Correction des exercices n°1-2-3-14-16-21-23-24-27 p217-226

Exercice n°14

1. Les deux événements dont on cherche à mesurer la durée qui les sépare sont les passages de l'OVNI au-dessus de Bordeaux et d'Arcachon.
2. Dans le référentiel de la soucoupe, les deux événements sont proches de l'horloge embarquée dans l'OVNI. La durée mesurée par l'extraterrestre est une durée propre.
3. Les horloges synchronisées et fixes dans un référentiel terrestre qu'utilise Nicolas pour mesurer la durée séparant les passages de l'OVNI au-dessus de Bordeaux et d'Arcachon indiquent une durée mesurée.
En effet, ces horloges sont en mouvement par rapport à celle qui mesure la durée propre.

$$\Delta T' = \frac{d}{v} = \frac{d}{\frac{2}{3}c} = \frac{3 \times 49 \times 10^3}{2 \times 3{,}00 \times 10^8} = 2{,}5 \times 10^{-4}\ \text{s}$$

4. $$\Delta T_0 = \frac{\Delta T'}{\gamma} = \Delta T' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{d}{v} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\Delta T_0 = \frac{3 \times 49 \times 10^3}{2 \times 3{,}00 \times 10^8} \times \sqrt{1 - \left(\frac{2}{3}\right)^2} = 1{,}8 \times 10^{-4}\ \text{s}$$

La durée propre du survol de l'OVNI mesurée par l'extraterrestre est $\Delta T_0 = 1{,}8.10^{-4}$ s.

Exercice n°16

1. La durée mesurée par l'horloge correspond à la durée entre le passage de la sonde au niveau du Soleil et son arrivée dans la nébuleuse de la Lyre. Ces deux événements sont proches de l'horloge située à bord de la sonde. La durée ΔT_S est donc une durée propre.
2. La durée ΔT_R est une durée mesurée avec :

$$\Delta T_R = \gamma \cdot \Delta T_S \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Dans cette formule, v est la valeur de la vitesse relative des horloges, c'est-à-dire la vitesse de la sonde dans le référentiel héliocentrique.

3. D'après la relation :

$$\Delta T_R = \frac{d_R}{v}$$

4. $$\Delta T_R = \gamma \cdot \Delta T_S = \frac{\Delta T_S}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{et} \quad \Delta T_R = \frac{d_R}{v}$$

Il vient $\dfrac{\Delta T_S}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \dfrac{d_R}{v}$

En élevant le tout au carré, on obtient :

$$\frac{\Delta T_S^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{d_R^2}{v^2}$$

En isolant la vitesse, il vient : $v = \dfrac{d_R \cdot c}{\sqrt{\Delta T_S^2 \cdot c^2 + d_R^2}}$

Avec $d_R = 42.10^3$ années de lumière que l'on convertit en mètre,
ΔT_S = 20 000 ans que l'on convertit en seconde et $c = 3{,}00.10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, on trouve : $v = 2{,}7\ .10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Exercice n°21

1. Bill muni d'un chronomètre est situé dans un référentiel galiléen. Il mesure la durée séparant les événements E1 et E2 qui se déroulent au-dessus de sa tête, donc proches de lui. Il mesure une durée propre.

2. D'après la relation : $L_2 = v \cdot \Delta T_0$ et $L_1 = v \cdot \Delta T'$

3. Sachant que : $\Delta T' = \gamma \cdot \Delta T_0$

On en déduit que : $L_2 = v \cdot \frac{\Delta T'}{\gamma} = \frac{L_1}{\gamma}$

4. a. La navette est immobile dans un référentiel lié à Boule. C'est donc ce dernier qui mesure une longueur propre nommée ici L_1.

b. La longueur L_2, mesurée par Bill, est plus petite que la longueur L_1, mesurée par Boule, car $L_2 = L_1/\gamma$ et $\gamma > 1$.
Les longueurs se contractent.

5. Déterminons la longueur de la navette mesurée par Bill :

$$L_2 = \frac{L_1}{\gamma} = L_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = L_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{(0,90)^2}{c^2}}$$
$$L_2 = 30 \times \sqrt{1 - 0,90^2} = 13 \text{ m}.$$

La longueur de la navette mesurée par Bill est de 13 m (contraction des distances).

Exercice n°23

1. Le postulat d'Einstein pour la relativité restreinte dit que la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide est la même dans tous les référentiels galiléens.
2. D'après la loi classique de composition des vitesses, la personne fixe dans un référentiel terrestre voit la balle lancée par l'enfant A arriver avec une vitesse dont la valeur v_1 est égale à celle v_A du lancer de l'enfant par rapport au manège plus celle v_m du manège par rapport au sol ($v_1 = v_A + v_m$).
Au contraire, la balle provenant de l'enfant B arrive vers la personne avec une vitesse de valeur $v_2 = v_A - v_m$.
C'est donc la balle provenant de l'enfant A qui arrive en premier à la personne.
3. Les effets relativistes ne se font sentir que pour des valeurs de vitesse non négligeables devant c.
La loi classique de composition des vitesses s'applique donc ici pour les balles.
4. N'ayant pas observé d'images brouillées lors de l'expérience, on peut conclure que, dans le référentiel de l'observateur terrestre, la lumière émise par chaque étoile s'est propagée à une vitesse ayant la même valeur dans le vide. Le postulat d'Einstein est en accord avec ces observations.

Exercice n°24

1. La source des photons gamma sont les pions neutres provenant de la collision de protons sur des atomes de béryllium..
2. Dans (R), les pions neutres se déplacent à une vitesse de valeur égale à 0,999 75 x c.
3. a. En construisant les deux vecteurs $v_{photon/source}$ et $v_{source/Terre}$, avec, ici, des vecteurs colinéaires de même sens, on obtient une valeur de 1,999 75 x c pour $v_{photon/Terre}$.
b. De même, les vecteurs étant colinéaires et de sens opposés, on obtient une valeur de 0,000 25 x c pour $v_{photon/Terre}$.
4. a. Alväger mesure la valeur d'une vitesse avec une précision de 10–5 x c. L'expérience donne une valeur de c pour $v_{photon/Terre}$, ce qui est en désaccord avec la mécanique classique. En effet, les résultats de la question 3 montrent que l'on aurait dû obtenir des valeurs bien différentes de c.
b. Cette expérience est en accord avec l'invariance de la valeur c de la vitesse de la lumière dans le vide. Elle n'infirme pas la théorie de la relativité restreinte.

Exercice n°27

1. Le postulat d'Einstein indique que la valeur de la vitesse de la lumière dans le vide est la plus grande valeur de vitesse que l'on puisse atteindre.
2. a. Un neutrino est une particule neutre de masse pratiquement nulle.
b. Déterminons le temps mis par la lumière pour parcourir cette distance :

$$\Delta t = \frac{d}{c} = \frac{730\,085}{2{,}997\,924\,58 \times 10^{8}} = 2{,}435\,30 \times 10^{-3}\ \mathrm{s}$$

Un neutrino met $\Delta t = \Delta T' - 60$ ns $= 2{,}435\ 24 \times 10^{-3}$ s pour parcourir cette distance.

c. Incertitude de 10 milliardièmes de seconde sur Δt,
donc $U(\Delta t) = 1 \times 10^{-8}$ s.

$2{,}435\ 23 \times 10^{-3}\ \mathrm{s} < \Delta t < 2{,}435\ 25 \times 10^{-3}\ \mathrm{s}$

3. $$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{730\,085}{2{,}435\,24 \times 10^{-3}} = 2{,}998\,00 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

$$U(v) = v \cdot \sqrt{\left(\frac{U(d)}{d}\right)^2 + \left(\frac{U(\Delta t)}{\Delta t}\right)^2}$$

$$= 2{,}99800 \times 10^{8} \times \sqrt{\left(\frac{1}{730\,085}\right)^2 + \left(\frac{10^{-8}}{2{,}435\,24 \times 10^{-3}}\right)^2}$$

$$= 1{,}3 \times 10^{3}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Donc : $2{,}997\,99 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} < v < 2{,}998\,01 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

4. Avec la précision de la mesure, la valeur de la vitesse du neutrino est bien supérieure à celle de la vitesse de la lumière dans le vide.

5. D'après EINSTEIN :

$$\Delta T' = \Delta T_0 \quad \text{avec} \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Or, si $v > c$, alors $1 - \frac{v^2}{c^2} < 0$,

donc $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ n'existe pas.

γ ne peut pas être calculé. La relativité restreinte est remise en cause.

6. Une découverte expérimentale doit être vérifiée par plusieurs mesures avec des méthodes et des instruments différents pour être validée.