

# النوى، الكتلة والطاقة

## I التكافؤ "كتلة- طاقة"

### 1) علاقة أينشتاين:

أثبتت الميكانيك النسبوية الخاصة التي أنشأها ألبرت أينشتاين سنة 1905م أن هناك تكافؤا بين الكتلة والطاقة (أي أن الكتلة تعتبر شكلا من أشكال الطاقة)، بحيث أن كل مجموعة مادية كتلتها  $m$  تمتلك طاقة  $E$  تسمى **الطاقة الكتلية** وهي تساوي حاصل ضرب الكتلة ومربع سرعة انتشار الضوء في الفراغ .

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

تسمى بعلاقة أينشتاين

$$E = m.c^2$$

ووحدة الطاقة الكتلية في الفيزياء النووية هي **الإلكترون- فولط (eV) الذي تربطه بالجول العلاقة التالية:  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$**

ومن مضاعفاته الميغا إلكترون فولط  $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ J}$

وتبين هذه العلاقة أن كل تغير لكتلة مجموعة ما بالمقدار  $\Delta m$  يوافق تغير للطاقة الكتلية لهذه المجموعة بالمقدار  $\Delta E = \Delta m.c^2$

### 2) وحدة الكتلة الذرية:

نظرا لكون كتل النوى والدقائق صغيرة جدا ، يعبر عنها في الفيزياء النووية بوحدة ملائمة تسمى ب: **وحدة الكتلة الذرية** **Unité de masse atomique : u.m.a.** والتي يرمز إليها ب: **u** فقط من أجل التبسيط.

ووحدة الكتلة الذرية تساوي  $\frac{1}{12}$  من كتلة ذرة الكربون  $^{12}_6\text{C}$  أي  $1 \text{ u}$  يساوي  $\frac{1}{12}$  من كتلة ذرة الكربون  $^{12}_6\text{C}$ .

(الكتلة المولية ل:  $^{12}_6\text{C}$  تساوي  $12 \text{ g/mol}$ )

كتلة مول واحد من ذرات الكربون تساوي  $12 \text{ g}$  . وكل مول يحتوي على  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  ذرة.

$$1 \text{ u} = \frac{m(^{12}_6\text{C})}{12} = \frac{12 \text{ g}}{12 \cdot N_A} = \frac{12 \times 10^{-3} \text{ Kg}}{12 \times 6,02 \times 10^{23}} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

$$1 \text{ u} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ Kg}$$

كما نستعمل كوحدة للكتلة في الفيزياء النووية الوحدة التالية :  $\text{eV}/c^2$ .

من خلال علاقة أينشتاين السابقة :

$$eV/c^2 \rightarrow m = \frac{E}{c^2} \leftarrow eV$$

عدد العبر عن الطاقة ب  $eV$  فإن وحدة الكتلة هي  $eV/c^2$

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

$$\frac{J}{m^2 / s^2} = \frac{N \times m}{m^2 \times s^{-2}} = \frac{\text{Kg} \times m \cdot s^{-2} \times m}{m^2 \times s^{-2}} = \text{Kg} :$$

ولنتحقق من تجانس الوحدات في العلاقة السابقة

وهكذا في الفيزياء النووية نستعمل كوحدة للكتلة إما: ال: **u** أو ال: **MeV/c<sup>2</sup>**

## II طاقة الربط للنواة:

### 1) النقص الكتلي:

بينت قياسات دقيقة أنجزت بواسطة مطياف الكتلة بالنسبة لنواة  $^A_Z X$  أن كتلة النواة ، مرتبطة ، تكون دائما أصغر من كتل الدقائق المكونة لها (غير مرتبطة) ويسمى هذا الفرق بالنقص الكتلي . (*Le défaut de masse*)

نسمي النقص الكتلي  $\Delta m$  لنواة  $^A_Z X$  الفرق بين مجموع كتل النويات وكتلة النواة :

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

وهو مقدار موجب.

### 2) طاقة الربط:

طاقة الربط  $E_\ell$  لنواة  ${}^A_Z X$  هي الطاقة التي يجب إعطاؤها للنواة في حالة سكون لفصل نوياتها وتبقى في حالة سكون. وتعطى العلاقة التالية:  $E_\ell = \Delta m.c^2 = [Z.m_p + (A - N)m_n - m({}^A_Z X)]c^2$  وهي دائما موجبة .

### (3) طاقة الربط بالنسبة لنوية:

نستعمل أحيانا **طاقة الربط بالنسبة لنوية** وتعطى العلاقة التالية:  $\xi = \frac{E_\ell}{A}$  حيث  $E_\ell$  هي طاقة الربط للنواة و  $A$  عدد النويات. ووحدها:  $MeV / nucléon$ . كلما كانت طاقة الربط بالنسبة لنوية كبيرة كلما كانت النواة أكثر استقرارا.

### (4) تطبيق:

علما أن كتلة نواة الأورانيوم  ${}^{238}_{92}U$  هي  $m({}^{238}_{92}U) = 238,0003u$ ، كتلة البروتون:  $m_p = 1,0073u$  و كتلة النيوترون  $m_n = 1,0087u$ .

(أ) احسب طاقة الربط لنواة الأورانيوم  ${}^{238}_{92}U$ .  
(ب) احسب طاقة الربط بالنسبة لنوية لنواة الأورانيوم  ${}^{238}_{92}U$ .  
نعطي:  $1u = 931,5MeV / c^2$

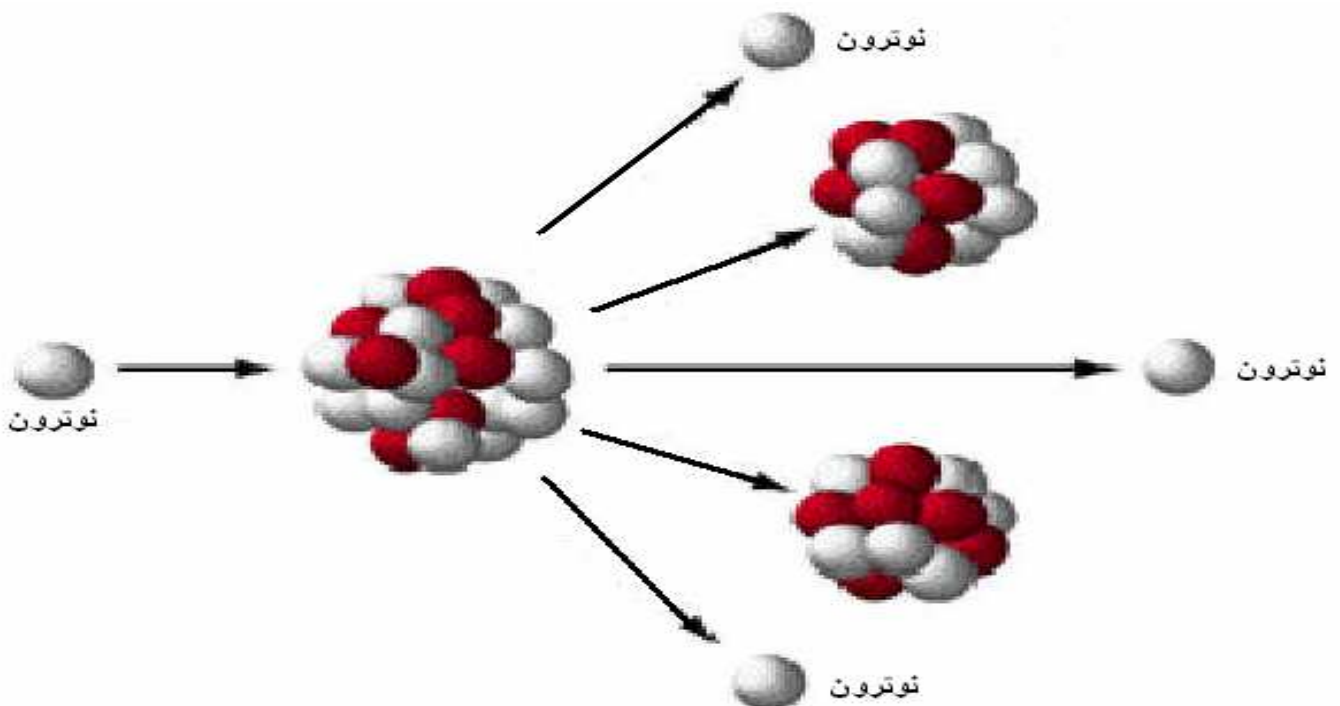
$$E_\ell = \Delta m.c^2 = [Z.m_p + (A - N)m_n - m({}^{238}_{92}U)]c^2 = [92 \times 1,0073 + (238 - 92) \times 1,0087 - 238,0003]u \times c^2 =$$

$$= 1,9415u \times c^2 = (1,9388 \times 931,5MeV / c^2) \times c^2 = 1805,99MeV$$

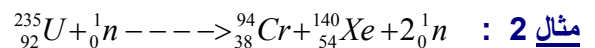
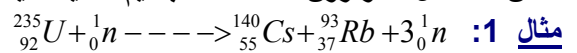
$$\xi = \frac{E_\ell}{A} = \frac{1805,99}{238} \approx 7,6MeV / nucléon \quad (\text{ب})$$

### (5) الانشطار والاندماج النووي: خاص بشعبتي العلوم الفيزيائية والرياضية

**أ- الانشطار النووي:** تفاعل نووي تنقسم خلاله نواة ثقيلة بعد قذفها بنو ترون إلى نواتين خفيفتين. أي: تشظية نواة عند تصادمها بقذيفة نووية.



يستحسن استعمال النيوترون للقذف لأنه جسيم محايد لا يتنافر مع النواة ويصل إليها بسهولة .



الطاقة المتحررة خلال هذا التفاعل الأخير هي:  $\Delta E = \Delta m.c^2$  مع  $\Delta m = m_f - m_i$

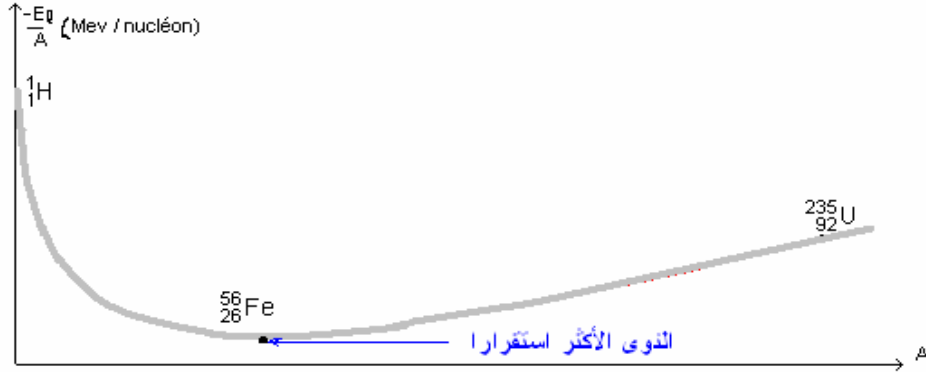
**ب - الاندماج النووي :** تفاعل يتم خلاله انضمام نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلا . مثل: اندماج نظائر الهيدروجين وتكوين الهيليوم.

**مثال 1 :**  ${}^2_1H + {}^1_1H \rightarrow {}^3_2He$  الطاقة المتحررة خلال هذا التفاعل:  $\Delta E = [m({}^3_2He) - m({}^2_1H) - m({}^1_1H)]c^2$

**مثال 2 :**  ${}^3_2He + {}^3_2He \rightarrow {}^4_2He + 2{}^1_1H$  الطاقة المتحررة خلال هذا التفاعل:  $\Delta E = [2m({}^1_1H) + m({}^4_2He) - 2m({}^3_2He)]c^2$

### (6) منحنى أسطون :

لمقارنة استقرار النوى ، نخط المنحنى الممثل لتغيرات  $-\frac{E_\ell}{A}$  بدلالة عدد النويات . يسمى هذا المنحنى : **منحنى أسطون** .



النوى الأكثر إستقرارا توجد في أسفل المنحنى ، بينما الغير مستقرة إذا كانت ثقيلة فهي **نشط** وإذا كانت خفيفة فهي **تندمج** وبذلك تتحول إلى نوى أكثر إستقرارا.

### (7) الحصلة الطاقةية لتفاعل نووي:

#### (أ) تعميم :

تعتبر تفاعلا نوويا معادلته :  ${}^{A_1}_{Z_1}X_1 + {}^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow {}^{A'_1}_{Z'_1}Y_1 + {}^{A'_2}_{Z'_2}Y_2$

تكتب الحصلة الطاقةية المقرونة بهذا التفاعل كما يلي:  $\Delta E = [E_\ell(X_1) + E_\ell(X_2) - E_\ell(Y_1) - E_\ell(Y_2)]$

وحسب تعبير طاقة الربط  $E_\ell$  يصبح تعبير  $\Delta E$  كما يلي :

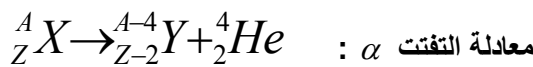
$$\Delta E = [m_{(Y_1)} + m_{(Y_2)} - m_{(X_1)} - m_{(X_2)}] \times c^2$$

أي بصفة عامة :

$$\Delta E = \Delta m \times c^2 = [\sum m(\text{نواتج}) - \sum m(\text{مفاعلات})] \times c^2$$

#### (ب) الحصلة الطاقةية للتحويلات النووية التلقائية:

\* **الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي  $\alpha$  :**



الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي  $\alpha$  هي:

$$E = [m_{({}^{A-4}_{Z-2}Y)} + m_{({}^4_2He)} - m_{({}^A_ZX)}] \times c^2$$

وهي سالبة.

**مثال :**  ${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^4_2He$  **نعطي :**  $m({}^{226}_{88}Ra) = 225,9770u$  ،  $m({}^{222}_{86}Rn) = 221,9702u$  ،  $m({}^4_2He) = 4,0015u$

**التغير الكتلي :**  $\Delta m = m(Rn) + m(He) - m(Ra) = -5,3 \times 10^{-3}u \approx -4,94MeV/c^2$

**الطاقة المتحررة:**  $E = \Delta m \times c^2 = (-4,94MeV/c^2) \times c^2 = -4,94MeV$  **لأن :**  $1u = 931,5MeV/c^2$

• **الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي  $\beta^-$  :**



الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي  $\beta^-$  هي:

$$E = \left[ m_{(Z+1)^A} + m_{(1e)^0} - m_{(Z)^A} \right] \times c^2$$

وهي سالبة

**مثال:**  ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + {}^0_{-1}e$  **نعطي:**  $m(e) = 5,49 \times 10^{-4} u$  ،  $m({}^{60}_{28}\text{Ni}) = 59,915 u$  ،  $m({}^{60}_{27}\text{Co}) = 59,9190 u$

**التغير الكتلي:**  $\Delta m_2 = m(\text{Ni}) + m(e) - m(\text{Co}) = -3,45 \times 10^{-3} u \approx -3,21 \text{Mev} / c^2$

**الطاقة المتحررة:**  $E = \Delta m \times c^2 = (-3,21 \text{Mev} / c^2) \times c^2 = -3,21 \text{Mev}$

لأن  $1u = 931,5 \text{Mev} / c^2$

**\* الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي  $\beta^+$ :**



الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي  $\beta^+$  هي:

$$E = \left[ m_{(Z-1)^A} + m_{(1e)^0} - m_{(Z)^A} \right] \times c^2$$

وهي سالبة

**مثال:**  ${}^{13}_7\text{N} \rightarrow {}^{13}_6\text{C} + {}^0_1 e$  **نعطي:**  $m(e) = 5,49 \times 10^{-4} u$  ،  $m({}^{13}_6\text{C}) = 13,000062 u$  ،  $m({}^{13}_7\text{N}) = 13,001898 u$

**التغير الكتلي:**  $\Delta m = m(\text{C}) + m(e) - m(\text{N}) = -1,287 \times 10^{-3} u \approx -1,2 \text{Mev} / c^2$

**الطاقة المتحررة:**  $E = \Delta m \times c^2 = (-1,2 \text{Mev} / c^2) \times c^2 = -1,2 \text{Mev}$

**ملحوظة:** بالنسبة للتحويلات النووية الطاقة المتحررة تكون سالبة لأنها مفقودة من طرف المجموعة.

### III ( التآثيرات البيولوجية للنشاط الإشعاعي:

تؤثر الإشعاعات النووية على جسم الإنسان بكيفية متفاوتة.

**الدقائق الفا  $\alpha$ :** تتكون دقيقة ألفا من نواة الهيليوم  ${}^4_2\text{He}$  التي تحتوي على بروتونين و نيترونين و لها شحنة ثنائية موجبة

**و شحنتها الموجبة يجعلان قدرتها على الاختراق منخفضة فلا تستطيع أن تخترق الجزيئات الأولى في جلد الإنسان أو في صفحة كتاب .**  $q = +2e = +2 \times 1,6 \times 10^{-19} c$  و تبلغ سرعة دقائق ألفا حين انطلاقها من المادة المشعة  $\frac{1}{10}$  سرعة الضوء و لكن **حجمها النسبي**

**الدقائق بيتا  $\beta^-$ :** هي الاكترونات  ${}^0_{-1}e$  لها طاقة عالية **تنتقل بسرعة عالية** تزيد على  $16000 \text{km} / s$  و نتيجة لسرعتها العالية و **حجمها الصغير** فان للدقائق بيتا قوة اختراق أعلى من قوة اختراق الدقائق ألفا. فهي تستطيع أن تخترق جسم الانسان الى مسافة صغيرة و تسبب **عندئذ الحروق** . تستعمل في معالجة الخلايا السرطانية.

**الأشعة غاما  $\gamma$**  هي مثل أشعة X موجات كهرومغناطيسية (ليست بدقائق مادية) سرعتها هي سرعة انتشار الضوء فهي ذات قوة اختراق عالية و نافذة بشكل كبير ، لأيقافها يلزم عدة سنتيمترات من الرصاص ، و تستعمل في تشخيص الأمراض بالصور. و نظرا لأن أشعة غاما لا تملك شحنة و لا كتلة فان انطلاقها لا يغير العدد الكتلي أو العدد الذري للذرة.

**ملحوظة :**

**الانشطار والاندماج النووي:** خاص بشعبي العلوم الفيزيائية والرياضية.