

Noyaux, masse et énergie

Niveau : 2ème Bac Sciences Physiques et Chimiques

Prof : AIT MAMA MOHAMED

Sommaire

- I. Introduction
- II. Équivalence masse-énergie
- III. Unités de masse et d'énergie
- IV. Énergie de liaison
- V. Fission et fusion nucléaires
- VI. Bilans énergétiques
- VII. Exercices avec solutions

1 Introduction

Origine de l'énergie stellaire

Les nébuleuses comme Trifida émettent de l'énergie provenant de :

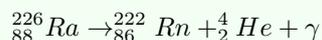
- Réactions nucléaires (fusion)
- Émission de photons par gaz ionisés
- Énergie gravitationnelle convertie

Cette lumière met des centaines d'années à nous parvenir.

2 Équivalence masse-énergie

2.1 Désintégration du radium

Exemple de désintégration



Bilan de masse :

$$m_{av} = 3,7524612 \times 10^{-25} \text{ kg}$$

$$m_{ap} = 3,7523747 \times 10^{-25} \text{ kg}$$

$$\Delta m = 0,0000865 \times 10^{-25} \text{ kg}$$

Défaut de masse relatif : $2,3 \times 10^{-5}$ (0,0023%)

2.2 Relation d'Einstein

E

$$E = \Delta m \cdot c^2$$

- E : énergie (J)
- Δm : défaut de masse (kg)
- c : vitesse lumière (3×10^8 m/s)

3 Unités de masse et d'énergie

Unités nucléaires

- **Unité de masse atomique (u)** : $1u = \frac{1}{12}m(^{12}\text{C}) = 1,66 \times 10^{-27}$ kg
- **Électronvolt (eV)** : $1\text{eV} = 1,6 \times 10^{-19}$ J
- **Équivalence** : $1u = 931,5\text{MeV}/c^2$

4 Énergie de liaison

4.1 Défaut de masse

Calcul du défaut de masse

Pour un noyau ${}^A_Z X$:

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

4.2 Énergie de liaison

Énergie de liaison

$$E_l = \Delta m \cdot c^2$$

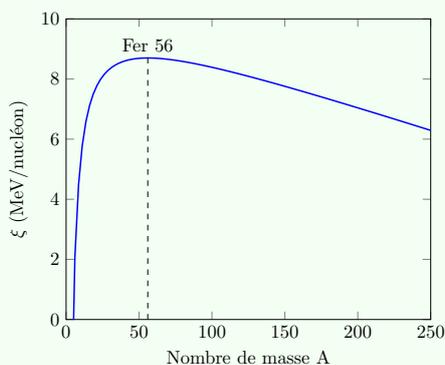
Énergie nécessaire pour dissocier le noyau en nucléons libres.

Par nucléon :

$$\xi = \frac{E_l}{A} \quad (\text{MeV}/\text{nucléon})$$

4.3 Courbe d'Aston

Stabilité nucléaire

Maximum de stabilité autour du fer 56 ($\xi \approx 8,7$ MeV/nucléon)

5 Fission et fusion nucléaires

Comparaison

	Fission	Fusion
Exemple	$^{235}\text{U} + n \rightarrow ^{94}\text{Sr} + ^{140}\text{Xe} + 2n$	$^2\text{H} + ^3\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + n$
Énergie	~ 200 MeV/fission	$\sim 17,6$ MeV/fusion
Utilisation	Centrales nucléaires	Soleil, tokamaks

6 Bilans énergétiques

6.1 Bilan général

Calcul de l'énergie libérée

Pour une réaction $X_1 + X_2 \rightarrow X_3 + X_4$:

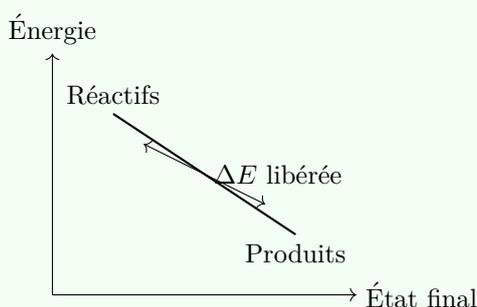
$$\Delta E = [m(X_3) + m(X_4) - m(X_1) - m(X_2)]c^2$$

Ou en utilisant les énergies de liaison :

$$\Delta E = [E_l(X_1) + E_l(X_2)] - [E_l(X_3) + E_l(X_4)]$$

6.2 Diagramme énergétique

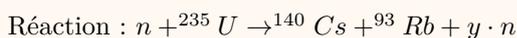
Représentation



7 Exercices avec solutions

7.1 Exercice 1

Exercice 1 (Fission de l'uranium)



- Déterminer x et y.
- Calculer l'énergie produite.
- Énergie pour 1g d'uranium 235.
- Durée pour produire 1 MW avec 1g.

Données : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Solution Exercice 1

- Conservation A : $235 + 1 = 140 + 93 + y \Rightarrow y = 3$
Conservation Z : $92 = 55 + 37 \Rightarrow$ équilibré
- $\Delta E = [E_l(^{140}\text{Cs}) + E_l(^{93}\text{Rb})] - E_l(^{235}\text{U})$
 $= [140 \times 8,4 + 93 \times 8,7] - 235 \times 7,6 \approx 191 \text{ MeV}$
- Pour 1g : $N = \frac{1}{235} \times 6,02 \times 10^{23} = 2,56 \times 10^{21}$ noyaux
 $E_{tot} = 2,56 \times 10^{21} \times 191 \times 1,6 \times 10^{-13} \approx 7,8 \times 10^{10} \text{ J}$
- $P = \frac{E}{t} \Rightarrow t = \frac{7,8 \times 10^{10}}{10^6} = 7,8 \times 10^4 \text{ s} \approx 21,7 \text{ heures}$

7.2 Exercice 2**Exercice 2 (Fusion deutérium-tritium)**

- Identifier le noyau Y dans $Y + n \rightarrow He + {}^3H$
- Composition du deutérium 2H
- Défaut de masse et énergie de liaison du deutérium
- Énergie libérée par ${}^2H + {}^3H \rightarrow {}^4He + n$
- Estimation des réserves de deutérium

Solution Exercice 2

- Conservation A : $A_Y + 1 = 4 + 3 \Rightarrow A_Y = 6$
Conservation Z : $Z_Y = 2 + 1 \Rightarrow Z_Y = 3$ (Lithium)
Donc $Y = {}^6_3\text{Li}$
- 2H : 1 proton, 1 neutron
- $\Delta m = m_p + m_n - m_D$
 $= (1,672622 + 1,674927 - 3,344497) \times 10^{-27} = 0,003052 \times 10^{-27} \text{ kg}$
 $E_l = \Delta mc^2 = 2,74 \times 10^{-13} \text{ J} \approx 1,71 \text{ MeV}$
- $\Delta m = m({}^4He) + m_n - m({}^2H) - m({}^3H)$
 $= (6,646483 + 1,674927 - 3,344497 - 5,008271) \times 10^{-27}$
 $= -0,031358 \times 10^{-27} \text{ kg}$
 $\Delta E = 17,6 \text{ MeV}$
- Pour 1kg : $N = \frac{1000}{2,01355 \times 1,66 \times 10^{-27}} \approx 3 \times 10^{26}$ noyaux
 $E_{tot} = 3 \times 10^{26} \times 17,6 \times 1,6 \times 10^{-13} \approx 8,4 \times 10^{14} \text{ J/kg}$
Durée : $\frac{4,6 \times 10^{16} \times 8,4 \times 10^{14} \times 0,33}{4 \times 10^{20}} \approx 3,2 \times 10^{10} \text{ ans}$

7.3 Exercice 3**Exercice 3 (Comparaison énergies)**

- Définir la demi-vie.
- Équilibrer ${}^{235}\text{U} + n \rightarrow {}^{94}\text{Sr} + {}^{140}\text{Xe} + n$
- Énergie par fission et par mole.
- Masse de butane équivalente.
- Questions sur la fusion.

Solution Exercice 3

1. Temps au bout duquel la moitié des noyaux se sont désintégrés.
2. Conservation A : $235 + 1 = 94 + 140 + 2 \Rightarrow 2$ neutrons
Conservation Z : $92 = 38 + 54$ (équilibré)
3. $\Delta m = (93,8945 + 138,8892 + 2 \times 1,00866 - 234,9942)u = -0,1932u$
 $\Delta E = 0,1932 \times 931,5 \approx 180$ MeV
Par mole : $180 \times 6,02 \times 10^{23} \times 1,6 \times 10^{-13} \approx 1,73 \times 10^{13}$ J
4. Pour 235g : $m_{butane} = \frac{1,73 \times 10^{13}}{2878 \times 10^3} \times 58 \approx 3,5 \times 10^8$ g = 350 tonnes
5. Fusion : ${}^2H + {}^3H \rightarrow {}^4He + n$
 $\Delta E = 17,6$ MeV/fusion
Par mole : $17,6 \times 6,02 \times 10^{23} \times 1,6 \times 10^{-13} \approx 1,7 \times 10^{12}$ J
Masse butane : ≈ 34 tonnes

7.4 Exercice 4**Exercice 4 (Centrale nucléaire)**

1. Définition énergie de liaison.
2. Calcul pour ${}^{235}U$.
3. Équation de fission ${}^{235}U \rightarrow {}^{144}La + {}^{88}Br + ?n$
4. Énergie libérée.
5. Puissance et consommation d'une centrale.

Solution Exercice 4

1. Énergie nécessaire pour séparer le noyau en nucléons libres.
2. $\Delta m = 92 \times 1,0073 + 143 \times 1,0087 - 235,0134 = 1,8647u$
 $E_l = 1,8647 \times 931,5 \approx 1737$ MeV
Par nucléon : $1737/235 \approx 7,39$ MeV/nucléon
3. ${}^{235}U + n \rightarrow {}^{144}La + {}^{88}Br + 3n$
4. $\Delta E = E_l({}^{235}U) - [E_l({}^{144}La) + E_l({}^{88}Br)]$
 $= 1737 - (144 \times 8,28 + 88 \times 8,56) \approx 173$ MeV
5. 1. $\Delta E = 0,200 \times 931,5 \approx 186$ MeV (cohérent)
2. Par mole : $186 \times 6,02 \times 10^{23} \times 1,6 \times 10^{-13} \approx 1,79 \times 10^{13}$ J
3. $P_n = 1000/0,25 = 4000$ MW
4. Énergie annuelle : $4000 \times 10^6 \times 3,15 \times 10^7 \approx 1,26 \times 10^{17}$ J
5. Masse uranium : $\frac{1,26 \times 10^{17}}{1,79 \times 10^{13}} \times 235 \approx 1,66$ tonnes

Fin de la séance - Bon travail !