

Applications directes

Connaître l'origine de l'énergie nucléaire (§ 1 du cours)

1. Calculer un défaut de masse

1. Définir le défaut de masse pour un noyau  ${}^A_ZX$ .
2. Calculer, en unité de masse atomique (u) et en kilogramme (kg), le défaut de masse du noyau de tritium  ${}^3_1\text{H}$  qui sera utilisé pour des réactions de fusion dans le projet ITER.

Données :  $1\text{ u} = 1,660\,54 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ;  $m_n = 1,008\,66\text{ u}$ ;  $m_p = 1,007\,28\text{ u}$ ;  $m({}^3_1\text{H}) = 3,015\,50\text{ u}$ .

2. Connaître les unités de masse et d'énergie

1. Parmi les unités suivantes, quelles sont les unités de masse et d'énergie : le joule (J), le watt (W), le kilogramme (kg), le newton (N), l'électronvolt (eV), l'unité de masse atomique (u).
2. Convertir :
- a.  $2,88 \times 10^{-11}\text{ J}$  en eV;

b.  $1,248 \times 10^{-9}\text{ J}$  en MeV;

c.  $4,78 \times 10^2\text{ eV}$  en J;

d. 45 MeV en J.

e.  $2,3 \times 10^{-26}\text{ kg}$  en  $\mu$ ;

f. 3,02  $\mu$  en kg.

3. Calculer une énergie de masse

Calculer, en joule, l'énergie de masse d'un proton  ${}^1_1\text{p}$  et celle d'un noyau de deutérium  ${}^2_1\text{H}$ .

Données :  $m({}^1_1\text{p}) = 1,672\,62 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ;  $m({}^2_1\text{H}) = 2,013\,55\text{ u}$ ;  $1\text{ u} = 1,660\,54 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ;  $c = 2,997\,9 \times 10^8\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Calculer l'énergie de liaison des noyaux (§ 2 du cours)

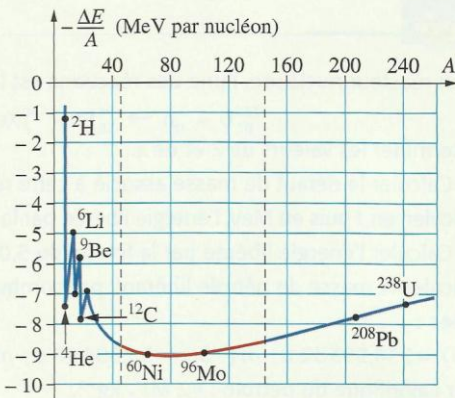
4. Calculer une énergie de liaison

1. Définir l'énergie de liaison d'un noyau.
2. Quelle est la relation permettant de calculer l'énergie de liaison d'un noyau  ${}^A_ZX$ ? Préciser la signification de chacune des lettres de cette formule, ainsi que les unités.
3. Calculer l'énergie de liaison du noyau de lithium  ${}^6_3\text{Li}$ .

Données :  $m({}^1_1\text{p}) = 1,672\,62 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ;  $m({}^1_0\text{n}) = 1,674\,93 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ;  $m({}^6_3\text{Li}) = 9,985\,67 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ;  $c = 2,997\,9 \times 10^8\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

5. Utiliser la courbe d'Aston

1. Que représente la courbe d'Aston donnée ci-après?
2. Où se situent les noyaux les plus stables sur cette courbe?
3. Où se situent les noyaux les plus susceptibles de réaliser une fission? une fusion? Justifier la réponse.
4. Quel est l'ordre de grandeur de l'énergie de liaison par nucléon du noyau de nickel 60?
5. Quelle est l'ordre de grandeur de son énergie de liaison?



6. Comparer la stabilité des noyaux (voir l'activité préparatoire A)

1. Le noyau  ${}^6_3\text{Li}$  a une masse de 6,01350 u. Calculer son défaut de masse en unité de masse atomique.
2. On donne les défauts de masse de plusieurs noyaux :

Noyau	${}^{10}_4\text{Be}$	${}^{60}_{28}\text{Ni}$	${}^{208}_{82}\text{Pb}$	${}^{238}_{92}\text{U}$
Défaut de masse (en u)	0,006 97	0,565 57	1,756 58	1,933 94

- a. Déterminer les énergies de liaison des différents noyaux. Quelles seraient, en MeV, les énergies que l'on pourrait récupérer lors de la formation de ces noyaux à partir de nucléons isolés?
- b. Déterminer les énergies de liaison par nucléon, de ces noyaux.
3. Classer les noyaux, du plus stable au moins stable.

Données :  $m_n = 1,008\,66\text{ u}$ ;  $m_p = 1,007\,28\text{ u}$ ;  $1\text{ u}$  correspond à 931,5 MeV.

Étudier la fission nucléaire (§ 3 du cours)

7. Calculer l'énergie libérée par une réaction de fission

Sous l'impact d'un neutron, un noyau d'uranium 235 ( ${}^{235}_{92}\text{U}$ ) éclate en deux noyaux : du krypton  ${}^{90}_{36}\text{Kr}$  et du baryum  ${}^{143}_{56}\text{Ba}$ . Lors de cette réaction, il y a libération de neutrons.

1. Écrire l'équation de la réaction.
2. a. Calculer la perte de masse correspondante.
- b. Calculer l'énergie libérée par cette réaction.

Données :  $m_n = 1,008\,66\text{ u}$ ;  $m_p = 1,007\,28\text{ u}$ ;  $m({}^{235}_{92}\text{U}) = 234,993\,32\text{ u}$ ;  $m({}^{90}_{36}\text{Kr}) = 89,899\,72\text{ u}$ ;  $m({}^{143}_{56}\text{Ba}) = 142,889\,82\text{ u}$ .  $1\text{ u}$  correspond à 931,5 MeV;  $1\text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}\text{ J}$ .

8. Connaître les caractéristiques d'une réaction de fission

Lors de la fission d'un noyau d'uranium 235, dans un réacteur nucléaire, parmi les deux noyaux fils pouvant se former, on trouve ceux de zirconium  ${}^{90}_{40}\text{Zr}$  et de tellure  ${}^{134}_{52}\text{Te}$ . La fission se produit lors de l'impact d'un neutron sur un noyau d'uranium. Infirmer ou confirmer, en les justifiant, les propositions suivantes.

- a. L'équation de la fission s'écrit :  ${}^1_0\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{90}_{40}\text{Zr} + {}^{134}_{52}\text{Te} + x {}^1_0\text{n}$ , avec  $x = 2$ .
- b. Cette réaction est spontanée.
- c. Il y a libération d'énergie au cours de cette fission.
- d. Sur la courbe d'Aston,  $-\frac{E_\ell}{A} = f(A)$ , les deux noyaux formés sont « plus bas » que celui d'uranium.

Données :  $m({}^1_0\text{n}) = 1,00866\text{ u}$ ;  $m({}^{235}_{92}\text{U}) = 234,99332\text{ u}$ ;  $m({}^{90}_{40}\text{Zr}) = 98,893451\text{ u}$ ;  $m({}^{134}_{52}\text{Te}) = 133,88276\text{ u}$ ;  $E_\ell({}^{235}_{92}\text{U}) = 1\,783,6\text{ MeV}$ ;  $E_\ell({}^{90}_{40}\text{Zr}) = 845,5\text{ MeV}$ ;  $E_\ell({}^{134}_{52}\text{Te}) = 1\,123,3\text{ MeV}$ .

Étudier la fusion nucléaire (§ 4 du cours)

9. Écrire des réactions de fusion

Dans une étoile, la température et la pression sont telles que des réactions de fusion peuvent avoir lieu. La réaction de fusion de l'hydrogène  ${}^1_1\text{H}$  en hélium  ${}^4_2\text{He}$  se fait en plusieurs étapes :

- première étape : deux noyaux d'hydrogène  ${}^1_1\text{H}$  fusionnent pour donner un noyau de deutérium  ${}^2_1\text{H}$  avec émission d'une particule;
- deuxième étape : un noyau d'hydrogène et un noyau de deutérium fusionnent pour donner un noyau d'hélium  ${}^3_2\text{He}$ ;
- troisième étape : deux noyaux d'hélium  ${}^3_2\text{He}$  fusionnent en un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ . Il se forme également de l'hydrogène.

1. Écrire les équations traduisant chacune des étapes de fusion décrites ci-dessus. Préciser, si besoin, le nom de la particule émise.
2. En combinant les trois équations précédentes, écrire celle de fusion de l'hydrogène en hélium 4 ( ${}^4_2\text{He}$ ). Combien faut-il de noyaux d'hydrogène pour former un noyau d'hélium 4?



Exercices du chapitre Physique 5 : Noyaux, masse et énergie

10. Calculer l'énergie libérée par une réaction de fusion

L'une des nombreuses réactions pouvant se produire dans une étoile, comme le Soleil, est la fusion d'un noyau d'hydrogène 1,  $^1_1\text{H}$ , avec un noyau d'hydrogène 2,  $^2_1\text{H}$ , souvent appelé deutérium. Cette réaction forme un noyau d'hélium.

- Quelle est la composition du noyau d'hydrogène 1? Pourquoi est-il parfois noté  $^1_1\text{p}$ ?
- Écrire l'équation de la réaction.
- a. Calculer la perte de masse correspondante.  
b. Calculer l'énergie libérée par cette réaction en joule, puis en MeV.

Données :  $m_p = 1,672\,62 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ;  
 $m(^1_1\text{H}) = 3,343\,59 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ;  $m(^3_2\text{He}) = 5,006\,42 \times 10^{-27}\text{ kg}$ .  
 $c = 2,9979 \times 10^{-8}\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ;  $1\text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}\text{ J}$ .

Utilisation des acquis

12. Reconnaître une réaction nucléaire

- Compléter les équations ci-dessous.

- $^1_0\text{n} + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{90}_{36}\text{Kr} + ^{143}_{56}\text{Ba} + 2\,^1_0\text{n}$
- $^{223}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{219}_{86}\text{Rn} + \dots\text{X}$
- $^{222}_{86}\text{Rn}^* \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + \dots$
- $^{32}_{15}\text{P} \rightarrow ^{32}_{16}\text{S} + \dots\text{e}$
- $2\,^4_2\text{He} \rightarrow ^8_4\text{Be}$
- $^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow ^{56}_{26}\text{Fe} + ^4_1\text{e}$

- Indiquer le type de décomposition ( $\alpha$ ,  $\beta$ , fusion...).

14. Défaut de masse et énergie de liaison

Le noyau  $^{222}_{86}\text{Rn}$ , isotope du radon, est un descendant de l'uranium 238. Sa masse est  $m(^{222}\text{Rn}) = 221,97028\text{ u}$ .

- Déterminer les nombres de neutrons et de protons dans un noyau  $^{222}_{86}\text{Rn}$ .
- Calculer la masse de l'ensemble des nucléons séparés en unité de masse atomique.
- Calculer le défaut de masse du noyau de l'atome de radon 222 en unité de masse atomique, puis en kilogramme.
- a. Calculer, en joule, puis en MeV, l'énergie de liaison de ce noyau. **SOS**

- Quelle est l'énergie qu'il faudrait fournir à ce noyau, au repos, pour le dissocier en nucléons isolés immobiles?
- Calculer l'énergie de liaison par nucléon.

Données :  $m_n = 1,008\,66\text{ u}$ ;  $m_p = 1,007\,28\text{ u}$ ;  
 $1\text{ u} = 1,660\,54 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ;  $1\text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}\text{ J}$ ;  
 $c = 2,9979 \times 10^{-8}\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

15. Énergie de liaison d'isotopes d'un même élément

(voir l'exercice résolu 1)

« La matière première indispensable à la fabrication de l'hormone thyroïdienne est l'iode, que la thyroïde puise dans le sang; cette hormone est indispensable à la croissance. Les quantités d'iode nécessaires à sa synthèse sont minimales : un homme normal possède environ 10 microgrammes d'iode pour 100 mL de sang. À chaque instant, la thyroïde prélève dans le sang autant d'iode, sous forme d'iodure, qu'elle en sécrète sous forme hormonale; les quantités d'iode présentes dans le sang restent donc constantes. Néanmoins, l'utilisation de l'iode radioactif permet de suivre le métabolisme de l'iode et de mesurer la quantité d'hormone synthétisée. »

Extrait de Pour la science, dossier hors série, octobre 1996.

Parmi les isotopes de l'iode, l'iode 127 ( $^{127}_{53}\text{I}$ ) et l'iode 131 ( $^{131}_{53}\text{I}$ ), l'un est stable, l'autre est émetteur  $\beta^-$ .

- a. Calculer les énergies de liaison, en joule puis en MeV, de ces deux isotopes. **SOS**  
b. Quelle énergie faudrait-il fournir à chacun des deux noyaux, au repos, pour le dissocier en nucléons isolés au repos?

- a. Pour chacun des noyaux, calculer les énergies de liaison par nucléon.

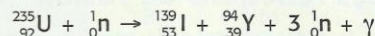
- En déduire l'isotope stable, puis l'isotope radioactif.

Données :  $m(^{127}_{53}\text{I}) = 2,106\,831 \times 10^{-25}\text{ kg}$ ;  
 $m(^{131}_{53}\text{I}) = 2,173\,279 \times 10^{-25}\text{ kg}$ ;  $m_n = 1,008\,66\text{ u}$ ;  
 $m_p = 1,007\,28\text{ u}$ ;  $1\text{ u} = 1,660\,54 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ;  
 $c = 2,9979 \times 10^{-8}\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $1\text{ u}$  correspond à 931,5 MeV.

16. Bilan d'énergie d'une réaction de fission

Dans une centrale nucléaire, on utilise des noyaux d'uranium 235 comme combustible fissile.

L'un des modes de fission nucléaire de l'uranium 235 est le suivant :



- Calculer, en MeV, puis en joule, l'énergie libérée au cours de cette fission.

- Sous quelles formes apparaît cette énergie libérée? **SOS**

- Cette réaction peut-elle engendrer une réaction en chaîne?

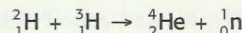
- a. Calculer la quantité d'énergie libérée lors de la fission de 1 kg d'uranium 235.

- Calculer la masse de pétrole qui produirait la même quantité d'énergie. Conclure en comparant les deux masses.

Données :  $m(^{235}\text{U}) = 234,993\,32\text{ u}$ ;  $m(^{139}\text{I}) = 138,896\,95\text{ u}$ ;  
 $m(^{94}\text{Y}) = 93,890\,4\text{ u}$ ;  $m_n = 1,008\,66\text{ u}$ ;  $1\text{ u}$  correspond à une énergie de 931,5 Mev; 1 kg de pétrole peut produire 42 MJ d'énergie.  
 $1\text{ MeV} = 1,602 \times 10^{-13}\text{ J}$ ;  $N_A = 6,02 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$ .  
 $M(^{235}\text{U}) = 235\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

17. Bilan d'énergie d'une réaction de fusion (voir l'exercice résolu 2)

La réaction thermonucléaire suivante est l'une des plus énergétiques :



- Calculer, en MeV, l'énergie dégagée par cette réaction.
- a. Calculer l'énergie libérée lors de la formation de 1 kg d'hélium. **SOS**  
b. Calculer la masse de pétrole qui fournirait la même quantité d'énergie. Conclure en comparant les deux masses.

Données :  $m(^2\text{H}) = 2,013\,55\text{ u}$ ;  $m(^3\text{H}) = 3,015\,50\text{ u}$ ;  
 $m_\alpha = 4,0015\text{ u}$ ;  $m_n = 1,008\,66\text{ u}$ .  
Pouvoir calorifique du pétrole : 42 MJ  $\cdot\text{ kg}^{-1}$ .  
 $N_A = 6,02 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$  ;  $1\text{ u}$  correspond à 931,5 MeV.

19. Décomposition spontanée

L'ytterbium  $^{165}_{70}\text{Yb}$  se décompose spontanément en thulium (Tm) par émission  $\beta^+$ .

- Écrire l'équation de désintégration de l'ytterbium.
- Peut-on affirmer que le thulium est plus stable que l'ytterbium?
- Au cours de cette désintégration, on calcule une perte de masse de  $2,41 \times 10^{-3}\text{ u}$ .  
a. Donner l'expression littérale du calcul réalisé.  
b. Cette désintégration libère-t-elle de l'énergie?
- L'énergie de liaison de l'ytterbium est de  $1,337 \times 10^3\text{ MeV}$ ; celle du thulium de  $1,341 \times 10^3\text{ MeV}$ .  
a. Calculer l'énergie de liaison par nucléon pour chacun des noyaux.  
b. Le résultat confirme-t-il la réponse donnée à la question 2.?

20. Étude d'une réaction nucléaire provoquée

Des noyaux de lithium au repos,  $^7_3\text{Li}$ , sont bombardés avec des protons d'énergie cinétique 600 keV. On obtient deux particules  $\alpha$ .

- Écrire l'équation de cette réaction nucléaire.
- Quelle est la perte de masse?
- En appliquant la loi de conservation de l'énergie, calculer la somme des énergies cinétiques des deux particules  $\alpha$ . **SOS**

Données :  $m(^7_3\text{Li}) = 7,014\,35\text{ u}$ ;  $m_p = 1,007\,28\text{ u}$ ;  
 $m(^4_2\text{He}) = 4,001\,50\text{ u}$ ;  
 $1\text{ u}$  correspond à 931,5 MeV.