Chapitre 12 – Relativité du temps

Corrigés des parcours en autonomie

Préparer l'évaluation — 18 — 25 — 26

18 Désintégration de particules

Exercice résolu.

25 Comparaison d'horloges

a. Dans le référentiel lié à S, les horloges des deux fusées retardent, avec un décalage identique puisqu'elles ont la même vitesse.

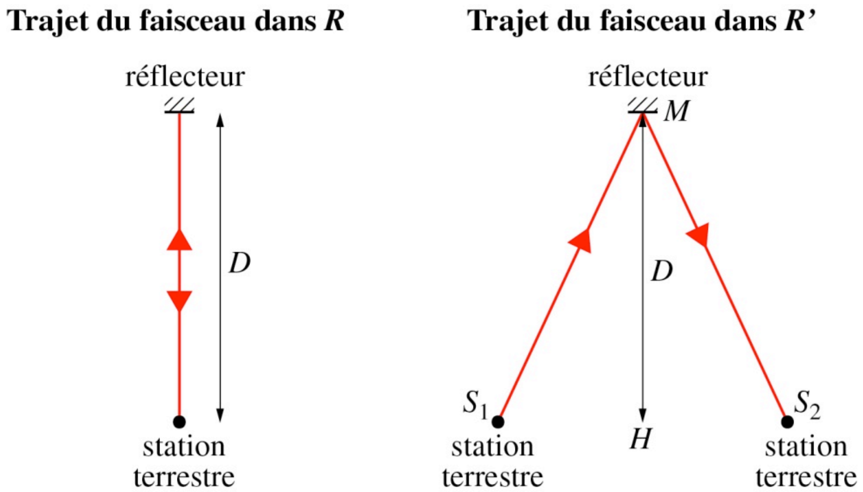
b. Les lois classiques de composition des vitesses ne s'appliquent pas mais on peut tout de même affirmer que F_2 s'éloigne de F_1 plus vite que S.

Dans le référentiel lié à F_1, les horloges transportées par S et F_2 retardent mais le retard est plus grand pour F_2.

Remarque : dans un cas comme celui-ci, la contradiction entre les résultats de la physique classique et ceux de la physique relativiste est flagrante. Il faut bien insister sur le fait que les « observations » sont valables chacune uniquement dans un référentiel donné. D'autre part, les mots « observateur » ou « observation » laissent imaginer que l'on peut « voir » les horloges et leurs indications. Il faut bien comprendre que les observations dont il est question sont nécessairement (même dans des expériences de pensées) les résultats de mesures effectuées à partir d'informations transmises (à vitesses finies).

26 Distance Terre-Lune et relativité du temps

a.



b. $\Delta t = 2\,\dfrac{D}{c}$.

c. Le vaisseau, en mouvement rectiligne uniforme par rapport au référentiel galiléen Terre-Lune, est lui-même un référentiel galiléen. D'après le principe de l'invariance de la vitesse de la lumière dans le vide, la vitesse de l'impulsion dans R' est aussi c.
d. D'après le schéma de la question **a.**, le trajet de l'impulsion lumineuse est plus long dans le référentiel R'. Or sa vitesse de propagation est la même dans les deux cas donc la durée de propagation est plus grande dans R'.
e. Distance parcourue par la station terrestre dans le référentiel du vaisseau :

$$S_1S_2 = v \times \Delta t'.$$

Longueur du trajet du faisceau dans R entre la Terre et la Lune : $D = c\dfrac{\Delta t}{2}$.

Longueur du trajet du faisceau dans R' entre la Terre et la Lune : $S_1M = S_2M = c\dfrac{\Delta t'}{2}$.

f. En appliquant le théorème de Pythagore dans le triangle S_1MH :

$$S_1M^2 = D^2 + S_1H^2 \text{ ; soit } \left(c\frac{\Delta t'}{2}\right)^2 = \left(c\frac{\Delta t}{2}\right)^2 + \left(v\frac{\Delta t'}{2}\right)^2 \text{ d'où } \Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$$

Approfondir — 28 — 30 — 31

28 Période apparente et période propre

a. $T = \dfrac{T_\text{p}}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$.

b. $L_1 = c\tau_1$ et $L_2 = c\tau_2$.

c. $T_\text{app} = (\tau_2 + T) - \tau_1$: à la durée du parcours du deuxième signal, il faut ajouter son retard d'une période par rapport au premier. Ne pas oublier que toutes les durées intervenant ici doivent être celles mesurées dans le même référentiel R.

d. $L_2 - L_1 = c(\tau_2 - \tau_1) = c(T_\text{app} - T)$.

e. La variation $L_2 - L_1$ est la distance parcourue dans R par le pulsar pendant T :

$$L_2 - L_1 = vT$$

f. D'après **d.** et **e.** : $c(T_\text{app} - T) = vT$ et en remplaçant T par l'expression donnée en **a.** :

$$c\left(T_\text{app} - \frac{T_\text{p}}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}\right) = v\frac{T_\text{p}}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$$

$$cT_\text{app} = v\frac{T_\text{p}}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}} + c\frac{T_\text{p}}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$$

$$T_{\text{app}} = T_{\text{p}} \frac{\frac{v}{c} + 1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

On réarrange en faisant apparaitre au numérateur : $\sqrt{1+\frac{v}{c}}$ et en développant le dénominateur : $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \left(\sqrt{1+\frac{v}{c}}\right)\left(\sqrt{1-\frac{v}{c}}\right)$;

$$T_{\text{app}} = T_{\text{p}} \frac{\left(\sqrt{1+\frac{v}{c}}\right)\left(\sqrt{1+\frac{v}{c}}\right)}{\left(\sqrt{1+\frac{v}{c}}\right)\left(\sqrt{1-\frac{v}{c}}\right)}$$

$$T_{\text{app}} = T_{\text{p}} \frac{\sqrt{1+\frac{v}{c}}}{\sqrt{1-\frac{v}{c}}}$$

g. Il s'agit de l'effet Doppler.

30 Apprendre à chercher

a. Pour un occupant de la Terre, la durée du voyage est :

$$\Delta t_{\text{m}} = \frac{D}{v}$$

b. Pour les occupants du vaisseau, la durée du voyage est sa durée propre :

$\Delta t_{\text{p}} = \Delta t_{\text{m}} \times \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$.

c. $\Delta t_{\text{p}} = \frac{D}{v} \times \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$.

d. ${\Delta t_{\text{p}}}^2 = \frac{D^2}{v^2} \times \left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)$.

$v^2 \times \Delta t_{\text{p}}^2 = D^2 \times \left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)$.

$v^2\left(\Delta t_{\text{p}}^2 + \frac{D^2}{c^2}\right) = D^2$.

$v = \frac{D}{\sqrt{\Delta t_{\text{p}}^2 + \frac{D^2}{c^2}}}$.

Avec $D = 4{,}5 \times 9{,}46\times10^{15}$ mètres ; $\Delta t_{\text{p}} = 10 \times 365 \times 24 \times 3600$ secondes, on obtient :

$$v = 1{,}2 \times 10^8\ \text{m·s}^{-1}$$

31 Voyage vers le futur ?

1. **a.** La phrase fait référence à la dilatation des durées pour un objet en mouvement.

b. La dilatation des durées concerne la mesure des durées dans deux référentiels. Dans le référentiel propre du voyageur, il n'y a pas de changement perçu concernant l'écoulement du temps.

c. On peut raisonner du point de vue du voyageur, en choisissant son référentiel comme étant immobile et le référentiel terrestre en mouvement.

d. La relativité restreinte ne concerne que les référentiels galiléens.

e. Le vaisseau doit accélérer au départ et ralentir à l'arrivée et il faut aussi qu'il fasse demi-tour donc à nouveau un mouvement non uniforme (et/ou non rectiligne). Le référentiel du vaisseau n'a donc pas un mouvement rectiligne uniforme par rapport au référentiel terrestre supposé galiléen.

Le jumeau sédentaire est dans un référentiel galiléen et le voyageur dans un référentiel non galiléen. Le jumeau voyageur ressent les accélérations par rapport au référentiel terrestre alors que le jumeau sédentaire ne ressent pas les accélérations par rapport au vaisseau. Les situations ne sont pas symétriques.

f. La réciprocité des situations ne s'appliquant pas, il n'y a pas de contradiction dans le fait de trouver que les deux jumeaux ne se retrouvent pas au même stade de vieillissement.

Remarque : c'est l'application incorrecte de la réciprocité à la situation qui conduit à ce que l'on appelle « le paradoxe des jumeaux » de Langevin.

2. **a.** Il n'y a pas de relation de cause à effet : le cas est envisageable.

b. Cette situation est impossible puisque l'éruption est la cause de l'arrivée des particules.