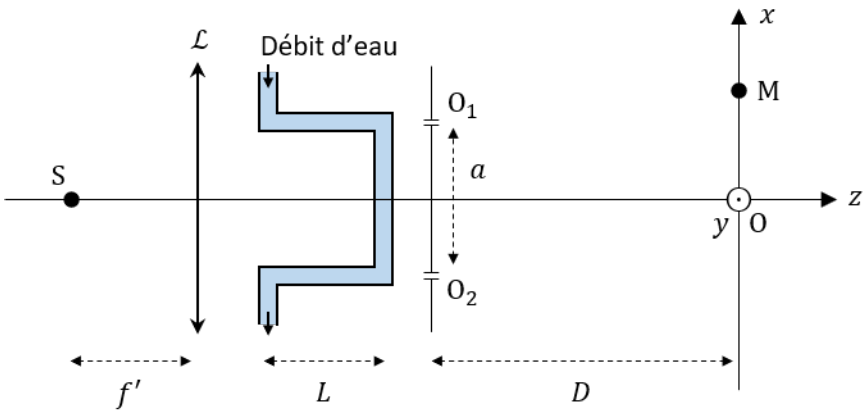
Expérience de Fizeau

Soit deux trous d'Young O_1 et O_2 distants de $a = 10$ mm éclairés sous incidence normale par une source ponctuelle S monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 585{,}0$ nm. La source est située au foyer principal objet d'une lentille convergente, dans la plan médiateur des deux trous. On observe des interférences sur un écran situé à une distance $D = 20$ m des trous.

L'expérience de Fizeau consiste à placer devant chaque trou un tube horizontal de longueur $L = 5{,}0$ m rempli d'eau, dans lesquels circule un courant d'eau de même vitesse $v_e = 7{,}0\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$, de sens opposé.



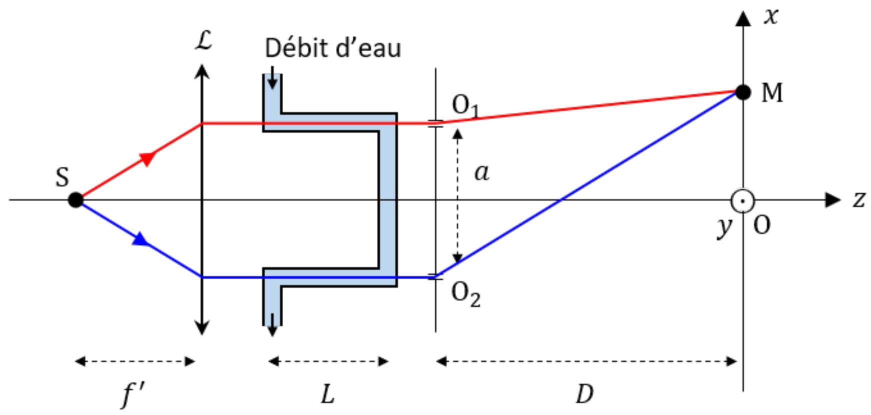
L'indice de l'eau au repos valant $n = 1{,}337$, la vitesse de la vitesse est égal à c/n dans le référentiel de l'eau.

1) Calculer l'ordre d'interférence au point M en l'absence de courant d'eau.

Correction

Détermination de la différence de marche δ en l'absence de courant. La seule partie qui n'est pas identique entre les deux rayons est celle après les trous d'Young.

$$\delta = (O_2M) - (O_1M)$$



Avec :

$$\begin{aligned}(O_2M) &= \sqrt{\left(x+\frac{a}{2}\right)^2 + y^2 + D^2}\\ &= D\sqrt{1+\left(\frac{x+a/2}{D}\right)^2+\left(\frac{y}{D}\right)^2}\\ &\simeq D\left[1+\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x+a/2}{D}\right)^2+\left(\frac{y}{D}\right)^2\right]\right]\end{aligned}$$

et :

$$\begin{aligned}(O_1M) &= \sqrt{\left(x-\frac{a}{2}\right)^2 + y^2 + D^2}\\ &= D\sqrt{1+\left(\frac{x-a/2}{D}\right)^2+\left(\frac{y}{D}\right)^2}\\ &\simeq D\left[1+\frac{1}{2}\left[\left(\frac{x-a/2}{D}\right)^2+\left(\frac{y}{D}\right)^2\right]\right]\end{aligned}$$

Après simplification :

$$\delta = \frac{ax}{D} \quad \Rightarrow \quad \boxed{p = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{ax}{\lambda D}}$$

On suppose que la vitesse de la lumière dans l'eau en mouvement, mesurée dans le référentiel du laboratoire vaut :

$$v_\pm = \frac{c}{n} \pm v_e$$

Il s'agit de la loi de composition des vitesses de la mécanique galiléenne.

2) Calculer la variation de l'ordre d'interférence au point M provoqué par l'établissement du courant d'eau.

Correction

Le courant d'eau modifie la différence de chemin optique. On rappelle que le chemin optique est défini par :

$$(\mathrm{AB}) = n \times \mathrm{AB} = n \times v \times t_{\mathrm{AB}} = c \times \mathrm{AB}$$

où t_{AB} est le temps mis pour aller de A vers B.

Ici, le temps pour traverser le tuyau d'eau vaut :

$$t_{\pm} = \frac{L}{v_{\pm}} = \frac{L}{\frac{c}{n} \pm v_e} = \frac{nL}{c}\left(1 \pm \frac{nv_e}{c}\right)^{-1} \simeq \frac{nL}{c}\left(1 \mp \frac{nv_e}{c}\right)$$

Ainsi,

$$\delta' = \frac{ax}{D} + c\left(t_- + t_+\right) = \frac{ax}{D} - \frac{2Ln^2 v_e}{c}$$

On en déduit :

$$\boxed{\Delta p = \frac{2Ln^2 v_e}{c}}$$

3) Sachant que l'on observe un déplacement des franges de $\Delta x = 0{,}37 \pm 0{,}05$ mm, que pensez de la composition galiléenne des vitesses pour la lumière ?

Correction

La différence d'ordre correspond à une différence de position :

$$\Delta p = \frac{a}{D}\Delta x \quad \Rightarrow \quad \boxed{\Delta x = \frac{2Ln^2 v_e D}{ca} = 0{,}83 \text{ mm}}$$

La théorie n'est donc pas en accord avec l'expérience.

4) Un résonnement de relativité restreinte donne :

$$v = \frac{c}{n} \pm v_e\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

Ce résultat est-il en accord avec l'expérience ?

Correction

Cette fois,

$$\boxed{\Delta x = \frac{2Ln^2 v_e D}{ca}\left(1 - \frac{1}{n^2}\right) = 0{,}37 \text{ mm}}$$

La théorie est en accord avec l'expérience.