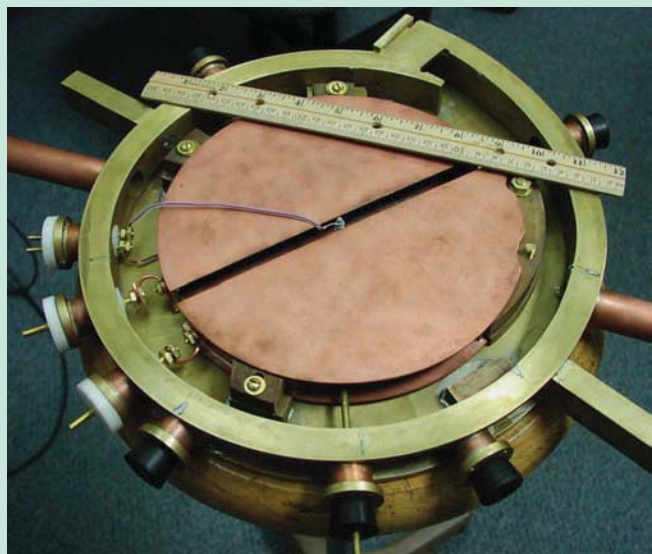


LE NOYAU ATOMIQUE

10



Le cyclotron est un exemple d'accélérateur de particules utilisé au laboratoire pour le développement des recherches sur le noyau atomique.

- ◆ Que signifie la formule emblématique ($E = mc^2$) citée couramment pour évoquer Einstein ?
- ◆ Qu'est-ce qui rend certains noyaux atomiques naturels plus ou moins stables que d'autres ?
- ◆ Qu'est-ce qui fait de l'uranium un élément chimique précieux dans le domaine du nucléaire ?

NOYAU ATOMIQUE

On sait que l'atome, cette plus petite entité insécable de la matière et électriquement neutre, est constitué d'une partie centrale chargée positivement (le noyau) et d'un cortège de très petites particules chargées négativement et en mouvement rapide et incessant (les électrons). Ce chapitre a pour objet l'étude du noyau : structure, cohésion et stabilité.

1 STRUCTURE ET COHÉSION DU NOYAU (Rappels)

Dans le tableau ci-dessous, on donne les masses de quatre atomes et celles de leurs noyaux :

Atome ou noyau	Symbole	Masse du noyau (10^{-27}kg)	Masse de l'atome (10^{-27}kg)
Hélium 4	${}^4_2\text{He}$	6,6447	6,6465
Carbone 12	${}^{12}_6\text{C}$	19,9211	19,9266
Carbone 14	${}^{14}_6\text{C}$	23,2476	23,2531
Uranium 235	${}^{235}_{92}\text{U}$	390,1989	390,3021

Questions

1°) Comparer les masses des atomes cités dans le tableau avec celles de leurs noyaux. Conclure.

2°) a) Quels nombres de particules désigne-t-on par les nombres Z et A dans le symbole ${}^A_Z\text{X}$ de chacune des entités citées.

b) Pourquoi appelle-t-on Z , nombre de charge et A , nombre de masse du noyau ou de l'atome ?

c) Est-ce que le nombre de charge Z d'un noyau peut être différent du numéro atomique de l'élément correspondant ?

3°) Qu'est-ce qui différencie les noyaux de carbone cités dans le tableau ?

4°) Malgré la répulsion due aux forces électrostatiques s'exerçant entre les protons, le noyau est un édifice stable de protons et de neutrons. Expliquer le caractère répulsif de cette interaction électrique ainsi que la cohésion du noyau.

Le noyau atomique est constitué de protons et de neutrons appelés nucléons.

On caractérise le noyau par le nombre de masse A , nombre total de ses nucléons et par le nombre de charge Z , nombre total des protons, d'où le symbole ${}^A_Z\text{X}$.

Le noyau est d'une dimension 100000 fois plus petite que celle de l'atome dont le rayon est de l'ordre de 100 pm. Malgré sa petitesse, il renferme la quasitotalité de la masse de l'atome dont il fait partie.

Il existe des noyaux de même nombre de charge Z mais de nombre de masse A différents : ce sont les noyaux d'isotopes de numéro atomique Z .

Un élément chimique naturel peut exister sous la forme d'un mélange isotopique de composition bien déterminée.

La cohésion du noyau est due à une interaction forte qui permet de maintenir les protons ensemble malgré leur répulsion. L'expérience montre que des forces nucléaires (forces de courte portée) s'exercent entre tous les nucléons du noyau indépendamment de leur nature (protons ou neutrons). A une même distance, ces forces attractives sont 100 fois plus intenses que les forces coulombiennes répulsives. C'est pour cette raison que les forces nucléaires gouvernent le noyau atomique dont elles assurent sa cohésion.

Remarque

La notation symbolique A_ZX est utilisée aussi pour représenter les particules élémentaires. Ainsi, le proton est représenté par 1_1p , le neutron par 1_0n .

2 EQUIVALENCE MASSE-ÉNERGIE

2.1- DÉFAUT DE MASSE

Exemple

On considère un noyau de lithium ${}^7_3\text{Li}$ de masse $m_0 = 7,01435 \text{ u}$ et initialement au repos dans un référentiel donné.

Questions

1°) Sachant que l'unité de masse (u) est par définition, le douzième de la masse d'un atome de carbone 12, montrer qu'elle est égale à $1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

2°) Pour le noyau de lithium :

a) calculer en u , la masse totale m de ses nucléons à l'état libre et au repos.

b) comparer la masses m_0 du noyau à la masse totale m de ses nucléons à l'état libre et au repos.

3°) Calculer la différence de masse $\Delta m = m - m_0$.

4°) $\Delta m = m - m_0$ s'appelle le défaut de masse du noyau.

Justifier cette appellation.

On donne les masses :

- de l'atome de carbone 12 : $m_C = 19,93 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.
- du proton : $m_p = 1,007276 \text{ u}$.
- du neutron : $m_n = 1,008665 \text{ u}$.

On montre par le calcul que la masse du noyau de lithium est inférieure à la masse totale de ses constituants (nucléons) pris séparément au repos. Cette constatation faite à propos du noyau de lithium se généralise à tous les noyaux :

la masse m_0 d'un noyau, immobile, est inférieure à la masse totale m de ses nucléons pris séparément et au repos, ce qui nous laisse penser que la formation d'un noyau en ses nucléons pris isolément s'accompagne d'une perte de masse $\Delta m = m - m_0$ c'est le défaut de masse.

Définition

Le défaut de masse Δm d'un noyau est égal à la masse de ses nucléons, pris séparément et au repos, diminuée de la masse du noyau.

Pour un noyau de symbole ${}^A_Z X$:

$$\Delta m(X) = Zm_p + (A-Z)m_n - m_X$$

ou m_X est la masse du noyau, m_p celle du proton et m_n celle du neutron.

Remarque

D'après cette définition, le défaut de masse est une grandeur positive.

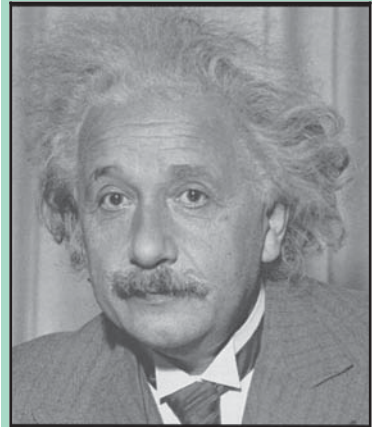
2.2- L'ÉNERGIE DE MASSE

Un noyau n'étant constitué que de protons et de neutrons, on s'attendait à ce que sa masse soit simplement égale à celle de ses constituants. Mais ce n'est pas le cas : l'apparition d'un défaut de masse notable est fort surprenant. En quoi est convertie la masse manquante ?

Pour Einstein*, la masse est une forme d'énergie potentielle. Il postula, en 1905, le principe suivant : ***“Tout corps au repos dans un référentiel donné possède du seul fait de sa masse m , une énergie potentielle appelée énergie de masse donnée par la relation : $E_0 = m c^2$ où c représente la célérité de la lumière dans le vide”***

Cette relation, connue sous le nom de relation d'Einstein, traduit une équivalence entre la masse et l'énergie : de l'énergie peut se transformer en masse, c'est-à-dire se matérialiser sous forme de particule ; inversement la masse peut être convertie en énergie.

Par conséquent, tout défaut de masse équivaut à une variation d'énergie potentielle de masse : $\Delta E = \Delta m c^2$.



Albert Einstein (1879-1955) : l'un des grands esprits scientifiques. Il publia, en 1905 entre autres, les bases de la théorie de la relativité ; Il obtient le prix Nobel en 1921 et il est élu savant du siècle en 2000.

Remarque :

Vu que l'unité usuelle de l'énergie est le MeV, d'après la relation d'Einstein, la masse m a la dimension d'une énergie par c^2 : c'est le $\text{MeV}\cdot c^{-2}$.

En particulier, $1u$ vaut environ $931.5 \text{ MeV}\cdot c^{-2}$.

3 STABILITÉ DU NOYAU

Tout noyau a une masse m au repos, dans un référentiel donné, inférieure à la masse totale de ses constituants (nucléons). Par conséquent, ce défaut de masse qui varie d'un noyau à l'autre a-t-il une influence sur leur stabilité ?

3.1- ENERGIE DE LIAISON

Définition

L'énergie de liaison, notée E_ℓ , est l'énergie qu'il faut fournir à un noyau au repos pour le dissocier en nucléons isolés et immobiles.

Question

En utilisant la relation d'Einstein et le principe de la conservation de l'énergie, montrer que l'énergie de liaison d'un noyau ${}_Z^A X$ s'écrit : $E_\ell = \Delta m \cdot c^2$.

Mise en évidence

On considère la transformation au cours de laquelle, un noyau ${}_Z^A X$ se dissocie en ses nucléons.

On suppose que toutes les particules mises en jeu sont au repos dans le référentiel choisi. Donc, leur énergie de liaison est purement de masse.

- Avant transformation : $E_1 = m_X \cdot c^2$; c'est l'énergie de masse du noyau.

- Après transformation : $E_2 = Z \cdot E_p + (A-Z) \cdot E_n$; c'est l'énergie de masse des nucléons.

Or, $E_p = m_p \cdot c^2$ et $E_n = m_n \cdot c^2$, d'où $E_2 = (Z m_p + (A-Z) m_n) \cdot c^2$.

Vu que $Z m_p + (A-Z) m_n > m_X$, il vient $E_2 > E_1$. Donc, l'énergie E_1 ne peut être l'énergie totale du noyau ${}_Z^A X$.

Le plus qu'il faut ajouter est l'énergie E_ℓ qu'il faut apporter de l'extérieur afin de pouvoir dissocier le noyau.

Par conséquent, le principe de la conservation de l'énergie totale s'écrit : $E_\ell + E_1 = E_2$.

D'où : $E_\ell = E_2 - E_1$ qui peut s'écrire

$$E_\ell = (Z m_p + (A - Z) m_n) \cdot c^2 - m_X \cdot c^2 = \Delta m(X) \cdot c^2.$$

Ainsi, l'énergie de liaison d'un noyau est la différence entre la somme des énergies de masse de ses nucléons pris séparément et son énergie de masse.

Conclusion :

L'énergie de liaison d'un noyau est une traduction énergétique de son défaut de masse : $E_\ell = \Delta m \cdot c^2$.

3.2- ENERGIE DE LIAISON PAR NUCLÉON

Pour évaluer la stabilité d'un noyau et la comparer à celle des autres noyaux, on ne peut se fier à la valeur de l'énergie de liaison parce que tous les noyaux n'ont pas le même nombre de nucléons. On recourt à l'énergie de liaison par nucléon.

Définition

L'énergie de liaison par nucléon, notée E_ℓ/A est l'énergie moyenne de liaison E_ℓ par nucléon.

Propriété :

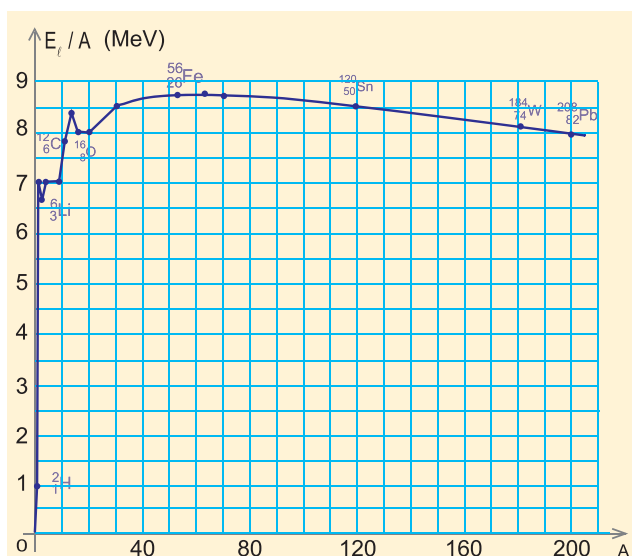
L'énergie de liaison E_ℓ d'un noyau est pratiquement proportionnelle au nombre total A des nucléons constitutifs.

Alors, E_ℓ/A peut se calculer comme étant le quotient de l'énergie de liaison E_ℓ par le nombre de masse A .

$$E_\ell / A = \frac{E_\ell}{A}$$

3.3- INFLUENCE DU NOMBRE DE MASSE

Parmi les études quantitatives faites sur l'évolution de E_ℓ/A en fonction de A , on retient celle illustrée par la courbe de la figure ci-dessous connue sous le nom de courbe d'Aston.



La courbe d'Aston est caractérisée par :

- un niveau zéro de l'énergie correspondant aux nucléons séparés et au repos.
- un minimum d'énergie ($30 < A < 80$) correspondant aux noyaux dont les nucléons sont les plus liés, donc les plus stables.

Ainsi, la courbe d'Aston permet d'illustrer la stabilité relative des noyaux. Les noyaux légers ($A < 20$) et les noyaux lourds ($A > 190$) sont instables car ils ont une faible énergie de liaison par nucléon tandis que les noyaux de nombre de masse moyen (voisin de 60) sont stables parce qu'ils ont l'énergie de liaison par nucléon la plus élevée.

Exemple : Ayant un nombre de masse $A = 56$, l'isotope du fer est très stable, ce qui explique sa très grande abondance (91,68%) dans la nature.

Remarque

Etant particulièrement stables, les cinq noyaux légers vérifiant $A = 2Z$ font l'exception.

Conclusion

Un noyau est d'autant plus stable que son énergie de liaison par nucléon est plus grande.

Les noyaux naturels les plus stables sont ceux de nombre de masse voisin de 60 : $7,8 \text{ MeV} < E_l/A < 8,8 \text{ MeV}$.

L'essentiel

- ◆ Une particule de masse m , au repos dans un référentiel donné, a une énergie de masse : $E_0 = m c^2$ avec c la célérité de la lumière dans le vide.

C'est la relation d'Einstein.

- ◆ La relation d'Einstein traduit l'équivalence masse-énergie.
- ◆ La masse est une forme d'énergie potentielle.
- ◆ La dissociation d'un noyau au repos A_ZX en nucléons séparés s'accompagne d'un défaut de masse : $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m({}^A_ZX)$ équivalent à $\Delta E = \Delta m c^2$.
- ◆ Le MeV et le $\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2}$ sont des unités respectivement d'énergie et de masse, adoptées à l'échelle du noyau de l'atome.

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

- ◆ L'énergie de liaison d'un noyau A_ZX est l'énergie qu'il faut lui fournir quand il est au repos dans un référentiel donné, pour le dissocier en nucléons séparés et au repos dans le même référentiel.

$$E({}^A_ZX) = \Delta m({}^A_ZX) \cdot c^2$$

- ◆ L'énergie de liaison par nucléon varie avec le nombre de masse A . Plus elle est élevée, plus le noyau est stable.

$$E_\ell / A({}^A_ZX) = \frac{E_\ell / A({}^A_ZX)}{A} = \frac{\Delta m \cdot c^2}{A}$$

- ◆ Les noyaux les plus stables sont ceux dont le nombre des nucléons constitutifs est voisin de 60, ils ont une énergie de liaison par nucléon de l'ordre de 8 MeV.

Exercices

Exercice résolu

ÉNONCÉ

Le noyau de radon ${}_{86}^{222}\text{Rn}$, a une masse $m = 221,97028 \text{ u}$.

- 1°) a) Quelle est la signification des nombres 86 et 222 ?
b) Donner la composition du noyau de radon 222.
c) En déduire, en unité de masse atomique (u), la masse des nucléons séparés.
- 2°) Calculer, en unité de masse atomique, le défaut de masse relatif au noyau de radon.
- 3°) a) Calculer, en MeV, l'énergie de liaison du noyau de radon 222.
b) En déduire, en MeV, la valeur de l'énergie de liaison par nucléon du même noyau.
- 4°) L'énergie de liaison de l'uranium 238 est $E_\ell = 1801,5 \text{ MeV}$.
Montrer que l'uranium 238 est moins stable que le radon 222 bien que son énergie de liaison est plus grande.
On donne :
 $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV} \cdot \text{c}^{-2}$.
la masse d'un proton : $m_p = 1,00728 \text{ u}$.
la masse d'un neutron : $m_n = 1,00867 \text{ u}$.

SOLUTION

1°) a) ${}^A_Z\text{X}$ étant le symbole d'un noyau, on peut affirmer que 86 est le nombre de charge Z et 222 est le nombre de masse A du noyau de ${}_{86}^{222}\text{Rn}$.

b) Le nombre de charge Z est le nombre de protons que renferme le noyau.

Le noyau de radon renferme donc **86 protons**.

Le nombre de masse A représente le nombre de nucléons que renferme le noyau.

Par conséquent, le nombre de neutrons est **$N = A - Z = 136$** .

c) Soit m la masse totale des nucléons : $m = 86 m_p + 136 m_n$.

A.N : **$m = 223,80529 \text{ u}$** .

2°) $\Delta m = m - m({}_{86}^{222}\text{Rn})$.

A.N : $\Delta m = 1,83501 \text{ u}$.

3°) a) Par définition, l'énergie de liaison de ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ est : $E_\ell = \Delta m \cdot \text{c}^2$.

soit numériquement : **$E_\ell = 1709,3 \text{ MeV}$** .

b) L'énergie de liaison par nucléon est $E_\ell / A({}_{86}^{222}\text{Rn}) = \frac{E_\ell(\text{Rn})}{222}$.

A.N : **$E_\ell / A({}_{86}^{222}\text{Rn}) = 7,7 \text{ MeV}$** .

4°) Pour comparer les stabilités des deux noyaux, on compare leurs énergies de liaison par nucléon et non leurs énergies de liaison.

L'énergie de liaison par nucléon de l'uranium est $E_\ell / A = \frac{E_\ell(\text{U})}{238} = 7,57 \text{ MeV}$.

D'où, $E_\ell / A({}_{86}^{222}\text{Rn}) > E_\ell / A({}_{92}^{238}\text{U})$. Donc, **le radon 222 est plus stable que l'uranium 238**.



Exercices à résoudre



Tests rapides des acquis

1

Items "vrai ou faux"

Evaluer les propositions suivantes par vrai ou faux.

- 1- Le $\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2}$ est une unité de masse utilisée à l'échelle de l'univers.
- 2- L'argon 40 et le potassium 40 sont des isotopes.
- 3- Les noyaux de deux isotopes ont la même valeur de l'énergie de liaison par nucléon.
- 4- La masse d'un noyau est égale à la somme des masses de ses nucléons libres et au repos.
- 5- La valeur de l'énergie de liaison d'un noyau lourd est plus grande que celle d'un noyau léger.

- 6- Plus son énergie de liaison est élevée, plus le noyau est stable.
- 7- Entre deux noyaux, celui qui a l'énergie de liaison moyenne par nucléon la plus faible est le plus stable.
- 8- La courbe d'Aston permet de comparer la stabilité d'un noyau à celle d'un autre.
- 9- Tous les noyaux légers ayant un nombre de masse $A < 20$ sont instables.
- 10- Tous les noyaux lourds ayant $A > 200$ sont instables.

2

Questions à Choix Multiples

Préciser pour chacune des questions suivantes, la (ou les) proposition(s) juste(s).

■ I- L'interaction forte:

- a- ne s'exerce pas entre les neutrons,
- b- est de très courte portée,
- c- est de nature gravitationnelle.

■ II- La masse d'une particule :

- a- n'est une forme d'énergie que lorsqu'elle est en mouvement,
- b- est une forme d'énergie potentielle,
- c- est une forme d'énergie cinétique.

■ III- L'énergie de liaison par nucléon d'un noyau d'uranium 238 ($Z = 92$) a pour valeur 7,57 MeV, celle d'un noyau de bore 10 ($Z = 5$) a pour valeur 6,48 MeV.

Le noyau d'uranium 238 est plus stable que le noyau de bore 10 parce que :

- a- sa masse est supérieure à celle du noyau de bore 10,
- b- son énergie de liaison par nucléon est la plus grande,
- c- il a le plus grand nombre de nucléons,
- d- son énergie de liaison est la plus grande.

■ IV- Deux noyaux correspondent à des isotopes lorsqu'ils possèdent le même nombre de :

- a- protons,
- b- nucléons,
- c- neutrons,
- d- charge.

■ V- Un noyau est d'autant plus stable que :

- a- son énergie de liaison par nucléon est plus élevée,
- b- son énergie de liaison est plus élevée,
- c- le défaut de masse est plus faible.

■ VI- L'énergie de liaison d'un noyau est :

- a- l'énergie libérée par le noyau lorsqu'il se forme à partir de ses nucléons libres et au repos,
- b- l'énergie qu'il faut fournir à ce noyau au repos dans un référentiel donné pour le dissocier en ses constituants au repos dans le même référentiel,
- c- l'énergie équivalente au défaut de masse du noyau.

Exercices d'application

Pour tous les exercices, on donne :

$$1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV} \cdot c^{-2}.$$

la masse d'un proton : $m_p = 1,00728 \text{ u}$.

la masse d'un neutron : $m_n = 1,00867 \text{ u}$.

nombre d'Avogadro : $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$.

3 Calculer, en u, la masse d'un noyau d'hélium de symbole ${}^4_2\text{He}$ et d'énergie de masse $E_0 = 3727,4 \text{ MeV}$.

4 Calculer, en MeV, l'énergie de masse d'un noyau d'uranium 238 de symbole ${}^{238}_{92}\text{U}$ et de masse $m = 3,952 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$.

5 On considère deux isotopes du rubidium : le rubidium ${}^{85}_{37}\text{Rb}$ et rubidium ${}^{89}_{37}\text{Rb}$.

1°) Définir l'énergie de liaison d'un noyau.

2°) Calculer les énergies de liaison de ces deux isotopes. En déduire leurs énergies de liaison par nucléon.

3°) Comparer les stabilités relatives de ces deux noyaux.

On donne :

$$m({}^{85}_{37}\text{Rb}) = 84,89144 \text{ u}$$

$$m({}^{89}_{37}\text{Rb}) = 88,89193 \text{ u}.$$

6 L'isotope d'hélium le plus abondant dans la nature est l'atome ${}^4_2\text{He}$.

La masse de son noyau est $m_1 = 4,0015 \text{ u}$.

1°) Donner sa composition.

2°) Calculer son défaut de masse.

3°) Déterminer l'énergie nécessaire qu'il faut fournir à ce noyau pour libérer ses nucléons.

4°) Parmi les isotopes de l'hélium 4, on considère l'hélium 3 de masse $m_2 = 3,0149 \text{ u}$ et l'hélium 6 de masse $m_3 = 6,0178 \text{ u}$.

Classer les trois isotopes de l'hélium suivant leurs stabilité relative croissante.

7 Soit le noyau d'uranium 238 ($Z = 92$) de masse $m = 238,0508 \text{ u}$.

1°) Ecrire le symbole de ce noyau. En déduire sa composition en protons et neutrons.

2°) Calculer son énergie de liaison.

3°) En déduire en MeV, son énergie de liaison par nucléon.

4°) Calculer en joules, l'énergie W qu'il faudra fournir à une mole d'uranium 238 initialement immobile dans un référentiel donné, pour dissocier les noyaux qu'elle renferme en leurs nucléons obtenus isolés et au repos dans le même référentiel.

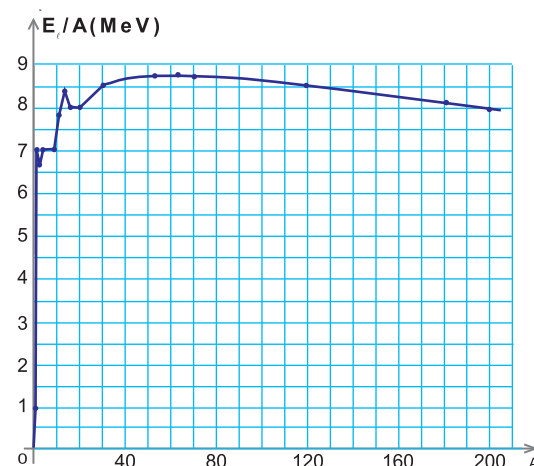
Exercices de synthèse

8 Les masses des noyaux ${}^{16}_8\text{O}$ et ${}^4_2\text{He}$ sont respectivement $m_1 = 15,9950 \text{ u}$ et $m_2 = 4,0026 \text{ u}$.

1°) Calculer l'énergie de liaison par nucléon pour chaque noyau.

2°) Lequel des deux noyaux est le plus stable ?

3°) La courbe ci-dessous est la courbe d'Aston qui illustre la stabilité des noyaux.



Reproduire la courbe et y situer les noyaux d'oxygène et d'hélium. Leur position confirme-t-elle la réponse à la deuxième question ?

9 1°) En exploitant la courbe d'Aston de l'exercice précédent, indiquer la zone où se situent les noyaux les plus stables. En déduire le noyau le plus stable.

2°) On considère les noyaux de carbone ^{12}C et de l'uranium ^{238}U .

- a) Donner leur énergie de liaison par nucléon.
b) Caculer leur énergie de liaison. En déduire que l'énergie de liaison ne permet pas de comparer la stabilité de ces deux noyaux.

10 1°) Définir l'énergie de liaison d'un noyau.

2°) a) Calculer, en joules puis en MeV, l'énergie de liaison du noyau de lanthane $^{139}_{57}\text{La}$.

b) Calculer, en MeV, l'énergie de liaison par nucléon du noyau de lanthane 139.

3°) La courbe d'Aston dont l'allure est donnée dans le cours représente l'évolution de l'énergie par nucléon des noyaux en fonction de leur nombre de masse.

a) On admet que la courbe d'Aston peut être assimilée à une droite D d'équation $y = aA + b$ pour les noyaux dont le nombre de nucléons est supérieur ou égal à 80.

Calculer en MeV, la valeur de y pour les noyaux $^{80}_{34}\text{Se}$ et $^{235}_{92}\text{U}$. En déduire a et b .

b) Vérifier que la valeur de l'énergie de liaison par nucléon calculée pour le lanthane 139 à partir de l'équation de la droite D est compatible avec la valeur calculée à la question 2°) si on se contente d'une évaluation à 0,1 MeV près.

On donne : $m_{\text{La}} = 138,9060 \text{ u}$,

$m_{\text{U}} = 235,0439 \text{ u}$, $m_{\text{Se}} = 79,9165 \text{ u}$

11 Le noyau de magnésium (Mg) renfermant 12 protons et 12 neutrons a une masse $m_{\text{Mg}} = 23,97868 \text{ u}$.

1°) Déterminer le symbole du noyau de magnésium 24.

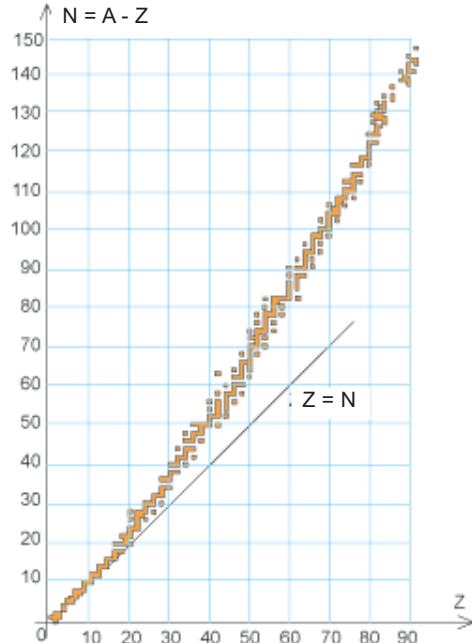
2°) Donner l'expression de l'énergie de masse E_{Mg} de ce noyau en fonction de m_{Mg} et de la célérité c de la lumière dans le vide.

3°) Calculer, en MeV, les énergies de masse E_p du proton et E_n du neutron.

4°) Montrer que l'énergie de liaison E_l du magnésium 24 peut s'écrire sous la forme : $E_l = 12(E_p + E_n) - E_{\text{Mg}}$. La calculer en MeV.

12 Étude de texte Les noyaux naturels stables

Les noyaux stables sont caractérisés par des nucléons qui ne se répartissent pas de façon aléatoire mais selon des combinaisons particulières dont on retient celle reliant le nombre de protons au nombre de neutrons (diagramme ci-dessous).



La cohésion d'un noyau en dépit des interactions électrostatiques est due à des interactions intranucléaires caractérisées par un rayon d'action très faible (de l'ordre du fermi) et une décroissance exponentielle avec la distance entre nucléons. Afin de garder un jeu subtil entre ces deux interactions antagonistes, un noyau stable, au delà de $Z = 20$, doit avoir un excès de neutrons ($N > Z$). Néanmoins, cette condition cesse d'être valable pour les noyaux de nombre charge au delà de 83.

On donne : $1 \text{ fermi} = 10^{-15} \text{ m}$.

Questions

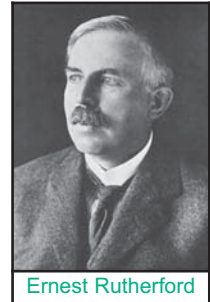
1°) Préciser parmi les deux types d'interactions citées, celles qui sont de courte portée.

2°) Quelles sont parmi les combinaisons des nucléons, celles qui forment un noyau stable.

3°) Pourquoi, tout noyau vérifiant $Z > N$ est qualifié d'instable ?

En savoir plus

De l'histoire du noyau atomique



Ernest Rutherford

L'existence du noyau atomique fut découverte en 1911 par Rutherford. En exposant une feuille d'or aux particules alpha émises par une source radioactive, il constate que la plupart d'entre elles traversent la feuille métallique utilisée : preuve de la structure lacunaire de la matière. Toutefois, certaines de ces particules sont diffusées par la feuille d'or, c'est-à-dire, elles sont déviées dans plusieurs directions, sachant que quelques unes subissent une déviation d'un angle supérieur à 90° . Ces constatations conduisent Rutherford à admettre l'existence d'un corpuscule très dense au centre de l'atome et porteur d'une charge positive opposée à la charge totale de son cortège électronique : c'est le noyau. Il rejette alors le modèle statique de l'atome (modèle des grecs datant de 420 avant J.C.) et propose un modèle dynamique : son modèle planétaire de l'atome, où des électrons gravitent sans cesse autour du noyau sous l'effet de l'interaction électromagnétique, tout comme les planètes qui tournent autour du Soleil sous l'effet de l'interaction gravitationnelle. De plus, Rutherford comprend que le noyau est constitué de nucléons de deux sortes, les protons qui ont une charge positive et les neutrons qui sont électriquement neutres. Effectivement, il démontre en 1919 que l'atome contient des protons. Toutefois, leur coexistence avec les neutrons ne sera mise en évidence qu'en 1932 par son élève James Chadwick.

La stabilité du noyau tient en premier lieu à un équilibre entre les nombres de neutrons et de protons. En effet, les protons chargés électriquement se repoussent du fait de l'interaction électromagnétique, mais cette dernière est contrebalancée par l'interaction forte entre nucléons (protons et neutrons). Il existe quelques 260 noyaux stables dans la nature, pour des nombres de protons allant de 1 (hydrogène) à 83 (bismuth). Lorsque l'équilibre entre protons et neutrons n'est pas respecté, le noyau est instable et se transforme en un autre noyau plus stable au bout d'un temps variable : c'est le phénomène de radioactivité. Plus le déséquilibre est grand, plus le temps moyen que met le noyau à se transformer (sa durée de vie) est court. Cette durée de vie peut aller de plusieurs milliards d'années à quelques millièmes de secondes selon le noyau.

L'avènement des accélérateurs de particules, dans les années 1930, a révolutionné l'étude du noyau atomique. En effet, en procédant à des collisions violentes entre deux noyaux, ces accélérateurs permettent d'apporter de l'énergie au noyau, de le faire vibrer ou tourner très rapidement, ou encore de produire de nouveaux noyaux instables. Pour mieux comprendre la structure du noyau et les interactions entre ses constituants, on effectue des chocs violents entre noyaux et on observe les particules et le rayonnement émis au cours des réactions produites dans ces collisions. Les physiciens utilisent pour cela des détecteurs qui transforment les caractéristiques des particules (énergie cinétique, charge électrique...) en signaux électriques qui sont mesurés, enregistrés et analysés. C'est ainsi qu'ont pu être étudiés les quelques 3000 noyaux observés à nos jours et dont la plupart sont instables. On s'attend à en découvrir encore autant de nouveaux, mais ce qui n'est pas facile car plus un noyau est instable, plus les chances de réussir à le produire dans une réaction sont faibles. Ces noyaux, situés aux limites de ce qu'on est capable d'atteindre aujourd'hui, sont appelés les noyaux exotiques : noyaux ne comportant pas le nombre normal de protons et de neutrons.

Aujourd'hui les chercheurs utilisent des accélérateurs de particules pour produire de nouveaux atomes à noyaux exotiques. En fait, la détermination de leur durée de vie, de leur masse, de leur aimantation et leur forme entre autres paramètres permet d'affiner les modèles de physique nucléaire, utilisés pour étudier de nouvelles filières énergétiques ou les réactions qui se déroulent dans les étoiles.

Objectifs

- ◆ Justifier l'émission de rayonnements radioactifs.
- ◆ Ecrire les équations des réactions nucléaires spontanées et celles des réactions nucléaires provoquées.
- ◆ Appliquer la loi de désintégration pour des durées multiples de la période du radioélément.
- ◆ Calculer l'activité d'un échantillon radioactif.
- ◆ Distinguer les réactions nucléaires spontanées des réactions nucléaires provoquées.
- ◆ Distinguer la fission de la fusion nucléaire.
- ◆ Justifier la variation d'énergie accompagnant la fission et la fusion nucléaires.
- ◆ Evaluer l'énergie libérée au cours des réactions nucléaires de fission et de fusion.

Prérequis

SAVOIR	SAVOIR FAIRE
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Donner la structure d'un atome. ◆ Définir les isotopes d'un élément chimique. ◆ Donner la composition du noyau atomique. ◆ Enumérer les caractéristiques des nucléons. ◆ Définir l'énergie de liaison d'un noyau et son énergie de liaison par nucléon. ◆ Définir un photon. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Reconnaître les isotopes. ◆ Ecrire le symbole d'un noyau atomique connaissant sa composition et inversement. ◆ Evaluer, en u et en $\text{MeV}\cdot\text{c}^{-2}$, le défaut de masse résultant de la formation d'un noyau. ◆ Calculer l'énergie de liaison d'un noyau et son énergie de liaison par nucléon. ◆ Comparer la stabilité de deux ou de plusieurs noyaux, connaissant les valeurs de leur énergie de liaison par nucléon.