الفصل الثاني

اولا : طاقة الربط النووية Nuclear Binding Energy :

هي الطاقة التي تتحرر عندما تتجمع النيوكليونات لتكوين النواة ، او هي الطاقة اللازمة لفصل جميع نيوكليونات النواة بعضها عن البعض الاخر .

*وتعزى طاقة الربط النووية هذه الى ان مجموع كتل النيوكليونات وهي منفصلة عن بعضها اكبر من كتلة النواة الناتجة من تجمعها ، وفرق الكتلة هذا قد تحول الى طاقة مبعثرة مما سبب تماسك النيوكليونات مع بعضها ، وعليه فطاقة الربط النووية B(A,Z) لنواة عددها الكتلي A وعددها الذري Z هي :

$$B(A,Z)=[Zm_p+Nm_n-M_N(A,Z)]C^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث m_p كتلة البروتون ، m_n كتلة النيوترون ، N العدد النيوتروني ، M_N كتلة النواة ، c سرعة الضوء .

فان كانت الكتل مقدرة بـ kg فان الطاقة ستقدر بالجول ، ولكن هذه الوحدات غير ملائمة لذلك تستعمل وحدة الكتل الذرية ، فعليه ان كانت الكتل مقدرة بوحدة u ، وبما ان :"

$$1\ u = 931.5\ \frac{MeV}{C^2}$$

لذلك امكن اعادة كتابة المعادلة (1) لتصبح كالاتي :

$$B(A,Z)= [Zm_p+Nm_n-M_N(A,Z)].C^2 \times \frac{931.5}{C^2}\ MeV$$

$$\therefore B(A,Z)=931.5[Zm_p+Nm_n-M_N(A,Z)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

طاقة الربط بدلالة الكتل النووية ، وبوحدات وحدة الكتل الذرية .

ولقد جرت العادة على استعمال الكتل الذرية بدلا من الكتل النووية فلدينا :

$$M(A,Z)=M_N+Zm_e-B_e \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث M(A,Z) : كتلة الذرة ، M_N = كتلة النواة ، B_e = هي طاقة ترابط الالكترونات بالذرة وتكون قيمتها صغيرة جدا يمكن اهمالها .

نعوض المعادلة (3) في معادلة (2) فنحصل على :

$B(A,Z)=931.5[Zm_p+Nm_n-M(A,Z)+Zme]$

$\therefore B(A,Z)=931.5[Zm_H+Nm_n-M(A,Z)]$ …….. (4)

*معدل طاقة الربط :

بقسمة طاقة الربط النووية B(A,Z) على العدد الكتلي (A) نحصل على معدل طاقة الربط النووية B_{ave} ، اي معدل ربط اي من النيوكليونات داخل النواة (p) او (n).

$B_{ave}(A,Z)=\frac{B(A,Z)}{A}$ …….. (5)

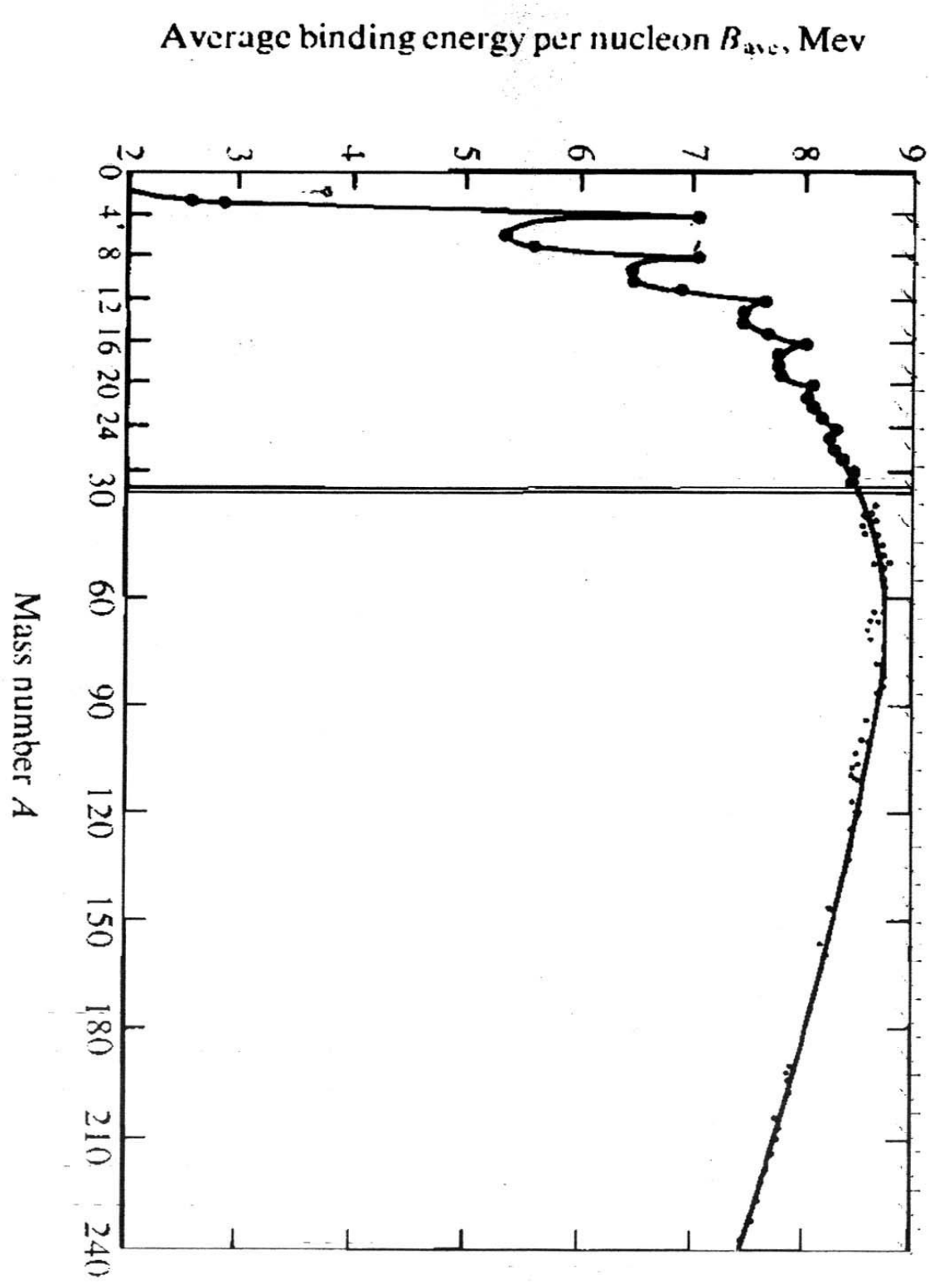
والشكل (1) يمثل العلاقة بين معدل طاقة الربط والعدد الكتلي (A) ، ويمكن ملاحظة ما يلي:

1-يكون المنحنى ثابت نسبيا باستثناء النوى الخفيفة مثل نواة الديوترون $_1^2H$.

2-ان النوى المتوسطة تمتلك اكبر القيم الى معدل طاقة الربط النووية مثل نواة الحديد $(_{26}^{56}Fe)$ وبذلك تكون النوى المتوسطة عادة هي الاكثر استقرارا وتبلغ قيمة $(\frac{B}{A})$ بحدود 8.8 مليون الكترون فولت .

3-النوى الخفيفة والنوى الثقيلة تستطيع ان تصبح اكثر استقرارا إذا وجد تفاعلا نوويا معينا يستطيع ان ينقلها الى منطقة النوى المتوسطة.

4-النواة التي لها عدد كتلي يزيد او ينقص كثيرا عن (60) اقل ترابطا اما التي لها عدد كتلي قريب من (60) فهي العناصر الاكثر استقرار .



الشكل (1–2): يوضح معدل طاقة الترابط لكل نيكليون

5-بعد قيمة العدد الكلي (60) تبدأ قيمة $(\frac{B}{A})$ بالنقصان التدريجي ويمكن تفسير هذا النقصان الى كونه ناتج عن التنافر الكولومي بين البروتونات الذي يزداد تأثيره بزيادة Z الناتجة عن زيادة A.

6-ظهور قمم على المنحني عند A=4,8,12,16

مثال /جد طاقة الربط النووية لنواة النيتروجين $(^{14}_{7}N)$ بوحدة MeV ، إذا علمت ان كتلة ذرة $^{14}_{7}N$ تساوي 14.003074 u ، وكتلة ذرة الهيدروجين تساوي 1.007825 u ، وكتلة النيوترون تساوي 1.008665 u ، وجد أيضاً معدل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون ؟

الحل /

$B(14,7)=931.5[Zm_H + Nm_n - M(14,7)]$

$B(14,7)=931.5[\ 7\times1.007825 + 7\times1.008665 - 14.003074]$

$B(14,7)=104.603\ MeV$

$B_{ave}=\frac{B(14,7)}{A}=\frac{104.603}{14}=7.472\ \left(\frac{MeV}{nucleleon}\right)$

زيادة (نقصان) الكتلة Mass Excess (defect) :

ان الكتل الذرية بوحدات الكتل الذرية عادة لا تختلف كثيرا عن عدد النيوكليونات A . لهذا السبب يكون من المناسب التعبير عن الكتل النووية بدلالة زيادة الكتلة mass excess Δ(Z,N) والتي تسمى احيانا بنقصان الكتلة mass defect ، التي تتحدد بوحدات الكتلة الذرية (u) على وفق المعادلة التالية :

$\Delta(Z,N)=\frac{A}{Z}M_N - A$

وتسمى النسبة بين زيادة الكتلة Δ(Z,N) والعدد الكتلي A بنسبة الربط packing fraction :

$$P=\frac{\Delta(Z,N)}{A}=\frac{{}^{A}_{Z}M_N-A}{A}$$

مثال / احسب كتلة الديتريوم ${}^{2}_{1}H$ بوحدات الكتل الذرية u إذا علمت ان زيادة الكتلة تساوي 13135.82 Kev ؟

الحل/

$\Delta=13135.82\ Kev=13135.82\times10^{-3}\ MeV$

$\Delta=13.13582\ MeV$

لكن $1u=931.5\ MeV$

$$\Delta=\frac{13.13582}{931.5}=0.015176\ u$$

$\therefore M=\Delta+A=0.015176+2=2.015176\ u$

<u>طاقة فصل الجسيمة النووية :</u>

هي الطاقة اللازمة لتحرير الجسيمة النووية ، او انها الطاقة التي تتحرر عند تأسير الجسيمة من قبل النواة فعليه فان طاقة فصل النيوترون S_n تعني الطاقة اللازمة لتحرير او فصل النيوترون عن النواة او انها الطاقة التي تتحرر عند تأسير النيوترون من قبل النواة وبالمثل طاقة فصل البروتون S_p وطاقة فصل جسيمة الفا S_α .

يمكن التعبير عن طاقة الفصل النووية اما بدلالة الكتل او بدلالة طاقات الربط . فبدلالة الكتل يعبر عن طاقة فصل النيوترون S_n بالصيغة :

$$S_n=931.5[M(A-1,Z)+m_n-M(A,Z)] \quad \ldots\ldots..(6)$$

وبدلالة طاقات الربط فان $S_n=B(A,Z)-B(A-1,Z)$ .....(7)

وبالمثل فان طاقة فصل البروتون S_p بدلالة الكتل :

$$S_p(A,Z)=931.5[M(A-1,Z-1)+m_H-M(A,Z)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(8)$$

$$S_p(A,Z)=B(A,Z)-B(A-1,Z-1) \quad \text{بدلالة طاقات الربط} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(9)$$

وكذا الحال بالنسبة لطاقة فصل جسيمة الفا ، فبدلالة الكتل :

$$S_\alpha(A,Z)=931.5[M(A-4,Z-2,N-2)+m_\alpha-M(A,Z)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(10)$$

$$S_\alpha(A,Z)=B(A,Z)-B(A-4,Z-2)-B(4,2) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(11)$$

وان كل زوج من هذه المعادلات يمثل معادلتين متكافئتين ولاثبات ذلك نأخذ المثال الاتي :

$$S_n=B(A,Z)-B(A-1,Z)$$

$$=931.5[Zm_H+Nm_n-M(A,Z)-Zm_H-(N-1)m_n+M(A-1,Z)]$$

$$=931.5[Nm_n-M(A,Z)-Nm_n+m_n+M(A-1,Z)]$$

$$=931.5[M(A-1,Z)+m_n-M(A,Z)]$$

وهي نفس معادلة فصل النيوترون بدلالة الكتل الذرية .

مثال / ما مقدار الطاقة اللازمة لازالة نيوترون من نواة $^{41}_{19}K$ التي كتلتها الذرية تساوي (40.974856 u) ، إذا علمت ان كتلة $^{40}_{19}K$ الذرية تساوي (39.976709 u) ، وان كتلة النيوترون هي (1.008665 u)؟

الحل /

$$S_n=931.5[M(A-1,Z)+m_n-M(A,Z)]$$

$$=931.5\ [39.976709 + 1.008665 - 40.974856]$$

$$=931.5\ [0.010518] = 9.797366\ MeV$$

التأثير المزدوج واثره على طاقة الفصل النووية :

ان اعتماد القوة النووية على الزخم البرمي يسمى بالتأثير المزدوج pairing effect او تأثير الازدواج ، اي ان كل زوج من النيوكليونات المتشابهة n,n , p,p يتجاذبان بقوة كبيرة عندما يكون زخم كل منهما اعظم ما يمكن ومساو بالمقدار ومعاكس في الاتجاه للاخر. وتاثير الازدواج هو السبب في كون النوى الزوجية – الزوجية اكثر استقرارا ووفرة من النوى الزوجية – الفردية او النوى الفردية – الزوجية وهذه اكثر استقرارا ووفرة من النوى الفردية – الفردية .

اما كيف يؤثر تأثير الازدواج على طاقة فصل الجسيمة النووية ، فلقد وجد عمليا انه لقيمة معينة للعدد الذري (Z) ، فان طاقة فصل النيوترون S_n تكون اكبر عندما يكون عدد النيوترونات زوجيا عما هي عليها لو كان عددها فرديا فمثلا :

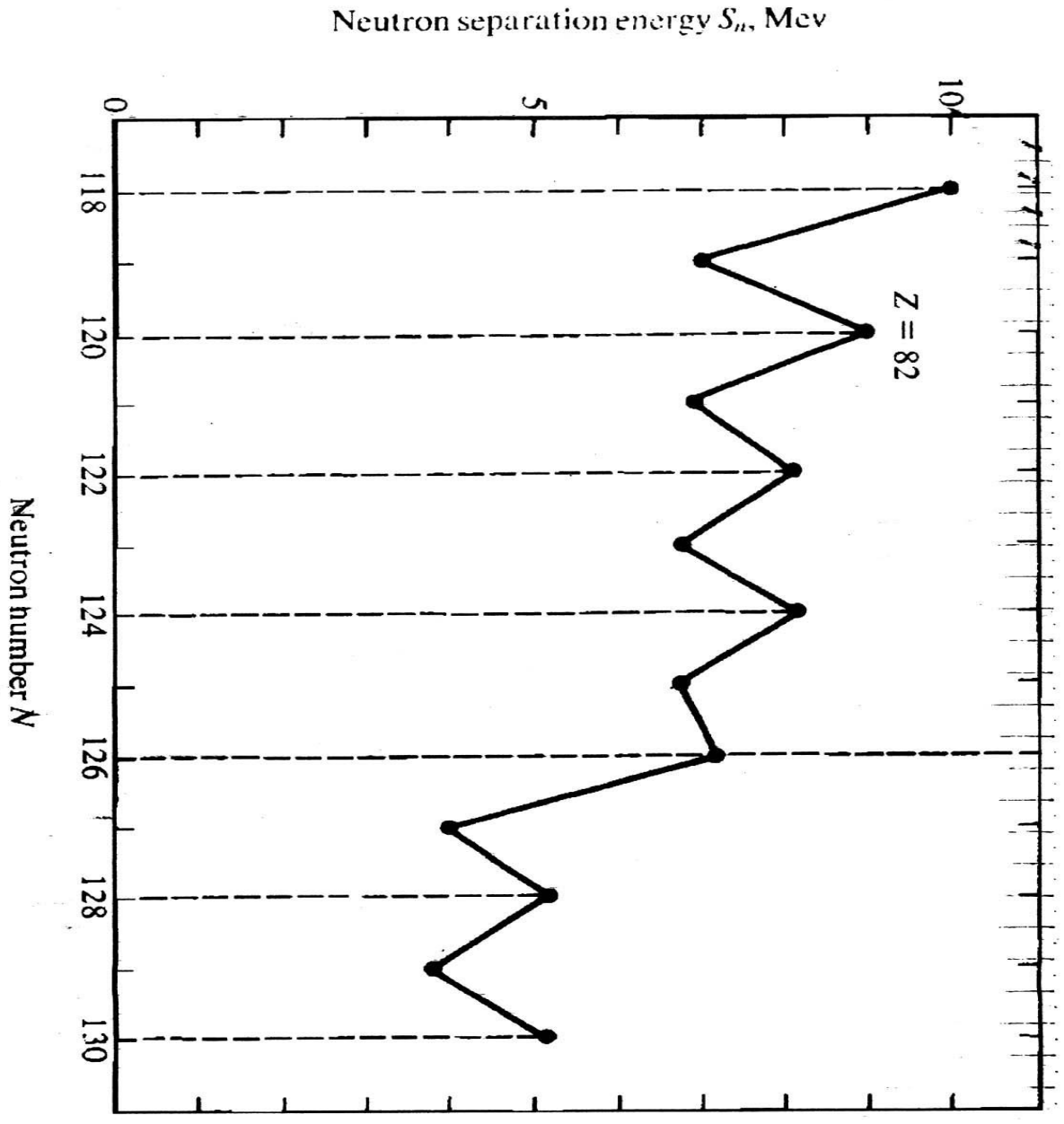
$$S_n\left({}^{202}_{82}Pb_{120}\right) > S_n\left({}^{201}_{82}Pb_{119}\right)$$

كذلك وجد انه لقيمة معينة لـ (N) فان S_n تكون اكبر عندما يكون عدد البروتونات Z زوجيا عما هي عليها لو كان Z فرديا

$$S_n\left({}^{12}_{6}C_6\right) > S_n\left({}^{11}_{5}B_6\right)$$

ويسمى الفرق $S_n(A,Z,N_{even})-S_n(A-1,Z,N_{odd})$ بـ طاقة ازدواج النيوترون ، ففي حالة الرصاص $_{82}Pb$ وعند رسم طاقة الفصل S_n كدالة لـ N نجد ان S_n تكون اكبر للنظائر التي تحتوي على عدد زوجي من النيوترونات . كما في الشكل .

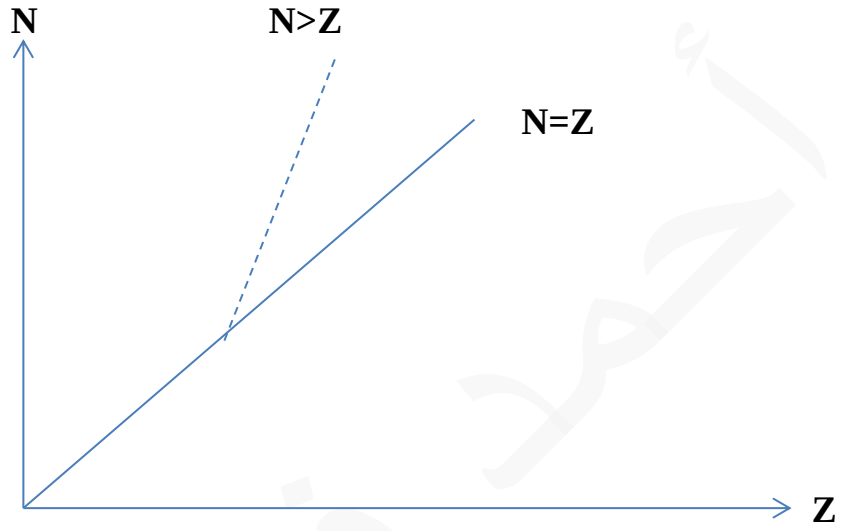
حيث يكون هناك ارتباط اضافي بين كل زوج من النيوكليونات المتشابهة الموجودة في الحالة نفسها والتي تكون لها زخوم زاوية كلية تعمل باتجاهين متعاكسين ، وان طاقة الازدواج تعمل على زيادة طاقة الارتباط للنويات وبالتالي زيادة استقرارية هذه النوى.



الشكل (2-2): يوضح طاقة الفصل بالنسبة للنيوترونات للنوى ذات العدد الذري 82.

الوفرة الطبيعية للنوى المستقرة Abundance of stable nuclei :

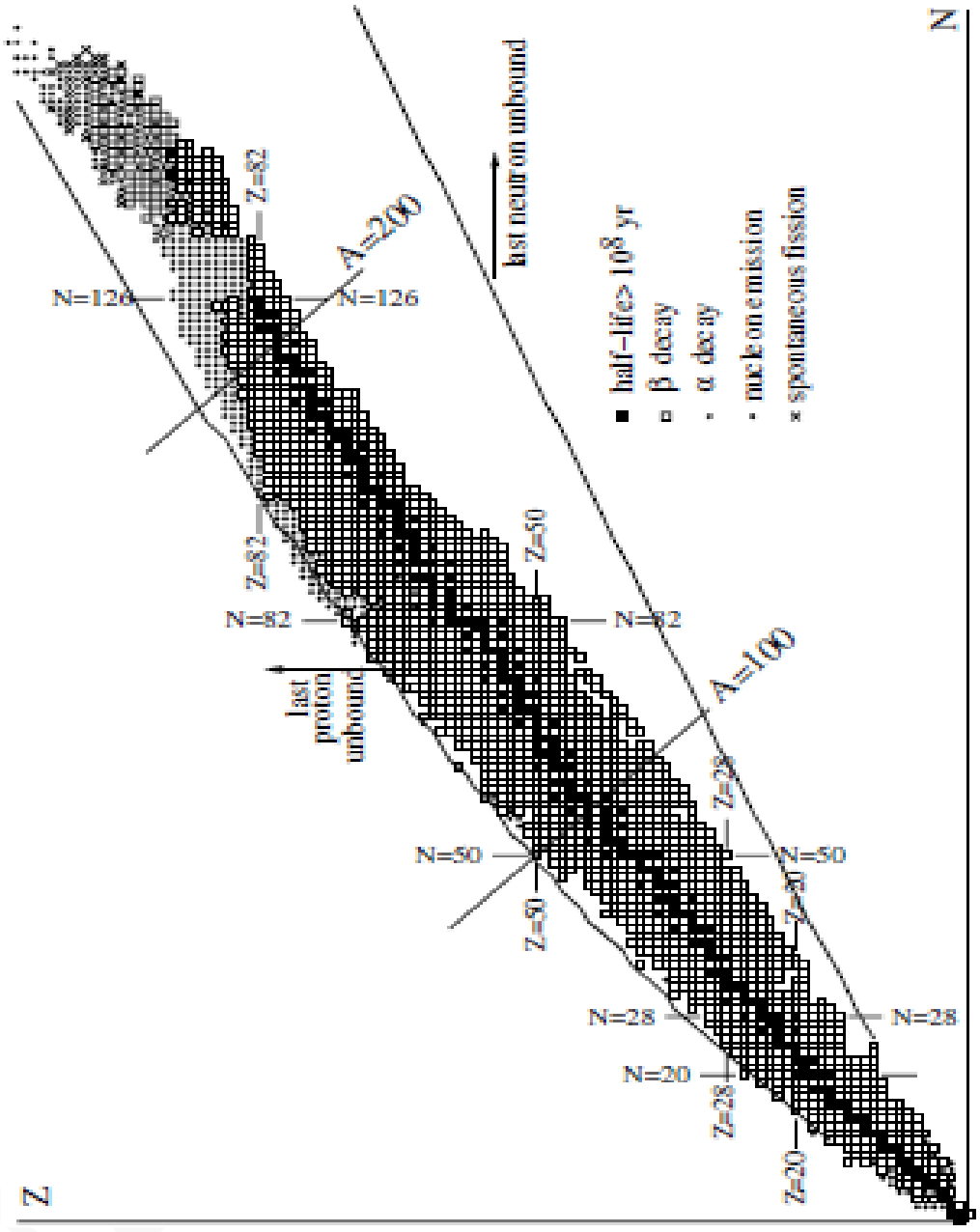
النوى الموجودة والمعروفة اما تكون مستقرة stable او ذات نشاط اشعاعي radioactive، فاذا تم رسم عدد النيوترونات N للنوى كدالة لعدد البروتونات Z ، فسنحصل على منحني الاستقرار المبين بالشكل :



الشكل (3-2): يوضح منحني الاستقرارية حيث تم رسم عدد النيوترونات N للنوى كدالة لعدد البروتونات Z.

ومن هذا الشكل فان منطقة الاستقرار ستتمركز حول خط الاستقرار (N=Z) بالنسبة للنوى الخفيفة ، اما بالنسبة للنوى الثقيلة ، فان نقطة الاستقرار ستنحرف عن هذا الخط مقتربة من محور (N) وذلك لان النوى الثقيلة تحتوي على نيوترونات اكثر من البروتونات . (بسبب زيادة اهمية قوة كولوم) .

ان النوى غير المستقرة والواقعة على يمين منطقة الاستقرار تتحلل غالبا عن طريق تحلل B^+ او تأسير الالكترون وذلك لان فيها فائض من البروتونات ، على نقيض النوى غير المستقرة الواقعة على يسار منطقة الاستقرار التي تحتوي على فائض من النيوترونات فنراها تتحلل عن طريق تحلل α , n , $\bar{\beta}$ والمبين بالشكل (4-2).



الشكل(4-2): منحني الاستقرار وعمليات التحلل.

ويمكن تلخيص النتائج لوفرة تواجد النوى المستقرة بالجدول الاتي :

N	Even	Odd	Even	Odd
Z	Even	Even	Odd	Odd
Number of nuclides	160	53	49	4

حيث يظهر ان النوى الزوجية – الزوجية تظهر متواجدة بوفرة اكبر .

ملاحظة / الاستقرارية والوفرة تزداد في حالة النوى التي لها N او Z مساوية للاعداد (2,8,20,28,50,82,126) حيث تسمى هذه الاعداد بالاعداد السحرية حيث تجعل طاقة الربط كبيرة جدا ، كما هو الحال في نواة الهيليوم $^{4}_{2}He$ ونواة الاوكسجين $^{16}_{8}O_{8}$ الاكثر وفرة واستقرارا من بقية نظائرة .

القوة النووية Nuclear Force :

هي القوة التي تربط مكونات النواة الى بعضها البعض وهي اقوى من القوى التنافرية الكهربائية بين البروتونات ولذا فبفعل القوة النووية تبقى البروتونات مجتمعة مع النيوترونات داخل النواة . وهناك اربع قوى في الطبيعة وهي مرتبة كالاتي من الاقوى الى الاضعف:

1-القوة النووية 2-القوة الكهرومغناطيسية

3-القوة الضعيفة 4-قوة الجاذبية

خصائص القوة النووية :

1-القوة النووية هي قوى تبادلية : على غرار تبادل الفوتونات ما بين الشحنات الكهربائية افترض العالم الياباني يوكاوا تبادل جسيمات متوسطة الكتلة اسماها الميزونات ما بين النيوكليونات . بعبارة اخرى مثلما تعزى القوة الكهرومغناطيسية الى تبادل الفوتونات فان القوى النووية تعزى الى تبادل الميزونات .

2-القوة النووية لا تعتمد على الشحنة : ان التنافر الكولومي بين البروتونات اصغر بكثير جدا من التجاذب النووي فيما بينها . ورغم زيادة تأثير التنافر الكولومي بزيادة العدد الكتلي للنوى الا ان تأثيره يبقى اضعف نسبيا ، فعليه يمكن القول ان القوة

النووية بين بروتون وبروتون تساوي تقريبا القوة النووية بين البروتون والنيوترون وتساوي تقريبا القوة النووية بين النيوترون والنيوترون اي ان :

$$F_{pp} \cong F_{pn} \cong F_{nn}$$

ويمكن دعم هذا الاستنتاج من ان مستويات الطاقة ، وطاقات التهيج وطاقات الفصل والزخم الزاوي للنوى المرآتية تكون متقاربة .

3-القوى النووية قصيرة المدى : اي ان النيوكليون (n or p) يتجاذب فقط مع النيوكليونات القريبة منه ولا يتجاذب مع تلك التي تبعد عنه باكثر من 2 fm اي ان :

$$F_{nuclear} = 0 \quad for \quad r > 2fm$$

لقد تم افتراض هذه الخاصية لتفسير ثبوتينة B_{ave}، وعدم اعتمادها على العدد الكتلي A فتم افتراض ان مدى القوى النووية هي بحدود 2 fm .

4-القوى النووية قوى قابلة للاشباع : اي ان النيوكليون يمكن ان يرتبط بعدد معين من النيوكليونات وهذا يعني ان طاقة ربط النيوكليون مع بقية النواة ستبلغ حدا اعلى لا تتجاوزه بعد تجمع عدد معين من النيوكليونات حوله .

5-القوى النووية قوى تنافرية : بعد تشبع القوة النووية فانها ستعمل على ابعاد النيوكليونات بعضها عن البعض الاخر ، بان تتحول الى قوة تنافرية عندما تقل المسافة بين نيوكليونين عن $(\frac{1}{2} f_m)$ اي ان :

$2fm > r > \frac{1}{2} fm$ قوى تجاذبية نووية

$r < \frac{1}{2} fm$ قوى تنافرية نووية

6-القوى النووية قوى تعتمد على الزخم البرمي : ان القوة النووية بين نيوكليونين متشابهين n,n , p,p تكون اعظم ما يمكن عندما يكون الزخم الزاوي الكلي لاحدهما اعظم ما يمكن ومساو بالمقدار ومعاكس بالاتجاه للزخم الزاوي الكلي للاخر . بحيث يكون الزخم الزاوي للاثنين يساوي صفر . يسمى هذا التأثير ، اي ظاهرة اعتماد القوى النووية على الزخم البرمي بتأثير الازدواج ، اي ان كل زوج من النيوكليونات المتشابهة n,n , p,p يتجاذبان بقوة كبيرة عندما يكون زخم كل منهما اعظم ما يمكن ومساو بالمقدار ومعاكس بالاتجاه للاخر.