Temps et relativité restreinte

Thème : Comprendre. Lois et modèles.

Notions et contenus	Compétences exigibles
Temps et relativité restreinte Invariance de la vitesse de la lumière et caractère relatif du temps.	
Postulat d'Einstein. Tests expérimentaux de l'invariance de la vitesse de la lumière.	Savoir que la vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens.
Notion d'évènement. Temps propre. Dilatation des durées. Preuves expérimentales.	Définir la notion de temps propre. Exploiter la relation entre durée et durée mesurée. Extraire et exploiter des informations relatives à une situation concrète où le caractère relatif du temps est à prendre en compte.

I- La mécanique classique est insuffisante pour expliquer certaines observations, naissance de la théorie de la relativité restreinte :

Selon les lois classiques du mouvement (cinématique galiléenne), si deux mobiles A et B se déplacent avec les vitesses $\overrightarrow{v_B}$ et $\overrightarrow{v_A}$ par rapport à un référentiel galiléen, pour un passager de A, le véhicule mobile B se déplace à la vitesse $\overrightarrow{v_B}$ - $\overrightarrow{v_A}$. Il en est de même si le mobile B est remplacé par une onde sonore ou une vague sur la mer.

Mais cette loi de composition des vitesses ne s'applique pas aux ondes lumineuses comme le montre l'expérience historique de Michelson et Morley, effectuée au XIXème siècle.

La mesure de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide par rapport à la Terre donne toujours la même valeur c, et est indépendante de la vitesse de déplacement de la Terre par rapport au Soleil !

Tenant compte de ces observations expérimentales concernant la vitesse de propagation de la lumière, Albert Einstein publie en 1905, une nouvelle théorie : la relativité restreinte.

II- Enoncé du postulat d'Einstein au sujet de la vitesse de la lumière :

Postulat : affirmation non démontrée servant de base à une théorie.

Enoncé du postulat d'Einstein pour la vitesse de la lumière :

La valeur de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens, c = 299 792 458 $m.s^{-1}$ = 3,00.10^8 $m.s^{-1}$ (avec trois chiffres significatifs).

III- Caractère relatif du temps :

La théorie de la relativité impose d'abandonner la conception newtonienne selon laquelle le temps est une réalité absolue : la mesure du temps dépend du référentiel de mesure.

En relativité restreinte, un évènement est un fait se produisant en un point de l'espace à un instant donné.

En relativité restreinte, deux évènements se produisant à des endroits séparés, s'ils sont simultanés dans un référentiel, ne le sont pas en général dans un autre.

La durée entre deux évènements dépend du référentiel dans lequel est effectuée la mesure.

IV- Durée propre et durée mesurée :

Le référentiel propre de l'objet est le référentiel dans lequel cet objet est immobile, c'est-à-dire le référentiel lié à l'objet.

Le temps propre (ou la durée propre) ΔT_0 est la durée séparant deux évènements ayant lieu au même endroit dans un référentiel galiléen. Cette durée est mesurée par une horloge immobile dans ce référentiel galiléen.

L'activité sur les muons page 246 montre que la durée de vie propre d'un muon en mouvement dans l'atmosphère terrestre est plus petite que la durée de vie mesurée par un observateur immobile à la surface de la Terre.

Le temps mesuré (ou la durée mesurée) $\Delta T'$ est la durée séparant deux évènements mesurée par une horloge immobile dans un référentiel galiléen en mouvement par rapport au référentiel galiléen dans lequel on mesure le temps propre.

ΔT_0 et $\Delta T'$ sont liés par la relation de dilatation temporelle : $\Delta T' = \gamma \Delta T_0$ avec γ (gamma)

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

où v est la valeur de la vitesse relative d'une horloge par rapport à l'autre,

c est la valeur de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide.

v étant toujours inférieure à c, le coefficient γ est supérieur à 1.

Un temps mesuré (ou durée mesurée) est toujours supérieur au temps propre correspondant : c'est le phénomène de dilatation des durées.

Une horloge qui se déplace par rapport à un observateur bat plus lentement qu'une horloge immobile par rapport à cet observateur.

V- Preuves expérimentales :

- L'expérience sur les muons des physiciens Rossi et Hall, en 1941, est la première preuve expérimentale de la dilatation des durées (voir activité p 246).

- Les particules instables animées de vitesses proches de c, présentes dans les rayons cosmiques ou les accélérateurs de particules, peuvent être observées pendant une durée très supérieure à leur durée de vie propre. C'est une preuve expérimentale de la dilation des durées.

La physique des particules fait appel à la théorie de la relativité restreinte.

VI- Quand le caractère relatif du temps est-il à prendre en compte ?

Le postulat d'Einstein (relativité restreinte) est compatible avec les lois de la mécanique classique de Galilée et de Newton.

En effet, si v est très inférieure à c, alors $\gamma = \sqrt{\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ est très proche de 1 et alors

$\Delta T' \approx \Delta T_0$.

Dans ce cas, la mesure d'une durée est indépendante du référentiel choisi.

Dans le cas où la valeur de la vitesse relative entre les horloges considérées est faible par rapport à la valeur de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide, la dilatation des durées n'est plus perceptible, même avec des horloges atomiques.

Dans certaines situations, il est indispensable de prendre en compte la relativité du temps. C'est le cas des GPS : sans synchronisation, les horloges embarquées dans les satellites seraient décalées par rapport à une horloge terrestre (voir activité 4 p 274).