

Le noyau atomique

on donne :

Une unité de masse atomique $1u=1,66.10^{-27} \text{ Kg}=931,5\text{MeV}.c^{-2}$

La masse d'un proton $m_p=1,00728 \text{ u}$

La masse d'un neutron $m_n=1,00867 \text{ u}$

Le nombre d'Avogadro $N_A=6,022.10^{23} \text{ mol}^{-1}$

La célérité de la lumière $c=3.10^8 \text{ m}.s^{-1}$

Exercice 1.1 :

Le symbole d'un noyau s'écrit : A_ZX .

1. Définir : un nucléon, un nucléide, les forces nucléaires.
2. Que représente X, A et Z qui figurent dans le symbole du noyau ?
3. Donner l'expression du nombre de neutron N d'un noyau ?
4. Ecrire la notation symbolique d'un proton, d'un neutron et d'un électron.

Exercice 1.2 :

Parmi les isotopes du rubidium, on distingue le rubidium 85 (${}^{85}_{37}\text{Rb}$) et le rubidium 89 (${}^{89}_{37}\text{Rb}$).

1. a. Définir : l'énergie de liaison ; le défaut de masse.
b. Donner la relation qui permet de calculer l'énergie de liaison.
2. Calculer les énergies de liaisons pour chacun de ces deux isotopes.
3. En déduire les énergies de liaisons par nucléons pour chacun de ces deux isotopes.
4. Lequel des ces deux isotopes du rubidium est le plus stable ?

Données : $m({}^{85}\text{Rb})=84,89144\text{u}$; $m({}^{89}\text{Rb})=88,89193\text{u}$.

Exercice 1.3 :

1. Que représente la courbe d'Aston données dans le cours ?
2. Où se situent les noyaux les plus stables sur cette courbe ?
3. a. Quel est l'ordre de grandeur de l'énergie de liaison par nucléon du nickel 60 ?
b. Quel est l'ordre de grandeur de l'énergie de liaison du nickel 60 ?

Exercice 1.4 :

1. Le noyau ${}^6_3\text{Li}$ a une masse de 6,01350 u.

Calculer son défaut de masse en unité de masse atomique.

2. On donne les défauts de masse de plusieurs noyaux :

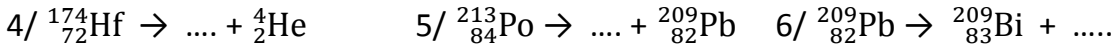
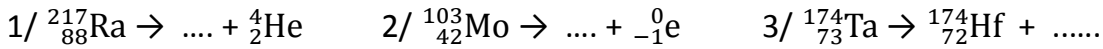
Noyau	${}^{10}_4\text{Be}$	${}^{60}_{28}\text{Ni}$	${}^{208}_{82}\text{Pb}$	${}^{238}_{92}\text{U}$
Défaut de masse (en u)	0,0697	0,56557	1,75658	1,93394

- a. Déterminer les énergies de liaisons des différents noyaux.
b. En déduire les énergies de liaisons par nucléons, de ces noyaux.
3. Classer les noyaux, du plus stables au moins stables.

Les réactions nucléaires spontanées

Exercice 1 :

En s'aidant du tableau de classification périodique, compléter les équations des réactions nucléaires spontanées en précisant le type de radioactivité (α , β^- ou β^+).



Exercice 2 :

On étudie l'activité $A(t)$ d'un radionucléide en fonction de sa demi-vie.

1. $A(t)$ est l'activité du radionucléide à la date t , A_0 est l'activité à la date $t=0$.

Compléter le tableau ci-contre.

2. Sur un papier millimétré, construire la courbe de décroissance radioactive. On portera en ordonnée $A(t)/A_0$ et en abscisse les dates $0, t_{1/2}, 2t_{1/2} \dots$

3. Des fragments d'os ont été prélevés d'un site préhistorique. On souhaite connaître leur âge par datation du carbone 14 dont la demi-vie est 5570 ans.

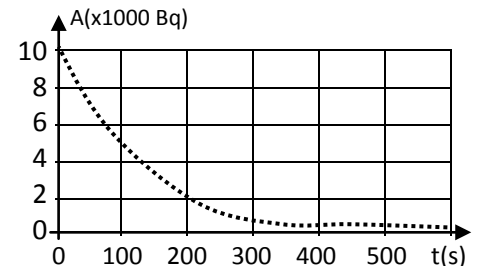
On a mesuré l'activité $A(t)$ d'un fragment d'os ancien ainsi que l'activité A_0 d'un fragment identique d'os actuelle. On a calculé le rapport $A(t)/A_0 = 0,100$.

Déterminer graphiquement l'âge du site préhistorique.

Exercice 3 :

Le graphique de la figure ci-contre représente l'activité d'un radionucléide en fonction du temps.

- Rappeler l'expression de la loi de décroissance radioactive.
- Déterminer l'activité initiale et la période T du radioélément.
- Calculer la constante radioactive λ en précisant son unité.



Exercice 4 :

Le Polonium 210 (${}^{210}_{84}\text{Po}$) est un élément métallique radioactif, émetteur de particule alpha.

- Que signifie : un élément radioactif émetteur alpha ?
- Donner la composition du noyau du Polonium 210.
- Ecrire la réaction traduisant la désintégration de ce noyau, en indiquant les lois de conservations à respecter.
- Soit $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs d'un échantillon de polonium non désintégrés à la date t . On note N_0 le nombre initial (à $t=0$) de noyaux radioactifs. Un détecteur de particule alpha permet d'effectuer les mesures regroupées dans le tableau suivant :

t (jours)	0	40	80	120	160	200	240
$\frac{N(t)}{N_0}$	1	0,82	0,67	0,55	0,45	0,37	0,30
$-\ln\left[\frac{N(t)}{N_0}\right]$							

- Compléter la ligne 3 du tableau.
- Tracer, sur une feuille de papier millimétré, la courbe donnant : $-\ln\left[\frac{N(t)}{N_0}\right]=f(t)$.
- Rappeler la loi de décroissance radioactive.
Cette loi est-elle en accord avec la courbe précédente ?
- Calculer la pente de cette courbe et déterminer la constante radioactive du polonium 210.
- En déduire la période radioactive de cet isotope du polonium.

Les réactions nucléaires provoquées

Exercice 1 :

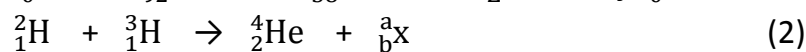
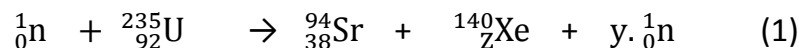
On considère la réaction suivante : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^a_z\text{x}$

- Cette réaction nucléaire est spontanée ou provoquée ? Est-elle une fusion ou une fission ?
- Identifier la particule ${}^a_z\text{x}$ émise.
- Calculer l'énergie libérée lors de la formation d'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$.
- Calculer l'énergie libérée lors de la formation d'un gramme d'hélium ${}^4_2\text{He}$.

Données : $m({}^2_1\text{H})=2,01355\text{u}$; $m({}^3_1\text{H})=3,01550\text{u}$; $m({}^4_2\text{He})=4,00150\text{u}$; $m(n)=1,00866\text{u}$;
 $1\text{u}=1,66054 \cdot 10^{-27}\text{Kg}$; $1\text{MeV}= 1,6022 \cdot 10^{-13}\text{J}$; $N=6,022 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$; $c=3 \cdot 10^8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Exercice 2 :

On considère les deux réactions nucléaires suivantes :



- Justifier que la réaction (1) est une fission alors que la réaction (2) est une fusion.
- On s'intéresse à la réaction nucléaire (1) :
 - Déterminer les valeurs de Z et de y en précisant les lois utilisées.
 - Calculer l'énergie E_1 (en MeV) dégagée par la fission nucléaire.
 - En déduire l'énergie E'_1 (en MeV) dégagée par 5 g d'uranium 235.
- On s'intéresse à la réaction nucléaire (2) :
 - Montrer que la particule ${}^a_b\text{x}$ émise au cours de cette réaction est un neutron.
 - Calculer l'énergie E_2 (en MeV) dégagée par la fusion nucléaire.
 - En déduire l'énergie E'_2 (en MeV) dégagée lors de la formation 5 g d'hélium.
- Comparer les énergies dégagées par les réactions de fusion et fission nucléaires.

On donne :

$$m({}^{235}_{92}\text{U}) = 234,99332\text{u} ; m({}^{94}_{38}\text{Sr}) = 93,89446\text{u} ; m({}^{140}_{54}\text{Xe}) = 139,89195\text{u} ;$$

$$m({}^2_1\text{H}) = 2,01355\text{u} ; m({}^3_1\text{H}) = 3,01550\text{u} ; m({}^4_2\text{He}) = 4,00150\text{u} .$$

$$\text{La masse d'un neutron } m_n = 1,00867\text{u}$$

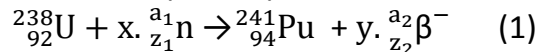
$$\text{Une unité de masse atomique } 1\text{u} = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{Kg} = 931,5\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2}$$

Exercices de synthèse

Exercice 1

Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$	Masse du noyau de plutonium 241	$m(\text{Pu}) = 241,00514\text{u}$
Nombre d'Avogadro	$N = 6,02.10^{23} \text{ mol}^{-1}$	Masse du noyau d'américium 241	$m(\text{Am}) = 241,00457\text{u}$
Unité de masse atomique	$1\text{u} = 1,66054.10^{-27} \text{ kg}$ $1\text{u} = 931,494 \text{ MeV.c}^{-2}$	Masse du noyau d'yttrium 98	$m(\text{Y}) = 97,90070\text{u}$
Masse du neutron	$m(n) = 1,00866\text{u}$	Masse du noyau de césium 241	$m(\text{Cs}) = 140,79352\text{u}$
Masse de la particule β^-	$m(\beta^-) = 0,00055\text{u}$	Masse du noyau de plutonium 241	$m(\text{Pu}) = 241,00514\text{u}$

Le plutonium (Pu) n'existe pas dans la nature. Le plutonium 241 est un sous-produit obtenu, dans les réacteurs des centrales nucléaires, à partir d'uranium 238. On peut schématiser la formation d'un noyau de plutonium 241 par l'équation de la réaction nucléaire suivante :

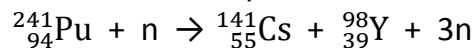


Avec ${}_{z_1}^{a_1}\text{n}$ est le symbole d'un neutron, ${}_{z_2}^{a_2}\beta^-$ est le symbole d'un électron, x et y sont des nombres entiers non nuls.

Une fois formé, le plutonium 241 est lui-même fissile sous l'action d'un bombardement neutronique. De plus, il est émetteur β^- avec une demi-vie de l'ordre d'une dizaine d'années.

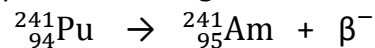
1. a. Définir : L'activité d'un élément radioactif; la période d'un élément radioactif.
- b. Préciser les valeurs a_1, z_1, a_2, z_2 figurant dans les symboles ${}_{z_1}^{a_1}\text{n}$ et ${}_{z_2}^{a_2}\beta^-$.
- c. Déterminer les valeurs de x et y dans l'équation (1).
- d. La réaction (1) est une réaction nucléaire spontanée ou provoquée ? Justifier.

2. a. La fission du plutonium 241 se fait selon l'équation :



Déterminer (en MeV) l'énergie E_F libérée lors de la fission d'un noyau de plutonium 241.

b. Le plutonium 241 est émetteur β^- , sa désintégration se fait selon l'équation suivante :

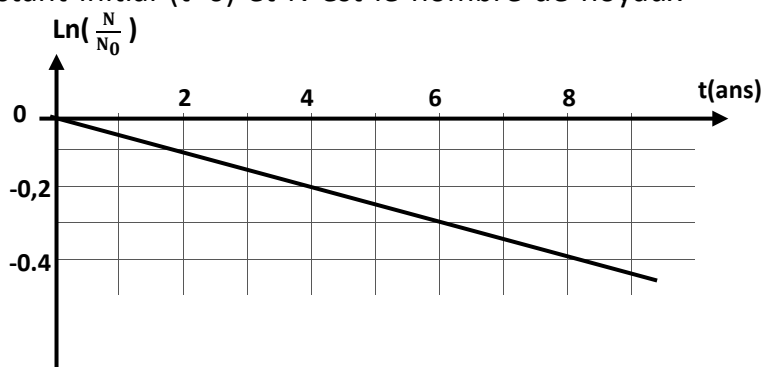


Déterminer (en MeV) l'énergie E_D libérée lors de la désintégration β^- d'un noyau de plutonium 241.

3. L'étude de l'activité d'un échantillon de plutonium 241 a permis de tracer courbe de $\ln(\frac{N}{N_0})=f(t)$ suivante :

Ou N_0 est le nombre de noyaux présents à l'instant initial ($t=0$) et N est le nombre de noyaux encore non désintégrés à la date t .

- a. Donner la loi de décroissance radioactive qui représente N en fonction du temps.
- b. En exploitant cette courbe, déterminer :
 - la constante radioactive du plutonium 241.
 - la période radioactive du plutonium 241.



- c. Calculer l'activité d'un échantillon contenant 1Kg de plutonium 241.
- d. Au bout de combien d'années cette activité sera divisé par 1000 ?

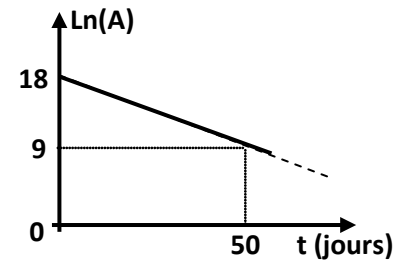
Exercice 2.

Données : $1u=1,66.10^{-27}$ kg ; $1\text{MeV}=1,6.10^{-13}\text{J}$, $1u=931,5\text{MeV}.c^{-2}$.

noyau ou particule	Radon	Radium	Hélium	Proton	Neutron
Symbole	${}^{222}_{86}\text{Rn}$	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	${}^4_2\text{He}$	${}^1_1\text{P}$	${}^1_0\text{n}$
Masse (en u)	221,970	226,977	4,00150	1,00728	1,00866

L'air contient l'isotope du radon 222 en quantité plus ou moins importante. Ce gaz radioactif naturel provient des roches qui contenaient de l'uranium et du radium.

1. A un instant pris comme origine du temps ($t=0$), l'activité d'un échantillon de radon 222 est A_0 . À une date ultérieure t , cet activité devient A .



La mesure de l'activité A de cet échantillon à différents instants t a permis de tracer la courbe de la figure ci-contre représentant les variations de $\text{Ln}(A)$ en fonction du temps t où Ln désigne le logarithme népérien et A est l'activité de l'échantillon à l'instant t , exprimée en Bq.

- Donner l'expression de la loi de décroissance radioactive en fonction de A .
- Déduire graphiquement la valeur de la période radioactive du radon 222.
- Calculer le nombre N de noyau de radon 222 désintégrés pendant 50 jours.

- Donner l'expression littérale du défaut de masse Δm du noyau de radon 222.
 - Calculer, en MeV, l'énergie de liaison du noyau de radon 222.
 - En déduire l'énergie de liaison par nucléon du noyau de radon 222.

3. Le noyau de radon 222 se forme par désintégration du noyau de radium 226.

Cette désintégration s'accompagne par l'émission d'une particule ${}^a_b\text{x}$.

- Préciser, en justifiant, la nature de la particule ${}^a_b\text{x}$.
- Calculer en MeV l'énergie libérée au cours de cette désintégration.

4. Dans une centrale nucléaire à neutrons lents, le combustible est de l'uranium enrichi. Lors de la fission d'un noyau d'uranium ${}^{235}_{92}\text{U}$, un grand nombre de réactions nucléaires sont possibles parmi celles-ci, il y en a une qui donne les noyaux de zirconium et de tellure, dont les symboles des noyaux sont ${}^{99}_{40}\text{Zr}$ et ${}^{134}_{52}\text{Te}$.

- Ecrire l'équation de la fission nucléaire du noyau d'uranium 235 bombardé par un neutron.
- A l'aide de la courbe d'Aston, on a relevé les valeurs du tableau suivant :

Noyau	${}^{235}_{92}\text{U}$	${}^{99}_{40}\text{Zr}$	${}^{134}_{52}\text{Te}$
Energie de liaison par nucléon (MeV)	7,3	8,7	8,5

A partir de ce tableau dégager l'intérêt énergétique de cette réaction de fission.

5. le noyau de zirconium ${}^{99}_{40}\text{Zr}$ est instable, il se désintègre en donnant un noyau de niobium ${}^A_Z\text{Nb}$ et une particule β^- .

- Ecrire l'équation de la réaction de désintégration du noyau en précisant la valeur du nombre de masse A et du nombre de charge Z du noyau de niobium ${}^A_Z\text{Nb}$.
- Expliquer l'origine d'émission de β^- .

Exercice 3 :

On considère les deux noyaux atomiques : Carbone $^{14}_6\text{C}$ et Azote $^{14}_7\text{N}$.

1. a. Définir l'énergie de liaison E_l d'un noyau atomique.

b. Calculer les énergies de liaisons E_l ($^{14}_6\text{C}$) et E_l ($^{14}_7\text{N}$).

On donne : La masse des particules : proton : 1,00728 u; neutron : 1,00867 u;

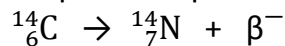
La masse des noyaux au repos : $^{14}_6\text{C}$: 14,00457 u; $^{14}_7\text{N}$: 14,00182 u.

Une unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$

c. Préciser en justifiant si les valeurs des énergies de liaisons E_l ($^{14}_6\text{C}$) et E_l ($^{14}_7\text{N}$) permettent de comparer la stabilité des noyaux $^{14}_6\text{C}$ et $^{14}_7\text{N}$.

d. Comparer la stabilité des noyaux $^{14}_6\text{C}$ et $^{14}_7\text{N}$ entre elles.

2. Le carbone $^{14}_6\text{C}$ est un élément radioactif, il se désintègre spontanément en produisant des noyaux d'azote $^{14}_7\text{N}$ avec l'émission d'une particule β^- selon la réaction nucléaire d'équation :



a. S'agit-il d'une réaction spontanée ou provoquée ? Justifier.

b. Identifier la particule β^- émise et expliquer le mécanisme de son émission.

3. La loi de décroissance radioactive est donnée par la relation : $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$

a. Donner la signification des grandeurs $A(t)$, A_0 et λ . Préciser leurs unités ?

b. Définir la période radioactive T d'un élément radioactif.

c. Montrer que $\lambda = \frac{\ln(2)}{T}$

4. Dans une tombe égyptienne, on a trouvé une momie pharaonique. L'analyse d'un fragment d'os prélevé de la momie montre qu'il produit 5600 désintégrations par seconde de carbone 14, alors qu'un fragment d'os prélevé d'un être vivant produit 8160 désintégrations par seconde.

La période radioactive du carbone 14 étant égale à 5570 ans.

Déterminer l'âge de cette momie pharaonique.

Exercice 4 :

On considère la réaction nucléaire d'équation : $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^a_b\text{Y} + \gamma$

1. a. Donner le nom de cette réaction nucléaire.

b. Justifier l'émission du rayonnement électromagnétique γ .

2. a. Identifier la particule ^a_bY émise au cours de la réaction en précisant les lois utilisées.

b. Calculer l'énergie E (en MeV) dégagée lors de la formation d'un noyau d'hélium.

3. Sachant que 2,5% de l'énergie libérée lors de la formation d'un noyau d'hélium se transforme en rayonnement électromagnétique γ et le reste se transforme en une autre forme d'énergie W .

a. Préciser la forme de l'énergie W .

b. Déterminer la valeur de la fréquence du rayonnement γ émis.

4. Pour réaliser cette réaction, il faut lui fournir une quantité énorme d'énergie énorme. A fin de justifier cet apport énergétique, deux élèves proposent :

1^{ère} proposition : il faut fournir de l'énergie à cette réaction pour vaincre les forces nucléaires.

2^{de} proposition : il faut fournir de l'énergie à cette réaction pour vaincre les forces électrostatiques.

Préciser, en justifiant, laquelle des deux propositions est correcte.

Données numériques :

La masse des noyaux au repos : $m(^2_1\text{H}) = 2,01355 \text{ u}$; $m(^3_1\text{H}) = 3,01550 \text{ u}$; $m(^4_2\text{He}) = 4,00150 \text{ u}$.

La masse d'un neutron $m_n = 1,00867 \text{ u}$

Une unité de masse atomique : $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$

La constante de Planck : $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.