

Conseils de Réussite

Chapitre 5 : Noyaux, Masse et Énergie



Introduction

Ce chapitre établit un lien fondamental entre deux concepts apparemment distincts : la masse et l'énergie. La célèbre relation d'Einstein $E = mc^2$ est au cœur de la physique nucléaire et permet de comprendre d'où provient l'énergie colossale libérée dans les réactions nucléaires. Voici comment aborder ces notions avec rigueur.

Stratégies d'Apprentissage

Appropriiez-vous la Relation d'Équivalence Masse-Énergie

C'est le postulat de base de tout le chapitre.

- **Retenez la relation fondamentale** : $E = \Delta m \cdot c^2$. L'énergie libérée ou absorbée lors d'une transformation nucléaire est égale à la variation de masse multipliée par le carré de la vitesse de la lumière.
- **Comprenez le signe de Δm** :
 - Si $\Delta m < 0$ (perte de masse), alors $\Delta E < 0$: de l'énergie est **libérée** (réaction exoénergétique). C'est le cas des désintégrations, fissions et fusions.
 - Si $\Delta m > 0$ (gain de masse), alors $\Delta E > 0$: de l'énergie est **absorbée** (réaction endoénergétique).

Maîtrisez les Unités de l'Échelle Nucléaire

Les joules sont trop grands, les kilogrammes trop lourds. Il faut utiliser les unités adaptées.

- **Unité de masse atomique (u)** : $1 u = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Pratique pour exprimer les masses des nucléides.
- **Électronvolt (eV)** : $1 eV = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$. C'est l'énergie gagnée par un électron accéléré par une tension de 1 volt.
- **Relation cruciale** : La conversion masse-énergie dans l'unité u est donnée par :

$$1 u \cdot c^2 = 931.5 \text{ MeV}$$

Apprenez cette valeur par cœur ! Elle simplifie énormément les calculs. Au lieu de calculer Δm en kg puis de multiplier par c^2 , calculez Δm en u et multipliez-le directement par 931.5 pour obtenir l'énergie en MeV.

Calculez Correctement le Défaut de Masse et l'Énergie de Liaison

C'est la clé pour quantifier la stabilité d'un noyau.

- **Défaut de masse Δm** : Pour un noyau A_ZX , c'est la différence entre la masse de ses nucléons séparés et sa masse propre.

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - m_{\text{noyau}}$$

Important : Δm est **toujours positif**. La masse du noyau est toujours inférieure à la somme des masses de ses constituants. Cette "masse manante" s'est transformée en énergie de liaison.

- **Énergie de liaison E_l** : C'est l'énergie qu'il faudrait fournir au noyau pour le dissocier en nucléons libres. $E_l = \Delta m \cdot c^2$.
- **Énergie de liaison par nucléon $E_{l/A}$** : C'est le meilleur indicateur de stabilité.

$$E_{l/A} = \frac{E_l}{A}$$

Plus $E_{l/A}$ est élevée, plus le noyau est stable. Les noyaux de fer ($A \approx 56$) ont le $E_{l/A}$ maximum ($\approx 8.8 \text{ MeV/nucléon}$) et sont donc les plus stables.

Interprétez la Courbe d'Aston

Cette courbe est une synthèse visuelle de la stabilité nucléaire.

- **Elle représente** $-E_{l/A}$ en fonction de A (ou parfois $E_{l/A}$ directement).
- **Son minimum** (point le plus bas) correspond au maximum de stabilité (noyaux de Fer/Nickel).
- **Interprétation** :
 - **Pour les noyaux légers** (gauche de la courbe) : La fusion nucléaire (petits noyaux qui fusionnent) permet d'augmenter $E_{l/A}$ et donc de gagner en stabilité. Elle libère de l'énergie.
 - **Pour les noyaux lourds** (droite de la courbe) : La fission nucléaire (gros noyaux qui se cassent) permet d'augmenter $E_{l/A}$ et donc de gagner en stabilité. Elle libère de l'énergie.

Analysez les Bilan Énergétiques des Réactions

Toute réaction nucléaire peut être analysée via la variation de masse.

- **Méthode générale** :
 - a. Écrire l'équation de la réaction équilibrée (conservation de A et Z).
 - b. Calculer la masse totale des réactifs.
 - c. Calculer la masse totale des produits.

- d. Calculer la variation de masse : $\Delta m = m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}$.
 - e. Calculer l'énergie correspondante : $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ (en utilisant $1u \rightarrow 931.5\text{MeV}$).
 - f. Interpréter le signe : $\Delta E < 0$ = libération d'énergie.
- **Appliquez cette méthode** aux désintégrations (α, β^-, β^+), à la fusion et à la fission.

Méthode de Travail et Pièges à Éviter

Pour Réussir les Exercices

- **Utilisez systématiquement l'unité u** : Les masses des nucléides sont toujours données en u . Utilisez la conversion $1u \cdot c^2 = 931.5\text{MeV}$ pour gagner du temps et éviter les erreurs de calcul avec les puissances de 10.
- **Soyez vigilant avec les masses** : Dans une désintégration β^- , n'oubliez pas de soustraire la masse de l'électron m_e pour le noyau père et de l'ajouter dans les produits. Inversement pour le β^+ .
- **Schématisez la courbe d'Aston** : Pour répondre aux questions sur la stabilité ou le type de réaction favorable (fusion/fission), faire un petit croquis de la courbe est très efficace.

Les Pièges Courants

- **Confondre défaut de masse et variation de masse** : Le **défaut de masse** ($\Delta m = m_{\text{nucléons séparés}} - m_{\text{noyau}}$) est toujours positif et est lié à la stabilité d'un **seul noyau**. La **variation de masse** ($\Delta m = m_{\text{produits}} - m_{\text{réactifs}}$) dans une réaction peut être négative et détermine si de l'énergie est libérée.
- **Oublier les électrons dans les calculs de masse** : Pour un atome neutre, la masse donnée dans les tables est souvent celle de l'atome ($m_{\text{protons+électrons}} + m_{\text{neutrons}}$), pas seulement du noyau. Vérifiez l'énoncé. Pour les équations β , cela est crucial.
- **Se tromper dans l'interprétation de la courbe d'Aston** : Le minimum de la courbe $-E_{l/A}$ correspond au maximum de stabilité. Un noyau veut "descendre" vers ce minimum pour être plus stable.
- **Ne pas convertir correctement les unités** : Restez cohérent. Si vous utilisez les u pour les masses, utilisez le facteur $931.5\text{ MeV}/u$ pour l'énergie. Ne mélangez pas les u et les kg dans un même calcul.

Conclusion

En résumé : Ce chapitre montre que l'énergie nucléaire trouve son origine dans une infime variation de masse, amplifiée par le facteur colossal c^2 .

La clé du succès réside dans :

- La maîtrise de la relation $E = \Delta m \cdot c^2$ et de son interprétation.
- L'utilisation experte des unités adaptées (u , eV , MeV) et de la conversion $1u = 931.5MeV/c^2$.
- Le calcul méthodique du défaut de masse et de l'énergie de liaison.
- La compréhension et l'utilisation de la courbe d'Aston pour prédire la stabilité et le type de réaction (fusion/fission) possible.
- La réalisation rigoureuse de bilans énergétiques pour toute réaction nucléaire.

En appliquant ces conseils avec précision, vous dominerez les aspects énergétiques de la physique nucléaire.