

PHY AST – Astrophysique

SECTION 5

QUESTIONS

- Q1** (a) Expliquez comment la planète Uranus a été découverte.
(b) Cette découverte constitue-t-elle un grand succès de la théorie de Newton ? Pourquoi ?

- Q2** (a) Quelle est l'anomalie que les scientifiques ont observée dans l'orbite d'Uranus qui faisait en sorte qu'elle ne respectait pas les lois de Newton ?
(b) Quelle prédiction a été formulée pour expliquer l'anomalie ?
(c) La prédiction s'est-elle avérée être vraie ?

- Q3** (a) Quelle est l'anomalie que les scientifiques ont observée dans l'orbite de Mercure qui faisait en sorte qu'elle ne respectait pas les lois de Newton ?
(b) Quelle prédiction a été formulée pour expliquer l'anomalie ?
(c) La prédiction s'est-elle avérée être vraie ?

- Q4** Expliquez ce qu'est un référentiel inertiel.

- Q5** Décrivez ce qu'on appelait à l'époque « l'éther » en raison du fait qu'on croyait que la lumière était une onde mécanique ?

- Q6** À partir des équations de l'électromagnétisme, Maxwell montre que la lumière est une onde électromagnétique et que celle-ci se propage à une vitesse $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$. En quoi cette expression de la vitesse de la propagation est-elle « étrange », si on la compare à la vitesse d'un objet ou d'une onde en mécanique ? (Indice : Si on dit qu'une voiture roule à 100 km/h, il est sous-entendu que la voiture roule à 100 km/h... par rapport à quoi ?)

- Q7** Qu'est-ce que l'expérience de Michelson-Morley a mis en évidence ?

- Q8** Quels sont les deux postulats de la relativité restreinte ?

- Q9** (a) Que vaut γ lorsque $v = 0$?
(b) Que vaut γ lorsque $v = 0,866c$?
(c) Que vaut γ lorsque $v \rightarrow c$?
(d) Tracez à main levée un graphique de γ en fonction de v .

- Q10** La relativité générale est basée sur un principe fondamental. Quel est ce principe ? Expliquez-le.

- Q11** Expliquez comment la Lune se maintient en orbite autour de la Terre :
(a) En utilisant la théorie de Newton.
(b) En utilisant la théorie de la relativité générale.

Q12 Expliquez à l'aide d'un schéma en quoi le changement de position apparente entre deux étoiles lors d'une éclipse solaire permet de confirmer la théorie de la relativité générale d'Einstein.

Q13 Expliquez ce qu'est une « lentille gravitationnelle ».

Q14 Nommez une application technologique qui doit absolument prendre en compte les effets du ralentissement du temps gravitationnel afin d'atteindre un niveau de précision acceptable pour son bon fonctionnement.

EXERCICES

5.1 Une horloge se déplaçant aussi vite qu'un proton ! De combien retardera une horloge qui se déplace à $0,99999991c$ par rapport à la Terre ? (Cette vitesse correspond à celle des protons accélérés dans le Large Hadron Collider (LHC), le plus grand accélérateur de particule au monde.)

5.2 Entraînement relativiste. Un super héros capable de courir à la moitié de la vitesse de la lumière s'entraîne sur une piste rectiligne mesurant un million de kilomètres. À $t = 0$ il démarre son chronomètre et se met à courir (on suppose qu'il passe instantanément du repos à sa vitesse maximale). Qu'indique son chronomètre à l'instant où il franchit la ligne d'arrivée ?

5.3 Inverser l'équation du facteur de Lorentz. À quelle vitesse doit se déplacer un objet afin que :

- (a) Son facteur de Lorentz soit égal à 2 ?
- (b) Son facteur de Lorentz soit égal à 3 ?
- (c) Son facteur de Lorentz soit égal à 4 ?
- (d) Écrivez une équation algébrique permettant de calculer directement le rapport $\frac{v}{c}$ en fonction de γ .

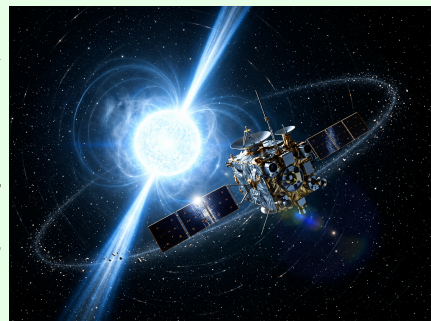
5.4 Facteurs gamma gravitationnels comparés. Calculez le facteur gamma gravitationnel pour les objets suivants :

- (a) Sirius A : $m = 2,063 M_{\odot}$ et $R = 1,711 R_{\odot}$
- (b) Bételgeuse : $m = 11,6 M_{\odot}$ et $R = 900 R_{\odot}$
- (c) Rigel : $m = 23 M_{\odot}$ et $R = 80 R_{\odot}$
- (d) Le pulsar PSR 1916-B : $m = 1,4 M_{\odot}$ et $R = 10 \text{ km}$

5.5 Vitesse versus gravité. À quelle vitesse devrait se déplacer une horloge afin de posséder le même facteur de ralentissement du temps que celui engendré par la courbure de l'espace-temps à la surface du Soleil ?

5.6 En orbite autour d'une étoile à neutrons. Une sonde spatiale voyageant à une vitesse de 7000 km/s se place en orbite circulaire à $10\,000 \text{ km}$ d'une étoile à neutrons de 12 km de rayon.

- (a) Quelle est la masse de l'étoile à neutrons.
- (b) Que vaut le facteur de ralentissement du temps gravitationnel à la surface de l'étoile à neutron ?
- (c) Une fois ses analyses complétées, quelle vitesse devrait atteindre la sonde si elle souhaite quitter définitivement son orbite et se rendre ailleurs, très loin dans l'Univers ?



RÉPONSES

5.1 $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,999999991^2}} = 2\,357$

Le temps de l'horloge en mouvement retarde d'un facteur 2 357 (i.e. une seconde dans ce référentiel correspond à 39,28 minutes dans le référentiel du laboratoire).

5.2 5,77 s

5.3 (a) $2,598 \times 10^8 \text{ m/s} = 0,866c$ (b) $2,828 \times 10^8 \text{ m/s} = 0,943c$ (c) $2,905 \times 10^8 \text{ m/s} = 0,968c$
 (d) $\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}}$

5.4 (a) Sirius A : $v_{\text{lib}} = 6,8 \times 10^5 \text{ m/s}$ $\gamma_{\text{grav}} = 1,000002569$
 (b) Bételgeuse : $v_{\text{lib}} = 7,03 \times 10^4 \text{ m/s}$ $\gamma_{\text{grav}} = 1,000000027$
 (c) Rigel : $v_{\text{lib}} = 3,32 \times 10^5 \text{ m/s}$ $\gamma_{\text{grav}} = 1,000000613$
 (d) Pulsar PSR 1916-B : $v_{\text{lib}} = 1,93 \times 10^8 \text{ m/s}$ $\gamma_{\text{grav}} = 1,307$

5.5 $6,18 \times 10^5 \text{ m/s}$

5.6 (a) $7,35 \times 10^{30} \text{ kg}$ (b) 3,29 (c) $9,90 \times 10^6 \text{ m/s}$