

TD 5

Sections efficaces et libres parcours moyen - LiBeB dans le rayonnement cosmique.

A – Calcul d'atténuation de flux de raies gamma nucléaires

1 – Une source radioactive émet une raie gamma à 662 keV. L'intensité de la source est I (photons/s). Un détecteur cylindrique, de rayon r (surface de collection πr^2) est placé à $d = 50$ cm, en face de la source.

a - Calculer R , le nombre de photons arrivant sur le détecteur par seconde.

b – On place une épaisseur e de plomb (masse molaire A , masse volumique ρ) entre la source et le détecteur. Calculer la nouvelle valeur de R sachant que la section efficace d'interaction des photons à 662 keV avec un atome de plomb est σ . Pour cela on donnera l'expression de λ , le libre parcours moyen des photons dans le plomb.

c – Application numérique : calculer λ et R sachant que $I = 10^5$ γ/s , $r = 3,5$ cm, $e = 2$ cm, $A = 207,2$ g/mol, $\rho = 11,35$ g/cm³ et $\sigma = 37,9$ barns.

2 – Lors de son explosion, une nova éjecte une masse M_{22} de ²²Na (vie-moyenne $\tau = 3,75$ ans). Ce radioélément émet un photon à 1275 keV par décroissance. Les photons de cette énergie interagissent avec les atomes du milieu interstellaire par diffusion Compton.

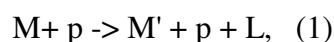
a – Calculer I , le nombre de photons à 1275 keV émis par seconde, 1 ans après l'explosion compte tenu que $M_{22} = 2 \times 10^{-9} M_{\odot}$. La masse molaire du ²²Na est ≈ 22 g/mole.

b – Donner l'expression du flux ($\gamma/s/cm^2$) de photons au niveau de la Terre sachant que la nova est à une distance d , que la densité moyenne (cm⁻³) du milieu interstellaire -constitué principalement d'hydrogène- est n et que la section efficace de diffusion Compton des photons de 1275 keV avec l'hydrogène est σ .

c – Calculer le flux pour les paramètres suivants : $d = 8$ kpc, $n = 1$ cm⁻³, $\sigma = 0,2$ barn. Commentez les résultats.

B - Anomalie du LiBeB dans le rayonnement cosmique

L'abondance de Li, Be et B dans le rayonnement cosmique est 10^5 à 10^6 plus élevée que dans la matière du système solaire et de la galaxie. On explique cette différence par la production de Li, Be et B (notées L) par interaction des noyaux lourds du rayonnement cosmique (notés M) avec les protons -noyaux d'H- du milieu interstellaire :



les noyaux L étant produits avec une grande énergie cinétique, ils sont considérés comme appartenant au rayonnement cosmique. On va vérifier cette hypothèse pour expliquer l'anomalie du LiBeB.

1 – Exprimer le flux en $m^{-2} s^{-1}$ de L (ϕ_L) en fonction du flux de M (ϕ_M), de la section efficace σ de la réaction (1), de la densité d'hydrogène et du parcours moyen l des particules M .

NB. On considère qu'on est dans un état stationnaire - ϕ_M constant- et qu'on est dans l'hypothèse cible mince ($l \ll$ libre parcours moyen).

2 – Calculer le flux ϕ_L de Li, Be et B du rayonnement cosmique produit par la réaction (1) sachant que:

- les sections efficaces de production de Li, Be et B sont 59, 54 et 114 mbarn respectivement. Elles sont indépendantes de l'énergie.

- le flux des noyaux lourds du rayonnement cosmique est $25,76 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

- le parcours moyen des noyaux lourds du rayonnement cosmique dans la galaxie est 400 kpc.

- la densité moyenne du milieu interstellaire est $n_H = 1 \text{ cm}^{-3}$.

3 – Le rapport L/M observé est $\sim 0,25$. Est ce que le résultat obtenu précédemment est en accord avec l'observation ? Est ce qu'on peut considérer qu'on est dans un état stationnaire ? Est ce que l'hypothèse cible mince est justifiée?

On donne :

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ moles,}$$

$$1 M_\odot = 2 \times 10^{33} \text{ g,}$$

$$1 \text{ pc} = 3 \times 10^{18} \text{ cm,}$$

$$1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2.$$