النوى، الكتلة والطاقة

I التكافؤ " كتلة- طاقة "

1) علاقة أينشتاين:

أثبتت الميكانيك النسبوية الخاصة التي أنشأها ألبيرت 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 .

$$E = m.c^2$$ (J, Kg) تسمى بعلاقة اينشتاين

$$c = 3\times10^8 m/s$$

ووحدة الطاقة الكتلية في الفيزياء النووية هي الإلكترون- فولط (eV) الذي تربطه بالجول العلاقة التالية: $1eV = 1,6\times10^{-19} J$.

ومن مضاعفاته الميغا إلكترون فولط $1MeV = 10^6 eV = 1,6\times10^{-13} J$ Mégaélectronvolt

وتبين هذه العلاقة أن كل تغير لكتلة مجموعة ما بالمقدار Δm يوافقه 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 : أي u.m.a. والتي يرمز إليها ب: u فقط من أجل التبسيط.

ووحدة الكتلة الذرية تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون $^{12}_{6}C$ أي : $1u$ يساوي : $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون12.

(الكتلة المولية ل: $^{12}_{6}C$ تساوي $12g/mol$)

كتلة مول واحد من ذرات الكربون تساوي 12 g . وكل مول يحتوي على N_A=6,02.10^{23} ذرة.

أي: $$1.u = \frac{m(^{12}_{6}C)}{12} = \frac{12g}{12.N_A} = \frac{12\times10^{-3} Kg}{12\times6,02\times10^{23}} = 1,66\times10^{-27} Kg$$

$$1u = 1,66\times10^{-27} Kg$$

كما نستعمل كوحدة للكتلة في الفيزياء النووية الوحدة التالية : eV/c^2 .

من خلال علاقة أينشتاين السابقة :

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

عند التعبير عن الطاقة ب eV فإن وحدة الكتلة هي eV/c^2

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

لنتحقق من تجانس الوحدات في العلاقة السابقة : $$\frac{J}{m^2/s^2} = \frac{N\times m}{m^2\times s^{-2}} = \frac{Kg\times m.s^{-2}\times m}{m^2\times s^{-2}} = Kg$$

وهكذا في الفيزياء النووية نستعمل كوحدة للكتلة إما: ال: u أو ال: MeV/c^2

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 Δm 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_ℓ لنواة ^A_ZX هي الطاقة التي يجب إعطاؤها للنواة في حالة سكون لفصل نوياتها وتبقى في حالة سكون.

وتعطيها العلاقة التالية: $E_\ell = \Delta m.c^2 = \left[Z.m_p + (A-N)m_n - m(^A_ZX)\right]c^2$ وهي دائما موجبة .

3) طاقة الربط بالنسبة لنوية:

نستعمل أحيانا **طاقة الربط بالنسبة لنوية** وتعطيها العلاقة التالية : $\xi = \frac{E_\ell}{A}$ حيث : E_ℓ هي طاقة الربط للنواة و A عدد النويات.

ووحدتها : $MeV/nucléon$.

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 النوترون $m_n = 1,0087u$.

أ) احسب طاقة الربط لنواة الأورانيوم $^{238}_{92}U$.

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

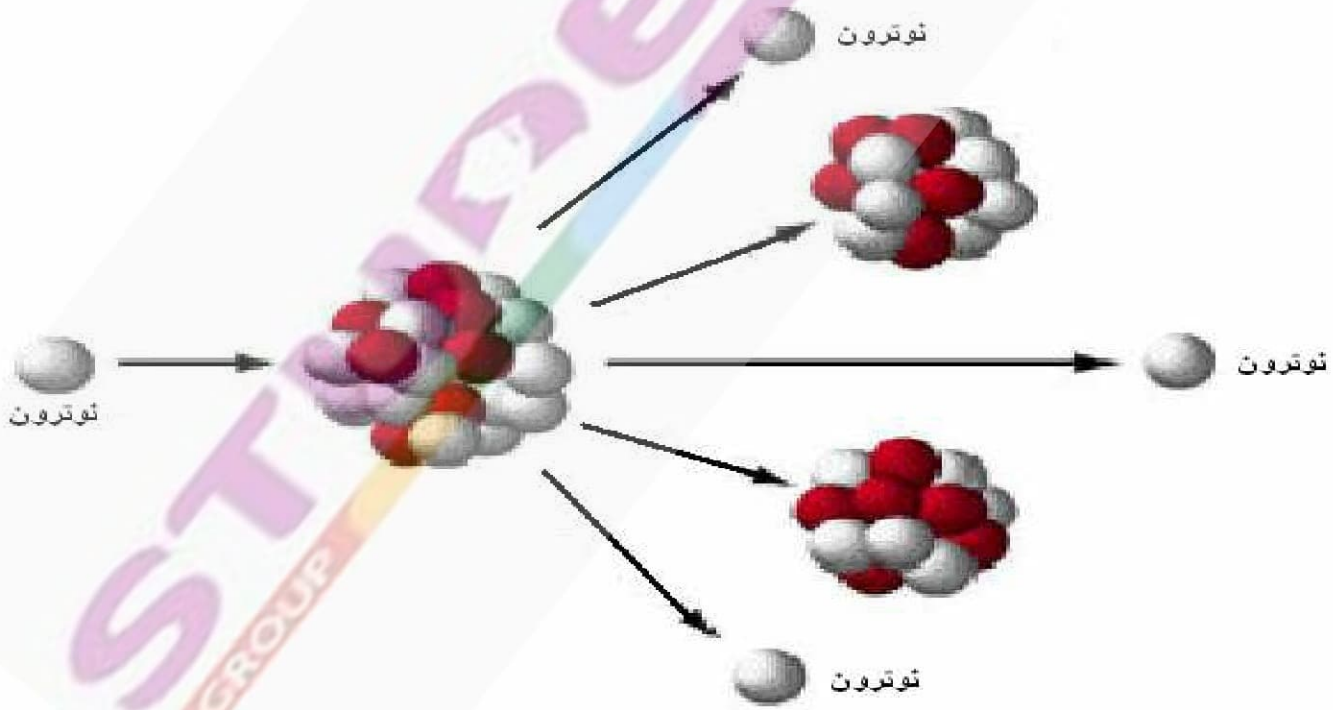
$$E_\ell = \Delta m.c^2 = \left[Z.m_p + (A-N)m_n - m(^{238}_{92}U)\right]c^2 = \left[92\times 1,0073 + (238-92)\times 1,0087 - 238,0003\right]u\times c^2 =$$

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

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

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 النوترون للقذف لأنه جسيم محايد لا يتنافر مع النواة ويصل إليها بسهولة .

مثال 1: $^{235}_{92}U + ^1_0n \longrightarrow ^{140}_{55}Cs + ^{93}_{37}Rb + 3\,^1_0n$

مثال 2 : $^{235}_{92}U + ^1_0n \longrightarrow ^{94}_{38}Cr + ^{140}_{54}Xe + 2\,^1_0n$

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 : الطاقة المتحررة خلال هذا التفاعل: $\Delta E = \left[m(^3_2He) - m(^1_1H) - m(^2_1H)\right]c^2$ $\quad {}^2_1H + {}^1_1H \dashrightarrow {}^3_2He$

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

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 **تنشطر** وإذا كانت خفيفة فهي **تندمج** وبذلك تتحول إلى نوى أكثر إستقرارا.

7) الحصيلة الطاقية لتفاعل نووي:

أ) تحديد :

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

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

وحسب تعبير طاقة الربط E_l يصبح تعبير ΔE كما يلي :

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

أي بصفة عامة :

$$\Delta E = \Delta m \times c^2 = \left[\Sigma m(\text{نواتج}) - \Sigma m(\text{متفاعلات})\right] \times c^2$$

ب) الحصيلة الطاقية للتحولات النووية التلقائية:

*** الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي α :**

معادلة التفتت α : $\quad {}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي α هي:

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

مثال: $\quad {}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^4_2He$ 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: $\quad E = \Delta m \times c^2 = (-4,94MeV/c^2) \times c^2 = -4,94MeV$ لأن : $1u = 931,5MeV/c^2$

- **الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^- :**

معادلة التفتت β^- : $\quad {}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e$

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^- هي:

$$E=\left[m_{(ZH1Y)}+m_{(-1e)}^{0}-m_{(ZX)}^{A}\right]\times c^{2}$$ وهي سالبة

مثال: $^{60}_{27}Co\rightarrow ^{60}_{28}Ni+^{0}_{-1}e$ **نعطي :** $m(^{60}_{28}Co)=59,9190u$ ، $m(^{60}_{28}Ni)=59,915u$ ، $m(e)=5,49\times10^{-4}u$

التغير الكتلي : $\Delta m_2=m(Ni)+m(e)-m(Co)=-3,45\times10^{-3}u\approx-3,21Mev/c^2$

الطاقة المتحررة: $E=\Delta m\times c^2=(-3,21MeV/c^2)\times c^2=-3,21MeV$ **لأن :** $1u=931,5MeV/c^2$

*** الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^+ :**

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

الطاقة المتحررة خلال النشاط الإشعاعي β^+ هي:

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

مثال: $^{13}_{7}N\rightarrow ^{13}_{6}C+^{0}_{1}e$ **نعطي :** $m(^{13}_{7}N)=13,001898u$ ، $m(^{13}_{6}C)=13,000062u$ ، $m(e)=5,49\times10^{-4}u$.

التغير الكتلي $\Delta m=m(C)+m(e)-m(N)=-1,287\times10^{-3}u\approx-1,2Mev/c^2$

الطاقة المتحررة : $E=\Delta m\times c^2=(-1,2MeV/c^2)\times c^2=-1,2MeV$

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

III) التأثيرات البيولوجية للنشاط الإشعاعي:

تؤثر الإشعاعات النووية على جسم الإنسان بكيفية متفاوتة.

الدقائق الفا α : تتكون دقيقة ألفا من نواة الهيليوم $^{4}_{2}He$ التي تحتوي على بروتونين و نيترونين و لها شحنة ثنائية موجبة : $q=+2e=+2\times1,6\times10^{-19}c$ **و تبلغ سرعة دقائق ألفا حين انطلاقها من المادة المشعة $1/10$ سرعة الضوء و لكن كبر حجمها النسبي و شحنتها الموجبة يجعلان قدرتها على الاختراق منخفضة فلا تستطيع أن تخترق الجزيئات الأولى في جلد الإنسان أو في صفحة كتاب .**

الدقائق بيتا β^- : هي الاكترونات $^{0}_{-1}e$ لها طاقة عالية تنتقل بسرعة عالية تزيد على $16000km/s$ 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 γ هي مثل أشعة X موجات كهرومغناطيسية (ليست بدقائق مادية) سرعتها هي سرعة انتشارالضوء فهي ذات قوة اختراق عالية ونافذة بشكل كبير ، لأيقافها يلزم عدة سنتيميترات من الرصاص ، وتستعمل 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 بشعبتي العلوم الفيزيائية والرياضية.