

1. En admettant que toute la masse atomique est concentrée dans le noyau et que celui-ci peut être représenté par une sphère de rayon $R = R_0 A^{1/3}$, (A étant le nombre de masse et $R_0 = 1.2 \text{ Fermi}$), calculer la masse volumique de la matière nucléaire.

2. On considère que la distance approximative entre les deux protons de l'isotope ${}^3_2\text{He}$ est de 1.7 Fermi.

- a. Estimer l'énergie de répulsion coulombienne dans le noyau ${}^3_2\text{He}$.
- b. Calculer la différence entre les énergies de liaison totales de ${}^3_1\text{H}$ et ${}^3_2\text{He}$.
- c. Comparer avec la valeur obtenue pour l'énergie de répulsion et discuter.

3. Calculer les énergies de séparation d'un proton et d'un neutron de ${}^{63}_{29}\text{Cu}$. Discuter une éventuelle différence entre les deux énergies.

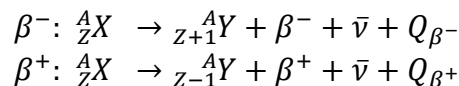
4. On considère une réaction nucléaire $X(a,b)Y$.

- a. Écrire le bilan énergétique de la réaction en fonction des masses atomiques
- b. Comment s'écrit ce bilan en fonction des énergies de liaison ?
- c. Appliquer ces résultats à la réaction de fusion thermonucléaire ${}^3_1\text{H}(d,n){}^4_2\text{He}$

5. Montrer que le bilan de toute réaction du type $X(d,n)Y$ peut se mettre sous la forme $Q = S_p(Y) - E_L(d)$ où $S_p(Y)$ est l'énergie de séparation d'un proton du noyau résiduel Y et $E_L(d)$, l'énergie de liaison du deuton.

Appliquer ce résultat à la réaction de fusion du tritium ${}^3_1\text{H}(d,n){}^4_2\text{He}$ de l'exercice précédent.

6. Écrire le bilan des réactions de désintégration β^+ et β^- d'un noyau ${}^A_Z X$ en fonction des masses atomiques :



Quelles sont les conditions respectives pour que les désintégrations β^+ et β^- soient possibles ?

7. Soit une réaction nucléaire du type $X(p,n)Y$. Écrire et équilibrer la réaction nucléaire.

- a. Quelle est la particularité des noyaux X et Y ?
- b. À l'aide de la formule semi-empirique de masse de Von Weizsäcker, écrire le bilan de cette réaction.
- c. En appliquant ces résultats à la réaction de fusion ${}^3_1\text{H}(p,n){}^3_2\text{He}$, calculer le coefficient a_c du terme d'interaction coulombienne de la formule semi-empirique de masse.

8. Dans le modèle de la goutte liquide, l'énergie de liaison totale d'un noyau de nombre de masse A et de numéro atomique Z est donnée par la formule semi-empirique de masse de Von Weizsäcker :

$$E_L(A,Z) \approx a_v A - a_s A^{2/3} - a_c Z^2 A^{-1/3} - a_a \frac{(A-2Z)^2}{A} + \delta a_p A^{-3/4}$$

où δ est un coefficient pouvant être égal à -1, 0 ou +1 et a_v, a_s, a_c, a_a et a_p des constantes qu'on prendra telles que :

$$a_v = 15.7 \text{ MeV}; a_s = 18.6 \text{ MeV}; a_c = 0.72 \text{ MeV}; a_a = 24 \text{ MeV}; a_p = 33 \text{ MeV}$$

a. Expliciter les différents termes de la formule semi-empirique de masse. A quoi correspondent les trois valeurs possibles de δ ?

b. Montrer, en donnant les expressions des coefficients α, β et γ , que les masses des atomes isobares de nombre masse A peuvent se mettre sous la forme $M(A,Z) = \alpha Z^2 + \beta Z + \gamma$

c. Établir l'expression du numéro atomique de l'élément le plus stable d'une série isobarique de nombre de masse A impair. En déduire l'élément le plus stable de la série isobarique suivante :

${}^{63}_{26}\text{Fe}$	${}^{63}_{27}\text{Co}$	${}^{63}_{28}\text{Ni}$	${}^{63}_{29}\text{Cu}$	${}^{63}_{30}\text{Zn}$	${}^{63}_{31}\text{Ga}$
-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------

- d. Calculer les excès de masse de ces différents éléments.
 e. En justifiant les réponses, donner toutes les désintégrations radioactives qui peuvent se produire entre ces différents éléments ?
 f. Calculer pour chacune des ces désintégrations, l'énergie cinétique maximale des particules émises.

9. On considère les trois éléments A_ZX , ${}^A_{Z-1}X$ et ${}^A_{Z+1}X$ d'une série isobarique de nombre de masse A impair.

- a. Établir les expressions des coefficients du terme coulombien a_c et du terme d'asymétrie a_s de la formule semi-empirique de masse en fonction des excès de masse des trois éléments.
 b. Calculer leurs valeurs en utilisant les excès de masse de ${}^{57}_{26}\text{Fe}$, ${}^{57}_{27}\text{Co}$ et ${}^{57}_{28}\text{Mn}$.

10. On se propose de calculer la valeur du coefficient a_c d'interaction coulombienne de la formule semi-empirique de masse de Von Weizsäcker en utilisant 2 noyaux-miroirs.

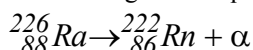
1. Rappeler l'expression de l'énergie de liaison totale $E_L(A, Z)$ d'un noyau A_ZX dans le modèle de la goutte liquide de Von Weizsäcker.
 2. Soit la réaction nucléaire ${}^A_{Z+1}X + {}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^A_ZY$. Exprimer le bilan énergétique Q de cette réaction en fonction :
 a. des excès de masse
 b. des énergies de liaison totales
 3. On considère que les isobares ${}^A_{Z+1}X$ et A_ZY sont des noyaux-miroirs, c'est-à-dire que le nombre de protons de l'un est égal au nombre de neutrons de l'autre (et réciproquement).
 a. Montrer que pour ces noyaux, on a nécessairement $A = 2Z + 1$.
 b. En exprimant la différence entre les énergies de liaison totales des 2 noyaux, établir une relation entre Q , a_c et A .
 c. Déterminer alors la valeur de a_c en appliquant les considérations précédentes aux noyaux-miroirs ${}^{19}_{10}\text{Ne}$ et ${}^{19}_9\text{F}$.

11. On envoie des deutons (2_1d) d'énergie cinétique $T_d = 3.39 \text{ MeV}$ sur une cible de béryllium ${}^9_4\text{Be}$. On détecte les neutrons (1_0n) émis au cours de la réaction nucléaire, en mesurant leur énergie cinétique T_n à l'angle d'émission $\theta = 10^\circ$.

1. Écrire la réaction nucléaire produite.
 2. Calculer le bilan énergétique dans le cas où le noyau résiduel est produit dans son état fondamental.
 3. L'équation en Q de la réaction nucléaire peut être mise sous la forme

$$Q = aT_n + b\sqrt{T_n} + c.$$
 a. Préciser, pour la réaction considérée ici, les valeurs des coefficients a , b et c avec leurs unités.
 b. En déduire l'énergie des neutrons émis avec un noyau résiduel produit dans son état fondamental.
 4. Le spectre en énergie des neutrons émis présente plusieurs pics apparaissant à différentes énergies T_n . Un de ces pics est en particulier situé à l'énergie $T_n = 4.2 \text{ MeV}$.
 a. Montrer que ce pic correspond à un noyau résiduel produit dans un état excité.
 b. Calculer l'énergie d'excitation correspondante.

12. Calculer l'énergie cinétique de la particule α émise au cours de la désintégration du radium dont la réaction s'écrit :



13. On utilise un faisceau de particules α d'énergie cinétique égale à 4 MeV pour réaliser la réaction ${}^{37}_{17}\text{Cl}(\alpha, p)$

1. Quel est le noyau résiduel produit ?
 2. Calculer le bilan de la réaction.
 3. Quelle est l'énergie du niveau excité le plus élevé du noyau composé que l'on peut atteindre au cours de cette réaction ?

14. Soit la réaction nucléaire ${}^{59}_{27}\text{Co}(p,n){}^{59}_{28}\text{Ni}$

1. Calculer le bilan d'énergie. Comment appelle-t-on ce genre de réaction ?
2. Quelle est son énergie-seuil ?
3. Pour quelle énergie minimale des protons peut-on espérer observer des neutrons émis à un angle de 60° par rapport à la direction du faisceau incident ?

15. La section efficace de la réaction ${}^{23}_{11}\text{Na}(d,p){}^{24}_{11}\text{Na}$ est égale à 0.44 barns pour des deutons incidents d'énergie $E_d = 7 \text{ MeV}$. La cible de sodium a une épaisseur de 6 mg/cm^2 .

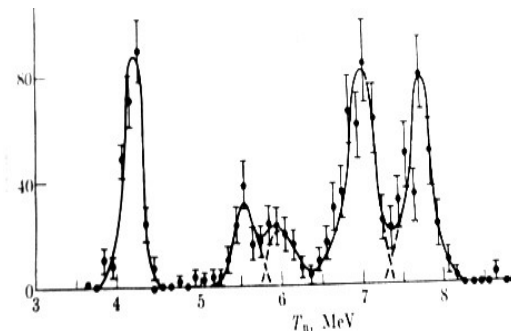
1. Quelle est la fraction du faisceau de deutons qui interagit au cours de cette réaction ?
2. Calculer l'énergie cinétique des protons émis à 30° ?

16. On considère les deux réactions nucléaires ${}^{13}_6\text{C}(d,p)$ et ${}^{11}_5\text{B}(\alpha,n)$.

1. Identifier les noyaux résiduels et calculer les bilans respectifs des deux réactions.
2. Identifier le noyau composé formé au cours de ces deux réactions.
3. On admet que durant les deux réactions, le noyau composé est formé dans un de ses états excités situé à 18.28 MeV au dessus de son état fondamental. Calculer les énergies cinétiques respectives du deuton et de la particule α pour lesquelles on pourra observer des résonances dans les spectres d'émission des protons et des neutrons.
4. Dresser un diagramme des énergies des réactions considérées sur lequel on fera apparaître les différents états initiaux et finaux, les bilans de réaction, les états du noyau composé, les énergies de séparations d'une particule α , d'un deuton, d'un neutron et d'un proton du noyau composé.

17. La figure ci-contre représente le spectre en énergie T_n des neutrons émis à 10° au cours de la réaction ${}^9_4\text{Be}({}^2_1\text{d}, {}^1_0\text{n})$ pour des deutons incidents d'énergie cinétique $T_d = 3.39 \text{ MeV}$.

1. Identifier le noyau résiduel.
2. Calculer le bilan énergétique Q_0 dans le cas où le noyau résiduel est produit dans son état fondamental. En déduire dans ce cas, l'énergie des neutrons émis à 10° .
3. Ecrire l'équation en Q de cette réaction dans le cas où le noyau résiduel est produit dans un état excité d'énergie d'excitation E_i .
4. Calculer les énergies d'excitation des niveaux du noyau résiduel mis en évidence par le spectre des neutrons.



18. La section efficace différentielle de diffusion purement coulombienne (diffusion de Rutherford) d'un noyau-projectile de charge Z_1 d'énergie cinétique E_1 par un noyau-cible de charge Z_2 est donnée dans le système lié au centre de masse des deux particules par l'expression :

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) = \left(\frac{Z_1 Z_2 q^2}{4E_R} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

dans laquelle E_R représente l'énergie disponible et θ , l'angle de diffusion dans le système du centre de masse. Le terme q^2 est égal à $e^2 / 4\pi\epsilon_0$ dans le système d'unités MKSA.

1. Dans la diffusion d'un faisceau de particules α d'énergie égale à 7.7 MeV et d'intensité égale à $1.6 \mu\text{A}$ par une cible mince d'or (${}^{197}_{79}\text{Au}$) d'épaisseur 3 mg/cm^2 , quel est le nombre de particules α atteignant par minute un détecteur placé à 135° par rapport à la direction incidente et définissant un angle solide de 0.2 millistéradian ? On comparera au préalable entre eux, les systèmes du centre de masse et du laboratoire.
2. Dire, sans calculs, quelle est la valeur de la section efficace totale de diffusion coulombienne ?

19. Étudier et discuter les bilans des réactions nucléaires ${}^{19}_9\text{F}(p,\alpha){}^{16}_8\text{O}$; ${}^{16}_8\text{O}(d,p){}^{17}_8\text{O}$; ${}^{17}_8\text{O}(\alpha,d){}^{19}_9\text{F}$.

- 20.** On considère la réaction nucléaire ${}^{14}_7N(\alpha, p)$. Le bilan Q de cette réaction est égal à - 1.192 MeV. Les particules α ont une énergie $E_\alpha = 5.407$ MeV. Les protons sont détectés à un angle $\theta=90^\circ$ par rapport au faisceau incident.
- Identifier le noyau résiduel et calculer son excès de masse.
 - Quelle est l'énergie-seuil de cette réaction ?
 - Rappeler l'expression générale reliant le bilan Q d'une réaction nucléaire aux énergies cinétiques et à l'angle d'émission θ de la particule légère. En déduire l'énergie cinétique E_p des protons observés dans la réaction considérée.
 - Quel serait le noyau composé formé durant la réaction ? Calculer son énergie d'excitation sachant que son excès de masse à l'état fondamental est égal à 1.951 MeV/c².
 - La densité du gaz cible d'azote (N₂) est égale à $3 \cdot 10^{18}$ molécules/cm³ et son épaisseur traversée par les particules α est de 2 mm. L'intensité incidente est égale à $1.7 \cdot 10^9$ particules/s. En une heure d'expérience, on estime que 260 protons ont atteint un détecteur présentant un angle solide $\Delta\Omega = 0.02$ stéradian (sr). En déduire la section efficace différentielle de la réaction pour $\theta=90^\circ$.

Remarque : Cette réaction est analogue à celle de l'expérience historique réalisée par E. Rutherford en 1919. Elle est considérée comme la première réaction nucléaire artificielle.

- 21.** La section efficace de la réaction ${}^{27}_{12}Mg({}^3_2He, {}^3_1H)X$ est de 0,44 barn pour des 3_2He incidents d'énergie égale à 5 MeV. Si la cible de magnésium a une épaisseur de 6 mg/cm², quelle est la fraction du faisceau incident qui entre en réaction ? Calculer l'énergie cinétique du tritium émis à 60° .

- 22.** Dans une centrale nucléaire fonctionnant à l'uranium enrichi, le combustible utilisé est composé de 3% de ${}^{235}_{92}U$ et de 97% de ${}^{238}_{92}U$. Parmi ces deux isotopes, seul l'uranium 235 est fissile par capture de neutrons thermiques.
- Que signifie l'expression « uranium enrichi » ? Quels procédés sont généralement utilisés pour fabriquer ce combustible ?
 - Par capture d'un neutron thermique, le noyau ${}^{235}_{92}U$ subit la fission suivante:

$${}^{235}_{92}U + {}^1_0n \Rightarrow {}^{139}_{54}Xe + {}^{94}_{38}Sr + x {}^1_0n$$
 - Combien de neutrons sont émis au cours de cette réaction ?
 - Quelle est, en MeV, l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium-235 ?
 - Quelle serait, en T.E.P. (tonne équivalent pétrole), l'énergie fournie par la fission d'une mole d'uranium-235 ?
 - L'uranium-238 non fissile du réacteur se transforme en un autre noyau radioactif non fissile par capture radiative d'un neutron lent (réaction (n, γ))
 - Identifier le noyau formé.
 - Calculer le bilan Q de cette réaction.
 - Ce noyau radioactif subit, à son tour, deux désintégrations β^- successives pour arriver à un noyau fissile.
 - Ecrire les équations de désintégration de ces deux processus successifs et identifier les noyaux formés.
 - Calculer les énergies maximum T_β^{max} des rayonnements β^- émis.
 - Le noyau obtenu après les deux désintégrations β^- subit une désintégration radioactive par émission d'une particule pour redonner ${}^{235}_{92}U$ dans son état fondamental.
 - En écrire l'équation de désintégration en identifiant les noyaux obtenus.
 - Calculer les énergies cinétiques du noyau de recul et de la particule émise.
 - En réalité, le noyau résiduel peut être formé dans l'état fondamental ou dans deux états excités situés respectivement à des énergies d'excitation de 13.04 et 51.70 keV (au dessus de l'état fondamental). Calculer les énergies cinétiques des particules émises.

On donne : 1 T.E.P. = $42 \cdot 10^{10}$ J ; $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C ; $1 \text{ u} \cdot c^2 = 931.5$ MeV

23. Calculer l'énergie cinétique de la particule α émise lors de la désintégration radioactive du plutonium $^{239}_{94}\text{Pu}$

24. Les abondances dans l'uranium naturel sont actuellement de 0.70% pour $^{235}_{92}\text{U}$ et de 99.30% pour $^{238}_{92}\text{U}$. En admettant que les deux éléments ont été formés originellement dans des proportions égales, estimer la date de leur formation sachant que leurs périodes de désintégration sont respectivement égales à 0.7 et 4.5 milliards d'années.

25. Calculer l'énergie-seuil de la réaction $\alpha + {}^7_3\text{Li} \rightarrow n + {}^{10}_5\text{B}$ dans les deux cas suivants :

1. Le projectile est la particule α , la cible est le lithium
2. Le projectile est le lithium, la cible est la particule α (hélium)
3. Comparer les deux valeurs et discuter.

26. Dans le modèle de la goutte liquide, on montre que les masses des atomes isobares de nombre de masse A dépendent de façon quadratique de leur numéro atomique Z par la relation suivante (voir exercice n°8) :

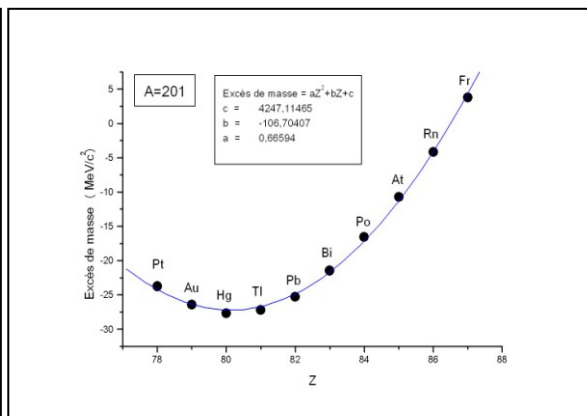
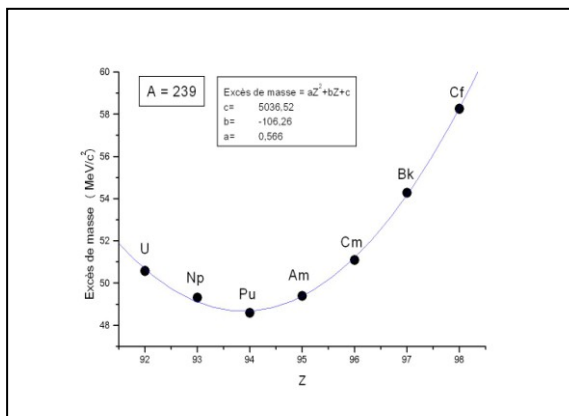
$$M(A, Z)c^2 = aZ^2 + bZ + c - \delta a_p A^{-3/4}$$

$\delta = 0$ pour A impair ; $\delta = +1$ pour A pair et Z pair ; $\delta = -1$ pour A pair et Z impair

1. Montrer que :

$$a = \frac{a_C}{A^{1/3}} + \frac{4a_a}{A} ; b = (M_H - M_n)c^2 - 4a_a ; c = (M_n c^2 - a_V + \frac{a_S}{A^{1/3}} + a_a)A$$

2. Utiliser les deux courbes isobares suivantes pour déterminer des valeurs pour les constantes a_V , a_S , a_C et a_a .



3. Donner les différents processus de désintégration β qui peuvent se produire dans les deux séries isobariques. Préciser dans chaque cas les énergies cinétiques maximales des particules émises.

27. On crée l'élément $^{18}_9\text{F}$ (fluor 18) à l'aide de la réaction nucléaire $^{18}_8\text{O}(p, n)^{18}_9\text{F}$.

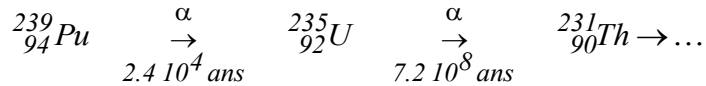
1. a. Quel est le bilan énergétique de cette réaction ?
 b. On utilise des protons d'énergie $T_p = 12 \text{ MeV}$. Calculer l'énergie cinétique des neutrons émis à vers l'avant, c'est-à-dire à un angle $\theta = 0^\circ$ par rapport à la direction des protons incidents
2. La cible, constituée d'eau (H_2O) enrichie à 3% en ^{18}O , a une épaisseur de 6 g/cm^2 .
 a. Sachant que la section efficace totale de la réaction à l'énergie T_p est $\sigma = 0.23 \text{ barn}$, calculer la fraction du faisceau incident qui disparaît pour créer du ^{18}F ?
 b. Le noyau $^{18}_9\text{F}$ est un émetteur β^+ de période $\tau = 110 \text{ mn}$. Écrire la réaction complète de sa désintégration en identifiant les éléments produits supposés dans leur état fondamental.

c. Quelles sont les énergies maximale $(T_{\beta^+})_{max}$ et minimale $(T_{\beta^+})_{min}$ des positons émis ?

3. A un instant donné, on arrête le bombardement par les protons. Au bout de combien d'heures la quantité de ${}^{18}_9F$ formé à cet instant là, aura-t-elle disparu à 99% ?

On donne : $m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV}$; Nombre d'Avogadro $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$; $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$.

28. Dans la chaîne radioactive de l'actino-uranium, dite également série $4n + 3$, on a les désintégrations suivantes :



Calculer l'activité de l'actino-uranium ${}^{235}_{92}\text{U}$ formé au bout d'un an à partir de $100 \mu\text{Ci}$ de ${}^{239}_{94}\text{Pu}$.

29. L'activité spécifique du chlorure de rubidium naturel, RbCl , est de 478 Bq/g . Cette activité est due uniquement à l'isotope $\text{Rb } 87$. Le chlore naturel est composé de 75% de $\text{Cl}35$ et de 25% de $\text{Cl}37$. Le rubidium naturel a pour composition isotopique 72% de $\text{Rb}85$ et 28% de $\text{Rb}87$. En déduire la période (en années) du $\text{Rb}87$. (*Université de Caen, 2010*)

30. On irradie une cible d'uranium ${}^{238}_{92}\text{U}$ d'épaisseur e et formant un carré de surface S par des neutrons provenant d'une source émettant n neutrons par cm^2 et par s . La section efficace de la réaction ${}^{238}_{92}\text{U}(n, \gamma)$ est σ . Sachant que le noyau produit au cours de la réaction est lui-même radioactif β^- de constante de désintégration λ_2 :

1. Écrire la chaîne complète des réactions produites.
2. Écrire l'équation d'évolution du nombre de noyaux parents ${}^{238}_{92}\text{U}$ et des noyaux produits dans la chaîne considérée.
3. En déduire le nombre, à chaque instant, des noyaux produits directement par la réaction (n, γ) .
4. A quel instant ce nombre atteint-il sa valeur maximale ?
5. Étudier les cas particuliers des grandes et des faibles sections efficaces σ (relativement à λ_2).

31. On utilise la décroissance radioactive du thorium ${}^{230}_{90}\text{Th}$ pour dater la formation des sédiments marins. La réaction considérée est la suivante :



Les mesures effectuées sur une carotte de sédiments montrent que la quantité de thorium 230 varie d'un facteur 6 sur une hauteur de 40 m . En déduire la vitesse moyenne de déposition sédimentaire.

32. Le rapport isotopique du carbone 14 mesuré dans un os provenant de fouilles archéologiques est trouvé égal à 12% du même rapport mesuré dans l'atmosphère terrestre. Sachant que la période de ${}^{14}_6\text{C}$ est égale à 5700 ans , déterminer l'âge de l'os. On admettra que les abondances du carbone dans l'air sont restées constantes.

33. Activation neutronique

I. Une cible de ${}^{23}_{11}\text{Na}$, isotope stable du sodium, est irradiée par un faisceau de neutrons transportant un nombre I_n de neutrons par unité de surface et par unité de temps, pour produire un de ses isotopes instables, ${}^{24}_{11}\text{Na}$, élément radioactif de période donnée $t_{1/2}$. On donne également la section efficace totale σ de cette réaction.

1. En justifiant la réponse, donner le ou les types de désintégration radioactive du noyau ${}^{24}_{11}\text{Na}$
2. Écrire les 2 réactions successives qui sont produites au cours de l'irradiation.
3. En déduire les équations différentielles d'évolution temporelle des nombres d'atomes N_1 de ${}^{23}_{11}\text{Na}$ et N_2 de ${}^{24}_{11}\text{Na}$ en fonction de I_n , σ et $t_{1/2}$.

- Quelles sont les expressions de $N_1(t)$ et $N_2(t)$ sachant qu'à l'instant initial $t = 0$, on a $N_1 = N_0$ et $N_2 = 0$.
- Exprimer le temps t_{max} au bout duquel le nombre de ${}^{24}_{11}Na$ atteint son maximum..

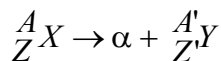
34. Source de neutrons (1)

Pour créer une source de neutrons, on utilise un mélange $[AmBe]$ d'américium (${}^{241}_{95}Am$) et de béryllium (9_4Be). L'américium est un émetteur de particules α . Ces particules entrent ensuite en réaction avec le béryllium pour donner des neutrons.

- Écrire les deux réactions nucléaires qui se produisent dans le mélange $[AmBe]$ pour aboutir à la production des neutrons.
- Quelle est l'énergie cinétique des particules α émises par ${}^{241}_{95}Am$ en admettant que le noyau résiduel est laissé dans son état fondamental ?
- En déduire les énergies maximale et minimale des neutrons émis par la source ainsi créée.

35. Source de neutrons (2)

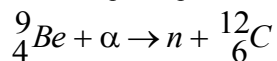
I. De manière générale, la désintégration α d'un noyau A_ZX est décrite par la réaction suivante :



dans laquelle α représente le noyau d'hélium (4_2He).

- Exprimer le nombre de masse A' en fonction du nombre de masse A .
- Utiliser les équations de conservation de l'énergie totale et de la quantité de mouvement totale pour déduire l'expression de l'énergie cinétique T_α de la particule émise en fonction du bilan Q de la réaction et du nombre de masse A .
- Au cours de la désintégration radioactive du radium 226 : ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow \alpha + {}^{A'}_{Z'}Y$, l'énergie cinétique de la particule α émise est égale à $T_\alpha = 4.78 MeV$ lorsque le noyau résiduel ${}^{A'}_{Z'}Y$ est créé dans son état fondamental. Utiliser le résultat de la question précédente pour calculer l'excès de masse atomique de ${}^{A'}_{Z'}Y$.
- La période de décroissance radioactive du radium 226 est égale à 1620 ans. Quelle est la masse d'une source de radium dont l'activité est égale à un curie (1 Ci) ? On rappelle que, par définition, une activité de 1 Ci correspond à $3.7 \cdot 10^{10} s^{-1}$.
 - Que reste-t-il de cette masse au bout de 50 000 ans ?
 - Comment peut-on alors expliquer le fait qu'on trouve encore du radium actuellement ?

II. Afin de fabriquer une petite source de neutrons, on mélange du radium 226 à du béryllium 9. Les particules α émises par la désintégration étudiée dans la partie précédente provoquent alors la réaction suivante :



dans laquelle le noyau résiduel ${}^{12}_6C$ est créé dans son état fondamental et le neutron émis avec une énergie cinétique T_n .

- Écrire la relation entre le bilan Q de la réaction et les énergies cinétiques T_α et T_n pour une émission de neutrons à un angle $\theta = \frac{\pi}{2}$ par rapport à la direction des particules α incidentes. En déduire l'énergie T_n des neutrons émis.
- En admettant qu'il y a formation d'un noyau composé dans un état excité au cours de la réaction, identifier ce noyau composé et calculer son excès de masse.

3. L'énergie de séparation du dernier neutron du noyau composé (dans son état fondamental) est égale à 4.95 MeV . En déduire l'énergie d'excitation du noyau composé formé au cours de la réaction nucléaire considérée. Dresser le diagramme énergétique de cette réaction.

36. Radioactivités β

1. Écrire les 3 réactions de désintégration par émission β^- , par émission β^+ et par capture électronique (CE) de l'élément radioactif ${}^{64}_{29}\text{Cu}$.
2. Montrer que les trois modes de désintégrations sont possibles.
3. Calculer les énergies cinétiques maximales des électrons et des positons qui sont émis au cours de ces désintégrations.
4. La période radioactive ou demi-vie de ${}^{64}_{29}\text{Cu}$ est égale à 30 h . Sachant que les rapports d'embranchement sont égaux à 19% pour la désintégration β^+ et à 38% pour la désintégration β^- , calculer le nombre d'électrons et de positons créés en 72 h par 10 g de ${}^{64}_{29}\text{Cu}$.

37. On rappelle qu'une chaîne radioactive naturelle est une suite de noyaux commençant par un noyau parent de très grande période et se terminant par un noyau stable après des désintégrations α et β^- successives. Calculer le nombre de désintégrations α puis celui des désintégrations β^- qui se produisent dans la chaîne qui part du noyau parent ${}^{238}_{92}\text{U}$ pour se terminer au noyau stable ${}^{206}_{82}\text{Pb}$?

38. Quelle est l'énergie cinétique de la particule α émise à 90° dans la réaction ${}^{18}_8\text{O}(d, \alpha)$ pour des deutons incidents de 2.5 MeV dans le cas où le noyau résiduel est créé dans son état fondamental ?

39. Le cobalt 60, (${}^{60}_{27}\text{Co}$), est un émetteur β^- .

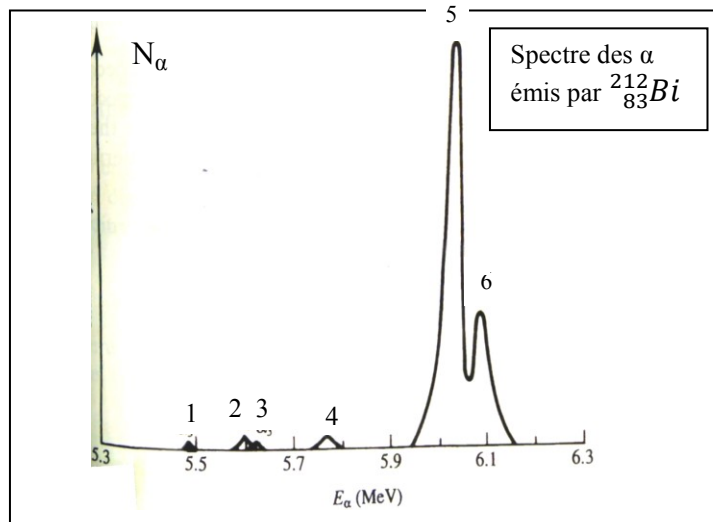
1. Identifier le noyau résiduel et écrire la réaction de désintégration.
2. Quelle serait l'énergie cinétique maximale de l'électron émis si on suppose que le noyau résiduel est dans son état fondamental ?
3. En réalité, on observe deux groupes d'électrons, le premier caractérisé par une énergie cinétique maximale $(E_\beta)_{max1} = 0.324 \text{ MeV}$, le second par une énergie maximale $(E_\beta)_{max2} = 1.494 \text{ MeV}$. Montrer que cela signifie que l'hypothèse précédente n'est pas valable.
4. En déduire les énergies d'excitation des états dans lesquels est formé le noyau résiduel durant les désintégrations de ${}^{60}_{27}\text{Co}$.
5. Quelles sont les énergies des rayonnements γ qui accompagnent ces désintégrations ?

40. On considère la réaction nucléaire ${}^{39}_{19}\text{K}(d, p)$ dans laquelle on envoie un faisceau de deutons (${}^2_1\text{H}$) d'énergie cinétique $T_d = 4 \text{ MeV}$ et d'intensité $I_d = 1.25 \mu\text{A}$ sur une cible de potassium naturel d'épaisseur égale à $20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Le potassium naturel est composé de 93% de ${}^{39}\text{K}$, de 6.7% de ${}^{41}\text{K}$ et d'une fraction infime de ${}^{40}\text{K}$ que l'on négligera dans ce qui suit. La détection des protons (${}^1_1\text{H}$) émis est effectuée à un angle $\theta = 90^\circ$ par rapport à la direction des deutons incidents. Le détecteur utilisé présente un angle solide $\Delta\Omega = 10$ millistéradians. La section efficace différentielle de la réaction considérée est égale à 30 millibarn/sr pour des deutons de 4 MeV .

1. Quelle est l'énergie disponible (dans le système du centre de masse) pour la réaction considérée ?
2. Quelle est l'énergie emportée par le centre de masse ?
3. Calculer l'énergie cinétique T_p des protons détectés.
4. Combien de protons auront été détectés après 1 mn d'irradiation par le faisceau de deutons ?
5. Le noyau résiduel Y de la réaction est radioactif β .
 - a. Montrer qu'il peut se désintégrer par émission β^- , émission β^+ et par capture électronique.
 - b. Quelles sont les énergies maximales $(T_{\beta^-})_{max}$ et $(T_{\beta^+})_{max}$ des particules β émises ?
 - c. Sachant que la capture électronique est suivie par l'émission de γ de 1.460 MeV , calculer l'excès de masse de l'état formé par capture électronique.
 - d. La période totale $t_{1/2}$ de la désintégration radioactive du noyau Y est égale à $1.25 \cdot 10^9$ ans. Le rapport d'embranchement de la radioactivité β^- est égal à 89.5%. En déduire la constante de désintégration β^- du noyau Y.
 - e. Résumer les résultats dans un diagramme énergétique représentant toutes les voies de désintégration du noyau Y.

41. On donne sur la figure ci-contre une partie du spectre des particules α émises par l'isotope du bismuth $^{212}_{83}\text{Bi}$. On y observe 6 pics notés de 1 à 6.

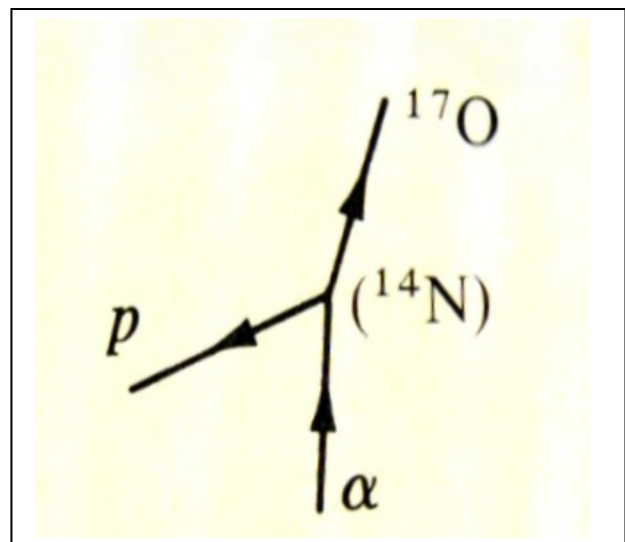
1. Écrire la réaction de désintégration α de cet isotope et en déduire le bilan énergétique Q_α .
2. Quelle serait l'énergie cinétique E_α de la particule α émise ?
3. Expliquer dans ce cas, pourquoi on observe des particules α émises à des énergies différentes.
4. Calculer les énergies d'excitation des niveaux du noyau résiduel mis en évidence dans l'expérience.
5. Utiliser les intensités des pics pour estimer les rapports d'embranchement des différentes voies de désintégration α .



42. Chambre de Wilson

Le cliché ci-contre, pris dans une chambre de Wilson (chambre à brouillard), représente les traces des particules intervenant dans la réaction nucléaire $^{14}\text{N}(\alpha, p)$. Les particules α proviennent d'une source de polonium $^{210}_{84}\text{Po}$.

1. Calculer l'énergie-seuil de la réaction $^{14}\text{N}(\alpha, p)$.
2. Quelle est l'énergie initiale des particules α émises par la source ?
3. Utiliser la géométrie de la collision pour déterminer les énergies cinétiques respectives de la particule α incidente et du proton émis à l'endroit même où la réaction considérée s'est produite.
4. Calculer la hauteur de la barrière coulombienne du système $^{14}\text{N} + \alpha$ et montrer que la réaction s'est produite grâce à l'effet-tunnel.



43. Fonction d'excitation

1. La fonction d'excitation de la réaction nucléaire $^{13}\text{C}(d, p)$ présente une résonance pour une énergie des deutons incidents $T_d = 2.450 \text{ MeV}$. Quelle est l'énergie d'excitation du noyau composé formé au cours de l'interaction ?
2. En déduire l'énergie T_α à laquelle on peut observer la même résonance dans la fonction d'excitation de la réaction $^{11}\text{B}(\alpha, n)$.