

Ingénierie optique, série d'exercices 13, du 16 décembre 2024

Exercice 1

On souhaite fabriquer un laser capable d'émettre un pulse de lumière pendant $t = 1$ ms. On ne veut pas utiliser de cavité et on considère simplement qu'un premier photon est émis à une extrémité du matériau actif puis amplifié par émission stimulée sur toute la longueur L du matériau. Calculer la longueur L de matériau actif nécessaire, en supposant que l'indice du milieu est $n = 3$ (on fait un calcul très simple, basé sur la vitesse de la lumière dans le matériau).

Exercice 2

- a) On peut obtenir la finesse $\mathcal{F}$ d'une cavité de longueur d formée de deux miroirs de réflectances $\mathcal{R}_1$ et $\mathcal{R}_2$ avec la formule suivante

$$\mathcal{F} = \frac{\pi\sqrt{\mathcal{R}V}}{1 - \mathcal{R}V}, \quad (1)$$

où $\mathcal{R} = \sqrt{\mathcal{R}_1\mathcal{R}_2}$ et $V = \exp((g - \alpha)d)$ représente le gain net avec g le gain et α les pertes.

Utiliser cette équation pour calculez la finesse $\mathcal{F}$ d'une plaque de verre ($n = 1.5$) dans l'air et dans l'eau ($n = 1.33$).

- b) Calculez la finesse d'une couche d'huile ($n = 1.45$) sur le Golfe du Mexique (on négligera l'absorption).
- c) On illumine maintenant la plaque de verre dans l'air à incidence normale depuis un côté avec un laser de puissance 1 mW et d'une longueur d'onde correspondant au maximum possible de transmittance de la cavité ($\mathcal{T} = 1$). Quelle est la puissance lumineuse de l'autre côté de la plaque de verre ? Il se met en place un effet cavité dans la plaque de verre et la puissance lumineuse dans cette cavité P_{cav} est plus importante que la puissance transmise à l'extérieur. Utilisez la valeur de la transmittivité $\mathcal{T}_2$ du second miroir pour calculer la puissance lumineuse à l'intérieur de cette cavité ?

Exercice 3

Dans cet exercice, nous proposons d'étudier le pompage optique d'un gaz dans une cavité optique formée par deux miroirs. L'un des deux miroirs a une réflectance $\mathcal{R}_1 = 0.9$ et le second miroir est un miroir parfait. La taille de la cavité est $d = 20$ cm et la lumière utilisée a une longueur d'onde $\lambda = 633$ nm.

- a) Quelle est la réflectance $\mathcal{R}_2$ du second miroir ?
- b) Calculer la finesse $\mathcal{F}$ et le facteur de qualité Q de la cavité à la longueur d'onde considérée, lorsqu'il n'y a pas de pertes dues au milieu dans la cavité.
- c) On souhaite maintenant définir le niveau de pertes en prenant en compte la présence du gaz dans la cavité. Pour l'expérience envisagée, il est nécessaire d'avoir un coefficient de perte par unité de longueur (incluant les pertes associées aux miroirs) $\alpha_r = 0.2 \text{ cm}^{-1}$. Calculer le coefficient d'atténuation par unité de longueur α_s correspondant.

- d) Sachant que la section efficace de transition vaut $\sigma(\nu) = 14 \cdot 10^{-21} \text{ cm}^2$, déterminer la concentration en gaz N_a nécessaire pour atteindre ce niveau de pertes ?
- e) On considère maintenant le pompage du gaz dans la cavité et nous souhaitons obtenir une densité d'atomes excités $N_0 = N_a/3$. Sachant que la durée de vie de l'émission spontanée est $t_{\text{sp}} = 400 \mu\text{s}$, utiliser Eq. (7.37) pour obtenir la probabilité de pompage W requise pour obtenir la concentration d'atomes excités voulue ?
- f) On part de la concentration en gaz N_a obtenue au point d) et de la probabilité de pompage W obtenue au point e). Malheureusement, la cavité n'est pas hermétique et le gaz s'y trouvant peut s'en échapper en entraînant une baisse de la concentration des atomes de $0.01 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$. Pour pallier cet effet, la cavité est associée à une boucle de rétroaction permettant d'adapter le pompage pour maintenir une densité d'atomes excités constante. La probabilité de pompage maximum permise par le système $W_{\text{max}} = 1.5 \cdot 10^{-3} \mu\text{s}^{-1}$. Pendant combien de temps est-il possible de maintenir un tiers d'atomes de gaz excités sans dépasser la probabilité de pompage maximum ?

Indications : la finesse $\mathcal{F}$ d'une cavité de longueur d formée de deux miroirs de réflectances $\mathcal{R}_1$ et $\mathcal{R}_2$ est

$$\mathcal{F} = \frac{\pi\sqrt{\mathcal{R}V}}{1 - \mathcal{R}V}, \quad (2)$$

où $\mathcal{R} = \sqrt{\mathcal{R}_1\mathcal{R}_2}$ et $V = \exp((\gamma - \alpha_r)d)$ représente le gain net avec γ le gain et α_r les pertes.

Le facteur de qualité d'une cavité peut s'exprimer en fonction de la finesse :

$$Q = \frac{\nu_0}{\nu_F} \mathcal{F}. \quad (3)$$