SCIENCE EN HERBE **SCIENCE PHYSIQUE TS**

TD NOYAUX ATOMIQUES-REACTIONS NUCLEAIRES :

Exercice 1:

Données : M($^{226}_{88}$Ra) = 226,02541 u ; M($^{222}_{86}$Rn) = 222,017563 u ; M($^{4}_{2}$He) = 4,00260 u.

Le radium 226 se désintègre spontanément en donnant un rayonnement α : $^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$.

1. Calculer, en MeV, l'énergie libérée par cette désintégration.
2. Sous quelles formes cette énergie libérée apparaît- elle ?

Exercice 2:

Dans une pile, une des réactions courantes est la suivante : $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{94}_{38}Sr + {}^{140}_{Z}Xe + x\,{}^{1}_{0}n$

1. Déterminer, en les justifiant, les valeurs de Z et de x.
2. Calculer la perte de masse. Calculer, en joule et en MeV, l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium.
3. Calculer l'ordre de grandeur de l'énergie libérée par la fission de 5 g d'uranium 235.
4. Calculer la masse de pétrole libérant, par combustion, la même énergie.

Données : Masses atomiques des nucléides

Nucléides	$^{235}_{92}U$	$^{94}_{38}Sr$	$^{140}_{54}Xe$	$^{1}_{0}n$
Masses (en u)	235,043 92	93,915 36	139,91879	1,008 6611

Pouvoir calorifique du pétrole : 42 MJ.kg^{-1}; 1 MeV = 1,602 2. 10 $^{-13}$ J; c = 3.10^{8} m.s^{-1} ; N_A = 6,022.10^{23} mol^{-1}

Exercice 3:

1. Définir ce qu'est la fission et la fusion nucléaires. Illustrer chaque définition par un exemple.
2. Dans une centrale nucléaire, l'une des réactions de l'uranium 235 peut se résumer ainsi :

   $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{94}_{38}Sr + {}^{140}_{54}Xe + \ldots\ldots$

   Compléter l'équation de la réaction.
3. Quelle est l'énergie libérée lorsqu'un noyau d'uranium est consommé ? L'exprimer en MeV et en J.

   On donne les énergies de liaison par nucléon ($E_{l/A}$)

$^{A}_{Z}X$	$^{235}_{92}U$	$^{94}_{38}Sr$	$^{140}_{54}Xe$
$E_{l/A}$ (MeV / nucleon)	7,4	8,4	8,2

Au besoin, la masse d'un nucléon est 1 u = 1,66. 10^{-27} kg.

4. Cette centrale nucléaire utilisant la fission de l'uranium 235 fournit une puissance électrique de 900 Mégawatt (900 MW). Le rendement de la transformation d'énergie nucléaire en énergie électrique est de 30 %. En considérant qu'un atome d'uranium 235 dégage en moyenne une énergie de 200 MeV, calculer :

4.1. le nombre de fissions par seconde se produisant dans la centrale nucléaire.

4.2. la masse d'uranium 235 qu'il faut utiliser pour faire fonctionner cette centrale durant une année. (on l'exprimera en tonnes).

Exercice 4 : Détermination de l'âge d'un fossile

L'isotope radioactif $^{14}_{6}C$ du carbone a une période T = 5 600 ans.

Dans les êtres vivants, le rapport : $r = \frac{\text{nombre d'atomes de carbone 14}}{\text{nombre d'atomes de carbone 12}}$ est constant et égal à 10^{-12}.

SCIENCE-EN-HERBE

Après leur mort, ce rapport décroît, car le carbone radioactif qui se désintègre n'est plus remplacé par le phénomène d'assimilation. Dans un fossile, on trouve : $r = 0{,}25.10^{-12}$.

Quel temps s'est-il écoulé depuis la mort de l'être vivant correspondant à ce fossile ?

Exercice 5: **Famille radioactive - Détermination de l'âge d'un minerai**

L'uranium 238 est le précurseur d'une famille radioactive aboutissant au plomb 206 par une série de désintégrations α et de désintégration β^-.

1. Ecrire l'équation-bilan générale de la désintégration α.
2. Ecrire l'équation-bilan générale de la désintégration β^-.
3. Déterminer le nombre de désintégrations α et le nombre de désintégrations β^- pour passer de $^{238}_{92}U$ à $^{206}_{82}Pb$.
4. La dernière désintégration est de type α et provient d'un noyau père de polonium (Po).

4.1. Calculer, en MeV l'énergie libérée par cette désintégration.

4.2. En admettant que cette énergie se retrouve intégralement en énergie cinétique pour la particule α calculer sa vitesse.

4.3. L'atome de polonium étant initialement immobile, en déduire la vitesse de recul du noyau fils. Justifier l'approximation faite à la question 4.2.

5. En considérant qu'au moment de la formation du minerai d'uranium 238, il n'y avait aucune trace de plomb 206 et que les durées de vie des noyaux intermédiaires sont suffisamment courtes pour être négligées durant la période radioactive la plus longue (T = 4,5.10 ans), déterminer l'âge d'un échantillon contenant à présent 15,00 g d'uranium et 150 mg de plomb. Masses atomiques en u: Pb: 205,9745; Po: 209,9829; α 4,0015

NB: en dehors du calcul du défaut de masse, pour les autres questions où l'on aura des masses molaires, on prendra pour chaque élément la valeur entière la plus proche.

Les constantes ou valeurs de conversion sont : 1 u =931,5 MeV/c^2 ; célérité de la lumière dans le vide $c = 3{,}00.10^8$ m.s^{-1} ;1 MeV = $1{,}6.10^{-13}$ J ; N = $6{,}02.10^{23}$ mol^{-1} ; M_U = 238 g. mol^{-1}. *ln 2 ≈ 0,693 et si ε<1, ln (1 + ε) ≈ ε

Exercice 6 **Radioactivité β^- - Activité**

Le nucléide $^{108}_{47}Ag$ est radioactif β^-.

1. Ecrire l'équation de cette réaction nucléaire en précisant les règles utilisées.
2. Préciser le symbole du noyau fils et donner la composition de son noyau.

On donne un extrait de la classification des éléments :

$_{43}Tc$	$_{44}Ru$	$_{45}Rh$	$_{46}Pd$	$_{47}Ag$	$_{48}Cd$	$_{49}In$

3. Donner sans démonstration la formule traduisant la loi de décroissance radioactive en indiquant la signification de chacun des termes.
4. Définir la période radioactive T.
5. Etablir l'expression de la constante radioactive λ en fonction de T.
6. On étudie l'évolution de l'activité d'un échantillon du nucléide $^{108}_{47}Ag$ au cours du temps. L'activité A est définie par $A = -\frac{dN}{dt}$ et exprimée en becquerels. (1 becquerel correspond à une désintégration par seconde.)

6.1. Exprimer l'activité A en fonction du temps.

6.2. Compléter le tableau de mesures figurant ci-après.

t (min)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
A (Bq)	89	73	63	52	46	39	33	29	24	21	18
lnA											

6.3. Tracer la courbe représentative ln A =f (t), sur papier millimétré.

Echelles :en abscisses : 1 cm 0,5 min; en ordonnées : 1 cm 0,5.

SCIENCE-EN-HERBE

6.4. En utilisant le graphe tracé, déterminer la constante radioactive λ du nucléide $^{108}_{47}Ag$. En déduire sa période radioactive.

6.5. Quel est le nombre de noyaux initialement présents dans cet échantillon ?

Exercice 7 :

Actuellement des techniques telles que la radiothérapie et la scintigraphie sont utilisées en médecine grâce à des substances radioactives comme le cobalt ou le technétium.

Le cobalt 60, $(^{60}_{27}Co)$, est utilisé en médecine pour le traitement de certaines tumeurs cancéreuses. Il se désintègre en produisant un noyau de nickel $(^{60}_{28}Ni)$. Sa période radioactive est de 5,6 ans.

Un centre hospitalier dispose d'un échantillon de $(^{60}_{27}Co)$ dont la masse est 2 µg.

1. Définir la période d'une substance radioactive et donner la composition d'un noyau de $(^{60}_{27}Co)$.

2. Ecrire l'équation de la réaction de désintégration d'un noyau de cobalt 60 en précisant le symbole et le nom de la particule émise en même temps que le noyau de $(^{60}_{28}Ni)$.

3. On supposera que le noyau fils est produit dans un état excité.

3.1. Calculer, en MeV, l'énergie libérée par la désintégration d'un noyau de cobalt 60.

3.2. En déduire l'énergie que libérerait une masse de 2 µg de l'échantillon.

3.3. Soient N_0 et N les nombres de noyaux cobalt 60 présents dans l'échantillon aux instants respectifs $t_0 = 0$ et $t > 0$. Soient m_0 et m les masses correspondantes.

3.3.1. Montrer que $\frac{N_0}{N} = \frac{m_0}{m}$.

3.3.2. Au bout de combien de temps la masse de cobalt désintégrée de l'échantillon serait de 1,8 µg ?

Données : 1 u = 931,5 MeV/c^2 = 1,66.10^{-27}kg.

Particule ou noyau	$^{60}_{27}Co$	$^{60}_{28}Ni$	électron	$^{99}_{43}Tc$
Masse en u	59,934	59,931	5,486.10^{-4}	98,882

Exercice 8 :

1. Une centrale nucléaire est une usine de production d'électricité. Actuellement ces centrales utilisent la chaleur libérée 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 l'électricité. Certains produits de fission sont des noyaux radioactifs à forte activité et dont la demi-vie ou période peut être très longue.

1.1. Définir le terme demi-vie (ou période).

1.2. 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 : $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{Z}Sr + ^{A}_{54}Xe + 3\,^{1}_{0}n$

1.2.1. Déterminer les valeurs des nombres A et Z.

1.2.2. Calculer en MeV l'énergie libérée par cette réaction de fission.

1.2.3. Quelle est l'énergie libérée par nucléon de matière participant à la réaction ?

Données : Unité de masse atomique : 1 u = 1,66054. 10^{-27} kg = 931,5 MeV / c^2 ;

Electron-volt : 1 eV = 1,60. 10^{-19} J ; Vitesse de la lumière dans le vide : c = 3,00. 10^{8} m.s^{-1}

Particule ou noyau	Neutron	Hydorgène 1 ou proton	Hydrogène 2 ou Deutérium	Hydrogène 3 ou Tritium	Hélium 3	Hélium 4	Uranium 235	Xénon	Strontium
Symbole	$^{1}_{0}n$	$^{1}_{1}H$	$^{2}_{1}H$	$^{3}_{1}H$	$^{3}_{2}He$	$^{4}_{2}He$	$^{235}_{92}U$	$^{A}_{54}Xe$	$^{94}_{Z}Sr$
Masse en u	1,00866	1,00728	2,01355	3,01550	3,01493	4,00150	234,9942	138,8892	93,8945

2. Il existe actuellement un projet dont l'objectif est de démontrer la possibilité scientifique et technologique de la production d'énergie par la fusion des atomes. La fusion est la source d'énergie du soleil et des autres étoiles. La réaction de fusion la plus accessible est la réaction impliquant le deutérium et le tritium. C'est sur

SCIENCE-EN-HERBE

cette réaction que se concentrent les recherches concernant la fusion contrôlée. La demi-vie du tritium consommé au cours de cette réaction n'est que de 15 ans. De plus il y a très 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.

2.1. Le deutérium de symbole ${}^{2}_{1}H$ et le tritium de symbole ${}^{3}_{1}H$ sont deux isotopes de l'hydrogène. Après avoir défini le terme « isotopes », donner la composition des noyaux de deutérium et de tritium.

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

2.3. Ecrire l'équation de la réaction de fusion entre un noyau de deutérium et un noyau de tritium sachant que cette réaction libère un neutron et un noyau ${}^{A}_{Z}X$. Identifier le ${}^{A}_{Z}X$.

2.4. Montrer que l'énergie libérée au cours de cette réaction de fusion est de 17,6 MeV. Quelle est l'énergie libérée par nucléon de matière participant à la réaction ?

2.5. Conclure 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 9 :

Il existe plusieurs méthodes de datation d'objets adaptées à l'âge que l'on souhaite déterminer. On peut en citer entre autres : la méthode potassium-argon et la datation par le carbone 14. Cependant cette dernière n'est pas utilisable si la teneur résiduelle de carbone 14 est trop faible c'est-à-dire inférieure à 1 %. La demi-vie du ^{14}C est de 5600 ans et celle du ^{40}K de $1{,}5.10^{9}$ ans.

Les roches volcaniques contiennent du potassium K dont l'isotope ${}^{40}_{19}K$ est radioactif et se décompose pour donner ${}^{40}_{38}Ar$ constituant essentiel d'un gaz monoatomique.

Lors d'une éruption volcanique, la lave, au contact de l'air perd l'argon ^{40}Ar, c'est le dégazage de la roche. A la date de la fin de l'éruption, la lave ne contient plus d'argon. Mais celui-ci réapparaît dans le temps (presque aussitôt après) selon la radioactivité précédente.

1. Ecrire l'équation de la désintégration nucléaire du potassium ${}^{40}_{19}K$ en argon ${}^{40}_{38}Ar$ en précisant les lois de conservation utilisées. Nommer la particule émise en même temps que le noyau fils.

2. L'analyse d'un échantillon d'une roche basaltique, a donné $1{,}6610^{-6}$ g de ^{40}K et 82.10^{-4} cm^3 d'argon (^{40}Ar) dans les conditions normales de température et de pression. On désigne par N_0 (^{40}K) le nombre de noyaux de potassium 40 à la date t = 0 (fin de l'éruption), par N (^{40}K) et N (^{40}Ar) les nombres de noyaux présents dans l'échantillon respectivement de potassium 40 et d'argon 40 à un instant t donné.

2.1. Rappeler l'expression de N (^{40}K) en fonction de N_0 (^{40}K), du temps t et de la constante radioactive λ du potassium 40 (loi de la décroissance radioactive).

2.2. En déduire la relation : $\frac{N(^{40}Ar)}{N(^{40}K)} = -1 + e^{\lambda t}$.

2.3. Calculer l'âge approximatif de la roche compté à partir de la fin de l'éruption volcanique.

2.4. Sur un autre site archéologique des ossements ont été trouvés. Pour dater ces derniers, on a procédé par dosage isotopique de l'argon 40 et du potassium 40 contenus dans un échantillon de ces ossements. On constatât alors qu'il contenait quatre fois plus d'atomes de potassium 40 que d'atomes d'argon 40.

2.4.1. Déterminer l'âge de ces ossements.

2.4.2. Pourrait-on alors utiliser la méthode de la datation par le ^{14}C pour déterminer l'âge de ces ossements ? Justifier la réponse.

Données : Masse molaire atomique de l'isotope ^{40}K du potassium : M (^{40}K) = 40 $g.mol^{-1}$; Volume molaire normal : V_0 = 22,4 $L.mol^{-1}$; constante d'Avogadro : $6{,}02.10^{23} mol^{-1}$.

SCIENCE-EN-HERBE