Formation Sciences de la Matière
Cours : Physique Master 1 (ENS)

Introduction aux Théories de la Gravitation

TD 9

Thomas Buchert, CRAL, Observatoire de Lyon buchert@obs.univ–lyon1.fr Tél. : 06 84 68 03 88

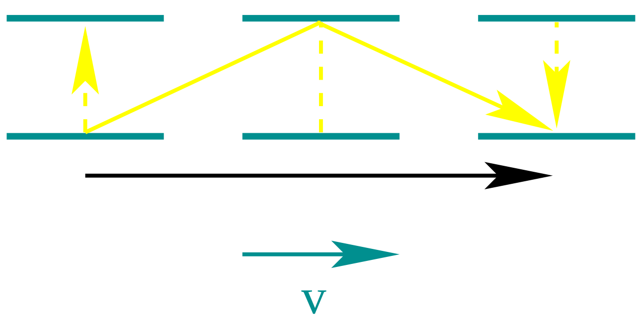
9.1. La transformation de Lorentz

Nous allons construire une dérivation graphique de *la transformation de Lorentz* pour un mouvement uni–dimensionnel.

Une horloge schématique voyage dans un référentiel inertiel $\mathcal{S}'$, plongé dans l'espace eulerien, à vitesse $\mathbf{v}$. L'horloge est construite avec deux mirroirs, et un rayon de lumière est utilisé comme une mesure de temps, définit par la période entre les évènements de réflection.

Dans le système inertiel $\mathcal{S}'$ (le système de l'horloge), la lumière voyage (pendent une demi–periode) un chemin de longueur $\Delta s' = c'\Delta t'$, où le temps passé, $\Delta t'$, est mesuré avec cet instrument dans le système $\mathcal{S}'$, et où c' dénote la vitessse de la lumière aussi dans le système $\mathcal{S}'$.

Imaginons maintenant que cette horloge est visée par un observateur dans un autre système inertiel $\mathcal{S}$, plongé aussi dans l'espace eulerien, mais à vitesse nulle.



Confirmez d'abord que le chemin, que la lumière prend dans $\mathcal{S}$, deviendra ($v := |\mathbf{v}|$)

$$(\Delta s)^2 = (\Delta s')^2 + (v\Delta t)^2 =: (c\Delta t)^2 \quad . \tag{9.1}$$

On a définit une période de temps Δt, mesurée dans $\mathcal{S}$ avec le même instrument (l'horloge), mais posé à vitesse nulle dans $\mathcal{S}$. La dernière équation nous définit une autre vitesse lumineuse, dénoté par c.

Notez que, dans la théorie de Newton, les vitesses c et c', considerées comme des vitesses des corps materiels, seront différentes ; l'horloge bouge avec la vitesse v, et les vitesses obéissent à la loi d'additivité vectorielle des vitesses.

Einstein a avancé un principe révolutionaire selon lequel la vitesse de la lumière (dans le vide) est *universelle*. Concrètement, il a postulé que $c = c'$ dans n'importe quel référentiel inertiel.

Nous avons vu dans le cours que ce postulat est en fait un postulat qui établit une *structure métrique de l'espace–temps*.

9.1.1. La ≪ dilatation du temps ≫

En postulant maintenant cette universalité de la vitesse lumineuse dans les deux systèmes inertiels, $c = c'$, on trouvera une impliquation : la loi de la transformation du temps sera la suivante :

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad . \tag{9.2}$$

Confirmez cette loi et discutez l'interprétation de la ≪ dilatation du temps ≫ : le temps passé dans le système $\mathcal{S}'$ est inférieur à celui passé dans $\mathcal{S}$.

L'universalité du temps dans la théorie newtonienne est remplacée par l'universalité da la vitesse lumineuse.

9.1.2. La ≪ contraction de Lorentz ≫

Avec le même instrument nous pouvons aussi mesurer la longueur d'une règle, qui soit posé à la vitesse nulle dans $\mathcal{S}$. Si nous écrivons cette longueur comme $\Delta\ell = c\Delta t$, c.–à.–d. comme elle est mesurée dans $\mathcal{S}$, la longueur de la même règle va être interprétée comme

$$\Delta\ell' = c\Delta t' = \Delta\ell \sqrt{1 - v^2/c^2} \tag{9.3}$$

dans le système $\mathcal{S}'$, donc inférieure à la longeur précédente, si nous utiliserions le temps mesuré dans $\mathcal{S}'$.

Confirmez cette loi et discutez l'interprétation de la ≪ contraction de Lorentz ≫ : une règle en movement serait interprétée avec une longeur inférieure à celle du système de l'observateur.

L'universalité de l'espace dans la théorie newtonienne est remplacée par l'universalité da la vitesse lumineuse.