

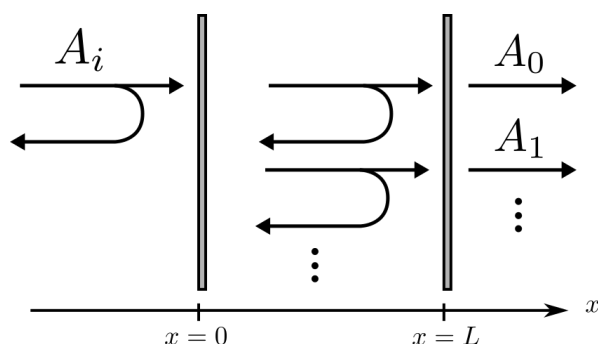
# LASER

EIDD 2A GP

2024-2025

## TD 5 Cavités

### Exercice 1 : Résonateur de Fabry–Pérot



Un résonateur de Fabry–Pérot est constitué de deux miroirs parallèles délimitant un milieu d'indice  $n$ . Pour simplifier, on considérera le milieu non absorbant et les deux miroirs identiques. On appellera respectivement  $r$  et  $t$  les coefficients de réflexion et de transmission en amplitude associés à chacune des deux interfaces, et  $R = r^2$  et  $T = t^2$  les coefficients de réflexion et de transmission en intensité, avec  $R + T = 1$ .

On considère une onde plane monochromatique de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$  et de vecteur d'onde  $\vec{k} = k\vec{u}_x$ , incidente sur le miroir de gauche (miroir d'entrée). On appelle  $A_i$  l'amplitude (complexe) de l'onde incidente et  $I_i = |A_i|^2$  l'intensité lumineuse correspondante. On se propose de calculer l'intensité lumineuse  $I_t$  transmise par le résonateur. Pour cela, il faudra tenir compte du phénomène d'interférence entre les ondes multiples réfléchies par les deux miroirs constituant le résonateur.

#### 1- Transmittance de la cavité

- Écrire l'expression de l'amplitude transmise  $A_0$  après être passée dans le résonateur.
- Écrire en fonction de  $\lambda_0$  le déphasage  $\phi$  entre une onde qui arrive sur le miroir de sortie sans avoir subi aucune réflexion et une onde qui arrive après un aller-retour dans le résonateur. En déduire l'expression de l'amplitude transmise  $A_1$  après un aller-retour dans le résonateur.
- Écrire l'amplitude de l'onde transmise après  $k$  allers retours dans le résonateur.
- En déduire l'expression de l'amplitude totale transmise  $A_t$  en fonction de  $A_i$ ,  $R$ ,  $T$  et  $\phi$ .
- Montrer que l'on peut mettre l'intensité transmise  $I_t$  sous la forme :

$$I_t = \frac{I_i}{1 + m \sin^2(\phi/2)}. \quad (1)$$

et donner l'expression du paramètre  $m$  en fonction de  $R$  et de  $T$

- Calculer le coefficient  $m$  pour 3 valeurs de réflectivité  $R = 50 \%$ ,  $90 \%$  et  $99 \%$ . En déduire que l'approximation  $m \gg 1$  est bien vérifiée pour des miroirs de laboratoire.

Pour la suite de l'exercice, on considérera que les miroirs sont très réfléchissants ( $R \approx 1$ ).

### 3- Intervalle spectral libre et finesse

- Montrer que la transmittance de la cavité  $I_t/I_i$  est maximum pour des fréquences  $\nu_N = N\Delta\nu_L$ , avec  $N$  un entier et  $\Delta\nu_L$  l'**intervalle spectral libre** (ISL) — en anglais FSR, *Free Spectral Range* —, dont on donnera l'expression.
- Tracer l'allure de  $I_t/I_i$ , en fonction de la fréquence normalisée à l'ISL pour deux valeurs différentes du coefficient de réflectivité  $R$ . Commenter.
- Trouver la **largeur à mi hauteur** — en anglais FWHM, *Full Width at Half Max* — des pics de résonances  $\delta\nu_L$ .
- En déduire la **finesse**  $\mathcal{F}$  de la cavité, définie par

$$\mathcal{F} = \frac{\Delta\nu_L}{\delta\nu_L}$$

en fonction de  $m$ , puis de  $T$ .

### 4- Facteur de qualité

- Si  $W$  est l'énergie totale stockée dans la cavité, justifier qu'en un temps  $\tau = 2nL/c$  (comment interpréter ce temps ?) l'énergie perdue par la cavité est  $\Delta W = 2TW$ .
- En déduire la quantité  $\delta W$  d'énergie perdue pendant une période de l'onde lumineuse de fréquence  $\nu$ .
- En déduire l'expression du **facteur de qualité**

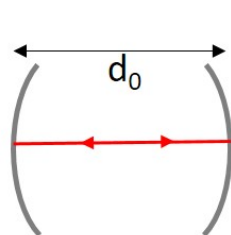
$$Q = 2\pi \frac{W}{\delta W}$$

de la cavité en fonction de  $L$ ,  $\lambda$  et  $T$ .

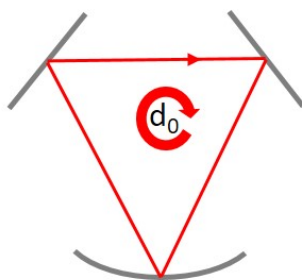
- Quel est le lien entre facteur de qualité et finesse ? On fera intervenir la fréquence de l'onde lumineuse et l'intervalle spectral libre

- (Facultatif) Donner l'expression de l'intensité du champ intracavité à la résonance en fonction de la finesse et de l'intensité incidente. Commenter.

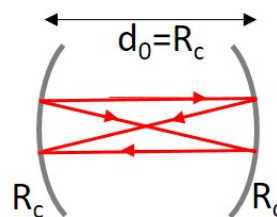
## Exercice 2 : Types de cavités



Linéaire



En anneau



Confocale

Pour chacune des cavités présentées ci dessus, donner le temps de trajet d'un rayon lumineux, l'intervalle spectral libre correspondant et expliquez selon vous quel est l'intérêt d'utiliser cette cavité.