

Examen LP210 Janvier 2012

Partie étoiles et cosmologie

Sans document, calculatrice de type collège

Les neutrinos sont des particules de masse probablement nulle (en l'état actuel des connaissances) qui voyagent à la vitesse de la lumière. Ils interagissent très peu avec le reste de la matière. En 1987 une supernova a explosé dans le nuage de Magellan, à une distance physique de $d = 51\,000$ pc de la terre.

- 1) Rappeler la définition du parsec. Convertir d en mètre ($1\text{ pc} = 3.08 \cdot 10^{16}\text{ m}$).
- 2) Le 23 Février 1987, un détecteur de neutrino au Japon a détecté 12 neutrinos en provenance de la supernova. Les neutrinos interagissant très peu avec la matière, on sait que pour atteindre ce nombre de détections, il a fallu que, au total, 10^{14} neutrinos passent par mètre carré au niveau de la terre. En raisonnant comme vous le feriez pour des photons, estimez le nombre total de neutrinos émis par la supernova.
- 3) L'énergie de chaque neutrino détecté est de l'ordre de 10 Mev ($1\text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$). Estimer numériquement l'énergie émise par la supernova sous forme de neutrinos.
- 4) Le 20 Mai 1987, la magnitude visuelle apparente de la supernova atteint son maximum $m=2.9$. En déduire sa magnitude absolue ce jour là.
- 5) En déduire la luminosité correspondante L_{SN} de la supernova en fonction de la luminosité du soleil L_{\odot} . Faire l'application numérique sachant que $L_{\odot}=3.8 \cdot 10^{26}\text{ W}$.
- 6) On peut considérer que la supernova brille avec cet éclat pendant 100 jours. Calculer l'énergie rayonnée sous forme de lumière durant cette période. Lors de l'explosion d'une supernova, 99% de l'énergie est libérée sous forme de neutrinos. Vous constatez que l'énergie rayonnée sous forme de lumière ne suffit pas pour constituer le 1% manquant. Où est passée l'énergie manquante ? Proposez des hypothèses.

Récemment, une expérience sur terre a semblé montrer que les neutrinos voyagent plus vite que la lumière. Ayant parcouru 732 km, les neutrinos sont arrivés avec 20 mètres d'avance par rapport à une particule voyageant à la vitesse de la lumière.

- 7) Si l'expérience en question est correcte, et si ces résultats peuvent s'appliquer aux neutrinos émis par la supernova de 1987, les neutrinos auraient du arriver combien de temps avant les photons émis lors du pic de luminosité ?

ils sont en fait arrivés 2 heures avant que l'on ne détecte le début du pic de luminosité. L'explication de cette différence avec l'expérience terrestre reste une question ouverte.

Le fait de ne pas avoir fait un calcul prenant en compte l'expansion de l'univers pour le temps de propagation jusqu'à nous des photons de la supernova peut-il constituer une approximation inacceptable ? Vérifions le.

On suppose que le facteur d'expansion de l'univers est $R=1$ en 1987. On note le temps cosmique en 1987 : t_0 . On note t_1 l'instant auquel la supernova a atteint son pic de luminosité. On se place dans un modèle d'Einstein de Sitter pour lequel :

$$R(t) = \left(\frac{t}{t_0}\right)^{2/3}$$

- 8) Donner la relation entre $H(t)$, la constante de Hubble, $R(t)$ et $\dot{R}(t)$. En déduire la relation entre t_0 et $H_0=H(t_0)$.
- 9) L'observation spectrale de l'amas de galaxies de la Vierge, situé à 16.5 Mpc de nous, montre qu'il s'éloigne de nous à la vitesse de 1100 km.s^{-1} . On suppose que cette vitesse relative est uniquement due à l'expansion de l'univers : en déduire la valeur numérique de la constante de Hubble H_0 en $\text{km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$, puis en s^{-1} .
- 10) En déduire la valeur numérique de t_0 .
- 11) Soit Δx la distance comobile entre la supernova et nous. En utilisant la propagation d'un photon dans un univers en expansion, démontrer la relation entre Δx , t_0 et t_1 :

$$\Delta x = 3ct_0 \left[1 - \left(\frac{t_1}{t_0}\right)^{1/3} \right]$$

- 12) En déduire la valeur de t_1 en notant que, à t_0 , distances comobiles et physiques sont égales.
- 13) Exprimer t_0-t_1 en années et comparer à la valeur obtenue avec le calcul naïf du temps de propagation des photons ne tenant pas compte de l'expansion de l'univers. Commenter.