

## I - Astrophysique nucléaire

### I – Questions de cours

- a – Quelle est la différence entre une réaction directe et indirecte ?
- b – L'expression du pic de Gamow est :  $G(E) = \exp[-E/(kT)] \times \exp[-2\pi\eta/\sqrt{E}]$ .  
Que représentent les deux termes de cette expression ?

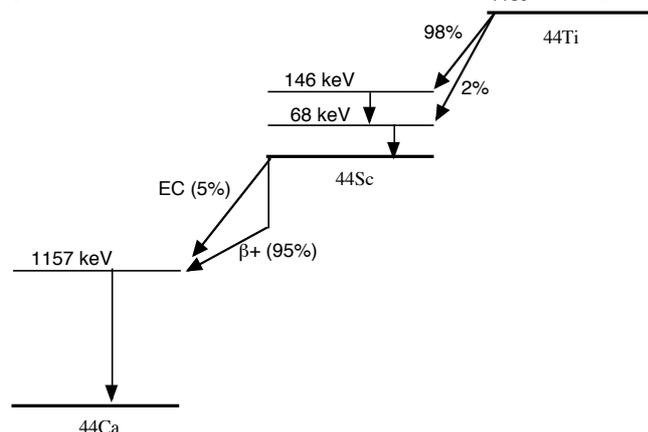
### II – Production de $^{44}\text{Ti}$ dans les supernovae

Le télescope gamma IBIS a détecté en 2010 des raies gamma nucléaires à 68 et 78 keV en provenance du reste de la supernova SNR 1987A dans le Grand Nuage de Magellan (distance 50 kpc). Cette raie est émise par les décroissances radioactives des noyaux de  $^{44}\text{Ti}$  (voir figure ci-dessous) éjectés dans le milieu interstellaire. Le télescope a mesuré un flux total de  $(1.7 \pm 0.4) \times 10^{-5}$  photons  $\text{s}^{-1} \text{cm}^{-2}$  en faisant la somme des flux dans les deux raies. Cette supernova a explosé en 1987.

- a – A partir du flux total mesuré, des probabilités de désexcitation du  $^{44}\text{Ti}$  (voir figure) et de la distance de la supernova, calculer le taux de décroissance du  $^{44}\text{Ti}$  en 2010 ainsi que son incertitude.
- b – Déduire du résultat précédent la masse (en gramme puis en masse solaire) de  $^{44}\text{Ti}$  éjectée par la supernova à la date de l'explosion ainsi que son incertitude.
- c – Sans résoudre d'équation différentielle, montrez que le taux de décroissance du  $^{44}\text{Sc}$  est pratiquement égal au taux de décroissance du  $^{44}\text{Ti}$ . Dans ces conditions, à partir du schéma de décroissance du  $^{44}\text{Ti}$  et du  $^{44}\text{Sc}$  et du flux total mesuré dans les raies à 68 et 78 keV, calculer le flux dans la raie gamma à 1.157 MeV. Est ce que ce flux est détectable sachant que la limite de détection de cette raie est de  $3 \times 10^{-5}$  photons  $\text{s}^{-1} \text{cm}^{-2}$  ?

N.B.: 1 masse solaire =  $1 M_{\odot} = 2 \times 10^{33}$  g, 1 pc =  $3 \times 10^{18}$  cm,  $N_A = 6 \times 10^{23}$  mole $^{-1}$ ,  $A_{^{44}\text{Ti}} = 44$  g/mole

Figure : schéma de décroissance simplifié du  $^{44}\text{Ti}$  dont la vie moyenne est  $\tau_{\text{Ti}} = 85$  ans et du  $^{44}\text{Sc}$  dont la vie moyenne est  $\tau_{\text{Sc}} = 5.6$  h.



## 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)  $p \rightarrow e^+ + \gamma$

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

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

### 2 – Interaction d'un électron relativiste avec un photon du rayonnement diffus cosmologique

Un photon du rayonnement diffus cosmologique ( $T = 3 \text{ K}$ ) rencontre dans la Galaxie un électron relativiste avec un angle d'incidence  $\theta$  par rapport à la direction de l'électron.

a – A partir de la transformation de Lorentz, exprimer l'énergie du photon vu par l'électron dans son repère (repère où l'électron est au repos) en fonction de  $\theta$ , de  $\gamma_e$  le facteur de Lorentz et de  $\beta_e$  la fraction de vitesse de la lumière de l'électron.

b – Toujours à partir de la transformation de Lorentz, donner l'expression de l'angle d'incidence  $\theta'$  du photon dans le repère où l'électron est au repos en fonction de  $\theta$  et de  $\beta_e$ .  
Que se passe-t-il pour un électron ultra-relativiste ?

c – Application numérique. Tracer l'énergie en eV du photon dans le repère de l'électron pour un électron de 1 TeV en fonction de l'angle du photon dans le repère de la Galaxie. Quel est le type d'interaction entre le photon et l'électron à ces énergies ? Discutez du résultat de cette interaction.

On donne :

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

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