

1 FONCTIONNEMENT D'UN LASER He-Ne VERT référence 25 LGR 393

cw Output Power (mW)	Beam Diameter (1/e ²) (mm)	Beam Divergence (1/e ²) (mrad)	Maximum Mode Sweeping (%)	Polarization	Longitudinal Mode Spacing (MHz)	Laser Head Dimensions Length × Diameter (mm)	Power Supply Style	Safety Classification		PRODUCT* NUMBER
								CDRH Class	IEC Class	
Wavelength: 543.5 nm (green)										
2.00	0.86	0.81	5	Random	320	510.3 × 44.5	B	IIIa	3R	25 LGR 393

1. Largeur de la raie d'émission verte du néon

La largeur de la courbe de (raie) est due à l'effet Doppler. Elle est donnée par la relation :

$$\Delta\nu_D = \frac{2\nu_0}{c} \sqrt{\frac{kT}{m}}$$

Où $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K est la constante de Boltzmann, $m=20$ uma la masse d'un atome de néon avec $1 \text{ uma}=1,67 \cdot 10^{-27}$ kg, $c=3,00 \cdot 10^8$ m/s la vitesse de la lumière dans le vide, ν_0 la fréquence centrale de la raie et T la température absolue du gaz. Calculer $\Delta\nu_D$ à la température de fonctionnement 127°C.

2. Longueur de la cavité résonante

Retrouver à partir des données du tableau une longueur de cavité proche de 47 cm.

3. Calcul du diamètre du waist

Calculer $2w_0$ à partir de la divergence donnée par le constructeur ($\theta=2\lambda/(\pi w_0)$). Le waist se situe-t-il au niveau de la fenêtre de sortie ?

2 SELECTION DE MODES LONGITUDINAUX DANS LES CAVITES LASERS A MIROIRS PLANS OU QUASI PLANS

1. Montrer que si :

- d est le chemin optique pour un aller-simple dans la cavité Fabry-Pérot d'un laser
- on ne tient pas compte des changements de phase lors de la réflexion sur les miroirs

alors l'écart en longueur d'onde entre deux modes voisins est donné par $\Delta\lambda=\lambda^2/(2d)$.

2. Une diode laser, dont le milieu actif a un indice de 3,5, émet dans le vide un rayonnement centré sur 680 nm et dont les modes sont espacés de 0,2 nm. Calculer la longueur de la cavité.
3. Un laser He-Ne présente une courbe de gain dont la largeur à mi-hauteur est $\Delta\nu=1300$ MHz. La cavité, d'indice 1,00, a une longueur de 20 cm. Le seuil d'accrochage se situe à mi-hauteur. Est-il possible que ce laser soit monomode longitudinal ? Si oui, préciser les conditions de fonctionnement.
4. La cavité d'un laser YAG est ainsi constituée :
Les miroirs plans extrêmes sont éloignés de 1,88 m. Entre les miroirs, la cavité est constituée d'air dont l'indice est pris égal à 1,00 et d'un barreau de Nd-YAG de longueur 150 mm et d'indice 1,80. Calculer la valeur numérique du chemin optique d pour un aller simple et en déduire la durée T_0 mise par la lumière pour faire un aller-retour dans la cavité.
Calculer l'écart $\Delta\nu$ entre deux modes.
5. Une diode laser émet un seul mode dont la largeur à mi-hauteur est donnée par :

$$\Delta\nu = \frac{1 - A^2 R}{A\sqrt{R}} \frac{c}{2\pi n L}$$

Calculer sa longueur de cohérence pour une cavité de d'indice $n=3,5$, de longueur $L=300 \mu\text{m}$, d'amplification $A=1,8$ et de coefficient de réflexion $R=0,30$.

3 ETUDE DES MODES LONGITUDINAUX D'UN LASER A GAZ ET D'UNE DIODE LASER

La cavité d'un laser est assimilée à une cavité Fabry-Pérot constituée de deux miroirs plans parallèles, séparés par un milieu amplificateur d'épaisseur L et d'indice n . Les coefficients de réflexion en amplitude des miroirs sont notés r_1 et r_2 , les coefficients en transmission sont notés t_1 et t_2 . A chaque traversée de la cavité, l'amplitude de la cavité est augmentée d'un facteur g . On posera par la suite $R=r_1r_2$, $T=t_1t_2$ et $G=g^2$.

1. On étudie les modes longitudinaux. Un rayon incident pénètre dans la cavité sous incidence nulle : soient a_0 son amplitude et I_0 son intensité. Il subit plusieurs amplifications, réflexions et transmissions avant de sortir de la cavité. Ecrire l'amplitude réelle des ondes transmises a_1 (transmission directe), a_2 (onde réfléchiée deux fois), a_3 (onde réfléchiée quatre fois).
2. Ecrire la phase de ces trois ondes.
3. Généraliser en écrivant l'amplitude complexe des différentes ondes ainsi que l'amplitude a_R résultant de l'interférence des ondes émergentes.
4. Sans faire le calcul, expliquer comment on passe de a_R à l'intensité résultante I_R .
5. L'intensité résultante transmise est donnée par :

$$I_R = I_0 \frac{\frac{GT^2}{(1-GR)^2}}{1 + \frac{4GR}{(1-GR)^2} \sin^2\left(\frac{2\pi\nu nL}{c}\right)}$$

Donner l'allure de la courbe $I_R = f(\nu)$ donnant le coefficient de transmission I_R/I_0 en fonction de la fréquence lumineuse ν . On y fera figurer l'intervalle spectral libre (FSR ou ISL) $\Delta\nu$ ainsi que la largeur à mi-hauteur d'un mode ou bande passante $\delta\nu$.

6. Pour quelles fréquences ν appelées modes l'intensité est-elle maximale ? En déduire que l'intervalle spectral libre est $\Delta\nu=c/(2nL)$ et calculer sa valeur numérique pour :
 - a) Un laser à gaz raréfié pour lequel $L=40$ cm, $n=1,00$, $R=0,98$ et $G=1,02$.
 - b) Une diode laser pour laquelle $L=340$ μm , $n=3,50$, $R=0,32$ et $G=2,50$.

On appelle $F = \frac{\pi\sqrt{GR}}{1-GR} = \frac{\Delta\nu}{\delta\nu}$ la finesse de la cavité. Calculer F puis en déduire la valeur de $\delta\nu$ pour chacun des deux cas précédents.

4 ETUDE DU MODE TRANSVERSE D'UN LASER He-Ne

1. Confinement du faisceau

Soit R_1 et R_2 les rayons de courbure des deux miroirs concaves de la cavité de longueur L du laser. On introduit les paramètres $g_1=1-L/R_1$ et $g_2=1-L/R_2$. La condition de stabilité de la cavité s'écrit $0 < g_1g_2 < 1$. Représenter sur un diagramme $g_2=f(g_1)$ la zone de stabilité. Y faire figurer les points de fonctionnement d'une cavité :

- a) plane b) confocale c) hémisphérique

2. Les dimensions d'un faisceau gaussien s'expriment en fonction de g_1 et g_2 par :

$$\text{Position } z_1 \text{ du waist par rapport à } R_1 : z_1=L(R_2-L)/(R_1+R_2-2L)$$

$$\text{Rayon du waist } w_0 \text{ donné par } w_0^4=g_1g_2(1-g_1g_2)(L\lambda)^2/(\pi^2(g_1+g_2-2g_1g_2)^2)$$

$$\text{Rayon du faisceau } w_2 \text{ sur le miroir } R_2 : w_2^4=g_1(L\lambda)^2/(\pi^2g_2(1-g_1g_2))$$

Calculer ces valeurs pour $\lambda=0,633$ μm dans le cas d'une cavité avec R_1 infini, $R_2=1,10$ m et $L=0,22$ m.

3. Le faisceau émis est gaussien. Calculer sa divergence et sa distance de Rayleigh.
4. Le laser LHR 121 émet à 632,8 nm, possède un ISL de 687 MHz, une divergence de 1,35 mrad et un diamètre de mode en sortie de 0,66 mm. Cette cavité pourrait-elle convenir ?

5 MODES TEMPORELS D'UN LASER YAG PULSE

Un laser pulsé émet périodiquement ($T=2,0$ ms) une impulsion rectangulaire de durée $\tau=40$ μs . La puissance moyenne mesurée à la sortie est $P_{\text{moy}}=60$ W.

Faire un diagramme temporel (sans respecter l'échelle) représentant la puissance instantanée.

Calculer l'énergie d'une impulsion et la puissance crête P_{max} émise par ce laser.

6 MODES TEMPORELS D'UN LASER PICOSECONDE

1. Donner les conditions de fonctionnement qui permettent d'obtenir une émission en modes bloqués.
2. On superpose en phase 1250 ondes, d'amplitudes égales E_0 , de fréquences ν_k différentes $\nu_k = \nu_0 + k\Delta\nu$ avec $\nu_0 = 2,83 \cdot 10^{14}$ Hz et $\Delta\nu = 50$ MHz, k variant de 0 à 1249.

Montrer que l'intensité résultante s'écrit sous la forme :

$$I(t) = I_0 \frac{\sin^2(1250\pi\Delta\nu t)}{\sin^2(\pi\Delta\nu t)}$$

3. Calculer la période du maximum des impulsions, la valeur du maximum des impulsions et la durée (calculée à la base) d'une impulsion.