

## I - Astrophysique nucléaire

### 1 – Questions de cours

a – Quelles sont les hypothèses de base du modèle en couche.

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 ?

### 2 – Chaîne de décroissances radioactives et application

Un isotope (1) décroît vers un isotope (2) qui décroît vers un isotope (3).

a - Calculer le nombre d'isotopes (2) en fonction du temps sachant qu'à l'instant  $t=0$  on a  $N_1 = N_{10}$  et  $N_2 = 0$ .

b - Tracer  $N_2$  en fonction du temps en supposant que  $\tau_1 < \tau_2$ . On montrera que la fonction  $N_2(t)$  passe par un maximum à une date  $t_{\max}$ . qu'on explicitera.

c – Application numérique dans le cas d'une supernova de type Ia.

L'isotope (1) est le  $^{56}\text{Ni}$  ( $\tau_1 = 8.8$  jours) et l'isotope (2) est le  $^{56}\text{Co}$  ( $\tau_2 = 111.3$  jours).

Calculer  $t_{\max}$  ainsi que la masse de  $^{56}\text{Co}$  à la date  $t_{\max}$  sachant que la masse initiale de  $^{56}\text{Ni}$  est de  $0.5 M_{\odot}$ . Quel est à cette date le taux de décroissance radioactive ?

On donne :

- les masses atomiques du  $^{56}\text{Ni}$  et du  $^{56}\text{Co}$  sont  $\approx 56$  g/mole

- Nombre d'Avogadro  $N_A = 6 \times 10^{23}$  mole<sup>-1</sup>.

- 1 masse solaire :  $1 M_{\odot} = 2 \times 10^{33}$  g.

## 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)  $e^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$

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

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

### 2 – Origine de l'émission gamma de notre Galaxie

L'émission gamma (photons d'énergie  $> 100$  MeV) diffuse de notre Galaxie pourrait être expliquée par la décroissance des  $\pi^0$  produits par des collisions proton-proton ( $pp \rightarrow pp\pi^0$  puis  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ ) entre les protons du rayonnement cosmique et les protons des atomes d'hydrogène du gaz interstellaire. L'objectif de ce problème est d'estimer le nombre photons gamma produit par seconde par ces collisions dans notre Galaxie et de comparer le résultat aux mesures qui donnent un nombre de photons par seconde de  $R_{\gamma, \text{mesure}} = 3.8 \times 10^{42}$   $\gamma/s$ . On supposera que le flux de rayon cosmique est uniforme dans la Galaxie.

a – Donner l'expression de  $r_{pp} = R_{pp}/N_p$  le taux de collisions  $pp \rightarrow pp\pi^0$  par atome sachant que la section efficace de cette interaction peut s'écrire :  $\sigma_{pp}(E) = a + b \ln(E)$  pour  $E > 1$  GeV, avec  $E$  l'énergie cinétique des protons en GeV et que le spectre des rayons cosmiques (distribution en énergie du flux en proton/s/cm<sup>2</sup>/GeV) est une loi de puissance du type :  $F(E) = \alpha E^\beta$ .

b – Donner l'expression de  $N_p$ , le nombre d'atomes cibles dans notre Galaxie, sachant que la densité moyenne du gaz est  $n_p$  et qu'il est distribué dans un disque de rayon  $r$  et d'épaisseur  $h$ .

c – A partir des résultats précédents, donner l'expression de  $R_{\gamma, \text{calcul}}$ , le nombre de photons gamma émis par seconde par les décroissances des  $\pi^0$ .

d – Application numérique. Calculez  $R_{\gamma, \text{calcul}}$  avec les paramètres suivants :  $a = 0.861$  et  $b = 21.48$  pour une section efficace exprimée en millibarn ;  $\alpha = 27.6$  et  $\beta = -2.75$  pour un spectre de proton en proton/s/cm<sup>2</sup>/GeV ;  $r = 10$  kpc,  $h = 1$  kpc. Comparer le résultat avec  $R_{\gamma, \text{mesure}}$  et conclure sur l'origine de l'émission diffuse de notre Galaxie.

On rappelle :  $1 \text{ pc} = 3 \times 10^{18} \text{ cm}$  ;  $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$