

DEVOIR SURVEILLE DE PHYSIQUE N° 1

(5 pages)

2^{ème} Année de 1^{er} Cycle

Date du D.S. : Vendredi 12 Novembre 1999

Durée : 4 h

Document autorisé : AUCUN

Diverses informations sont annexées à la fin du texte.

-
- Conseils :
- Présenter votre copie avec clarté et concision.
 - La numérotation des pages de votre copie est indispensable.
 - Les notations utilisées dans les énoncés doivent être respectées.
 - Lorsqu'une question demande un développement littéral suivi d'un calcul numérique, mener le premier le plus loin possible.
 - Les différentes étapes nécessaires à l'obtention d'un résultat numérique devront apparaître sur votre copie.
 - Les questions notées °) seront considérées d'importance sensiblement équivalente à la correction.
-

EXERCICE N° 1

La désintégration β^- du ^{14}C , dont la période est de 5730 années, est l'une des méthodes de datation des matériaux d'origine organique. Au niveau des couches supérieures de l'atmosphère, les rayons cosmiques provoquent en permanence des réactions nucléaires qui forment le carbone 14. Ainsi, le rapport $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ des molécules de CO_2 de l'air est de l'ordre de $1,3 \times 10^{-12}$. Compte-tenu des échanges constants avec l'environnement, tous les organismes vivants présentent cette même proportion $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$. A leur mort, les échanges cessent et le rapport $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ décroît à cause de la désintégration β^- du ^{14}C . La teneur actuelle en carbone 14 d'un matériau d'origine organique permet d'évaluer son âge en supposant que la teneur atmosphérique en ^{14}C est restée stable au cours du temps.

Un fragment de statuette en bois renfermant 18 g de carbone a été découvert lors de la fouille d'un site archéologique. Son activité actuelle est de 137 désintégrations/minute.

1°) Ecrire la réaction complète de désintégration du carbone 14. Calculer l'énergie de cette désintégration (Q de la désintégration) en MeV (l'énergie de liaison des électrons sera négligée).

2°) En admettant que 9/10 de cette énergie de désintégration se retrouve au maximum sous la forme d'énergie cinétique de l'électron, calculer la vitesse maximale de l'électron émis.

3°) Déterminer le nombre de noyaux de carbone présents dans l'échantillon de statuette et calculer le rapport actuel $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ de cet échantillon.

4°) En déduire l'âge de la statuette de bois.

EXERCICE N° 2

I - La filiation radioactive de trois noyaux est considérée :



Seul, le noyau X_3 est stable. Les noyaux X_1 et X_2 ont respectivement une constante de désintégration λ_1 et λ_2 .

1°) Initialement, l'échantillon comporte N_0 noyaux de l'élément X_1 et aucun noyau des éléments X_2 et X_3 . Déterminer l'évolution $N_1(t)$ et $N_2(t)$ du nombre des noyaux X_1 et X_2 en fonction du temps.

2°) En déduire l'évolution $N_3(t)$ du nombre de noyaux X_3 .

3°) Préciser pour chaque type de noyaux, l'instant t_M pour lequel le nombre de noyaux est maximum.

II - On considère trois éléments ayant le même nombre de masse :

le strontium	$^{90}_{38}\text{Sr}$	de masse atomique	89,907746 u
l'yttrium	$^{90}_{39}\text{Y}$	de masse atomique	89,907162 u
le zirconium	$^{90}_{40}\text{Zr}$	de masse atomique	89,904708 u

1°) Calculer en MeV, l'énergie de liaison par nucléon pour le noyau $^{90}_{38}\text{Sr}$.

2°) Les trois types de noyaux précédents forment une filiation radioactive. Identifier en le justifiant, chaque type de noyaux avec les éléments X_1 , X_2 et X_3 de la partie I.

Préciser et expliciter les réactions de désintégration mises en jeu.

3°) Sachant que les périodes de chaque désintégration T_1 et T_2 valent respectivement 28,80 ans et 64,21 heures et que l'échantillon initial a une masse de 2 g exactement, calculer l'activité initiale I_0 de l'échantillon.

Déterminer le temps t_M correspondant au maximum de $N_2(t)$.

4°) Calculer au bout d'un an, les activités respectives de chaque élément radioactif constituant l'échantillon, ainsi que l'activité totale I_T de l'échantillon.

5°) Une désintégration d'un noyau X_1 fournit une énergie de 540 keV environ alors qu'une désintégration d'un noyau X_2 produit une énergie de 2 MeV. Calculer, pour $t = 1$ an, la puissance (en W) fournit par l'échantillon.

EXERCICE N° 3

Pour déterminer sa teneur résiduelle en manganèse, un échantillon d'acier inoxydable de 1 cm^2 de surface S et d'épaisseur $\ell = 2 \text{ mm}$ est soumis à un flux Φ de neutrons thermiques de $3 \times 10^{12} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ pendant $t_M = 6$ heures. Immédiatement après cette exposition, l'échantillon présente une activité mesurée I_0 de $5,55 \times 10^9 \text{ Bq}$. On ne considère que la réaction de capture de neutrons par $^{55}_{25}\text{Mn}$ qui produit un nouveau noyau X . Le noyau formé X subit une désintégration β^- ayant une période $T = 2,576$ heures. La section efficace σ pour la capture de neutrons par $^{55}_{25}\text{Mn}$ est de 13,3 barns. L'échantillon d'acier inoxydable présente une densité d'atomes $D = 0,865 \times 10^{23} \text{ cm}^{-3}$.

1°) Ecrire complètement les réactions de capture de neutrons et de désintégration β^- , en précisant les caractéristiques des noyaux et des particules formés.

2°) Pendant un intervalle de temps dt supposé petit, évaluer la variation dN du nombre de noyaux X dans l'échantillon pendant l'irradiation par le flux de neutrons, en considérant qu'il existe n atomes de manganèse par unité de volume dans l'échantillon.

3°) Déterminer l'évolution $N(t)$ du nombre de noyaux X pendant cette irradiation, sachant qu'aucun noyau X n'était présent dans l'échantillon avant l'irradiation par les neutrons.

4°) En déduire les expressions de l'activité $I(t)$ de l'échantillon :

- pendant l'irradiation par les neutrons (pour $0 \leq t \leq t_M$)
- après l'arrêt de cette irradiation (pour $t > t_M$)

L'activité $I(t)$ présente-t-elle un maximum ?

5°) Donner la relation permettant de déterminer le pourcentage de manganèse dans l'acier inoxydable.

Calculer numériquement le pourcentage de manganèse dans l'acier inoxydable.

EXERCICE N° 4

Un faisceau $\phi = 5 \times 10^{11} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ de particules α ayant toutes la même vitesse v et une énergie cinétique E_c , arrive sur une cible de platine ($^{195}_{78}\text{Pt}$) d'épaisseur fine $\ell = 10 \text{ }\mu\text{m}$ et de surface $S = 1 \text{ cm}^2$. Le nombre total de particules α déviées par seconde dans la direction $\theta = 60^\circ$ est de $2,055 \times 10^9$ (avec $d\theta = 1^\circ$). La masse volumique du platine est $\rho = 21,4 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

1°) Exprimer la section efficace différentielle $\sigma(\theta)$ en fonction des données précédentes et la calculer numériquement en barns pour $\theta = 60^\circ$.

2°) En déduire l'énergie cinétique E_c en MeV des particules α incidentes.

Sont-elles relativistes ? Calculer leur vitesse v .

3°) Démontrer l'expression de la distance d'approche D entre une particule α du faisceau et un noyau de platine lors d'un choc frontal ($\theta = 180^\circ$).

Calculer numériquement cette distance d'approche D .

INFORMATIONS DIVERSES

terme de correction relativiste $\gamma = \left[1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2 \right]^{-1/2}$

masse atomique $1 \text{ u} = 1,660559 \times 10^{-27} \text{ kg} = 931,50 \text{ MeV}/c^2$

charge élémentaire $e = 1,6022 \times 10^{-19} \text{ C}$

vitesse de la lumière dans le vide $c = 2,99792 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

nombre d'Avogadro $N_A = 6,02205 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

permittivité du vide $\epsilon_0 = 8,8542 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$

électron $m_e = 5,486 \times 10^{-4} \text{ u} = 0,511 \text{ MeV}/c^2$

neutrino $m_\nu \approx 0$

proton $m_p = 1,007276 \text{ u}$

neutron $m_n = 1,008665 \text{ u}$

masse atomique (${}^4_2\text{He}$) $4,002603 \text{ u}$ **masse atomique** (${}^{56}_{26}\text{Fe}$) $55,934939 \text{ u}$

masse atomique (${}^{14}_6\text{C}$) $14,003242 \text{ u}$ **masse atomique** (${}^{195}_{78}\text{Pt}$) $194,96479 \text{ u}$

masse atomique (${}^{14}_7\text{N}$) $14,003074 \text{ u}$

force coulombienne $\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{q}_1 \vec{q}_2}{r_{12}^2} \vec{r}_{12}^0$

section efficace différentielle $\sigma(\theta) = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0 E_c} \right)^2 \frac{1}{16 \sin^4(\theta/2)}$

avec Z_1 , numéro atomique de la particule incidente

Z_2 , numéro atomique du noyau cible

E_c , énergie cinétique de la particule incidente

θ , angle de diffusion

section efficace totale $\sigma = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega$ $1 \text{ barn} = 1 \times 10^{-28} \text{ m}^2$

avec $\sigma(\theta) = \frac{d\sigma}{d\Omega}$ et $d\Omega = 2\pi \sin\theta d\theta$