A blue-tinted background image showing a person's hands on a laptop keyboard, with a laptop screen displaying a document. The image is slightly blurred and has a blue overlay.

**Préparation d'exam national en
ligne sur ZOOM
Niveau 2BAC Scientifique BIOF**

Partie 02 Physique :
Les transformations
nucléaires

Préparation d'exam national en ligne sur ZOOM

Niveau 2BAC Scientifique BIOF

Exercice 1 : Datation par la méthode Uranium - Thorium (SM 2008 N)

Le Thorium se trouvant dans les roches marines, résulte de la désintégration spontanée d'Uranium 234 au cours du temps. C'est pourquoi le Thorium et l'Uranium se trouvent dans toutes les roches marines en proportions différentes selon leurs dates de formation.

On dispose d'un échantillon d'une roche marine, qui contenant à l'instant de sa formation considéré comme origine des dates ($t = 0$), un nombre N_0 de noyaux d'Uranium ${}^{234}_{92}\text{U}$, et on suppose qu'elle ne contenait pas du Thorium à l'origine des dates.

L'étude de cet échantillon à l'instant t a montré que le rapport du nombre de noyaux de Thorium sur le nombre de noyaux d'Uranium est : $r = \frac{N({}^{230}_{90}\text{Th})}{N({}^{234}_{92}\text{U})} = 0,4$

On donne :

- Masse d'un noyau d'Uranium : $m({}^{234}_{92}\text{U}) = 234,0409 \text{ u}$
- Demi-vie de l'Uranium 234 : $t_{1/2} = 2,455 \times 10^5 \text{ ans}$;
- Masse du proton : $m_p = 1,00728 \text{ u}$;
- Masse du neutron : $m_n = 1,00866 \text{ u}$;
- Unité de masse atomique : $1\text{u} = 931,5 \text{ MeV}\cdot\text{c}^{-2}$

1. Etude du noyau d'Uranium (${}^{234}_{92}\text{U}$) :

- 1.1. Donner la composition du noyau d'Uranium 234.
- 1.2. Calculer en MeV, l'énergie de liaison E_l du noyau ${}^{234}_{92}\text{U}$.
- 1.3. Le nucléide ${}^{234}_{92}\text{U}$ est radioactif, se transforme spontanément en nucléide de Thorium ${}^{230}_{90}\text{Th}$. Par application des lois de conservation, écrire l'équation de désintégration de ce nucléide d'Uranium ${}^{234}_{92}\text{U}$.

2. Etude de la décroissance radioactive :

- 2.1. Donner l'expression du nombre de noyaux de Thorium $N({}^{230}_{90}\text{Th})$ à l'instant t , en fonction de N_0 et le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de l'Uranium 234.
- 2.2. Trouver l'expression de l'instant t en fonction de r et $t_{1/2}$. Calculer sa valeur.

Exercice 2 : Réactions nucléaires (SM 2009 R)

La production d'énergie dans les réacteurs nucléaire résulte essentiellement de la fission nucléaire de l'Uranium 235, mais de cette fission, résulte des noyaux radioactifs polluants. Des recherches actuelles visent à développer la production de l'énergie nucléaire à partir de la fusion des noyaux d'hydrogène.

On donne :

- Masse molaire de l'Uranium 235 : $M({}^{235}\text{U}) = 235 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$



— $1u = 931,5 \text{ MeV}\cdot c^{-2}$

Les masses des noyaux et particules :

	Noyaux				Particules	
	^{235}U	^{238}U	^{146}Ce	^{85}Se	Proton	Neutron
Masses (u)	234,9934	238,0003	145,8782	84,9033	1,00728	1,00886

1. Fission nucléaire :

En bombardant un noyau d'uranium ^{235}U par un neutron, au cœur du réacteur nucléaire, il se transforme en un noyau de Cérium ^{146}Ce et un noyau de Sélénium ^{85}Se avec éjection de neutrons, selon une réaction modélisée par l'équation :



- 1.1. Déterminer les nombre Z et x.
- 1.2. Calculer, en MeV, l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'Uranium $^{235}_{92}\text{U}$, et en déduire l'énergie E_1 , libérée par la fission d'un échantillon d'Uranium $^{235}_{92}\text{U}$ de masse 1 g.
- 1.3. Le noyau de Cérium $^{146}_{58}\text{Ce}$ se transforme spontanément en noyau de Praséodyme $^{146}_{59}\text{Pr}$ avec émission d'une particule β^- . Calculer la durée nécessaire pour la transformation de 99% de noyaux $^{146}_{58}\text{Ce}$, initialement présents dans un échantillon de Césium 146.

On donne :

La constante radioactive du nucléide $^{146}_{58}\text{Ce}$ est : $\lambda = 5,13 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$.

2. Fusion nucléaire :

La fusion d'un noyau de Deutérium ^2_1H et d'un noyau de Tritium ^3_1H , conduit à la formation d'un noyau d'Hélium ^4_2He et d'un neutron, selon la réaction modélisée par l'équation :



L'énergie libérée au cours de la formation de 1 g d'Hélium est : $E_2 = 5,13 \times 10^{24} \text{ MeV}$. Citer deux raisons pour adopter la fission au lieu de la fusion dans la production d'énergie.

Exercice 3 : Datation des sédiments marins

Le thorium $^{230}_{90}\text{Th}$ est utilisé pour dater les coraux et les sédiments marins, car sa concentration à la surface des sédiments qui sont en contact avec l'eau de mer reste constante, et elle diminue selon la profondeur dans le sédiment.

1. L'uranium $^{238}_{92}\text{U}$ dissout dans l'eau de mer , donne des atomes de thorium $^{230}_{90}\text{Th}$ avec émission de x particules α et y particules β^- .
 - 1.1. Ecrire l'équation de cette transformation nucléaire en précisant la valeur de x et celle de y .
 - 1.2. On désigne par :
 - λ la constante radioactive du thorium $^{230}_{90}\text{Th}$;
 - λ' la constante radioactive de l'uranium $^{238}_{92}\text{U}$;
 - $N(^{230}_{90}\text{Th})$ le nombre de noyaux de thorium 230 à l'instant t ;
 - $N(^{238}_{92}\text{U})$ le nombre de noyaux de l'uranium 238 au même instant t.



Montrer que le rapport $\frac{N(^{230}_{90}\text{Th})}{N(^{238}_{92}\text{U})}$ reste constant quand le thorium 230 et l'uranium 238 ont même activité.

- Le noyau du thorium 230 se désintègre en donnant un noyau de radium 226 $^{226}_{88}\text{Ra}$.
Ecrire l'équation de cette réaction nucléaire en précisant la nature du rayonnement émis .
- On appelle $N(t)$ le nombre de noyaux de thorium 230 qui se trouve dans un échantillon de corail à l'instant t et N_0 le nombre de ces noyaux à $t = 0$.

Le graphe ci contre représente l'évolution du rapport $\frac{N(t)}{N_0}$ en fonction du temps .

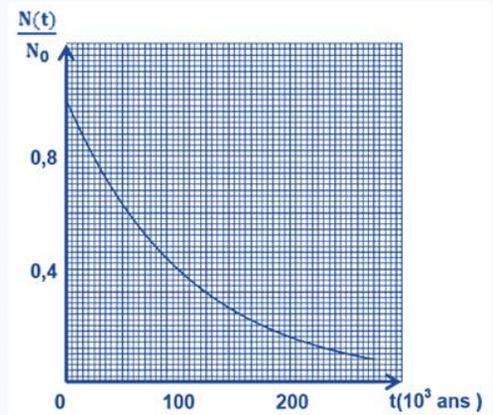
A l'aide de ce graphe, vérifier que la demi-vie du thorium 230 est : $t_{1/2} = 7,5 \times 10^4$ ans

- Ce graphe est utilisé pour dater un sédiment marin .

Un échantillon de sédiment de forme cylindrique de hauteur h est prélevé au fond de l'océan.

L'analyse d'un fragment (1) pris à la base supérieure de cette échantillon, qui est en contact avec l'eau de mer, montre qu'il contient $m_s = 20 \mu\text{g}$ de thorium 230. Un fragment (2), de même masse, pris à la base inférieure de l'échantillon contient une masse $m_p = 1,2 \mu\text{g}$ de thorium 230.

On prend pour origine des dates ($t = 0$) l'instant où la masse du thorium est $m_0 = m_s$. Déterminer, en années, l'âge de la base inférieure de l'échantillon.



Exercice 4 : Datation par le carbone 14 (SM 2011 N)

Toutes les plantes absorbent le carbone C qui se trouve dans l'atmosphère (^{12}C et ^{14}C) à travers le dioxyde de carbone de telle sorte que le rapport du nombre $N_0(^{14}\text{C})$ des noyaux de carbone 14 à celui des noyaux du carbone $N(\text{C})_0$ dans les plantes reste constant durant leur vie : $\frac{N_0(^{14}\text{C})}{N(\text{C})_0} = 1,2 \times 10^{-12}$.

A partir de l'instant où la plante meurt, ce rapport commence à diminuer à cause de la désintégration du carbone 14 qui est un isotope radioactif.

Données :

- Demi-vie du carbone 14 : $t_{1/2} = 5730$ ans ;
- Masse molaire du carbone : $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g.mol}^{-1}$;
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- $1 \text{ an} = 3,15 \times 10^7 \text{ s}$.
- Le noyau du carbone 14 est radioactif β^- , sa désintégration donne un noyau ^A_ZY .



1. La figure (1) donne une partie du diagramme de Segri (Z,N).

1.1. Ecrire l'équation de la transformation nucléaire du carbone 14 en déterminant le noyau fils ${}^A_Z Y$.

1.2. La désintégration du noyau du carbone ${}^{14}_6 C$ donne un noyau de bore ${}^A_Z B$.

Ecrire l'équation de cette transformation nucléaire en déterminant A' et Z' .

2. A l'aide du diagramme énergétique représenté dans la figure (2) :

2.1. Trouver l'énergie de liaison par nucléon du noyau de carbone 14.

2.2. Trouver la valeur absolue de l'énergie produite par la désintégration d'un noyau du carbone 14.

3. On veut déterminer l'âge d'un morceau de bois très ancien, pour cela on y prélève à un instant t un échantillon de masse $m = 0,295g$, on trouve que cet échantillon donne 1,40 désintégrations par minute. On considère que ces désintégrations proviennent uniquement du carbone 14 qui se trouve dans l'échantillon étudié.

On prélève d'un arbre vivant un morceau de même masse que l'échantillon précédent $m = 0,295g$, on trouve que le pourcentage massique du carbone dans ce morceau est 51,2%

3.1. Calculer le nombre de noyaux du carbone C et le nombre de noyaux du carbone 14 dans le morceau qui a été prélevé de l'arbre vivant.

3.2. Déterminer l'âge du morceau de bois ancien .

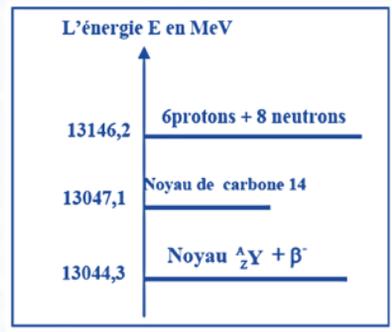
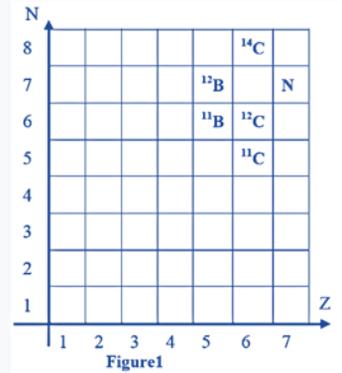


Figure 2

Exercice 5 : Les réactions nucléaires des isotopes d'hydrogène (SM 2012 N)

L'énergie solaire provient de la réaction de fusion des noyaux d'hydrogène. Les physiciens s'intéressent à produire l'énergie nucléaire à partir de la réaction de fusion des isotopes d'hydrogène : deutérium ${}^2_1 H$ et tritium ${}^3_1 H$.

Données :

Les masses en unité u : $m({}^3_1 H) = 3,01550u$; $m({}^2_1 H) = 2,01355u$; $m({}^4_2 He) = 4,00150 u$; $m({}^1_0 n) = 1,00866u$
 $1u = 1,66 \times 10^{-27} kg = 931,5 MeV.c^{-2}$

1. la radioactivité β^- du tritium :

Le nucléide tritium ${}^3_1 H$ est radioactif β^- , sa désintégration donne lieu à un isotope de l'élément Hélium.

1.1. Ecrire l'équation de cette désintégration .

1.2. On dispose d'un échantillon radioactif du nucléide tritium ${}^3_1 H$ contenant N_0 nucléides à l'instant $t = 0$.

Soit N le nombre de nucléides tritium dans l'échantillon à l'instant t.

Le graphe de la figure 1 représente les variations de $\ln(N)$ en fonction du temps t.

Déterminer la demi-vie $t_{1/2}$ du tritium.

2. Fusion nucléaire

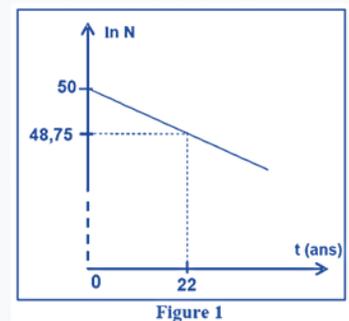
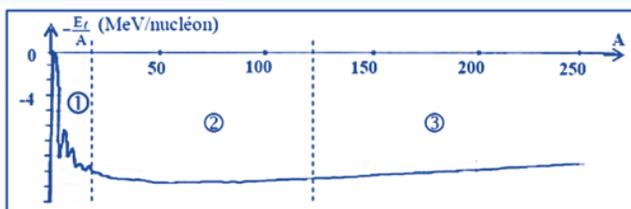


Figure 1

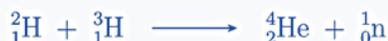
2.1. La courbe de la figure 2 représente les variations de l'opposé de l'énergie de liaison par nucléon en fonction du nombre de nucléons A.



Déterminer, parmi les intervalles ①, ② et ③, indiqués sur la figure

2, celui dans lequel les nucléides sont susceptibles de subir des réactions de fusion. Justifier la réponse.

3. L'équation de la réaction de fusion des noyaux de deutérium ${}^2_1\text{H}$ et de tritium ${}^3_1\text{H}$ s'écrit :



On peut extraire 33mg de deutérium à partir de 1,0L de l'eau de mer.

Calculer, en MeV, la valeur absolue de l'énergie que l'on peut obtenir à partir de la réaction de fusion du tritium et du deutérium extrait de 1m^3 de l'eau de mer.

Exercice 6 : SM 2013 R

Un réacteur nucléaire fonctionne avec l'uranium enrichie qui est constitué de $p = 3\%$ de ${}^{235}\text{U}$ fissible et $p = 97\%$ de ${}^{238}\text{U}$ non fissible.

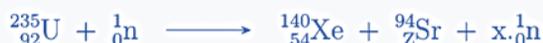
La production de l'énergie au sein de cette centrale nucléaire est basée sur la fission de l'uranium ${}^{235}\text{U}$ bombardé par des neutrons.

Donnés :

$$m({}^{140}\text{Xe}) = 139,8920 \text{ u}; m({}^{94}\text{Sr}) = 93,8945 \text{ u}; m({}^{235}\text{U}) = 234,9935 \text{ u}; m({}^1_0\text{n}) = 1,0087 \text{ u}$$

$$1\text{MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}; 1\text{u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ Kg} = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2}.$$

Le noyau ${}^{235}\text{U}$ subit une fission selon l'équation :



1. Déterminer x et z.

2. Calculer en joule (J) l'énergie $|\Delta E_0|$ libérée par la fission de $m_0 = 1\text{g}$ de ${}^{235}_{92}\text{U}$.

3. Pour produire une quantité d'énergie électrique $W = 3,73 \times 10^{16} \text{ J}$, un réacteur nucléaire de rendement $r = 25\%$ consomme une masse m de l'uranium enrichi. Exprimer m en fonction de W, $|\Delta E_0|$, m_0 , r et p. Calculer m.

4. Dans ce réacteur nucléaire se trouve aussi une faible quantité du nucléide ${}^{234}_{92}\text{U}$ qui est radioactif α . La mesure de l'activité radioactive, à l'instant $t = 0$, d'un échantillon de l'uranium ${}^{234}_{92}\text{U}$ a donné la valeur $a_0 = 5,4 \times 10^8 \text{ Bq}$.

Calculer la valeur de l'activité nucléaire de cet échantillon à l'instant $t = \frac{t_{1/2}}{4}$.

Exercice 7 : la physique nucléaire dans le domaine médical (SM 2014 N)

L'injection intraveineuse d'une solution contenant le phosphore 32 radioactif permet dans certains cas le traitement de la multiplication anormale des globules rouges au niveau des cellules de la moelle osseuse.

Données : Les masses en unité atomique u :

$$m({}^{32}_{15}\text{P}) = 31,9840 \text{ u}; m(\beta) = 5,485 \times 10^{-4} \text{ u}; 1\text{MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}; m({}^A_Z\text{Y}) = 31,9822\text{u}; 1\text{u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2}.$$

La demi- vie du nucléide phosphore $^{32}_{15}\text{P}$: $t_{1/2} = 14,3$ jours. 1jour = 86400 s

1. L'activité radioactive du nucléide radioactif $^{32}_{15}\text{P}$

Le nucléide $^{32}_{15}\text{P}$ est radioactif β^- , sa désintégration donne naissance au nucléide $^{32}_{15}\text{S}$.

- 1.1. écrire l'équation de la désintégration du nucléide de phosphore $^{32}_{15}\text{P}$ en précisant A et Z.
- 1.2. calculer en Mev la valeur absolue de l'énergie libérée lors de la désintégration du nucléide $^{32}_{15}\text{P}$.

2. L'injection intraveineuse au phosphore $^{32}_{15}\text{P}$

à l'instant $t=0$, on prépare un échantillon du phosphore $^{32}_{15}\text{P}$ dont l'activité radioactive est a_0 .

- 2.1. définir l'activité radioactive 1Bq.
- 2.2. à l'instant t_1 , on injecte à un patient une quantité d'une solution de phosphore $^{32}_{15}\text{P}$ dont l'activité radioactive est $a_2 = 2,5 \times 10^9$ Bq.
 - a) Calculer en jour, la durée Δt nécessaire pour que l'activité nucléaire a_2 du phosphore $^{32}_{15}\text{P}$ soit égale à 20% de a_1 .
 - b) On note N_1 le nombre de nucléides du phosphore $^{32}_{15}\text{P}$ restant à l'instant t_1 et on note N_2 le nombre nucléides restant à l'instant t_2 dont l'activité radioactive de l'échantillon est a_2 .
Trouver l'expression du nombre de nucléides désintégrés pendant la durée Δt en fonction de a_1 et $t_{1/2}$.
 - c) En déduire, en joule, la valeur absolue de l'énergie libérée pendant la durée Δt .

Exercice 8 : Les transformations nucléaires (SM 2015 N)

Les réactions de fusion et de fission sont considérées parmi les réactions qui produisent une grande énergie qu'on peut exploiter dans divers domaines.

Données :

- $1\text{MeV} = 1,6022 \times 10^{-13}\text{J}$
- $m(^1_1\text{H})=1,00728\text{u}$; $m(^4_2\text{He}) = 4,00151\text{u}$; $m(e) = 5,48579 \times 10^{-4}\text{u}$.
- $1\text{MeV} = 1,6 \times 10^{-13}\text{J}$; $1\text{u} = 931,5\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2}$.
- On prend la masse du soleil : $m_s = 2 \times 10^{30}\text{kg}$.
- On considère que la masse de l'hydrogène ^1_1H représente 10% de la masse du soleil.



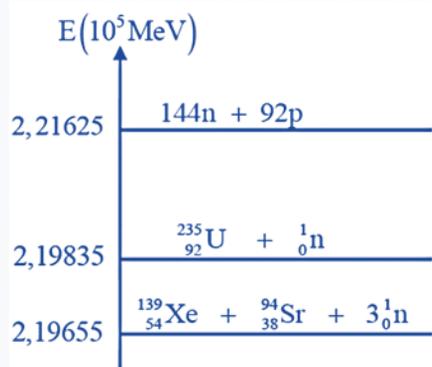
1. On donne dans le tableau ci-dessous les équations de quelques réactions nucléaires :

A	$^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \longrightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$
B	$^{60}_{27}\text{Co} \longrightarrow ^{60}_{28}\text{Ni} + ^0_{-1}\text{e}$
C	$^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$
D	$^{235}_{92}\text{U} + ^{234}_{90}\text{Th} \longrightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + x\cdot^1_0\text{n}$

- 1.1. Identifier, parmi ces équations, celle correspondant à la réaction de fusion.
- 1.2. En utilisant le diagramme d'énergie ci-contre, calculer :
 - 1.2.1. L' énergie de liaison par nucléon du noyau $^{235}_{92}\text{U}$.
 - 1.2.2. L'énergie $|\Delta E_0|$ produite par la réaction D.

2. Il se produit dans le soleil des réactions nucléaires dues essentiellement à la transformation de l'hydrogène selon l'équation bilan : $4 \cdot {}^1_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + 2 \cdot {}^0_1\text{e}$

- 2.1. Calculer, en joule, l'énergie $|\Delta E|$ produite par cette transformation.
- 2.2. Trouver, en ans, la durée nécessaire à la consommation de tout l'hydrogène présent dans le soleil, sachant que l'énergie libérée chaque année par le soleil selon cette transformation est $E_S = 10^{34}$ J.



Exercice 9 : La radioactivité du polonium. (SM 2016 N)

Le noyau de polonium ${}^{210}_{84}\text{Po}$ se désintègre spontanément pour se transformer en un noyau de plomb ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ avec émission d'une particule α .

Cet exercice se propose d'étudier le bilan énergétique de cette transformation ainsi que l'évolution de cette dernière au cours du temps.

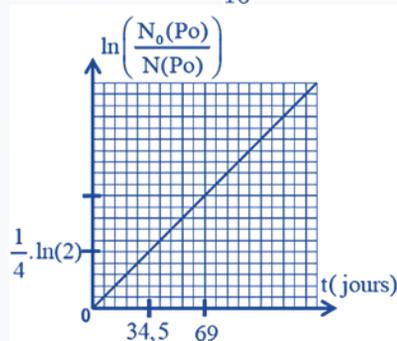
Données :

- Energie de liaison du noyau de polonium 210 : $E_\ell({}^{210}\text{Po}) = 1,6449 \times 10^3$ MeV,
- Energie de liaison du noyau de plomb 206 : $E_\ell({}^{206}\text{Po}) = 1,6220 \times 10^3$ MeV,
- Energie de liaison de la particule α : $E_\ell(\alpha) = 28,2989$ MeV,
- On désigne par $t_{1/2}$ la demi-vie du noyau de polonium 210.



1. Ecrire l'équation de cette transformation nucléaire en déterminant le nombre Z.
2. Déterminer en MeV l'énergie $|\delta E|$ produite lors de la désintégration d'un noyau de ${}^{210}_{84}\text{Po}$.
3. Soient $N_0(\text{Po})$ le nombre de noyaux de polonium dans un échantillon à l'instant de date $t = 0$ et $N(\text{Po})$ le nombre de noyaux restant dans le même échantillon à un instant de date t .
 - 3.1. On désigne par N_D le nombre de noyaux de polonium désintégrés à l'instant de date $t = 4 \cdot t_{1/2}$. Choisir la proposition juste parmi les propositions suivantes :

a- $N_D = \frac{N_0(\text{Po})}{8}$ b- $N_D = \frac{N_0(\text{Po})}{16}$ c- $N_D = \frac{N_0(\text{Po})}{4}$ d- $N_D = \frac{15 \cdot N_0(\text{Po})}{16}$
 - 3.2. La courbe ci-dessous représente les variations de $\ln\left(\frac{N_0(\text{Po})}{N(\text{Po})}\right)$ en fonction du temps. A l'aide de cette courbe, déterminer en jour la demi-vie $t_{1/2}$.
 - 3.3. Sachant que l'échantillon ne contient pas du plomb à $t=0$, déterminer en jour, l'instant t_1 pour lequel : $\frac{N(\text{Pb})}{N(\text{Po})} = \frac{2}{5}$, où $N(\text{Pb})$ est le nombre de noyaux de plomb formés à cet instant.



Exercice 10 : Etude de l'activité d'un échantillon radioactif (SM 2017 R)

On étudie dans cet exercice la désintégration d'un échantillon radioactif du cobalt ayant une fiche technique portant les indications suivantes :

- Cobalt 60 : ${}^{60}_{27}\text{Co}$.

— Masse molaire atomique : $M = 60 \text{ g.mol}^{-1}$.

— Radioactivité : β^- .

— Constante de temps : $\tau = 2,8 \times 10^3$ jours.

Données :

— Constante d'Avogadro $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;

— Une année solaire : $1 \text{ an} = 365,25$ jours ;

— Energie de liaison du nucléide ${}^A_Z X$: $E_\ell = 588,387 \text{ MeV}$;

— $m({}^{60}_{27}\text{Co}) = 59,8523 \text{ u}$

— $m({}^1_0\text{n}) = 1,00866 \text{ u}$; $m({}^1_1\text{p}) = 1,00728 \text{ u}$; $m({}^0_{-1}\text{e}) = 5,486 \times 10^{-4} \text{ u}$

— $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV.c}^{-2}$.

1. Choisir la proposition juste parmi les propositions suivantes :

a) La constante radioactive a la dimension du temps.

b) L'activité d'un échantillon s'exprime en seconde .

c) Pour les noyaux lourds et selon la courbe d'Aston, plus un noyau est lourd, moins il est stable.

d) Le défaut de masse s'exprime en MeV.

2. Définir la radioactivité β^- .

3. Le noyau issu de la désintégration de ${}^{60}_{27}\text{Co}$ est $({}^A_Z X)$. En se basant sur les énergies de masse, calculer en MeV l'énergie $|\Delta E|$ libérée par la réaction de désintégration du ${}^{60}_{27}\text{Co}$.

4. La masse initiale de l'échantillon radioactif à l'instant de sa réception par un laboratoire spécialisé est $m_0 = 50 \text{ mg}$. On considère l'instant de réception de cet échantillon comme origine des dates ($t = 0$). La mesure de l'activité de l'échantillon étudié à un instant t_1 donne la valeur $a_1 = 5,18 \times 10^{11} \text{ Bq}$. Montrer que $t_1 = \tau \ln \left(\frac{N_A \cdot m_0}{\tau \cdot M \cdot a_1} \right)$. Calculer, en année, sa valeur.



Exercice 11 : Transformations nucléaires(SM 2018 N)

On se propose dans cet exercice d'étudier la radioactivité α du radium ainsi que le mouvement d'une particule α dans un champ magnétique uniforme.

C'est en 1898 que Marie et Pierre Curie annoncèrent la découverte de deux éléments radioactifs : le polonium et le radium. Le radium ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ qui se transforme en radon ${}^{222}_{86}\text{Rn}$, est considéré comme l'un des exemples historiques de la radioactivité α . L'activité d'un échantillon radioactif était alors calculée par rapport au radium considéré comme étalon. Elle fut exprimée en curie (Ci) pendant des années, avant d'utiliser le Becquerel(Bq) comme unité.

Le curie (1Ci) est l'activité d'un échantillon d'un gramme (1g) de radium 226.

Données :

— Masse molaire du radium : $M = 226 \text{ g.mol}^{-1}$; Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;

— Energie de liaison du noyau de radium : $E_\ell({}^{226}_{88}\text{Ra}) = 1,7311 \times 10^3 \text{ MeV}$;

— Energie de liaison du noyau de radon : $E_\ell({}^{222}_{86}\text{Rn}) = 1,7074 \times 10^3 \text{ MeV}$;

— Energie de liaison du noyau de l'hélium : $E_\ell({}^4_2\text{He}) = 28,4 \text{ MeV}$;

— Constante radioactive du radium : $\lambda = 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$; $1 \text{ an} = 365,25$ jours ;

1. Donner la définition de l'énergie de liaison d'un noyau.

2. Choisir la proposition juste parmi les propositions suivantes :
 - a) Le radium et le radon sont deux isotopes.
 - b) Le noyau du radium est constitué de 88 neutrons et de 138 protons.
 - c) Après une durée égale à $3.t_{1/2}$ ($t_{1/2}$ demi-vie du radium), il reste 12,5% des noyaux initiaux.
 - d) La relation entre la demie-vie et la constante radioactive est : $t_{1/2} = \lambda \ln 2$.
3. Montrer que $1Ci \approx 3,73 \times 10^{10} Bq$.
4. Quelle serait, en Becquerel (Bq), en Juin 2018, l'activité d'un échantillon de masse 1g de radium dont l'activité en Juin 1898 était de 1Ci .
5. Calculer, en MeV, l'énergie $|\Delta E|$ produite par la désintégration d'un noyau de radium.

Exercice 12 : (SM 2019 N)

Le combustible des réactions de fusion dans les futures centrales nucléaires est un mélange de deutérium ${}^2_1\text{H}$ et de tritium ${}^3_1\text{H}$.

On étudie la formation d'hélium ${}^4_2\text{He}$ à partir de la réaction de fusion de deutérium et du tritium, cette réaction nucléaire libère aussi un neutron.

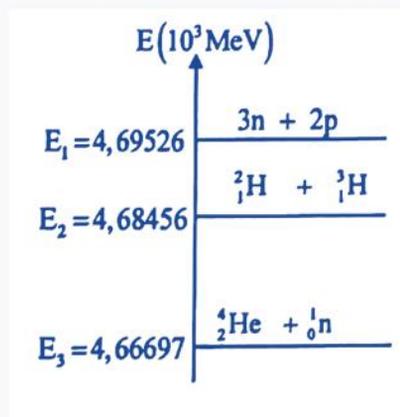
Données :

Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$; $1\text{MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{J}$.

1. Écrire l'équation de la réaction de cette fusion.
2. Parmi les affirmations suivantes combien y en a-t-il d'exactes ? (donner seulement le nombre)
 - a) L'énergie de liaison d'un noyau est égale au produit du défaut de masse du noyau et de la célérité de la lumière dans le vide.
 - b) La masse du noyau est inférieure à la somme des masses des nucléons constituant ce noyau.
 - c) La fission nucléaire concerne uniquement les noyaux légers dont le nombre de masse $A < 20$.
 - d) La réaction ${}^4_2\text{He} + {}^8_4\text{Be} \longrightarrow {}^{12}_6\text{C}$
 - e) La fission nucléaire est une réaction nucléaire spontanée.



3. En utilisant le diagramme d'énergie ci-contre, calculer, en unité MeV :
 - 3.1. L'énergie de liaison E_l du noyau d'hélium.
 - 3.2. L'énergie libérée $|\Delta E|$ par cette réaction de fusion.



4. En déduire, en unité MeV, l'énergie libérée que l'on pourrait obtenir si on réalisait la réaction de fusion d'une mole de noyaux de deutérium avec une mole de noyaux de tritium.
5. La tonne d'équivalent pétrole (tep) est une unité d'énergie utilisée dans l'industrie et en économie. Elle sert à comparer les énergies obtenues à partir de sources différentes.

Une tonne d'équivalent pétrole (1tep) représente $4,2 \times 10^{10} \text{J}$, c'est-à-dire l'énergie libérée en moyenne par la combustion d'une tonne de pétrole.

Soit n le nombre de tonne de pétrole à brûler pour obtenir une énergie équivalente à celle libérée par la fusion de 2g (une mole) de deutérium et de 3g (une mole) de tritium. Trouver n .

Exercice 13 : Désintégration de l'oxygène 15 (SM 2020 N)

La tomographie par émission de positrons, (dénommée PET « positron emission tomography»), est une technique d'imagerie médicale pratiquée en médecine nucléaire qui permet d'obtenir des images précises de quelques organes du corps en trois dimensions dans lesquels il pourrait y avoir des maladies comme le cancer. Parmi les substances radioactives utilisées on cite le fluor, l'oxygène, l'azote. . .

Dans cet exercice on utilise l'oxygène 15 ($^{15}_8\text{O}$) qui est l'un des isotopes de l'oxygène. En PET, on détecte les molécules d'eau (présentes en grande quantité dans le cerveau) en utilisant de l'eau radioactive (eau marquée à l'oxygène 15 ($^{15}_8\text{O}$) que l'on injecte au sujet par voie intraveineuse. L'oxygène 15 se désintègre en un noyau (^A_ZX) avec émission d'un positron.

Données :

- Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$; $1 \text{ u} = 931,494 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$;
- Masse molaire de l'eau : $M = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; Masse volumique de l'eau : $\rho = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$;
- Les masses : $m(^A_Z\text{X}) = 15,000109 \text{ u}$; $m(^{15}_8\text{O}) = 15,003066 \text{ u}$; $m(e) = 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ u}$;
- La demi-vie de l'oxygène 15 : $t_{1/2} = 122 \text{ s}$.

1. Écrire l'équation de la réaction de désintégration du noyau d'oxygène 15 ($^{15}_8\text{O}$) en déterminant A et Z.
2. Déterminer, en unité MeV, $|\Delta E|$ l'énergie libérée par un noyau d'oxygène 15.
3. En admettant que le volume d'une injection d'activité initiale $a_0 = 3,7 \times 10^7 \text{ Bq}$ est $V = 5 \text{ cm}^3$, trouver la proportion de molécules d'eau marquées dans l'injection.
4. Pour poursuivre l'examen par PET, on suppose qu'il est nécessaire de procéder à une nouvelle injection lorsque l'activité $a(t_1)$ du noyau d'oxygène 15 restant à l'instant de date t_1 est de l'ordre de 0,15% de l'activité initiale a_0 de l'injection à $t = 0$.
Justifier, par calcul, que l'on puisse faire une nouvelle injection au bout d'un temps proche de $t = 20 \text{ min}$.

Exercice 14 : Activité du polonium (SM 2020 R)

Le polonium $^{210}_{84}\text{Po}$, découvert en 1898 par Pierre et Marie Curie, se désintègre avec émission d'une particule α .

Le polonium 210 est très toxique. La dose maximale du polonium 210 que peut supporter le corps humain correspond à une activité max $a_{\text{max}} = 740 \text{ Bq}$. **Données :** - Extrait du tableau de la classification périodique :



- $m(^4_2\text{He}) = 4,00151 \text{ u}$; $m(\text{Pb}) = 205,930 \text{ u}$; $m(\text{Po}) = 209,9374 \text{ u}$;
- $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2} = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$;
- $1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$.

1. Ecrire l'équation de désintégration du noyau de polonium 210.
2. 2.1. Calculer, en unité MeV, l'énergie $|E_1|$ libérée par la désintégration d'un noyau de polonium 210.
2.2. En déduire, en unité joule, l'énergie $|E_2|$ libérée par la désintégration de masse $m = 10 \text{ g}$ de polonium 210.
3. Un laboratoire reçoit un échantillon de polonium 210. Après une durée $\Delta t = 245 \text{ h } 37 \text{ min}$ de la date de sa réception, on mesure l'activité de l'échantillon, on trouve qu'elle a diminué de 5%. Déterminer, en jour, la valeur de la demi-vie $t_{1/2}$ du polonium 210.



4. Calculer, en gramme, la masse maximale m_{max} du polonium 210 que peut supporter le corps humain sans risque.

Exercice 15 : Stabilité des noyaux – Réaction de fission. (SM 2021 N)

Données :

- Masse des particules : $m(\alpha) = 4,001506 \text{ u}$;
- $m({}^{10}_5\text{B}) = 10,012938\text{u}$; $m({}^A_Z\text{Li}) = 7,016005\text{u}$;
- Energie de liaison de la particule α : $E_\ell = 28,295244\text{MeV}$; $1\text{u} = 931,5\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2}$;
- Masse du neutron : $m_n = 1,008665\text{u}$; Masse du proton : $m_p = 1,007276\text{u}$.

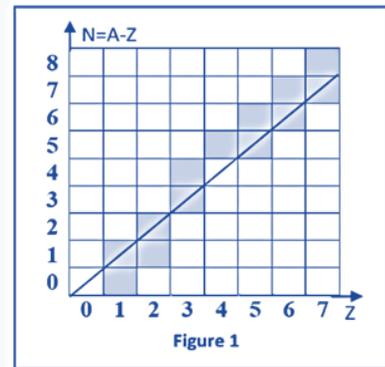


1. Diagramme de Segré :

La figure 1 ci-contre représente le diagramme de Segré (Z,N) dont lequel les noyaux stables correspondent aux cases grisées dans le diagramme.

Donner le nombre d'affirmations justes :

- a. La non stabilité d'un noyau peut être due au grand nombre de nucléons qu'il contient.
- b. La stabilité d'un noyau peut être due au grand nombre de neutrons par rapport au nombre de protons qu'il contient.
- c. Les isotopes d'un même élément ${}^A_Z\text{X}$ se trouvent sur la même ligne dans le diagramme de Segré(Z,N).
- d. Les noyaux ${}^{10}_5\text{B}$, ${}^{14}_6\text{C}$, ${}^{12}_5\text{B}$ sont radioactifs α .
- e. Le noyau ${}^{10}_5\text{B}$ est stable.



2. Fission nucléaire :

- 2.1. Ecrire l'équation de la réaction nucléaire correspondant au bombardement d'un noyau de bore ${}^{10}_5\text{B}$ par un neutron pour former une particule α et un noyau de lithium ${}^A_Z\text{Li}$ en déterminant A et Z.
- 2.2. Comparer la stabilité de la particule α avec celle du ${}^A_Z\text{Li}$.
- 2.3. Calculer, en unité MeV, l'énergie $|\Delta E|$ libérée par la fission d'un noyau de bore 10.

Exercice 16 : Fission de l'uranium (SM 2021 R)

L'uranium naturel est composé essentiellement de l'isotope 238 et d'autres isotopes, parmi lesquels l'uranium 235 qui est un noyau fissile et qui n'existe qu'en très faible pourcentage.

Afin de l'utiliser comme combustible, on procède à l'activation de l'uranium naturel en vue d'augmenter la proportion de l'isotope 235.

Données :

- Masse des noyaux : $m({}^{235}_{92}\text{U}) = 234,9935\text{u}$; $m({}^{146}_{58}\text{Ce}) = 145,8782\text{u}$; $m({}^{85}_{34}\text{Se}) = 84,9033\text{u}$;
- Masse du neutron $m_n = 1,0087\text{u}$;
- $1\text{u} = 931,5\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2} = 1,6605 \times 10^{-27}\text{Kg}$; $1\text{MeV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$ La production de l'énergie dans les réacteurs nucléaires est basée sur la fission de l'uranium 235. Lorsqu'un neutron heurte un noyau d'uranium 235, l'une des fissions possibles conduit à la formation d'un noyau de césium ${}^{146}\text{Ce}$, d'un noyau de sélénium ${}^{85}\text{Se}$ et des neutrons.

1. Ecrire l'équation modélisant cette réaction nucléaire.

2. Calculer en unité (J) l'énergie $|\Delta E|$ produite lors de la fission d'un noyau d'uranium 235.
3. Un réacteur nucléaire utilise l'uranium 235 activé à 5% (parmi 100 noyaux de l'uranium 235 il y'en a 5 qui sont activés). Déterminer, en unité joule (J), l'énergie produite par 1kg d'uranium activé à 5%.
4. Une centrale nucléaire fournit une puissance électrique est $p = 1450\text{MW}$. Le rendement de la transformation de l'énergie calorifique en énergie électrique est 34%. Déterminer la masse d'uranium 235 activé à 5% utilisée par ce réacteur en un an ($1\text{an} = 365,25\text{jours}$).

