

Cadre de référence de la leçon

- (PH2.2.1) Définir et calculer le défaut de masse et l'énergie de liaison.
- (PH2.2.2) Définir et calculer l'énergie de liaison par nucléon et l'exploiter.
- (PH2.2.3) Utiliser les différentes unités de masse et d'énergie et les relations entre ces unités.
- (PH2.2.4) Exploiter la courbe d'Aston pour identifier les noyaux les plus stables.
- (PH2.2.5) Connaître la relation d'équivalence masse-énergie et calculer l'énergie de masse.
- (PH2.2.6) Définir la fission et la fusion.
- (PH2.2.7) Analyser la courbe d'Aston pour dégager l'intérêt énergétique de la fission et de la fusion.
- (PH2.2.8) Écrire les équations des réactions nucléaires de fission et de fusion en appliquant les deux lois de conservation.
- (PH2.2.9) Reconnaître le type de réaction nucléaire à partir de l'équation de la réaction.
- (PH2.2.10) Faire le bilan énergétique ΔE d'une réaction nucléaire en utilisant les énergies de masse, les énergies de liaison ou le diagramme d'énergie.
- (PH2.2.11) Calculer l'énergie libérée (produite) par une réaction nucléaire : $E_{\text{libérée}} = |\Delta E|$.
- (PH2.2.12) Reconnaître quelques applications de la radioactivité.
- (PH2.2.13) Connaître quelques dangers de la radioactivité.

Compétence ciblée

- (CC2) Les transformations nucléaires. Modéliser des transformations nucléaires et dater un fait par l'application de la loi de désintégration radioactive ; faire le bilan énergétique d'une transformation nucléaire et résoudre des situations-problèmes sur les transformations nucléaires. Savoir l'intérêt des transformations nucléaires dans l'évolution technologique, leurs effets probables sur l'environnement et les mesures de précaution à prendre.

1

Équivalence masse-énergie

Cadre de référence : PH2.2.3, PH2.2.5

1) Relation d'Einstein

Cadre de référence : PH2.2.5

Toute particule de masse m possède une énergie E donnée par la relation d'Einstein :

$$E = mc^2$$

avec $c = 3 \times 10^8$ m/s.

2) Unités de masse et d'énergie

Cadre de référence : PH2.2.3

- Unité de masse atomique : u .
- Unité d'énergie : eV.

$$1u \approx 1,6 \times 10^{-27} \text{ kg} \quad ; \quad 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

Remarque : on utilise souvent $1u = 931,5 \text{ MeV } c^{-2}$.

2 Énergie de liaison du noyau

Cadre de référence : PH2.2.1, PH2.2.2

1) Défaut de masse du noyau Δm

Cadre de référence : PH2.2.1

Le défaut de masse Δm d'un noyau A_ZX est la différence entre la somme des masses de ses nucléons pris séparément et la masse du noyau :

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m({}^A_ZX)$$

2) Énergie de liaison d'un noyau E_l

Cadre de référence : PH2.2.1

L'énergie de liaison E_l d'un noyau est l'énergie que le milieu extérieur doit fournir à un noyau A_ZX pour le dissocier en nucléons séparés :

$$E_l = \Delta m c^2 = [Zm_p + (A - Z)m_n - m({}^A_ZX)] c^2$$

3) Énergie de liaison par nucléon ξ

Cadre de référence : PH2.2.2

L'énergie de liaison par nucléon ξ est donnée par :

$$\xi = \frac{E_l}{A}$$

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

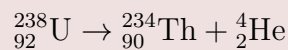
3 Réaction nucléaire

Cadre de référence : PH2.2.6 à PH2.2.11

1) Désintégration α

Cadre de référence : PH2.2.8, PH2.2.9

Exemple : désintégration α de l'uranium 238



Avec les masses atomiques :

$$m({}^{238}\text{U}) = 238,050788 u \quad m({}^{234}\text{Th}) = 234,043601 u \quad m({}^4\text{He}) = 4,002603 u$$

D'après la convention :

$$\Delta m = \sum m_{\text{produits}} - \sum m_{\text{réactifs}}$$

On obtient :

$$\Delta m = (234,043601 + 4,002603) - 238,050788 = -0,004584 u$$

Avec :

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

Donc :

$$\Delta E = \Delta m c^2 = -0,004584 \times 931,5 \simeq -4,27 \text{ MeV}$$

Le signe négatif indique que le système perd de l'énergie (réaction exoénergétique).

L'énergie libérée est donc :

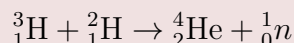
$$E_{\text{libérée}} = |\Delta E| \simeq 4,27 \text{ MeV}$$

2) Fusion nucléaire

Cadre de référence : PH2.2.6, PH2.2.7

La fusion est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau lourd.

Exemple :

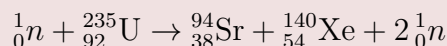


3) Fission nucléaire

Cadre de référence : PH2.2.6, PH2.2.7

La fission est une réaction nucléaire au cours de laquelle un neutron lent (neutron thermique) brise un noyau lourd pour former deux noyaux plus légers.

Exemple :



4) Énergie d'une réaction nucléaire

Cadre de référence : PH2.2.10, PH2.2.11

L'énergie de la transformation nucléaire est donnée par :

$$\Delta E_{\text{réaction}} = \Delta m c^2 = \left(\sum m_{\text{produits}} - \sum m_{\text{réactifs}} \right) c^2$$

Elle peut aussi s'écrire à partir des énergies de liaison :

$$\Delta E_{\text{réaction}} = \sum E_l(\text{réactifs}) - \sum E_l(\text{produits})$$

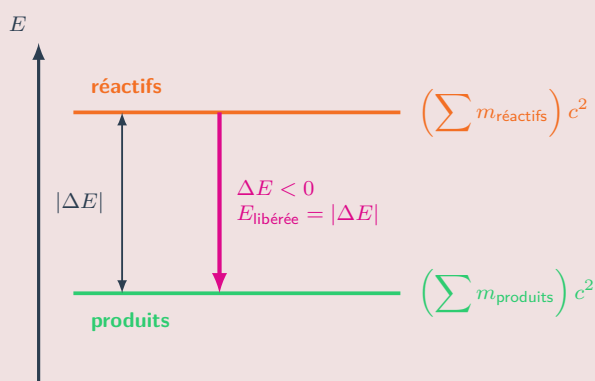
Si $\Delta E < 0$, la réaction libère de l'énergie.

5) Les diagrammes d'énergie

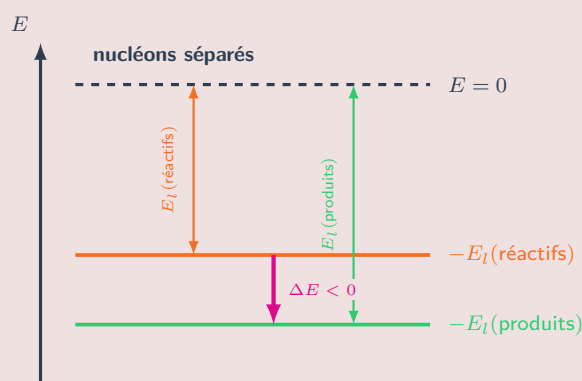
Un **diagramme d'énergie** traduit graphiquement le bilan précédent. On y porte, sur un axe vertical gradué en énergie, un **niveau** pour l'état initial (les réactifs) et un niveau pour l'état final (les produits). La flèche verticale qui joint les deux niveaux représente ΔE : elle descend quand le système perd de l'énergie, elle monte quand il en reçoit.

- Si le niveau des produits est **au-dessous** de celui des réactifs, alors $\Delta E < 0$: la réaction est **exoénergétique** et libère l'énergie $E_{\text{libérée}} = |\Delta E|$ vers le milieu extérieur. C'est le cas de toutes les réactions nucléaires spontanées, de la fission et de la fusion.
- Si le niveau des produits est **au-dessus**, alors $\Delta E > 0$: la réaction est **endoénergétique** et ne peut se produire qu'en fournissant de l'énergie au système.

Le même diagramme se construit indifféremment avec les **énergies de masse** mc^2 ou avec les **énergies de liaison** E_l ; il suffit de garder la même origine pour tous les niveaux. Avec les énergies de liaison, l'origine est l'état où **tous les nucléons sont séparés et au repos** : chaque noyau se place alors à l'altitude $-E_l$, d'autant plus bas qu'il est plus stable.



Réaction exoénergétique : bilan des énergies de masse



Le même bilan lu sur les énergies de liaison

Lecture. Sur le diagramme de droite, le noyau le plus bas est le plus stable : c'est pourquoi une réaction nucléaire n'est spontanée que si elle fait **descendre** le système, c'est-à-dire si elle augmente l'énergie de liaison par nucléon des noyaux formés.

4 Stabilité des noyaux et courbe d'Aston

Cadre de référence : PH2.2.4, PH2.2.7

La courbe d'Aston représente $-\frac{E_l}{A}$ en fonction de A ; elle permet de comparer la stabilité des noyaux atomiques et de prévoir la nature de la réaction nucléaire qui peut se produire. La partie jaune de la courbe d'Aston contient les noyaux stables.

