

I. POURQUOI IL FALLAIT CHANGER LES LOIS DE LA PHYSIQUE ?

1. Insuffisance de la mécanique classique

En introduction, regardons une [vidéo](#)

2. Les postulats d'Einstein

● **Postulat 1**

Les lois de la physique s'expriment de la même façon dans tous les référentiels galiléens.

● **Postulat 2**

La vitesse de propagation de la lumière dans le vide est indépendante du mouvement de la source lumineuse et elle est **invariante** quel que soit le référentiel galiléen.

● **Conséquence**

Il existe une vitesse limite, égale à la célérité c de la lumière dans le vide, qui ne peut être dépassée par aucun signal transportant une information, ni aucune particule.



Dilatation des durées

- Présentation de la situation
- Dans le référentiel du vaisseau
- Dans notre référentiel
- Relation entre le temps propre et le temps mesuré
- Quelques valeurs
- Comparaison de Δt et de Δt_0

II. LA DILATATION DU TEMPS

La théorie de la relativité du temps dit qu'on observe « une dilatation du temps » pour un objet en mouvement par rapport à un observateur immobile. Expliquons cette théorie à l'aide de [l'animation suivante](#).

(on cliquera sur les différentes rubriques les unes après les autres en essayant de répondre aux questions : une feuille de brouillon et un peu d'écriture d'équations seront nécessaires !)

III. CONCLUSION

Dilatation des durées

- Le **référentiel propre** d'un objet est le référentiel dans lequel cet objet est immobile, c'est-à-dire le référentiel lié à cet objet.
- Une **durée propre** concernant un objet est une durée mesurée par une horloge immobile dans le référentiel propre de cet objet.
- Soit R_p le référentiel propre galiléen d'un objet et R un autre référentiel galiléen, en mouvement l'un par rapport à l'autre :

durée du phénomène mesurée dans R

$$\Delta t_m = \gamma \times \Delta t_p$$

durée propre du phénomène mesurée dans R_p

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

$\gamma > 1$ donc $\Delta t_m > \Delta t_p$

Unités SI :

Δt_m et Δt_p en s

γ : coefficient de dilatation des durées, sans unité

v : valeur de la vitesse de R_p par rapport à R en $m \cdot s^{-1}$

c : célérité de la lumière dans le vide en $m \cdot s^{-1}$

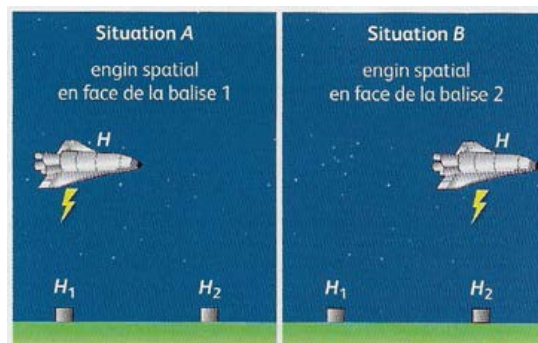


EXERCICE N°1 : CHIMIE RELATIVISTE

Dans un futur lointain, des lycéens d'un centre étranger, éloigné dans la galaxie, se rendent dans leur futur lycée après avoir passé leurs vacances d'été sur Terre. Ils s'aperçoivent qu'ils effectuent leur trajet en navette avec leur nouvel enseignant de sciences physiques. Pour passer le temps, celui-ci propose à ses futurs élèves de s'avancer dans le cours de terminale S.

Ils s'intéressent à une réaction chimique réalisée dans la navette spatiale s'éloignant à une vitesse de $v = 0,80.c$ de la Terre où c est la vitesse de la lumière dans le vide.

Les élèves enregistrent un temps de demi-réaction de 1000 s dans la navette. Un observateur terrestre peut aussi en déduire une mesure du temps de demi-réaction à l'aide d'un dispositif embarqué dans l'engin qui va envoyer un signal lumineux à deux balises fixes par rapport à la Terre, placées dans l'espace, et munies de deux horloges H_1 et H_2 synchronisées. Un premier signal est envoyé au début de la réaction et un second lorsque le temps de demi-réaction est atteint. L'horloge H est fixe par rapport à la navette.



1. Définir la notion de temps propre.
2. Indiquer les deux référentiels étudiés ici.
3. Donner les noms de Δt_m et Δt_p dans la relation $\Delta t_m = \gamma \cdot \Delta t_p$.
4. Dans quels référentiels sont déterminés respectivement Δt_m et Δt_p ?
5. Calculer γ , puis la durée inconnue
6. Comparer Δt_m et Δt_p . Commenter.

EXERCICE N°2 : LES AURORES POLAIRES

« C'est ainsi que juste avant la Seconde Guerre Mondiale, Georges Gamow, alors nouvellement installé aux Etats-Unis, se mit à rédiger d'une plume à la fois rigoureuse et alerte « Monsieur Tompkins au Pays des Merveilles », livre qui connut d'emblée le succès. Employé d'une grande banque, le héros de ces nouvelles assiste à des conférences du soir prononcées par un professeur de physique. La nuit venue, ses rêves le transportent dans des mondes peu ordinaires : les constantes fondamentales de la physique y sont modifiées de sorte que des phénomènes physiques habituellement cachés dans la vie courante deviennent manifestes. »

Il était sept fois la révolution, Etienne Klein, Ed Flammarion 2005

Dans le cas d'une particule dite relativiste, la question se pose de savoir comment sont modifiées les expressions des quantités déjà définies dans le cadre de la mécanique classique : quantité de mouvement, énergie cinétique... etc.

En 1964, le chercheur du Massachusetts Institute of Technology, William Bertozzi a mesuré indépendamment l'énergie cinétique et la vitesse d'électrons très rapides. Il a ainsi réussi à illustrer expérimentalement la relation entre vitesse et énergie cinétique pour des particules relativistes.

Données :

- relation liant la durée propre Δt_0 entre deux évènements et la durée mesurée Δt dans un référentiel en mouvement rectiligne uniforme à la vitesse v par rapport

au référentiel propre : $\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$ avec $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$;

- constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- masse d'un électron : $m = 9,11 \times 10^{-31}$ kg ;

1. Effets relativistes

- 1.1. Lorsque les effets de la relativité restreinte se font sentir, on parle de « dilatation des durées ». Montrer en quoi cette expression est appropriée.
- 1.2. On considère une particule dont la vitesse dans un référentiel terrestre est égale à 10 % de celle de la lumière. On mesure $\Delta t = 1,0$ ns. Calculer Δt_0 . Commenter.
- 1.3. L'extrait du livre d'Etienne Klein se termine par ce passage :
« Les constantes fondamentales de la physique y sont modifiées de sorte que les phénomènes physiques habituellement cachés dans la vie courante deviennent manifestes ».
Que veut dire l'auteur ? Illustrer cela en envisageant que la constante c ait une valeur plus petite.

2. Les aurores polaires

Des particules chargées en provenance du Soleil mais aussi d'autres étoiles balayent le système solaire. Ce sont les « vents stellaires », dans lesquels on trouve notamment des électrons. Ces électrons peuvent pénétrer dans l'atmosphère terrestre et entrer en collision avec des atomes d'oxygène ou d'azote, leur transférant partiellement leur énergie. Cette énergie est ensuite rayonnée sous forme lumineuse lorsque ces atomes se désexcitent provoquant parfois de magnifiques spectacles d'illumination du ciel, visibles de la surface de la Terre, généralement dans les régions polaires : les aurores polaires.



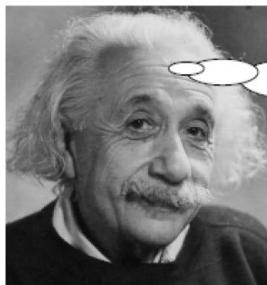
[Vidéo "Comment se forme les aurores boréales"](#)

- 2.1. Donner la valeur moyenne de la longueur d'onde d'une onde électromagnétique dans le domaine du visible.
- 2.2. En déduire alors l'énergie transportée par l'onde précédemment émise (voir le cours sur les lasers)
- 2.3. Cette onde a été émise, suite à la désexcitation des atomes, initialement excités par l'électron provenant du vent stellaire. Sachant que l'énergie cinétique de l'électron est donnée par :

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

Joule (J) kg m/s

Déterminer alors, la vitesse des électrons pénétrant dans l'atmosphère, et participant ainsi à la création des aurores polaires.



Placez votre main sur un poêle une minute et ça semble durer une heure. Asseyez-vous auprès d'une jolie une heure et ça vous semble durer une minute. C'est ça la relativité.

Une [dernière vidéo](#) pour finaliser cette notion de dilatation du temps, avec une autre conséquence de la relativité restreinte : la contraction des longueurs !!

Et enfin pour les mordus, la grande théorie de la [relativité générale](#) d'Einstein