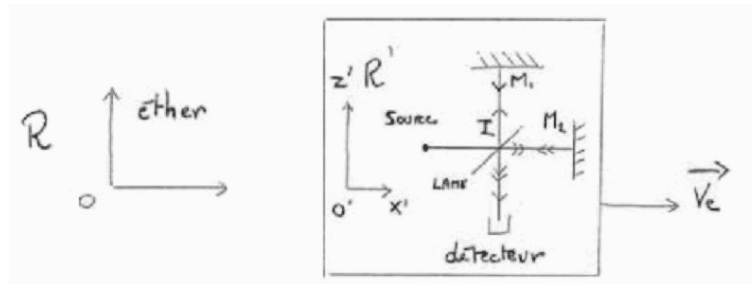


L3 LICENCE PHYSIQUE  
RELATIVITÉ/PHYSIQUE NUCLEAIRE  
TD 1

Expérience de Michelson

On a longtemps considéré que la propagation de la lumière avait pour support un milieu hypothétique, appelé éther. On désigne par  $\mathcal{R}$  le référentiel associé à ce milieu. On s'attendait en particulier à ce que la vitesse de la lumière par rapport au référentiel du laboratoire ou référentiel terrestre  $\mathcal{R}'$  variait au cours du mouvement de translation de la Terre par rapport à  $\mathcal{R}$ .

A. Michelson proposa en 1881 une expérience d'interférométrie optique susceptible de détecter des très faibles variations de vitesse. L'interféromètre de Michelson est constitué de deux miroirs  $M_1$ ,  $M_2$  et d'une lame semi transparente  $L$  qui divise l'onde incidente en deux parties d'égale intensités. Celles-ci sont ensuite réfléchies par les miroirs  $M_A$  et  $M_B$ . La superposition des ondes est détectée en P. Ce dispositif est composé de deux bras ( $IM_1$  et  $IM_2$ ) de même longueur  $l$ .



L'ensemble, placé dans l'air qu'on assimilera au vide, est fixe dans  $\mathcal{R}' = O'x'y'z'$  et en translation rectiligne uniforme par rapport au référentiel  $\mathcal{R} = Oxyz$  selon l'axe  $Ox$  à la vitesse  $\mathbf{v}_e$ .  $\mathcal{R}$  et  $\mathcal{R}'$  peuvent être considérés, avec une très bonne approximation, comme des référentiels inertiels.

On se propose d'examiner les implications de cette expérience. Le problème comporte trois parties. Dans la première, on mène un calcul non relativiste (galiléen), dans la deuxième un calcul relativiste (einsteinien). Dans la dernière partie, on confronte ces deux approches aux observations expérimentales.

1. Calcul non relativiste

On désigne par  $\mathbf{v}$  et  $\mathbf{v}'$  respectivement la vitesse de la lumière dans  $\mathcal{R}$  et dans  $\mathcal{R}'$ . Dans cette partie du problème, on considère que la norme  $\|\mathbf{v}\|$  de la vitesse de la lumière dans  $\mathcal{R}$  est une constante de valeur  $c$ .

- (a) Rappeler la relation galiléenne entre les vitesses  $\mathbf{v}$ ,  $\mathbf{v}'$  et  $\mathbf{v}_e$ .
- (b) On note  $\tau_1$  la durée mise par la lumière pour aller de  $I$  à  $M_1$  et revenir en  $I$  et  $\tau_2$  la durée mise par la lumière pour aller de  $I$  à  $M_2$  et revenir en  $I$ . Calculer  $\tau_1$  et  $\tau_2$  en fonction de  $l$  et des vitesses.

- (c) Calculer la différence des durées  $\tau_N = \tau_2 - \tau_1$ . Sachant que  $v_e \ll c$ , donner une forme approchée de  $\tau_N$ . Application numérique avec  $l = 12 \text{ m}$  et  $v_e = 30 \text{ km.s}^{-1}$ .

## 2. Calcul relativiste

On définit les événements suivants :

$E_0$  : émissions simultanées depuis  $I$  du signal  $S_1$  vers  $M_1$  et du signal  $S_2$  vers  $M_2$ .

$R_1$  : réflexion du signal  $S_1$  au miroir  $M_1$ .

$R_2$  : arrivée du signal  $S_2$  au miroir  $M_2$ .

$I_1$  : retour du signal  $S_1$  en  $I$  après réflexion sur  $M_1$ .

$I_2$  : retour du signal  $S_2$  en  $I$  après réflexion sur  $M_2$ .

- (a) L'événement  $E_0$  étant choisi comme origine, exprimer en fonction de  $l$  les coordonnées de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $I_1$  et  $I_2$  dans  $\mathcal{R}'$ .
- (b) En déduire, en utilisant la transformation pour un boost de Lorentz, les coordonnées de ces mêmes événements dans  $\mathcal{R}$ . Déterminer d'abord les relations pour la transformation inverse,  $K' \rightarrow K$ .
- (c) Regarder l'intervalle de temps  $\Delta t$  entre  $E$  et  $I_1$  (ou  $I_2$ ) dans les deux référentiels. On obtient quel rapport? Interprétation?
- (d) La différence entre durées des trajets  $IM_2I$  et  $IM_1I$  est notée  $\tau_E$  dans  $\mathcal{R}$  et  $\tau'_E$  dans  $\mathcal{R}'$ . Calculer, et comparer,  $\tau_E$  et  $\tau'_E$ .

## 3. Confrontation à l'expérience

*Michelson réalisa l'expérience avec une source quasi-monochromatique de la longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$ .*

- (a) *Exprimer la différence de phase  $\phi$  entre les ondes ayant effectuées les trajets  $IM_1I$  et  $IM_2I$  en fonction de la différence des durées  $\tau$  entre les deux trajets,  $c$  et  $\lambda_0$ . Donner l'expression  $\phi_N$  et  $\phi_E$ , correspondants respectivement au calcul non relativiste et au calcul relativiste.*
- (b) *Michelson fit tourner l'appareil de  $90^\circ$ , autour d'un axe vertical, de façon à ce que les rôles joués par les bras  $IM_1$  et  $IM_2$  soient inversés par rapport à la direction de  $\mathbf{v}_e$ ; le bras  $IM_1$  est maintenant parallèle à  $\mathbf{v}_e$ . Que deviennent  $\phi_N$  et  $\phi_E$ ?*
- (c) *À toute variation de la différence de phase est associé une variation de l'intensité lumineuse. En faisant tourner le dispositif de  $90^\circ$ , que s'attendait à observer Michelson en se fiant à l'analyse non relativiste? Qu'observait-il en réalité? Commenter.*