جامعة الموصل/كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

Nuclear Physics

الفيزياء النووية

المرحلة الرابعة

مدرس المادة

ا.م.د. ربيع بهنام خضر

المحاضرة الاولى

مبادئ النماذج النووية

Basic of nuclear Models

1- نموذج قطرة السائل

اقترح نموذج قطرة السائل للنواة من قبل Bohr واشتقه Weizsacker في عام 1935. يعتبر واحدًا من أقدم النجاحات التي تم إنشاؤها لحساب طاقة الربط النووية. كشفت التجارب أن النوى كانت في الأساس أجسامًا كروية، بأحجام يمكن وصفها بأنصاف أقطار تتناسب مع $A^{1/3}$، مما يشير إلى أن الكثافة النووية كانت مستقلة تقريبًا عن عدد النيوكليونات. يؤدي هذا بشكل طبيعي إلى نموذج يتصور النواة كقطرة سائل غير قابلة للانضغاط، حيث تلعب النيوكليونات دورًا مشابهًا للجزيئات الموجودة في قطرة السائل. في نموذج قطرة السائل، يتم تجاهل الخصائص الكمومية (quantum) الفردية للنيوكليونات تمامًا. يتم تصور النواة على أنها مكونة من نواة مركزية مستقرة من النيوكليونات التي تكون القوة النووية مشبعة تمامًا (تعتمد على المدى القصير للقوى النووية

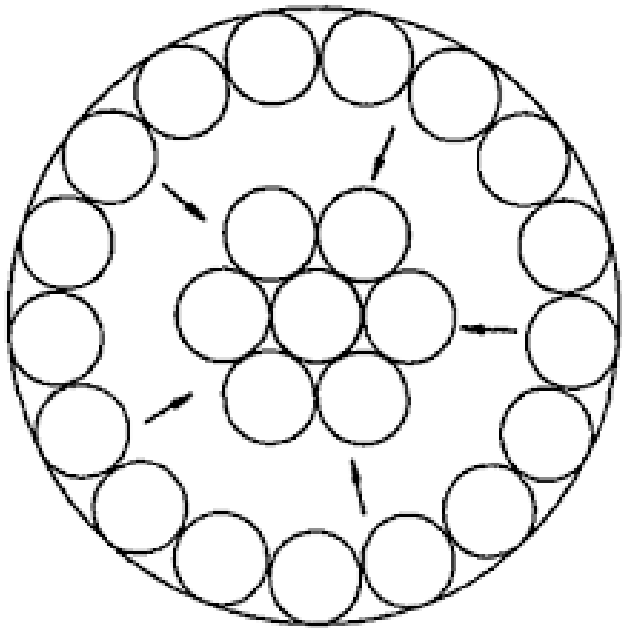
وطبقة سطحية من النيوكليونات التي تكون غير مقيدة بإحكام (القوى الغير المشبعة). يؤدي هذا الارتباط الأضعف على السطح إلى تقليل طاقة الربط النووية لكل نيوكليون (B/A)، ويوفر "توترًا سطحيًا"، أو انجذابًا للنيوكليونات السطحية نحو المركز. تتفاعل النيوكليونات بقوة مع أقرب جيرانها، تمامًا كما تفعل الجزيئات في قطرة الماء. ولذلك، يمكن وصف خصائصها من خلال الكميات مثل نصف القطر، والكثافة، والشد السطحي، والطاقة الحجمية، (انظر الشكل 5-1).

الافتراضات الأساسية للنموذج هي:

1- تتكون النواة من مادة غير قابلة للانضغاط بحيث نصف قطرها R يتناسب مع $A^{1/3}$. $(R \sim A^{\frac{1}{3}})$

2- القوة النووية متماثلة لكل نيوكليون ولا تعتمد على وجه الخصوص على ما إذا كان نيوترونًا أم بروتونًا.

3- القوة النووية مشبعة وذات مدى قصير جدا



الطبقة السطحية وقلب النواة في نموذج قطرة السائل.

المحاضرة الثانية

المعادلة شبه التجريبية للكتلة

Semi-Empirical Mass Formula

تعتمد هذه المعادلة على تشبيه النواة كقطرة السائلة ولكنها تتضمن أيضًا مكونين كميين؛ إحداها هي طاقة غير متماثلة (asymmetry energy) تميل إلى تفضيل أعداد متساوية من البروتونات والنيوترونات. والآخرى هي طاقة الازدواج (pairing energy) التي تفضل ازدواج فرميونات متطابقتين (n-n, p-p). المعادلة شبه التجريبية للكتلة (SEMF) أو المعادلة Bethe-Weizsacker هي:

$$B(A,Z) = a_v A - a_s A^{\frac{2}{3}} - \frac{a_c Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_a \frac{(A-2Z)^2}{A} + \delta a_p A^{-3/4} + \eta \quad (1)$$

Or

$$B(A,Z) = T_v + T_s + T_c + T_a + T_p + T_{sh} \quad (2)$$

Where a_i are given by

Volume term	$a_v = 15.5$ MeV	حد الحجمي (T_v)
Surface term	$a_s = 16.8$ MeV	حد السطحي (T_s)
Coulomb term	$a_c = 0.72$ MeV	حد الكولومي (T_c)
Asymmetry term	$a_a = 23$ MeV	حد عدم التناظر (T_a)
Paring term	$a_p = 34$ MeV	حد الازدواج (T_p)
Shell term	$T_{sh}(\eta) = 1 - 3$ MeV	حد القشرة (T_{sh})

1- الحد الكولومي **Coulomb term**

يتم طرح هذا الحد من حد الحجم نظرًا لأن التنافر الكولومي يجعل النواة التي تحتوي على العديد من البروتونات أقل ملاءمة (أكثر نشاطًا). وللتقدير المعامل a_c، تم تصوير النواة على شكل كرة مشحونة بشكل منتظم.

حجم النواة $V=(3/4)\ \pi R^3$ والكثافة النووية تساوي $\rho = \frac{Q}{V} = \frac{3Ze}{4\pi R^3}$

نفترض أن لدينا كرة نصف قطره r وعند جمع نيكليونات للحصول على النواة ذات الحجم

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$q = V\rho = \frac{Zer^3}{R^3}$$

الطاقة الكامنة (V_p) لتوزيع الشحنة على سطح النواة تعطى

$$V_p = \frac{Kq}{R^3} = \frac{KZer^2}{R^3}$$

نضيف عينة صغيرة من الشحنة dq إلى الكرة للحصول على غلاف بسماكة dr

$$dq = \rho dV = \frac{3Ze}{4\pi R^3} 4\pi r^2 dr = \frac{3Zer^2}{R^3} dr$$

2- الحد عدم التناظر (Asymmetric)

يبدو أن الحد الكولومي يشير إلى أنه سيكون من الأفضل أن يكون هناك عدد أقل من البروتونات في النواة وعدد أكبر من النيوترونات. ومع ذلك، فإن هذا ليس هو الحال بالنسبة لنموذج قطرة السائل من أجل تفسير حقيقة أن لدينا تقريبًا نفس العدد من النيوترونات والبروتونات في النوى المستقرة. هناك مصطلح تصحيحي في SEMF يحاول أن يأخذ في الاعتبار التماثل في البروتونات والنيوترونات، أي المساواة بينهما. لا يمكن تفسير هذا التصحيح (والتصحيح الازدواج) إلا من خلال نموذج أكثر تعقيدًا للنواة، وهو نموذج القشرة، بالإضافة إلى مبدأ الاستبعاد الكمي الميكانيكي. إذا أردنا إضافة المزيد من النيوترونات يؤدي ذلك الى زيادة الطاقة الإجمالية للنواة. وهذا يزيد أكثر من تنافر كولوم، لذا فمن الأفضل أن يكون لديك عدد متساوٍ تقريبًا من البروتونات والنيوترونات. يمكن فهمه بسهولة أكبر من خلال النظر في حقيقة أن هذا الحد يذهب إلى الصفر بالنسبة لـ A = 2Z ويكون تأثيره أصغر بالنسبة إلى A الأكبر (بينما بالنسبة للنوى الأصغر يكون تأثير التناظر أكثر أهمية). أي أن الأيزوبارات الخاصة بـ Z=N=A/2 (التماثل) كانت أكثر ثباتًا من الأيزوبارات Z≠N (عدم التماثل) مما يقلل من طاقة الربط النووية. يتم تعريف عدم التماثل على أنه الفرق بين طاقة الربط لاثنين من الأيزوبار، أحدهما له Z=N والآخر Z≠N.

المحاضرة الثالثة

معادلة القطع المكافئة للكتلة
(Mass parabolas)

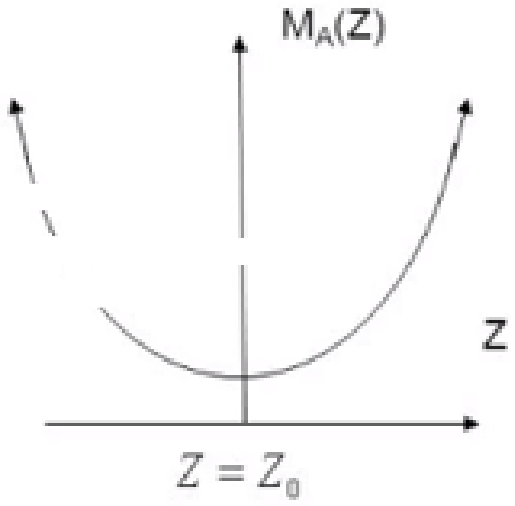
معادلة القطع المكافئة للكتلة (Mass parabolas)

من الواضح انه لقيمة معينة لـ A فان كل من المعادلتين 1 ، 3 سيصبح بشكل قطع مكافئ

$$M(A,Z) = M(Z) = \alpha A + \beta Z + \gamma Z^2 \qquad (4)$$

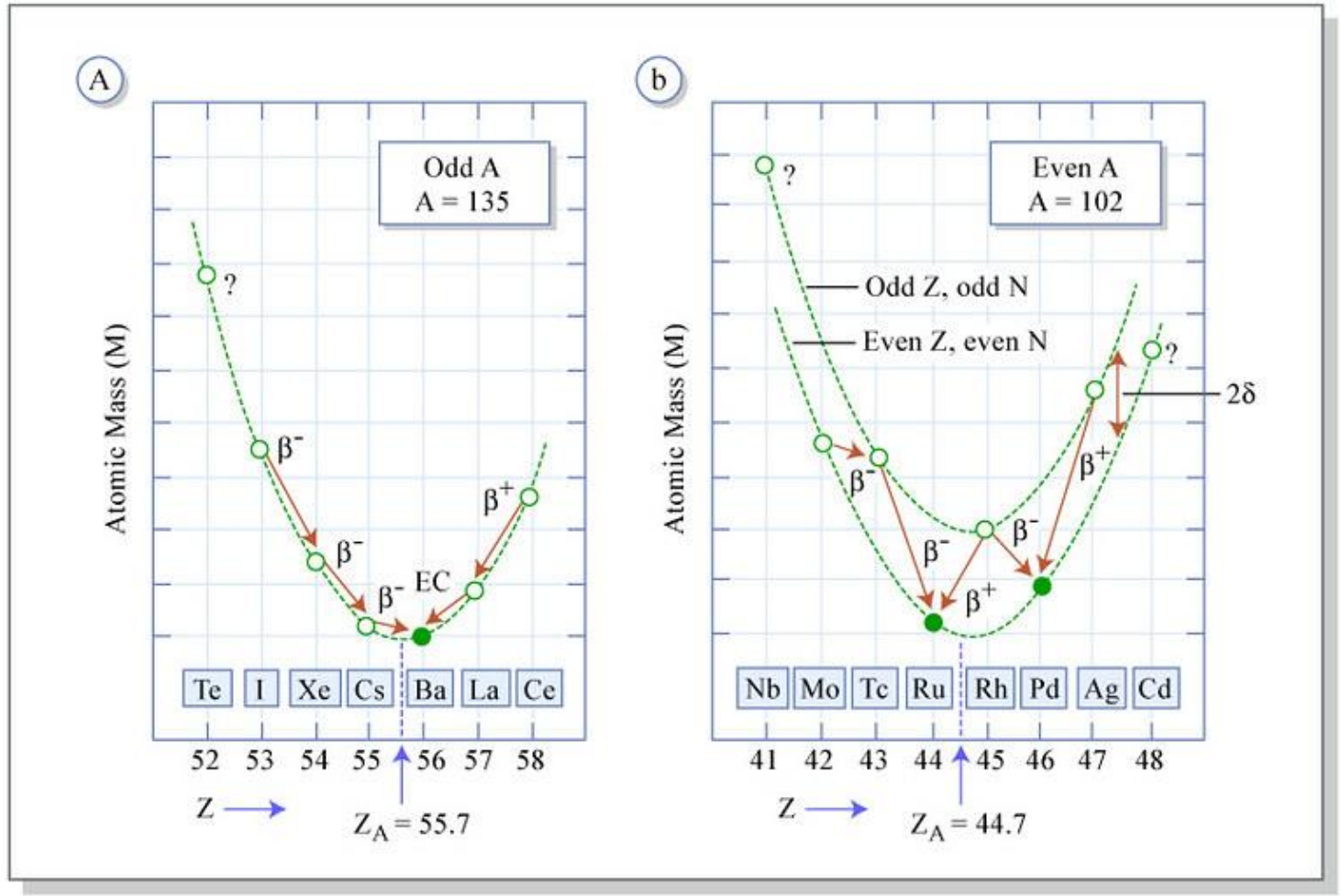
حيث α,β,γ ثوابت تعتمد قيمها على A. بعبارة اخرى ، عند رسم كتل او طاقات ربط الايزوبارات التي اعدادها الكتلية A، كدالة لـ Z سنحصل على منحني بشكل قطع مكافئ . وستكون هناك حالتين:

فرديا ، سيكون هناك قطع مكافئ واحد ، وستكون للمنحني نهاية $A1$- عندما يكون Z صغرى عند قيمة صحيحة لـ . ، والتي تمثل العدد الذري للايزوبار المستقر والاكثر ارتباطا والاقل كتلة . بينما الايزوبارات الاخرى تتحلل عن طريق انحلال β^+ او β^-, لتنتهي لتصل الى الايزوبار المستقر EC الاسر الكتروني



عندما يكون Aفرديا ، سيكون هناك قطع مكافئ واحد ، وستكون للمنحني نهاية صغرى عند قيمة صحيحة ل Z.، والتي تمثل العدد الذري للايزوبار المستقر والاكثر ارتباطا والاقل كتلة . بينما الايزوبارات الاخرى تتحلل عن طريق انحلال β^+, β^- او الاسر الكتروني ECلتنتهي لتصل الى الايزوبار المستقر.

عندما يكون A للايزوبارات زوجيا ، سيكون هناك ايزوبارات فردية – فردية وايزوبارات زوجية – زوجية وبالطبع فان تأثير الازدواج سيجعل الايزوبارات الزوجية – الزوجية اكثر استقرارا بزيادة طاقة ربطها بمقدار $+\frac{34}{A^{3/4}}$، بينما تكون الايزوبارات الفردية – الفردية اقل استقرارا. حيث طاقات ربطها تقل بمقدار $-\frac{34}{A^{3/4}}$، وعلى هذا الاساس فهناك معادلتين قطع مكافئ : الاول للايزوبارات الزوجية – الزوجية والثاني للايزوبارات الفردية – الفردية


A
Odd A
A = 135
?
β⁻
β⁻
β⁻ EC
β⁺
Atomic Mass (M)
Te I Xe Cs Ba La Ce
52 53 54 55 56 57 58
Z
$Z_A = 55.7$
b
Even A
A = 102
?
Odd Z, odd N
Even Z, even N
?
2δ
β⁻
β⁻
β⁻
β⁺
β⁺
Atomic Mass (M)
Nb Mo Tc Ru Rh Pd Ag Cd
41 42 43 44 45 46 47 48
Z
$Z_A = 44.7$

المحاضرة الرابعة

الانشطار النووي
(Nuclear fission)

١- دراسة تأثير النيترونات على العناصر المختلفة بعد اكتشاف النيوترون من قبل جادريك
١٩٣٢م

٢- فيرمي وساعدوه قاموا بتشعيع عدد من العناصر بالنيترونات بهدف دراسة نشاطها الاشعاعي

٣- لم يستطيع الحصول على العناصر الخفيفة مثل Be و B وكذلك باستخدام عناصر اقل من الفلورين (F) استطاعوا الحصول اخيراً على نشاط اشعاعي واستخدامات في التحليل بالتنشيط النيوتروني (NAA)

٤- وضع مادة مهدئة مثل البارفين او H_2O امام مصدر النيوترونات تزيد من النشاط الاشعاعي

٥- تشعيع السيوانيوم بالنيترونات يؤدي الى انتاج عناصر ثقيلة مثل عنصر الباريوم $^{137}_{56}Ba$ والكربتون $^{99}_{36}Kr$

٦- اكتشف فيرمي ان العديد من النوى بعد اسرها للنيترونات تتحلل Neutron Ophre بانبعاث بتا السالبة β^- ($n^0 \rightarrow p^+ + \beta^- + \bar{\nu}$) او تتحلل بانبعاث
اشعة γ (الاسر الاشعاعي)

لماذا عميت الانشطار النووي

٦- اكتشف فيرمي ان العديد من النويدات بعد ابتصاصها للنيوترونات تتحلل Neutron capture
باشعاعات بيتا السالبة β^- ($n^0 \rightarrow p^+ + \beta^- + \bar{\nu}$) او تتحلل باشعاعات
اشعة γ (الاسر الالكتروني)

لماذا حدث الانشطار النووي

بعد اسر نيوترون بطيء نواة U^{235} تتهيج U^{236*} مثل $U^{235} + n \rightarrow U^{236*}$
طاقة ربط اليورانيوم 7.6MeV مثلاً مقدار طاقة ربط النوى في منطقة الاستقرار
اليورانيوم 8.5MeV لذلك سوف تتحرر طاقة مقدارها

$= (8.5 - 7.6)(235)$

$U^{235} \Rightarrow 212$ MeV
$U^{226} \Rightarrow 214$ MeV
$Pu^{239} \Rightarrow 215$ MeV

} مجموع الطاقة المتحررة من الانشطار يساوي 200MeV

$$U^{235}_{92} + {}^{1}_{0}n \rightarrow U^{236*} \rightarrow F_1 + F_2 + Nn + Q(Energy)$$

نظرية الانطلار الثنوري

١- استخدم Bohn-Wheeler معادلة رشية التجريبية لإيجاد طاقة الربط والكلة لانشطار الثنوي

٢- فكرة الانطلار تبنى على اساس التوازن بين قوة الشد السطحي (الطاقة السطحية) وقوة كولوم التنافرية (طاقة كولوم)

٣- طاقة الإثارة (excitation energy) تحدث لنقطة السائل عند اجس نيوترون سا يؤدي الى تشويه النواة عن شكلها الكروي الى ان تصبح شكل بيضاوي (ellipsoid)

٤- قوة الشد السطحي تحاول ارجاع النواة الى شكلها الكروي وكلة طاقة الإثارة تحاول تشويه النواة اكثر

٥- اذا كانت طاقة الإثارة كبيرة تاخذ النواة تاخذ شكل كريتين متلاصقين مع بعضها (dumbell) وقوة التنافر تحاول ابعادهما عن بعضها

٦- عملية الانطلار تعتمد على الفرق في طاقة ربط (ΔE) النواة بشكليها الكروي والبيضاوي كتلة

$$\Delta E = B_{ellips} - B_{sphere}$$

الكرة والبيضوي للنقط

$\Delta E = B_{ellips} - B_{Sphere}$

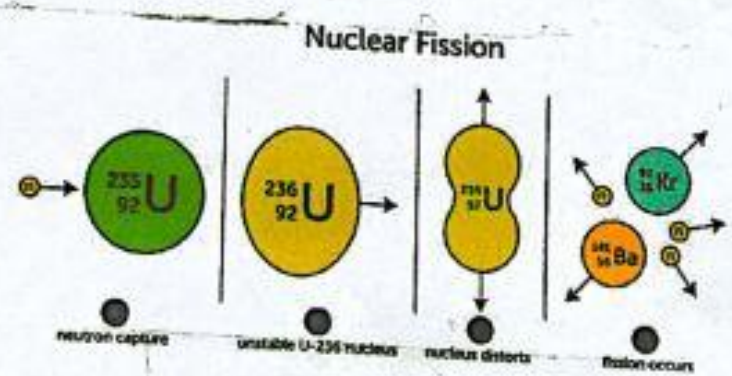
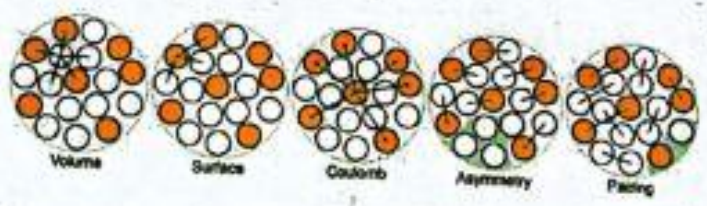


Fig-1



The Semi Empirical Mass Formula

$$B(A,Z) = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_A \frac{(A-2Z)^2}{A} + a_P \frac{\delta}{A^{1/2}},$$

المحاضرة الخامسة

- نموذج القشرة النووية
- (Nuclear Shell Model)

يعتمد نموذج القشرة النووية على النموذج المماثل للبنية المدارية للإلكترونات الذرية في الذرات. على الرغم من أن نموذج قطرة السائل للنواة أثبت نجاحه الكبير في التنبؤ بالتغيرات الدقيقة في كتلة النويدات ذات الكتلة والأعداد الذرية المختلفة قليلاً، إلا أنه يتجنب أي ذكر للترتيب الداخلي للنيوكليونات في النواة. وقد لاحظنا أن:

1- وجود عدد كبير بشكل غير طبيعي من النويدات المستقرة التي بروتوناتها و/أو أرقام النيوترونات تساوي الأرقام السحرية 2,8,20,28,50,82,126.

2- يتم تقديم دليل إضافي على هذه الأرقام السحرية من خلال طاقة الارتباط العالية جدًا للنواة حيث يكون كل من Z و N سحريًا.

3- طاقات جسيمات ألفا وبيتا العالية أو المنخفضة بشكل غير طبيعي المنبعثة من النوى المشعة وفقًا لما إذا كانت نواة البنت أو نواة الأم تحتوي على عدد سحري من النيوترونات.

4- لوحظ أن النويدات ذات العدد السحري من النيوترونات لديها احتمالية منخفضة نسبياً لامتصاص نيوترون إضافي، أي أن لديها أقل مقاطع عرضية لامتصاص النيوترونات (مقاطع عرضية لالتقاط النيوترونات).

لشرح مثل هذه النظم النووية والبنية الداخلية للنواة، تم تطوير نموذج القشرة النووية للنواة. يستخدم هذا النموذج معادلة شرودنغر الموجية أو ميكانيكا الكم لوصف طاقة النيوكليونات في النواة بطريقة مشابهة لتلك المستخدمة لوصف حالات الطاقة المنفصلة للإلكترونات حول النواة.

يفترض هذا النموذج:

1. يتحرك كل نيوكليون بشكل مستقل في النواة دون أن يتأثر بحركة النيوكليونات الأخرى.

2. يتحرك كل نيوكليون في بئر جهد ثابت من مركز النواة إلى حافتها حيث يزداد بسرعة بعدة عشرات . عندما يتم حل معادلة الموجة الميكانيكية الكمومية للنموذج عدديًا، يتم العثور على MeVمن النيوكليونات
موزعة على عدد من مستويات الطاقة. هناك مجموعة من مستويات الطاقة للبروتونات ومجموعة مستقلة من مستويات الطاقة للنيوترونات. تتم الإشارة إلى الأغلفة المملوءة بفجوات كبيرة بين مستويات الطاقة المتجاورة ويتم حساب حدوثها عند القيم المرصودة تجريبيًا وهي 2، 8، 20، 28، 50، 82، و126 نيوترونًا أو بروتونًا. تشبه هذه الأغلفة المغلقة الأغلفة المغلقة للإلكترونات المدارية. ومع ذلك، كان نموذج القشرة مفيدًا للحصول على مثل هذه النتائج التي تتنبأ بالأرقام السحرية ومفيد بشكل خاص في التنبؤ بالعديد من خصائص النواة، بما في ذلك (1) الزخم الزاوي الإجمالي للنواة، (2) خصائص التحولات الأيزومرية، والتي هي تحكمها تغيرات كبيرة في الزخم الزاوي النووي، (3) خصائص اضمحلال بيتا واضمحلال كاما، و(4) العزوم المغناطيسية للنوى.