

Introduction à la physique du laser

intro : oral

I/ Milieu amplificateur de lumière

1) Interaction lumière - matière

Voir doc. 1 et problème.

Un photon créé par émission stimulée est une copie exacte du photon incident : même direction, polarisation, fréquence et phase.

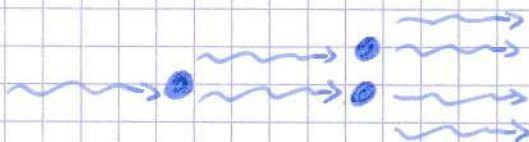
2) Nécessité d'une inversion de population

Voir problème

Dans un système à 2 niveaux d'énergie E_1 et E_2 , à l'équilibre thermique, le niveau de plus basse énergie est beaucoup plus peuplé.

Ds le problème, on a montré que l'amplification du faisceau laser nécessitait une inversion de population : $n_2 > n_1$.

Cela permet d'obtenir des photons identiques par émission stimulée, en "cascade":



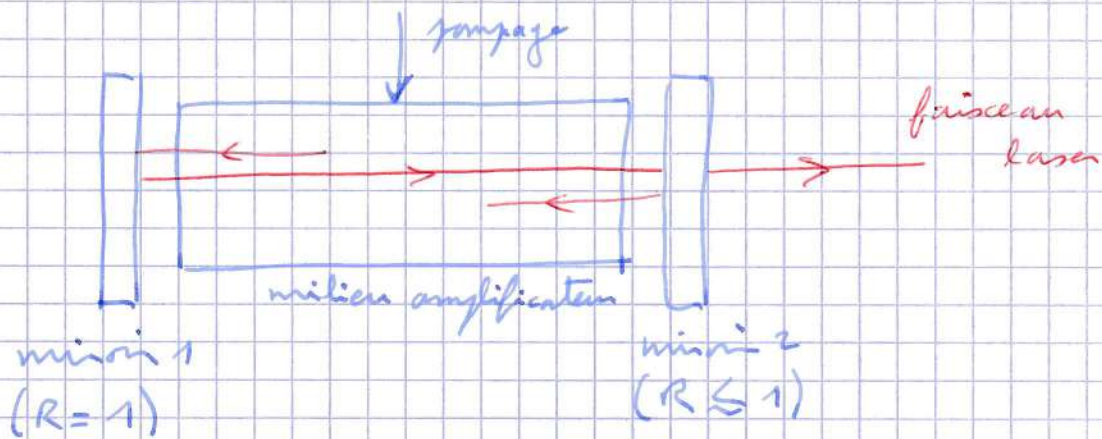
3) Un exemple de réalisation pratique

* premier laser : 1960

* ex du laser hélium - néon : doc. 2

II/ Cavité résonante

1) Schéma de principe



2) Analogie avec l'oscillateur à pont de Wien

Voir doc. 3 (entamer les étages)

On a :

$$\begin{cases} \underline{v}_s = \underline{G}_0 \underline{v}_e \\ \underline{u}_s = \underline{H} \underline{u}_e \end{cases}$$

Comme $\underline{u}_e = -\underline{v}_s$ on a $\underline{u}_s = \underline{H} \underline{G}_0 \underline{v}_e$

Condition de bouclage du circuit : $\underline{u}_s = \underline{v}_e$

$$\text{soit } \underline{u}_s = \underline{H} \cdot \underline{G}_0 \cdot \underline{u}_s$$

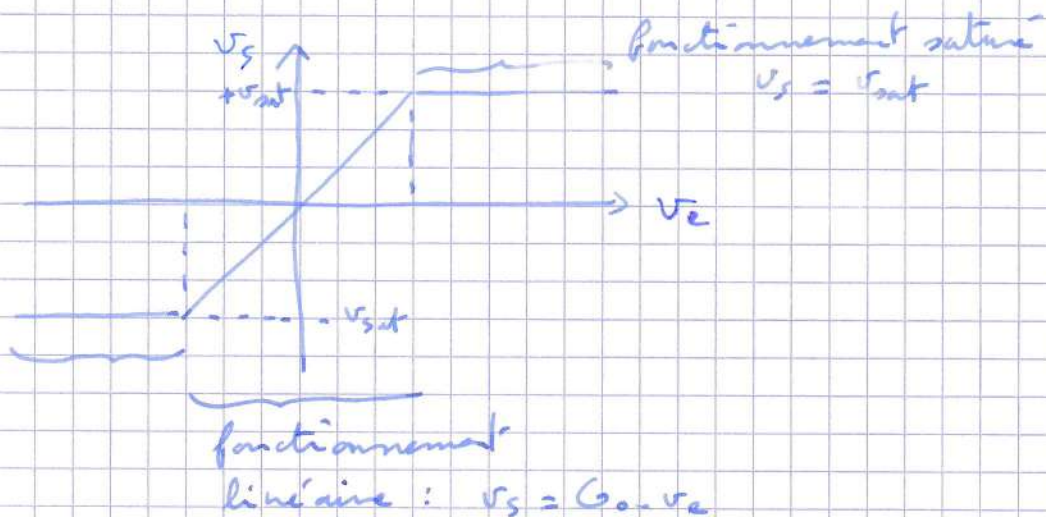
$$\Leftrightarrow \underline{u}_s (1 - \underline{H} \underline{G}_0) = 0$$

soit $\boxed{H.G_0 = 1}$

On a montré en TP que cette condition se traduit par des oscillations non amorties de u_s suivant l'équation :

$$\frac{d^2 u_s}{dt^2} + \omega_0^2 u_s = 0 \quad \text{avec } \omega_0 = \frac{1}{RC}$$

En pratique, les oscillations démarrent sur des bruit, et leur amplitude est limitée par la saturation de l'amplificateur. En effet, son comportement devient non-linéaire au-delà d'une tension seuil :



Analogie avec le laser : voir doc. 4

3) La cavité laser : un résonateur optique

ⓐ Résonance et modes propres

L'intérieur de la cavité laser étant un

travaux

milieu limité, on peut chercher l'expression de la vibration lumineuse sous la forme d'une onde stationnaire

$$a(x, t) = A_0 \cos(\omega t + \varphi) \cos(kx + \varphi)$$

Les miroirs, considérés ici des conducteurs parfaits, imposent par continuité une amplitude nulle :

$$a(0, t) = 0 \quad \text{et} \quad a(L, t) = 0$$

où L est la longueur de la cavité.

Ce qui donne, par analogie avec une corde attachée à ses 2 extrémités (chez 0 et L)

$$k_p = \frac{p\pi}{L}, \quad p \in \mathbb{N}^* \quad \Leftrightarrow \quad \lambda_p = \frac{2L}{p}$$

La cavité laser est résonante pour des fréquences / longueurs d'onde quantifiées associées à des nodes propres :

$$\lambda_p = \frac{2L}{p}, \quad p \in \mathbb{N}^*$$

(b) Limitation du gain

Qu'est-ce qui gouverne la puissance lumineuse émise en sortie d'un laser ?

On appelle "gain" le gain en amplitude de l'onde lumineuse après un aller-retour dans la cavité.