L3 Physique : Physique Subatomique  Contrôle Continu 2 : 18/05/2026
Durée : 2h00  Matériel autorisé : Calculatrices.

# 1 Questions diverses

Les questions sont indépendantes.

1. On réalise l'expérience de Stern-Gerlach avec des particules ayant un moment angulaire total égal à $\frac{3}{2}$. Combien de tâches observe-t-on sur l'écran?

2. Soit une étude sur les raies d'émission d'un gaz donné. Quel paramètre changeriez-vous dans l'expérience pour passer de l'effet Pashen-Back à l'effet Zeeman anormal (ou vice-versa)?

3. Dans le cadre du modèle en couche, quels sont les moments angulaires totaux $j$ attendus pour les états fondamentaux des noyaux suivants :

$$^{11}\mathrm{C} \qquad ^{208}\mathrm{Po} \qquad ^{38}\mathrm{Cl}$$

(Le tableau de Mendeleev pour les éléments chimiques et le modèle en couches sont rappelés à la fin du sujet.)

4. Quel effet est responsable de la variation en *dents de scie* de la $S_n$, observée pour une chaîne isotopique et illustrée pour le cas $Z = 82$ ci-dessous? (Rappel : $S_n$ est l'énergie de séparation d'un neutron).

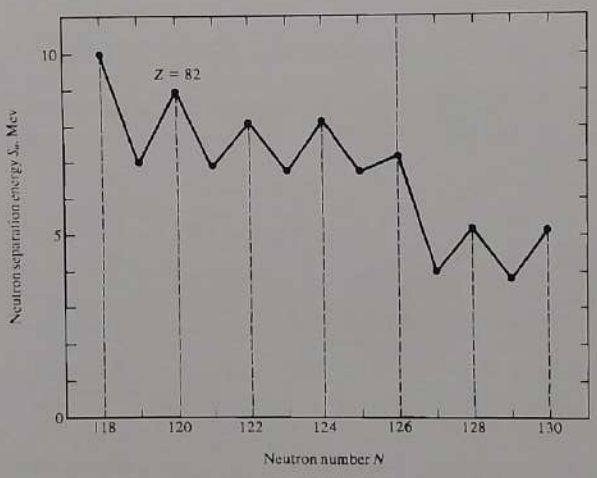



Figure 1: $S_n$ vs N pour la chaîne isotopique $Z = 82$

# 2 Datation d'une roche volcanique par la méthode potassium-argon (K-Ar)

Un géologue découvre une roche volcanique dans une région où des fossiles humains ont été trouvés. Il souhaite dater cette roche pour estimer l'âge des fossiles associés, et utilise pour cela la méthode **potassium-argon (K-Ar)** car la roche contient du feldspath potassique, un minéral riche en potassium.

## Données expérimentales

Constantes de désintégration partielles du $^{40}$K :

$$\lambda_\beta = 4.962 \times 10^{-10}\,\mathrm{an}^{-1} \quad \text{(désintégration } \beta^- \text{ en } ^{40}\mathrm{Ca}),$$
$$\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10}\,\mathrm{an}^{-1} \quad \text{(capture électronique en } ^{40}\mathrm{Ar}).$$

1. Écrire les deux équations de décroissance du $^{40}$K:
   (1) Par émission $\beta^-$ (vers $^{40}$Ca).

(2) Par capture électronique (vers $^{40}$Ar).

2. Exprimer $\lambda$, la constante de désintégration de $^{40}$K, tout mode de décroissance compris, en fonction des constantes de désintégration partielles citées plus haut.

3. Établir l'équation différentielle qui régit l'évolution du nombre d'atomes de $^{40}$K dans l'échantillon. Donner l'expression de la solution. **(Vous pouvez écrire la solution sans démonstration pour cette question.)**

4. Établir l'équation différentielle qui régit l'évolution du nombre d'atomes de $^{40}$Ar dans l'échantillon, puis démontrer que sa solution se met sous la forme :

$$N_{Ar}(t) = \frac{\lambda_e}{\lambda} N_{0K}(1 - e^{-\lambda t}) \, . \tag{1}$$

On suppose que tout l'$^{40}$Ar mesuré provient de la désintégration du $^{40}$K.

5. Montrer que l'âge $t$ de la roche est donné par la formule suivante :

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{\lambda}{\lambda_e} \frac{N_{\mathrm{Ar}}(t)}{N_{\mathrm{K}}(t)} + 1\right).$$

6. **(Bonus)** Soit le rapport $\frac{^{40}\mathrm{Ar}}{^{40}\mathrm{K}} = 0.125$ mesuré au temps présent $t$. Calculer l'âge de la roche en millions d'années (Ma).

## 3 Section efficace de la diffusion de Rutherford

Une expérience de diffusion de Rutherford est réalisée avec des particules $\alpha$ d'énergie $E = 5\,\mathrm{MeV}$ envoyées sur une cible mince d'épaisseur $x$. La section efficace différentielle de Rutherford est donnée par :

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Zze^2}{16\pi\epsilon_0 E}\right)^2 \frac{1}{\sin^4(\theta/2)} \, ,$$

avec :

- $Z$ et $z$ sont les numéros atomiques de la cible et de la particule incidente, respectivement ;
- $E$ et $\theta$ sont l'énergie cinétique et l'angle de diffusion des particules $\alpha$, respectivement ;
- $e = 1.602 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$, $\quad \epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\,\mathrm{F/m}$.

À la fin de la mesure, $N_0$ particules $\alpha$ ont interagi avec la cible et $N_d$ particules $\alpha$ ont été détectées par un détecteur couvrant un angle solide $\Delta\Omega$ suffisamment petit. D'après la définition de la section efficace différentielle, on a :

$$N_d \approx \frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) \cdot \Delta\Omega \cdot n \cdot x \cdot N_0 \, . \tag{2}$$

1. Donner les dimensions des différents paramètres apparaissant dans l'équation (2). Que représente le paramètre $n$ ?

2. Pendant la deuxième prise de données, un problème est survenu au niveau de l'accélérateur, l'opérateur annonce un changement de l'énergie cinétique des particules $\alpha$ sans pouvoir le mesurer directement. Tous les autres paramètres restant constants, estimer de combien l'énergie a changé sachant que le taux de particules diffusées détectées a augmenté de 10 %.

3. Donner l'expression **formelle** permettant le calcul de la section efficace totale, **sans effectuer le calcul**.

4. **(Bonus)** Expliquer pourquoi une seule mesure, réalisée avec un détecteur couvrant un petit angle solide $\Delta\Omega$[1], ne suffit pas pour estimer expérimentalement la section efficace totale d'une réaction donnée.

[1] En pratique, il s'agit de détecteurs d'angle solide $\Delta\Omega$ suffisamment petit, de sorte que la section efficace différentielle $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ ne varie que légèrement dans l'intervalle angulaire couvert.