Chapitre 12 Temps et relativité restreinte

<u>I Composition des vitesses en physique classique</u>

1. <u>Rappel</u>

<u>Situation 1 :</u>
Je marche à 5km/h vers l'avant dans un TGV qui avance à 300 km/h. Ma vitesse est donc de **305** km/h par rapport au sol (référentiel).

Un **référentiel** est l'objet par rapport auquel on décrit le mouvement.

<u>Situation 2 :</u>
Je marche à 5 km/h vers l'arrière dans un TGV qui avance à 300 km/h. Ma vitesse est donc de **295** km/h par rapport au sol.

La vitesse se compose c'est-à-dire que on a en physique classique la relation :

$\overrightarrow{v_{A/R}}=\overrightarrow{v_{A/R'}}+\overrightarrow{v_{R'/R}}$ soit la vitesse de A par rapport à R est égale à la vitesse de A par rapport à R' + vitesse de R' par rapport à R.

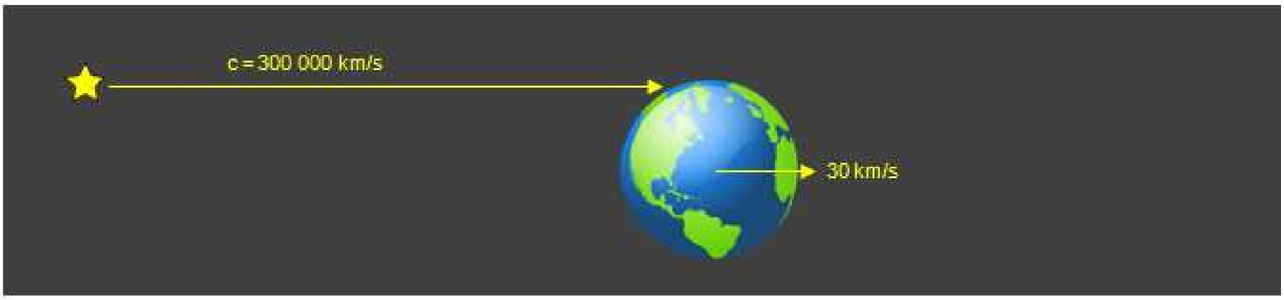
Appliquée à la situation 1, on a bien **305 = 5 + 300**
Appliquée à la situation 2, on a bien **295 = -5 + 300**

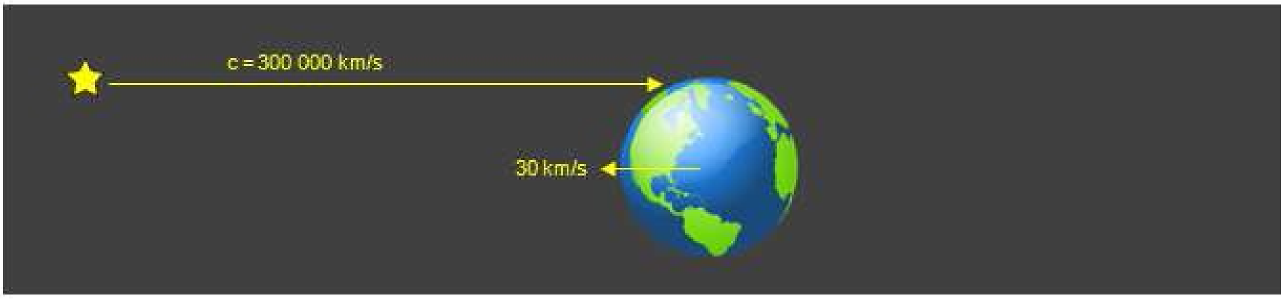
2. <u>La composition des vitesses s'applique-t-elle à la lumière</u> ?

Quelle est la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide ?

c=**300 000** km/s

Soit les situations suivantes :
a) la Terre s'éloigne de l'étoile à la vitesse de 30 km/s
b) la Terre s'approche de l'étoile à la vitesse de 30 km/s





Quelle est la vitesse attendue de la lumière par rapport à la Terre dans le cas a) ?

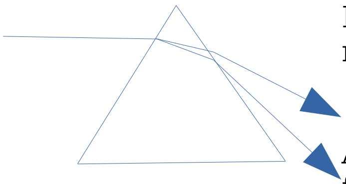
$v_{lumière/Terre} = v_{lumière/etoile} - v_{Terre/étoile}$ donc **299 970** km/s

Quelle est la vitesse attendue de la lumière par rapport à la Terre dans le cas b) ?

$v_{lumière/Terre} = v_{lumière/etoile} + v_{Terre/étoile}$ donc **300 030** km/s

Les mesures d'Arago (1853).

Principe : Il est possible de mesurer la vitesse de la lumière en mesurant sa déviation par un prisme :



Plus un rayon est rapide, moins il est dévié.

Arago, un physicien français du 19ème espère mettre en évidence une déviation différente dans les cas a) et b) voir doc.

Il ne mettra pas en évidence cette différence. La vitesse de la lumière est toujours de 300 000 km/s que ce soit par rapport au Soleil ou à la Terre ou tout autre référentiel galiléen.

Conclusion : La vitesse de la lumière ne s'additionne pas ni ne se soustrait à d'autres vitesses lorsqu'on change de référentiel.

C'est le postulat d'Einstein :

La vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens.

II Conséquences du postulat d'Einsten

1. La dilatation des durées

Le temps ne s'écoule pas de la même façon pour un observateur en mouvement et un observateur immobile ceci pour être en accord avec le postulat d'Einstein.

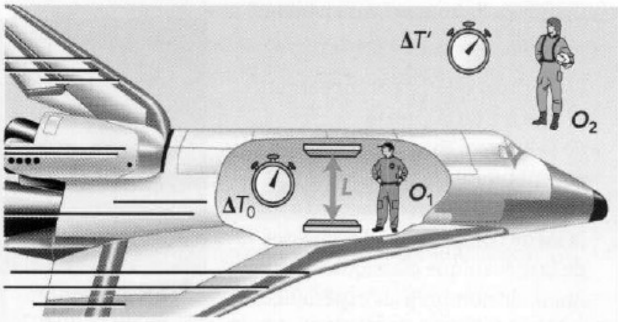
1. **C'est O1 car il est immobile par rapport au phénomène mesuré.**

La durée propre ΔT_0 est la durée entre 2 événements mesurée par une horloge qui est immobile par rapport à ces 2 événements.

$\Delta T'$ est la durée mesurée par une horloge en mouvement par rapport aux événements

La relativité restreinte conduit à des conclusions surprenantes dont celle de la dilatation des durées. L'expérience de pensée suivante permet de démontrer la formule de dilatation des durées et l'expression du coefficient γ.

Elle utilise une « horloge de lumière » qui est un dispositif imaginaire constitué de deux miroirs parallèles (représentés en bleu dans le schéma ci-dessous) entre lesquels les allers-retours d'un faisceau lumineux rythment le temps.



Dans un vaisseau, un observateur O_1, immobile par rapport à l'horloge de lumière, mesure la durée ΔT_0 d'un aller-retour de la lumière entre les deux miroirs distants d'une longueur L. La lumière se déplace à une vitesse de valeur c.

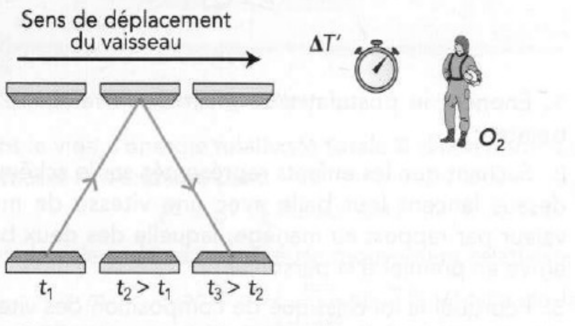
Un autre observateur O_2, à l'extérieur du vaisseau, regarde l'horloge et la voit se déplacer horizontalement à une vitesse de valeur v constante. Dans le référentiel galiléen lié à O_2, le faisceau de lumière parcourt une distance plus grande que celle parcourue dans le référentiel galiléen relié à O_1 du fait du déplacement du vaisseau (schéma ci-dessus).

La lumière ayant une vitesse de valeur c indépendante du référentiel, la durée $\Delta T'$ mesurée par O_2 sera supérieure à ΔT_0.

1. Lequel des observateurs mesure la durée propre ?

2. a. Pour O_1, quelle est la distance parcourue par la lumière lors d'un aller-retour entre les deux miroirs ?
b. Exprimer cette distance en fonction de c et de ΔT_0.

3. a. Sur le schéma ci-dessous, on a représenté différentes positions de l'horloge observée par O_2 lors d'un aller-retour de la lumière entre les deux miroirs.



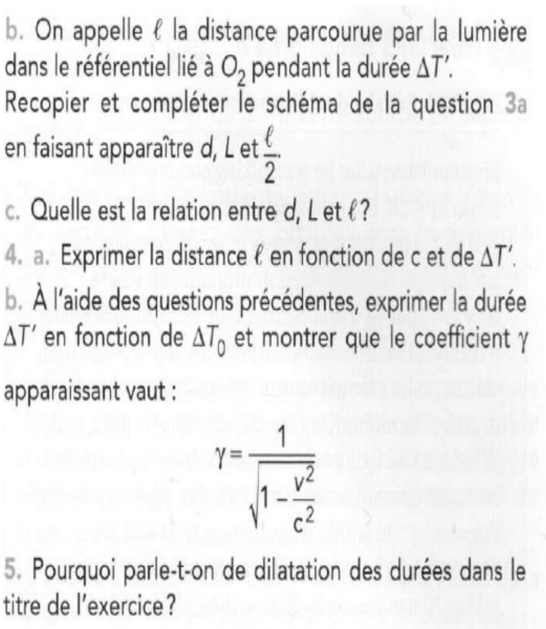
Pour O_2, exprimer, en fonction de v et de $\Delta T'$, la distance d parcourue par l'astronef pendant un aller simple de la lumière.

observés.

2.a)
La distance parcourue par la lumière lors d'un aller-retour entre les deux miroirs est :
d = 2L

b) **$2L = c.\Delta T_0$**

3.a. Pendant un aller simple l'astronef a parcouru : **$d = v.\Delta T'/2$**


b. On appelle ℓ la distance parcourue par la lumière dans le référentiel lié à O_2 pendant la durée $\Delta T'$. Recopier et compléter le schéma de la question 3a en faisant apparaître d, L et $\frac{\ell}{2}$.

c. Quelle est la relation entre d, L et ℓ ?

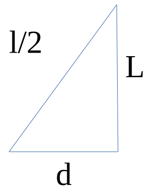
4. a. Exprimer la distance ℓ en fonction de c et de $\Delta T'$.

b. À l'aide des questions précédentes, exprimer la durée $\Delta T'$ en fonction de ΔT_0 et montrer que le coefficient γ apparaissant vaut :

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

5. Pourquoi parle-t-on de dilatation des durées dans le titre de l'exercice?

3.b)



3.c)

$$d^2 + L^2 = \left(\frac{l}{2}\right)^2$$

4.a) **$l = c\Delta T'$**
b)

$c^2(\Delta T'/2)^2 = v^2(\Delta T'/2)^2 + c^2 .(\Delta T_0 / 2)^2$

$(\Delta T'/2)^2(c^2-v^2)=c^2(\Delta T_0 / 2)^2$

$(\Delta T'/2)= (\Delta T_0/2)/\text{racine}(1-v^2/c^2)$

donc $\gamma = 1/\text{racine}(1-v^2/c^2)$

5. **γ est >1** (car v<c) donc **$\Delta T' > \Delta T_0$** donc l'événement mesuré par O2 semble **plus long** . Le temps ne s'écoule pas de la même façon pour les 2 observateurs :

une horloge en mouvement bat plus lentement qu'une horloge immobile.

2) <u>La contraction des longueurs</u>

La longueur d'un objet dépend de sa vitesse par rapport à l'observateur. On observe la contraction des longueurs pour un objet en mouvement par rapport à un observateur.

<u>III Quand doit-on utiliser la relativité restreinte</u> ?

1. <u>Pour le GPS</u>

1) GPS= signifie Global positioning system

2) La localisation s'effectue grâce à au moins 4 satellites.

3) Du fait de leur mouvement, les horloges des satellites et de l'utilisateur du gps se décalent. Les équations de la relativité permettent de corriger ce décalage.

4) L'erreur faite par jour serait de 38,7 micros par jour soit d = cΔt = 11 km

2. <u>Désintégration des muons</u>

Les muons sont des particules créées dans la haute atmosphère terrestre à 20 km de hauteur, lors de la collision de protons avec les atomes de l'atmosphère. Les muons sont très instables : leur durée de vie <u>propre</u> est 2,2 µs. Ils se déplacent à une vitesse de 0,9997 c.

En physique classique, la distance parcourue par les muons devraient être :

$$d = 0{,}9997 \times 300\,000 \times 2{,}2 \times 10^{-6} = 659\, m$$

Pourtant ces muons peuvent être détectés au niveau du sol. Leur durée de vie pour un observateur terrestre est plus longue : on la calcule avec la formule relativiste de la dilatation des temps :

$$\Delta T' = \Delta T_0 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 2{,}2 / \sqrt{1 - 0{,}997^2} = 89{,}8\, \mu s$$

soit une durée environ 40 fois plus grande et donc une distance d'environ 30 km ce qui rend tout à fait possible la détection au sol des muons produits dans la haute atmosphère.