Devoir maison 20

La propagation de l'onde lumineuse s'effectue dans un milieu transparent, diélectrique, linéaire, homogène et isotrope.

La vitesse de la lumière dans le vide est notée $c = 3.10^8 m.s^{-1}$.

Une source lumineuse ponctuelle située en S émet, de manière pulsée, des trains d'ondes lumineuses supposées de même pulsation ω. Dans le modèle scalaire de la lumière, la fonction de l'onde monochromatique est caractérisée en un point M et à l'instant t par le signal lumineux ou vibration lumineuse : $s(M,t) = a\cos(\omega t - \varphi(M,t))$, où a est l'amplitude supposée constante de l'onde et $\varphi(M,t)$ son retard de phase en M et à l'instant t par rapport au point de référence S.

Le modèle des trains d'ondes suppose que la phase à la source φ_S reste constante pendant des intervalles de temps de durée constante τ_c entre lesquels elle change aléatoirement de valeur. L'onde émise durant cet intervalle de temps appelé temps de cohérence est nommée « train d'onde ». Le train d'onde est ainsi limité dans le temps et se propage dans le vide à la célérité c. La phase de l'onde φ_S à la source S prend une nouvelle valeur aléatoire à chaque nouveau train d'onde.

Première partie : Rayon lumineux

La lumière se propage de S à M le long d'un rayon lumineux avec pour vitesse au point P : $v(P) = \dfrac{c}{n(P)}$ où $n(P)$ est l'indice de réfraction du milieu en P ; par définition, le chemin optique (SM) entre les points S et M du rayon lumineux est : $(SM) = \int_S^M n(P)dl(P)$. L'élément d'arc de la courbe suivie par la lumière est noté $dl(P)$; il est définit en P et est parcouru par la lumière à la vitesse de propagation $v(P)$ pendant la durée dt.

L'onde se propage sans déformation, le signal $s(M,t)$ reproduit le signal de la source avec un retard $\tau(M)$.

1) Relier le chemin optique (SM) à la durée de propagation du signal $\tau(M)$. Conclure quant à l'interprétation du chemin optique.

2) Dans le domaine visible, pour une longueur d'onde moyenne dans le vide λ_m de l'ordre de 600 nm, calculer l'ordre de grandeur de la pulsation ω_m du signal lumineux.

3) Etablir l'expression du retard de phase $\varphi_{P\to M} = \varphi(M,t) - \varphi(P,t)$ lié à la propagation entre P et M, en fonction du chemin optique (PM) et de la longueur d'onde λ_0 de l'onde étudiée dans le vide.

4) Définir une surface d'onde. Justifier le caractère d'onde sphérique associé au signal lorsque celui-ci se propage dans un milieu d'indice n constant. Enoncer le théorème de Malus.

5) Quel instrument d'optique permet d'obtenir une onde plane à partie d'une source ponctuelle ? Illustrer votre réponse à l'aide d'un schéma faisant apparaître les surfaces d'onde.

L'intensité lumineuse $I(M)$ est mesurée par un détecteur quadratique placé en M sensible à la valeur moyenne temporelle de $s^2(M,t)$. Elle est conventionnellement définie au point M (à une constante multiplicative près) par : $I(M) = \langle s^2(M,t) \rangle$.

Cette moyenne temporelle est effectuée sur un temps de réponse τ_R du détecteur toujours très grand devant les temps de cohérence temporelle des sources supposés identiques à τ_C. Ce temps de cohérence est la durée moyenne de passage des trains d'ondes en un point donné de l'espace.

6) Donner des ordres de grandeurs de temps de cohérence de sources usuelles. Dans le cas du laser de longueur d'onde moyenne λ_m, relier le temps de cohérence à son étendue spectrale $\Delta\lambda$. Faire l'application numérique.

Deuxième partie : Interférences entre deux sources ponctuelles

L'intensité lumineuse $I(M)$ résulte de la superposition en M de deux ondes issues de deux sources ponctuelles S_1 et S_2 de longueurs d'onde dans le vide différentes λ_1 et λ_2. Elles sont notées respectivement : $s_1(M,t) = a_1 \cos(\omega_1 t - \varphi_1(M,t))$ *et* $s_2(M,t) = a_2 \cos(\omega_2 t - \varphi_2(M,t))$.

7) Exprimer l'intensité lumineuse $I(M)$ en fonction des intensités I_1 et I_2 de chacune des ondes, de leurs pulsations respectives ω_1 et ω_2 et du déphasage $\phi_{2/1}(M,t) = \varphi_2(M,t) - \varphi_1(M,t)$ de l'onde issue de S_2 par rapport à l'onde issue de S_1. Identifier le terme d'interférences.

8) Que vaut l'intensité lumineuse $I(M)$ pour des ondes incohérentes ?

L'intensité lumineuse $I(M)$ résulte maintenant de la superposition en M de deux ondes issues de deux sources ponctuelles S_1 et S_2 de même longueur d'onde dans le vide λ_0. Elles sont notées respectivement : $s_1(M,t) = a_1 \cos(\omega_0 t - \varphi_1(M,t))$ *et* $s_2(M,t) = a_2 \cos(\omega_0 t - \varphi_2(M,t))$.

9) Déterminer le déphasage $\phi_{2/1}(M,t) = \varphi_2(M,t) - \varphi_1(M,t)$ en fonction de la longueur d'onde dans le vide λ_0, de la différence de marche notée $\delta(M) = (S_2M) - (S_1M)$ et des phases φ_{S1} et φ_{S2} des signaux émis aux points sources S_1 et S_2.