



Chapitre

Concepts fondamentaux

1.1 Concepts Newtoniens

1.1.1 Transformation de Galilée

π Définition 1.1 : Référentiel

Un observateur muni d'un instrument de mesures : l'horloge et une règle, un rapporteur. Par duplication des observateur, on construit un cristal d'horloge synchronisées et au repos les uns par rapport aux autres

π Définition 1.2 : Évènement

Quelque chose qui se passe à un endroit et à un moment

La collision de 2 particules est un évènement.

1.1.2 Principe de relativité

Forces invariantes

Chapitre

Conséquences de la relativité

2.1 Relativité du temps

On part du postulat que c est invariant

2.1.1 Horloges

Temps, durée propre, durée impropre



Définition 1.1 : Horloge

Phénomène périodique



Définition 1.2 : Durée

Différence entre 2 temps



Définition 1.3 : Durée propre / impropre

Différence de temps entre une seule et unique horloge / horloges différentes

Synchronisation

On utilise la synchronisation d'Einstein. Une horloge envoie un signal lumineux à T1 mesuré sur H1. la deuxième le reçoit à T2 mesuré sur H2 et renvoie le signal à H2 qui mesure T3. Il faut que

$$t_3 = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

2.1.2 Perte de simultanéité

On est dans un train qui se déplace (extrémité A et B) avec un signal mis depuis le centre.

Il y a donc 2 événements :

- Arrivée en A : A_r
- Arrivée en B : B_r

2.1.3 Dilatation des durées

Cas relativiste

Facteur de Lorentz



Définition 1.4 : Facteur de Lorentz

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \text{ avec } \beta = \frac{v}{c} \text{ et } v, R'/R$$

Si $\beta \ll 1$, on est en limite relativiste et $\gamma - 1 \simeq \frac{1}{2}\beta^2$

Tests expérimentaux

2.2 Relativité de l'espace



Définition 2.1 : Longueur d'un objet

distance entre 2 événements simultanés ayant lieu aux deux extrémités



Définition 2.2 : Longueur propre

On va mesurer les distances avec le temps, donc avec des horloges. Entre 2 points O et M, on a

$$OM = \frac{c(t_2 - t_1)}{2}$$

**Définition 2.3 : Règle**

Un objet tel que $OM(t) = Cst$

2.2.1 Contraction des longueurs

Effet longitudinal

**Théorème 2.1**

$$L = \frac{L'}{\gamma}$$

Direction transverse

**Lemme 2.1 : Lemme de réciprocité**

$$\overrightarrow{v_{R/R'}} = -\overrightarrow{v_{R'/R}}$$

**Théorème 2.2 : Transformations de Lorentz**

$$ct' = \gamma(ct - \beta x), x' = \gamma(x - \beta ct), y' = y, z' = z$$

**Théorème 2.3 : Relation durée propre / impropre**

$$DI = \gamma DP$$

2.2.2 Propriété

Formules d'inversion

On change simplement v en $-v$ pour obtenir $ct = \gamma(ct' + \beta x'), \dots$

Notion d'intervalle

Soit deux événements $E_1(ct_1, x_1, y_1, z_1)$ et $E_2(ct_2, x_2, y_2, z_2)$. Il existe un invariant par changement de référentiel qui est

$$I_{12} : c^2(t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2$$

Pour montrer la conservation de I_{12} lors d'une transformation de Lorentz entre deux référentiels R et R' ,

- on exprime la quantité $c^2(\Delta t')^2 - (\Delta x')^2 - (\Delta y')^2 - (\Delta z')^2$ en injectant les transformations $\Delta x' = \gamma(\Delta x - v\Delta t)$ et $\Delta t' = \gamma(\Delta t - \frac{v}{c^2}\Delta x)$.
- Après développement, le terme croisé en $-2v\Delta x\Delta t$ s'annule, et le facteur $\gamma^2(1 - \frac{v^2}{c^2}) = 1$ simplifie l'expression :
- on retrouve exactement I_{12} .



Définition 2.4 : Intervalle d'espace-temps

L'intervalle d'espace-temps entre E_1 et E_2 est une quantité invariante par changement de référentiel, notée s_{12}^2 (ou I_{12}), et définie par :

$$s_{12}^2 = c^2(t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2$$

Pour deux événements infiniment proches, on écrit la forme différentielle $ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$.



Signe et genre de l'intervalle

Le signe de s_{12}^2 permet de classifier la relation causale entre les événements :

- $s_{12}^2 > 0$: intervalle de **type temps**. Les événements peuvent être reliés causalement (par exemple par une particule de masse non nulle circulant de E_1 vers E_2).
- $s_{12}^2 = 0$: intervalle de **type lumière** (ou nul). Les événements sont reliés par la propagation d'un signal lumineux à la vitesse c .
- $s_{12}^2 < 0$: intervalle de **type espace**. Aucun signal causal ne peut relier E_1 et E_2 .

Notion de Temps propre



Définition 2.5 : Temps propre

Le temps propre d'une particule est le temps indiqué par une horloge transportée par la particule.

Donc $ds^2 = c^2d\tau^2$.

Dans R, la particule se déplace à la vitesse $v = \beta c$

Donc $c^2 d\tau^2 = \frac{c^2 dt^2}{\gamma^2}$ d'où

$$\frac{dt}{d\tau} = \gamma$$

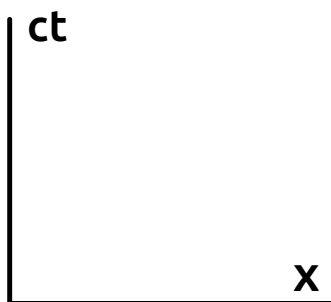
2.3 Diagramme d'espace-temps

2.3.1 Ligne d'univers

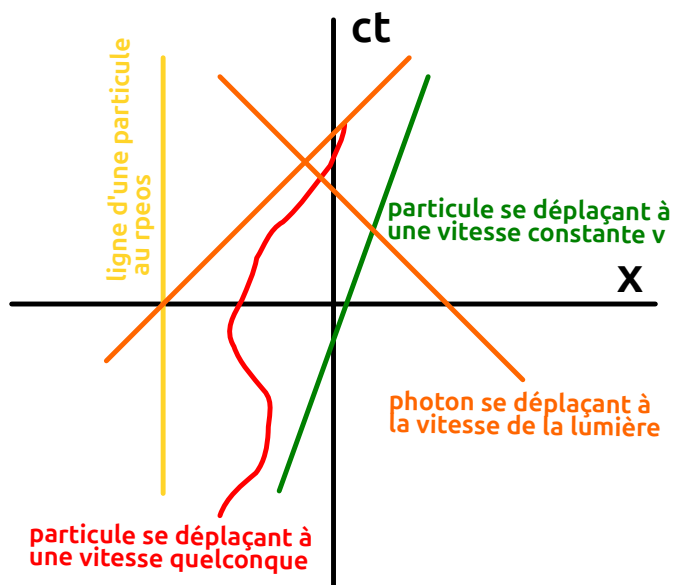


Définition 3.1 : Ligne d'univers

Trajectoire d'une particule dans le diagramme d'espace-temps.

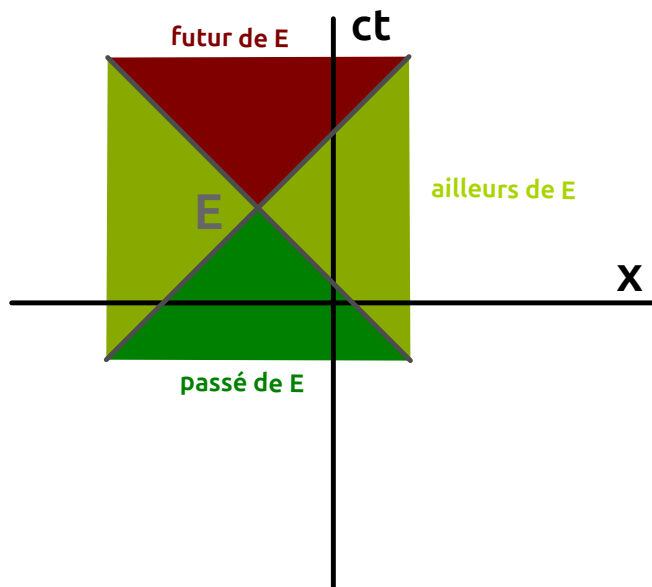


Particules massives



Cones de Lumière

Les lignes d'univers de photon sont des droites à $\pi/4$.



Définition 3.2 : Futur de E

Les évènements qui sont reliés causalement à E

Retour sur le critère de simultanéité

Une ligne de simultanéité est une droite horizontale

2.3.2 Représentation d'une TL

Les axes

