

Optique ondulatoire, contrôle continu

6 octobre 2023

Durée 1h

Sans document. Sans calculatrice. Téléphones portables et objets connectés interdits.

Des formules utiles sont rappelées en fin d'énoncé.

Dans tout l'énoncé, on suppose que l'espace est rapporté à un repère orthonormé direct $R(0, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$. Un point M de l'espace a pour coordonnées cartésiennes (x, y, z) telles que $\vec{r} = \overrightarrow{OM} = x\vec{e}_x + y\vec{e}_y + z\vec{e}_z$.

1 Vrai ou faux ? Justifier brièvement vos réponses

1. Un objet réel en optique géométrique correspond à une onde plane en optique ondulatoire.
2. Le vecteur d'onde d'une onde plane ne dépend pas de la pulsation.
3. L'interférence entre deux ondes est possible si les deux ondes n'ont pas la même intensité.
4. Deux ondes de même pulsation ω interfèrent toujours constructivement.

2 Trou de Young en présence d'une lame de verre

On considère un dispositif de trous de Young dans le vide éclairé par une source ponctuelle (S) monochromatique de longueur d'onde λ_0 . Le premier trou est nommé S_1 et a pour coordonnées cartésiennes $(a, 0, 0)$. Le second trou est nommé S_2 et est confondu avec l'origine O du repère.

On observe le motif d'interférence sur un écran parallèle au plan Oxy et placé à une distance D de l'origine grande devant a . Dans l'exercice, on considère toujours des points M de l'écran de coordonnées (x, y, D) proches de l'axe tels que $D \gg x, y, a$.

1. Faire un schéma du dispositif, en incluant la source ponctuelle S éclairant les deux trous S_1 et S_2 , les axes ainsi qu'un point M de l'écran.
2. Pourquoi peut-on considérer les ondes sphériques émises par les points S_1 et S_2 comme isochrones ? On suppose dans la suite que ces deux ondes ont la même amplitude et la même phase à l'origine.
3. Donner l'expression au point M des fonctions d'onde complexes $\underline{\psi}_1(\vec{r}, t)$ et $\underline{\psi}_2(\vec{r}, t)$ en fonction des distances $r_1 = S_1M$ et $r_2 = S_2M$, puis exprimer r_1 et r_2 en fonction des coordonnées (x, y, D) du point M.
4. Rappeler la définition de la différence de marche δ des deux ondes au point M et son lien avec le déphasage des ondes $\phi(M)$.
5. Justifier que l'on peut considérer que les deux ondes ont la même intensité I_0 au point M.
6. Calculer la différence de marche δ entre les deux ondes au point M et montrer qu'elle peut se mettre sous la forme suivante :

$$\delta = \alpha x + \delta_0$$

et donner l'expression de α et δ_0 en fonction de a et D .

7. En déduire l'expression du déphasage $\phi(M)$ au point M puis de l'intensité $I(x)$. On fera apparaître un déphasage constant ϕ_0

8. Définir l'ordre d'interférence $p(M)$ et donner sa valeur en $x = 0$.
9. Représenter la fonction $I(x)$ en faisant figurer l'interfrange i dont on donnera l'expression et le point particulier M_0 où l'ordre d'interférence est nul.

On ajoute à présent une lame de verre mince d'épaisseur e et d'indice n juste après la source S_2 . On ne considère pas les interférences qui apparaissent dans la lame de verre.

10. Calculer le déphasage supplémentaire ϕ_e de l'onde émise au point S_2 du à la traversée de la lame de verre.
On suppose dans la suite que ce même déphasage apparaît entre les deux ondes en tout point de l'écran.
11. Quel sera l'effet de cette lame sur le motif d'interférence ?
12. Comment pourrait-on utiliser ce dispositif pour mesurer l'épaisseur e de la lame en connaissant son indice n ? Quel problème risque-t-on de rencontrer si e est trop grand ?

Formulaire

- On rappelle que pour deux nombres complexes z_1 et z_2 , on a toujours :

$$|z_1 + z_2|^2 = |z_1|^2 + |z_2|^2 + 2\operatorname{Re}(z_1 z_2^*)$$

où z_2^* est le nombre complexe conjugué de z_2 .

- On rappelle le développement limité utile, valable pour α quelconque et $\epsilon \ll 1$:

$$(1 + \epsilon)^\alpha = 1 + \alpha\epsilon$$