collège MELKART
soyons à l'écoute

Année scolaire
2019-2020

Classe: Terminale S - Matière: Physique - Date: mars 2020

Chapitre 12 : Relativité du temps
Corrigé des exercices

20. a. D'après les postulats de la relativité restreinte, la célérité de la lumière dans le vide est invariante dans tous les référentiels galiléens.
Le vaisseau constitue un référentiel galiléen puis qu'il se déplace en mouvement de translation rectiligne uniforme par rapport à un référentiel lui-même galiléen. Donc, dans ce référentiel, la célérité de la lumière dans le vide est c.
b. Dans le référentiel du vaisseau, l'éclair doit parcourir à la vitesse c les mêmes distances pour atteindre D_1 ou D_2. Les durées de propagation sont donc égales dans ce référentiel.
c. D'après le postulat énoncé à la question **a.**, l'éclair se propage aussi à la vitesse c dans le référentiel géocentrique.
d. On raisonne maintenant dans le référentiel géocentrique. Soit S_0 le point où se trouve la source à l'instant de l'émission de l'éclair (bien noter que ce point est un point fixe dans le référentiel d'étude). Pendant la propagation de l'éclair, D_2 s'éloigne de S_0 et D_1 s'en rapproche. L'éclair doit parcourir une distance plus petite pour atteindre D_1. Comme l'éclair se propage dans les deux sens avec la même vitesse c, la durée du trajet de S_0 à D_1 est plus courte que celle du trajet de S_0 à D_2.
e. Dans le référentiel du vaisseau, l'éclair atteint simultanément les deux récepteurs tandis que, dans le référentiel géocentrique, les deux réceptions ne sont pas simultanées. Or, il s'agit du même phénomène analysé dans deux référentiels différents.

La simultanéité dépend donc du référentiel d'étude alors que selon notre conception usuelle du temps, si deux évènements sont simultanés, ceci est vrai pour tout observateur.

On pourra insister sur le fait que le résultat est une conséquence de l'invariance de la vitesse de la lumière. On peut signaler que, dans une situation analogue où on étudierait par exemple un signal sonore, les vitesses de cette onde seraient différentes dans les deux référentiels. En raisonnant avec les lois classiques de composition des vitesses, on aboutirait à la conclusion que la simultanéité des évènements ne dépend pas du référentiel.

---

21. La dilatation des durées ne concerne qu'un phénomène analysé dans des référentiels différents. Aucune modification de l'écoulement du temps ne peut être ressentie dans un référentiel donné. L'argument du cosmonaute est faux.

---

22. a. La distance parcourue est $L = v\square$. L'erreur relative commise est :

$$\frac{c\tau - v\tau}{v\tau} = \frac{c-v}{v} = \frac{c}{v} - 1 = \frac{1}{0,99995} - 1 = 5\times10^{-5} \text{ soit } 5\times10^{-3} \text{ \%}$$

b. Si on fait la même approximation, on aboutit à un résultat aberrant car on trouve un coefficient γ infini.

---

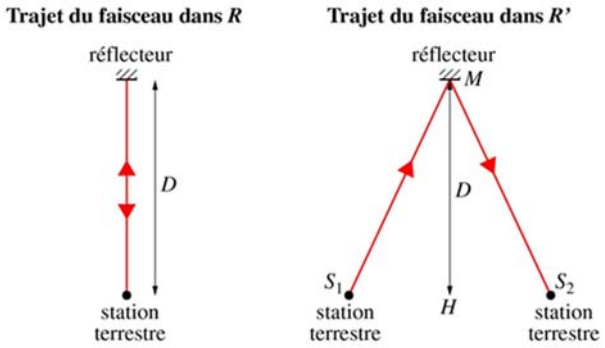
24. **a.** Les vitesses s'ajoutent ; par rapport à la voiture, le son se propage à la vitesse :

$$v + \frac{v}{4} \text{ soit } \frac{5}{4}v$$

b. La vitesse de la lumière par rapport à la fusée est c.

---

26. 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 :

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

---

27. a. Par lecture graphique, on trouve environ respectivement $1{,}5\times10^2$ MeV et $8{,}5\times10^2$ MeV ; soit une variation d'énergie presque 6 fois plus grande dans le deuxième cas pour une augmentation de vitesse 100 fois plus faible.

b. La différence de vitesse est extrêmement faible mais elle correspond à une grande différence d'énergie (elle est 7 fois plus grande).

c. À l'approche de la vitesse de la lumière, les vitesses des particules diffèrent peu les unes des autres mais les différences d'énergie sont importantes.

---

28. a. $T = \dfrac{T_p}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$.

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

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

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.** : $c(T_{app} - T) = vT$ et en remplaçant *T* par l'expression donnée en **a.** :

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

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

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

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. *Il faudra préciser aux élèves que 1 a.l.= 9,46 × 10^{15}.*

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 $D = 4{,}5 \times 9{,}46 \times 10^{15}$ 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. 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.