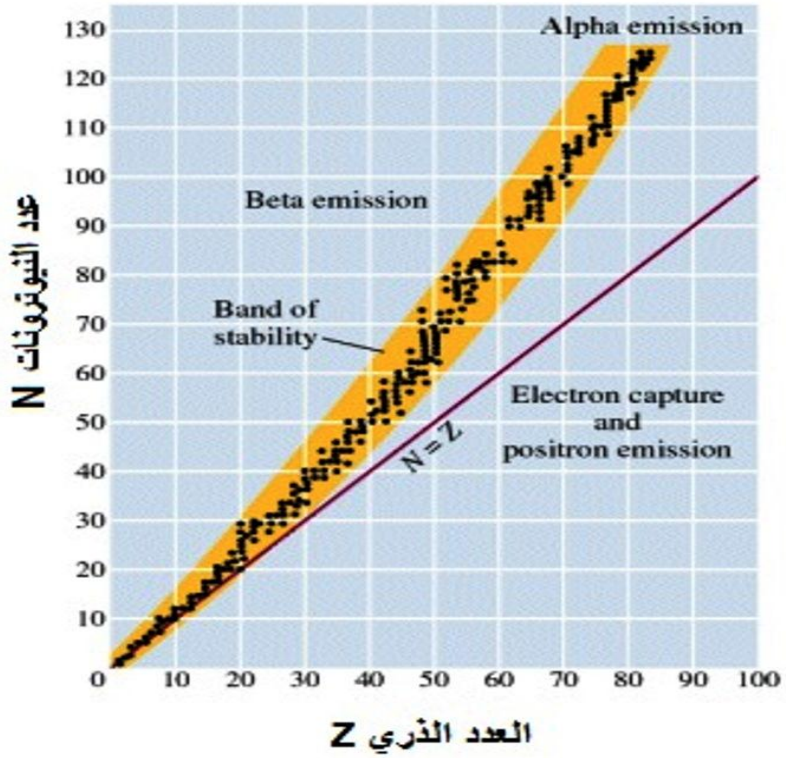
الاستقرار النووي

يوجد في أنوية العناصر الخفيفة المستقرة عدد متساوي تقريبا من البروتونات والنيوترونات، إلا أنه بازدياد كتلة العنصر تزداد نسبة النيوترونات إلى البروتونات(تزايد الحاجة الى النيوترونات للتعويض عن التدافعات القوية الناشئة بين البروتونات الموجبة)، وتظهر هذه الحقائق في الشكل التالي الذي يوضح العلاقة بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات لعدد من النظائر.



شكل (2): حزمة الاستقرار الذي يوضح العلاقة بين عدد النيوترونات والبروتونات.

العامل الرئيسي الذي يحدد فيما إذا كانت النواة مستقرة أم لا هو نسبة عدد النيوترون الى عدد البروتون (N/Z) . في حالة الذرات المستقرة للعناصر التي لها عدد ذري منخفض تكون النسبة $\frac{N}{Z}$ قريبة من الواحد. اي ان عدد البروتونات يساوي تقريبا عدد النيوترونات.

نلاحظ أن الإنحراف عن نسبة 1:1 يصبح واضحا عند عدد ذري من 20– 25 فأكثر، وفي هذا الشكل فإن النقط الواقعة على المنطقة المتعرجة أو حزمة الاستقرار، تمثل نظائر مستقرة، أما النقط التي تقع خارج هذه المنطقة فتمثل عناصر مشعة، فإذا كانت نسبة N\Z للنواة عالية جدا يقال أنها غنية بالنيوترونات، لذلك يجب أن تمر بإنحلال النشاط الإشعاعي بحيث تقلل فيه نسبة النيوترونات إلى البروتونات لتصل إلى قيمة قريبة جدا

من قيمة الإستقرار (N/Z = 1) في هذه الحالة يجب على النواة أن تقلل من N وتزيد من قيمة Z ، إذ يمكن عمل ذلك بتحويل النيوترونات إلى بروتونات وذلك بإنبعاث جسيمات بيتا السالبة.

أما إذا كانت N/Z قليلة جدا هذا يعني ان عدد البروتونات اكبر من عدد النيترونات و سيحدث إنحلال للنشاط الإشعاعي الذي يقلل من قيمة Z ويزيد من قيمة N بتحويل البروتونات إلى نيوترونات وذلك بإنبعاث بوزيترون $_{+1}^{0}\beta$ أو إمتصاص النواة للإلكترون المداري (E.C.) حجز الإلكترون.

يمكن تقسيم المنحنى إلى ثلاث مناطق:

1– الأنوية التي لها **Z ≤ 20** هنا تكون النسبة N/Z للأنوية مساوية تقريبا للواحد وتكون هذه الانوية مستقرة .

2– الأنوية التي لها **Z = 21-83** تزداد النسبة N/Z للأنوية لتصل للقيمة 1.5 أي أننا في هذه الحالة نحتاج إلى عدد أكبر من النيوترونات لزيادة القوى النووية الجاذبة حتى تتغلب على قوى التنافر الكولومية التي تنشأ بين العدد الكبير من البروتونات. وبالتالي تكون هذه الانوية غير مستقرة.

ولتخفيض هذه النسبة وللعودة الى داخل نطاق (حزمة) الاستقرار فإن هذه النوى تخضع الى العملية التي تسمح بإطلاق جسيم β السالبة ($_{-1}^{0}e$) وتحويل النيوترون الى بروتون

$$_{0}^{1}\mathrm{n} \longrightarrow {}_{1}^{1}\mathrm{p} + {}_{-1}^{0}\beta$$

إذاً إطلاق جسيم $_{-1}^{0}\beta$ يسمح بزيادة عدد البروتونات في النواة وانخفاض عدد النيوترونات مثل:

$$_{6}^{14}\mathrm{C} \longrightarrow {}_{7}^{14}\mathrm{N} + {}_{-1}^{0}\beta$$

3–الأنوية التي لها **Z > 83** هنا تزداد قوى التنافر الكولومية بين البروتونات بحيث يستحيل الحصول على أنوية ثابتة للعناصر ذات العدد الأكبر من 83 .

عندما تكون النوى تحت نطاق الاستقرار، فإن النوى تتمتع بنسبة $\frac{N}{Z}$ أقل من تلك الموافقة للنوى الواقعة داخل النطاق والمساوية لها بالعدد الذري. ولزيادة هذه النسبة ومن ثم العودة الى نطاق الاستقرار تسعى النوى الى إطلاق بوزيترونات $_{+1}^{0}\beta$ كما في المعادلة الاتية:

$$_{1}^{1}\mathrm{P} \longrightarrow {}_{0}^{1}\mathrm{n} + {}_{+1}^{0}\beta$$

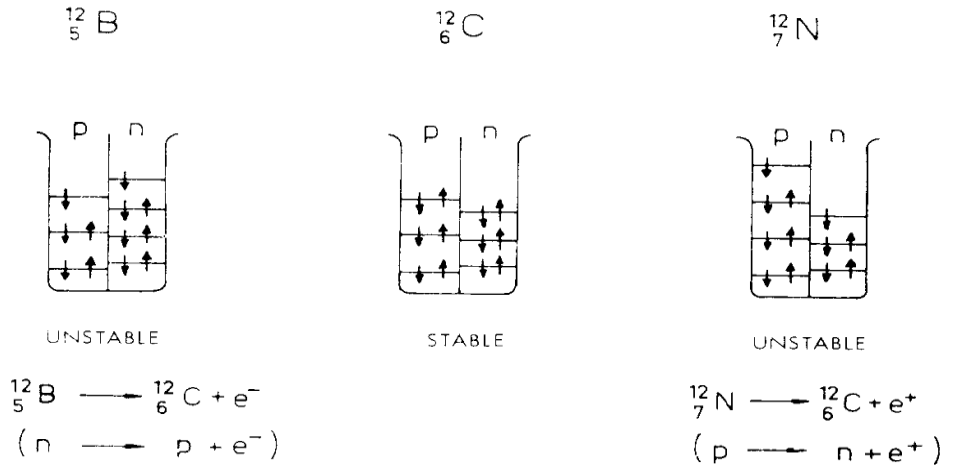
ومثال على ذلك

$$_{19}^{38}\mathrm{K} \longrightarrow {}_{18}^{38}\mathrm{Ar} + {}_{+1}^{0}\beta$$

يمكن ان نفهم سبب وجود ازدياد النسبة N/Z ليكون لها استقرار نووي عند تصور ان جميع البروتونات في النواة يجب ان تعاني قوة تنافر كولومية. وتعني حقيقة وجود نوى مستقرة وجوب وجود قوة تجاذب تميل الى ربط النيوترونات والبروتونات معا. اذ يجب ان تكون قوى التجاذب النووية هذه كامنة في النوى المستقرة للتغلب على قوة كولوم التنافرية.

وعلى العكس من ذلك يوجد في النوى غير المستقرة محصلة عدم اتزان بين قوة التجاذب النووية وقوة كولوم التنافرية. فكلما ازداد عدد البروتونات وجب ان تزداد قوة كولوم التنافرية الكلية.لذلك لتجهيز قوة تجاذب كافية للاستقرار يزداد عدد النيوترونات بسرعة اكبر من تلك التي للبروتونات.

لقد افترض وجود النيوترونات والبروتونات داخل اوربتالات نويات منفصلة مثل الالكترونات تماماً في اوربتالاتها في الذرة . فاذا كان عدد النيوترونات اكبر كثيراً من عدد البروتونات تمتد اوربتالات النيوترونات المشغولة الى طاقة اكبر من اعلى اوربتال بروتوني مشغول . وكلما ازدادت النسبة $\frac{N}{Z}$ امكن تطوير اختلاف الطاقة الكبير بين الاوربتال الاخير المملوء بالنيوترونات (اعلى طاقة) والاوربتال الاخير المملوء بالبروتونات . نتيجة لذلك . يمكن تعزيز استقرار النواة عند تحول نيوترون من اعلى اوربتال للنيوترونات الى بروتون في اوربتال بروتوني اقل طاقة ؛ انظر المثال $A = 12$ في الشكل (3 – 2) . ستناقش هذه الاسئلة عن القوة النووية ومستويات الطاقة للنويات بتفصيل اوسع في الفصل السادس .



شكل 3 – 2 – فصل وازدواج النويات في مستويات الطاقة المفترضة مع المتكاتلات $A = 12$. عمر النصف لكل من ^{12}B غير المستقر يساوي 0.02 ثانية و ^{12}N = 0.01 ثانية .

طاقة الربط للنواة

من النتائج الهامة للنظرية النسبية للعالم اينشتاين وجود علاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة. وتحسب الطاقة الكلية E لاي نظام كتلته m من العلاقة التالية

$E = mC^2$

حيث C تمثل سرعة الضوء وتساوي 2.9979×10^{10} cm\sec او 2.9979×10^{8} m\sec

يستنتج من هذه العلاقة بان كتلة النواة هي معيار مباشر لمحتوياتها من الطاقة. كما دلت التجارب على ان كتلة النواة تقل عن مجموع كتل مكوناتها من البروتونات والنيوترونات. ويمثل الفرق بينهما الطاقة الرابطة binding energy للنواة وهي الطاقة اللازمة لارتباط النويات مع بعضها.

ويحسب مقدار الطاقة المكافئة لوحدة الكتلة ومقدارها 1.66×10^{-24} g كما يلي:

$E = (1.66 \times 10^{-24})(2.9979 \times 10^{10})^2$

$E = 1.492 \times 10^{-3}$ erg

وفي الكيمياء النووية يستعاض عن وحدة erg بوحدة اخرى هي الالكترون فولت ويعرف الالكترون فولت بمقدار الطاقة اللازمة لرفع الالكترون خلال فرق جهد كهربائي مقداره فولت واحد.

وندرج ادناه العلاقة بين وحدات الطاقة:

$eV = 1.602 \times 10^{-12}$ erg

$MeV = 1.602 \times 10^{-6}$ erg

اذا الطاقة المكافئة لوحدة الكتل الذرية amu = 931.5 MeV

وحدة الكتلة الذرية (Atomic Mass Unit (a.m.u.:

تستخدم لقياس كتل الأنوية وتساوي كتلة ذرة الهيدروجين، وهي تساوي 12/1 من كتلة ذرة الكربون.

بما أن الوزن الذري للهيدروجين يساوي واحد وبما أن الوزن الذري للعنصر يحتوي على عدد أفوجادرو من الذرات إذا:

1 gram contain 6.203×10^{23} atom

إذا وزن ذرة الهيدروجين

$$\text{wt of H atom} = \frac{Atomic\ wieght}{Avogadro\ No.}$$

$$\text{wt of H atom} = \frac{1}{6.203\ x\ 10^{23}}$$

$= 1.661x10^{-24}$ g = a.m.u.

وتقاس أوزان الذرات أو النوى منسوبة إلى وزن نظير الكربون 12 ، حيث تعتبر كتلة هذا النظير مساوية 12.000 وحدة كتلة ذرية، وهي تكافئ $1.66x10^{-24}$ g. ومن المتبع في التفاعلات النووية إستخدام وحدات الإلكترون فولت (ev) أو المليون إلكترون فولت (Mev) كوحدات لقياس الطاقة وتحسب الطاقة لكل ذرة بدلا من المول في التفاعلات الكيميائية.

مثال: احسب طاقة ارتباط نواة الهليوم ^4_2He اذا علمت ان

كتلة نواة الهليوم = 4.0026 amu

كتلة البروتون = 1.007825 amu

كتلة النيوترون = 1.00866 amu

الحل/

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m'$$

Δm الفرق بين كتلة نواة الهليوم m' وكتل البروتونات والنيوترونات

Z عدد البروتونات ، m_p كتلة البروتون ،

N عدد النيوترونات ، m_n كتلة النيوترونات.

بالتعويض نحصل على مقدار طاقة الارتباط

$$\Delta m = (2 \times 1.007825) + (2 \times 1.00866) - 4.0026$$

$$= 0.03037 \text{ amu}$$

$$\therefore B.E = 0.03037\ x\ 931.5 = 28.3\ MeV$$

ويمثل المقدار 28.3 MeV الطاقة الرابطة لاربعة نويات وتساوي 7.1 MeV لكل نويه.

مثال2/ احسب مقدار النقصان في كتلة الشمس خلال يوم واحد إذا علمت أن الشمس تشع طاقة مقدارها 38×10^{27} J في كل ثانية؟

الحل :

حساب الطاقة المشعة خلال يوم واحد

$\Delta E = -38 \times 10^{27} \times 24 \times 3600$ J

$\Delta E = \Delta m\ C^2$

$-38 \times 10^{27} \times 24 \times 3600 = \Delta m\ (3 \times 10^8)^2$

$\Delta m = -3648 \times 10^{13}$ Kg

امثلة/

– إحسب طاقة الربط للألومنيوم $^{27}_{13}Al$ علما بأن وزن نظير الألومنيوم = 26.981539 amu

–إحسب طاقة الربط لكل نيوكلون لكل من $^{82}_{36}K$ و $^{64}_{30}Zn$ علما بأن وزن كل منهما يساوي 81.9384 amu و 63.9488 amu

ولقد تم حساب متوسط طاقة الربط لكل نيوكلون للعناصر المختلفة وإستخدامها كمقياس متناسب لمدى الإستقرار النووي.

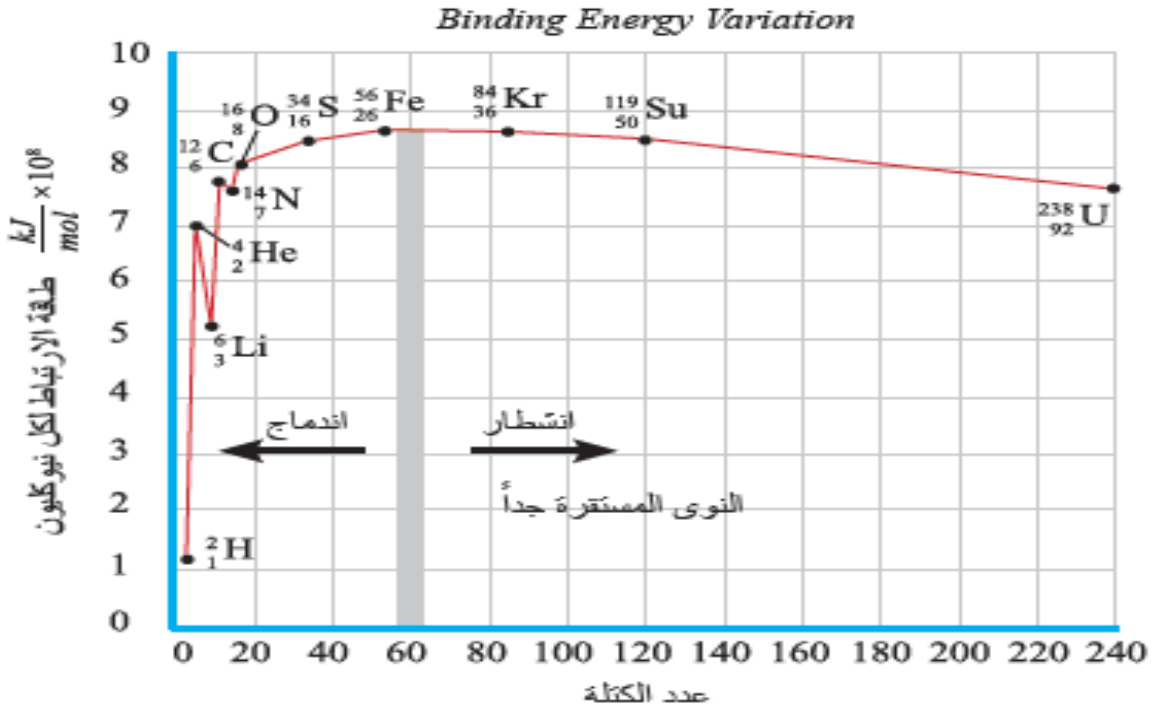
متوسط طاقة الربط لكل نيوكلون = طاقة الربط الكلية / عدد الكتلة

$$E' = \frac{B.E}{A}$$

لقد تم احتساب طاقة الربط لجميع النوى فوجد انها بحدود (7.4 – 8.8)MeV . ووجد ان طاقة الربط لنواة الحديد (A = 56) و النيكل (A = 59) هي اعلى قيمة نسبة الى طاقة ربط بقية العناصر.

ويفسر العلماء سبب الوفرة الطبيعية للحديد و النيكل في قشرة الارض يعود الى استقرارهما النووي العالي بسبب طاقة الربط العالية لنواتيهما.

يوضح الشكل ادناه العلاقة بين طاقة الربط لكل نيوكلون وعدد الكتلة للعناصر المختلفة. حيث يوضح المنحنى أن طاقة الربط للنواة الخفيفة ^2H صغيرة جدا وهذا يدل على عدم إستقرار هذه الأنوية. وتزداد قيمة $\Delta E/A$ إلى أن تصل قيمة عالية حوالي 8.8 مليون إلكترون فولت عند النويدات ذات وزن ذري 50 وبعدها تقل قيمة طاقة الربط كلما زاد الوزن الذري لتصل إلى 7.6 لليورانيوم (نواة غير مستقرة).



شكل (2–2): منحنى طاقة الربط لكل نيوكليون للأنوية المستقرة كدالة لعدد الكتلة A.

ومن المنحنى نجد أيضا أن طاقة الربط للأنوية التالية: ^{4}He, ^{12}C, ^{16}O أعلى من العناصر التي تجاورها وذلك لأنها أنوية مستقرة. وعلى ذلك فإن طاقة الربط لكل نيوكلون تعطي معلومات عن درجة ثبات النواة.

ويستنتج من ذلك أنه لو دمجت نواتا ذرتين خفيفتين فإن النواة الناتجة تكون أكثر إستقرارا إلا أنه يفقد مقدار من الكتلة (نتيجة لعملية الدمج هذه) رغم أن النواة الجديدة تشمل مجموع محتويات النواتين، ويتحول المقدار المفقود من الكتلة إلى طاقة منتشرة وهذا ما يحدث في عملية الإندماج النووي Nuclear Fusion