

I - Astrophysique nucléaire

1 – Questions de cours

- a – Donner et décrire brièvement les termes du modèle de la goutte liquide.
- b – Ecrire la relation qui permet de calculer le taux volumique d'une réaction nucléaire à partir de la section efficace, du flux de particules incidentes et de la densité de particules cibles.
- c – Quelles sont les différentes étapes des réactions résonantes ?

3 – Emissivité et flux gamma des novae

Lors de son explosion, une nova éjecte une masse M_{22} de ^{22}Na (vie-moyenne $\tau = 3.75$ ans). Ce radioélément émet un photon à 1275 keV quand il fait sa décroissance radioactive. A cette énergie, les photons interagissent avec les atomes du milieu interstellaire par diffusion Compton.

- a – Calculer, le nombre de décroissance radioactive de noyaux de ^{22}Na par seconde (l'activité) 1 an après l'explosion sachant que $M_{22} = 2 \times 10^{-9} M_{\odot}$ (la masse molaire du ^{22}Na est ≈ 22 g/mole). En déduire I, le nombre de photons à 1275 keV émis par seconde.
- b – Donner l'expression du flux de photons gamma ($\gamma/\text{s}/\text{cm}^2$) 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 . On donnera aussi l'expression du libre parcours moyen des photons.
- c – Calculer le libre parcours moyen et le flux pour les paramètres suivants : $d = 8$ kpc, $n = 1 \text{ cm}^{-3}$, $\sigma = 0.2$ barn. Commentez ces résultats.

On donne :

- $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ moles

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

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

- $1 \text{ pc} = 3.1 \times 10^{18} \text{ cm}$

II - Astroparticules

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) $\tau^- \rightarrow \mu^- + \nu_\mu$

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 ($T = 3$ K) rencontre dans la Galaxie un électron relativiste avec un angle d'incidence θ 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 θ , de γ_e le facteur de Lorentz et de β_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 θ' du photon dans le repère où l'électron est au repos en fonction de θ et de β_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 : $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K

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