

LP26: CINÉMATIQUE RELATIVISTE. EXPÉRIENCE DE MICHELSON ET MORLEY

Thibault Hiron–Bédiée

Niveau : Troisième année de Licence

Prérequis : Mécanique, interféromètre de Michelson, équations de Maxwell

1 Les limites de la relativité galiléenne

Invariance des lois de la physique par translation (cf cours Phytem)

Notion de temps absolu (Hadlik intro à la RR, Dunod, p. 2)

1.1 La transformée de Galilée

Relations pour le changement de référentiel galiléen. (cours Phytem)

Faire schéma (ou montrer sur transparent) représentant deux référentiels en translation l'un par rapport à l'autre selon x .

1.2 Les équations de Maxwell

Donner directement l'équation d'onde en rappelant leur origine. Les dérivées spatiales dans \mathcal{R} et \mathcal{R}' sont identiques par définition, celle par rapport au temps l'est aussi parce que le temps est absolu.

On a dans les deux référentiels la même célérité, or par changement de référentiel, on devrait avoir $c - v$ qui apparaît...

Par conséquent, deux solutions (on ne remet pas en cause Maxwell) :

- soit un référentiel est privilégié et c varie par changement de référentiel galiléen (transformée de Galilée adaptée)
- soit c est invariant par changement de référentiel car μ_0 et ϵ_0 sont des constantes et la transformée de Galilée n'est pas valide.

2 Expérience de Michelson et Morley

2.1 Contexte et présentation de l'expérience

Michelson présuppose la validité de la transformée de Galilée : il existe donc un référentiel privilégié, attaché au milieu matériel dans lequel la lumière se propage, **l'éther**.

Réaliser un schéma rapide où l'on voit l'éther en déplacement relatif par rapport à la Terre.

Schéma expérimental au tableau.

Indiquer la vitesse de l'éther sur l'un des bras, que l'on notera par la suite \parallel , l'autre bras étant le bras \perp .

Préciser qu'il y a le Michelson dans un référentiel \mathcal{R} et l'éther dans un référentiel \mathcal{R}'

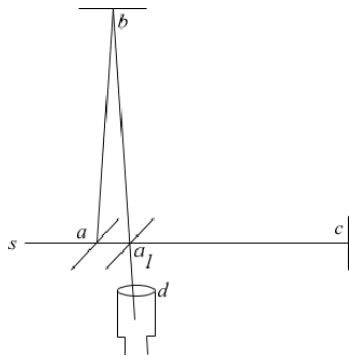
2.2 Différence de marche entre les bras

On explicite la vitesse de propagation à l'aller et au retour sur le bras \parallel pour en déduire le temps de parcours.

Même opération sur le bras \perp .

On obtient par suite :

$$\tau_{\parallel} = \frac{2Lc}{c^2 - v^2} \quad \text{et} \quad \tau_{\perp} = \frac{2L}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$



Dans le calcul du temps de vol dans le bras \perp il faut prendre en compte le fait que le michelson est en mouvement par rapport à l'éther et donc le comptabiliser, c'est ce qui fait apparaître $\sqrt{c^2 - v^2}$

Pour le calcul, s'aider de "The Michelson and Morley Experiment, Some Analysis".

Mettre sur transparent un schéma pour le calcul du temps de vol dans chacun des bras pour avoir un support visuel et gagner du temps.

À partir des deux temps, on peut en déduire la différence de temps de vol et donc la différence de marche (et le nombre de franges) :

$$\delta = L \frac{v^2}{c^2} \quad \text{d'où} \quad \Delta N = \frac{L}{\lambda} \frac{v^2}{c^2}$$

AN : $\lambda = 550 \text{ nm}$, $v = 3 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}$, $c = 3 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$ et $L = 11 \text{ m}$.

Plus de précision dans le Hadlik p. 6 et le Perez p.12.

Si on pivote de 90° , le rôle des deux miroirs est inversé et on trouve une différence de marche opposée.

Michelson calcul alors $\frac{\Delta N_{\text{th}}}{\Delta N_{\text{obs}}}$ et trouve 2. Avec l'augmentation de la précision du matériel, en 1929, on trouve 90. (Perez)

L'expérience ne montre pas une différence de vitesse.

2.3 Interprétation et construction d'une nouvelle cinématique

Fitzgerald émet l'hypothèse que les longueurs se contractent dans la direction de leur mouvement avec :

$$L' = L \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Lorentz est de cet avis aussi et avait déjà commencé à travailler sur une nouvelle transformation de passage d'un référentiel galiléen à un autre qui permet de retrouver théoriquement les résultats de Michelson et Morley et de rendre les équations de Maxwell invariantes.

Écrire les équations de la transformation spéciale de Lorentz.

3 Cinématique relativiste

C'est Einstein qui va donner un sens physique à la transformation de Lorentz.

3.1 Principe de relativité d'Einstein

On reprend la structure du Perez V. pp. 13 à 15

- Invariance des lois de la physique
- Invariance de la vitesse de la lumière
- Le changement de ref galiléen se fait par la transformation de Lorentz

Ce principe de relativité permet d'expliquer les résultats de Michelson et Morley : la vitesse de la lumière est un absolu, donc il n'y a pas de différence de marche.

3.2 L'espace-temps

3.2.1 Événement

Définition d'un événement (t, x, y, z)

3.2.2 Diagramme de Minkovski

Perez p. 29

Montrer le programme Python, expliquer ce que l'on voit sur la partie diagramme.

3.3 Conséquences de la relativité restreinte

Présenter plus en détail le problème du train et du tunnel (vitesse, longueurs respectives, événements A_1 , A_2 , B_1 et B_2)

3.3.1 Relativité de la simultanéité

Hadlik p. 37 Adapter le train d'Einstein avec le programme Python et montrer la non simultanéité en fonction du référentiel dans lequel on se place grâce à l'animation.

3.3.2 Contraction des longueurs

Notion de longueur propre, calcul de la longueur impropre. Hadlik p. 48–49
Illustration avec l'animation

3.3.3 Dilatation du temps

Notion de temps propre, calcul de la durée entre deux événements. (sauter en fonction du temps disponible)
Hadlik p. 40–41. Montrer éventuellement la figure 2.2

3.3.4 Loi de composition des vitesses

Hadlik p.86