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 :

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

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 (١) لتصبح كالاتي :

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

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

طاقة الربط بدلالة الكتل النووية ، وبوحدات وحدة الكتل الذرية .

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

$$M(A,Z)=M_N+Zm_e-B_e \quad \text{.....(3)}$$

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 (٣) في معادلة (٢) فنحصل على :

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

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

*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).

$$B_{ave}(A,Z)=\frac{B(A,Z)}{A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

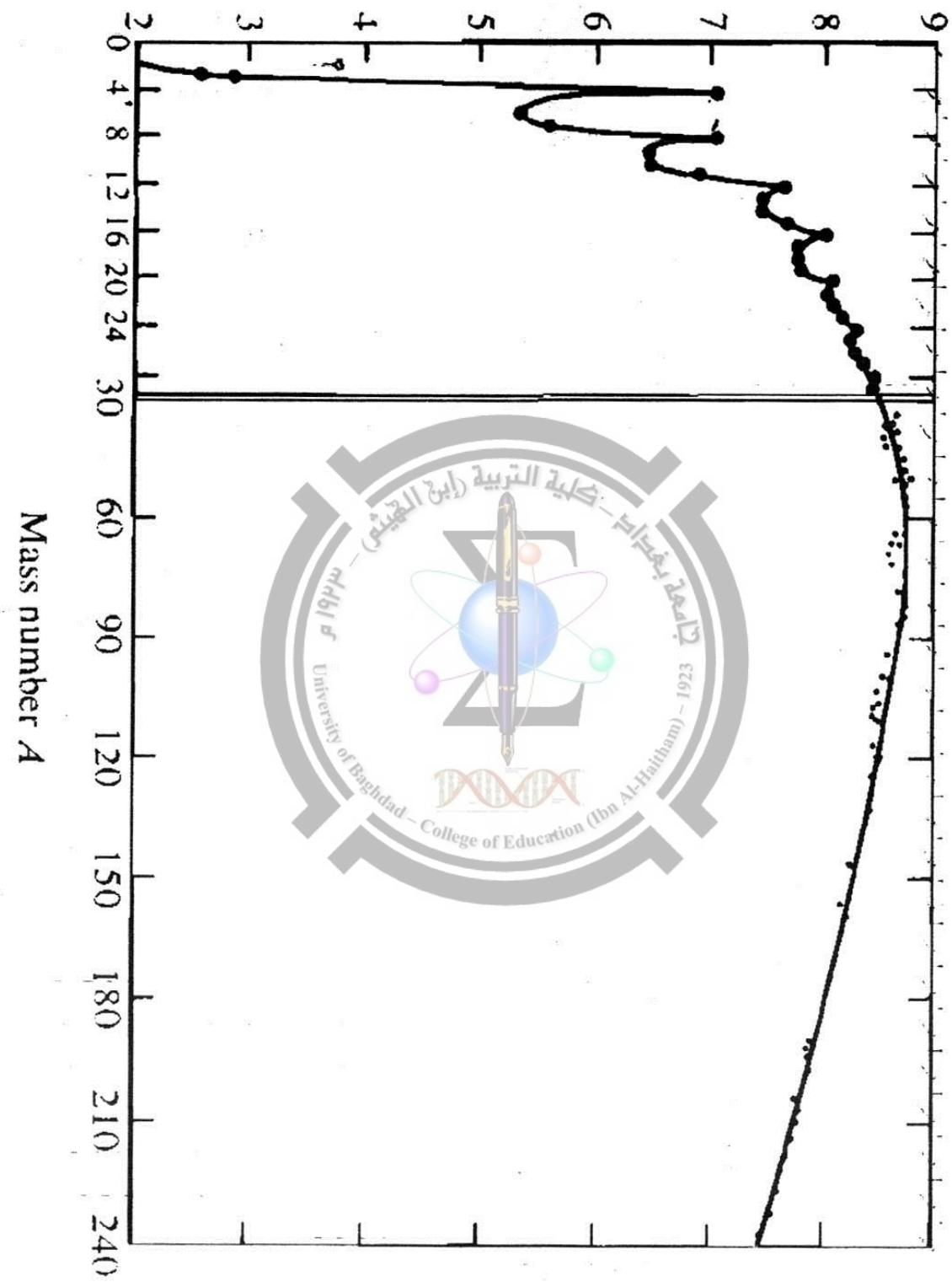
والشكل (١) يمثل العلاقة بين معدل طاقة الربط والعدد الكتلي (A) ، ويمكن ملاحظة ما يلي:

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

٢-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 ٨,٨ مليون الكترون فولت .

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

٤-النواة التي لها عدد كتلي يزيد او ينقص كثيرا عن (٦٠) اقل ترابطا اما التي لها عدد كتلي قريب من (٦٠) فهي العناصر الاكثر استقرار .



جامعة بغداد – كلية التربية (ابن الهيثم) – ١٩٢٣
University of Baghdad – College of Education (Ibn Al-Haitham) – 1923

٥-بعد قيمة العدد الكلي (٦٠) تبدأ قيمة $\left(\frac{B}{A}\right)$ بالنقصان التدريجي ويمكن تفسير هذا النقصان الى كونه ناتج عن التنافر الكولومي بين البروتونات الذي يزداد تأثيره بزيادة Z الناتجة عن زيادة A.

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

مثال /جد طاقة الربط النووية لنواة النيتروجين $\left({}^{14}_{7}N\right)$ 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 /

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

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

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

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

جامعة بغداد – كلية التربية (ابن الهيثم) – 1923
University of Baghdad – College of Education (Ibn Al-Haitham)

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 :

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

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 p,p , n,n 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

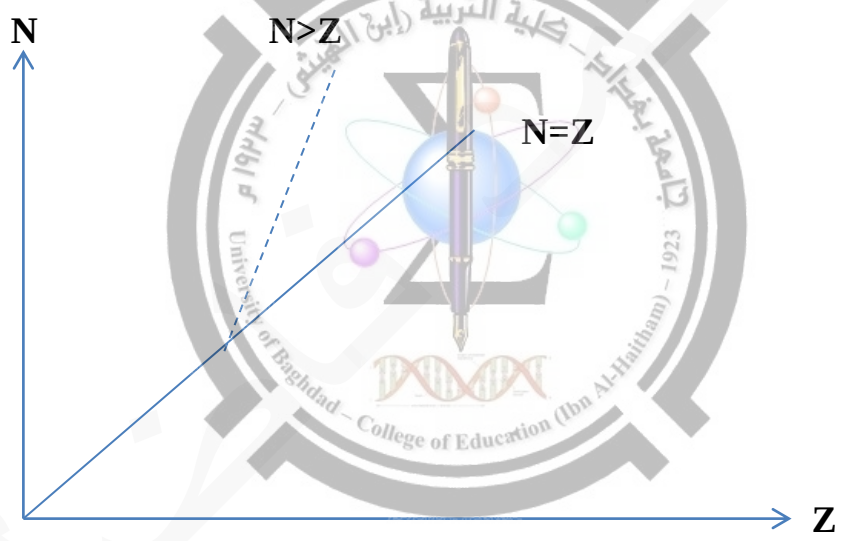
$$S_n\left({}^{12}_{6}C_6\right) > S_n\left({}^{11}_{5}B_6\right)$$

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 .

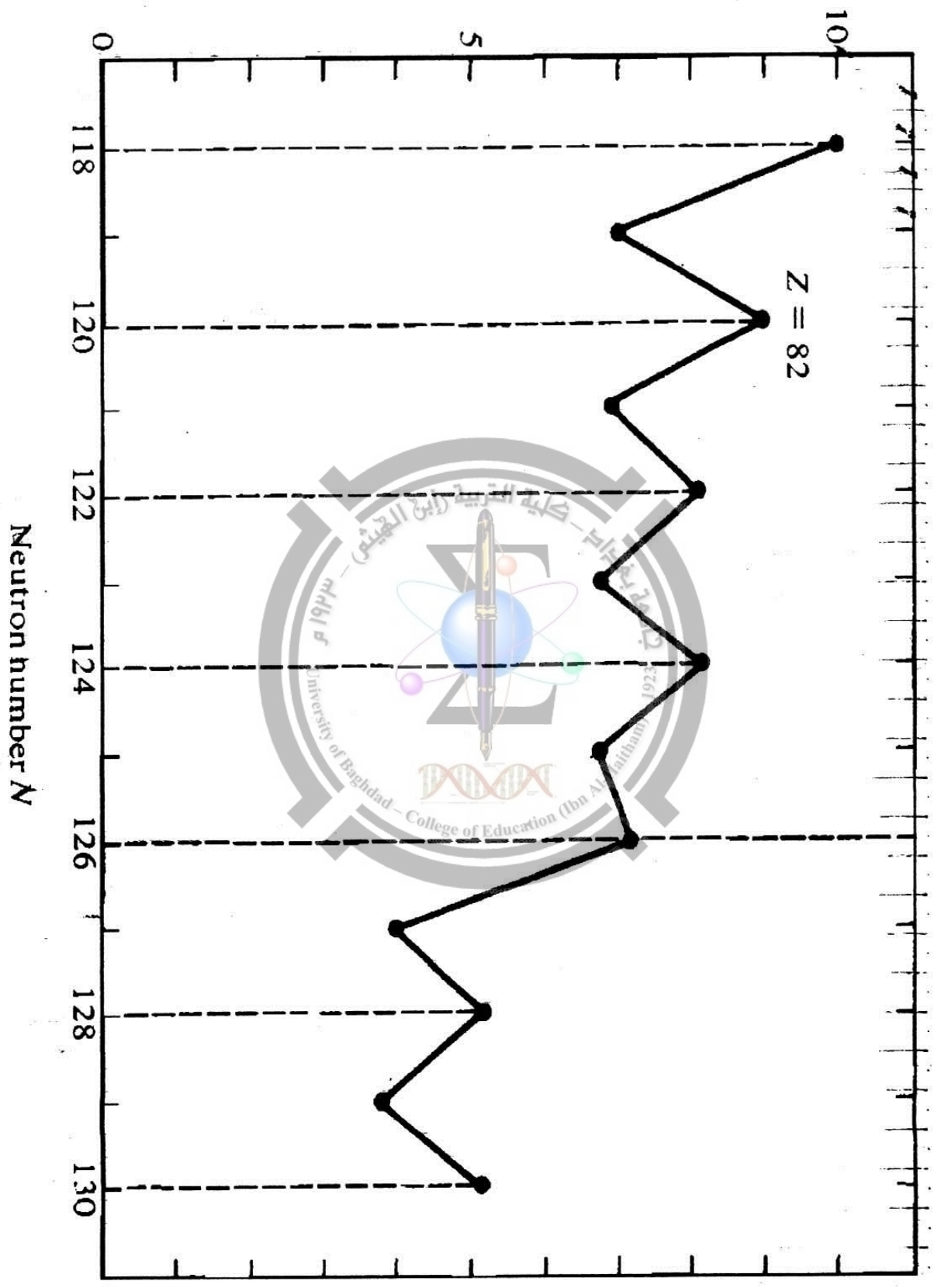
حيث يكون هناك ارتباط اضافي بين كل زوج من النيوكليونات المتشابهة الموجودة في الحالة نفسها والتي تكون لها زخوم زاوية كلية تعمل باتجاهين متعاكسين ، وان طاقة الازدواج تعمل على زيادة طاقة الارتباط للنويات وبالتالي زيادة استقرارية هذه النوى.

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 :



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) .


Neutron separation energy S_n, Mev
0
5
10
118
120
122
124
126
128
130
Z = 82
Neutron number N

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 $\alpha , n , \bar{\beta}$

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_2He ونواة الاوكسجين $^{16}_8O_8$ 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:

١–القوة النووية ٢–القوة الكهرومغناطيسية

٣–القوة الضعيفة ٤–قوة الجاذبية