Université Paul Sabatier de Toulouse, année universitaire 2007-2008

L3 LICENCE PHYSIQUE CHIMIE APPLICATION

Mention physique fondamentale

2L60PY2E2 RELATIVITÉ/PHYSIQUE NUCLEAIRE

EXAMEN TERMINAL DU 20 MAI 2008

Tout document interdit - durée : 2 heures

Conformément à l'usage typographique international, les vecteurs sont représentés en gras

Questions de cours: James Bradley et l'aberration stellaire

Entre décembre 1725 et septembre 1726, James Bradley et Samuel Molyneux menèrent une série d'observations astronomiques ayant pour objet la mise en évidence de *l'effet de parallaxe*, c'est-à-dire la modification de la direction d'une étoile provoquée par le mouvement de la Terre. En effet, ce mouvement, prévu par Copernic, entraîne une modification de la distance ainsi que de l'orientation de la ligne Terre - étoile, et par là même une variation de la direction de l'étoile dans le ciel vue de la Terre. Copernic avait pressenti que la distance de la Terre aux étoiles était immensément plus importante que le diamètre de la trajectoire de la Terre autour du Soleil, et il avait donc fait l'hypothèse que l'effet de parallaxe devait être très faible et donc très difficile à mesurer. De fait, en 1725, on ne l'avait pas encore mis en évidence.

Pour des raisons pratiques, James Bradley et Samuel Molyneux observèrent attentivement l'étoile γ de la constellation du Dragon, qui se trouve presque au zénith de la campagne londonienne où se trouvait leur observatoire. Ayant mesuré au bout d'un an de minutieuses observations un déplacement annuel presque circulaire d'un diamètre de près de 40 seconde d'arc, les deux savants comprirent que le phénomène de parallaxe ne pouvait pas expliquer lui seul un déplacement d'une telle ampleur.

Dans un article fameux publié en décembre 1728, James Bradley explique ce phénomène (appelé *aberration stellaire*) en avançant l'idée que les étoiles ont dans le ciel une direction 'apparente', qui n'est pas leur direction 'vraie'. En d'autres termes, on ne voit pas les étoiles où elles se trouvent, mais en un endroit légèrement décalé. Et ce décalage varie avec les époques de l'année. Bradley explique le phénomène en ayant recours à la vitesse de la lumière c et à la vitesse de la Terre autour du Soleil v.

Soit θ l'angle entre la direction apparente et la direction vraie d'une étoile dans le ciel vue de la Terre, t_0 le moment où la lumière quitte l'étoile vers la Terre, et t_1 le moment où la lumière partie en t_0 de l'étoile arrive sur la Terre.

1. Expliquer précisément ce phénomène d'abberation stellaire. Faites un dessin.

2. En assimilant localement le rayon de courbure du mouvement relatif de l'étoile par rapport à la Terre à un segment de droite, et en supposant que la direction 'vraie' de l'étoile est perpendiculaire au sol au point d'observation, montrer que

$$\tan\theta = \frac{v(t_1 - t_0)}{c(t_1 - t_0)} = \frac{v}{c}.$$

3. En déduire une valeur approchée de θ en fonction de c et de v.

4. Expliquer pourquoi cette équation ainsi que la mesure expérimentale du diamètre du déplacement de l'étoile dans le ciel, vu de la Terre, permet de donner une estimation de c en fonction de v.

Production de l'aluminium ^{26}Al dans notre Galaxie, de vie moyenne 1 million d'années

Les télescopes gamma ont observé une raie à 1.8 MeV dans la galaxie. Cette raie est attribuée à la décroissance radioactive de l'aluminium ^{26}Al (T = 1 million d'années), éjecté dans le milieu interstellaire par les supernovae dont la fréquence est 0.03 par an. Les spectromètres gamma mesurent un flux de $5\ 10^{-4}$ photons s^{-1} cm^{-2} dans cette raie dans la région du centre galactique. Les modèles de nucléosynthèse prédisent qu'une supernova éjecte $6\ 10^{-5}$ masse solaire d'^{26}Al.

1. Montrer que l'émission de cette raie est stationnaire sachant que les supernovae sont apparues depuis la naissance de notre galaxie (il y a $15\ 10^9$ ans).
2. Calculer la luminosité (photons/s) à 1.8 MeV de la région du centre galactique.
3. En déduire le flux (photons s^{-1} cm^{-2}) au niveau de la Terre. Est-il en accord avec les observations?
4. 82 pourcents de l'^{26}Al décroit en émettant un positron (décroissance β^+). En supposant que le positron s'annihile rapidement après son émission, calculer le flux dans la raie à 511 keV au niveau de la Terre.

On donne:
Distance du centre galactique : 8 kpc (1pc = $3\ 10^{18}$ cm)
Nombre d'Avogadro : $N_A = 6.022\ 10^{23}$ $mole^{-1}$
Masse solaire : $1\ M_\odot = 2\ 10^{33}$ g

Voyageur de Langevin - Paradoxe des jumeaux

Le jour où deux frères jumeaux A et B ont 26 ans, l'un deux A quitte la terre à bord d'une fusée pour un voyage interplanétaire à grande vitesse: $v = 0.6c$, et revient sur terre où l'attend son frère B. On négligera les durées des phases accélérées ou décélérées (départ, demi-tour et retour sur terre).

Le jour où A retourne sur terre, son frère B a 36 ans.

1. (a) Montrer que la durée T' du voyage mesurée par A est inférieure à la durée T de ce voyage mesurée par B, en utilisant la relation entre temps propre et temps impropre. En déduire l'âge de A à son retour sur terre. Conclusion ?

   (b) Le problème est-il symétrique pour les jumeaux A et B ?
2. On imagine qu'à chaque battement du cœur de l'astronaute A un éclair est émis vers B. Soit ν la fréquence des battements du cœur de A et du cœur de B (dans leur propres référentiels). Utiliser l'effet Doppler pour comparer le nombre de battements des cœurs de A et de B mesurés par le jumeau terrestre B pendant toute la durée du voyage de A. Conclusion ?
3. Le jour de l'arrivée de A sur terre, B effectue à son tour un voyage interplanétaire, le voyage aller à la vitesse v et le voyage retour à la vitesse $\frac{4}{3}v$ de façon qu'à son retour sur terre A et B ont de nouveau exactement le même âge. Quel est l'âge commun de A et B à la fin du voyage de B ?

   On donne $v = 0.6c$. On négligera encore la durée nécessaire aux accélérations.