

I - Astrophysique nucléaire

I – Questions de cours

- a – Quelles sont les différentes étapes des réactions résonnantes ?
- b – Qu'est ce que le facteur astrophysique ?

II – Production de ^{56}Ni dans la supernovae de type Ia 2014J

Le spectromètre gamma SPI a détecté en 2014 les raies gamma nucléaires à 847 et 1238 keV en provenance de la supernova 2014J dans la galaxie du Cigare (distance ≈ 3.5 Mpc). Ces raies sont émises par les décroissances radioactives des noyaux de ^{56}Co ($\tau_{\text{Co}} = 111$ jours) issus de la décroissance des noyaux de ^{56}Ni ($\tau_{\text{Ni}} = 8.8$ jours) produits et éjectés par l'explosion. 75 jours après l'explosion, le spectromètre a mesuré un flux de photons à 847 keV de 2.5×10^{-4} photons $\text{s}^{-1} \text{cm}^{-2}$.

- a – A partir du flux mesuré, calculer le nombre de noyaux puis la masse (en masse solaire) de ^{56}Co 75 jours après l'explosion sachant qu'un photon à 847 keV est émis par décroissance. Pour ce calcul on prendra en compte l'opacité de l'éjecta aux photons à 847 keV ; à partir d'un modèle d'expansion de la supernova, on montre que 55 % des photons émis s'échappent de l'éjecta.
- b – Montrer que la variation du nombre de noyaux de ^{56}Co en fonction du temps t suit la relation suivante :

$$N_{\text{Co}}(t) = N_{\text{Ni}}(0) \frac{\tau_{\text{Co}}}{\tau_{\text{Co}} - \tau_{\text{Ni}}} \left(e^{-\frac{t}{\tau_{\text{Co}}}} - e^{-\frac{t}{\tau_{\text{Ni}}}} \right)$$

avec $N_{\text{Ni}}(0)$ le nombre de noyaux de ^{56}Ni initialement produit dans l'explosion.

- c – Dédurre du résultat précédent le nombre de noyaux puis la masse (en masse solaire) de ^{56}Ni initialement produit.

N.B.: 1 masse solaire = $1 M_{\odot} = 2 \times 10^{33}$ g, 1 pc = 3.1×10^{18} cm, $N_A = 6 \times 10^{23}$ mole $^{-1}$,

$$A_{^{56}\text{Ni}} \approx A_{^{56}\text{Co}} \approx 56 \text{ g/mole}$$

II - Physique des particules

1 – Questions de cours

a – Etablir la liste des fermions élémentaires en précisant leur symbole et leur charge électrique.

b – Donner la liste des bosons de jauge en précisant leur symbole et le nom de l'interaction associée.

c – Pour chaque processus listés ci-dessous, dire s'il est permis ou non par les lois de conservation des nombres quantiques. Justifier votre réponse dans le cas négatif. Dans le cas positif, donner l'interaction responsable du processus.

i) $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$

ii) $p + e^- \rightarrow n + \nu_e$

iii) $\Delta^{++} \rightarrow p + \pi^0$

2 – Interaction photon-photon

Soit deux photons d'énergie E_1 et E_2 qui se croisent avec un angle d'incidence θ .

a - Calculer la relation entre les énergies des photons, θ et l'énergie de masse de l'électron pour que la réaction de création de paire électron-positron ($\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$) soit possible. Commenter le résultat.

b - Application numérique : Quelle est l'énergie seuil de cette réaction pour un photon rencontrant un photon du rayonnement diffus cosmologique ($T = 3 \text{ K}$) avec $\theta = \pi/2$?

On donne :

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$m_e c^2 = 511 \text{ keV}$$