

Généré par application kalanso sur PLAYSTORE

Sujet : Physique — 22/09/2026 01:15 creat by Kalanso App

La relativité restreinte : quand le temps et l'espace s'unissent

Introduction

Au début du XXe siècle, la physique classique issue des travaux de Newton semblait inébranlable. Pourtant, l'étude de la lumière et des phénomènes électromagnétiques allait révéler ses limites. En 1905, Albert Einstein publie sa théorie de la relativité restreinte, qui bouleverse notre compréhension de l'espace, du temps et de l'énergie. Cette théorie repose sur deux postulats simples mais aux conséquences vertigineuses. Dans ce cours, nous découvrirons ces principes, leurs implications contre-intuitives et quelques applications concrètes.

1. Les deux postulats fondamentaux

La relativité restreinte s'appuie sur deux postulats énoncés par Einstein :

- **Principe de relativité** : les lois de la physique sont identiques dans tous les référentiels galiléens (c'est-à-dire les référentiels en mouvement rectiligne uniforme les uns par rapport aux autres). Aucune expérience ne permet de distinguer un référentiel galiléen d'un autre.
- **Constance de la vitesse de la lumière** : la vitesse de la lumière dans le vide, notée c , est la même dans tous les référentiels galiléens, quelle que soit la vitesse de la source ou de l'observateur. Sa valeur est approximativement $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$.

Ces deux postulats peuvent sembler anodins, mais ils entrent en contradiction avec la transformation de Galilée utilisée en mécanique classique. Il faut donc repenser les notions d'espace et de temps.

2. La relativité du temps : dilatation temporelle

L'une des conséquences les plus célèbres est que le temps ne s'écoule pas de la même façon pour tous les observateurs. Considérons une horloge en mouvement par rapport à un observateur. Pour cet observateur, l'horloge en mouvement bat plus lentement. Ce phénomène est appelé **dilatation du temps**.

La formule reliant l'intervalle de temps propre Δt_0 (mesuré dans le référentiel de l'horloge) et l'intervalle de temps Δt mesuré dans le référentiel où l'horloge se déplace à la vitesse v est :

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0$$

où γ (gamma) est le facteur de Lorentz :

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Comme $\gamma \geq 1$, le temps mesuré est toujours supérieur ou égal au temps propre. Plus la vitesse v s'approche de c , plus γ devient grand et plus la dilatation est importante.

Exemple : les muons créés dans la haute atmosphère par les rayons cosmiques ont une durée de vie très courte (2,2 μ s). Sans relativité, ils ne pourraient pas parcourir plus de 660 m avant de se désintégrer. Pourtant, on les détecte au sol ! C'est parce qu'à une vitesse proche de c , leur temps propre s'écoule plus lentement vu de la Terre, ce qui leur permet de parcourir plusieurs kilomètres.

3. La relativité de l'espace : contraction des longueurs

De la même manière que le temps, l'espace est relatif. Un objet en mouvement voit sa longueur se contracter dans la direction du mouvement. C'est la **contraction des longueurs**.

Si un objet a une longueur propre L_0 (mesurée au repos), sa longueur L mesurée dans un référentiel où il se déplace à la vitesse v est :

$$L = L_0 / \gamma$$

Cette contraction n'est pas une illusion : elle est réelle et découle de la constance de la vitesse de la lumière. Par exemple, une règle de 1 m se déplaçant à 86,6 % de la vitesse de la lumière (soit $\gamma = 2$) n'aurait plus qu'une longueur de 0,5 m pour un observateur immobile.

Il est important de noter que cette contraction ne s'applique que dans la direction du mouvement. Les dimensions perpendiculaires au mouvement restent inchangées.

4. La transformation de Lorentz et la composition des vitesses

Pour passer d'un référentiel galiléen à un autre, on utilise les **transformations de Lorentz**, qui remplacent les transformations de Galilée. Pour un mouvement selon l'axe x , elles s'écrivent :

$$\begin{aligned} x' &= \gamma (x - v t) \\ t' &= \gamma (t - v x / c^2) \end{aligned}$$

Ces équations mélangent espace et temps, montrant qu'ils ne sont pas indépendants. Une conséquence directe est la nouvelle loi de composition des vitesses. Si un objet se déplace à la vitesse u' dans un référentiel lui-même animé d'une vitesse v par rapport à un autre, la vitesse u dans ce dernier n'est pas $u' + v$ mais :

$$u = (u' + v) / (1 + u' v / c^2)$$

Ainsi, la vitesse de la lumière reste c quel que soit le référentiel. Si $u' = c$, alors $u = (c + v) / (1 + v/c) = c$. Cela confirme le second postulat.

5. Équivalence masse-énergie

L'une des formules les plus célèbres de la physique est $E = m c^2$. Elle exprime le fait que la masse et l'énergie sont deux formes d'une même réalité. La masse d'un objet au repos correspond à une énergie de repos $E_0 = m c^2$. Lorsqu'un objet est en mouvement, son énergie totale est $E = \gamma m c^2$.

Cette équivalence a des conséquences pratiques : dans les réactions nucléaires, une petite quantité de masse peut libérer une énergie colossale. C'est le principe des centrales nucléaires et des bombes atomiques. Par exemple, la fission d'un noyau d'uranium libère environ 200 MeV, ce qui correspond à une diminution de masse de l'ordre de 0,1 %.

Conclusion

La relativité restreinte a révolutionné notre vision de l'univers en unifiant l'espace et le temps en une entité unique : l'espace-temps. Ses prédictions contre-intuitives, comme la dilatation du temps et la contraction des longueurs, ont été vérifiées expérimentalement de nombreuses fois. Elle est aujourd'hui indispensable pour comprendre les accélérateurs de particules, les GPS, ou encore l'astrophysique des objets compacts. Bien que limitée aux référentiels galiléens, elle a ouvert la voie à la relativité générale, qui intègre la gravitation. Ainsi, la relativité restreinte demeure un pilier fondamental de la physique moderne.