

Noyaux, masse, et énergie

Chapitre 5

allal Mahdade

Groupe scolaire La Sagesse Lycée qualifiante

9 novembre 2016

Sommaire

Noyaux, masse, et
énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre
masse et énergie

Énergie de liaison
d'un noyau

La fission et la
fusion nucléaires

Bilan énergétique
d'une réaction
nucléaire

- 1 Introduction
- 2 Équivalence entre masse et énergie
- 3 Énergie de liaison d'un noyau
- 4 La fission et la fusion nucléaires
- 5 Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Sommaire

Noyaux, masse, et
énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre
masse et énergie

Énergie de liaison
d'un noyau

La fission et la
fusion nucléaires

Bilan énergétique
d'une réaction
nucléaire

- 1 Introduction
- 2 Équivalence entre masse et énergie
- 3 Énergie de liaison d'un noyau
- 4 La fission et la fusion nucléaires
- 5 Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Sommaire

Noyaux, masse, et
énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre
masse et énergie

Énergie de liaison
d'un noyau

La fission et la
fusion nucléaires

Bilan énergétique
d'une réaction
nucléaire

- 1 Introduction
- 2 Équivalence entre masse et énergie
- 3 Énergie de liaison d'un noyau
- 4 La fission et la fusion nucléaires
- 5 Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Sommaire

Noyaux, masse, et
énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre
masse et énergie

Énergie de liaison
d'un noyau

La fission et la
fusion nucléaires

Bilan énergétique
d'une réaction
nucléaire

- 1 Introduction
- 2 Équivalence entre masse et énergie
- 3 Énergie de liaison d'un noyau
- 4 La fission et la fusion nucléaires
- 5 Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Sommaire

Noyaux, masse, et
énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre
masse et énergie

Énergie de liaison
d'un noyau

La fission et la
fusion nucléaires

Bilan énergétique
d'une réaction
nucléaire

- 1 Introduction
- 2 Équivalence entre masse et énergie
- 3 Énergie de liaison d'un noyau
- 4 La fission et la fusion nucléaires
- 5 Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Introduction

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Une nébuleuse (du latin nebula, nuage) désigne, en astronomie, un objet céleste composé de gaz raréfié, ionisé et/ou de poussières interstellaires. Avant les années 1920, le terme désignait tout objet du ciel d'aspect diffus.



La lumière de la nébuleuse Trifida nous parvient après un parcours de plusieurs centaines d'années de lumière.

D'où provient l'énergie émise par une nébuleuse ?

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

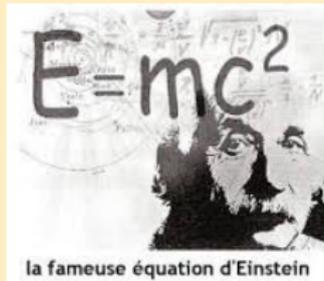
1. Relation d'Einstein

En 1905, Albert Einstein postulat l'équivalence entre la masse et l'énergie :

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

$$E = m.c^2$$

E s'exprime en joule (J) et m en kilogramme (kg) ; c est la célérité de la lumière dans le vide : $c = 2,9979.10^8 \text{ m/s}$



I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Au cours d'une transformation nucléaire , une variation de masse Δm , correspond à une variation d'énergie ΔE telle que :

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

- **☞** Premier cas : la variation de la masse est négative $\Delta m < 0$ donc , $\Delta E < 0$ négative aussi i.e par convention , le système libère une énergie au milieu extérieur .

$$E_{liberee} = |\Delta E|$$

- **☞** Deuxième cas : la variation de masse est positive $\Delta m > 0$ donc ΔE est positive aussi , i.e que le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur

$$E_{consommee} = |\Delta E|$$

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Au cours d'une transformation nucléaire, une variation de masse Δm , correspond à une variation d'énergie ΔE telle que :

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

-  Premier cas : la variation de la masse est négative $\Delta m < 0$ donc, $\Delta E < 0$ négative aussi i.e par convention, le système libère une énergie au milieu extérieur.

$$E_{liberee} = |\Delta E|$$

-  Deuxième cas : la variation de masse est positive $\Delta m > 0$ donc ΔE est positive aussi, i.e que le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur

$$E_{consommee} = |\Delta E|$$

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Au cours d'une transformation nucléaire , une variation de masse Δm , correspond à une variation d'énergie ΔE telle que :

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

-  Premier cas : la variation de la masse est négative $\Delta m < 0$ donc , $\Delta E < 0$ négative aussi i.e par convention , le système libère une énergie au milieu extérieur .

$$E_{liberee} = |\Delta E|$$

-  Deuxième cas : la variation de masse est positive $\Delta m > 0$ donc ΔE est positive aussi , i.e que le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur

$$E_{consommee} = |\Delta E|$$

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

2. Unités de masse et d'énergie

a. L'unité de masse atomique

En physique nucléaire, on exprime la masse d'un noyau ou d'un atome en **unité de masse atomique**, de symbole **u** :

$$1u = 1,66054 \times 10^{-27} \text{kg}$$

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et
énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre
masse et énergie

Énergie de liaison
d'un noyau

La fission et la
fusion nucléaires

Bilan énergétique
d'une réaction
nucléaire

Exemple :

calculer la masse du proton en u , sachant que $m_p = 1,6725 \times 10^{-27} \text{kg}$.

- Réponse : $m_p = 1,0075u$

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et
énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre
masse et énergie

Énergie de liaison
d'un noyau

La fission et la
fusion nucléaires

Bilan énergétique
d'une réaction
nucléaire

Exemple :

calculer la masse du proton en u , sachant que $m_p = 1,6725 \times 10^{-27} \text{kg}$.

- Réponse : $m_p = 1,0075u$

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

b. Unité d'énergie .

En physique nucléaire l'unité joule est unité mal adaptée à la description des transferts dénergétiques . Pour cela on emploie l'**électronvolt (eV)** et ces multiples .

$$1eV = 1,602177 \times 10^{-19}J$$

$$1MeV = 1,602177 \times 10^{-13}J$$

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

c. Énergie correspond à la masse atomique .

D'après la relation d'Einstein $E = m.c^2$ pour une masse de $1u$ on a

$$E = 1,66054 \times 10^{-27} \times (2,9979 \times 10^8)^2 = 1492,42 \times 10^{-15} J$$

$$E = \frac{1492,42 \times 10^{-15}}{1,602177 \times 10^{-19}} = 931,5 MeV$$

Donc

$$1u = 931,5/c^2$$

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Exemple :

calculer l'énergie d'un électron en MeV/c^2 . On donne

$$m_e = 9,1 \times 10^{-31} kg$$

- Réponse : $m_e = 0,5112 MeV/c^2$

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Exemple :

calculer l'énergie d'un électron en MeV/c^2 . On donne

$$m_e = 9,1 \times 10^{-31} kg$$

- Réponse : $m_e = 0,5112 MeV/c^2$

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

1. Défaut de masse d'un noyau

Des mesures précises effectuées à l'aide d'un spectrographe de masse montre que la masse du noyau d'un atome est toujours inférieure à la somme des masses de ses nucléons pris individuellement .

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Exemple :

La masse du noyau du deutérium :

$$m({}_1^2H) = 2,0109u$$

Les particules constituent ${}_1^2H$ sont : nombre de proton $Z = 1$ et le nombre de neutrons $N = 1$; le nombre des nucléons est 2 .

$$m_p + m_n = 2,01594u$$

Donc

$$\Delta m = (m_p + m_n) - m({}_1^2H) = 0,0050u$$

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

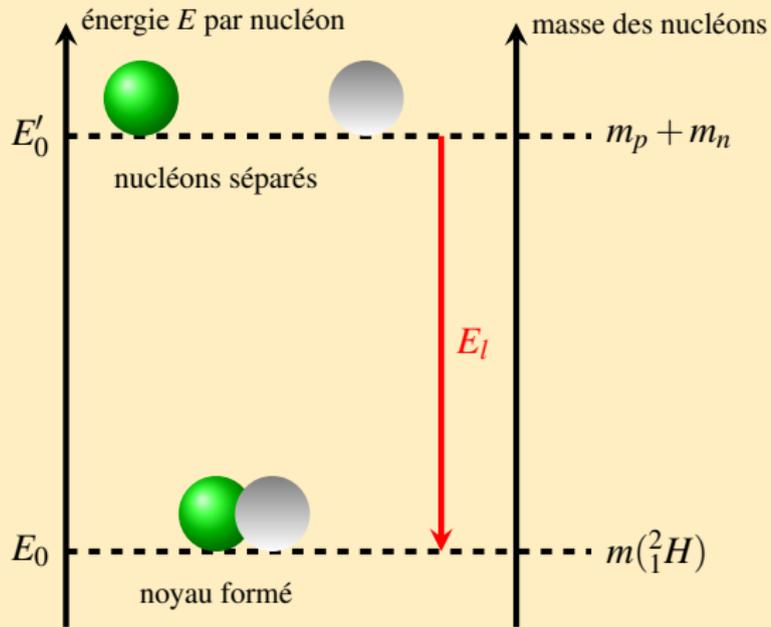
Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire



II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Plu généralement : pour un noyau A_ZX , le défaut de masse Δm est :

$$\Delta m = [Zm_p + Nm_n] - m({}^A_ZX)$$

Où m_p et m_n sont respectivement la masse d'un proton et la masse d'un neutron .

Δm est toujours positifs

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

2. Énergie de liaison d'un noyau

L'énergie de liaison d'un noyau est l'énergie qui serait libérée par la formation d'un noyau A_ZX à partir de ces nucléons séparés .

L'énergie de liaison d'un noyau est égale à :

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

On appelle ΔE énergie de liaison E_l :

$$E_l = [(Zm_p + Nm_n) - m({}^A_ZX)] \cdot c^2$$

I. Équivalence entre masse et énergie

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

3. Stabilité des noyau

a. Courbe d'Aston

L'énergie de liaison par nucléon : Pour comparer la stabilité de différents noyaux , il faut utiliser les énergies de liaison par nucléon , soit

$$\frac{E_l}{A}$$

avec E_l l'énergie de liaison en MeV et A le nombre de masse , donc son unité est MeV/nucléon .

La courbe ci-contre est appelée courbe d'Aston . Elle représente l'opposée de l'énergie de liaison par nucléon , C'est à dire le quotient $-\frac{E_l}{A}$ en fonction du nombre de nucléon pour chaque noyau .

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

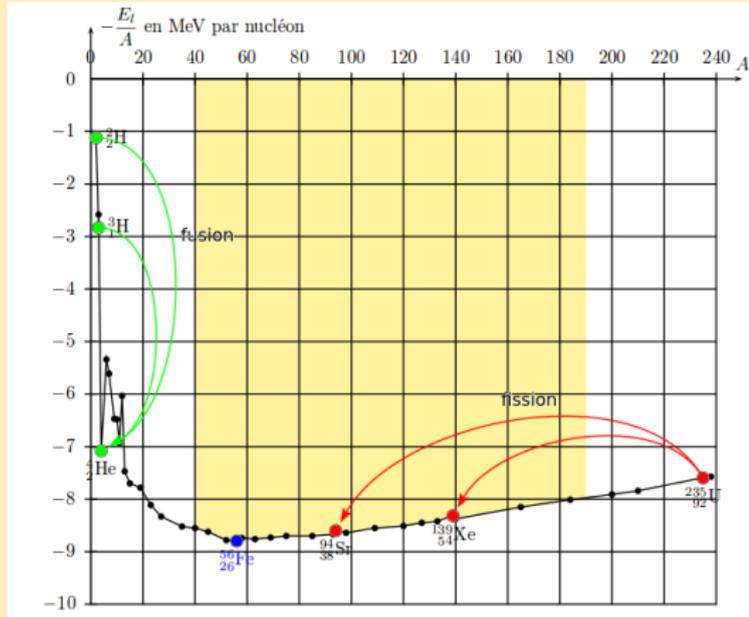
Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire



II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

- *Dans quelle région de la courbe d'ASTON se situent les noyaux stables ?*
- les noyaux stables se situent dans la région où $50 < A < 195$
- *Citer deux noyaux pour lesquels l'énergie de liaison par nucléon est très importante .*
- ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ et ${}_{38}^{94}\text{Sr}$

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

- *Dans quelle région de la courbe d'ASTON se situent les noyaux stables ?*
 - les noyaux stables se situent dans la région où $50 < A < 195$
 - *Citer deux noyaux pour lesquels l'énergie de liaison par nucléon est très importante .*
 - ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ et ${}_{38}^{94}\text{Sr}$

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

- *Dans quelle région de la courbe d'ASTON se situent les noyaux stables ?*
- **les noyaux stables se situent dans la région où $50 < A < 195$**
- *Citer deux noyaux pour lesquels l'énergie de liaison par nucléon est très importante .*
- ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ et ${}_{38}^{94}\text{Sr}$

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

- *Dans quelle région de la courbe d'ASTON se situent les noyaux stables ?*
- les noyaux stables se situent dans la région où $50 < A < 195$
- *Citer deux noyaux pour lesquels l'énergie de liaison par nucléon est très importante .*
- ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ et ${}_{38}^{94}\text{Sr}$

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

- *Dans quelle région de la courbe d'ASTON se situent les noyaux stables ?*
- les noyaux stables se situent dans la région où $50 < A < 195$
- *Citer deux noyaux pour lesquels l'énergie de liaison par nucléon est très importante .*
- ${}_{26}^{56}\text{Fe}$ et ${}_{38}^{94}\text{Sr}$

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

● *L'énergie de liaison par nucléon du noyau d'uranium 235 est-elle supérieure à celle du noyau de fer 56 ?*

● *Pour l'uranium 235 : $\frac{E_l}{A} = 7,7 \text{ MeV/nucleon}$ et pour le fer 56*

$$\frac{E_l}{A} = 8,79 \text{ MeV/nucleon} \text{ donc } \frac{E_l}{A} (^{56}\text{Fe}) > \frac{E_l}{A} (^{235}\text{U}) .$$

● *Lequel de ces deux est le plus stable ?*

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

- *L'énergie de liaison par nucléon du noyau d'uranium 235 est-elle supérieure à celle du noyau de fer 56 ?*

- Pour l'uranium 235 : $\frac{E_l}{A} = 7,7 \text{ MeV/nucleon}$ et pour le fer 56

$$\frac{E_l}{A} = 8,79 \text{ MeV/nucleon} \text{ donc } \frac{E_l}{A} (^{56}\text{Fe}) > \frac{E_l}{A} (^{235}\text{U}) .$$

- *Lequel de ces deux est le plus stable ?*

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

- *L'énergie de liaison par nucléon du noyau d'uranium 235 est-elle supérieure à celle du noyau de fer 56 ?*

- Pour l'uranium 235 : $\frac{E_l}{A} = 7,7 \text{ MeV/nucleon}$ et pour le fer 56

$$\frac{E_l}{A} = 8,79 \text{ MeV/nucleon} \text{ donc } \frac{E_l}{A} (^{56}\text{Fe}) > \frac{E_l}{A} (^{235}\text{U}) .$$

- *Lequel de ces deux est le plus stable ?*

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

- *L'énergie de liaison par nucléon du noyau d'uranium 235 est-elle supérieure à celle du noyau de fer 56 ?*

- Pour l'uranium 235 : $\frac{E_l}{A} = 7,7 \text{ MeV/nucleon}$ et pour le fer 56

$$\frac{E_l}{A} = 8,79 \text{ MeV/nucleon} \text{ donc } \frac{E_l}{A} (^{56}\text{Fe}) > \frac{E_l}{A} (^{235}\text{U}) .$$

- *Lequel de ces deux est le plus stable ?*

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et
énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre
masse et énergie

Énergie de liaison
d'un noyau

La fission et la
fusion nucléaires

Bilan énergétique
d'une réaction
nucléaire

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

Les noyaux les plus stables se situe en bas , dans le creux , de la courbe d'ASTON .

Le fer 56 est plus stable que l'uranium 235.

II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

c. Conséquences

Les noyaux possédant des énergie de liaison par nucléon relativement faibles peuvent se transformer en d'autres noyaux plus stable avec libération d'énergie .

Deux cas peuvent se présenter :

☞ **La fission d'un noyau lourd**

☞ **La fusion de deux noyaux légers .**

III. La fission et la fusion nucléaires

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

1. Réaction nucléaire provoquée

Il y a réaction nucléaire provoquée, lorsqu'un noyau projectile frappe un noyau cible et donne naissance à de nouveaux noyaux.

Par exemple la transmutation de l'azote 14 en oxygène 17 par Rutherford
Dans ces réactions nucléaires, il s'applique aussi la loi de SODDY ; loi de conservation.



III. La fission et la fusion nucléaires

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

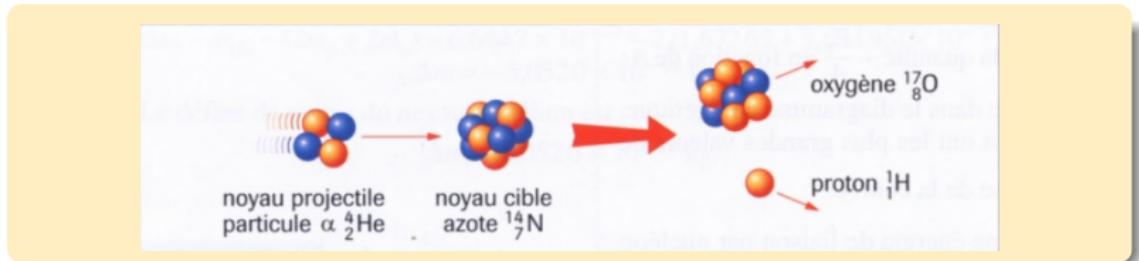
Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire



III. La fission et la fusion nucléaires

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

2. La fission nucléaire

a. Principe de la fission

Un noyau lourd , l'uranium 235 par exemple , peut , sous l'impact d'un neutron , éclater en deux noyaux plus légers , tels le strontium et le xénon .

D'après la courbe d'Aston , l'énergie de liaison par nucléon des noyaux formés (environ 8,7 MeV) est plus grande que celle du noyau lourd (7,7 MeV) . la formation de noyaux plus stables s'accompagne d'une libération d'énergie .

III. La fission et la fusion nucléaires

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

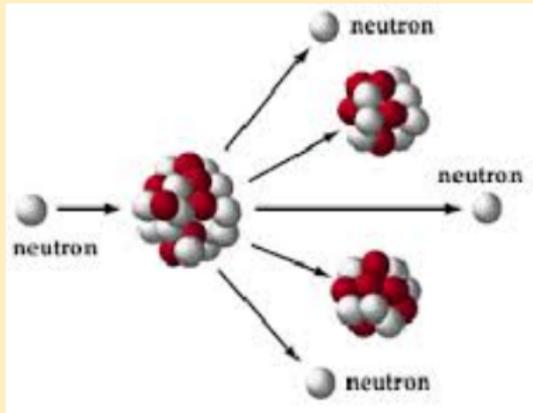
Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire



III. La fission et la fusion nucléaires

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

La fission est une réaction nucléaire provoquée , au cours de laquelle un noyau lourd éclate , généralement en deux noyaux plus légers , sous l'impact d'un neutron .

La fission des noyaux lourds permet de libérer de l'énergie .

III. La fission et la fusion nucléaires

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

b. Conditions de réalisation .

☞ La fission nucléaire est une réaction en chaîne . Elle produit des neutrons qui peuvent provoquer d'autres réactions de fission . Pour l'arrêter il faut ralentir les neutrons par des modérateurs comme l'eau , eau lourde , graphite

☞ La réaction en chaîne doit être contrôlée pour qu'elle ne soit pas explosive (le cas de la bombe A). lorsque la fission est contrôlée c'est le cas des réacteur nucléaire où l'énergie est convertie en énergie électrique

On peut ralentir les réactions de fission dans les réacteurs nucléaires en utilisant des barres de contrôles en cadmium .

III. La fission et la fusion nucléaires

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire



Réacteur nucléaire



Bombe A

III. La fission et la fusion nucléaires

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

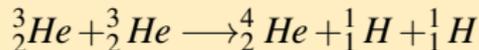
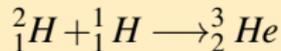
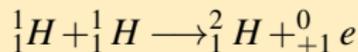
Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

3. La fusion nucléaire

a. Principe de la fusion

Il y a fusion nucléaire, lorsque deux noyaux légers s'unissent au cours d'un choc pour former un noyau plus lourd.

Ces types de réaction se produisent dans le soleil et les étoiles où ils se forment des noyaux d'hélium à partir de l'hydrogène suivant trois étapes :



II. Énergie de liaison d'un noyau

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

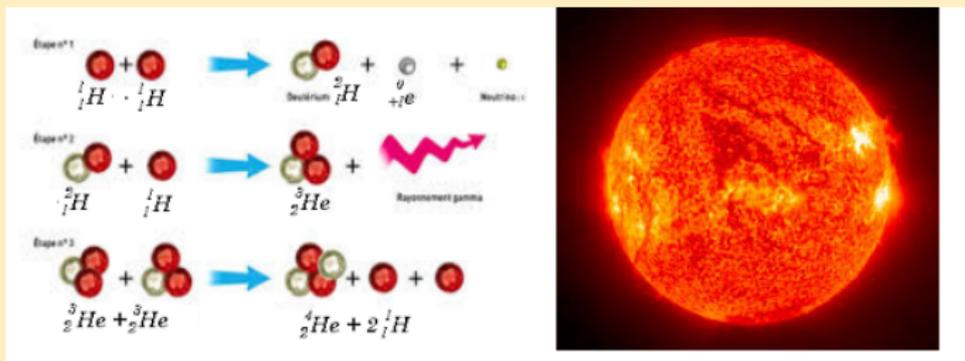
Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire



III. La fission et la fusion nucléaires

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

b. Conditions de réalisation

Les deux noyaux chargés positivement doivent posséder une très grande énergie pour vaincre les forces de répulsion électrique et se rapprochent suffisamment pour que la fusion se produise . Il faut pour cela que le milieu soit porté à haute température , de l'ordre de $10^8 K$. Ainsi que la réaction de fusion est appelée réaction **thermonucléaire** .

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

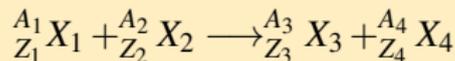
Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

1. Cas général

On considère une transformation nucléaire quelconque :



X_i représentent un noyau ou une particule . Le bilan énergétique correspond à cette réaction est :

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

où $E_l(X_i)$ l'énergie de liaison d'un noyau ou particule X_i et ΔE l'énergie de la réaction

$$E_{libere} = |\Delta E|$$

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

et d'après l'expression de l'énergie de liaison d'un noyau on obtient :

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

$$\Delta E = \sum_{i=1}^n [m_i(\text{produits}) - m_i(\text{reactif})] .c^2$$

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Diagramme énergétique d'une réaction nucléaire :

E_i Énergie initiale du système .

E_f Énergie finale du système

$E_l(X_1) + E_l(X_2)$ L'énergie reçue par le système pour séparer les deux noyaux X_1 et X_2 .

$-E_l(X_3) - E_l(X_4)$ L'énergie libérée par le système lors de la formation des noyaux X_3 et X_4 à partir des nucléides $Z_1 + Z_2$ et $N_1 + N_2$

$\Delta E < 0$ L'énergie de la réaction est l'énergie libérée par le système pour qu'ils soient plus stable et elle est considérée positive $E_{lib} = |\Delta E|$.

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

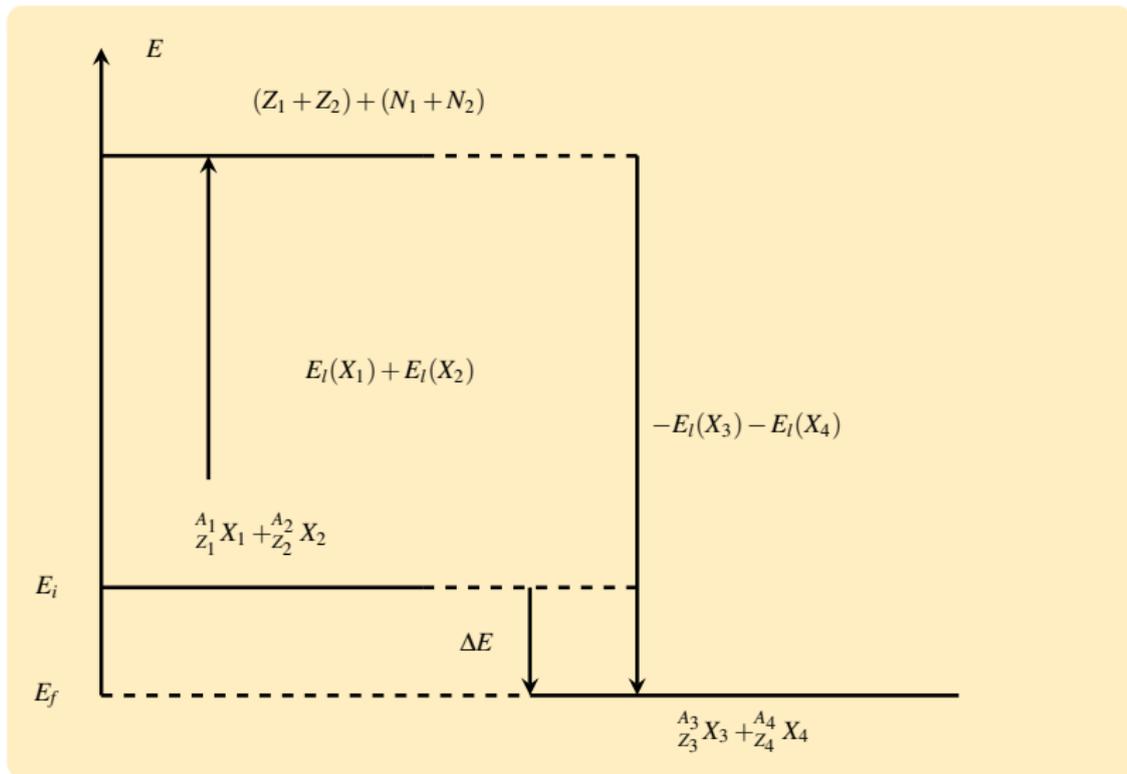
Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire



VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

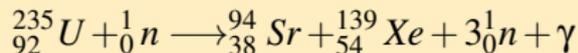
Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

2. Bilan énergétique de la fission

On considère la fission nucléaire de l'uranium 235 suivante :



$$m({}^{235}\text{U}) = 234,99332u, m({}^{94}\text{Sr}) = 93,89446u$$

$$m({}^{139}\text{Xe}) = 138,89194u, m(\text{n}) = 1,00866u$$

L'énergie produit au cours de cette réaction nucléaire est :

$$\Delta E = [m(\text{Sr}) + m(\text{Xe}) + 2m(\text{n})] - [m(\text{U})] .c^2 \quad m(\gamma) = 0$$

$$\Delta E = -0,18960u.c^2$$

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

On sait que $1u = 1,66045 \times 10^{-27} \text{kg}$ et $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ donc :

$$\Delta E = -0,18960 \times 1,66045 \times 10^{-27} \times 9 \times 10^{16} = -2,8334 \times 10^{-11} \text{J}$$

ou en MeV

$$\Delta E = \frac{-2,8334 \times 10^{-11}}{1,602177 \times 10^{-13}} = -176,8 \text{MeV}$$

Ce qui montre que la fission d'un noyau d'uranium 235 libère au milieu extérieur une énergie de :

$$E_{\text{libere}} = |\Delta E| = 176,8 \text{MeV}$$

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

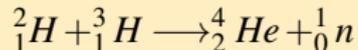
Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

3. Bilan énergétique de la fusion

On considère la réaction de fusion suivante ;



On donne :

${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$	${}^4_2\text{He}$	${}^1_0\text{n}$
2,01355u	3,01550u	4,00150u	1,00866u

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

L'énergie produit au cours de cette réaction est :

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

$$\Delta E = [(m(He) + m(n)) - (m(^2H) + m(^3))] \cdot c^2$$

$$\Delta E = -17,585 MeV$$

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Remarque importante :

La réaction de fusion libère une énergie environ 18MeV , par contre la réaction de fission libère une énergie environ 200MeV . Laquelle des deux réactions libèrent plus d'énergie ?

Pour la réaction de fusion, le nombre des nucléons est 5, pour la réaction de fission on a 236 nucléons. C'est à dire que pour un nucléon, l'énergie libérée par la réaction de fusion est 5 fois plus grande que l'énergie libérée par la réaction de fission.

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

4. Bilan énergétique des réactions nucléaires spontanées

Pour les réaction nucléaires spontanées l'énergie de la réaction $\Delta E < 0$ est toujours négative . C'est à dire que le système est exoénergétique , c'est une énergie libérée :

$$E_{libre} = |\Delta E|$$

et qui apparaît sous forme d'une énergie cinétique qui sera reçue par des particules émises au cours de la désintégration .

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

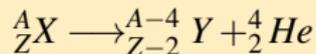
Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

a. Cas d'une désintégration radioactive α .

L'équation de cette désintégration est la suivante :



L'énergie libérée au cours de cette réaction est :

$$E = [m(\alpha) + m(Y) - m(X)] \cdot c^2$$

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

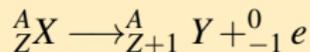
Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

b. Cas d'une désintégration radioactive β^-

L'équation de cette désintégration est la suivante :



L'énergie libérée au cours de cette réaction est :

$$E = [m(e) + m(Y) - m(X)] \cdot c^2$$

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

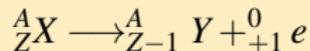
Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

c. Cas d'une désintégration radioactive β^+

L'équation de cette désintégration est la suivante :



L'énergie libérée au cours de cette réaction est :

$$E = [m(e) + m(Y) - m(X)] \cdot c^2$$

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Remarque importante :

Au cours des réactions nucléaires, l'énergie libérée se transforme en une énergie cinétique reçue par les noyaux fils et les particules émises, et en énergie électromagnétique dans le cas d'un rayonnement γ :

$$E_{libere} = \Sigma E_C(Y) + E_\gamma \quad E_\gamma = \frac{hc}{\lambda}$$

où h la constante de Planck $h = 6,63 \times 10^{-34} J.s$ et $c = 3 \times 10^8 m/s$ et λ la longueur d'onde du rayonnement émis .

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

5. Effets biologiques des rayonnements radioactifs

L'action des rayonnements radioactifs sur les tissus dépend de plusieurs paramètres :

- * Du nombre de particules reçues par seconde qui est fonction de l'activité A de la source, de la distance à la source et du milieu plus ou moins absorbant de propagation du rayonnement ;
- * De l'énergie et de la nature de chaque particule ;
- * Du fractionnement de la dose reçue ;
- * De la nature des tissus touchés.

VI. Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Noyaux, masse, et énergie

allal Mahdade

Introduction

Équivalence entre masse et énergie

Énergie de liaison d'un noyau

La fission et la fusion nucléaires

Bilan énergétique d'une réaction nucléaire

Le rayonnement radioactif est un rayonnement ionisant qui lors de sa pénétration dans les tissus vivants peut arracher des électrons aux atomes qui constituent les cellules. Les ions ou les radicaux libres créés sont souvent très réactifs et peuvent entraîner des réactions chimiques avec d'autres molécules dont l' A.D.N.

En médecine, la maîtrise de la zone exposée peut permettre de détruire de manière sélective des cellules cancéreuses (radiothérapie). Les radioéléments sont utilisés comme traceurs pour étudier le fonctionnement d'un organe (scintigraphie).