

Prof : JENKAL RACHID	Série N° 4	Établissement : LYCÉE AIT BAHA
Matière : PHYSIQUE et CHIMIE	• Transformations nucléaires :	Direction provinciale : CHTOUKA AIT BAHA
Niveau : 2 BAC	✓ décroissance radioactive	Année scolaire : 2017 / 2018
Filières : PC et SVT	✓ Noyaux, masse et énergie	

✚ Exercice 1 : Radium

Le curie est défini comme l'activité d'un gramme de radium (1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq). le radium fut découvert en 1898.

$^{226}_{88}\text{Ra}$ est émetteur α . Sa période radioactive est de 1620 ans.

1. Quelle serait en 2018, exprimée en Bq, l'activité d'un gramme de radium dont l'activité en 1898 était de 1Ci ? faire apparaître la résolution littérale
2. Pourquoi le becquerel a-t-il été préféré au curie dans le système international S.I ?
3. Que signifie " $^{226}_{88}\text{Ra}$ est émetteur α " ?
4. Ecrire l'équation de cette désintégration
5. Calculer en u la masse théorique du noyau de $^{226}_{88}\text{Ra}$
6. La masse réelle du noyau de $^{226}_{88}\text{Ra}$ est 225,9771 u. pourquoi la masse réelle est-elle différente de la masse théorique ?
7. La masse réelle du noyau de $^{222}_{86}\text{Rn}$ est de 221,9703 u, la masse du noyau d'hélium est de 4,0015 u. Calculer en J et en MeV l'énergie libérée lors de la désintégration α d'un noyau de radium 226.
 $m_p = 1,672\,6231 \cdot 10^{-27}$ kg ; $m_n = 1,674\,9286 \cdot 10^{-27}$ kg ; $1\text{ u} = 1,660\,5402 \cdot 10^{-27}$ kg ; $1\text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19}$ J ; $c = 3 \cdot 10^8$ km/s

✚ Exercice 2 : radon 211

L'isotope radon 211 ($^{211}_{86}\text{Rn}$) se désintègre par radioactivité α en émettant une particule α et en donnant un noyau de Polonium

1. Ecrire les lois de conservation vérifiées au cours de cette désintégration. En déduire l'équation bilan de cette désintégration.
2. Exprimer en MeV puis en joules l'énergie libérée par la désintégration d'un atome de radon.
On effectue une analyse cinétique des particules émises. L'expérience montre que l'énergie cinétique totale peut prendre trois valeurs différentes : 5,96 MeV ; 5,89 MeV ; 5,72 MeV
3. Comment interpréter ces résultats ?
En déduire le nombre d'états excités du polonium et le nombre de raies d'émission que l'on peut observer, ainsi que les énergies des photons émis.
masse en u : $m(\text{radon}) = 210,9906$; $m(\text{polonium}) = 206,9816$; $m(\text{hélium}) = 4,0026$.
1 u correspond à $931,5\text{ MeV}/c^2$.

✚ Exercice 3 :radioactivité $^{212}_{83}\text{Bi}$

1. Quelle est la composition du noyau de $^{212}_{83}\text{Bi}$
2. Donner la définition de l'énergie de liaison d'un noyau.
3. Le noyau de bismuth 212 est instable et donne naissance spontanément à un noyau de Tallium $^{208}_{81}\text{Tl}$.
-Ecrire l'équation de désintégration du bismuth 212. Justifier.
-Calculer l'énergie W libérée par cette réaction nucléaire.
- En déduire la masse du noyau de bismuth 212 exprimée en u.
4. Lors de cette réaction nucléaire, le noyau fils est émis avec une énergie cinétique de recul de 0,117 MeV et un rayonnement électromagnétique d'énergie 0,327 MeV est détecté.
-Comment interpréter la présence de ce rayonnement ?
- Calculer l'énergie cinétique de la particule α .

Masse du noyau de $^{208}_{81}\text{Tl}$: $m(^{208}\text{Tl}) = 207,937\,592$ u ; masse du noyau d'hélium : $m(^4\text{He}) = 4,001\,54$ u ;

Energie de liaison par nucléon : $E(^{212}\text{Bi}) = 7,800$ MeV/nucléons ; $E(^{208}\text{Tl}) = 7,847$ MeV/nucléons ;

$E(^4\text{He}) = 7,066$ MeV/nucléons ; $1\text{ u} = 1,661 \cdot 10^{-27}$ kg = $931,5\text{ MeV } c^{-2}$.

✚ Exercice 4 : Transformations nucléaires

Données : $M(\text{C}) = 12,0$ g/mol ; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ mol $^{-1}$; $\ln 2 = 0,69$; $\ln 1,64 \cdot 10^{-2} = -4,1$.

Dans la nature l'élément carbone possède deux noyaux isotopes: le carbone 12 noté $^{12}_6\text{C}$ et le carbone 14 noté $^{14}_6\text{C}$. Le carbone 14 se forme dans la haute atmosphère à la suite d'un choc entre un neutron et un noyau d'azote $^{14}_7\text{N}$. Ce carbone 14 est radioactif β^- et a un temps de demi-vie égal à 5570 ans.

On note λ la constante radioactive du carbone 14. On note $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs présents à l'instant t dans l'échantillon. L'activité d'un échantillon radioactif $A(t)$ est le nombre de désintégrations qu'il produit par unité de temps soit $A(t) = -dN(t) / dt$.

Dans la matière vivante, les échanges d'élément carbone entre l'organisme végétal ou animal et l'air atmosphérique font que le rapport $N(\text{carbone 14}) / N(\text{carbone 12})$ est constant. A la mort de l'être vivant, ces échanges prennent fin ce qui entraîne la décroissance de ce rapport. Dans 200 g d'os d'un être vivant, il y a 1,0 g de carbone et on mesure 15 désintégrations par minute.

1. Après avoir énoncé les lois utilisées, écrire l'équation de la réaction nucléaire correspondant à la formation du carbone 14 dans l'atmosphère. Quelle est la seconde particule formée ?
2. Définir la radioactivité.
3. Ecrire l'équation de la désintégration β^- du carbone 14.
4. Exprimer $A(t)$ en fonction de $N(t)$ et λ .

- En déduire l'équation différentielle vérifiée par le nombre $N(t)$ de noyaux.
- Vérifier que l'expression $N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$ est solution de cette équation.
- Définir le temps de demi-vie.
- A un instant pris comme origine des temps, l'activité d'un échantillon est notée A_0 . Exprimer en fonction de A_0 , l'activité de cet échantillon aux instants $t_{1/2}, 2 t_{1/2}, 3 t_{1/2}, 4 t_{1/2}$, et $5 t_{1/2}$.
- Tracer l'allure de la courbe représentant l'évolution de l'activité de l'échantillon en fonction du temps. Déduire des questions 6 et 9 l'équation de la courbe obtenue.
- Etablir la relation entre λ et $t_{1/2}$. Calculer λ pour le carbone 14 et préciser son unité.
- Dans 200 g d'os trouvés sur un site archéologique, l'analyse montre que le rapport $N/N_0 = 1,64 \cdot 10^{-2}$. Calculer l'âge T de ces ossements en justifiant.
- Quelle est en Bq l'activité de ces ossements ?
- Quel est le nombre N_0 de noyaux radioactifs présents dans l'échantillon ?
- En supposant qu'il n'y ait que des noyaux de carbone 12 dans l'échantillon, quel est le nombre total de noyaux de carbone dans 200 g d'os ? Comparer ce nombre à N_0 et commenter ce résultat.

✚ Exercice 5 : Radioactivité artificielle, phosphore 31

C'est vers 1932 que le couple de physiciens français Frédéric Joliot et Irène Curie commencent à utiliser, pour des recherches, une source de particules alpha émises spontanément par le polonium, un élément naturellement radioactif. Grâce à elle, ils peuvent provoquer des réactions nucléaires dans les atomes des éléments.

Les Joliot-Curie, avec cette nouvelle source de particules alpha, bombardent les éléments et analysent les réactions nucléaires produites. Ils remarquent que les éléments légers, en particulier l'aluminium et le bore, éjectent parfois un neutron.

Mais ils observent également un autre phénomène parfaitement inattendu ; " la matière irradiée, notent-ils, conserve une radioactivité relativement durable après l'enlèvement de la source de particules alpha, radioactivité se manifestant par l'émission de positons". Ainsi, une feuille d'aluminium irradiée émet un rayonnement dont l'intensité décroît exponentiellement en fonction du temps avec une demi-vie de 3 min 15 s. Un résultat analogue est obtenu avec du bore irradié, mais la demi-vie est différente : 14 min. La seule explication possible, c'est que l'aluminium et le bore, éléments naturellement stables, sont devenus radioactifs.

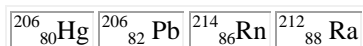
Les Joliot-Curie sont persuadés qu'ils ont trouvé le moyen de provoquer une radioactivité artificielle, par la création d'un élément instable et sa désintégration spontanée. Ils proposent une réaction probable: le noyau d'aluminium contenant 13 protons et 14 neutrons, aurait capturé une particule alpha et aurait immédiatement réémis un neutron. L'aluminium se serait alors transmuté en un isotope instable du phosphore, contenant 15 protons et 15 neutrons. Puis le phosphore radioactif se serait à son tour désintégré en silicium stable (14 protons et 16 neutrons), en émettant un positon.

Extrait tiré de : " Les grandes découvertes scientifiques " de Michel Rival (Editions du Seuil).

❖ La source de particules alpha utilisée par les Joliot-Curie :

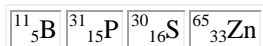
Le texte indique que les Joliot-Curie ont utilisé le polonium, élément naturellement radioactif, comme source de particules alpha.

- Définir un noyau radioactif.
- Qu'est ce qu'une particule alpha ?
- L'écriture de l'équation d'une réaction nucléaire utilise la notation A_ZX où X est le symbole de l'élément envisagé. Préciser ce que représentent A et Z.
- A l'aide du tableau de données ci-dessous, écrire l'équation de la réaction nucléaire pour une émission alpha du polonium ${}^{210}_{84}\text{Po}$.



❖ La réaction probable proposée par les Joliot - Curie :

- Donner la notation A_ZX du noyau de phosphore (symbole P) évoquée dans le texte.
- A l'aide du texte et des lois de conservation de Soddy, compléter l'équation de la transmutation de l'aluminium en un isotope instable du phosphore. "...Al + ...He---> 1_0n + ...P"
- A propos des isotopes :
 - Quand dit-on que deux noyaux sont isotopes ?
 - Trouver dans le tableau de données ci-dessous un autre isotope du phosphore que celui évoqué dans le texte.



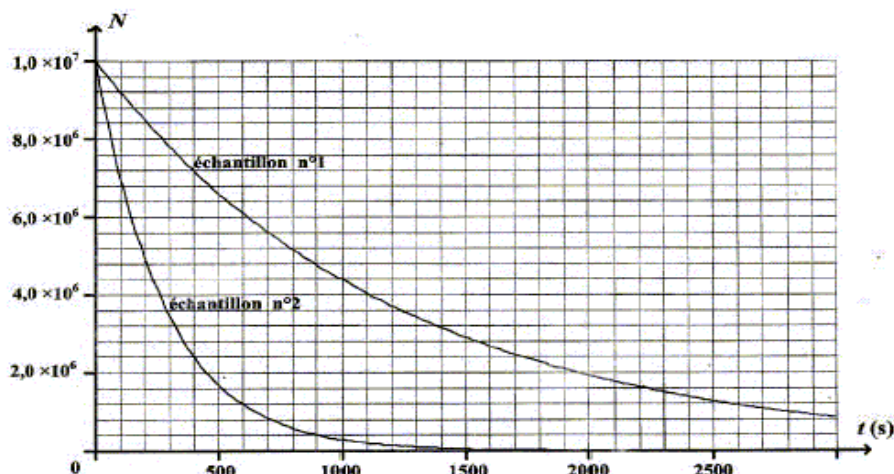
- Radioactivité du phosphore :
 - Traduire par l'écriture d'une équation de réaction nucléaire la dernière phrase du texte " Puis le phosphore radioactif se serait à son tour désintégré en silicium stable (14 protons et 16 neutrons), en émettant un positon.". Donnée : symbole du silicium Si)
 - De quel type de radioactivité s'agit-il ?
 - Lorsqu'un noyau de phosphore se désintègre, un proton du noyau se transforme en un neutron et un positon. En utilisant les notations 1_1p , 1_0n , 0_1e , écrire l'équation de cette transformation.

❖ Les lois de décroissance de l'aluminium et du bore irradié :

Les échantillons d'aluminium et de bore irradié suivent la loi de décroissance radioactive car ils contiennent des éléments radioactifs.

- Soit $N(t)$ le nombre de noyaux radioactifs à l'instant de date t d'un échantillon radioactif et N_0 le nombre de noyaux à l'instant de date t=0. Donner l'expression de la loi de décroissance radioactive en notant λ la constante radioactive.

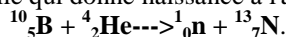
2. On a représenté sur le même graphe les lois de décroissance radioactive de deux échantillons de nature différente. L'un des échantillons est de l'aluminium irradié et l'autre du bore irradié. Déterminer graphiquement le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de chaque échantillon.



3. A l'aide du texte, identifier chaque échantillon.

❖ **Aspect énergétique du bore irradié :**

La réaction nucléaire envisagée est celle qui donne naissance à l'azote 13 après irradiation du bore par une source de particules alpha. Son équation est :



masse de certains noyaux (u)	${}^{10}_5\text{B}$	${}^4_2\text{He}$	${}^{13}_7\text{N}$	${}^1_0\text{n}$
	10,010194	4,001506	13,001898	1,008655

1 $u = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $1 \text{ eV} = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

- 2 Enoncer la relation d'équivalence masse-énergie.
 3 Vérifier que la variation de masse Δm au cours de la réaction nucléaire est $\Delta m = - 1,147000 \cdot 10^{-3} \text{ u}$.
 4 Bilan énergétique :
 - Exprimer la variation d'énergie de masse ΔE au cours de cette réaction nucléaire.
 - Calculer sa valeur successivement en joule puis en MeV.
 - ΔE l'énergie est-elle libérée au cours de la réaction ? Justifier.

✚ **Exercice 6 : Production d'énergie nucléaire**

❖ **Fission nucléaire :**

Une centrale nucléaire est une usine de production d'électricité. Actuellement ces centrales utilisent la chaleur produite par des réactions de fission de l'uranium 235 qui constitue le " combustible nucléaire ". Cette chaleur transforme de l'eau en vapeur. La pression de la vapeur permet de faire tourner à grande vitesse une turbine qui entraîne un alternateur produisant de l'électricité.

Certains produits de fission sont des noyaux radioactifs de forte activité et dont la demi-vie peut être très longue.

1. Définir le terme demi-vie.
 2. Définir l'activité d'une source radioactive. Préciser son unité dans le système SI
 3. Le bombardement d'un noyau d'uranium 235 par un neutron peut produire un noyau de strontium et un noyau de xénon selon l'équation suivante : ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{139}_{54}\text{Xe} + 3 {}^1_0\text{n}$.
 3. 1 Déterminer A et Z.
 3. 2 Calculer en MeV l'énergie libérée par cette réaction de fission.
 3. 3 Quelle est l'énergie libérée par nucléon de matière participant à la réaction ?

particule ou noyau	neutron	proton	deutérium	tritium	hélium 3	hélium4	uranium 235	xénon	strontium
symbole	${}^1_0\text{n}$	${}^1_1\text{p}$	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	${}^3_2\text{He}$	${}^4_2\text{He}$	${}^{235}_{92}\text{U}$	${}^A_{54}\text{Xe}$	${}^{94}_{38}\text{Sr}$
masse en u	1,00866	1,00728	2,01355	3,01550	3,01493	4,00150	234,9942	138,8892	93,8945

Données : $1 \text{ u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV} / c^2$, $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

❖ Fusion nucléaire :

Le projet ITER s'installera prochainement sur le site de Cadarache en France. L'objectif de ce projet est de démontrer la possibilité scientifique et technologique de la production d'énergie par fusion des atomes. La fusion est la source d'énergie du soleil et des autres étoiles.

Pour obtenir une réaction de fusion il faut rapprocher suffisamment deux noyaux qui se repoussent, puisqu'ils sont tous deux chargés positivement. Une certaine énergie est donc indispensable pour franchir cette barrière et d'arriver dans la zone très proche du noyau, où se manifestent les forces nucléaires capables de l'emporter sur la répulsion électrostatique.

La réaction de fusion la plus accessible est la réaction impliquant le deutérium et le tritium. La demi-vie du tritium consommé au cours de cette réaction n'est que de 15 ans.

De plus il y a peu de déchets radioactifs générés par la fusion et l'essentiel est retenu dans les structures de l'installation ; 90% d'entre eux sont de faible ou moyenne activité.

1. Le deutérium ${}_1^2\text{H}$ et le tritium ${}_1^3\text{H}$ sont deux isotopes de l'hydrogène.

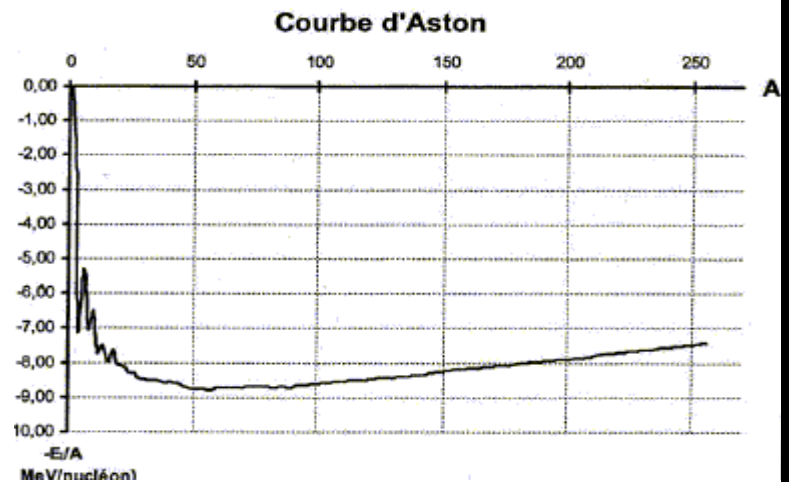
1. Définir le terme de noyaux isotopes.
2. Donner la composition de ces deux noyaux.

2. Qu'appelle-t-on réaction de fusion ?

3. Sur la courbe d'Aston indiquer dans quel domaine se trouvent les noyaux susceptibles de donner une réaction de fusion.

4. Ecrire l'équation de la réaction nucléaire entre un noyau de Deutérium et un noyau de Tritium sachant que cette réaction libère un neutron et un noyau noté ${}_Z^AX$. Préciser la nature de ce noyau.
5. Montrer que l'énergie libérée au cours de cette réaction est de 17,6 MeV. Quelle est l'énergie libérée par nucléon de matière participant à la réaction ?

6. Conclure sur l'intérêt du projet ITER en indiquant les avantages que présenterait l'utilisation de la fusion par rapport à la fission pour la production d'électricité dans les centrales nucléaires.



✚ Exercice 7 : tomographie par émission de positons

La TEP tomographie par émission de positons (ou positron) est une technologie de médecine nucléaire qui utilise des molécules marquées avec un isotope émetteur de positons pour imager le fonctionnement ou le dysfonctionnement d'organismes vivants. On utilise principalement le fluorodesoxyglucose FDG marqué au fluor 18 pour ce type d'examen.

1. Production du radio-isotope émetteur de positon

Le ${}_{9}^{18}\text{F}$ ou fluor 18 est produit dans un cyclotron en bombardant par des protons de haute énergie une cible contenant du ${}_{8}^{18}\text{O}$, un isotope de l'oxygène. Le fluor 18 se désintègre par émission β^+ , produisant de l'oxygène dans son état fondamental.

- Ecrire la réaction nucléaire correspondant à la formation de ${}_{9}^{18}\text{F}$ et nommer les produits de la réaction.
- Donner la composition du noyau de fluor 18.
- Ecrire la réaction nucléaire de désintégration β^+ du fluor 18 et nommer les produits cette réaction.
- Le fluor 18 a une demi-vie $t_{1/2}$ de 110 minutes. Définir et calculer sa constante radioactive λ .

2. Préparation du FDG marqué au fluor 18 et injection au patient

Un automate permet de remplacer un groupement OH du glucose par du fluor 18, la molécule marquée obtenue a des propriétés analogues au glucose normal que l'on injecte au patient. Un tissu organique anormal (par exemple une tumeur cancéreuse) consomme plus de glucose qu'un tissu sain et concentre donc la radioactivité.

- On injecte à un patient à 10 h une dose de solution glucosée présentant une activité de 300 MBq . Calculer le nombre de noyaux de fluor 18 qu'il reçoit.
- On ne laisse sortir le patient que lorsque son activité n'est plus que 1% de sa valeur initiale. A quelle heure pourra t'il quitter la salle d'examen ?

3. Détection des positons émis

Les positons émis avec une vitesse initiale non nulle sont freinés par collisions avec les atomes et s'arrêtent après quelques mm. Un positon au repos s'annihile avec un électron produisant une paire de photons de même énergie se propageant dans des directions opposées.

Le dispositif détecte les photons émis en coïncidence avec une caméra spéciale entourant la tête ou le corps du patient. Un traitement mathématique permet de remonter à la concentration en fluor 18.

- Ecrire l'équation de la réaction d'annihilation du positon.
- Calculer l'énergie en MeV de chacun des photons.

4. Radioprotection du personnel hospitalier

Il faut une couche de plomb d'épaisseur $x_{1/2} = 4$ mm pour diminuer de moitié le rayonnement produit. Le patient est placé dans une enceinte de plomb d'épaisseur 5 cm. Quel est le pourcentage de rayonnement transmis à l'extérieur ?

Données : Masse du positon et de l'électron : $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg ; $c = 3 \cdot 10^8$ m.s⁻¹ ; 1 eV = $1,6 \cdot 10^{-19}$ J