النوى، الكتلة و الطاقة

1- التكافؤ كتلة- طاقة :

1.1.علاقة ألبيرت انشتاين:

توصل ألبيرت 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 :

$E=m.c^2$ مع E : الطاقة الكتلية (J)

m: كتلة المجموعة (kg)

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

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

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:

- وحدة الكتلة الذرية u : $1u=1,660054.10^{-27}\,kg$
- الإلكترون فولط eV: $1eV=1,60218.10^{-19}\,J$ ، $1MeV=10^{6}\,eV$

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

$1u=931,494MeV/c^2$

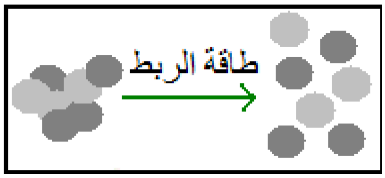
2- طاقة الربط

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 سكون كذلك :

$$\Delta m=\left[Zm_p+(A-Z)m_n\right]-m\left({}^{A}_{Z}X\right)>0$$

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



مثال : النقص الكتلي لنواة الهيليوم :

$\Delta m=\left[2m_p+2m_n\right]-m\left({}^{4}_{2}H_e\right)$ ، و $m\left({}^{4}_{2}H_e\right)=4,0015u$

و $2m_p+2m_n=4,03232u$. إذن : $\Delta m=0,0305u$

ـ استعمال الوحدات الملائمة في الفيزياء النووية

- وحدة الطاقة الكتلية هي الإلكترون فولط ev بحيث $1ev=1.66\ 10^{-19}J$
- نحسب الطاقة المكافئة لكتلة $1u=1.66\ 10^{-27}Kg$

$E=m.C^2=1.66\ 10^{-27}.(3\ 10^{8})^2=14.94\ 10^{-11}J=9.3375\ 10^{8}\ ev=933.75Mev$

و نعلم أن $E=m.C^2$ بحيث نعبر عن m بالوحدة الكتلية $ev.C^{-2}$ أي أن $1u=9.3375\ 108\ ev/C^2=933.75\ Mev/C^2$

2.2.طاقة الربط لنواة :

طاقة الربط أو طاقة تماسك النواة E_ℓ 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 :

$$E_i=m\left({}^{A}_{Z}X\right).c^2$$

- الحالة النهائية : Z بروتون و (A-Z) نوترون منفصلة وفي حالة سكون

في مرجع الدراسة ، طاقتها هي :

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

نعلم أن $\left[Zm_p + (A-Z)m_n \right] \rangle m\left({}^{A}_{Z}X\right)$ إذن $E_f \rangle E_i$

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

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

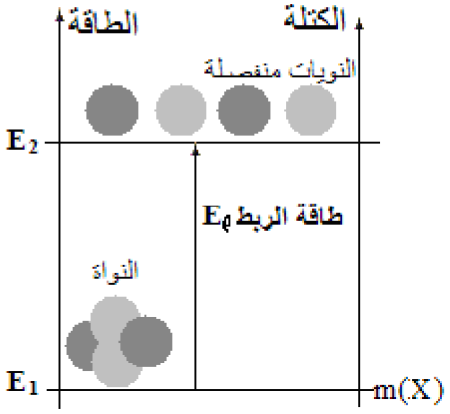
$E_\ell = \Delta m.c^2$ تسمى طاقة الربط للنواة ${}^{A}_{Z}X$

نسمي طاقة الربط $\mathbf{E_\ell}$ 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 :

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

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

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



ملحوظة:

تساوي الطاقة $\mathbf{E_\ell}$ كذلك الطاقة المحررة عند تكون النواة انطلاقا من نوياتها المنفصلة .

2.3.طاقة الربط بالنسبة لنوية :

يعبر عن طاقة الربط بالنسبة لنوية $\xi = \frac{E_\ell}{A}$ 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 :

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

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

مثال :

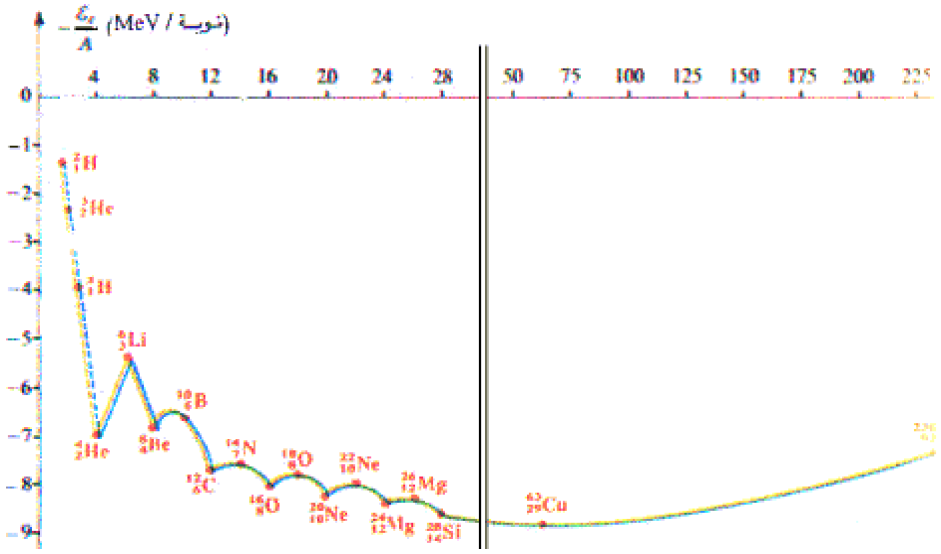
	${}^{238}_{92}U$	${}^{206}_{82}Pb$	استنتاج
E_ℓ(Mev)	1720.6668	1621.2571	$E_\ell(U) > E_\ell(Pb)$
$\frac{E_\ell}{A}$(Mev/nucleon)	7.2296	7.8702	$\frac{E_\ell}{A}(Pb) > \frac{E_\ell}{A}(U)$

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

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

2.4.منحنى اسطون (Aston) :

يمثل منحنى اسطون تغيرات مقابل طاقة الربط بالنسبة لنوية $\frac{\xi_\ell}{A}$ 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) .

- $\frac{E_\ell}{A}$ قصوية بالنسبة للنوى $50<A<75$ و بالتالي فالنويدات مستقرة
- صغيرة نسبيا بالنسبة للنوى الخفيفة و الثقيلة على السواء

3- الانشطار و الاندماج النوويان :

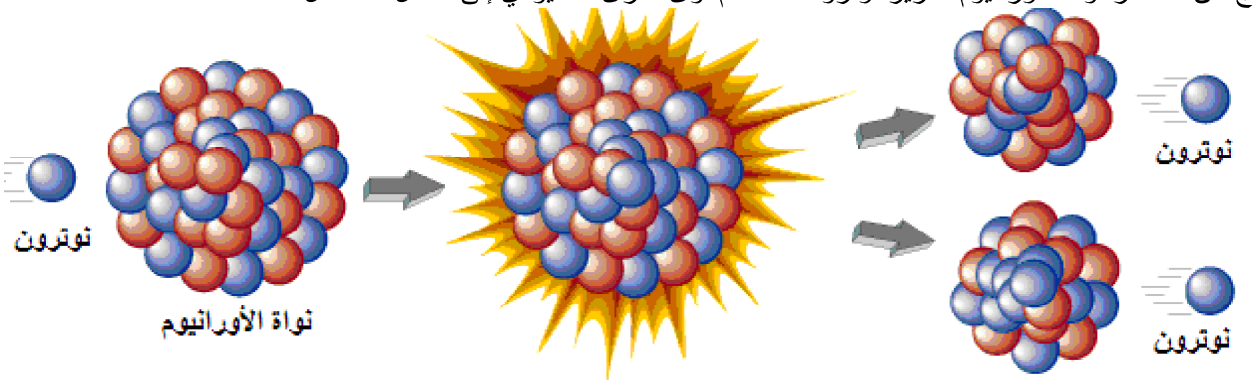
3.1.الانشطار النووي :

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:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{140}_{54}Xe + 2\,^{1}_{0}n$$

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

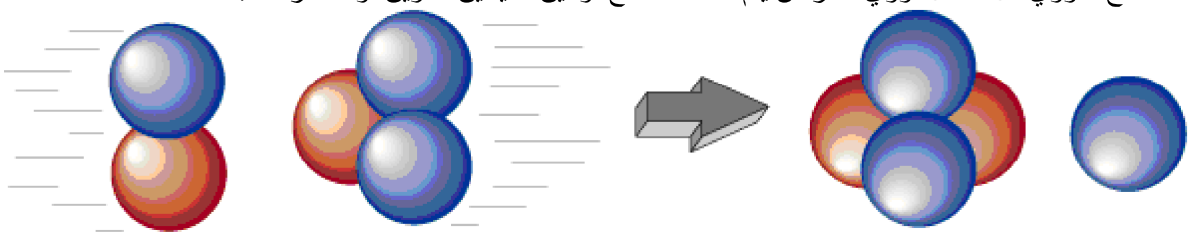


يستعمل الانشطار النووي في :

- 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:

$$^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{3}_{1}H + ^{1}_{1}H$$

$$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$$

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

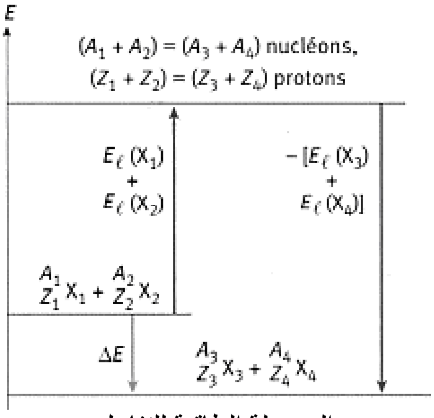
4- الحصيلة الكتلية و الطاقية لتحول نووي:

4.1. الحالة العامة :

يتم ، خلال تحول نووي ، انحفاظ الشحنة و عدد النويات و الطاقة .

نعتبر التحول النووي التالي :

$$^{A_1}_{Z_{11}}X_1 + ^{A_2}_{Z_2}X_2 \rightarrow ^{A_3}_{Z_3}X_3 + ^{A_4}_{Z_4}X_4$$



الحصيلة الطاقية للتفاعل

يعبر عن الطاقة الناتجة عن هذا التفاعل النووي بالعلاقة :

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

Ep:طاقة النواتج و Er: طاقة المتفاعلات

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

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

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

4.2. أمثلة:

4.2.1. النشاط الإشعاعي α:

معادلة التفتت النووي: $^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He$

الطاقة المحررة خلال هذا التفتت : $\Delta E = \left[m(He) + m(Y) - m(X)\right].c^2$

4.2.2. النشاط الإشعاعي β^-:

معادلة التفتت النووي: $^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z+1}Y + ^{0}_{-1}e$

الطاقة المحررة خلال هذا التفتت : $\Delta E = \left[m_e + m(Y) - m(X)\right].c^2$

4.2.3. النشاط الإشعاعي β^+:

معادلة التفتت النووي: $^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z-1}Y + ^{0}_{+1}e$

الطاقة المحررة خلال هذا التفتت : $\Delta E = \left[m_e + m(Y) - m(X)\right].c^2$

4.2.4. تفاعل الانشطار:

نعتبر تفاعل انشطار الأورانيوم $^{235}_{92}U$: $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{140}_{54}Xe + 2\,^{1}_{0}n$

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

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

تطبيق عددي: $m(n) = 1,0087u$ ، $m(U) = 234,9935u$ ، $m(Sr) = 93,8945u$ ، $m(Xe) = 139,8920u$

نجد: $\Delta E = -184,8MeV$.

ينتج عن انشطار نواة الأورانيوم235 طاقة تقارب 185MeV .و نحسب الطاقة الناتجة عن انشطار كتلة m=1kg من الأورانيم 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: $\Delta E' = x\Delta E$

$$x = \frac{1}{234,9935X1,66.10^{-27}} = 2,56.10^{24}\,noyaux \quad \text{إذن} \quad m_U \approx m(U) = 234,9935u$$

إذن الطاقة $\Delta E' = -2,56.10^{24}\,x184,8MeV$: $\Delta E' \approx 4,73.10^{26}\,MeV$

4.2.5 . تفاعل الاندماج :

نعتبر تفاعل اندماج نواتي الهيليوم ^3_2He : $^3_2He + {}^3_2He \rightarrow {}^4_2He + 2\,{}^1_1H$

$$\Delta E = \left[m\left({}^4_2He\right) + 2m\left({}^1_1H\right) - 2m\left({}^3_2He\right) \right].c^2$$ ، $m(H) = 1,0073u$ ، $m\left({}^4_2He\right) = 4,0015u$

إذن: $\Delta E = -12,8MeV$ ، $m\left({}^3_2He\right) = 3,0149u$

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 $^{235}_{92}U$.

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 : $\xi = 7,66MeV/nucléon$
4- نقذف نواة الأورانيوم $^{235}_{92}U$ بنوترون فينتج عن ذلك نواتا $^{146}_{58}Ce$ و $^{85}_{x}Se$ 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 : $m\left({}^{235}_{92}U\right) = 234,9935u$ ، $m(Ce) = 145,8782u$ ، $m(Se) = 84,9033u$ ، $1u = 1,6606.10^{-27}\,kg$

$e = 1,6.10^{-19}\,c$ ، $c = 3.10^8\,m.s^{-1}$ ، $m_p = 1,00728u$ ، $m_n = 1,00866u$

الحل:

1- النقص الكتلي : $\Delta m = 92m_p + 143m_n - m\left({}^{235}_{92}U\right)$

تطبيق عددي:

$$\Delta m = 1,91464u = 3,17945.10^{-27}\,kg$$

2- طاقة الربط لهذه النواة: $E_\ell = \Delta m.c^2$.

ت-ع : $E_\ell = 2,86151.10^{-10}\,J = 1,78844.10^3\,MeV$

طاقة الربط بالنسبة لنوية : $\xi = \frac{E_\ell}{A}$ ، ت.ع :

$$\xi = 7,61038Mev/nucléon$$

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

4- 1 . معادلة التفاعل النووي (الانشطار) :

$$^{235}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^{146}_{58}Ce + {}^{85}_{34}Se + 5\,{}^1_0n$$

بتطبيق قوانين الانحفاظ : $235+1=146+y$ و منه $y=5$

$92=58+x$ و منه $x=34$

2.4. حساب الطاقة المحررة:

$$\Delta E = \left[m(Ce) + m(Se) + 5m_n - m(U) - m_n \right]$$

$$\Delta E = -2,72498.10^{-11}\,J = -1,70098.10^2\,MeV$$