BURHAN

Noyaux, masse et énergie : exercices, entraînement

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/noyaux-masse-et-energie/exercices/entrainement

Chapitre	Palier	Exercices
Noyaux, masse et énergie	Entraînement	7

Exercice 1

Masses de noyaux mesurées

Un spectromètre de masse mesure la masse d'atomes ionisés, puis on en déduit celle de l'atome neutre, électrons compris. Les valeurs sont connues à $10^{-6}\,\mathrm{u}$ près.

Atome	Z	A	Masse de l'atome (u)
lithium 6	3	6	$6{,}015123$
plomb 208	82	208	$207{,}976652$

Données : $m_p = 1{,}00728\,\mathrm{u}$; $m_n = 1{,}00866\,\mathrm{u}$; $m_e = 5{,}49\times10^{-4}\,\mathrm{u}$; $1\,\mathrm{u} = 931{,}5\,\mathrm{MeV}/c^2$.

1.

Calculer la masse du noyau de lithium 6 et celle du noyau de plomb 208.

INDICE

Outil : l'atome neutre contient Z électrons en plus de son noyau.

CORRIGÉ

Relation. $m(\text{noyau}) = m(\text{atome}) - Z\,m_e$, avec $m_e = 0{,}000549\,\mathrm{u}$.

Lithium 6.

$$\begin{aligned} m &= 6{,}015123 \\ &\quad - 3\times 0{,}000549 \\ m &= 6{,}013476\,\mathrm{u} \end{aligned}$$

Plomb 208. $82\,m_e = 0{,}045018\,\mathrm{u}$:

$$\begin{aligned} m &= 207{,}976652 \\ &\quad - 0{,}045018 \\ m &= 207{,}931634\,\mathrm{u} \end{aligned}$$

Conclusion. Les noyaux ont pour masses $6{,}013476\,\mathrm{u}$ pour le lithium 6 et $207{,}931634\,\mathrm{u}$ pour le plomb 208.

2.

Calculer le défaut de masse puis l'énergie de liaison par nucléon de chacun des deux noyaux.

INDICE

Début : compte les protons et les neutrons de chaque noyau. **Point délicat :** une différence garde les décimales de la donnée la moins précise.

CORRIGÉ

Lithium 6. $3\,m_p + 3\,m_n = 6{,}04782\,\mathrm{u}$, d'où $\Delta m = 6{,}04782 - 6{,}013476 = 0{,}03434\,\mathrm{u}$:

$$\frac{E_\ell}{A} = \frac{0{,}03434 \times 931{,}5}{6}$$
$$\frac{E_\ell}{A} = 5{,}331\,\mathrm{MeV}$$

Plomb 208. $82\,m_p + 126\,m_n = 209{,}68812\,\mathrm{u}$, d'où $\Delta m = 1{,}75649\,\mathrm{u}$:

$$\frac{E_\ell}{A} = \frac{1{,}75649 \times 931{,}5}{208}$$
$$\frac{E_\ell}{A} = 7{,}866\,\mathrm{MeV}$$

Conclusion. Par nucléon, l'énergie de liaison vaut $5{,}331\,\mathrm{MeV}$ pour le lithium 6 et $7{,}866\,\mathrm{MeV}$ pour le plomb 208.

3.

Lequel des deux noyaux est le plus stable ?

INDICE

Outil : le critère de stabilité porte sur une énergie ramenée à un nucléon.

CORRIGÉ

Comparaison. $7{,}866\,\mathrm{MeV} > 5{,}331\,\mathrm{MeV}$ par nucléon.

Lecture physique. Chaque nucléon du plomb 208 est en moyenne plus lié que ceux du lithium 6, un noyau léger.

Conclusion. Le plomb 208 est plus stable que le lithium 6.

4.

Un élève calcule le défaut de masse du lithium 6 avec la masse de l'atome, sans retirer les électrons. Calculer l'écart relatif qu'il commet. Le comparer à la précision des mesures du tableau et conclure.

INDICE

Début : refais la différence avec la masse de l'atome. **Ensuite :** compare l'erreur de $10^{-6}\,\mathrm{u}$ au défaut de masse.

CORRIGÉ

Calcul erroné. $\Delta m' = 6{,}04782 - 6{,}015123 = 0{,}03270\,\mathrm{u}$.

Écart relatif.

$$\frac{0{,}03434 - 0{,}03270}{0{,}03434} \approx 4{,}8\,\%$$

Précision des mesures. Une erreur de $10^{-6}\,\mathrm{u}$ sur $0{,}03434\,\mathrm{u}$ représente environ 3×10^{-5}, soit $0{,}003\,\%$.

Conclusion. L'oubli des électrons fausse le résultat de près de $5\,\%$, bien plus que l'imprécision des mesures. Dans le défaut de masse, calculé avec m_p et m_n, il faut employer la masse du noyau.

Exercice 2

Placer des points mesurés de la courbe d'Aston

Le tableau donne l'énergie de liaison par nucléon de douze noyaux, déduite de masses mesurées.

Noyau	A	Énergie de liaison par nucléon (MeV)
hydrogène 2	2	$1{,}112$
hydrogène 3	3	$2{,}827$
hélium 4	4	$7{,}074$
azote 14	14	$7{,}476$
néon 20	20	$8{,}032$
silicium 28	28	$8{,}448$
calcium 40	40	$8{,}551$
nickel 62	62	$8{,}795$
zirconium 90	90	$8{,}710$
étain 120	120	$8{,}505$
tungstène 184	184	$8{,}005$
uranium 235	235	$7{,}591$

1.

Représenter $-\dfrac{E_\ell}{A}$ en fonction de A, pour A de 0 à 250 et une ordonnée de -9 à $0\,\mathrm{MeV}$. Décrire l'allure du nuage de points.

INDICE

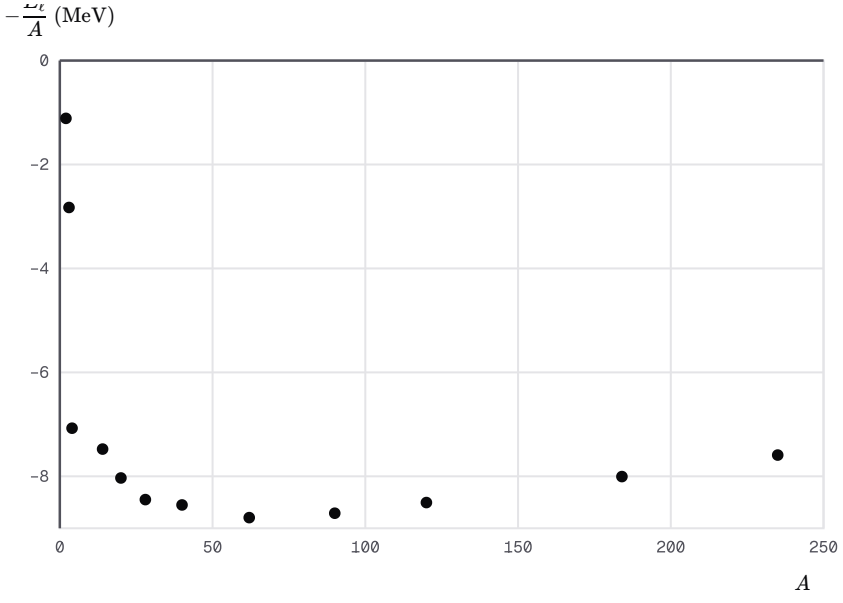
Outil : place l'opposé de chaque valeur du tableau ; ne relie pas les points, ce sont des mesures.

CORRIGÉ

Représentation. Chaque noyau donne un point d'abscisse A et d'ordonnée $-\dfrac{E_\ell}{A}$; la figure ci-dessous les place.

Allure. Les points descendent très vite pour les noyaux légers, passent par un minimum large vers $A = 60$, puis remontent lentement jusqu'à l'uranium 235.

Conclusion. Le nuage de points a l'allure de la courbe d'Aston : un creux pour les noyaux de masse moyenne.



Points mesurés de la courbe d'Aston

2.

Quel noyau du tableau est le plus stable ? Où se trouvent les noyaux les plus stables sur le graphique ?

INDICE

Outil : la stabilité se lit sur l'énergie de liaison par nucléon, donc sur l'ordonnée.

CORRIGÉ

Noyau du tableau. La plus grande énergie de liaison par nucléon est celle du nickel 62 : $8{,}795\,\mathrm{MeV}$.

Sur le graphique. Son point est le plus bas ; les noyaux voisins, de A compris entre 40 et 90 environ, sont presque aussi bas.

Conclusion. Le nickel 62 est le plus stable du tableau ; les noyaux les plus stables forment le creux de la courbe, autour de $A = 60$.

3.

Un noyau d'uranium 235 se scinde en deux noyaux dont le nombre de nucléons est voisin de 120. Montrer que l'énergie libérée est de l'ordre de $2 \times 10^2\,\mathrm{MeV}$.

INDICE

Début : compare l'énergie de liaison par nucléon avant et après. **Ensuite :** multiplie le gain par le nombre de nucléons.

CORRIGÉ

Gain par nucléon. On lit sur le graphique environ $7{,}6\,\mathrm{MeV}$ par nucléon pour l'uranium 235, et environ $8{,}5\,\mathrm{MeV}$ pour A voisin de 120.

Estimation. Pour 235 nucléons :

$$\begin{aligned} E_{\mathrm{lib}} &\approx 235 \\ &\quad \times (8{,}5 - 7{,}6) \\ E_{\mathrm{lib}} &\approx 2{,}1 \times 10^2\,\mathrm{MeV} \end{aligned}$$

Conclusion. La fission d'un noyau d'uranium 235 libère de l'ordre de $2 \times 10^2\,\mathrm{MeV}$, car les fragments sont plus liés.

4.

Un noyau d'hydrogène 2 et un noyau d'hydrogène 3 fusionnent :

$$ {}_{1}^{2}\mathrm{H} + {}_{1}^{3}\mathrm{H} \longrightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + {}_{0}^{1}\mathrm{n} $$

Expliquer à l'aide du tableau pourquoi cette fusion libère de l'énergie.

INDICE

Outil : compare l'énergie de liaison par nucléon des deux réactifs à celle du noyau formé.

CORRIGÉ

Lecture. Les deux isotopes de l'hydrogène ont les énergies par nucléon les plus faibles du tableau, $1{,}112\,\mathrm{MeV}$ et $2{,}827\,\mathrm{MeV}$. L'hélium 4 formé a $7{,}074\,\mathrm{MeV}$ par nucléon.

Fusion. Le point de l'hélium 4 est bien plus bas que ceux des réactifs : ses nucléons sont beaucoup plus liés. Le neutron libre n'est lié à aucun nucléon.

Conclusion. En fusionnant, ces noyaux légers forment un noyau plus lié, et la différence d'énergie de liaison est libérée.

Exercice 3

Fission de l'uranium 235 en baryum et krypton

Dans le réacteur d'une centrale, une fission de l'uranium 235 donne du baryum 141 et du krypton 92 :

$$\begin{aligned} &{}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{235}_{92}\mathrm{U} \\ &\longrightarrow {}^{141}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{92}_{36}\mathrm{Kr} \\ &\quad + 3\,{}^{1}_{0}\mathrm{n} \end{aligned}$$

Document. Masses des noyaux.

Noyau	Masse (u)
uranium 235	$234{,}99342$
baryum 141	$140{,}88366$
krypton 92	$91{,}90641$

Données : $m_n = 1{,}00866\,\mathrm{u}$; $1\,\mathrm{u} = 931{,}5\,\mathrm{MeV}/c^2$; $1\,\mathrm{MeV} = 1{,}60 \times 10^{-13}\,\mathrm{J}$; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\,\mathrm{mol}^{-1}$; masse molaire de l'uranium 235 : $235\,\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; la combustion de $1\,\mathrm{kg}$ de fioul libère $4{,}2 \times 10^{7}\,\mathrm{J}$.

1.

Justifier que cette réaction est une fission, puis vérifier qu'elle conserve le nombre de nucléons et le nombre de charge.

INDICE

Outil : la définition d'une fission ; un neutron compte un nucléon et aucune charge.

CORRIGÉ

Type. Un neutron frappe un noyau lourd, qui se scinde en deux noyaux plus légers en émettant des neutrons : c'est une fission.

Nucléons. $1 + 235 = 141 + 92 + 3 = 236$.

Charges. $0 + 92 = 56 + 36 + 3 \times 0 = 92$.

Conclusion. La réaction est une fission, et l'équation conserve le nombre de nucléons et le nombre de charge.

2.

Calculer l'énergie libérée par la fission d'un noyau, en MeV.

INDICE

Outil : l'énergie d'une réaction nucléaire à partir des masses. **Point délicat :** un neutron figure dans les réactifs et trois dans les produits ; compte-les tous.

CORRIGÉ

Masses. $m_\mathrm{i} = 1{,}00866 + 234{,}99342 = 236{,}00208\,\mathrm{u}$; $m_\mathrm{f} = 140{,}88366 + 91{,}90641 + 3\times 1{,}00866 = 235{,}81605\,\mathrm{u}$.

Variation d'énergie.

$$\begin{aligned}\Delta E &= (m_\mathrm{f} - m_\mathrm{i})\,c^2\\ \Delta E &= -0{,}18603\\ &\quad\times 931{,}5\\ \Delta E &= -173{,}3\,\mathrm{MeV}\end{aligned}$$

Conclusion. $\Delta E < 0$: chaque fission libère $E_\mathrm{lib} = 173{,}3\,\mathrm{MeV}$.

3.

Calculer l'énergie libérée par la fission de tous les noyaux de $1{,}00\,\mathrm{kg}$ d'uranium 235, en joules.

INDICE

Début : calcule la quantité de matière, puis le nombre de noyaux. **Ensuite :** convertis l'énergie d'une fission en joules.

CORRIGÉ

Nombre de noyaux. $n = \dfrac{1\,000}{235} = 4{,}255\,\mathrm{mol}$, donc $N = n\,N_A = 2{,}562\times 10^{24}$ noyaux.

Énergie d'une fission. $173{,}29\times 1{,}60\times 10^{-13} = 2{,}773\times 10^{-11}\,\mathrm{J}$.

Énergie totale.

$$\begin{aligned}E &= 2{,}562\times 10^{24}\\ &\quad\times 2{,}773\times 10^{-11}\\ E &= 7{,}10\times 10^{13}\,\mathrm{J}\end{aligned}$$

Conclusion. La fission de $1{,}00\,\mathrm{kg}$ d'uranium 235 libère environ $7{,}10\times 10^{13}\,\mathrm{J}$.

4.

Combien de kilogrammes de fioul faut-il brûler pour libérer la même énergie ? Conclure.

INDICE

Outil : l'énergie libérée par la combustion d'un kilogramme de fioul.

CORRIGÉ

Rapport.

$$m = \frac{7{,}10 \times 10^{13}}{4{,}2 \times 10^{7}}$$
$$m = 1{,}7 \times 10^{6}\,\text{kg}$$

Conclusion. Il faudrait environ $1{,}7 \times 10^{6}\,\text{kg}$ de fioul : à masse égale, la fission libère environ un million de fois plus d'énergie qu'une combustion.

Exercice 4

Deux bilans de la fusion deutérium et hélium 3

On étudie une réaction envisagée pour de futurs réacteurs :

$$ {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{1}\mathrm{p} $$

Document. Énergies de liaison et masses des noyaux.

Noyau	E_ℓ (MeV)	Masse (u)
${}^{2}_{1}\mathrm{H}$	$2{,}224$	$2{,}0136$
${}^{3}_{2}\mathrm{He}$	$7{,}719$	$3{,}0149$
${}^{4}_{2}\mathrm{He}$	$28{,}296$	$4{,}0015$

Données : $m_p = 1{,}00728\,\mathrm{u}$; $1\,\mathrm{u} = 931{,}5\,\mathrm{MeV}/c^2$.

1.

Vérifier les deux lois de conservation et donner le type de la réaction.

INDICE

Outil : compte les nucléons et les charges de chaque côté de la flèche.

CORRIGÉ

Nucléons. $2 + 3 = 4 + 1$.

Charges. $1 + 2 = 2 + 1$.

Conclusion. Les deux lois de conservation sont vérifiées. Le deutérium et l'hélium 3, deux noyaux légers, s'unissent en un noyau plus lourd : la réaction est une fusion.

2.

Calculer ΔE à partir des énergies de liaison, puis représenter le bilan sur un diagramme d'énergie à trois niveaux.

INDICE

Outil : l'énergie d'une réaction à partir des énergies de liaison. **Point délicat :** le proton libre a une énergie de liaison nulle.

CORRIGÉ

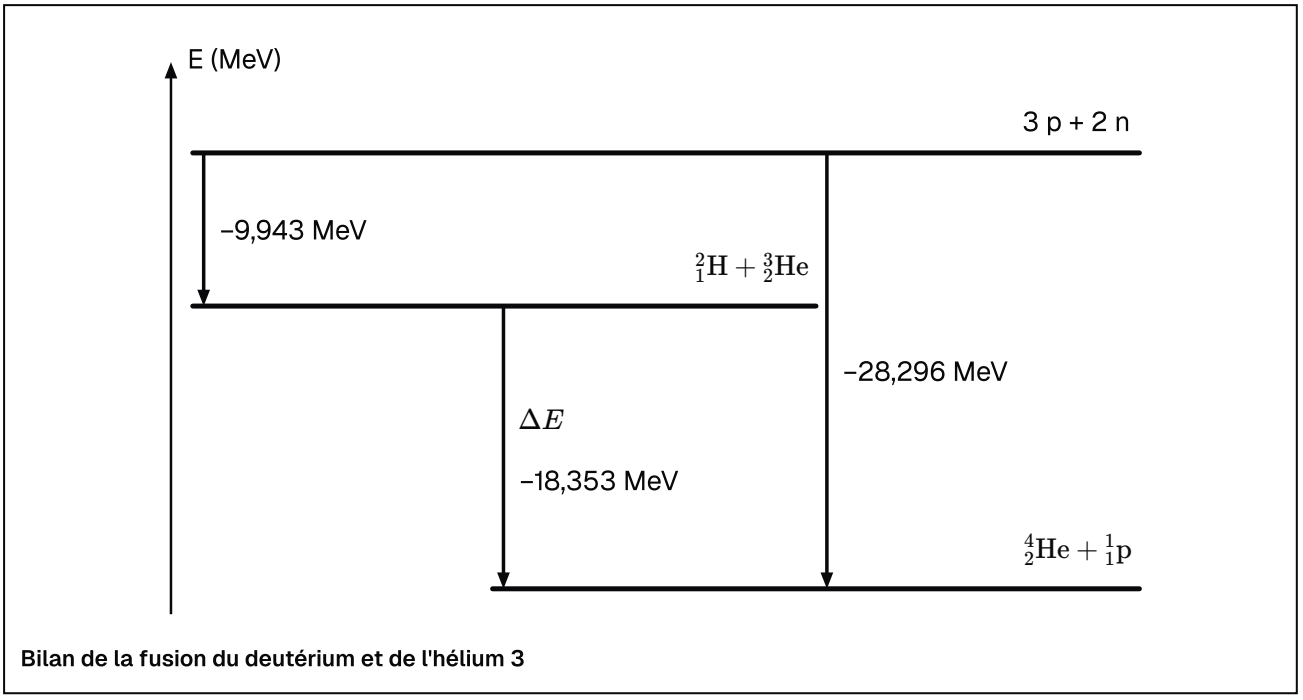
Énergies de liaison. $E_\ell(\mathrm{i}) = 2{,}224 + 7{,}719 = 9{,}943\,\mathrm{MeV}$ et $E_\ell(\mathrm{f}) = 28{,}296 + 0 = 28{,}296\,\mathrm{MeV}$.

Variation d'énergie.

$$\begin{aligned}\Delta E &= E_\ell(\mathrm{i}) - E_\ell(\mathrm{f})\\ \Delta E &= 9{,}943 - 28{,}296\\ \Delta E &= -18{,}353\,\mathrm{MeV}\end{aligned}$$

Diagramme. Nucléons séparés à 0, réactifs à $-9{,}943\,\mathrm{MeV}$, produits à $-28{,}296\,\mathrm{MeV}$: la flèche des réactifs aux produits vaut ΔE.

Conclusion. La fusion libère $18{,}353\,\mathrm{MeV}$; sur le diagramme, les produits sont au plus bas.



Bilan de la fusion du deutérium et de l'hélium 3

3.

Recalculer ΔE à partir des masses du document. Comparer les deux résultats.

INDICE

Outil : l'énergie d'une réaction à partir des masses. **Point délicat :** le résultat d'une différence garde quatre décimales ici.

CORRIGÉ

Masses. $m_{\mathrm{i}} = 2{,}0136 + 3{,}0149 = 5{,}0285\,\mathrm{u}$; $m_{\mathrm{f}} = 4{,}0015 + 1{,}00728 = 5{,}00878\,\mathrm{u}$; $m_{\mathrm{f}} - m_{\mathrm{i}} = -0{,}0197\,\mathrm{u}$.

Variation d'énergie.

$$\Delta E = -0{,}0197 \times 931{,}5$$
$$\Delta E = -18{,}4\,\mathrm{MeV}$$

Comparaison. $-18{,}4\,\mathrm{MeV}$ et $-18{,}353\,\mathrm{MeV}$ diffèrent de moins de $0{,}3\,\%$: l'écart vient des masses arrondies à quatre décimales.

Conclusion. Les deux bilans concordent : la réaction libère environ $18{,}4\,\mathrm{MeV}$.

Exercice 5

Bilan de la radioactivité bêta moins du cobalt 60

Le cobalt 60 est employé en radiothérapie. Il est radioactif β^-.

Document. Masses des noyaux.

Noyau	Masse (u)
cobalt 60	$59{,}91899$
nickel 60	$59{,}91541$

Données : Fe ($Z = 26$), Co ($Z = 27$), Ni ($Z = 28$) ; $m_e = 5{,}49 \times 10^{-4}\,\mathrm{u}$; $1\,\mathrm{u} = 931{,}5\,\mathrm{MeV}/c^2$.

1.

Écrire l'équation de la désintégration d'un noyau de cobalt 60.

INDICE

Outil : l'électron émis s'écrit ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$; applique les deux lois de conservation.

CORRIGÉ

Noyau formé. Nucléons : $A = 60$. Charges : $27 = Z - 1$, donc $Z = 28$: c'est le nickel.

Équation.

$$ {}^{60}_{27}\mathrm{Co} \longrightarrow {}^{60}_{28}\mathrm{Ni} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} $$

Conclusion. Le cobalt 60 donne un noyau de nickel 60 et un électron.

2.

Pourquoi ne peut-on pas faire ce bilan à partir des seules énergies de liaison des deux noyaux ?

INDICE

Outil : relis les conditions d'emploi du bilan par les énergies de liaison.

CORRIGÉ

Condition. Ce bilan suppose des réactifs et des produits formés de noyaux et de nucléons libres, en même nombre de protons et de neutrons.

Ici. Le noyau de nickel compte un proton de plus et un neutron de moins que le noyau de cobalt. Un électron est créé en plus : les nombres de protons et de neutrons changent.

Conclusion. Le bilan d'une radioactivité β^- se fait par les masses, électron compris.

3.

Calculer la variation d'énergie ΔE et l'énergie libérée.

INDICE

Outil : l'énergie d'une réaction à partir des masses ; l'électron fait partie des produits.

CORRIGÉ

Masses. $m_{\mathrm{f}} = 59{,}91541 + 0{,}000549 = 59{,}915959\,\mathrm{u}$, d'où $m_{\mathrm{f}} - m_{\mathrm{i}} = -0{,}00303\,\mathrm{u}$.

Variation d'énergie.

$$\begin{aligned} \Delta E &= -0{,}00303 \\ &\quad \times 931{,}5 \\ \Delta E &= -2{,}82\,\mathrm{MeV} \end{aligned}$$

Conclusion. La désintégration libère $E_{\mathrm{lib}} = 2{,}82\,\mathrm{MeV}$ par noyau.

4.

Quelle énergie libérée trouverait-on en oubliant la masse de l'électron ? Évaluer l'erreur relative commise.

INDICE

Début : refais la différence sans l'électron. **Ensuite :** compare les deux énergies.

CORRIGÉ

Calcul sans l'électron. $m_{\mathrm{f}} - m_{\mathrm{i}} = 59{,}91541 - 59{,}91899 = -0{,}00358\,\mathrm{u}$, soit $E' = 0{,}00358 \times 931{,}5 = 3{,}33\,\mathrm{MeV}$.

Erreur relative.

$$\begin{aligned} &\frac{3{,}33 - 2{,}82}{2{,}82} \\ &\approx 18\,\% \end{aligned}$$

Conclusion. Oublier l'électron surestime l'énergie libérée d'environ $18\,\%$: sa masse n'est pas négligeable devant celle qui disparaît.

Exercice 6

Le Soleil perd de la masse en rayonnant

Le cœur du Soleil transforme l'hydrogène en hélium. Le bilan global des réactions s'écrit :

$$4\,{}_{1}^{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + 2\,{}_{Z}^{A}\mathrm{X}$$

Document. Puissance rayonnée par le Soleil : $P = 3{,}85 \times 10^{26}\ \mathrm{W}$. On admet que cette puissance provient de la seule énergie libérée par ce bilan.

Particule	Masse (u)
proton	$1{,}00728$
noyau d'hélium 4	$4{,}0015$
positon	$0{,}000549$

Données : $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$; $1\ \mathrm{u} = 931{,}5\ \mathrm{MeV}/c^2 = 1{,}66054 \times 10^{-27}\ \mathrm{kg}$; $1\ \mathrm{MeV} = 1{,}60 \times 10^{-13}\ \mathrm{J}$.

1.

Identifier la particule ${}_{Z}^{A}\mathrm{X}$.

INDICE

Outil : les deux lois de conservation, appliquées au bilan global.

CORRIGÉ

Nucléons. $4 = 4 + 2A$, donc $A = 0$.

Charges. $4 = 2 + 2Z$, donc $Z = 1$.

Conclusion. La particule est un positon, ${}_{1}^{0}\mathrm{e}$: le bilan global émet deux positons.

2.

Calculer l'énergie libérée par une transformation de quatre protons.

INDICE

Outil : l'énergie d'une réaction à partir des masses ; les deux positons sont des produits.

CORRIGÉ

Masses. $m_{\mathrm{i}} = 4 \times 1{,}00728 = 4{,}02912\ \mathrm{u}$; $m_{\mathrm{f}} = 4{,}0015 + 2 \times 0{,}000549 = 4{,}002598\ \mathrm{u}$; $m_{\mathrm{f}} - m_{\mathrm{i}} = -0{,}0265\ \mathrm{u}$.

Variation d'énergie.

$$\Delta E = -0{,}0265 \times 931{,}5$$
$$\Delta E = -24{,}7\ \mathrm{MeV}$$

Conclusion. Chaque transformation libère $24{,}7\ \mathrm{MeV}$.

3.

Montrer que le Soleil perd environ $4{,}28 \times 10^{9}\,\mathrm{kg}$ de masse par seconde.

INDICE

Outil : la relation d'équivalence masse-énergie, appliquée à l'énergie rayonnée pendant une seconde.

CORRIGÉ

Énergie rayonnée en une seconde. $E = P \times 1\,\mathrm{s} = 3{,}85 \times 10^{26}\,\mathrm{J}$.

Masse perdue.

$$\Delta m = \frac{E}{c^2}$$
$$\Delta m = \frac{3{,}85 \times 10^{26}}{(3{,}00 \times 10^{8})^2}$$
$$\Delta m = 4{,}28 \times 10^{9}\,\mathrm{kg}$$

Conclusion. Chaque seconde, le Soleil perd environ $4{,}28 \times 10^{9}\,\mathrm{kg}$ de masse, convertie en rayonnement.

4.

Calculer le nombre de transformations qui se produisent chaque seconde dans le Soleil.

INDICE

Début : exprime en joules l'énergie d'une transformation. **Point délicat :** garde la valeur non arrondie, $24{,}68\,\mathrm{MeV}$.

CORRIGÉ

Énergie d'une transformation. $24{,}68 \times 1{,}60 \times 10^{-13} = 3{,}950 \times 10^{-12}\,\mathrm{J}$.

Nombre par seconde.

$$N = \frac{3{,}85 \times 10^{26}}{3{,}950 \times 10^{-12}}$$
$$N = 9{,}75 \times 10^{37}$$

Conclusion. Environ $9{,}75 \times 10^{37}$ transformations se produisent chaque seconde dans le Soleil.

5.

En déduire la masse d'hydrogène consommée par seconde. Quelle fraction de la masse des réactifs disparaît au cours d'une transformation ?

INDICE

Début : une transformation consomme quatre protons. **Ensuite :** reste en unité de masse atomique pour la fraction.

CORRIGÉ

Masse d'hydrogène. Quatre protons ont une masse de $4{,}02912 \times 1{,}66054 \times 10^{-27} = 6{,}690 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$:

$$\begin{aligned} m &= 9{,}75 \times 10^{37} \\ &\quad \times 6{,}690 \times 10^{-27} \\ m &= 6{,}52 \times 10^{11}\,\mathrm{kg} \end{aligned}$$

Fraction perdue. Par transformation, $\dfrac{m_\mathrm{i} - m_\mathrm{f}}{m_\mathrm{i}} = \dfrac{0{,}0265}{4{,}02912} = 6{,}58 \times 10^{-3}$, soit environ $0{,}66\,\%$.

Conclusion. Le Soleil consomme environ $6{,}52 \times 10^{11}\,\mathrm{kg}$ d'hydrogène par seconde, dont $0{,}66\,\%$ seulement disparaît en énergie.

Exercice 7

Énergie et protection du fluor 18 en imagerie

En imagerie médicale, on injecte au patient un sucre marqué au fluor 18, radioactif β^+. Chaque positon émis s'annihile avec un électron du corps : deux photons γ partent en sens opposés et sont détectés.

Document. Masses des noyaux.

Noyau	Masse (u)
fluor 18	$17{,}99600$
oxygène 18	$17{,}99477$

Données : O ($Z=8$), F ($Z=9$), Ne ($Z=10$) ; masse du positon et de l'électron : $m_e = 5{,}49\times10^{-4}\,\mathrm{u}$; $1\,\mathrm{u} = 931{,}5\,\mathrm{MeV}/c^2$.

1.

Écrire l'équation de la désintégration du fluor 18.

INDICE

Outil : le positon s'écrit ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$; applique les deux lois de conservation.

CORRIGÉ

Noyau formé. $A = 18$ et $9 = Z + 1$, donc $Z = 8$: c'est l'oxygène.

Équation.

$$ {}^{18}_{9}\mathrm{F} \longrightarrow {}^{18}_{8}\mathrm{O} + {}^{0}_{1}\mathrm{e} $$

Conclusion. Le fluor 18 donne un noyau d'oxygène 18 et un positon.

2.

Calculer l'énergie libérée par une désintégration.

INDICE

Outil : l'énergie d'une réaction à partir des masses ; le positon fait partie des produits.

CORRIGÉ

Masses. $m_\mathrm{f} = 17{,}99477 + 0{,}000549 = 17{,}995319\,\mathrm{u}$, d'où $m_\mathrm{f} - m_\mathrm{i} = -0{,}00068\,\mathrm{u}$.

Variation d'énergie.

$$ \begin{aligned} \Delta E &= -0{,}00068 \\ &\quad\times 931{,}5 \\ \Delta E &= -0{,}63\,\mathrm{MeV} \end{aligned} $$

Conclusion. Chaque désintégration libère environ $0{,}63\,\mathrm{MeV}$; le résultat n'a que deux chiffres significatifs.

3.

Le positon et l'électron, au repos, disparaissent en donnant deux photons de même énergie. Calculer l'énergie de chaque photon.

INDICE

Outil : la relation d'équivalence masse-énergie, appliquée à la masse qui disparaît.

CORRIGÉ

Masse qui disparaît. $2\,m_e = 2 \times 5{,}49 \times 10^{-4} = 1{,}098 \times 10^{-3}\,\mathrm{u}$.

Énergie libérée.

$$\begin{aligned} E &= 1{,}098 \times 10^{-3} \\ &\quad \times 931{,}5 \\ E &= 1{,}02\,\mathrm{MeV} \end{aligned}$$

Partage. Les deux photons ont la même énergie : $\dfrac{1{,}0228}{2} = 0{,}511\,\mathrm{MeV}$.

Conclusion. Chaque photon emporte $0{,}511\,\mathrm{MeV}$.

4.

Le manipulateur prépare la seringue de fluor 18. Proposer trois règles de protection contre ces photons, puis un protocole avec un compteur pour vérifier l'effet d'un écran de plomb.

INDICE

Outil : les trois moyens de réduire une dose reçue. **Ensuite :** un protocole compare des comptages dans les mêmes conditions.

CORRIGÉ

Règles de protection.

- **Distance** : manipuler la seringue avec une pince, loin du corps.
- **Écran** : placer la seringue dans un protège-seringue en plomb ou en tungstène.
- **Durée** : préparer vite, et ne pas rester près de la source sans raison.

Protocole. Mesurer d'abord le bruit de fond pendant $60\,\mathrm{s}$, sans source. Placer ensuite le compteur à une distance fixe de la source, puis compter pendant $60\,\mathrm{s}$ sans écran, puis avec des plaques de plomb de plus en plus épaisses. Retrancher le bruit de fond à chaque mesure.

Conclusion. Si le comptage corrigé diminue quand l'épaisseur de plomb augmente, l'écran protège bien le manipulateur.