

المحاضرة 7 / مادة الفيزياء النووية

تكملة الفصل الثاني / نموذج قطرة السائل

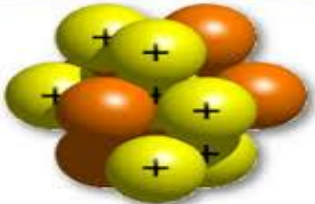
كلية التربية للعلوم الصرفة – ابن الهيثم

قسم الفيزياء / العام الدراسي 2024-2025

المرحلة الرابعة / شعبة ج صباحي

أ.م.د. عدي طارق صبحي

الفيزياء النووية



❖ النماذج النووية Nuclear Models :

كما هي الحالة بالنسبة للنماذج الذرية التي اقترحت لتصوير التركيب الذري ، فإنه وفي حالة النواة فإن هناك نظريات أو نماذج نووية تُقترح لوصف تركيب أو حركة النواة . وتبنى هذه النماذج على أسس معينة . وتستخدم النماذج النووية لوصف أو تفسير النتائج العملية المختلفة ويقاس مدى نجاح النموذج ورسوخه كنظرية بدرجة كبيرة بقدرته على تفسير النتائج العملية المعينة ، ولحد الان لا توجد نظرية أو نموذج نووي واحد شامل ومتكامل لوصف التركيب النووي أو 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 1937 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 :

مبررات واسباب تسمية واقتراح

نموذج قطرة السائل

1- مثلما تكبر حجما قطرة السائل بزيادة عدد جزيئات السائل ، نلاحظ ان النواة تكبر حجما كلما زاد عدد نيوكليوناتها ، اي كلما زاد العدد الكتلي A ، وهذا مستنتج تجريبيًا من المعادلة :

$$R=R_0A^{1/3} \rightarrow V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi R_0^3 A$$

2- تبخر السائل Evaporation، والذي يقابل ظاهرة النشاط الاشعاعي Radioactivity او الانبعاث النووي حيث ان هروب قسم من جزيئات السائل من القطرة يقابل انبعاث جسيمات α ، β من النواة.

3- انقسام قطرة السائل الكبيرة الى قطرتين صغيرتين يقابل ظاهرة الانشطار النووي (وهي ظاهرة انقسام نواة ثقيلة غير مستقرة الى نواتين متقاربتين بالكتلة ، هذه العملية تتم من خلال قصفها باحد الجسيمات مثل نيوترون او بروتون وغيرها) .

الفرضيات الأساسية لنموذج قطرة السائل

❖ الفرضيات الأساسية لنموذج قطرة السائل:

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

1. ان المادة النووية غير قابلة للانضغاط ، كما تدل على ذلك المعادلة التجريبية $R=R_0A^{1/3}$ حيث يزداد حجم النواة بزيادة عددها الكتلي بعبارة أخرى ان كثافة المادة النووية لا تعتمد على حجم النواة ، كما هو الحال بالنسبة لقطرة السائل التي لا تعتمد كثافتها على حجمها :

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

3. القوى النووية ذات مدى قصير جدا وهي ثابتة ضمن مدى تأثيرها أي انها مشبعة (قابلة للاشباع) .

* ان **منجزات** هذا النموذج هو اشتقاق معادلة تجريبية لطاقة الترابط النووية ، او **معادلة الكتلة**

شبه التجريبية او **معادلة وايزكر** وعُبر عنها بدلالة مجموع عدد من الحدود او التأثيرات التي

نُفصلها كما يلي :

$$B(A,Z)=$$

$$T_V + T_s + T_c + T_a + T_p + T_{sh}$$

حد الحجم

حد السطح

الحد الكولومي

حد عدم
التناظر

حد الازدواج

حد القشرة

1. 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 $V = \frac{4}{3} \pi R_0^3 A$ ، تسبب زيادة طاقة الربط الكلية

طاقة الحجم T_v or E_v

للنواة اي ان :

$$T_v \propto A \rightarrow T_v = a_v A$$

وتجريبيا وجد ان $a_v = 14 \text{ MeV/nucleon}$ 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 .

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

من المعلوم ان قطرة السائل تُظهر 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 وتبعاً 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 :

$$T_s \propto 4\pi R^2 \propto 4\pi R_o^2 A^{2/3}$$

طاقة المساحة السطحية E_s or T_s

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

واشارة السالب تعني ان زيادة سطح النواة تسبب نقصان في طاقة ربطها .

وعمليا وجد ان $a_s = 13 \text{ MeV}$ فعليه :

$$T_s = -13 A^{2/3} \text{ فان}$$

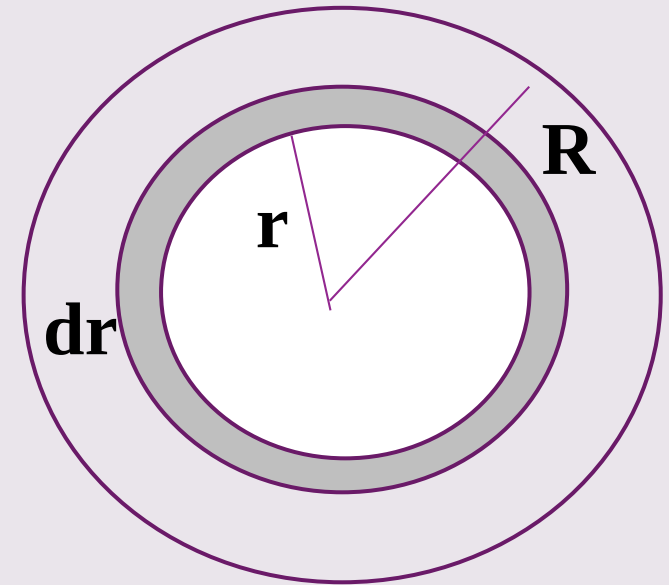
3- الحد الكولومي (Coulomb term (T_c) تأثير التنافر الكولومي :

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 .

و لاشتقاق 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 :

$$T_c = \int_0^R \frac{kq_r dq}{r} = \int_0^R \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 \rho \cdot 4\pi r^2 dr \rho \cdot \frac{1}{r}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{16\pi^2}{3} \rho^2 \int_0^R \frac{r^5}{r} dr$$

$$= \frac{4\pi \rho^2}{3\epsilon_0} \left[\frac{r^5}{5} \right]_0^R = \frac{4\pi \rho^2}{15\epsilon_0} R^5$$

$$\text{but } \rho = \frac{Q}{V} = \frac{Ze}{\frac{4}{3}\pi R^3} \Rightarrow \rho^2 = \frac{9 \times Z^2 e^2}{16\pi^2 R^6}$$

$$\therefore T_c = \frac{4\pi \times 9 \times Z^2 e^2 R^5}{15\epsilon_0 \times 16\pi^2 R^6} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{3}{5} \frac{Z^2 e^2}{R}$$

$$\int x^n dx = \frac{1}{n+1} x^{n+1} + C, n \neq -1$$

وهي تمثل الطاقة الكهربائية عن توزيع البروتونات داخل النواة

E_c or T_c
طاقة تنافر
كولوم

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 $\frac{3Ke^2Z}{5R}$ (الطاقة الكلية عن كل بروتون بمفرده) من المعادلة الاخيرة :

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

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

$$\text{But } R=R_0A^{1/3} \rightarrow T_c = -a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}$$

$$a_c = \frac{3ke^2}{5R_0}$$

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

4- حد عدم التناظر (T_a) Asymmetry term (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 $^{40}_{20}Ca$) ، وبعد 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 :

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

5- حد الازدواج (Pairing term (T_p) (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 للآخر . 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 $-\delta$

6- 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 (Z or / 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 الطاقة الترابط النووية ويرمز له بالرمز (η) ، وقد وجد عمليات ان $T_{sh}=1 \rightarrow 3\text{MeV}$.

Ex./

$T_{sh} = 3 \text{ MeV}$ for $Z=N = \text{magic no.}$ for example: 4_2He , ${}^{16}_8O$

$T_{sh} = 2 \text{ MeV}$ for $Z \text{ or } N = \text{magic no.}$ for example: ${}^{15}_8O_7$, ${}^{15}_7N_8$

$T_{sh} = 1 \text{ MeV}$ for $Z \text{ and } N = \text{no magic no.}$ for example: ${}^{19}_9F_{10}$

ووفق كل مما تقدم فإن طاقة الربط النووية وفقا لنموذج قطرة السائل ستتمثل بالمعادلة

الآتية :

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

$$B(A,Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_a \frac{(N-Z)^2}{A} + \delta + \eta(1 \text{ to } 3)MeV$$

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

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

وبأختصار فأن نموذج قطرة السائل استطاع ان يفسر بعض التفاعلات النووية في حدود طاقات لا تتجاوز 100 MeV لكنه فشل في تفسير التفاعلات التي تتجاوز هذه القيمة كما انه لم يستطيع تفسير بعض الخواص النووية كالزخم الزاوي والعزوم المغناطيسية .

الى هنا ننتهي من محاضرة هذا

اليوم وان شاء الله التقيكم

بالمحاضرة القادمة