

النوى، الكتلة و الطاقة

1- التكافؤ كتلة- طاقة :

1.1. علاقة ألبرت انشتاين:

توصل ألبرت انشتاين في بداية القرن العشرين من خلال نظرية النسبية الخاصة إلى العلاقة الرابطة بين الطاقة E لمجموعة ، في حالة سكون في مرجع الدراسة ، و كتلتها m :

$$E = m \cdot c^2 \text{ مع } E : \text{ الطاقة الكتلية (J)}$$

m : كتلة المجموعة (kg)

$$c : \text{ سرعة الضوء في الفراغ (ms}^{-1}\text{)}$$

إذن حسب نظرية انشتاين ، كل مجموعة كتلتها غير منعدمة لها طاقة تتناسب مع كتلتها .
عندما تتغير كتلة مجموعة بالقيمة Δm خلال تحول ما ، يكون تغير الطاقة الكتلية لهذه المجموعة هو $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$

1.2. وحدات الكتلة و الطاقة :

يعبر في النظام العالمي للوحدات بالكيلوغرام (kg) بالنسبة للكتلة ، و بالجول (J) بالنسبة للطاقة .
نستعمل في الفيزياء النووية الوحدات التالية:

$$- \text{ وحدة الكتلة الذرية } u : 1u = 1,660054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$- \text{ الإلكترون فولت } eV : 1eV = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad , \quad 1MeV = 10^6 eV$$

الكتلة و الطاقة لبعض الدقائق

الدقيقة	البروتون	النوترون	الإلكترون
الكتلة (u)	1,007276023	1,008665842	0,000548576
الطاقة (Mev)	938,265	939,558	0,5109950

$$1u = 931,494 \text{ MeV} / c^2$$

2- طاقة الربط

2.1. النقص الكتلي Δm - علاقة أنشتاين:

نسمي النقص الكتلي Δm لنواة ${}^A_Z X$ في مرجع معين الفرق بين مجموع كتل النويات منفصلة و في حالة سكون و كتلة النواة في حالة

$$\Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_n] - m({}^A_Z X) > 0 \text{ سكون كذلك :}$$

مع $m({}^A_Z X)$: كتلة النواة و m_p : كتلة بروتون و m_n : كتلة نوترون



مثال : النقص الكتلي لنواة الهيليوم :

$$m({}^4_2\text{He}) = 4,0015u \quad , \quad \Delta m = [2m_p + 2m_n] - m({}^4_2\text{He})$$

$$\Delta m = 0,0305u \quad , \quad 2m_p + 2m_n = 4,03232u \quad \text{إذن :}$$

- استعمال الوحدات الملائمة في الفيزياء النووية

- وحدة الطاقة الكتلية هي الإلكترون فولت eV بحيث $1eV = 1.66 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

- نحسب الطاقة المكافئة لكتلة $1u = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$

$$E = m \cdot c^2 = 1.66 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 14.94 \cdot 10^{-11} \text{ J} = 9.3375 \cdot 10^8 \text{ eV} = 933.75 \text{ MeV}$$

و نعلم أن $E = m \cdot c^2$ بحيث نعبر عن m بالوحدة الكتلية $eV \cdot c^{-2}$ أي أن $1u = 9.3375 \cdot 10^8 \text{ eV} / c^2 = 933.75 \text{ MeV} / c^2$

2.2. طاقة الربط لنواة :

طاقة الربط أو طاقة تماسك النواة E_f و هي الطاقة التي يجب إعطاؤها للنواة في حالة سكون لفصل نوياتها عن بعضها البعض و تبقى في حالة سكون

نفترض التحول التالي :

- الحالة البدئية : نواة ${}^A_Z X$ في حالة سكون في مرجع الدراسة طاقتها هي :

$$E_i = m({}^A_Z X) \cdot c^2$$

2

- الحالة النهائية : Z بروتون و (A-Z) نوترون منفصلة وفي حالة سكون في مرجع الدراسة ، طاقتها هي :

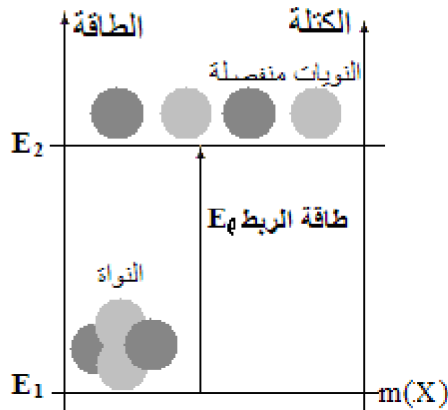
$$E_f = [Zm_p + (A - z)m_n].c^2$$

نعلم أن $m(\frac{A}{Z}X) > [Zm_p + (A - Z)m_n]$ إذن $E_f > E_i$

وبالتالي يمكن كتابة : $E_f = E_i + \xi_\ell$

$$E_\ell = [Zm_p + (A - Z)m_n].c^2 - m(\frac{A}{Z}X).c^2$$

$$E_\ell = \Delta m.c^2 \text{ تسمى طاقة الربط للنواة } \frac{A}{Z}X$$



نسمي طاقة الربط E_ℓ لنواة أو طاقة تماسك النواة الطاقة التي يجب إعطاؤها للنواة في حالة سكون في مرجع معين لفصل نوياتها مع بقائها في حالة سكون في نفس المرجع. و يعبر عنها بالعلاقة :

$$E_\ell = [Zm_p + (A - Z)m_n].c^2 - m(\frac{A}{Z}X).c^2$$

أي: $E_\ell = \Delta m.c^2$ مع Δm هو النقص الكتلي .

$$E_\ell = -\Delta E = \Delta m.C^2 \text{ : طاقة الربط للنواة دائما موجبة}$$

ملحوظة:

تساوي الطاقة E_ℓ كذلك الطاقة المحررة عند تكون النواة انطلاقا من نوياتها المنفصلة .

2.3. طاقة الربط بالنسبة لنوية :

يعبر عن طاقة الربط بالنسبة لنوية $\xi_\ell = \frac{E_\ell}{A}$ مع E_ℓ : طاقة الربط لنواة و A عدد النويات .

كلما كانت طاقة الربط بالنسبة لنوية كبيرة كلما كانت النواة أكثر استقرارا .

مثال : طاقة الربط بالنسبة لنوية الهيليوم 4 :

$$\xi_\ell = \frac{E_\ell}{A} = \frac{28,26}{4} = 7,065 \text{ MeV / nucleon}$$

: $\frac{E_\ell}{A}$ طاقة الربط المتوسطة لنوية وحدتها Mev/nucleon

استنتاج	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$^{238}_{92}\text{U}$	مثال :
$E_\ell(\text{U}) > E_\ell(\text{Pb})$	1621.2571	1720.6668	$E_\ell(\text{Mev})$
$\frac{E_\ell}{A}(\text{Pb}) > \frac{E_\ell}{A}(\text{U})$	7.8702	7.2296	$\frac{E_\ell}{A}(\text{Mev/nucleon})$

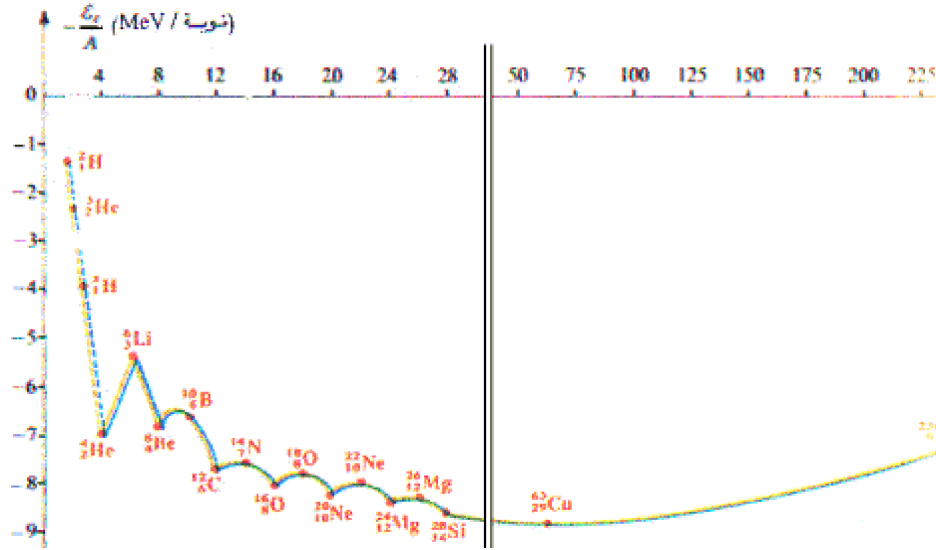
$\frac{E_\ell}{A}(\text{Pb}) > \frac{E_\ell}{A}(\text{U})$ وبالتالي فنواة الرصاص (Pb) أكثر استقرارا من نواة الأورانيوم (U).

M(U)	M(Pb)	M(نوترون)	M(بروتون)
238.086u	205.9296u	1.00866u	1.00727u

2.4. منحني اسطون (Aston) :

يمثل منحني اسطون تعبيرات مقابل طاقة الربط بالنسبة لنوية $\xi_\ell - \frac{E_\ell}{A}$ للنوى بدلالة عدد النويات A . و يمكن من مقارنة مدى

استقرار النوى و تفسير إمكانية تحول نوى إلى نوى أخرى



يلاحظ من خلال المنحنى أن:

- النوى التي تحتوي على عدد قليل من النويات هي النوى الأقل استقرارا . و هذه النوى لها قابلية التحول إلى نوى أكثر استقرارا و ذلك بالاندماج فيما بينها (تفاعلات الاندماج).
- النوى الأكثر استقرارا توجد أسفل منحنى اسطون.
- النوى التي تحتوي على عدد كبير من النويات (النوى الثقيلة) يقل استقرارها مع تزايد عدد النويات A . هذه النوى لها قابلية التحول إلى نوى أكثر استقرارا و ذلك بانشطارها (تفاعل الانشطار) .

- قصوى بالنسبة للنوى $50 < A < 75$ و بالتالي فالنويدات مستقرة
- صغيرة نسبيا بالنسبة للنوى الخفيفة و الثقيلة على السواء

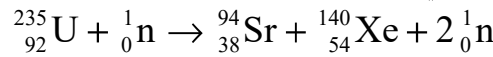
3- الانشطار و الاندماج النوويان :

3.1 الانشطار النووي :

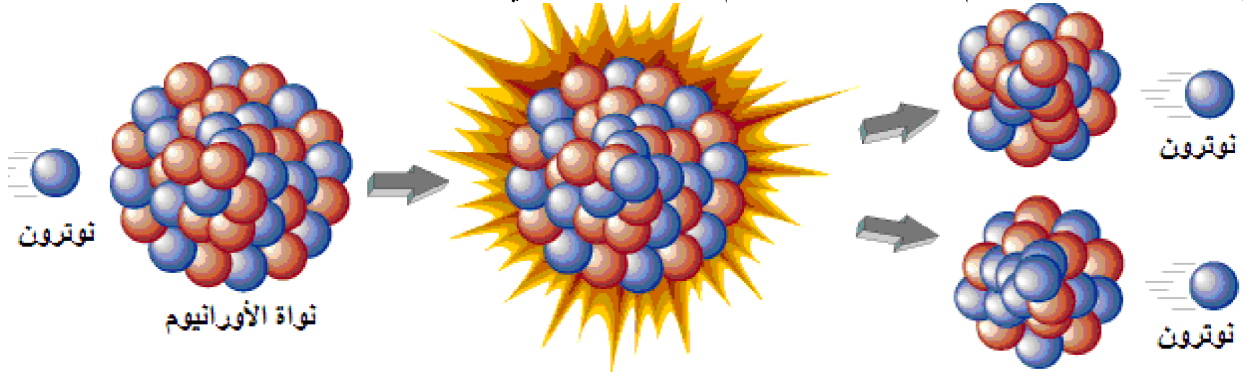
نسمي الانشطار النووي كل تفاعل نووي محرض يتم خلاله انقسام نواة ثقيلة غالبا إلى نواتين اقل ثقلا . يحدث انشطار نواة عندما تصدمها دقائق غالبا ما تكون نوترونات .

مثال :

من بين تفاعلات انشطار الأورانيوم التفاعل التالي:



ينتج عن انشطار نواة الأورانيوم تحرير نوترونات تصدم نوى أخرى مما يؤدي إلى تفاعل متسلسل

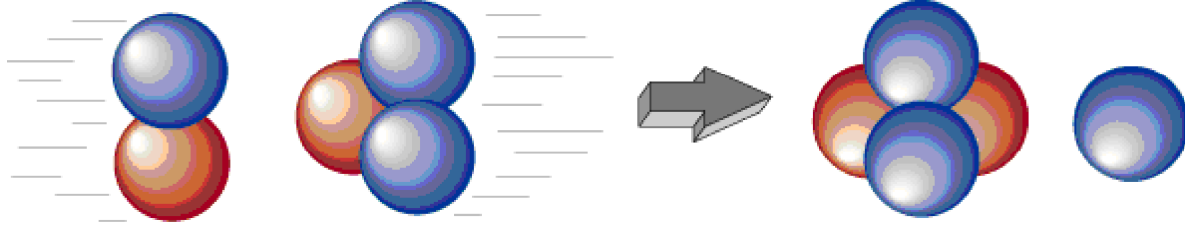


يستعمل الانشطار النووي في :

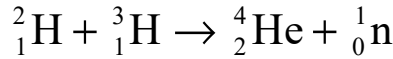
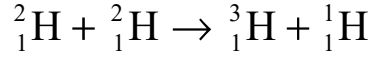
- القنبلة A: انشطار غير متحكم فيه .
- المفاعلات النووية : انشطار متحكم فيه . (إنتاج الطاقة الكهربائية) .

3.2. الاندماج النووي:

نسمي الاندماج النووي كل تفاعل نووي محرض يتم خلاله اندماج نواتين خفيفتين لتكوين نواة أكثر ثقلا.



أمثلة:

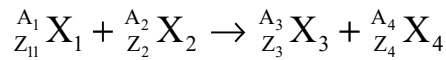


ينتج عن تفاعل الاندماج تحرير طاقة هائلة (التفاعلات في الشمس) و تستعمل لحد الآن في القنابل الهيدروجينية

4- الحصيلة الكتلية و الطاقة لتحول نووي:

4.1. الحالة العامة :

يتم ، خلال تحول نووي ، انحفاظ الشحنة و عدد النويات و الطاقة .
نعتبر التحول النووي التالي :



يعبر عن الطاقة الناتجة عن هذا التفاعل النووي بالعلاقة :

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

E_p : طاقة النواتج و E_r : طاقة المتفاعلات

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

يمكن التعبير أيضا عن هذه الطاقة بدلالة طاقات الربط للنوى كما يلي:

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

4.2. أمثلة:

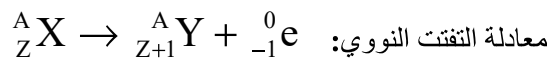
2.4.1. النشاط الإشعاعي α :



معادلة التفتت النووي:

$$\Delta E = [m(\text{He}) + m(\text{Y}) - m(\text{X})] \cdot c^2$$

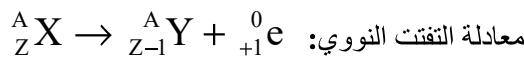
2.4.2. النشاط الإشعاعي β^- :



معادلة التفتت النووي:

$$\Delta E = [m_e + m(\text{Y}) - m(\text{X})] \cdot c^2$$

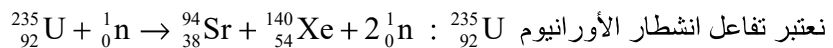
2.4.3. النشاط الإشعاعي β^+ :



معادلة التفتت النووي:

$$\Delta E = [m_e + m(\text{Y}) - m(\text{X})] \cdot c^2$$

4.2.4. تفاعل الانشطار:



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

$$\Delta E = [m(n) + m(Xe) + m(Sr) - m(U)] \cdot c^2$$

تطبيق عددي: $m(Xe) = 139,8920u$ ، $m(Sr) = 93,8945u$ ، $m(U) = 234,9935u$ ، $m(n) = 1,0087u$ ، $\Delta E = -184,8MeV$.

ينتج عن انشطار نواة الأورانيوم 235 طاقة تقارب 185MeV . و نحسب الطاقة الناتجة عن انشطار كتلة $m=1kg$ من الأورانيوم 235 .
نسمي x عدد النوى الموجودة في الكتلة m : $x = \frac{m}{m_U}$ مع m_U كتلة ذرة الأورانيوم التي تقارب كتلة النواة.

الطاقة الناتجة هي: $\Delta E' = x\Delta E$

$$x = \frac{1}{234,9935 \times 1,66 \cdot 10^{-27}} = 2,56 \cdot 10^{24} \text{ noyaux} \quad \text{إذن} \quad m_U \approx m(U) = 234,9935u$$

$$\Delta E' \approx 4,73 \cdot 10^{26} \text{ MeV} : \Delta E' = -2,56 \cdot 10^{24} \times 184,8MeV$$

4.2.5 . تفاعل الاندماج :

نعتبر تفاعل اندماج نووي الهيليوم ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2{}_1^1\text{H}$:

$$m({}^4_2\text{He}) = 4,0015u \quad , \quad m({}_1^1\text{H}) = 1,0073u \quad , \quad \Delta E = [m({}^4_2\text{He}) + 2m({}_1^1\text{H}) - 2m({}^3_2\text{He})] \cdot c^2$$

$$\Delta E = -12,8MeV \quad , \quad m({}^3_2\text{He}) = 3,0149u$$

ملحوظة:

- $\Delta E < 0$: ينتج عن التحولات النووية انبعاث طاقة .
- تظهر الطاقة ΔE في الوسط الخارجي على شكل طاقة حركية للدقائق المنبعثة و طاقة إشعاعية .

تمرين :

نعتبر نواة الأورانيوم ${}^{235}_{92}\text{U}$.

- 1- حدد النقص الكتلي لهذه النواة بالكيلوغرام و بوحدة الكتلة الذرية .
 - 2- حدد طاقة الربط لهذه النواة بالجول و ب Mev ، واستنتج طاقة الربط بالنسبة لنوية .
 - 3- قارن استقرار هذه النواة مع استقرار نواة الراديوم 226 التي طاقة ربطها بالنسبة لنوية هي : $\xi = 7,66MeV / \text{nucléon}$
 - 4- نقذف نواة الأورانيوم ${}^{235}_{92}\text{U}$ بنوترون فينتج عن ذلك نواتا ${}^{146}_{58}\text{Ce}$ و ${}^{85}_{34}\text{Se}$ و عدد y من النوترونات .
- 1.4 اكتب معادلة التفاعل محددا x و y .
- 2.4 أوجد بالجول و ب Mev الطاقة ΔE المحررة خلال هذا التفاعل . نهمل الطاقة الحركية للمتفاعلات أمام الطاقة الكتلية .
- نعطي : $m({}^{235}_{92}\text{U}) = 234,9935u$ ، $m(\text{Ce}) = 145,8782u$ ، $m(\text{Se}) = 84,9033u$ ، $m({}_0^1n) = 1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ، $m_p = 1,00728u$ ، $m_n = 1,00866u$ ، $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ، $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

الحل:

$$1- \Delta m = 92m_p + 143m_n - m({}^{235}_{92}\text{U})$$

تطبيق عددي:

$$\Delta m = 1,91464u = 3,17945 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$2- E_\ell = \Delta m \cdot c^2 \quad \text{طاقة الربط لهذه النواة}$$

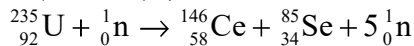
$$E_\ell = 2,86151 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 1,78844 \cdot 10^3 \text{ MeV}$$

$$\text{ت-ع} : \quad \text{طاقة الربط بالنسبة لنوية} : \quad \xi = \frac{E_\ell}{A} \quad , \quad \text{ت.ع} :$$

$$\xi = 7,61038 \text{ MeV} / \text{nucléon}$$

$$3- \text{لدينا } \xi(\text{Ra}) > \xi(\text{U}) \quad \text{إذن نواة الراديوم أكثر استقرارا من نواة الأورانيوم 235 .}$$

$$4- 1. \text{ معادلة التفاعل النووي (الانشطار) :}$$



$$\text{بتطبيق قوانين الانحفاظ : } 235+1=146+y \quad \text{و منه } y=5$$

$$x=34 \quad \text{و } 92=58+x$$

$$2.4. \text{ حساب الطاقة المحررة:}$$

$$\Delta E = [m(\text{Ce}) + m(\text{Se}) + 5m_n - m(\text{U}) - m_n]$$

$$\Delta E = -2,72498 \cdot 10^{-11} \text{ J} = -1,70098 \cdot 10^2 \text{ MeV}$$