خصائص القوة النووية :

١-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 .

٢-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 .

٣-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 .

٤-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 .

٥-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 :

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

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

٦-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.

النماذج النووية Nuclear Models :

كما هي الحالة بالنسبة للنماذج الذرية التي اقترحت لتصور التركيب الذري ، فانه وفي حالة النواة فان هناك نظريات او نماذج نووية تقترح لوصف تركيب او حركة النواة . وتبنى هذه النماذج على أسس معينة . وتستخدم النماذج النووية لوصف او تفسير النتائج العملية المختلفة ويقاس مدى نجاح النموذج ورسوخه كنظرية بدرجة كبيرة بقدرته

على تفسير النتائج العملية المعينة ، ولحد الان لا توجد نظرية او نموذج نووي واحد شامل ومتكامل لوصف التركيب النووي او القوة النووية .

وسنتطرق هنا بالتفصيل الى نموذجين هما نموذج قطرة السائل ونموذج القشرة ونشير باختصار الى بعض النماذج النووية الاخرى .

اولا: نموذج قطرة السائل liquid drop model :

اقترح العالم بور هذا النموذج عام ١٩٣٧ لتفسير بعض الظواهر الفيزيائية النووية كالانبعاث النووي Radioactivity ، والانشطار النووي Nuclear fission ، واشتقاق معادلة طاقة الربط النووية ، الا انه لا يصف حركة النيوكليونات داخل النواة ولا كيفية تفاعلها مع بعضها ، ومن تسمية النموذج يتضح ان النواة قد شبهت بقطرة السائل ، وقد تكون مبررات التسمية واسباب اقتراح النموذج واحدة وهي :

١- مثلما تكبر حجما قطرة السائل بزيادة عد جزيئات السائل ، نلاحظ ان النواة تكبر حجما كلما زاد عدد نيوكليوناتها ، اي كلما زاد العدد الكتلي A ، وهذا مستنتج تجريبيا ومن المعادلة :

$$R=R_oA^{1/3} \rightarrow V=\frac{4}{3}\pi R^3=\frac{4}{3}\pi {R_o}^3 A$$

٢- تبخر السائل ، حيث يقابل ظاهرة النشاط الاشعاعي او الانبعاث النووي فهروب قسم من جزيئات السائل من القطرة يقابل انبعاث جسيمات α ، β من النواة.

٣- انقسام قطرة السائل الكبيرة الى قطرتين صغيرتين يقابل ظاهرة الانشطار النووي (وهي ظاهرة انقسام نواة ثقيلة غير مستقرة بقصفها نيوترون مثلا ، الى نواتين متقاربتين بالكتلة) .

الفرضيات الاساسية لنموذج قطرة السائل:

ليتمكن هذا النموذج من تفسير ظاهرة النشاط الاشعاعي والانشطار النووي واشتقاق طاقة الربط النووية ، تم فرض الفرضيات الاتية :

١-ان المادة النووية غير قابلة للانضغاط ، كما تدل على ذلك المعادلة التجريبية $R=R_oA^{1/3}$ حيث يزداد حجم النواة بزيادة عددها الكتلي بعبارة اخرى ان كثافة المادة النووية لا تعتمد على حجم النواة ، كما هو الحال بالنسبة لقطرة السائل التي لا تعتمد كثافتها على حجمها :

٢- ان القوى النووية لا تعتمد على الشحنة $F_{pp} \cong F_{pn} \cong F_{nn}$

٣-ان القوى النووية قابلة للاشباع .

*** ان منجزات هذا النموذج هو اشتقاق معادلة تجريبية لطاقة الترابط النووية ، او معادلة الكتلة شبه التجريبية او معادلة وايزكر وعبر عنها بدلالة مجموع عدد من الحدود او التأثيرات التي نفصلها كما يلي :**

$$B(A,Z)=T_V+T_s+T_c+T_a+T_p+T_{sh}$$

١-حد الحجم Volume term (T_v) : تأثير الحجم :

استنادا الى الفرضيات الاساسية للنموذج فمن المتوقع ان زيادة عدد النيوكليونات اي زيادة العدد الكتلي A ، وبالتالي زيادة حجم النواة $V=\frac{4}{3}\pi R_o^3 A$ ، تسبب زيادة طاقة الربط الكلية للنواة اي ان :

$$T_v \alpha A \rightarrow T_v=a_vA$$

وتجريبيا وجد ان a_v=14 Mev/nucleon فعليه ان :

$$T_v=14\ A$$

ملاحظة : ان تأثير الحجم على طاقة الربط النووية يقابل تأثير الكتلة m على حرارة تبخر القطرة Q ، فكلما زادت كتلة القطرة كلما زادت الحرارة اللازمة لتبخيرها Q=Lm ، حيث L الحرارة الكامنة للتبخر .

٢-حد السطح Surface term (T_s) (تأثير السطح) :

من المعلوم ان قطرة السائل تظهر شداً سطحياً ، فمحصلة القوى على جزيئة داخل القطرة تساوي صفر بينما محصلة القوى على جزيئة واقعة على سطح القطرة لا يساوي صفر وتكون متجهه نحو المركز . وبالمقارنة نجد انه بالنسبة للنواة فان القوى النووية التي تربط اي نيوكليون داخل النواة مع بقية النيوكليونات تكون مشبعة وبالطبع طاقة ربط هذا النيوكليون كبيرة نسبيا .

اما بالنسبة لنيوكليون واقع على سطح النواة فان القوى النووية عليه تكون غير مشبعة وتبعا لذلك تكون طاقة ربطه اقل .

من هذا يمكن القول انه كلما زادت مساحة سطح النواة كلما قلت طاقة ربط النواة وحيث ان مساحة سطح الكرة ($4\pi R^2$) فان :

$$T_s \alpha 4\pi R^2 \alpha 4\pi R^2{}_o A^{2/3}$$

$$T_s = a_s A^{2/3}$$

وعمليا وجد ان a_s=-13 MeV فعليه :

فان T_s= -13 $A^{2/3}$ واشارة السالب تعني ان زيادة سطح النواة تسبب نقصان في طاقة ربطها .

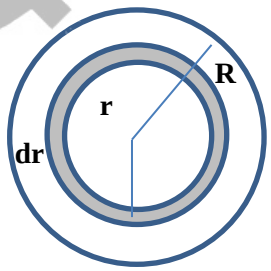
٣-الحد الكولومي Coulomb term (T_c) تأثير التنافر الكولومي :

ان التنافر الكولومي بين الشحنات المتشابهة ، وكذلك التجاذب بين الشحنات المختلفة انما يمثل قوة بعيدة المدى وغير قابلة للاشباع والمقصود بالقوة بعيدة المدى هي ان البروتون مثلا ينفر من البروتون الاخر سواء أكان قريبا او بعيدا عنه وهما يتنافران بقوة كبيرة ان كانا متقاربين ويتنافران بقوة صغيرة ان كانا بعيدين عن بعضهما.

اما المقصود بكون القوة الكولومية قوة غير قابلة للاشباع فهذا يعني ان البروتون يمكن ان يتنافر مع اي عدد من البروتونات . فعليه فان اي بروتون في النواة يتنافر مع كل البروتونات الاخرى الموجودة في النواة ، مما يعني ان زيادة عدد البروتونات داخل النواة ، اي زيادة العدد الذري Z ، ستعمل على تقليل طاقة الربط النووية للنواة .

ولاشتقاق الحد الكولومي او تأثير التنافر الكولومي على طاقة ربط النواة التي عددها الذري Z ، وشحنتها Q=+Ze ، وعدد الكتلي A ، ونصف قطرها R ، والكثافة الحجمية لشحنة النواة ρ ، ولنفرض انه في لحظة ما ونحن نجمّع النيوكليونات لتكوين النواة ، اصبحت لدينا كرة نصف قطرها (r) كما في الشكل ادناه فان شحنتها تعطى بالعلاقة :

$$q_r = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$$



فاذا اضيفت طبقة اخرى من الشحنة سمكها (dr) فشحنة هذا الجزء ستكون :

$$dq = 4\pi r^2 dr \rho$$

وبحساب الجهد الكهربائي للنواة وكالاتي :

$$T_c = \int_0^R \frac{kq_r dq}{r} = \int_0^R \frac{1}{4\pi\epsilon_o} \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 \rho . 4\pi r^2 dr \rho . \frac{1}{r}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_o} . \frac{16\pi^2}{3}\rho^2 \int_0^R \frac{r^5}{r} dr$$

$$= \frac{4\pi^2\rho^2}{3\epsilon_o}\left[\frac{r^5}{5}\right]_0^R = \frac{4\pi\rho^2}{15\epsilon_o}R^5$$

$$but\ \rho = \frac{Q}{V} = \frac{Z_e}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

$$\therefore T_C = \frac{4\pi\times 9\times Z^2 e^2 R^5}{15\epsilon_o \times 16\pi^2 R^6} = \frac{1}{4\pi\epsilon_o} . \frac{3}{5}\frac{Z^e e^2}{R}$$

ولكن البروتون لا يمكن ان يتنافر مع نفسه انما يتنافر مع بقية البروتونات فقط ، اي انه يتنافر مع (Z-1) بروتون ، لذلك وجب طرح الحد $\frac{3Ke^2Z}{5R}$ من المعادلة الاخيرة :

$$T_c = \frac{3KZ^2e^2}{5R} - \frac{3Ke^2}{5R}Z$$

$$\therefore T_C = \frac{3Ke^2Z(Z-1)}{5R}$$

But $R=R_oA^{1/3}$ → $T_c = -a_c\frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}$

$$a_c = \frac{3ke^2}{5R_o}$$

قد تم ادخال الاشارة السالبة للاشارة الى ان التنافر الكولومي يسبب نقصان طاقة الربط النووية الكلية .

٤-حد عدم التناظر Asymmetry term (T_a) (تأثير عدم التناظر) :

يقصد بالتناظر هو مدى تناظر عدد البروتونات والنيوترونات ، فمن خلال منحنى الاستقرار يتضح ان النظائر الخفيفة يتساوى فيها عدد البروتونات والنيوترونات (ابتداء من الهيدروجين حتى الكالسيوم $^{40}_{20}Ca$) ، ابتداءاً من الكالسيوم يتزايد عدد النيوترونات

عن عدد البروتونات حتى تتكافئ القوة النووية قصيرة المدى مع قوة التنافر بين البروتونات (طويلة المدى) .

لذلك فانه في العناصر الخفيفة فان (N-Z=0) ، وبالتالي فان هذا الحد لا يشارك في اضعاف القوة النووية (طاقة الترابط النووية الكلية) ، ولكن مع زيادة النسبة بين النيوترونات الى البروتونات اصبح هذا الحد ذو تأثير وتأثيره هو انه يعمل على انقاص طاقة الترابط النووية الكلية ومن ثم زيادة قيمة هذا الحد عن الصفر يؤثر سلبا على تماسك النواة وميلها الى الاستقرار ، ولهذا توضع اشارة سالبة لهذا الحد . يعطى هذا الحد بالمعادلة الاتية :

$$T_a=-a_a\frac{(N-Z)^2}{A}$$

٥-حد الازدواج T_p Pairing term (تأثير الازدواج) :

لقد وجد عمليا ان الترابط بين نيوكليونين من النوع نفسه (n,n , p,p) يكون اعظم ما يمكن عندما يكون الزخم الزاوي لكل منهما اعظم ما يمكن ويساوي بالمقدار ويعاكس بالاتجاه للاخر . وهذا التأثير يجعل النوى الزوجية – زوجية اكثر وفرة واستقرارا من النوى الزوجية – الفردية او النوى الفردية – الزوجية وهذه اكثر وفرة واستقرارا من النوى الفردية – الفردية .

فاذا رمزنا لحد الازدواج بالرمز δ فيكون :

للنوى زوجية – زوجية $+\delta$

للنوى زوجية – فردية او فردية – زوجية 0

للنوى فردية – فردية $-\delta$

٦-حد القشرة T_{sh} Shell term , (تأثير امتلاء القشرة) :-

لقد وجد عملياً ان النوى التي فيها N=Z ويساوي عدد سحري حيث (الاعداد السحرية 2,8,20,28,50,82,126) تكون مستقرة وذات طاقة ربط عالية وبشكل ملحوظ ، كما تكون وفرة النوى التي فيها Zor/and N يساوي عدد سحري ملحوظة بسبب استقرارها ، فعليه يمكن القول ان اقتراب Z او N او كليهما من اعداد سحرية يسبب زيادة طاقة الربط النووية وتمثل هذه الخاصية بحد في معادلة طاقة الترابط النووية ويرمز له بالرمز (η)، وقد وجد عمليات ان $T_{sh}=1 \rightarrow 3MeV$.

Ex./ T_{sh}= 3 MeV for $^{4}_{2}He$, $^{16}_{8}O$

T_{sh}= 2 MeV for $^{15}_{8}O_{7}$, $^{15}_{7}N_{8}$

T_{sh} = 1 MeV for $^{18}_{8}O_{10}$

فعليه فطاقة الربط النووية وفقا لنموذج قطرة السائل ستتمثل بالمعادلة الاتية :

$$B(A,Z) = T_v+T_s+T_c+T_a+T_p+T_{sh}$$

$$B(A,Z) = a_vA - a_sA^{2/3} - a_c\frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_a\frac{(N-Z)^2}{A} + \frac{+}{o}\delta + \eta(1-3)MeV$$

ملاحظة : ان الثوابت في المعادلة الاخيرة يمكن ايجاداها بالمقارنة مع النتائج العملية المتوفرة ، وهناك اختلاف معين بين مجاميع الثوابت التي يمكن ايجادها ونعطي هنا قيما لمجموعتين من الثوابت :-

a_v	a_s	a_c	a_a	δ
14	13	0.6	19	$34/A^{3/4}$
16	18	0.72	23.5	$11/A^{1/2}$