

DM n° 9 de Physique - Interférences

Détection d'étoiles doubles par la méthode de Michelson et Pease

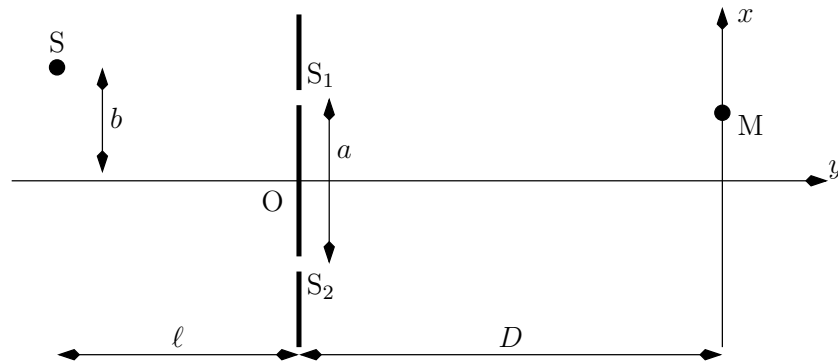
L'étoile Sirius, qui se situe dans la constellation du Grand Chien, est connue pour être la plus brillante de l'ensemble de voûte céleste (excepté le Soleil bien entendu). Elle est très brillante notamment car elle est proche de la Terre (5° à 8,6 al de la Terre, la plus proche étant Alpha du Centaure, située à 4,3 al), et de taille comparable à celle du Soleil (une masse environ 2 fois la masse solaire).

Cette étoile est en réalité une étoile double : Sirius A, la plus massive et brillante, constitue la majorité de l'éclairement observé. Sirius B, de taille plus faible, semble tourner autour de Sirius A. La distance moyenne entre les deux étoiles évolue ainsi de 8,1 à 31,5 UA, sur une période de 50 ans. Les deux étoiles seront éloignées au maximum en 2019. On rappelle que 1 al = 63241 UA. On souhaite mesurer la distance actuelle entre ces étoiles, à l'aide d'un protocole faisant intervenir des interférences.

1. Que signifient les unités UA et al ? Quel est leur sens physique ?

A Étude d'une source unique

On modélise l'étoile Sirius A par une source ponctuelle S monochromatique, de longueur d'onde λ (et de pulsation ω). Cette source éclaire un système de fentes d'Young espacées d'une distance a et situées symétriquement autour de l'axe Oy. La lumière diffractée par ces deux fentes, supposée de même amplitude A , est reçue sur un plan d'observation orthogonal à l'axe Oy, situé à une distance D des fentes. On nomme le point M le point d'observation, noté par sa coordonnée x sur le plan d'observation. La source se trouve à une distance b de l'axe Oy, comme indiqué ci-dessous.



2. Recopier la figure ci-dessus et dessiner les rayons qui interfèrent au point M.
3. Quelle est la cause du déphasage entre les deux ondes $s_1(t)$ et $s_2(t)$? Laquelle est en avance ? Représenter deux périodes des deux ondes sur un graphe temporel, pour un déphasage inférieur à $\pi/2$.
4. On note $\Delta\varphi$ le retard de phase de l'onde en retard au point M ($\Delta\varphi > 0$) et on prend l'origine des temps de façon à avoir $s_1(t) = A \cos(\omega t)$. Exprimer l'onde $s_2(t)$. Définir le lien entre $\Delta\varphi$ et la « différence de marche » $\delta(M) = SS_2M - SS_1M$. On fera particulièrement attention à tous les signes.
5. Déterminer l'expression de l'onde résultante $s(t)$ en M, sous la forme d'un terme unique. Quelle en est l'amplitude ?
6. En déduire les conditions d'interférences constructives, sous la forme d'une relation entre λ et $\delta(M)$.
7. Interpréter, à l'aide de la représentation de Fresnel, l'amplitude de l'onde résultante en M lors des interférences constructives ou destructives.
8. Exprimer $\delta(M)$ en fonction des distances représentées sur la figure ci-dessus.

9. Montrer que $\delta(M) = \frac{ab}{\ell} + \frac{ax}{D}$, à l'aide de la relation suivante :

$$\sqrt{a^2 + b^2} \approx a + \frac{b^2}{2a} \quad \text{si } a \gg b$$

10. En déduire, en fonction de a , D et x , l'interfrange i , distance entre deux franges brillantes consécutives.
11. Application numérique : pour Sirius, $\lambda = 360 \text{ nm}$; le télescope amateur utilisé mesure 180 cm de long et les fentes sont espacées de 1,5 mm. Calculer l'interfrange et commenter ce résultat, sachant que l'image est convertie en fichier informatique à l'aide d'un capteur CCD dont la taille des pixels est de l'ordre de $10 \mu\text{m}$.

B Détection de l'étoile double

L'étoile Sirius B est modélisée par une seconde source S' , identique à la précédente (onde de même amplitude et de même longueur d'onde) et symétrique de S par rapport à l'axe Oy . Les deux sources sont dites « incohérentes » : les interférences ne peuvent pas exister et les intensités lumineuses s'ajoutent de façon systématique. On note A_S et $A_{S'}$ les amplitudes des ondes résultantes en M provenant respectivement des deux sources S et S' .

12. Que peut-on dire de la figure d'interférence produite par la source S' ? Quelle en est l'interfrange?
13. À l'aide des questions 0.5 et 0.9 notamment, exprimer les amplitudes A_S et $A_{S'}$ en fonction de A , λ et des distances a , b , ℓ , D et x uniquement.
14. Le dispositif utilisé permet de faire varier la distance a séparant les fentes. Déterminer les valeurs de a permettant d'annuler la visibilité des interférences, c'est-à-dire de réaliser une figure lumineuse partout : en chaque point de l'écran où l'une des deux ondes est sombre, l'autre doit être lumineuse.
15. On obtient une première annulation des interférences pour $a = 2,7 \text{ mm}$. Calculer la distance b (à exprimer en UA) séparant les deux étoiles. Commenter.