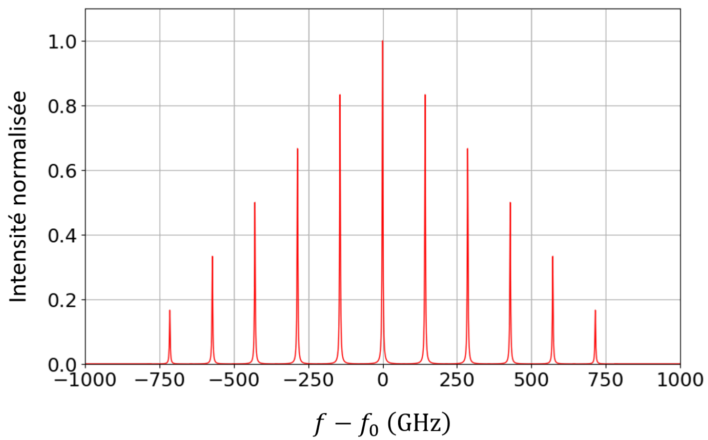
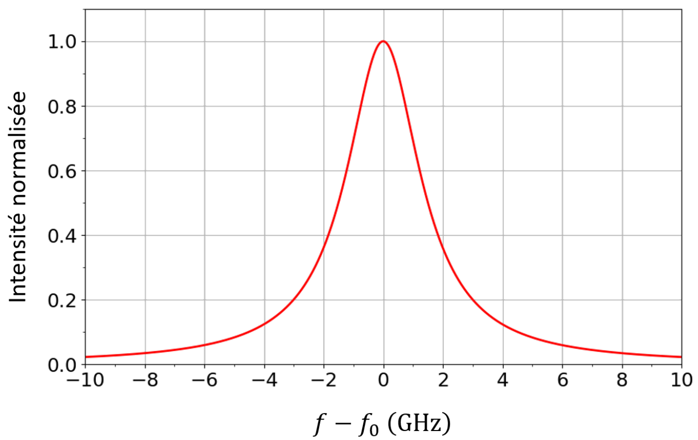
Diode laser

Une diode laser contient une couche semi-conductrice d'épaisseur contrôlée (couche active) insérée entre deux substrats semi-conducteurs. L'indice optique de la couche active est noté n et sa longueur est ℓ. Les deux extrémités de cette structure sont clivées et donnent des faces parfaitement planes qui jouent le rôle de miroirs semi-réfléchissants. On obtient ainsi une cavité optique. Une observation au microscope optique permet de mesurer la longueur géométrique de la cavité : $\ell = 335$ µm.

À l'aide d'un montage interférométrique, on peut déterminer les fréquences pour lesquelles on observe un rayonnement laser. Les résultats expérimentaux sont représentés ci-dessous. L'intensité du rayonnement émis par la diode laser figure en ordonnée, elle est exprimée dans une unité arbitraire. La fréquence f_0 est celle pour laquelle le rayonnement émis par la diode laser est le plus intense.





1) En utilisant les graphes ci-dessus, estimer pour quelle largeur spectrale la condition d'oscillation est vérifiée. Qu'est-ce qui détermine cette largeur ?

2) Déterminer l'indice optique n du milieu semi-conducteur qui constitue la cavité laser.

Pour expliquer la structure de chaque pic (graphe du bas), on peut modéliser la cavité comme une cavité Fabry-Pérot. L'intensité transmise par la cavité est donnée par la formule d'Airy :

$$I = \frac{I_0}{1 + \dfrac{4R}{(1-R)^2}\sin^2\left(\dfrac{n\ell}{c}\,\Delta f\right)}$$

où R est le coefficient de réflexion en énergie des deux faces réfléchissantes (supposées identiques) et Δf l'écart de fréquences par rapport à la fréquence du pic considéré.

3) En exploitant le graphe du bas, donner une estimation du coefficient de réflexion R des deux faces de la cavité laser.

4) Dans l'hypothèse où les pertes dans la cavité ne seraient dues qu'à la transmission à travers les deux faces, par quel facteur g doit être multipliée l'amplitude du champ électrique de l'onde électromagnétique qui traverse le milieu amplificateur afin que cette onde se maintienne ?

Correction

Correction

1) D'après la figure du haut, on constate que les fréquences de résonance observées s'étendent sur un intervalle d'environ 1500 GHz, centré sur la fréquence centrale f_0. La largeur de cet intervalle correspond à l'intervalle de fréquence où le gain non saturé de la cavité est supérieur aux pertes.

2) On peut mesurer sur la figure du haut l'écart entre deux pics :

$$\Delta f = \frac{c}{2n\ell} = 143 \text{ GHz} \quad \Rightarrow \quad \boxed{n = \frac{c}{2\ell \Delta f} = 3,13}$$

3) La formule d'Airy montre que l'intensité est égale à la moitié de l'intensité maximale lorsque :

$$I = \frac{I_0}{2} \quad \Rightarrow \quad \frac{4R}{(1-R)^2} \sin^2\left(\frac{n\ell}{c}\,\Delta f\right) = 1$$

Par lecture graphique,

$$\Delta f = 1,5 \text{ GHz}$$

Comme $1-R$ est proche de 0, l'argument du sinus l'est aussi. On peut donc linéariser le sinus. Ainsi,

$$\frac{4R}{(1-R)^2}\left(\frac{n\ell}{c}\,\Delta f\right)^2 = 1$$

Ainsi,

$$R^2 - bR + 1 = 0 \quad \text{avec :} \quad b = 2 + \left(\frac{2n\ell}{c}\,\Delta f\right)^2$$

On en déduit :

$$\boxed{R = \frac{1}{2}\left[b - \sqrt{b^2-4}\,\right] \simeq 0,990}$$

4) Après un aller-retour dans la cavité, l'onde électromagnétique subit deux réflexions sur les miroirs et parcourt deux fois le milieu amplificateur. À chaque réflexion, l'amplitude du champ électrique est multiplié par $\sqrt{R}$. À chaque passage dans le milieu amplificateur, cette même amplitude est multipliée par le facteur g. Si l'on souhaite que cette amplitude reste inchangée, il faut donc que :

$$g\,\sqrt{R} = 1 \quad \Rightarrow \quad \boxed{g = \frac{1}{\sqrt{R}} = 1,005}$$

Une question ? Un soucis de QRCode ? nicolasperrissin@gmail.com