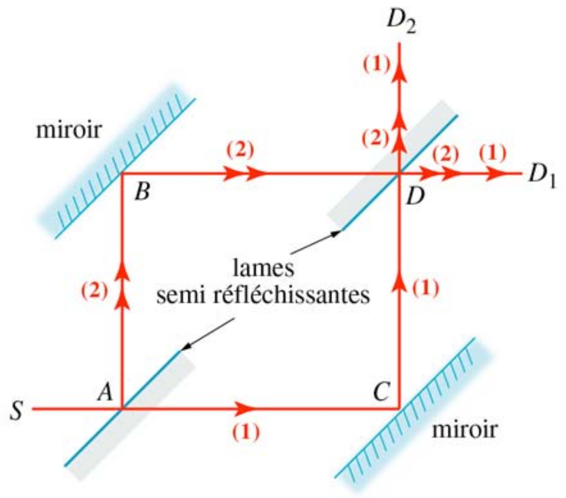
EXERCICE RÉSOLU 2

Interféromètre de Mach-Zehnder

Énoncé

Le schéma ci-dessous représente un interféromètre de Mach-Zehnder. Il est constitué de deux miroirs et de deux lames semi réfléchissantes. Seule une des deux faces de ces lames réfléchit la lumière. Elle est représentée en traits plus épais sur le schéma. Deux détecteurs D_1 et D_2 analysent la lumière reçue. Cette lumière est émise par une source monochromatique de longueur d'onde dans le vide λ_0 = 650 nm.



Données

– On appelle chemin optique L le produit de la distance d parcourue par la lumière par l'indice n du milieu traversé : $L = nd$.

– La réflexion sur un milieu d'indice plus grand (face avant d'un miroir comme en B par exemple) augmente de $\frac{\lambda_0}{2}$ le chemin optique de la lumière alors qu'une réflexion sur un milieu d'indice plus petit ne le modifie pas.

– Il y a interférences constructives si $\delta = L_2 - L_1 = k\lambda_0$ (k entier) et interférences destructives si $\delta = L_2 - L_1 = (2k+1)\frac{\lambda_0}{2}$.

– Les coefficients de transmission et de réflexion en amplitude des lames semi réfléchissantes sont identiques.

1. Justifier que les faisceaux (1) et (2) puissent interférer à la sortie de l'interféromètre.

2. Exprimer la différence des chemins optiques suivis par les faisceaux lumineux (1) et (2) entre S et D_1 d'une part, et entre S et D_2 d'autre part.

3. Les deux détecteurs reçoivent-ils de la lumière ? Justifier votre réponse.

4. On introduit sur le chemin du faisceau (2), entre A et B, une lame de verre d'indice n = 1,50 et d'épaisseur e.

Quelle relation entre e et λ_0 doit être vérifiée pour que l'intensité de la lumière qui arrive sur D_2 soit maximale ?

Une solution

> **Connaissances**
> Deux faisceaux peuvent interférer si initialement ils proviennent de la même source monochromatique.

1. Les deux faisceaux sont émis par la même source (c'est le même faisceau qui est partagé en deux). Ils sont donc cohérents et peuvent interférer.

> **Raisonner**
> Il s'agit d'établir la différence des chemins optiques, il n'est donc pas nécessaire d'exprimer en entier chaque chemin.
> Il suffit d'évoquer leurs points communs et leurs différences.

2. ***Premier cas*** **:** les chemins optiques entre la source et D_1.

La lumière parcourt des chemins de même longueur dans l'air, traverse une fois une lame semi réfléchissante dans chaque cas et se réfléchit deux fois sur la face avant d'un miroir ou d'une lame semi réfléchissante.

Les deux chemins optiques sont donc identiques et $\delta_1 = L_2 - L_1 = 0$.

Deuxième cas **:** les chemins optiques entre la source et D_2.

La lumière parcourt des chemins de même longueur dans l'air, traverse deux fois une lame semi réfléchissante dans chaque cas mais le faisceau (2) se réfléchit deux fois sur la face avant d'un miroir ou d'une lame semi réfléchissante alors que le faisceau (1) ne se réfléchit qu'une seule fois sur la face avant d'un miroir.

Utiliser les données
La réflexion peut entraîner un déphasage.

D'après l'énoncé, il y a un écart de $\frac{\lambda_0}{2}$ entre les deux chemins optiques :

$$\delta_2 = L_2 - L_1 = \frac{\lambda_0}{2}.$$

3. Le détecteur D_1 reçoit de la lumière car les faisceaux arrivent en phase sur ce détecteur ($\delta_1 = L_2 - L_1 = 0$: interférences constructives).

Sur le détecteur D_2, les faisceaux arrivent en opposition de phase ($\delta_2 = \frac{\lambda_0}{2}$: interférences destructives). Il n'y a donc pas de lumière car les faisceaux qui interfèrent sont de même amplitude.

4. Pour que la lumière arrive sur D_2, il faut que les deux faisceaux soient en phase lorsqu'ils arrivent sur ce détecteur.

Il faut donc augmenter de $(2k + 1)\frac{\lambda_0}{2}$ (k entier) le chemin suivi par le faisceau (2) car, dans ce cas, la différence entre les deux chemins optiques sera un multiple entier de λ_0.

Raisonner
Attention : l'introduction de la lame de verre diminue de e l'épaisseur de l'air traversé par la lumière entre A et B.

Entre A et B pour le faisceau (2), le chemin optique s'écrit maintenant :

$$(AB - e) \times n_{air} + ne = AB + (n - 1)e.$$

Entre C et D, pour le faisceau (1), le chemin optique reste le même : $CD = AB$.

On doit donc avoir, en prenant $n_{air} = 1$:

$$(n - 1)e = (2k + 1)\frac{\lambda_0}{2},$$

$$e = \frac{(2k+1)\lambda_0}{2(n-1)}.$$

A.N. : $n = 1{,}5$ donc $2(n - 1) = 1$ et $e = (2k + 1)\lambda_0$.