considère qu'il n'y a pas de changement de phase lors de la réflexion sur les miroirs).

1.1.b. En déduire que l'écart (intervalle spectral libre) entre 2 modes voisins est donné par :

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L}$$

1.2. Dans la cavité d'un laser Nd-YAG, les miroirs plans sont éloignés de 0,950 m. Entre ces miroirs, on a placé un barreau de Nd-YAG de longueur 115 mm et d'indice 1,82.



1.2.a. Calculer la valeur numérique du chemin optique L pour un aller simple.
En déduire la durée T_0 mise par la lumière pour faire un aller et retour dans la cavité.

1.2.b. Calculer la valeur numérique de l'intervalle spectral libre $\Delta\nu$.

1.2.c. La courbe de gain du laser a une largeur d'environ 21 GHz. Vérifier que le nombre de modes qui existent à l'intérieur de cette courbe est voisin de 150.

2. Émission en modes bloqués, laser picoseconde

Un dispositif interne permet de superposer les différents modes et de les mettre en phase. Ces conditions de fonctionnement permettent d'obtenir une émission périodique, de forte puissance crête et de très courte durée. C'est l'émission en modes bloqués.
On superpose 150 ondes de même amplitude E , leurs fréquences ont pour expression :

$$\nu_P = \nu_0 + p \cdot \Delta\nu \qquad \text{(p variant de 0 à 149)}$$

$$\nu_0 = 5{,}64 \times 10^{14} \text{ Hz} \quad \text{et} \quad \Delta\nu = 140 \text{ MHz}$$

À chaque mode correspond une expression de la forme :

$$E_P = E \cdot \sin(2\pi \cdot \nu_P \cdot t) = E \cdot \sin(2\pi \cdot \nu_0 \cdot t + 2\pi \cdot p \cdot \Delta\nu \cdot t)$$

ou

$$E_P = E \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot \nu_P \cdot t) = E \cdot \exp(j \cdot 2\pi \cdot \nu_0 \cdot t) \exp(j \cdot 2\pi \cdot p \cdot \Delta\nu \cdot t)$$

2.1. Donner l'expression de E_0 , E_1 et E_2 .

2.2. L'expression de l'intensité résultante I s'écrit :

$$I = I_0 \frac{\sin^2(150 \cdot \pi \cdot \Delta\nu \cdot t)}{\sin^2(\pi \cdot \Delta\nu \cdot t)}$$

L'intensité résultante I est une fonction périodique du temps. Sa valeur est maximale quand :

$\pi \,.\, \Delta\nu \,.\, t = m \,.\, \pi$ m étant un nombre entier.

Exprimer en fonction de I_0 la valeur maximale I_{MAX} de l'intensité résultante I. Commenter le résultat obtenu.
On rappelle que : $\sin\alpha \approx \alpha$ quand l'angle α est petit et exprimé en radian.

3. Puissance crête et énergie d'une impulsion.

Un système bloque en fait la plupart des impulsions et ne laisse passer qu'une impulsion géante dont on admet que la forme est rectangulaire. Cette impulsion rectangulaire est émise régulièrement avec une période $T_3 = 0{,}10$ s. Elle possède une énergie $E_{IMP} = 1{,}2$ mJ et sa durée est $T_4 = 50 \times 10^{-9}$ s. P_{MOY} est la puissance moyenne mesurée à la sortie du laser.

3.1. Exprimer T_3 en fonction de P_{MOY} et E_{IMP}.

3.2. En déduire la valeur de la puissance moyenne P_{MOY} émise par ce laser.

3.3. Calculer la puissance crête P_{MAX} émise par ce laser. Commenter ce résultat.

Exercice 1 : Facteur de qualité d'une cavité : pertes, largeur d'un mode.

On note R_1 et R_2 les coefficients de réflexion en énergie des miroirs d'une cavité. Les pertes par diffusion et diffraction sont représentées par un coefficient D de pertes en énergie lors d'un aller simple dans la cavité.

1) Si E_S est l'énergie initialement stockée dans la cavité, quelle est l'énergie stockée E_S' après un aller-retour dans la cavité en tenant compte des pertes ? En déduire l'énergie perdue pendant cet aller-retour.
2) Soit T la période du signal lumineux. Exprimer l'énergie E_P perdue par la cavité pendant la durée T, en fonction de R_1, R_2, D, T, E_S, la vitesse de la lumière dans le vide c et la longueur de la cavité L. On cherchera combien il y a de durées T dans la durée d'un aller-retour.
3) En déduire l'expression du facteur de qualité $Q=2\pi E_S/E_P$ en fonction de L, R_1, R_2, D et la longueur d'onde λ déduite de T.
   Application numérique : $\lambda=0{,}6328$ µm, $R_1=0{,}999$, $R_2=0{,}995$, $D=0{,}001$ et $L=0{,}2$ m.
   En déduire la largeur $\delta\nu$ d'un mode, sachant que $Q=\nu/\delta\nu$.
4) Déterminer la durée de vie τ d'un photon dans la cavité, τ étant définie par $dE_S/dt=-E_S/\tau$. On remarquera que $dE_S/dt\approx -E_P/T$.

ANNEXE 1
À rendre avec la copie