

Série de noyaux énergie et masse SP SM Biof

Données pour toutes les exercices : Constante d'Avogadro $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{mol}^{-1}$, $1 \text{MeV} = 1,6022 \cdot 10^{-13} \text{J}$ Masse d'un neutron est $1,00866 \text{u}$, Masse d'un proton est $1,00728 \text{u}$, Masse d'un électron est $5,48579 \cdot 10^{-4} \text{u}$ Unité de masse atomique : $1 \text{u} = 1,66055 \cdot 10^{-27} \text{kg} = 931,5 \text{MeV}/c^2$, Célérité de la lumière dans le vide est $c = 3 \cdot 10^8 \text{m.s}^{-1}$

Exercice 1 :

- 1- Calculer l'énergie de liaison par nucléon du nucléide $^{102}_{20}\text{Ne}$ de masse égale à $19,9867 \text{u}$,
- 2- Calculer la masse du nucléide $^{81}_{16}\text{O}$ d'énergie de liaison par nucléon égale à $8,0 \text{MeV}/\text{nucléon}$,
- 3- Les énergies de liaison des noyaux de fer ($^{265}_{26}\text{Fe}$) et de cérium ($^{581}_{42}\text{Ce}$) respectivement $492,24 \text{MeV}$ et $1199,90 \text{MeV}$. Quel est le noyau le plus stable ?
- 4- Calculer les énergies nécessaires pour séparer en protons et neutrons libres chacun des trois noyaux suivants $^{23}_{2}\text{He}$ de masse $3,016986 \text{u}$, $^{24}_{2}\text{He}$ de masse $4,000726 \text{u}$ et $^{25}_{2}\text{He}$ de masse $5,013890 \text{u}$. Comparer leurs stabilités.

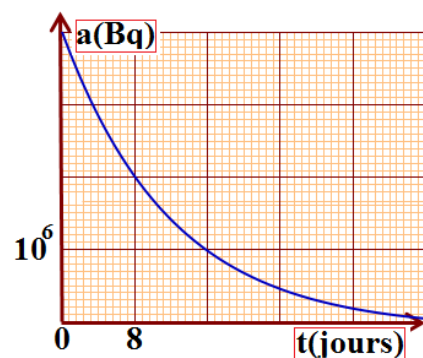
Exercice 2 :

- 1- Pour un noyau de carbone 14 de symbole $^{14}_6\text{C}$, de masse $23,247 \cdot 10^{-27} \text{kg}$, calculer :
 - a- L'énergie de masse en MeV et le défaut de masse en kg, en u et en $\text{MeV} \cdot c^{-2}$,
 - b- L'énergie de liaison en MeV et l'énergie moyenne de liaison par nucléon en $\text{MeV}/\text{nucléon}$
- 2- Pour un noyau d'uranium $^{92}_{238}\text{U}$, d'énergie moyenne de liaison par nucléon $7,570 \text{MeV}/\text{nucléon}$, calculer :
 - a- L'énergie de liaison en MeV, le défaut de masse en u et la masse d'un noyau en u.

Exercice 3 :

L'iode 131 ($^{131}_{53}\text{I}$) est radioactif β^- . Il est utilisé à faible doses dans les applications médicales visant l'étude du dysfonctionnement de la thyroïde ou le traitement de certaines maladies liées à cette glande. La désintégration d'un noyau d'iode 131 produit un noyau ZAX. On se propose, dans cet exercice, d'étudier de l'iode 131 :

- 1- Ecrire l'équation de désintégration de l'iode 131 en identifiant le noyau ZAX produit au cours de cette désintégration,
- 2- Calculer, en MeV, l'énergie libérée $|\Delta E|$ par la désintégration d'un noyau d'iode 131,
- 3- On injecte à un patient, à un instant choisi com origine des dates, une dose d'une solution d'iode 131 dont l'activité à cet instant est a_0 . La courbe de la figure ci-contre représente les variations de l'activité $a(t)$ de cette dose en fonction du temps :
 - a- Déterminer graphiquement la demi-vie $t_{1/2}$ de l'iode 131,
 - b- Calculer le nombre N_0 de noyau d'iode présents dans la dose à $t=0 \text{s}$,
 - c- En utilisant la loi de décroissance radioactive, déterminer, en jours, t_1 ou 95% des noyaux d'iode 131 se sont désintégrés.



Données :

Elément	Tellure		Xénon		Césium	
Quelques isotopes de l'élément	$^{127}_{52}\text{Te}$	$^{132}_{52}\text{Te}$	$^{130}_{54}\text{Xe}$	$^{131}_{54}\text{Xe}$	$^{132}_{55}\text{Cs}$	$^{137}_{55}\text{Cs}$
$m(^{131}_{53}\text{I}) = 130,906125 \text{u}$	$m(\text{ZAX}) = 130,905082 \text{u}$		$m(\beta^-) = 5,48580 \cdot 10^{-4} \text{u}$		$1 \text{u} = 931,5 \text{MeV} \cdot c^{-2}$	

Exercice 4 :

L'histoire de la médecine nucléaire a toujours été lié au progrès de la physique nucléaire. Dans plusieurs cas la médecine nucléaire consiste à injecter des produits radioactifs dans le corps humain pour diagnostiquer et remédier à la maladie. L'isotope $^{43}_{99}\text{Tc}$ du technétium est parmi les noyaux les plus utilisés dans le domaine de la médecine à cause de sa durée de vie courte, ses effets radioactifs minimal, son cout très bas, et la facilite de sa mise à disponibilité des médecins.

$E_L(^{43}_{99}\text{Tc}) = 852,53 \text{MeV}$, $E_L(^{43}_{97}\text{Tc}) = 836,28 \text{MeV}$, $E_L(^{42}_{99}\text{Mo}) = \dots \text{MeV}$ et $t_{1/2}(^{43}_{99}\text{Tc}) = 6 \text{h}$:

- 1- Les noyaux $^{43}_{99}\text{Tc}$ et $^{43}_{97}\text{Tc}$ sont deux isotopes de Technétium :
 - 1- Donner la composition de l'isotope $^{43}_{99}\text{Tc}$ du noyau de technétium,
 - 2- Quel est le noyau le plus stable ? Justifier votre réponse,
 - 3- Le technétium $^{43}_{99}\text{Tc}$ est produit par la désintégration d'un noyau du molybdène $^{42}_{99}\text{Mo}$:

- a- Ecrire l'équation de désintégration du molybdène ^{4299}Mo , préciser le type de la désintégration radioactive,
- b- Calculer en MeV, la valeur de E l'énergie nucléaire de cette désintégration.
- II- Le technétium ^{4399}Tc est utilisé dans le domaine de la radiologie, on injecte à un malade une dose de technétium ^{4399}Tc puis on prend les clichés de ces os.
- À l'instant $t_0=0\text{s}$ on injecte à un patient une dose d'activité radioactive $a_0=5.10^8\text{Bq}$, puis on prend une image-radio des os à l'instant t_1 , l'activité radioactive devient $a_1 = 0,6.a_0$.
- 1- Vérifier que la valeur de la constante d'activité radioactive du technétium ^{4399}Tc est $\lambda=3,21 \times 10^{-5}\text{s}^{-1}$,
 - 2- Déterminer la valeur N_0 , le nombre de noyaux injectés dans le corps à l'instant $t_0=0\text{s}$,
 - 3- Déterminer en heure (h) la valeur de t.

Exercice 5 :

La datation par le carbone 14 est parmi les techniques adoptées par les savants pour déterminer l'âge de quelques fossiles et roches. La teneur en ce carbone reste constante dans l'atmosphère et dans les êtres vivants, mais commence à diminuer juste après la mort de ces derniers à cause de la radioactivité.

Données :

Particule	^{614}C	^{714}N	Electron
Masse (u)	13,9999	13,9992	0,0005

La demi-vie du carbone 14 est
 $t_{1/2} = 5570\text{ans}$

I- Radioactivité du carbone 14 :

De la radioactivité spontanée du nucléide carbone ^{614}C , résulte l'azote ^{714}N :

1- Ecrire l'équation de cette désintégration en précisant le type de la radioactivité,

2- Donner la composition du noyau fils,

3- Calculer, en MeV, l'énergie ΔE libérée par la désintégration d'un noyau de carbone 14.

II- Datation par le carbone 14 :

Les archéologues ont trouvé une statue en bois d'activité 135 Bq. Sachant que l'activité d'un morceau de bois récent, de même masse et de même nature que bois de la statue, est 165 Bq. Déterminer, en années, l'âge approximatif de la statue en bois.

Exercice 6 :

Le Radon $^{86222}\text{Rn}$ est un gaz inerte, radioactif naturel. Il résulte de la désintégration spontanée de l'Uranium $^{92238}\text{U}$ présent dans les roches et la terre.

L'inhalation du Radon $^{86222}\text{Rn}$, est dans plusieurs pays, la cause essentielle du cancer de poumons, après le tabagisme.

Pour lutter contre les risques provoqués par l'exposition des individus au Radon 222, l'OMS recommande l'adoption de 100 Bq/m³ comme niveau de référence et de ne pas dépasser 300 Bq/m³ comme valeur limite maximale. Masse du noyau du Radon 222 : 221,9703u ; 1 jour = 86400s ; Demie vie du nucléide $^{86222}\text{Rn}$: $t_{1/2} = 3,9$ jours ; Masse molaire du Radon : $M(\text{Rn}) = 222 \text{ g.mol}^{-1}$.

I- De la désintégration de l'Uranium $^{92238}\text{U}$, résulte le Radon $^{86222}\text{Rn}$ et des particules α et β^- .

1- Donner la composition du noyau $^{86222}\text{Rn}$,

2- Calculer en (MeV) l'énergie de liaison du noyau $^{86222}\text{Rn}$,

3- Déterminer le nombre de désintégration de type α et de type β^- produites par cette transformation nucléaire

II- S'assurer de la pureté de l'air dans une habitation :

A l'instant t_0 , considéré comme origine des dates, la mesure de l'activité du Radon 222 dans chaque mètre cube d'air se trouvant dans une habitation a donné la valeur : $a_0=5.10^3\text{Bq}$:

1- Déterminer, à la date t_0 , la masse du Radon contenu dans chaque mètre cube d'air de cette habitation,

2- Calculer le nombre de jours nécessaires pour que la valeur de l'activité à l'intérieur de cette habitation soit égale à la valeur limite maximale recommandée par l'OMS.

Exercice 7 : SR 2021 SM

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.

Donner : $m(^{92235}\text{U}) = 234,9935u$, $m(^{58146}\text{Ce}) = 145,8782u$, $m(^{3485}\text{Se}) = 84,9033u$,
 $m_n = 1,0087u$.

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}Ce , d'un noyau de sélénium ^{85}Se et des neutrons.

- 1- Ecrire l'équation modélisant cette transformation nucléaire,
- 2- Calculer, en joule, 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% : déterminer, en joule, l'énergie produite par 1kg d'uranium activé à 5%,
- 4- Une centrale nucléaire fournit une puissance électrique $p=1450\text{MW}$. Le rendement de la transformation de l'énergie calorifique en énergie électrique est 34%. Déterminer la masse d'uranium activé à 5% utilisée par ce réacteur en un an sachant que $1\text{an}=365,25\text{jours}$.

Exercice 8 :

Un tel sous-marin utilise comme combustible l'uranium naturel qui contient un mélange enrichi en isotope (cet isotope est fissile) et de l'Uranium 238 (isotope fertile).

Données : Masse d'un noyau $^{92}_{235}\text{U}$: $m(\text{U})=235,0439\text{u}$; Masse d'un noyau $^{38}_{94}\text{Sr}$: $m(\text{Sr})=93,9154\text{u}$
Masse d'un noyau $^{54}_{140}\text{Xe}$: $m(\text{Xe})=139,9252\text{u}$; Masse d'un neutron ^1_0n : $m_n=1,0087\text{u}$,
 $1\text{mois}=2,6.10^6\text{secondes}$

Constante d'Avogadro : $N_A=6,02.10^{23}\text{mol}^{-1}$; Masse molaire de $^{92}_{235}\text{U}$: $M(\text{U})=235\text{g.mol}^{-1}$.

Les noyaux d'uranium $^{92}_{235}\text{U}$ peuvent subir différentes fissions en captant un neutron thermique. On modélise cette transformation par l'équation nucléaire suivante :

$$^{92}_{235}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{54}_{139}\text{Xe} + x^{38}_{95}\text{Sr} + y.^1_0\text{n}$$

1- Donner la structure du noyau d'uranium $^{92}_{235}\text{U}$,

2- Déterminer les valeurs de x et y en inspirant la loi appliquée, puis calculer la perte de masse,

3- Calculer l'énergie libérée par la fission, selon l'équation ci-dessus, $E_{\text{lib}}=2,9110^{-11}\text{J}$,

4- On suppose, pour simplifier, que les énergies libérées par toutes les réactions de fission sont approximativement égales à celle calculée au 3. Le réacteur fournit une puissance moyenne de 150 MW :

a- Montrer qu'il se produit $5,15.10^{18}$ fissions par seconde,

b- En déduire la masse d'uranium consommée en 1s, $2,01.10^{-3}\text{g}$,

5- Un tel sous-marin est prévu pour naviguer pendant une durée de 2 mois : Quelle masse minimum d'uranium 235 devra-t-il embarquer pour assurer son approvisionnement en énergie pendant cette durée ?

Exercice 9 :

Dans une centrale nucléaire, les noyaux d'uranium $^{92}_{235}\text{U}$ subissent la fission sous le choc d'un neutron lent. Un des nombreux processus possibles conduit à la formation d'un noyau de lanthane $^{57}_{144}\text{La}$, d'un noyau de brome $^{35}_{88}\text{Br}$ et de plusieurs neutrons.

1- Définissez l'énergie de liaison d'un noyau, puis donnez l'expression littérale qui permettra son calcul,

2- Calculez, en MeV, l'énergie de liaison d'un noyau $^{92}_{235}\text{U}$,

3- Calculez l'énergie de liaison par nucléon de ce noyau,

4- Ecrivez l'équation de la réaction de fission étudiée,

5- Exprimez l'énergie libérée par la fission d'un noyau $^{92}_{235}\text{U}$ en fonction des énergies de liaison par nucléon du noyau père et des noyaux fils et calculez la valeur de cette énergie en MeV,

6- Dans le cœur de la centrale, de nombreuses autres réactions de fission du noyau $^{92}_{235}\text{U}$ se produisent. La perte de masse est, en moyenne, de 0,200 u par noyau.

a- Calculez, en MeV, l'énergie moyenne libérée par la fission d'un noyau. Ce résultat est-il en concordance avec celui de la question 6 ?

b- Calculez, en joule, l'énergie moyenne libérée par une mole de noyaux $^{92}_{235}\text{U}$,

c- Dans une centrale nucléaire, l'énergie nucléaire est transformée en énergie électrique. Une centrale fournit une puissance électrique moyenne $P_e=1000\text{MW}$ avec un rendement $r=25\%$:

c-a- Quelle est sa puissance nucléaire P_n consommée ?

c-b- Quelle est, en joule, l'énergie nucléaire consommée chaque année ?

c-c- Quelle est, en tonne, la masse d'uranium 235 consommée annuellement ?

Donnée :

- Masse du noyau d'uranium 235 : $m(^{92}_{235}\text{U}) = 235,0134\text{u}$

- Energies de liaison par nucléon : $\frac{E_l}{A} (^{57}_{144}\text{La}) = 8,28\text{MeV/nucléon}$ et

$\frac{E_l}{A} (^{35}_{88}\text{Br}) = 8,56\text{MeV/nucléon}$

Exercice 10 :

L'équation d'une réaction deutérium-tritium est $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$:

1- Exprimer l'énergie ΔE qui peut être libérée par cette réaction en fonction des énergies de masse

$E_m(ZAX)$ des particules (ou des noyaux) qui interviennent,

2- Exprimer la masse $m(ZAX)$ du noyau ZAX en fonction de m_p , m_n , Z , A et de l'énergie de liaison $E_L(ZAX)$. Pour la réaction de fusion envisagée, en déduire l'expression de ΔE en fonction des énergies de liaison,

3- Calculer numériquement la valeur de ΔE .

On donne les valeurs des énergies de liaison des noyaux suivants :

$$E_L(12H) = 2,224 \text{ MeV} ; E_L(13H) = 8,481 \text{ MeV} ; E_L(24He) = 28,29 \text{ MeV}.$$

Exercice 11 :

Le combustible des réactions de fusion dans les futures centrales nucléaires est un mélange de deutérium $12H$ et de tritium $13H$. on étudie la formation d'hélium $24He$ à partir de la réaction de fusion du deutérium et du tritium, cette réaction libère aussi un neutron :

1- Ecrire l'équation de la réaction de cette fusion,

2- Répondre par vrai ou faux aux affirmations suivantes :

a- L'énergie de liaison d'un noyau est égale au produit du défaut de masse du noyau et 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 $48Be + 24He \rightarrow 612C$ est une réaction de fusion,

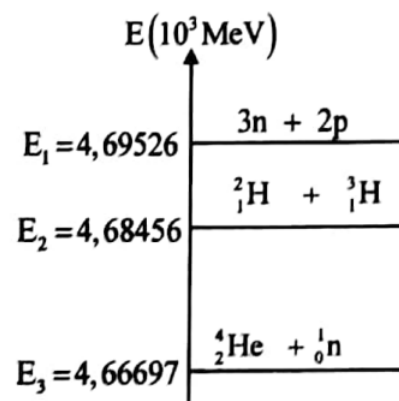
e- La fission nucléaire est une réaction nucléaire spontanée.

3- En utilisant le diagramme d'énergie ci-contre, calculer en unité MeV :

a- L'énergie de liaison E_L du noyau d'hélium,

b- 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.



Exercice 12 :

Le noyau de polonium $84210Po$ se désintègre spontanément pour se transformer en un noyau de plomb $82206Pb$ avec émission d'une particule α .

Données :

Energie de liaison du noyau de polonium 210 : $E_L(210Po) = 1,6446 \cdot 10^3 \text{ MeV}$,

Energie de liaison du noyau de plomb 206 : $E_L(206Pb) = 1,6220 \cdot 10^3 \text{ MeV}$,

Energie de liaison de la particule α : $E_L(\alpha) = 28,2989 \text{ MeV}$,

On désigne par $t_{1/2}$ la demi-vie du noyau de polonium 210.

1- Ecrire l'équation de cette transformation nucléaire en précisant la valeur de z ,

2- Donner le diagramme énergétique correspondant à cette transformation,

3- Déterminer en kg la variation de la masse Δm de la désintégration d'un noyau de $84210Po$,

4- Déterminer en MeV l'énergie ΔE produite lors de la désintégration d'un noyau de $84210Po$.

Exercice 13 :

La Terre émet de façon naturelle le gaz radon. Ce gaz qui se propage facilement à l'intérieur des immeubles est radioactif. Il est considéré comme l'une des principales causes du cancer α du poumon après la cigarette. Selon l'instance internationale de la protection radioactive, la concentration volumique de la radioactivité du gaz radon dans l'air des locaux ne doit pas dépasser $400 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$.

Données :

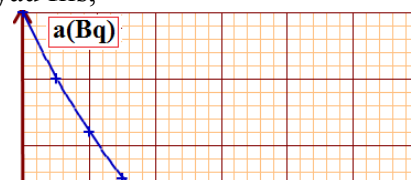
Noyau	Francium $87223Fr$.	Radon $86222Rn$.	Polonium $84218Po$.	Hélium $24He$.
m(en unité u)	222,9720	221,9704	217,9628	4,0015

1- Donner la composition du noyau de radon $86222Rn$,

2- Ecrire l'équation de désintégration du radon $86222Rn$, en précisant le noyau fils,

3- Calculer en unité (MeV), la valeur de l'énergie libérée $E_{\text{libérée}} = |\Delta E|$ au cours de la désintégration d'un noyau de radon $86222Rn$,

4- Pour s'assurer de la qualité de l'air à l'intérieur du hall d'un immeuble, un échantillon d'air de volume $V=1 \text{ L}$ est prélevé à l'instant $t_0=0 \text{ s}$ et son



activité a est déterminée en utilisant des outils adéquats. La courbe ci-contre représente les variations de l'activité a de l'échantillon en fonction du temps.

a- Déterminer graphiquement :

- La valeur de l'activité a_0 de l'échantillon à l'instant $t_0=0s$,
- la valeur de demi-vie $t_{1/2}$ du radon $^{86}222Rn$.

b- L'air à l'intérieur du hall de l'immeuble répond-il au critère fixé par l'instance internationale de la protection radioactive au moment de la prise de l'échantillon ?

<https://spbiof.blogspot.com/>