OP2 - Modèle scalaire des ondes lumineuses

A – Travaux dirigés

OP21 – Accord de phase sur un dioptre

1. D'après le théorème de Malus l'ensemble des points M tels que $(SM) = (SM)$ est le plan passant par A orthogonal aux rayons incidents ; H est donc le projeté orthogonal de A sur le rayon incident arrivant en B. On a :

$$(SB) - (SA) = (SB) - (SH) = (HB) = n_1 \overline{HB} = n_1 l \sin\theta_1 \,.$$

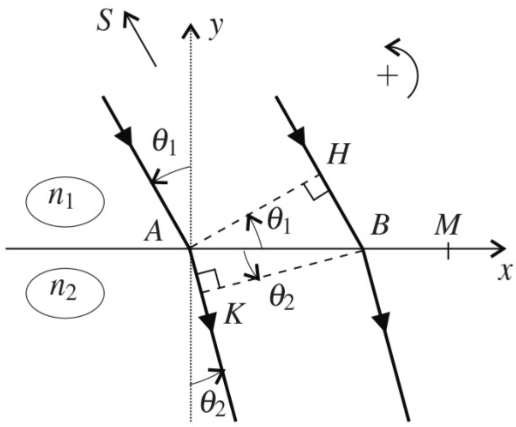
De même, si K est le projeté orthogonal de B sur le rayon réfracté passant par A, $(SB) = (SK)$ et

$$(SB) - (SA) = (SK) - (SA) = (AK) = n_2 \overline{AK} = n_2 l \sin\theta_2 \,.$$

On trouve en comparant les deux expressions :

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \,,$$

qui est la loi de Descartes pour la réfraction.



2. On utilise le repère $Axyz$ défini sur la figure. L'onde incidente et l'onde réfractée sont planes de vecteurs d'ondes respectifs :

$$\vec{k}_1 = \frac{2\pi n_1}{\lambda_0}(\sin\theta_1 \vec{u}_x - \cos\theta_1 \vec{u}_y \quad \text{et} \quad \vec{k}_2 = \frac{2\pi n_2}{\lambda_0}(\sin\theta_2 \vec{u}_x - \cos\theta_2 \vec{u}_y) \,,$$

où λ_0 est la longueur d'onde dans le vide.
Leur retard de phase en un point M du dioptre de coordonnées $(x, 0, z)$ s'écrivent, en prenant le point A pour référence :

$$\varphi_1(M) = \varphi_1(A) + \vec{k}_1 \cdot \overrightarrow{AM} = \varphi_1(A) + \frac{2\pi n_1}{\lambda_0} \sin\theta_1 x \,,$$

et

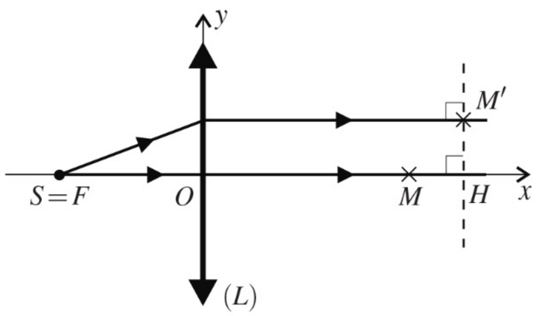
$$\varphi_2(M) = \varphi_2(A) + \vec{k}_2 \cdot \overrightarrow{AM} = \varphi_2(A) + \frac{2\pi n_2}{\lambda_0} \sin\theta_2 x \,.$$

Par hypothèse $\varphi_1(A) = \varphi_2(A)$; la loi de Descartes permet de conclure que : $\varphi_1(M) = \varphi_2(M)$.

B – Exercices supplémentaires

OP22 – Lentille et chemins optiques

1. S est le foyer objet de la lentille ; les rayons parvenant en M et M' sont parallèles à l'axe Ox.



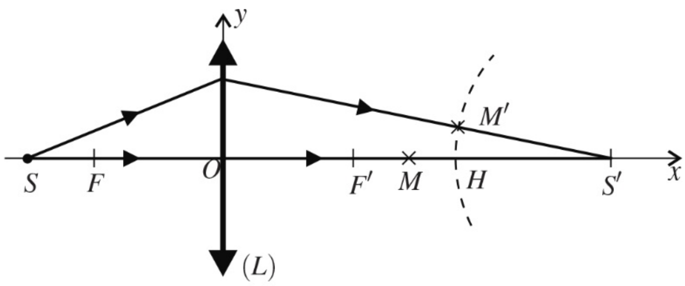
Le rayon arrivant en M traverse une épaisseur e de verre donc :

$$(SM) = n_{\text{air}}SM + (n - n_{\text{air}})e = n_{\text{air}}(f' + x) + (n - n_{\text{air}})e\,.$$

Les surfaces d'ondes après (L) sont les plans perpendiculaires à Ox ; soit H le point de l'axe Ox situé sur la même surface d'onde que M'. Nous avons :

$$(SM') = (SH) = n_{\text{air}}(f' + x') + (n - n_{\text{air}})e\,.$$

2. L'image de S par (L) est le point S' tel que : $\dfrac{1}{\overline{OS'}} = \dfrac{1}{f'} + \dfrac{1}{\overline{OS}} = \dfrac{1}{f'} - \dfrac{2}{3f'}$ soit $\overline{OS'} = 3f'$.
Les rayons parvenant en M et M' passent par S'.



Comme à la question précédente on trouve : $(SM) = \dfrac{3f'}{2} + x + (n - n_{\text{air}})e$.

Les surfaces d'ondes sont des sphères de centre S'. Soit H le point sur l'axe (Ox) appartenant à la même surface d'onde tel que :

$$(SM') = (SH) = n_{air}SH + (n - n_{air})e$$

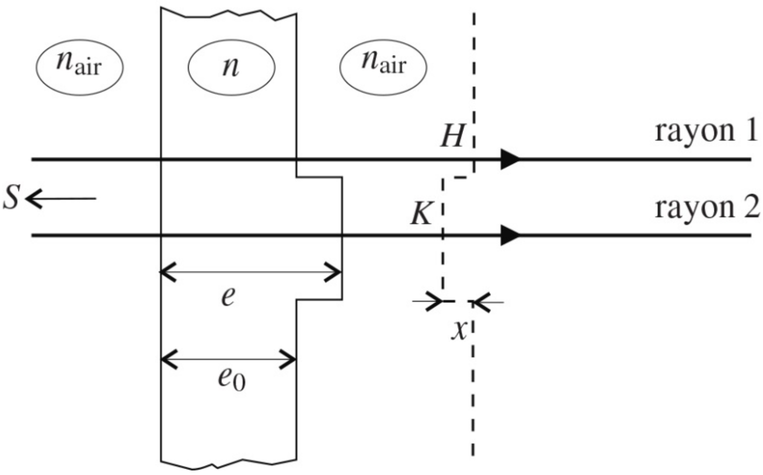
$$or\ SH = SS' - S'H\ avec \begin{cases} SS' = \dfrac{3}{2}f' + 3f' = \dfrac{9}{2}f' \\ S'H = S'M' = \sqrt{y'^2 + (3f' - x')^2} \end{cases}$$

$$\Rightarrow (SM') = n_{air}\left(\frac{9f'}{2} - \sqrt{(3f' - x')^2 + y'^2}\right) + (n - n_{air})e$$

OP23 – Lame de verre avec défaut d'épaisseur

1. Le rayon numéro 2 se propage dans le verre sur une distance $e - e_0$, alors que le rayon 1 se propage sur cette distance dans l'air ; le chemin optique du rayon numéro 2 est donc supérieur de $(n - n_{\text{air}})(e - e_0)$ (remarquons que les deux chemins optiques sont infinis). D'après la relation entre chemin optique et augmentation du retard de phase, la vibration transportée par le rayon 2 est en retard sur la vibration transportée par le rayon 1 de : $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0}(n - n_{\text{air}})(e - e_0)$.

2. La surface d'onde (en tireté sur la figure) présente un creux de profondeur x. Soient H et K les points de cette surface situés respectivement sur les rayons 1 et 2 et S la source (située à l'infini). On a $(SH) = (SK)$, d'où $n_{\text{air}}x = (n - n_{\text{air}})(e - e_0)$ soit : $x = \frac{n - n_{\text{air}}}{n_{\text{air}}}(e - e_0)$.



OP24 – Raie quasi-monochromatique

1°) Soit :

$$L_c = c\ \tau_c = \frac{c}{\Delta\upsilon}\ car\ \tau_c \Delta\upsilon = 1$$

Or :

$$\Delta\nu = \Delta\left(\frac{c}{\lambda}\right) = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda_{0m}^2}\ car\ \Delta\lambda \ll \lambda_{0m}$$

$$\Rightarrow L_c = \frac{\lambda_{0m}^2}{\Delta\lambda}$$

2°) C'est une raie rouge telle que *:* $L_c = \frac{\lambda_{0m}^2}{\Delta\lambda} = 32cm\ \ et\ N = \frac{L_c}{\lambda_{0m}} \approx 5.10^5$