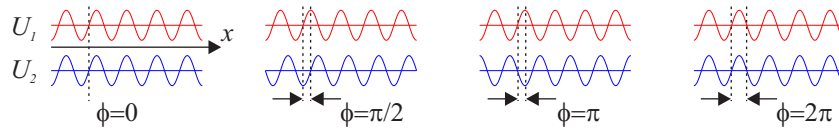


Ingénierie optique, série d'exercices 3, du 29 septembre 2025

Exercice 1



Pour comprendre le phénomène d'interférence, on peut considérer simplement deux ondes planes qui se propagent dans la direction x , comme dans le dessin ci-dessus. En général, on écrirait ces ondes avec une dépendance $\exp(j\omega t)$ dans le temps et une dépendance $\exp(-jkx)$ dans l'espace. Cependant, on remarque qu'une figure d'interférence ne fluctue pas dans le temps et on peut s'affranchir de cette dépendance dans le temps. On écrira donc nos deux ondes comme,

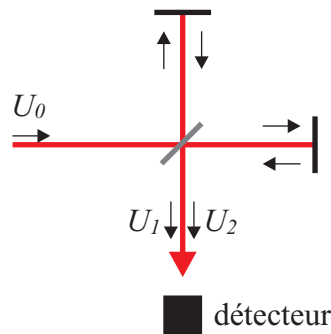
$$U_1(x) = e^{-jkx} \tag{1}$$

$$U_2(x) = e^{-j(kx+\phi)} = e^{-jkx} e^{-j\phi}, \tag{2}$$

où l'on a introduit une phase ϕ pour la deuxième onde par rapport à la première.

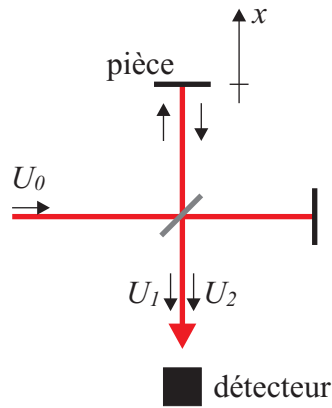
a) Le phénomène d'interférence s'étudie avec l'intensité résultant de la superposition des deux ondes. Calculer cette intensité $I = (U_1(x) + U_2(x))^2$ en se souvenant que $U_1(x)$ et $U_2(x)$ sont des nombre complexes.

b) Quelle est la valeur de l'intensité lorsque $\phi = 0$, $\phi = \pi/2$, $\phi = \pi$ et $\phi = 2\pi$?



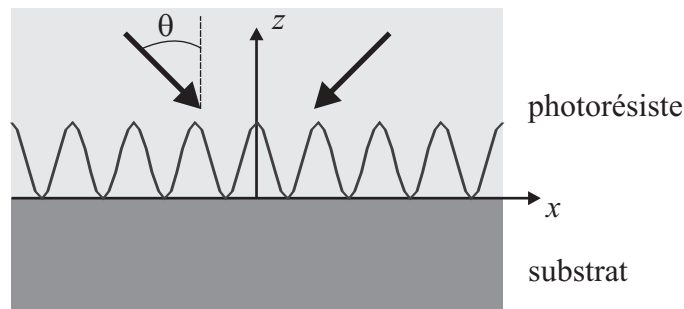
c) On considère l'interféromètre de Michelson ci-dessus, où une onde incidente U_0 se partage en deux ondes U_1 et U_2 qui interfèrent sur le détecteur indiqué. Lorsque l'interférence est destructive, le détecteur ne mesure pas de signal et il n'y a donc pas d'énergie qui arrive sur ce détecteur. Pourtant, l'onde U_0 incidente sur l'interféromètre apporte une certaine quantité d'énergie dans le système... ou donc cette énergie passe-t-elle si elle n'arrive pas sur le détecteur ?

Exercice 2



On souhaite mesurer avec une précision de $1\ \mu\text{m}$ le déplacement longitudinal x de la pièce ci-dessus en utilisant un interféromètre de Michelson. On dispose pour ceci d'un détecteur avec 3 bits qui peut donc détecter 8 différents niveaux d'intensité. Quelle longueur d'onde faut-il utiliser ? Pour augmenter la précision faut-il utiliser une longueur d'onde plus courte ou plus longue ?

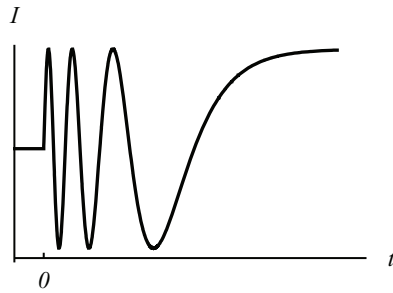
Exercice 3



On souhaite créer une structure périodique de période $\Lambda = 400\ \text{nm}$ dans un photorésiste d'indice de réfraction $n = 1.3$ par interférence de deux faisceaux lasers (longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 630\ \text{nm}$) incidents dans des directions opposées. Le photorésiste est sensible à l'intensité de l'onde. Calculer l'angle d'incidence θ dans le photorésiste à utiliser (afin de simplifier le problème, on ne considère pas les réflexions multiples dans le photorésiste ni la réfraction à l'interface supérieure entre le photorésiste et l'air : on suppose donc le photorésiste semi-infini) ; utiliser le vecteur de propagation parallèle aux interfaces. Est-ce que l'indice de réfraction du substrat joue un rôle ?

Quelle est la période minimale Λ que l'on peut réaliser avec ce laser, sachant que l'angle d'incidence maximum est $\theta_{\text{max}} = 80^\circ$. Comment pourrait-on réaliser des structures plus petites en gardant le même angle d'incidence θ_{max} .

Exercice 4



Dans un interféromètre de Mach-Zehnder on place un réservoir de gaz d'une épaisseur $L = 5$ cm. Au début de l'expérience la chambre est remplie d'air ($n_{\text{air}} = 1.000298$). A l'instant $t = 0$ on commence à remplir la chambre avec du gas Xenon. Le détecteur de l'interféromètre mesure la figure ci dessus au cours du temps, alors que le réservoir se remplit. La longueur d'onde utilisée est $\lambda_0 = 633$ nm.

Calculer l'indice de réfraction du Xenon pur. Peut-on déterminer si l'indice de réfraction est plus grand ou plus petit que l'air ?

Indications : sur la figure de la donnée, chaque fois que l'intensité fait une oscillation totale (valeurs de l'intensité zéro-maximum-zéro-minimum-zéro), le déphasage dans l'interféromètre est de 2π ; on peut donc calculer le déphasage entre le début de l'expérience (réservoir vide) et la fin de l'expérience (réservoir plein).