الفيزيـاء النوويــة

الباب الأول : خصائص النواة

١ - تركيب النواة

٢ - النظائر

٣ - كتلة النواة

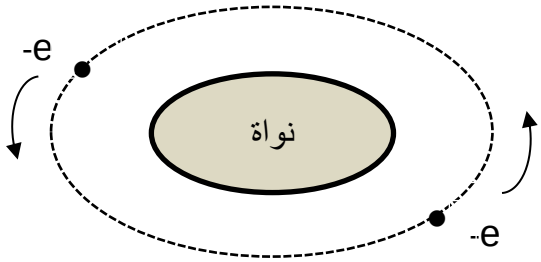
٤ - تعريفات هامة

٥ - حجم النواة

٦ -التحويل بين الكتلة والطاقة

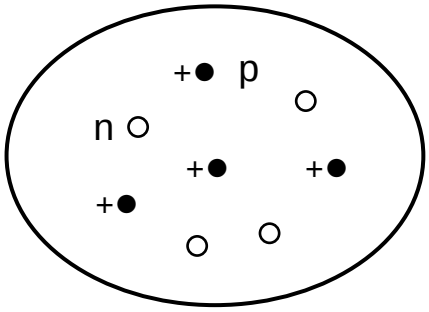
١- تركيب النواة

تعرف الذرة على أنها وحدة بناء المادة، و هي دائما تكون متعادلة كهربياً ولا ترى بالعين المجردة. وتتكون الذرة من نواة موجبة الشحنة وتدور حولها الكترونات سالبة الشحنة كما هو موضح في الشكل أدناه.



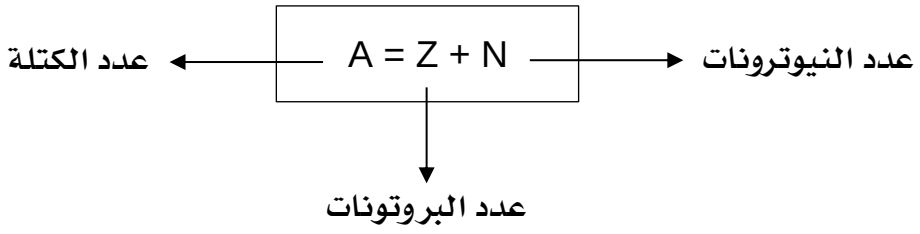
الذرة

أما النواة فتتكون من بروتونات موجبة P ونيوترونات متعادلة n.



النواة

ويرمز عادة للبروتون بالرمز p كما يرمز للنيوترون بالرمز n ويرمز للإلكترون بالرمز e ويعرف عدد البروتونات الموجبة داخل النواة بالعدد الذري ويرمز له بالرمز z أما عدد الكتلة فهو عبارة عن مجموع عدد البروتونات + عدد النيوترونات ويرمز له بالرمز A ويمكن التعبير عن عدد الكتلة بالمعادلة الأتية:



ولسهولة معرفة العدد الذري وعدد الكتلة للعناصر الكيميائية فإن العنصر يكتب على الصورة ${}^{A}_{Z}X$ مثل : ${}^{12}_{6}C$, ${}^{16}_{8}O$, ${}^{10}_{5}B$, ${}^{1}_{1}H$.

ومن المعروف أن البروتونات تكون دائماً موجبة الشحنة (P^+) أما الإلكترونات فتكون دائماً سالبة الشحنة (e^-) أما النيوترونات فهي لا تحمل أي شحنات كهربية لذلك فهي متعادلة (n). وشحنة البروتون تساوي شحنة الإلكترون في القيمة ولكنها تختلف معها في الإشارة.

فشحنة البروتون = ١,٦ × ١٠-١٩ كولوم أما شحنة الالكترون = - ١,٦ × ١٠-١٩ كولوم.

$$Ce^- = -1.6 \times 10^{-19}$$

شحنة الإلكترون

$$CP^+ = +1.6 \times 10^{-19}$$

شحنة البروتون

٢- النظائر

يوجد في الطبيعة عناصر كثيرة متشابهة في العدد الذري إلا أنها تختلف عن بعضها البعض في الخواص النووية، ويطلق على هذه العناصر اسم النظائر. و تعريف النظائر يكون كالتالي:

> النظائر هي تلك العناصر التي لها نفس العدد الذري ولكنها تختلف في عدد النيوترونات وبالتالي تختلف في عدد الكتلة.

ومن الأمثلة على ذلك :

البورون 10 ، البورون 11 (${}^{10}_{5}B$, ${}^{11}_{5}B$).

الهيدروجين 1 (${}^{1}_{1}H$, ${}^{2}_{1}H$).

الكربون 12 ، الكربون 14 (${}^{12}_{6}C$, ${}^{14}_{6}C$).

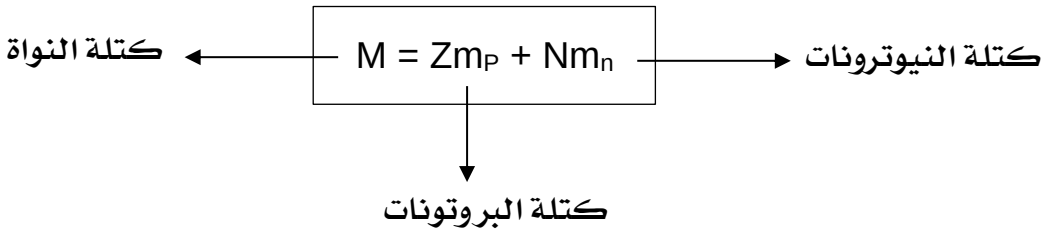
نلاحظ في جميع العناصر السابقة أن كل اثنين منها لهما نفس العدد الذري Z ولكنهما يختلفان في عدد الكتلة A . لذا يطلق على البورون 11 ($^{11}_{5}B$) أنه نظير البورون 10 ($^{10}_{5}B$) وكذلك يطلق على الهيدروجين 1 ($^{1}_{1}H$) أنه نظير الهيدروجين 2 ($^{2}_{1}H$)، والكربون 14 ($^{14}_{6}C$) أنه نظير الكربون 12 ($^{12}_{6}C$).

ملحوظة هامة:

النظائر لنفس العنصر يكون لها نفس الخواص الكيميائية ولكنها تختلف في الخواص النووية.

٣- كتلة النواة

تتركز كتلة الذرة في كتلة النواة ، وكتلة النواة تساوي مجموع كتل مكوناتها أي أن كتلة النواة تساوي مجموع كتل البروتونات + كتل النيوترونات الموجودة داخل النواة.



وتعتبر كتلة كل من البروتون والنيوترون والالكترون من الثوابت الفيزيائية حيث

كتلة البروتون = $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg

كتلة النيوترون = $m_n = 1.6749 \times 10^{-27}$ kg

كتلة الالكترون = $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

٤- تعريفات هامة

هناك تعريفات كثيرة هامة في دراسة الفيزياء النووية وسوف نذكر أهم تلك التعريفات فيما يلي:

١. **النيوكلايد :** هو أي عنصر ذو عدد ذري Z وعدد كتلة A .

٢. **النظائر :** هي العناصر التي لها نفس العدد الذري ولكنها تختلف في عدد النيوترونات وبالتالي تختلف في عدد الكتلة.

٣. **الأيزوبار :** هي العناصر التي تتساوى في عدد الكتلة A وتختلف في العدد الذري Z .

٤. **الأيزوتون :** هي العناصر التي تتساوى في عدد النيوترونات n وتختلف في عدد الكتلة A.

٥. **الأيزومير :** هي العناصر التي لها نفس عدد البروتونات والنيوترونات ولكنها تتواجد في حالات إثارة مختلفة وتمتلك نصف عمر يمكن قياسه بسهولة.

٦. **الميزونات :** هي جسيمات لها خواص فيزيائية وتقع كتلتها بين الإلكترون والبروتون ومن أنواعها μ و π .

٧. **البوزيترون :** هو جسيم مضاد للإلكترون ويحمل نفس خواصه ولكنه موجب الشحنة.

٨. **الفوتون :** هو وحدة كمية في الإشعاع الكهرومغناطيسي ويظهر على شكل ضوء أو أشعة سينية أو أشعة جاما.

٩. **النيوكلونات :** هي الدقائق النووية (البروتونات أو النيوترونات أو كليهما).

٥- حجم النواة

لكي نستطيع حساب قيمة حجم النواة لأي عنصر نفرض أن النواة على شكل كرة لها نصف قطر مقداره R ، ومن البديهي أن حجم النواة سوف يتناسب مع عدد البروتونات وعدد النيوترونات بداخلها أي أننا نستطيع القول أن حجم النواة V يتناسب طردياً مع عدد الكتلة A أي أن

$$V \alpha A \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

بما أن حجم النواة = حجم الكرة = $\frac{4}{3}\pi R^3$ إذاً يمكن أن تكتب العلاقة (1) كالتالي:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \alpha A$$

$$R^3 \alpha \frac{3}{4\pi} A$$

$$R^3 = C A \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث C هو مقدار ثابت، وبأخذ الجذر التكعيبي لطرفي المعادلة (2) نحصل على

$$R = R_o A^{\frac{1}{3}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث R_o هو مقدار ثابت.

وتم معرفة قيمة هذا المقدار الثابت من خلال تجارب عديدة حيث أثبتت هذه التجارب أن

($R_o = 1.4 \times 10^{-15}$ m).

ومن العلاقة (3) نستطيع معرفة نصف قطر نواة أي عنصر عن طريق معرفة عدد الكتلة لهذا العنصر ، وبعد معرفة نصف القطر R يمكننا أن نحسب حجم هذه النواة.

مثال ١

احسب عدد البروتونات والنيوترونات ونصف قطر أنوية العناصر الآتية :

$${}^{18}_{8}O \quad , \quad {}^{56}_{26}Fe$$

الحل

أ) **أولاً :الأوكسجين** ${}^{18}_{8}O$

عدد الكتلة = A = 18

عدد البروتونات = Z = 8

عدد النيوترونات N= A – Z = 18 – 8 = 10

$$R = R_o A^{\frac{1}{3}}$$

$$R = (1.4 \times 10^{-15}) \times (18)^{\frac{1}{3}}$$

$$R = 3.7 \times 10^{-15} \ m$$

ب) ثانياً : الحديد $^{56}_{26}Fe$

عدد الكتلة = A = 56

عدد البروتونات = Z = 26

عدد النيوترونات N= A – Z = 56 – 26 = 30

$$R = R_o A^{\frac{1}{3}}$$

$$R = (1.4 \times 10^{-15}) \times (56)^{\frac{1}{3}}$$

$$R = 5.4 \times 10^{-15} \ m$$

.....

مثال ٢

نصف قطر نواة عنصر ما هو 6×10^{-15} m **اوجد عدد الكتلة لهذا العنصر .**

الحل

$$R = 6 \times 10^{-15} \ m$$

$$R = R_o A^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{R}{R_o} = A^{\frac{1}{3}}$$

بتكعيب الطرفين نحصل على

$$\left(\frac{R}{R_o}\right)^3 = A$$

$$A = \left(\frac{R}{R_o}\right)^3 = \left(\frac{6 \times 10^{-15}}{1.4 \times 10^{-15}}\right)^3$$

$$A = \left(\frac{6}{1.4}\right)^3 = 79$$

.....

٦- التحويل بين الطاقة والكتلة

تقاس الطاقة بوحدات مختلفة منها الجول (J) والإلكترون فولت (eV) والمليون إلكترون فولت (MeV) . وتعتبر وحدة الالكترون فولت (eV) هي من أهم الوحدات الأكثر استخداماً في الفيزياء النووية وتعرف هذه الوحدة كالتالي:

> الإلكترون فولت هو الزيادة في طاقة حركة الالكترون عندما يعبر جهد كهربي مقداره واحد فولت .

ويمكن التحويل بين وحدات الطاقة المختلفة من خلال معاملات التحويل الأتية:

$$1 \text{ ev} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ Mev} = 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$1 \text{ Mev} = 10^{6} \text{ ev}$$

على سبيل المثال إذا أردنا تحويل 20 J إلى وحدة الالكترون فولت يكون ذلك كالتالي

$$20 \text{ J} = 20 \text{ J} \times \frac{1 \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} = 1.25 \times 10^{20} \text{ ev}$$

أيضاً إذا أردنا تحويل نفس الرقم 20 J إلى وحدة المليون الكترون فولت يكون ذلك كالتالي:

$$20 \text{ J} = 20 \text{ J} \times \frac{1 \text{ MeV}}{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}} = 1.25 \times 10^{14} \text{ Mev}$$

كتلة الذرة هي عبارة عن عدد الكتلة A مقسوما على عدد افوجادرو N_A (عدد الذرات في المول الواحد من المادة)، وجدير بالذكر أنه نظراً للصغر المتناهي لكتلة النواة ومكوناتها تم التعامل بوحدة تناسب النواة والتي تسمى وحدة الكتل الذرية ويرمز لها بالرمز (u) وتعرف وحدة الكتل الذرية على النحو التالي:

وحدة الكتل الذرية (u) تساوي $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون $^{12}_{6}C$.

$$1u = 1.660566 \times 10^{-27} \quad Kg$$

والجدول التالي يوضح كتلة كل من البروتون والالكترون والنيوترون مقدرة بالكيلوجرام وكذلك بوحدة الكتل الذرية.

م	الجسيم	الكتلة بالكيلو جرام	الكتلة بوحدة الكتل الذرية
1	البروتون	1.67×10^{-27} kg	1.00727 u
2	النيوترون	1.67495×10^{-27} Kg	1.008665 u
3	الالكترون	9.1×10^{-31} kg	0.000549 u

من النظرية النسبية للعالم أينشتين نجد أن هناك علاقة بين الطاقة والكتلة وهي أنهما متكافئتان ويمكن تحويل إحداهما إلى الأخرى وذلك عن طريق العلاقة التي قدمها العالم أينشتين وهي :

$$E = m c^2$$

حيث E هي الطاقة ، m هي كتلة الجسيم ، c هي سرعة الضوء

مثال ١

احسب الطاقة المكافئة لوحدة كتل ذرية واحدة مقدرة بوحدة الـ Mev .

الحل

$1 u = 1.660566 \times 16^{-27}$ kg

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

$E = mc^2 = 1.660560 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2$

$E = 0.149 \times 10^{-9}$ J

$$E = 0.149 \times 10^{-9}\ J \times \frac{1\ Mev}{1.6\times10^{-13}\ J} = 931.5\ Mev$$

.....

مثال ٢

احسب الطاقة المكافئة لـكتلة كل من واحد بروتون وواحد نيوترون وواحد الكترون مقدرة بوحدة المليون الكترون فولت (Mev) .

الحل

كتلة البروتون $= m_p = 1.7 \times 10^{-27}\ kg$

$$E_p = m_p \cdot c^2 = (1.67 \times 10^{-27}) \times (3 \times 10^8)^2 = 1.505 \times 10^{-10}\ J$$

$$E_p = 1.505 \times 10^{-10}\ J \times \frac{1\ Mev}{1.6 \times 10^{-13}\ J} = 939.4\ Mev .$$

كتلة النيوترون $= m_n = 1.67495 \times 10^{-27}\ kg$

$$E_n = m_n \cdot c^2 = 1.67495 \times 16^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 = 1.5075 \times 10^{-10}\ J$$

$$E_n = 1.5075 \times 10^{-10}\ J \times \frac{1\ Mev}{1.6 \times 10^{-13}\ J} = 942.2\ Mev .$$

كتلة الالكترون $= M_e = 9.1 \times 10^{-31}\ kg$

$$E_e = m_e \cdot c^2 = 9.1 \times 10^{-31} \times (3\times10^8)^2 = 8.19 \times 10^{-14}\ J$$

$$E_e = 8.19 \times 10^{-14}\ J \times \frac{1\ Mev}{1.6 \times 10^{-13}\ J} = 0.511\ Mev .$$

.....

مسائل على الباب الأول

١ - اوجد العدد الذري وعدد الكتلة للعناصر الأتية:

$$^{12}_{6}C \ , \ ^{16}_{8}O \ , \ ^{40}_{20}Ca \ , \ ^{56}_{26}Fe \ , \ ^{59}_{27}Co$$

٢ - احسب الطاقة التي يطلقها جرام واحد من المادة بوحدات الجول والمليون الكترون فولت.

٣ - احسب طاقة كتلة السكون للإلكترون بوحدة الـ Mev علماً بأن كتلة الإلكترون 9.1×10^{-31} Kg و سرعة الضوء 3×10^{8} m/s .

٤ -احسب عدد البروتونات وعدد النيوترونات ونصف قطر أنوية العناصر الأتية:

$$^{126}_{53}I \ , \ ^{200}_{80}Hg \ , \ ^{232}_{90}Th$$

٥ - إذا كان عدد الكتلة لعنصر ما هو 100 ، احسب نصف قطر نواة هذا العنصر علماً بأن ($R_o = 1.4 \times 10^{-15}$ m).

٦ - إذا كان عدد الكتلة لعنصر ما هو 200 ، احسب نصف قطر نواة هذا العنصر علماً بأن ($R_o = 1.4 \times 10^{-15}$ m).

٧ - احسب الطاقة التي المكافئة لكتلة مقدارها 10 كيلو جرام من المادة بوحدات الجول والمليون الكترون فولت علماً بأن سرعة الضوء 3×10^{8} m/s.

٨ - احسب الطاقة التي المكافئة لكتلة مقدارها 1000 جرام من المادة بوحدات الجول والمليون الكترون فولت علماً بأن سرعة الضوء 3×10^{8} m/s.

٩ -إذا كان عدد الكتلة لعنصر ما هو 40 وعدد النيوترونات داخل النواة هو 22 ، احسب العدد الذري لهذا العنصر وحجم نواته.

١٠ -احسب حجم نواة العنصر الذي له عدد كتلة 60 .

الباب الثاني

القـوى النـوويـــة

١ - مقدمة

٢ - أنواع القوى في الطبيعة

٣ - خصائص القوة النووية

٤ - طاقة الربط النووية

١- مقدمة

هنالك طاقة تربط مكونات النواه بعضها البعض وتسمى طاقة الترابط النووي ويبلغ مقدار هذه الطاقة عدة ملايين من المليون إلكترون فولت ويمكننا تقدير قيمة طاقة ربط بروتون واحد داخل نواة ما إذا افترضنا أن قطر النواة حوالي $5\ x\ 10^{-15}$ متر فإنه باستخدام مبدأ عدم التحديد للعالم دي برولي نجد أن :

$$\lambda = \frac{\hbar}{P} \rightarrow p = \frac{\hbar}{\lambda} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$p = mv \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

بتربيع طرفي المعادلة (2) وقسمة الطرفين على 2m نحصل على

$$\frac{p^2}{2m} = \frac{m^2v}{2m} = {}^1\!/_2\ mv^2 = T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث T هي طاقة الحركة للجسيم

P هي كمية الحركة للجسيم

m هي كتلة الجسيم ، v هي سرعة الجسيم.

λ هو الطول الموجي للحركة الموجية للجسيم

$\hbar$ هو مقدار ثابت يسمى ثابت بلانك ويساوي $\hbar = 6.626\times10^{-34}$ J.s

بالتعويض من المعادلة (1) في المعادلة (3) مع ملاحظة أن الجسيم المستخدم هنا هو بروتون وباعتبار أن الطول الموجي λ يساوي قطر النواة نجد أن:

$$T = \frac{\hbar^2}{2m\,\lambda^2} = \frac{(6.626\ x\ 10^{-34})^2}{2\ x\ 1.67\ x\ 10^{-27}\ x\ (5\ x\ 10^{-15})^2}$$

$$T \approx 30 \ \text{Mev}$$

وهذه هي الطاقة الناتجة عن بروتون واحد فقط وهي طاقة هائلة جداً فما هو مصدرها ؟؟

٢- أنواع القوى في الطبيعة

من المعروف أن لدينا في الطبيعة أربع أنواع مختلفة من القوى وهي كما يلي :

(أ) قوة الجذب بين الجسيمات

وهي القوة التي تنشأ بين الأجسام الكبيرة وكذلك الأجسام الصغيرة بعضها البعض ويتم حساب هذه القوة من العلاقة التالية :

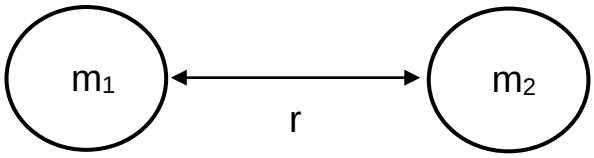
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

حيث G هو مقدار ثابت يسمى ثابت الجذب ويساوي $G = 6.67 \text{ x } 10^{-27} \ Nm^2/kg^2$

m_1 هي كتلة الجسم الاول

m_2 هي كتلة الجسم الثاني

r هي المسافة الفاصلة بين الجسمين كما بالشكل



أما الطاقة الناتجة عن هذه القوة فيمكن حسابها من العلاقة التالية :

$$U = G \frac{m_1 m_2}{r}$$

فإذا كان لدينا بروتونين داخل نواة عنصر ما تفصلهما مسافة $5 \text{ x } 10^{-15}$ m (قطر النواة) وإذا كانت كتلة البروتون هي 1.67×10^{-27} kg فإنه يمكن حساب الطاقة الناتجة عن قوة التجاذب بينهما كما يلي :

$$U = G\ \frac{m_1 m_2}{r} = 6.67\ x\ 10^{-27}\ x\ \frac{(1.67\ x\ 10^{-27})\ x\ (1.67\ x\ 10^{-27})}{5\ x\ 10^{-15}}$$

$$U = 3.72\ \times 10^{-66}\ \ J$$

وإذا أردنا حساب هذه الطاقة بوحدة المليون إلكترون فولت نستخدم معامل التحويل كما يلي:

$$U = 3.72\ \times 10^{-66}\ \ J\ .\ \frac{1\ Mev}{1.6\ \times 10^{-13}\ J}$$

$$U = 2.3\ \times 10^{-47}\ \ Mev$$

وهي طاقة ضئيلة جداً ولا يمكن أن تكون هي المسؤولة عن الطاقة النووية التي هي مسؤولة عن استقرار النواة.

(ب) القـوة الكـهـربـيـــة

هي القوة المتبادلة بين الشحنات الكهربية بعضها البعض ويمكن حسابها من خلال العلاقة الأتية:

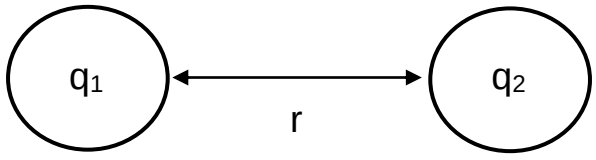
$$F = k\ \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

حيث k مقدار ثابت يساوي $K = 9\ x\ 10^9\ \ N\ m^2/C^2$

q_1 هي مقدار الشحنة الأولى

q_2 هي مقدار الشحنة التالية

r هي المسافة الفاصلة بين الشحنتين كما بالشكل.



ويمكن حساب الطاقة الناتجة من القوة الكهربية من العلاقة الأتية:

$$U_e = k \frac{q_1 q_2}{r}$$

فإذا كان لدينا بروتونين المسافة بينهما هي (قطر النواة) 5×10^{-15} m وشحنة البروتون هي 1.6×10^{-19} C فإن الطاقة الكهربية الناتجة عن ذلك هي:

$$U_e = 9 \times 10^9 \frac{(1.6 \times 10^{-19}) \times (1.6 \times 10^{-19})}{5 \times 10^{-15}} = 4.6 \times 10^{-14} \text{ J}$$

وهذه الطاقة بوحدة المليون إلكترون فولت تساوي

$$U_e = 4.6 \times 10^{-14} \text{ J} . \frac{1 \text{ Mev}}{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}} = 0.29 \text{ Mev}$$

وهي أيضا طاقة صغيرة جداً ولا يمكن أن تكون هي المسؤولة عن استقرار النواة وبالتالي يمكن أن نقول أن الطاقة النووية لا تتبع القوة الكهربية.

(ج) القوة المغناطيسية

هذه القوة تكون موجودة دائما بين مكونات النواة وقيمتها تساوي تقريباً القوة الكهربية حوالي (0.28 Mev) وبالتالي لن يعزى إليها استقرار النواة .

(د) القوة الضعيفة

توجد هذه القوة بين الجسيمات التي تتفاعل مع المادة والنيوترونات المرافقة لجسيمات بيتا وهي ضعيفة جداً وتقدر بـ 10^{-12} Mev وبالتالي هذه القوة لن تتسبب في وجود القوة النووية ولن يعزى إليها استقرار النواة ولذلك نستطيع القول

أن القوة النووية هي من نوع آخر جديد ومختلف عن القوى الأربعة المذكورة سابقاً، وسوف نتحدث في البند التالي عن الخصائص والصفات المختلفة للقوة النووية.

٣- خصائص القوة النووية

تنشأ القوة النووية بين النيوكلونات داخل النواة وتتمتع القوة النووية بخصائص معينه أهمها ما يلي:

١ - هي قوة تجاذبية ولكنها ليست كذلك على طول المسافة الفاصلة بين النيوكلونات. فقد لوحظ أن هذه القوة تغير من هذه الخاصية عندما تكون المسافة بين النيوكلونات أقل من 0.4×10^{-15} m وبالتالي تصبح القوة النووية في هذا المدى قوة تنافرية وهذا المدى يعرف بالقلب الصلب.

٢ - القوة النووية أكبر من القوة الكهربية.

٣ - القوة النووية ذات مدى قصير جداً وبالتالي فهي تقترب من الصفر أسرع من القوى التي تتبع قانون التربيع العكسي.

٤ - القوى النووية تعمل فيما بين النيوكلونات المتقاربة.

٥ - تمتاز القوة النووية بخاصية التشبع حيث لوحظ أن الأنوية التي تحتوي على أربعة نيوكلونات هي أنوية مستقرة مثل نواة الهيليوم $^{4}_{2}\mathrm{He}$ بينما لوحظ أن الأنوية التي تحتوي على خمسة نيوكلونات مثل نواة نظير الهيليوم $^{5}_{2}\mathrm{He}$ و الليثيوم $^{5}_{3}\mathrm{Li}$ تكون أنوية غير مستقرة وغير موجودة.

٦ -تميل النيوكلونات إلي تكوين قشور مغلقة وتكون التفاعلات بين هذه القشور ضعيفة جداً . ويؤيد هذا عدم وجود نواة عنصر البريليوم $^{8}_{4}\mathrm{Be}$ والتي تتكون من نواتي عنصر الهيليوم $^{4}_{2}\mathrm{He}$.

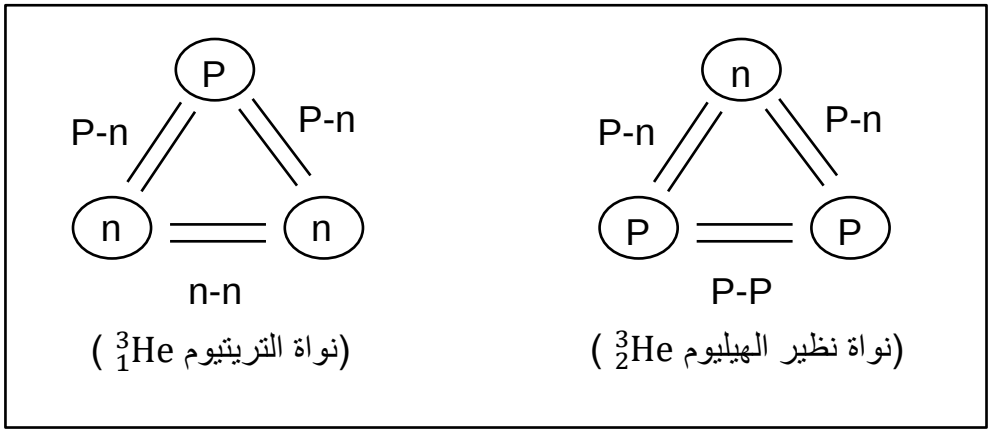
٧ -يوجد ميل إلى التزاوج فيما بين النيوكلونات في الأنوية التي تحتوي على أربعة نيوكلونات.

٨ -لا تعتمد القوة النووية على الشحنة الكهربية وهذا يعني أن القوة التي تنشأ بين النيوترون – نيوترون تساوي القوة التي تنشأ بين البروتون –بروتون وتساوي أيضاً القوة التي تنشأ بين البروتون –نيوترون ، أي أن:

$$F_{n-n} = F_{p-p} = F_{n-p}$$

مثال على عدم اعتماد القوة النووية على الشحنة الكهربية

لدينا نواتين الأولى هي نواة نظير الهيدروجين والذي يسمى التريتيوم $^{3}_{1}H$ وهي تحتوي على بروتون واحد واثنين من النيوترونات ، والثانية هي نواة نظير الهيليوم $^{3}_{2}He$ وتحتوي على اثنين من البروتونات ونيوترون واحد. في نواة التريتيوم $^{3}_{1}H$ يوجد تفاعلين بين البروتون والنيوترون p-n وتفاعل واحد بين النيوترون والنيوترون n – n أما في نواة نظير الهيليوم $^{3}_{2}He$ يوجد تفاعلين بين البروتون والنيوترون p – n وتفاعل واحد بين البروتون و البروتون p – p كما بالشكل التالي:



(نواة التريتيوم $^{3}_{1}He$) (نواة نظير الهيليوم $^{3}_{2}He$)

عند حساب طاقة الربط النووية لكل من النواتين وجد الآتي :

١ -طاقة الربط النووية للتريتيوم $^{3}_{1}H$ تساوي 8.48 Mev بينما كانت لنظير الهيليوم $^{3}_{2}He$ تساوي 7.72 Mev.

٢ -نواة نظير الهليوم $^{3}_{2}He$ تحتوي على بروتونين وبالتالي يوجد قوة تنافر بينهما تعاكس قوة الربط النووية لها ، وعند حساب الطاقة الناتجة عن هذه القوة التنافرية وجد أنها تساوي 0.72 Mev وعند إضافة القيمة السابقة إلى طاقة الربط النووية لنواة نظير الهيليوم $^{3}_{2}He$ نجد أن طاقة الربط النووية لها في هذه الحالة تساوي 8.49 Mev وهي قريبة جداً من طاقة التريتيوم وهذا دليل على أن القوة النووية لا تعتمد على نوع الشحنة الكهربية.

صفات القوة النووية

من أهم صفات القوة النووية ما يلي:

- تتميز النواة بشكل كروي ومن ثم يعتبر ذلك وضع مثالي لقوة التجاذب النووي ذات المدى القصير.
- لا يمكن ضغط المادة النووية، حيث أن نصف قطر النواة يعطي من العلاقة

$$R = R_o A^{\frac{1}{3}}$$

حيث R_o هو مقدار ثابت قيمته هي $R_o = 1.4 \times 10^{-15}$ m

A هو عدد الكتلة

- الشحنة الكهربية في النواة تميل إلى التوزيع بانتظام خلال النواة.

٤- طاقة الربط النووية

كان الاعتقاد السائد قديماً أن كتلة النواة تساوي مجموع كتل النيوكلونات المكونة لها ولكن عند حساب كتلة النواة عملياً وجد أنها تكون أصغر

قليلاً من مجموع كتل النيوكلونات المكونة لها وهذا الفرق في الكتلة هو في الحقيقة يتحول إلى طاقة تربط مكونات النواة معاً وتعرف هذه الطاقة بطاقة الربط النووية وفيما يلي سوف نتعرف على طريقة حساب هذه الطاقة.

إذا كان العدد الذري للعنصر هو Z فإن كتلة جميع البروتونات داخل النواة هي $Z\ m_p$ وبالمثل إذا كان عدد البروتونات هو (A-Z) فإن كتلة جميع النيوترونات هي $(A-Z)\ m_n$ حيث m_n هي كتلة النيوترون الواحد وكذلك m_P هي كتلة البروتون الواحد.

وإذا كانت الكتلة المتاحة عملياً للنواة هي m_N فيكون الفرق في الكتلة بين النواة ومكوناتها هو

$$\Delta m = [z\, m_P + (A - Z)m_n] - m_N \ \ldots\ldots\ldots (1)$$

وبالتالي يمكن حساب طاقة الربط النووية من معادلة أينشتين للتحويل بين الكتلة والطاقة كما يلي:

$$E = \Delta m\, c^2 \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث C هي سرعة الضوء

وبالتالي تحسب طاقة الربط النووية من المعادلتين (1) و (2) كما يلي

$$E = \Delta m\,.\,C^2 = [z\, m_P + (A - Z)m_n - m_N]\,.\,C^2 \quad \text{Joule}$$

أما طاقة الربط النووية لكل نيوكلون على حدة داخل النواة فيتم حسابها عن طريق قسمة طاقة الربط E على عدد الكتلة A

$$E_n = \frac{E}{A}$$

وإذا أردنا حساب طاقة الربط النووية بوحدة المليون إلكترون فولت Mev فتؤخذ جميع الكتل في المعادلة السابقة بوحدة الكتل الذرية u ويضرب فرق الكتلة في الرقم 931.5 فتصبح المعادلة السابقة على الصورة:

$$E = \Delta m \times 931.5 = [z\, m_P + (A - Z)m_n - m_N] \cdot 931.5 \quad Mev$$

مثال ١

احسب طاقة الربط النووية لنواة ذرة الكربون $^{12}_{6}C$ علماً بأن

كتلة البروتون هي $m_P = 1.67 \times 10^{-27}$ kg

كتلة النيوترون هي $m_n = 1.6749 \times 10^{-27}$ kg

كتلة نواة الكربون هي $m_N = 1.99 \times 10^{-26}$ kg

سرعة الضوء هي $C = 3 \times 10^{8}$ m/s

الحل

$$E = \Delta m\, c^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

عدد البروتونات هو $Z = 6$

عدد النيوترونات هو $A - Z = 12 - 6 = 6$

الفرق في الكتلة بين النواة ومكوناتها هو

$$\Delta m = Z m_P + (A - Z)\, m_n - m_N$$

$$\Delta m = (6 \times 1.67 \times 10^{-27}) + (6 \times 1.6749 \times 10^{-27}) - 1.99 \times 10^{-26}$$

$$\Delta m = 1.7 \times 10^{-28} \quad kg$$

بالتعويض في المعادلة (1)

$$E = \Delta m\, c^2 = 1.67 \times 10^{-28} \times (3 \times 10^{8})^2 = 1.53 \times 10^{-11} \text{ Joule}$$

$$E = 1.53 \times 10^{-11} \text{ J} \times \frac{1 \text{ Mev}}{1.6 \times 10^{-13} \text{ J}} = 95.6 \text{ Mev}$$

ولحساب طاقة الربط النووية لكل نيوكلون داخل نواة ذرة الكربون $^{12}_{6}C$ نقسم هذه الطاقة على عدد الكتلة A

$$E_n = \frac{95.6}{12} \approx 8 \text{ Mev}$$

وهذا يعني أنه لكي تتفكك نواة ذرة الكربون $^{12}_{6}C$ وتنطلق مكوناتها من البروتونات والنيوترونات لتصبح حرة فإنها تحتاج إلى طاقة مقدارها 95.6 Mev التي تتحول إلى كتلة تضاف إلى كتلة النيوكلونات بها.

ويعني أيضا أن كل نيوكلون في نواة الكربون $^{12}_{6}C$ يحتاج طاقة مقدارها 8 Mev لكي ينفصل عن النواة .

.....

مثال ٢

احسب كتلة مكونات النواة وكذلك طاقة الربط النووية لكل نيوكلون في نواة نظير النيكل $^{60}_{28}Ni$ علماً بأن :

كتلة البروتون هي $m_P = 1.007276$ u

كتلة النيوترون هي $m_n = 1.008665$ u

كتلة نواة الكوبلت هي $m_N = 59.930789$ u

الحل

عدد البروتونات هو $Z = 28$

عدد النيوترونات هو $A - Z = 60 - 28 = 32$

كتلة مكونات النواة = كتلة البروتونات + كتلة النيوترونات

$$m = Zm_P + (A - Z)\, m_n$$

$$m = (28 \times 1.007276) + (32 \times 1.008665) = 60.496348 \text{ u}$$

أما طاقة الربط النووية لنظير النيكل فيمكن حسابها من العلاقة:

$$E = \Delta m \times 931.5 \ \ Mev$$

$$E = [z m_P + (A - Z)\, m_n - m_N] \times 931.5 \ \ Mev$$

$$E = [(28 \times 1.007276) + (32 \times 1.008665) - 59.930789] \times 931.5$$

$$E = 0.565591 \times 931.5 = 526.85 \ \ Mev$$

وطاقة الربط لكل نيوكلون في نواة نظير النيكل هي

$$E_n = \frac{E}{A} = \frac{526.85}{60} = 8.8 \ \ Mev$$

.....

دراسة العلاقة بين طاقة الربط النووية وعدد الكتلة

عند دراسة العلاقة بين طاقة الربط النووية للعناصر وعدد الكتلة لها لوحظ الآتي :

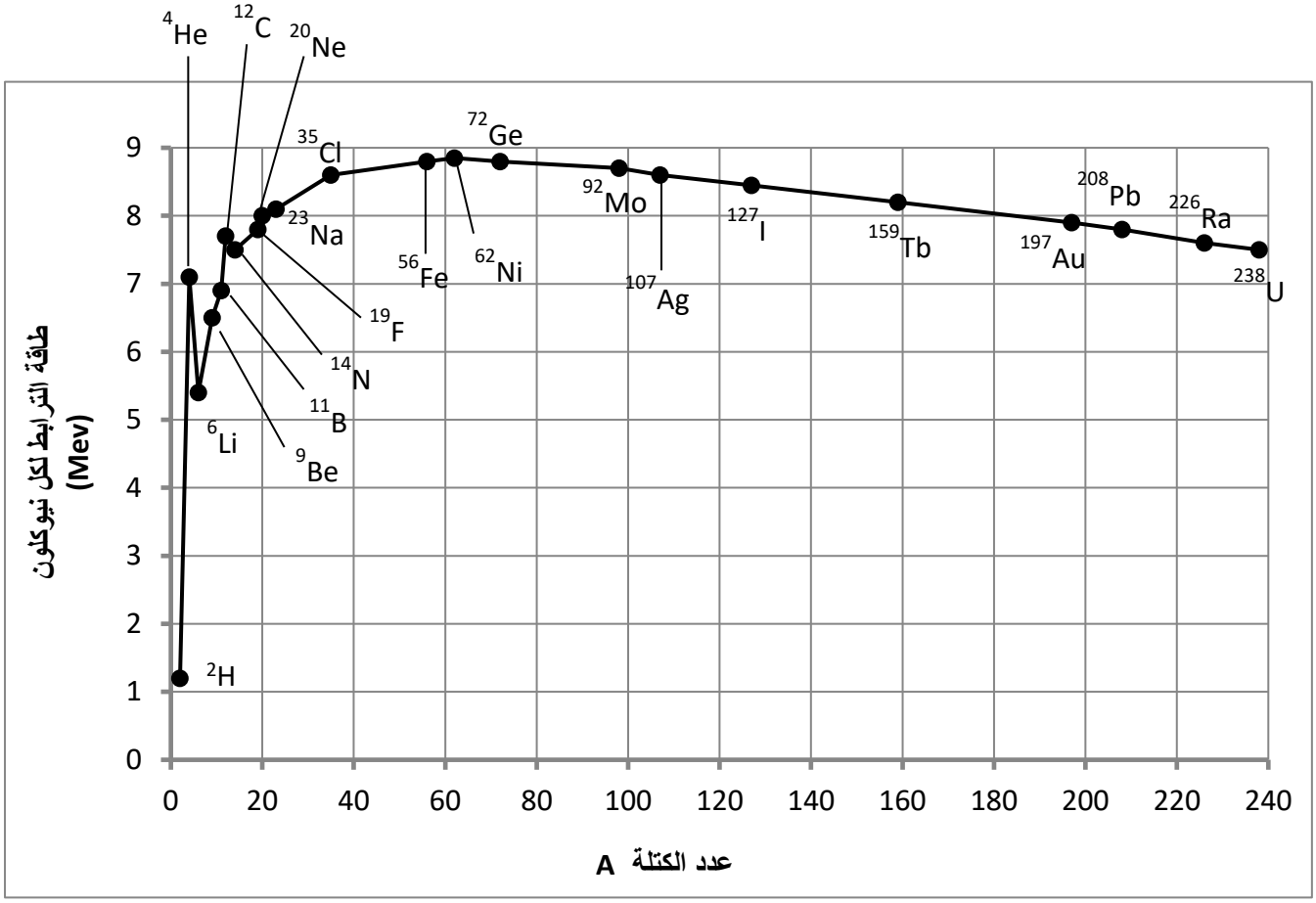
- **عندما يكون عدد الكتلة أقل من 20 فإن طاقة الربط النووية لكل نيوكلون تكون أقل من 8 Mev أي أن :**

$$A < 20 \ \rightarrow \ E_n < 8 \ \text{Mev}$$

- **عندما يكون عدد الكتلة أكبر من 20 فإن طاقة الربط النووية لكل نيوكلون تتراوح قيمتها من 8 Mev إلى 8.8 Mev أي أن :**

$$A > 20 \ \rightarrow \ E_n = 8 - 8.8 \ \text{Mev}$$

- **تزيد قيمة طاقة الربط النووية لكل نيوكلون بزيادة عدد الكتلة A حتى تصل إلى أعلى قيمة لها عند العدد 60 ثم تقل بعد ذلك مع زيادة عدد الكتلة وذلك بسبب زيادة عدد البروتونات والنيوترونات داخل الأنوية والتي تؤدي إلى زيادة قوى التنافر الكهربية التي تعاكس قوى الترابط النووية. وتتضح هذه النتائج من الشكل التالي :**


طاقة الترابط لكل نيوكلون (Mev)
عدد الكتلة A
^{4}He
^{12}C
^{20}Ne
^{35}Cl
^{72}Ge
^{23}Na
^{56}Fe
^{62}Ni
^{92}Mo
^{127}I
^{159}Tb
^{208}Pb
^{226}Ra
^{197}Au
^{238}U
^{107}Ag
^{19}F
^{14}N
^{11}B
^{6}Li
^{9}Be
^{2}H
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240

الباب الثالث

النشاط الإشعاعي

١ - انبعاث جسيمات ألفا

٢ - انبعاث جسيمات بيتا

٣ - انبعاث أشعة جاما

٤ - قانون التحلل الإشعاعي

٥ - الشدة الإشعاعية

النشاط الإشعاعي

- يعرف النشاط الإشعاعي على أنه تحلل أو تفكك للنواة غير المستقرة والتي تتحول إلى نواة عنصر آخر.
- يعرف النشاط الإشعاعي الطبيعي على أنه انبعاث إشعاعات بشكل طبيعي من العناصر المشعة مثل اليورانيوم.
- الإشعاع الطبيعي يكون على هيئة انبعاث جسيمات ألفا أو انبعاث جسيمات بيتا أو انبعاث أشعة جاما.

١ - انبعاث جسيمات ألفا

- جسيم ألفا هو عبارة عن نواة ذرة الهيليوم $^{4}_{2}\mathrm{He}$ وهو موجب الشحنة ويرمز له بالرمز α ويكون تفاعل انبعاث جسيمات ألفا على الصورة التالية:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He + Q$$

حيث Q تسمى طاقة التفكك ، ويتم حساب طاقة التفكك لهذا التفاعل من العلاقة الأتية:

$$Q = [M_X - (M_Y + M_\alpha)] \times 931.5 \ \ Mev$$

حيث M_X هي كتلة نواة العنصر X و M_Y هي كتلة نواة العنصر Y و M_α هي كتلة جسيم ألفا.

- شرط انبعاث جسيمات ألفا هو أن تكون طاقة التفكك للتفاعل أكبر من الصفر أي أن $(Q > 0)$.
- الطاقة المنبعثة من تفاعل انبعاث جسيمات ألفا تتوزع على النواة الناتجة Y وجسيم ألفا الذي يحتوي على معظم هذه الطاقة وذلك لأن كتلته تكون أقل بكثير من كتلة النواة الناتجة Y.
- مثال على تفاعلات انبعاث جسيمات ألفا تفكك نواة اليورانيوم ٢٣٨:

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He + Q$$

٢ - انبعاث جسيمات بيتا

جسيم بيتا مصدره النواة وهذا الجسيم يكون له نفس شحنة وكتلة الالكترون أي أنه سالب الشحنة ويكتب على الصورة e^- أو β^- .

- تنبعث جسيمات بيتا السالبة من النواة إذا كانت النسبة بين عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات أكبر من ١ للأنوية الخفيفة وأكبر من ١,٢ للأنوية المتوسطة وأكبر من ١,٦ للأنوية الثقيلة.

$$\frac{N}{Z} > 1 \rightarrow \beta^- \quad \text{(للأنوية الخفيفة)}$$

$$\frac{N}{Z} > 1.2 \rightarrow \beta^- \quad \text{(للأنوية المتوسطة)}$$

$$\frac{N}{Z} > 1.6 \rightarrow \beta^- \quad \text{(للأنوية الثقيلة)}$$

- وهذا يعنى أنه عند زيادة عدد النيوترونات عن عدد البروتونات داخل النواة تنبعث جسيمات بيتا السالبة من تلك النواة.

- تفاعل انبعاث جسيمات بيتا السالبة يكون على الصورة:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^- + \upsilon$$

حيث υ يسمى مضاد النيوترينو وهو من الدقائق النووية، وفي التفكك السابق يتحول نيوترون من داخل النواة إلى بروتون (فيزداد العدد الذري واحد بينما يظل عدد الكتلة ثابتاً) ويخرج جسيم بيتا السالب

$$n \rightarrow P^+ + \beta^-$$

- ومن الأمثلة على انبعاث جسيمات بيتا السالبة التفاعل التالي:

$$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + \beta^- + \upsilon$$

انبعاث جسيمات بيتا الموجبة

- إذا زاد عدد البروتونات عن عدد النيوترونات في النواة فإن هذا يؤدي إلى انبعاث جسيمات بيتا الموجبة β^+ (وهي تشبه جسيمات بيتا السالبة في كل شيء ولكنها تحمل شحنة موجبة).

$$\frac{N}{Z} < 1 \rightarrow \beta^+ \quad \text{(للأنوية الخفيفة)}$$

$$\frac{N}{Z} < 1.2 \rightarrow \beta^+ \quad \text{(للأنوية المتوسطة)}$$

$$\frac{N}{Z} < 1.6 \rightarrow \beta^+ \quad \text{(للأنوية الثقيلة)}$$

- وهذا يعني أن تنبعث جسيمات بيتا الموجبة من النواة إذا كانت النسبة بين عدد النيوترونات إلى عدد البروتونات أقل من ١ للأنوية الخفيفة وأقل من ١,٢ للأنوية المتوسطة و أقل من ١,٦ للأنوية الثقيلة.

- ويكون تفاعل انبعاث جسيمات بيتا الموجبة على الصورة التالية :

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \beta^+ + \upsilon$$

وفي هذا التفكك يتحول بروتون موجب إلى نيوترون (ينقص عدد البروتونات واحد ويزداد عدد النيوترونات واحداً لذا يظل عدد الكتلة ثابتاً) ويخرج جسيم بيتا الموجب.

$$P^+ \rightarrow n + \beta^+$$

- ومن الأمثلة على انبعاث جسيمات بيتا الموجبة التفكك التالي:

$$^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + \beta^+ + \upsilon$$

وفي جميع حالات انبعاث جسيمات بيتا يتم حساب طاقة التفكك بنفس الطريقة السابقة من العلاقة التالية:

$$Q = \left[M_X - \left(M_Y + M_\beta\right)\right] \times 931.5 \ \ Mev$$

٣ - انبعاث أشعة جاما

- أشعة جاما هي موجات كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية ويرمز لها بالرمز γ.
- بعد التفكك الإشعاعي للنواة عن طريق انبعاث جسيمات ألفا و بيتا فإن النواة الناتجة من هذه التفككات من الممكن أنها لا زالت تحتوي على طاقة زائدة وتكون النواة بذلك في حالة إثارة ولكي تستقر فإنها تتخلص من الطاقة الزائدة عن طريق انبعاث أشعة جاما، ويكون تفكك أشعة جاما عل الصورة التالية:

$$ {}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma $$

مثال ١

احسب طاقة التفكك للتفاعل الآتي واذكر نوع التفاعل: ${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + \beta^{-}$

علماً بأن : كتلة الكربون ${}^{14}_{6}C$ هي $M_C = 14.003242$ u

كتلة النيتروجين ${}^{14}_{7}N$ هي $M_N = 14.003074$ u

كتلة جسيم بيتا β^{-} هي $M_\beta = 0.000549$ u

الحل

طاقة التفكك = $Q = \left[M_C - (M_N + M_\beta)\right] \times 931.5$ Mev

$$Q = [14.003242 - (14.003074 + 0.000549)] \times 931.5 \text{ Mev}$$

$$Q = -0.355 \text{ Mev}$$

بما أن طاقة التفكك سالبة ($Q < 0$) إذاً هذا التفاعل يكون ماص للطاقة.

.....

مثال٢

احسب طاقة التفكك Q عند انبعاث جسيمات بيتا الموجبة من نظير البوتاسيوم طبقاً للتفاعل الآتي

$$^{37}_{19}\mathrm{K} \rightarrow {}^{37}_{18}\mathrm{Ar} + \beta^{+}$$

علماً بأن : كتلة البوتاسيوم $^{37}_{19}\mathrm{K}$ **هي** $M_K = 36.973365$ u

كتلة الأرجون $^{37}_{18}\mathrm{Ar}$ **هي** $M_{Ar} = 36.966772$ u

كتلة جسيم بيتا β^{+} **هي** $M_\beta = 0.000549$ u

الحل

طاقة التفكك = Q = $\left[M_K - (M_{Ar} + M_\beta)\right] \times 931.5$ Mev

$$Q = [36.973365 - (36.966772 + 0.000549)] \times 931.5 \text{ Mev}$$

$$Q = 5.6 \text{ Mev}$$

.....

مثال٣

هل يمكن لنظير الرادون $^{204}_{86}Rn$ **أن يتحلل إلى البولونيوم** $^{200}_{84}Po$ **بانبعاث جسيمات ألفا ؟ احسب كمية الطاقة المتحررة علماً بأن:**

$M_{Rn} = 203.9923$ u , $M_{Po} = 199.98282$ u , $M_\alpha = 4.002603$ u

الحل

هذا التفكك يكون على الصورة $^{204}_{86}\mathrm{Rn} \rightarrow {}^{200}_{84}\mathrm{Po} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$

الطاقة المتحررة هي طاقة التفكك Q ويمكن حسابها من العلاقة :

طاقة التفكك = Q = $\left[M_{Rn} - (M_{Po} + M_\alpha)\right] \times 931.5$ Mev

$$Q = [203.9923 - (199.98282 + 4.002603)] \times 931.5 \ \ Mev$$

$$Q = \ 6.4 \ \ Mev$$

بما أن طاقة التفكك موجبة إذاً هذا التفاعل يمكن حدوثه.

٤ - قانون التحلل الإشعاعي

يكتب قانون التحلل الإشعاعي على الصورة :

$$N = \ N_o e^{-\lambda t}$$

حيث N_o هو عدد أنوية العنصر عند الزمن t_o (قبل التحلل).

N هو عدد أنوية العنصر عند الزمن t (بعد التحلل).

λ هو مقدار ثابت يسمى ثابت التفكك الإشعاعي وتختلف قيمته من عنصر لأخر.

عمر النصف الفيزيائي $T_{1/2}$

- **يعرف عمر النصف الفيزيائي للعناصر المشعة على أنه الزمن اللازم للعنصر لكي يفقد نصف عدد أنويته.**

فإذا تحلل العنصر بحيث يصبح عدد الأنوية به مساوياً نصف عدد الأنوية الأصلية قبل بداية التحلل فإن قانون التحلل الإشعاعي في هذه الحالة يكتب على الصورة التالية:

$$\frac{N_o}{2} = \ N_o e^{-\lambda T_{½}}$$

$$\frac{1}{2} = \ e^{-\lambda T_{½}}$$

$$2 = \ e^{\lambda T_{½}}$$

وبأخذ لوغاريتم الطرفين نحصل على :

$$\ln 2 = \lambda T_{½} \quad \Longrightarrow \quad T_{½} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$T_{½} = \frac{0.693}{\lambda}$$

والعلاقة الأخيرة تعطي زمن عمر النصف الفيزيائي لأي عنصر والذي يعتمد على ثابت التفكك الإشعاعي لهذا العنصر.

مثال١

كم من الوقت يلزم لكي تتفكك 80% من أنوية نظير الصوديوم 22 الذي عمر النصف الفيزيائي له هو 22 سنة.

الحل

$$, \quad \frac{N}{N_o} = 80\% = \frac{80}{100} T_{½} = 22 \ \text{year}$$

$$T_{½} = \frac{0.693}{\lambda} \Longrightarrow \lambda = \frac{0.693}{T_{½}}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{22 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} = 9.99 \times 10^{-10} \ \text{sec}^{-1}$$

$$N = N_o e^{-\lambda t}$$

$$\frac{N}{N_o} = e^{-\lambda t} \quad \Longrightarrow \quad \frac{N_o}{N} = e^{\lambda t}$$

بأخذ لوغاريتم الطرفين نحصل على:

$$\ln \frac{N_o}{N} = \lambda t \quad \Longrightarrow \quad t = \frac{\ln \frac{N_o}{N}}{\lambda}$$

$$t = \frac{\ln \frac{100}{80}}{9.99 \times 10^{-10}} = 223398572.5 \quad sec$$

$$t = \frac{223398572.5 \quad sec}{365 \times 24 \times 60 \times 60} \approx 7.1 \quad year$$

.....

٥ - الشدة الإشعاعية

تعرف الشدة الإشعاعية على أنها المعدل الزمني للتفكك الإشعاعي لمادة مشعة.

الشدة الإشعاعية= $R = \lambda N$

$$R = \lambda N_o e^{-\lambda t}$$

$$R = R_o e^{-\lambda t}$$

حيث $R_o = \lambda N_o$

- **تقاس الشدة الإشعاعية بوحدة تسمى كوري ويرمز لها بالرمز Ci.**
- **وتوجد وحدة أخرى تسمى بيكريل ويرمز لها بالرمز Bq والبيكريل هو تفكك لكل ثانية.**

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

مثال١

احسب الشدة الإشعاعية لجرام واحد من نظير الراديوم 226 الذي عمر النصف له هو 1622 سنة.

الحل

كتلة المول = M = 226 gm ، كتلة العينة = m= 1 gm ، عمر النصف = $T_{½}$ = y = 1622 ،

عدد أفوجادرو = $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ atom

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{½}} = \frac{0.693}{1622 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60}$$

$$\lambda = 1.4 \times 10^{-11} \ \sec^{-1}$$

$$\text{عدد الأنوية} = N = \frac{\text{كتلة العينة} \times \text{عدد أفوجادرو}}{\text{كتلة المول}} = \frac{m\,N_A}{M}$$

$$R = \lambda N = \lambda \frac{m\,N_A}{M}$$

$$R = 1.4 \times 10^{-11} \frac{1 \times 6.022 \times 10^{23}}{226} = 3.6 \times 10^{10} \ Bq$$

.....

الباب الرابع

التفاعلات النوويـــة

١ - طبيعة التفاعلات النوويـة

٢ - تفاعل الانشطار النووي

٣ - تفاعل الاندماج النووي

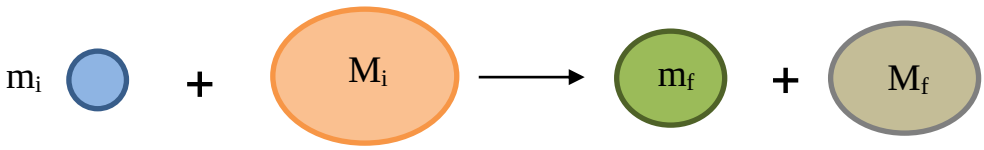
التفاعلات النوويـــة

١ - طبيعة التفاعلات النوويـة

في الحقيقة يوجد عدد كبير من التفاعلات النووية وفي الحالة العامة إذا تغلبت نواتان على قوة التنافر الكهربي بينهما واقتربتا كثيراً من بعضهما أو تصادمتا فإنه قد يحدث إعادة توزيع للنيوكلونات بينهما مما يؤدي إلى إنتاج أنوية جديدة من خلال هذا التفاعل النووي.

يمكن إجراء التفاعل النووي بتسليط قذيفة نووية m_i نحو نواة تسمى الهدف M_i وعلى افتراض أنه نتج عن هذا التفاعل نواتان جديدتان هما m_f ، M_f كما بالشكل فإن التفاعل النووي يكتب عادة على الصورة الآتية:

$$m_i + M_i \longrightarrow m_f + M_f$$



ويكتب التفاعل النووي أحياناً بصورة مختصرة على النحو التالي $M_i\,(m_i\,,\,m_f)\,M_f$

- تكون القذيفة النووية عادة عبارة عن نيوكلون (بروتون أو نيوترون) أو نواة خفيفة مثل جسيم ألفا ولا تستخدم الأنوية الثقيلة كقذيفة لأن ذلك يؤدي إلى زيادة قوة التنافر الكهربي بين القذيفة والهدف بصورة كبيرة مما يستلزم استخدام طاقة كبيرة للتغلب على هذه القوة.
- يمكن أن يحدث التفاعل النووي في بعض الأحيان على مرحلتين حيث تنضم القذيفة للهدف في المرحلة الأولى مما يؤدي لظهور نواة مركبة في حالة إثارة. وفي المرحلة الثانية

تتخلص النواة الجديدة من بعض الطاقة بإطلاق جسيم معين أو بعض الجسيمات كما في التفاعل الآتي:

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{15}_{7}\mathrm{N} \longrightarrow {}^{14}_{6}\mathrm{C} + {}^{0}_{1}\mathrm{P}$$

ويتم حساب طاقة التفاعل Q من العلاقة التالية:

طاقة التفاعل = (كتلة المتفاعلات – كتلة النواتج) × مربع سرعة الضوء

$$Q = [(m_i + M_i) - (m_f + M_f)] \times C^2$$

- إذا كانت Q موجبة فيكون التفاعل منتجاً للطاقة، وإذا كانت Q سالبة فيكون التفاعل ماصاً للطاقة.

- إن التفاعلات النووية عبارة عن تصادم يحدث بين القذيفة والهدف ويجب أن تتحقق في هذه التصادمات قوانين الحفظ المعروفة وهي كالتالي:

١ - قانون حفظ الطاقة النسبية.

في العادة يكون مجموع كتل المواد الناتجة أقل من مجموع كتل المواد المتفاعلة ولكن الطاقة النسبية (مجموع الطاقة والكتلة) للمواد الناتجة تساوي الطاقة النسبية (مجموع الطاقة والكتلة) للمواد المتفاعلة.

٢ - قانون حفظ الشحنة الكهربية.

حيث يكون مجموع الشحنات الكهربية للمواد الناتجة مساوياً لمجموع الشحنات الكهربية للمواد المتفاعلة وقد يحدث إعادة في توزيع الشحنات الكهربية.

٣ - قانون حفظ كمية الحركة.

حيث تكون كمية الحركة الخطية للمواد المتفاعلة تساوي كمية الحركة الخطية للمواد الناتجة، وكذلك الحال بالنسبة لكمية الحركة الزاوية.

٤ -مجموع عدد النيوكلونات (البروتونات + النيوترونات) للمواد المتفاعلة يساوي مجموع عدد النيوكلونات (البروتونات + النيوترونات) للمواد الناتجة.

٢ - تفاعل الانشطار النووي

- يعرف تفاعل الانشطار النووي على أنه تفاعل نووي تنشطر فيه نواة ثقيلة مثل نظير اليورانيوم ٢٣٥ لينتج عن ذلك نواتين أخف وينتج عن ذلك طاقة هائلة.

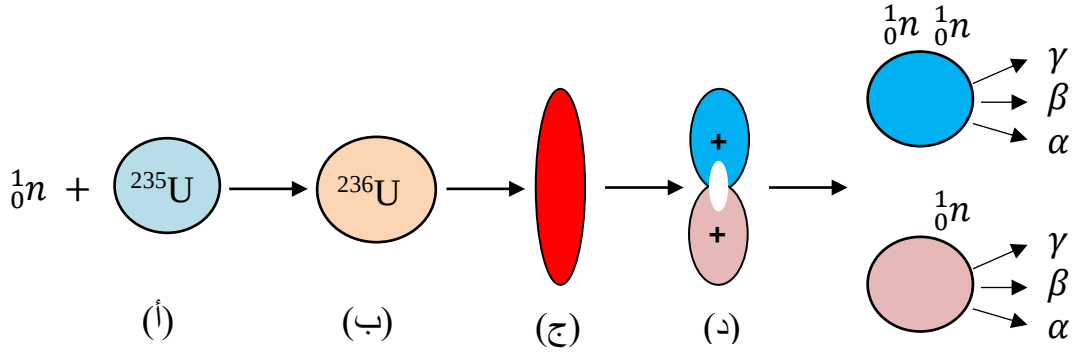
عند انقسام نواة ثقيلة لنواتين أو أكثر فإنه يمكن الحصول طاقة هائلة من هذه العملية والتي تعرف بالانشطار النووي ويلاحظ أن طاقة الربط لكل نيوكلون في النواة الأم تكون أقل من طاقة الربط لكل نيوكلون في الأنوية الناتجة.

فإذا قذفت نواة اليورانيوم ٢٣٥ بالنيوترونات البطيئة فإنها تنشطر حسب التفاعل الآتي:

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{236}_{92}U \longrightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{93}_{38}Sr + 3{}^{1}_{0}n + Energy$$

يورانيوم ٢٣٥ — زينون — استرنشيوم

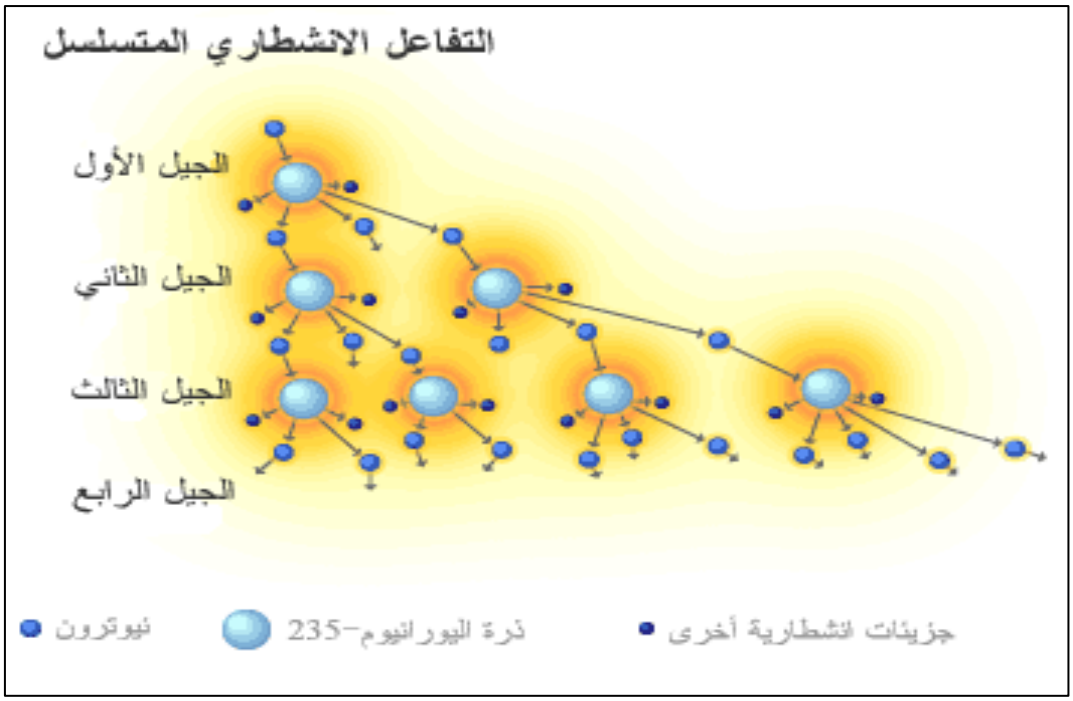
نواة اليورانيوم ٢٣٦ تتحول عند امتصاصها للنيوترون إلى نواة اليورانيوم ٢٣٦ حيث تزداد طاقتها ويتشوه شكلها ليصبح بيضاوياً وتخضع النواة لحركة اهتزازية تؤدي لزيادة التشوه في شكلها لتصل في النهاية لوضع حرج يؤدي بعد ذلك إلى انقسام النواة لنواتين تحت تأثير قوة التنافر الكهربي بينهما ويتضح ذلك في الشكل التالي:



- الوضع (أ) في الشكل السابق هو نواة اليورانيوم ^{٢٣٥} والتي تمتص النيوترون الذي تقذف به وتتحول إلى نواة اليورانيوم ^{٢٣٦} (الوضع ب) ثم تتحول إلى نواة غير مستقرة (الوضع ج) وبعد ذلك تتحول النواة إلى الوضع الحرج قبل الانشطار (الوضع د) وأخيراً تنشطر إلى نواتين جديدتين وينطلق من هذه العملية ^{٣} نيوترونات وطاقة عالية يمكن حسابها من كتل الأنوية المتفاعلة ويمكن كذلك معرفة الطاقة الناتجة بمعرفة طاقة الربط لكل نيوكلون للمواد المتفاعلة.

التفاعل المتسلسل

- في التفاعل الانشطاري السابق إذا كان لدينا عدد كبير من أنوية اليورانيوم ^{٢٣٥} يعود نيوترون واحد أو أكثر من النيوترونات الناتجة ليقذف نواة يورانيوم أخرى ليقسمها إلى نواتين ويخرج ^{٣} نيوترونات جديدة وطاقة هائلة وتعود النيوترونات الجديدة من جديد لتقذف نواة يورانيوم وهكذا ..... يتكرر الأمر باستمرار حتى تنفذ أنوية اليورانيوم لذلك يعرف هذا التفاعل بالتفاعل المتسلسل.



- يتم التحكم بالتفاعل المتسلسل الانشطاري بواسطة قضبان من مادة الكادميوم التي تمتص النيوترونات وتعتمد درجة الامتصاص على مدى انغماس القضبان.

حساب الطاقة المتحررة لكل نواة منشطرة

في التفاعل الانشطاري لليورانيوم ^{235} وجد أن طاقة الربط النووية لكل نيوكلون قبل التفاعل هي 7.6 Mev بينما وجد أن طاقة الربط النووية لكل نيوكلون بعد التفاعل هي 8.5 Mev لذا يمكن حساب الطاقة المتحررة لكل نواة منشطرة من اليورانيوم^{235} كما يلي:

$$Q = 235 \times (8.5 - 7.6) = 200 \ \text{Mev}$$

مثال ١

احسب الطاقة الناتجة من انشطار واحد كيلو جرام من اليورانيوم^{235} علماً بأن كتلة المول من اليورانيوم هو 235 gm وعدد أفوجادرو هو $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ atom.

الحل

كتلة العينة $m = 1 \text{ kg} = 1000 \text{ gm}$

كتلة المول $M = 235 \text{ gm}$ □

عدد أفوجادرو $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ atom

الطاقة المتحررة للنواة الواحدة $Q = 200$ Mev

$$\text{عدد الأنوية} = N = \frac{\text{كتلة العينة} \times \text{عدد أفوجادرو}}{\text{كتلة المول}} = \frac{m\,N_A}{M}$$

الطاقة الناتجة من الانشطار = الطاقة المتحررة للنواة الواحدة × عدد الأنوية

$$E = Q\,N$$

$$E = Q\,N = Q\ \frac{m\,N_A}{M} = 200\ \times \frac{1000 \times 6.022 \times 10^{23}}{235}$$

$$E = 5.1\ \times 10^{26}\ \ \text{Mev}$$

$$E = (5.1 \times 10^{26})\ \text{Mev} \times \frac{(1.6\times10^{-13})\ \text{J}}{1\ \text{Mev}}$$

$$E = 8.16 \times 10^{13}\ \ \text{Joule}$$

٣ - تفاعل الاندماج النووي

- **يعرف الاندماج النووي على أنه تفاعل نووي تندمج فيه الأنوية الخفيفة لتكون نواة ثقيلة فتزداد طاقة الربط لكل نيوكلون عن الأنوية الخفيفة وتتحرر طاقة عالية جداً.**

مثلاً عند اندماج نواتين من الهيدروجين لتكوين نواة واحدة أثقل وهي نواة الهيليوم فإن ذلك يؤدي إلى انطلاق طاقة هائلة من عملية الاندماج.

$$^{2}_{1}\text{H} + \ ^{2}_{1}\text{H} \longrightarrow \ ^{4}_{2}\text{He} + \ \text{Energy}$$

- **يوضح الشكل التالي مثال توضيحي لتفاعل اندماجي بين نواتين الأولى هي نواة الهيدروجين $^{2}_{1}\text{H}$ والثانية هي نواة التريتيوم $^{3}_{1}\text{H}$ لتكوين نواة هيليوم $^{4}_{2}\text{He}$.**

- إن التفاعل الاندماجي بحاجة إلى طاقة عالية لكي يبدأ وذلك للتغلب على قوة التنافر الكهربي بين الأنوية المندمجة ولكن بعد أن يتم التفاعل وتتم عملية الاندماج فإن الطاقة الناتجة منه تكون أكبر بكثير من الطاقة اللازمة لبدأ التفاعل.
- تعرف الطاقة الناتجة من تفاعل الاندماج النووي بالطاقة النظيفة لأن وقودها هو الهيدروجين الموجود بوفرة في الطبيعة ولا ينتج عنها أي نفايات خطيرة كما هو الحال في الانشطار النووي.

حساب الطاقة الاندماجية لتكوين نواة واحدة

- في التفاعل الاندماجي السابق وجد أن كتلة نواتي الهيدروجين قبل الاندماج هي 4.0313 u كما وجد أن كتلة نواة الهيليوم الناتجة هي 4.0376 u وبذلك تكون الطاقة الاندماجية لهذا التفاعل هي :

$$Q = \Delta m \times 931.5 \quad Mev$$

$$Q = (4.0376 - 4.0313) \times 931.5 \quad Mev$$

$$Q = 25.7 \quad Mev$$

أي أن اندماج نواتين من الهيدروجين لإنتاج نواة هيليوم واحدة ينتج عنه طاقة مقدارها 25.7 مليون الكترون فولت.

مثال٢

احسب الطاقة الناتجة من اندماج كتلة من الهيدروجين مقدارها 1000 gm علماً بأن كتلة المول لنواة الهيدروجين هي 2 gm وعدد أفوجادرو هو $N_A = 6.022 \times 10^{23}$.

الحل

كتلة عينة الهيدروجين $m = 1000 \text{ gm}$

كتلة المول $M = 2+2 = 4 \text{ gm}$

عدد أفوجادرو $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ atom

الطاقة الاندماجية لتكوين نواة واحدة $(Q) = 25.7$ Mev

$$\text{عدد الأنوية} = N = \frac{\text{كتلة العينة} \times \text{عدد أفوجادرو}}{\text{كتلة المول}} = \frac{m\, N_A}{M}$$

الطاقة الاندماجية الناتجة = الطاقة الاندماجية لتكوين نواة واحدة × عدد الأنوية

$$E = Q\, N$$

$$E = Q\, N = Q\ \frac{m\, N_A}{M} = 25.7\ \times\ \frac{1000 \times 6.022 \times 10^{23}}{4}$$

$$E = 3.868\ \times 10^{27}\ \ \text{Mev}$$

وهذه الطاقة الناتجة من التفاعل هي أكبر من طاقة الانشطار الناتجة عن انشطار واحد كيلو جرام من اليورانيوم٢٣٥ بحوالي ٨ مرات.

.....

الباب الخامس

النماذج النووية

١ - مقدمة

٢ - نموذج قطرة السائل

٣ - نموذج المدارات (القشور) النووية

٤ - النموذج الجمعي

١- مقدمة

إن دراسة حركة النيوكلونات داخل النواة عملية معقدة وصعبة مقارنة بدارسة حركة الإلكترونات الذرية ويعود ذلك لوجود نوعين مختلفين من النيوكلونات (بروتونات + نيوترونات) داخل النواة وكذلك لوجود نوعين من القوى إحداهما هي القوة النووية والأخرى هي قوة كولوم الكهربية ولذلك جرت العادة على استخدام النماذج لدراسة الظواهر النووية وسوف نعرض فيما يلي أهم هذه النماذج النووية .

٢- نموذج قطرة السائل

اقترح هذا النموذج العالم نيلز بوهر عام ١٩٣٧ وهو أقدم النماذج النووية ولقد تصور بوهر النواة على أنها قطرة من سائل حيث تتشابه النواة الذرية مع قطرة السائل فيما يلي:

أ -كثافة نواة الذرة وقطرة السائل تكون ثابتة ولا تعتمد على الحجم.

ب -ظاهرة التبخر في السوائل تشبه ظاهرة النشاط الإشعاعي في النواة.

ج -تكثف السوائل يناظر الاندماج النووي.

د -الحرارة الكامنة للتبخر تناظر طاقة الربط لكل نيوكلون في النواة حيث تعتمد الطاقة في الحالتين على الكتلة

- افترض هذا النموذج أن النيوكلونات داخل النواة تتفاعل مع النيوكلونات القريبة منها بشكل مباشر كما تتفاعل جزيئات السائل مع بعضها البعض.
- نجح هذا النموذج في تفسير الظواهر النووية التي لها علاقة بالطاقة والكتلة مثل حساب طاقة الربط النووية لكل نيوكلون في معظم العناصر.
- فشل هذا النموذج في تفسير ظاهرة الأعداد السحرية.

٣- نموذج المدارات (القشور) النووية

تمكن العلماء باستخدام نموذج قطرة السائل في حساب طاقة الربط النووية لكل نيوكلون في معظم العناصر ولكن وجدت بعض الحالات التي شذت عن ذلك ووجد أن قيم طاقة الربط النووية لها أكبر بكثير من القيمة المتوقعة من نموذج قطرة السائل وهذه العناصر تكون أكثر استقراراً من الأنوية الأخرى ويكون لها قيم محددة للعدد الذري z أو رقم الكتلة A أو لكليهما وهذه القيم المحددة تعرف باسم الأعداد السحرية وهي 2 ، 8 ، 20 ، 28 ، 50 ، 82 ، 126 .

ولقد حاول أحد العلماء (إلساسير) تفسير بعض الظواهر النووية من خلال الافتراض بأن النيوكلونات تتواجد داخل النواة في مدارات كما هو الحال في الالكترونات وحسب هذا النموذج والذي يعرف باسم نموذج المدارات أو القشور النووية فإن بعض النيوكلونات تتحرك بصورة مستقلة عن النيوكلونات الأخرى وتحت تأثير مجال ناتج من بقية النيوكلونات، وهذا يختلف كثيراً عن نموذج قطرة السائل والذي يفترض أن النيوكلونات تتفاعل مع بعضها البعض بصورة فردية ومباشرة.

وبعد حل معادلة شرودنجر بصورة مشابهة للحالة الذرية أمكن الحصول على حالات مستقرة للبروتونات والنيوترونات توصف من خلال أعداد كمية كما في الحالة الذرية. وكان يتوقع من ذلك أن تكون الحالات الأكثر استقراراً للنواة هي تلك الحالات التي تحتوي على أعداد من البروتونات والنيوترونات مساوية للأعداد السحرية التي سبق ذكرها ولكن المحاولات الأولى لم تستطع تفسير ظاهرة الأعداد السحرية.

وبعد ذلك تمكن العالمان (جنسن وماريا مايير) عام ١٩٤٩ م من حل مشكلة الأعداد السحرية بتطوير المعالجات السابقة عن طريق الأخذ في الاعتبار التفاعلات بين الحركة المغزلية والحركة المدارية للبروتونات والنيوترونات وافترضا أن هذه

التفاعلات تكون قوية جداً. وبذلك أمكن الحصول على حالات أو مستويات للطاقة فيها العدد الكلي للنيوكلونات يزداد حسب زيادة الطاقة وتتفق هذه النتائج بصورة ممتازة مع الأعداد السحرية.

- نجح نموذج المدارات (القشور) النووية في حساب كمية الحركة الزاوية لجميع النيوكلونات في الحالة الأرضية.
- نجح هذا النموذج أيضاً في تفسير ظاهرة الأعداد السحرية.
- فشل هذا النموذج في حساب العزوم المغناطيسية للنيوكلونات.

٤- النموذج النووي الجمعي

لقد تبين مما سبق أنه يمكن استخدام نموذج قطرة السائل والذي يفترض أن النيوكلونات تتفاعل مع النيوكلونات القريبة منها كما تتفاعل جزيئات قطرة السائل مع بعضها البعض وذلك لتفسير بعض الظواهر النووية وبصفة خاصة تلك التي لها علاقة بالطاقة والكتلة.

أما نموذج القشور النووية والذي يفترض حركة النيوكلونات تحت تأثير جهد فعال لبقية النيوكلونات فيمكن استخدامه لتفسير بعض الظواهر الأخرى مثل الأعداد السحرية وكمية الحركة الزاوية.

فكر بعض العلماء في الجمع بين النموذجين السابقين في نموذج واحد وأسموه النموذج النووي الجمعي، ويفترض هذا النموذج أن النيوكلونات الموجودة في مدارات فرعية غير مقفلة تتحرك تحت تأثير الجهد الناتج عن النيوكلونات الموجودة في المدارات المقفلة والتي تشكل قلب النواة. ويكون هذا الجهد قابل للتشوه تحت تأثير حركة النيوكلونات في المدارات المقفلة.

إذا افترضنا أن نواة تحتوي على عدد من النيوكلونات يزيد بنيوكلون واحد عن أحد الأعداد السحرية السابق ذكرها وليكن مثلاً العدد 51 فإن النيوكلونات الخمسين الأولى سوف تترتب في مدارات مقفلة أما النيوكلون الأخير فسوف يوجد في مدار خارج المدارات المقفلة ويكون نصف قطره كبير نسبياً ويتفاعل هذا النيوكلون من خلال القوى النووية الجذبية مع نيوكلونات المدارات المقفلة ويؤدي هذا التفاعل لحدوث تشويه في مجال النيوكلونات الموجودة في المدارات المقفلة أي أن المدارات نفسها تتشوه. ويشبه هذا التشوه إلى حد كبير ظاهرة المد والجزر التي تحدث على سطح الكرة الأرضية بسبب حركة القمر.

نجح هذا النموذج في تفسير بعض الظواهر النووية التي عجزت عن تفسيرها النماذج الأخرى مثل العزوم المغناطيسية والكهربية للنيوكلونات.