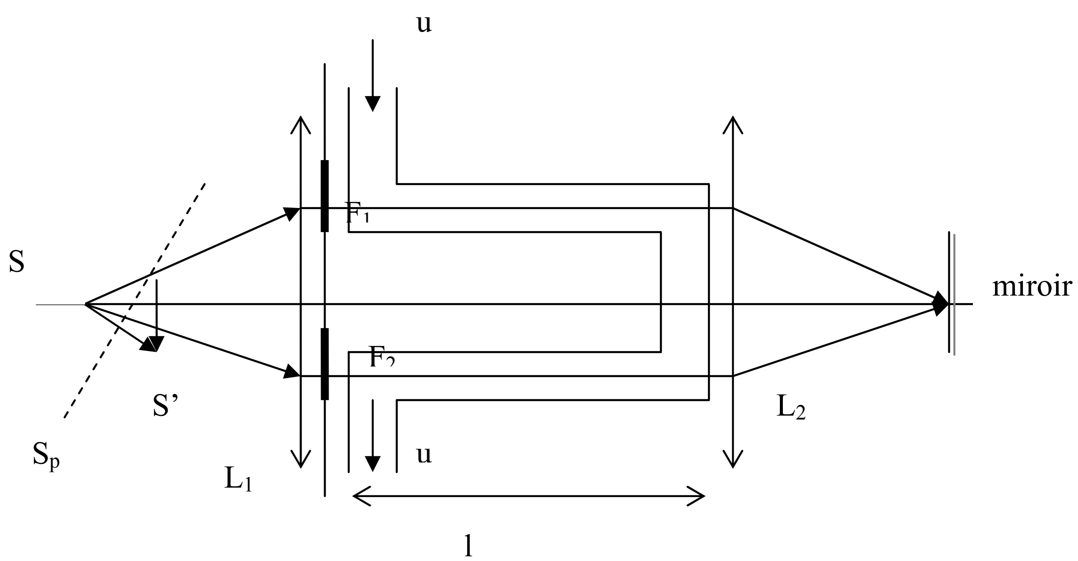
Nom :
Lycée :

Problème 1 : Expérience de Fizeau.

En 1851 le physicien français Fizeau imagine une expérience destinée à mettre en évidence la loi de composition des vitesses appliquée à la lumière. A cet effet il réalise une expérience dans laquelle la lumière parcourt deux trajets de même longueur dans un liquide transparent, de telle sorte que le liquide circule en sens opposé sur les deux trajets lumineux étudiés.

Une source ponctuelle S éclaire deux fentes d'Young F_1 et F_2 placées devant une canalisation coudée. Ce tube, fermé par des fenêtres transparentes, contient un liquide d'indice n qu'une pompe permet d'animer d'une vitesse $u \ll c$ par rapport au laboratoire .On considère le référentiel du laboratoire comme galiléen. Par rapport au liquide, la lumière se propage à la vitesse c/n.
La source ponctuelle S est placée au foyer objet d'une lentille L_1. Les fentes d'Young sont donc éclairées en lumière parallèle. Le faisceau issu de la fente F_1 (resp. F_2) parcourt le tube supérieur (resp. inférieur) rempli de liquide, de longueur l, puis est focalisé sur un miroir placé dans le plan focal de la lentille L_2. Celui-ci renvoie le faisceau dans le tube inférieur (resp. supérieur). Les 2 faisceaux ainsi renvoyés repassent par les fentes et la lentille L_1, et interfèrent en S.
Les deux trajets suivis par la lumière sont identiques pour des vibrations qui passent les fentes F_1 ou F_2.



Dans la pratique, on utilise la réflexion sur une lame semi réfléchissante S_p, inclinée à 45° par rapport à la direction des rayons lumineux placée entre la source S et la lentille L_1. L'image géométrique de S dans le dispositif se trouve en S'. Cette lame permet de faire interférer les rayons lumineux dans une zone d'espace où l'on peut mettre un capteur d'enregistrement des franges.
En absence de circulation du fluide, l'ordre d'interférence zéro se trouve en S'.
On fait circuler le liquide comme l'indique le schéma.
On donne n = 1, 33 ; l = 1,5m ; u = 7 m/s ; λ = 540 nm

1°) Calcul classique

a) Calculer la différence Δt des temps de parcours de la lumière sur ces deux trajets entre S et S' en adoptant la loi classique de composition des vitesses.

b) Calculer l'ordre d'interférence p (défini comme le rapport de la différence de marche entre les 2 parcours et de la longueur d'onde) au point S'.
c) L'expérience a donné p = 0,1 ; le résultat obtenu est-il conforme à la valeur expérimentale ?
2°) Si on adopte une loi de composition des vitesses de la forme : $v = \dfrac{v'+v_e}{1+v'v_e/c^2}$ où v_e représente la vitesse d'entraînement et v' la *vitesse relative*, quelle nouvelle valeur p' obtient-on en S' pour l'ordre d'interférence ?
3°) Calculer le rapport (p'-p)/p . Comment pensez-vous qu'il faille interpréter les résultats précédents ? *L'expérience de Fizeau a été réalisée en 1851 , savez-vous quelles sont les hypothèses formulées à l'époque pour justifier l'écart entre la valeur théorique classique et le résultat expérimental ?*

1° $\Delta t = t_{21} - t_{12} = \dfrac{2l}{c/n-u} - \dfrac{2l}{c/n+u} \approx \dfrac{4ln^2u}{c^2}$

Ordre d'interférence : $p_{classique} = \dfrac{c\Delta t}{\lambda}$ =0,46. La valeur expérimentale (0,2 : erreur dans l'énoncé !) est très sensiblement différente du modèle classique.

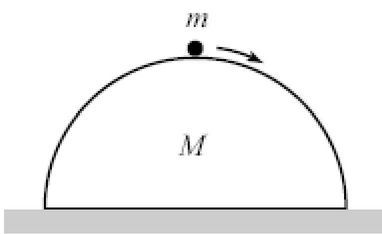
2° $v_{12} = \dfrac{c/n+u}{1+u/(nc)}$, $v_{21} = \dfrac{c/n-u}{1-u/(nc)}$ donc $\Delta t_{relat} = 2l\left(\dfrac{1}{v_{21}} - \dfrac{1}{v_{12}}\right) \approx \dfrac{4ln^2u}{c^2}\left(1-\dfrac{1}{n^2}\right)$

$p'/p_{classique} = 1-\dfrac{1}{n^2}$=0,43 , p'=0,2 et (p-p')/p=0,3% ! La mesure expérimentale est conforme au modèle de la relativité restreinte, dont ne disposait pas Fizeau à l'époque.
Hypothèse de l'époque: théorie de l'éther comme milieu matériel nécéssaire à la propagation de la lumière.

<u>Problème 2</u> : décollage sur un igloo mobile

Un point matériel de masse *m* repose au sommet d'une demi sphère de masse M, de rayon R. Tous les contacts sont sans frottements, la demi-sphère est donc également mobile. Une petite perturbation entraîne le glissement de *m*. On se place dans le cas m=M pour simplifier les calculs.

A quel angle θ (mesuré depuis le sommet) le point matériel perd-il contact avec la demi-sphère ?



On note v_x la vitesse horizontale de la particule et V_x celle de la ½ shère dans le ref. du laboratoire R.

Le système {m,M} ne subissant que des forces verticales, $mv_x+MV_x=0$ soit $V_x= - m/M\ v_x = - k\ v_x$

Dans le ref. de la ½ sphère (Rs) , la vitesse horizontale de m est : vx-Vx=(1+k) v_x

La particule décolle quand la réaction s'annule (et à ce moment, la force d'inertie dans Rs aussi)

Ce qui conduit à : $mg \cos\theta = mv'^2/R$

Or $v'=(1+k)v_x/\cos\theta$.

D'autre part $v_y / (1+k)\ v_x = \tan\theta$.

D'après le théorème de l'Ec dans R, $1/2m(v_x^2+ v_y^2)+1/2M\ V_x^2= mgR(1- \cos\theta)$

ce qui donne au final l'équation : $k \cos^3\theta - 3(1+k) \cos\theta + 2(1+r)=0$.

Pour le cas m=M, soit k=1, on trouve $\cos\theta$ = racine(3) - 1