

Activité 1 relativité restreinte

La vitesse de la lumière en question

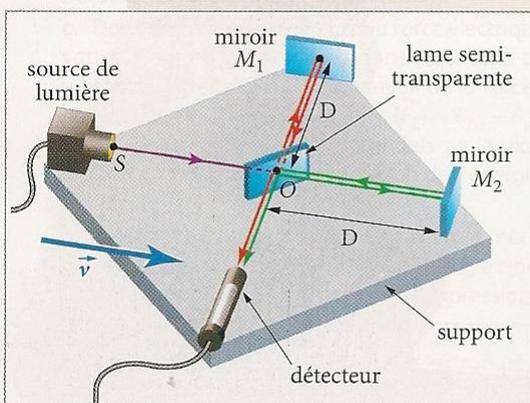
Dans la mécanique Newtonienne, toujours d'actualité à la fin du XIX^{ème} siècle, le temps est absolu et s'écoule de la même manière quel que soit le choix du système de référence spatial.

On a vu, d'après les travaux de Galilée et de Newton, que dans un référentiel galiléen, un système pour lequel les forces se compensent est soit au repos soit animé d'un mouvement rectiligne uniforme. Il est donc impossible de définir un référentiel « absolu » qui serait immobile puisqu'il n'existe pas de moyen de savoir si ce référentiel est en mouvement par rapport à un autre référentiel.

D'autre part au XIX^{ème} siècle, l'électromagnétisme se développe et la nature ondulatoire de la lumière permet d'interpréter les phénomènes d'interférences et de diffraction. Par analogie avec les ondes sonores qui se propagent dans les milieux matériels, les physiciens de l'époque proposent un milieu de propagation pour les oscillations lumineuses appelé éther. Ce milieu serait immobile (espace absolu) et la lumière s'y propagerait à vitesse constante.

A l'époque personne ne doute de la validité de cette hypothèse malgré la contradiction apparente avec le principe de relativité cité ci-dessus et diverses expériences ont tenté de mettre en évidence cet éther comme celle de Michelson et Morley.

- Considérons deux voitures dont les compteurs de vitesse affichent $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ pour l'une et $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ pour l'autre : si elles se croisent, leurs passagers voient arriver l'autre voiture à $110 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ alors que si elles se doublent, c'est à $10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ que leurs passagers voient l'autre voiture se déplacer. On peut appliquer les mêmes règles de composition (d'addition ou de soustraction) des vitesses si on remplace un véhicule par un signal sonore.
- 5 • Il en est tout autrement si l'on remplace l'un des mobiles par un signal lumineux. Ainsi, on n'a jamais pu constater que la valeur de la célérité de la lumière dans le vide par rapport à la Terre était influencée par le mouvement de celle-ci dans l'espace. L'expérience la plus connue a été réalisée à partir de 1881 par les physiciens américains Michelson et Morley.



- Le dispositif est schématisé sur la figure ci-contre. La lumière émise par la source S rencontre en O une lame semi-transparente : une partie de la lumière est réfléchi vers le miroir M_1 , l'autre partie traverse la lame en direction du miroir M_2 . Après réflexion en incidence nulle sur les deux miroirs, le même phénomène se produit à nouveau sur la lame. Le détecteur permet l'observation du phénomène d'interférence entre les rayons ayant suivi les deux trajets représentés en rouge et en vert.
- 10
- 15
- 20 On envisage ici le cas où le support de ce dispositif, fixe sur la Terre, est placé de telle sorte que l'axe SOM_2 soit parallèle à la direction de la vitesse \vec{v} du support par rapport au référentiel héliocentrique (référentiel galiléen). La lumière émise par la source S se propage dans le même sens que \vec{v} de O à M_2 , mais en sens contraire de M_2 à O.
- Notons c la vitesse de propagation de la lumière dans le référentiel héliocentrique. La règle de composition des vitesses devrait permettre d'affirmer que par rapport au support, la lumière effectue le trajet entre O et M_2 à la vitesse $c - v$ à l'aller, et $c + v$ au retour ; la direction OM_1 est normale à \vec{v} , le trajet aller-retour est donc moins affecté par le mouvement. Avec cette hypothèse, la différence τ entre les durées des trajets OM_2O et OM_1O devrait dépendre de v . Dans les conditions décrites, le calcul donne une différence voisine de $\tau = \frac{Dv^2}{c^3}$, D étant la distance $OM_1 \approx OM_2$. Les deux faisceaux interfèrent et bien que la vitesse v (d'environ $30 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$) soit très petite devant c , la figure d'interférence obtenue devrait être affectée d'une façon mesurable par cette différence τ , et dépendre de l'orientation de l'appareil par rapport à \vec{v} , ce qui n'a jamais été observé.

1 L'expérience de Michelson et Morley.

Questions

1. Quel était l'objectif de Michelson et Morley ?
2. En quoi le dispositif expérimental mis en œuvre peut-il permettre d'atteindre l'objectif fixé ?
3. Quels phénomènes optiques sont utilisés dans cette expérience ?
4. Vérifier que τ a la dimension d'un temps et calculer sa valeur. Comparer cette valeur à la période d'une radiation de longueur d'onde dans le vide 500nm. Justifier l'utilité d'un dispositif d'interférences pour mesurer le décalage attendu.
On prendra $D=10\text{m}$, $v=3,0 \cdot 10^4 \text{ m/s}$ et $C=3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.
5. Cette expérience permet-elle de prouver l'existence de l'éther ?
6. Quelle propriété de la lumière découle de cette expérience ?
7. En généralisant le résultat à tout référentiel galiléen, que peut-on dire de la célérité dans le vide provenant d'une étoile, pour un occupant d'un vaisseau spatial ultra rapide se déplaçant avec un mouvement rectiligne uniforme par rapport au référentiel héliocentrique ?