

TP Relativité restreinte

Contexte : Transformations de Lorentz

Pour des vitesses proches de la vitesse de la lumière c , les lois de la mécanique de Newton doivent être modifiées en accord avec la théorie d'Einstein sur la relativité restreinte. Dans cette théorie, un événement est décrit par sa localisation en espace et en temps. Ces valeurs dépendent d'un observateur à l'autre. Considérons deux référentiels $\mathcal{R}$ et $\mathcal{R}'$ se déplaçant l'un par rapport à l'autre à une vitesse $\mathbf{u}$. Une matrice de transformation dite de Lorentz s'applique, permettant de transformer un événement par changement de référentiel.

L'objectif de ce TP consiste à étudier les séquences chronologiques d'une série d'événements d'un référentiel à l'autre. Évidemment, par principe de causalité, un résultat paradoxal tel que quelqu'un puisse naître avant que sa mère ne soit née ne doit pas pouvoir se produire, puisqu'aucun événement ne peut se communiquer plus rapidement qu'un signal à la vitesse de la lumière.

Pour cela, vous allez devoir développer un programme Python permettant de calculer le quadri-vecteur espace-temps d'un événement suite à une transformation de Lorentz.

Instructions

1.) Écrire un programme nommé `lorentz.py` permettant de :

- Initialiser les variables comme la vitesse du référentiel $\mathcal{R}'$.
- Définir les graphiques permettant de tracer les événements dans un diagramme Temps (années) en abscisse et $x(t)$ en ordonnée avec l'option `subplot`.
- Définir un ensemble d'événements aléatoires spatialement (par exemple 10, mais ce chiffre pourra évoluer) dans le référentiel $\mathcal{R}$.
- Appeler une fonction `transformation_lorentz()` permettant d'effectuer une transformation de Lorentz sur un vecteur.
- Déterminer l'ensemble des événements dans le référentiel $\mathcal{R}'$.

2.) Utiliser votre programme pour tracer des événements pour t compris entre 0 et 10 ans (non aléatoire) dans les deux référentiels et $-10 < x < 10$ années-lumière. Vous utiliserez des vitesses relatives suivant x avec :

- (a) $u/c = 0$;
- (b) $u/c = 0.1$;
- (c) $u/c = 0.5$;
- (d) $u/c = 0.9$;
- (e) $u/c = 0.99$.

- 3.) Dans le programme `lorentz.py`, identifier chaque cas où $t_1 < t_2$ mais $t'_2 < t'_1$.
- 4.) Tester votre programme en imposant $x = 0$, puis $x = ct$. Tracer les événements dans le référentiel $\mathcal{R}'$.
- 5.) Tracer dans les deux référentiels la quantité $x^2 - c^2t^2$. À quoi correspond-elle ?
- 6.) (a) Modifier le programme de manière telle que la direction de la vitesse du référentiel $\mathcal{R}'$ change après que la moitié des événements soient arrivés.
(b) Répéter (a) avec des événements se produisant à $x = 0$. Simuler le paradoxe des jumeaux de Langevin, les événements représentant les anniversaires de jumeaux restant à la maison. Discuter du résultat.
- 7.) Modifier le programme pour simuler la désintégration d'une particule instable en mouvement relativiste.
- Supposons qu'une particule instable de durée de vie propre τ_0 se déplace à une vitesse $u = 0.8c$ dans le référentiel $\mathcal{R}$. Générer un ensemble d'événements correspondant aux instants où cette particule pourrait se désintégrer en fonction d'une loi exponentielle de probabilité.
 - Appliquer une transformation de Lorentz pour déterminer les temps et positions de désintégration dans un référentiel $\mathcal{R}'$ en mouvement à une vitesse $v = 0.5c$ par rapport à $\mathcal{R}$.
 - Comparer la durée de vie mesurée de la particule dans les deux référentiels et vérifier l'effet de dilatation du temps. Représenter graphiquement la distribution des événements de désintégration dans les référentiels $\mathcal{R}$ et $\mathcal{R}'$.

Envoi de votre travail :

- 8.) Rassembler l'ensemble de vos fichiers Python et les figures dans une présentation PowerPoint que vous aurez ensuite transformée en fichier PDF. Mettre le tout dans un dossier compressé (ZIP uniquement par de RAR) et déposer le fichier ZIP sur Moodle dans l'onglet TP.