أسئلة حول النماذج النووية

(٢٠٥٩) ما هي الخصائص الأساسية لنموذج قطرة السائل ونموذج القشرة والنموذج التجميعي Collective model للنواة الذرية؟ حدد أي من خصائص النواة يمكنه توقعه جيدًا بواسطة كل نموذج وكيف يمكنه تفسيره كل نموذج.

الحل: هي المتفق عليها كحقيقة وضعية أن طاقة الترابط النووي لكل نيوكليون B في النواة وكذلك كثافة المادة النووية تكون في الغالب الأعم مستقلة عن عدد الكتلة A. إنه هذا مشابه لقطرة السائل حيث حرارة التبخير والكثافة تقريبًا مستقلة عن حجم القطرة.

إنه إضافة تصويبات لحدود تصويبية لقوة الترابط النووي الكلية والتي تتناسب مع عدد النيوكليونات ينتج الصيغة الوضعية لتوقع طاقة الترابط النووي. هذه التصويبات ناتجة عن ظواهر فيزيائية حقيقية مرتبطة بمكونات النواة، وتشمل طاقة السطح وطاقة تنافر البروتونات وطاقة التزاوج وطاقة التماثل.

نموذج قطرة السائل يعطي علاقة بين عدد الكتلة A والعدد الذري Z للأنوية المستقرة وهذا يعني أنه منحنى ثبات β، β-stability Curve، يتوافق مع النتائج التجريبية. بالإضافة لذلك فإنه نموذج قطرة السائل يشرح السبب في أن عناصر مثل ^{43}Tc، ^{61}Pm ليس لديها أيزوبارات مستقرة بالنسبة لجسيمات بيتا β.

إذا تم معالجة نصف قطر النواة كمتغير في معادلات صيغة الكتلة $a_{surface}$ و a_{volume} وحاول ضبط الكتلة مع النتائج التجريبية، سنجد أنه نصف قطر النواة يمكنه استعادة/الحصول عليه بدرجة توافق عالية مع القيم التي تم الحصول عليها بواسطة كل الطرق الأخرى. لذلك فإنه منحنى طاقة الترابط النووية يمكنه شرحه جيدًا بنموذج قطرة السائل.

* وجود الأعداد السحرية يشير إلى أن الأنوية الذرية ذات تركيب داخلي. وقد أدى ذلك إلى نموذج القشرة النووي مشابه للنموذج الذري والذي قد يشرح درجة الثبات (الاستقرار) الخاصة للأنوية ذات الأعداد السحرية. إنه نموذج القشرة يتطلب:

① وجود قيمة متوسطة للمجال النووي والذي يكونه من حالة الأنوية الكروية "مجالاً مركزيًا".

② أنه كل نيوكليون في النواة يتحرك باستقلالية.

③ عدد النيوكليونات على مستوى طاقة (مقترنة أي النيوكليونات ذات الطاقة المتقاربة) يكون محدودًا طبقًا لمبدأ باولي Pauli's principle.

④ التفاعل بين الحركة المدارية والمغزلية Spin-orbit Coupling يحدد ترتيب مستويات الطاقة.

يستخدم نموذج القشرة من توقع اللف والتماثل Spin and parity للحالة الأرضية.

* بالنسبة للأنوية مزدوجة - مزدوجة even-even ، القيمة المتوقعة للف والتماثل هي 0^+ من الحالة الأرضية وتم التأكد من ذلك عملياً من كل الحالات. أما التوقع فيعتمد على حقيقة أن اللف والتماثل عادة يساوي 0^+ عندما تكون البروتونات والنيوترونات مقصولين كأزواج (أحدهما Spin up والآخر Spin down ← $\frac{1}{2} - \frac{1}{2} = 0$)

* توقعات اللف والتماثل للحالة الأرضية للأنوية ذات العدد الفردي لعدد الكتلة A ، ظهرت متوافقة غالباً مع النتائج التجريبية.

* مفاهيم محدودة للأنوية مفردة - مفردة odd-odd ، يمكن أيضاً توقعها من المواضع أن وجود ارتباط بين الأعداد الكمية والمستويات المتماثلة.

ومع هذا فإن نموذج القشرة لا يستطيع حل كل أشكال النووية. المستويات المتماثلة تكون كروية ويمكن الوصول إليها بإضافة مزيد من النيوكليونات حتى يمتلئ المستوى. وهكذا نجد أن بعض المستويات كروية (مستويات مغلقة) مجموعة من الأنوية غير كروية ولهذا نجد أن الحركة التجميعية Collective motion لعدد من النيوكليونات تصبح ذات أهمية متزايدة. على سبيل المثال: القيم التجريبية للعزم الرباعي للأنظمة nuclear quadrupole moment تكون أكبر بعدة مرات عن القيم المحسوبة لجسيم مفرد يتحرك في مجال مركزي داخل نواة بعض القشرات المتماثلة. إن هذا أدى إلى النموذج التجميعي الذي يعتمد على الحركة الجماعية للنيوكليونات، ليعطي مستويات طاقة ذات طبيعة اهتزازية أو دورانية للأنوية في المدى $60 < A < 150$ ، $190 < A < 220$ و $A > 220$ على التوالي.

٣

(٦٨-٠) يتم ملئ الأوربيتالات طبقاً لنموذج القشرة النووي بالترتيب التالي:

$1s_{1/2}$, $1p_{3/2}$, $1p_{1/2}$, $1d_{5/2}$, $2s_{1/2}$, $1d_{3/2}$ ... etc

(أ) ما هو المقصود من التقسيم بين $p_{3/2}$ و $p_{1/2}$

(ب) من النموذج تمثل نواة الأكسجين (8+8) ^{16}O مثالاً جيداً لنواة مغلقة القشرة وتتميز بلف وتماثل Spin parity. ما هي القيمة المتوقعة لقيم لف-تماثل Spin-parity للنواة ^{15}O و ^{17}O.

(ج) بالنسبة للأنوية odd-odd يوجد العديد من القيم المسموحة لـ Spin-parity. حدد القيم المسموحة لنواة الفلور $^{18}_{9}F_{9}$.

(د) إستنتج الحقيقة أن كل الأنوية even-even مثل ^{18}O ، Spin-parity $\rightarrow J^{\pi}=0^{+}$

الحل (أ) سبب التقسيم بين $p_{3/2}$ و $p_{1/2}$ هو تفاعل الحركة المدارية والمغزلية للنيوكليونات Spin-orbit Coupling.

(ب) كل أوربيتال تكميلي أنه يتواجد مع $2j+1$ من البروتونات و $2j+1$ من النيوترونات ولذلك فإن توزيع بروتونات لنواة ^{15}O هو

$$1s_{1/2}^{2} \quad 1p_{3/2}^{4} \quad 1p_{1/2}^{2}$$

وتوزيع النيوترونات هو

$$1s_{1/2}^{2} \quad 1p_{3/2}^{4} \quad 1p_{1/2}^{1}$$

يتضح من التوزيع أنه كل البروتونات تشكل أزواج بينما النيوترونات يوجد إحداها بمفرده. لذا فإن Spin-parity لنواة الأكسجين ^{15}O، يتم تحديدها باستخدام العزم الزاوي angular momentum والتماثل parity للنيوترون المفرد في الحالة $1p_{1/2}^{1}$

$$1p_{1/2}^{1} \rightarrow j=\tfrac{1}{2} \quad , \quad p \rightarrow l=1 \quad \Rightarrow \quad \text{parity} = (-1)^{l} = -1$$

$\therefore$ Spin-parity of ^{15}O is $J^{\pi} = (\tfrac{1}{2})^{-}$

* توزيع البروتونات في ^{17}O هو

$$1s_{1/2}^{2} \quad 1p_{3/2}^{4} \quad 1p_{1/2}^{2}$$

" النيوترونات في ^{17}O هو

$$1s_{1/2}^{2} \quad 1p_{3/2}^{4} \quad 1p_{1/2}^{2} \quad 1d_{5/2}^{1}$$

وهكذا نجد أن Spin-parity لنواة ^{17}O هو ذاته للنيوترون من الحالة $1d_{5/2}^{1}$

$$J^{P} = (5/2)^{+} \qquad d \Rightarrow l=2 \qquad \text{parity} = (-1)^{2} = +1$$

(ه) توزيع البروتونات في نواة الفلور $^{18}_{9}F_9$ هو

$$1s_{1/2}^2 \quad 1p_{3/2}^4 \quad 1p_{1/2}^2 \quad 1d_{5/2}^1$$

بينما توزيع النيوترونات

$$1s_{1/2}^2 \quad 1p_{3/2}^4 \quad 1p_{1/2}^2 \quad 1d_{5/2}^1$$

وهكذا نجد زوج من النيوكليونات المفردية . بروتون ونيوترون ومن ثم يوجد مدى لـ J^P الممكنة نابعة من البروتون والنيوترون في الحالات $1d_{5/2}^1$

$$d \rightarrow \ell = 2 \quad \Rightarrow \quad \ell_n = 2 \;,\; \ell_p = 2$$

$$\therefore \text{parity} = P = (-1)^{\ell_p + \ell_n} = +1$$

$$\because J_n = 5/2 \;,\; J_p = 5/2$$

فإن القيم الممكنة للف spin تتراوح بين

$$J_n - J_p \rightarrow J_n + J_p$$
$$0 \rightarrow 1$$

$$\therefore J = 0, 1, 2, 3, 4, 5$$

$$\therefore \text{for } ^{18}F \text{, spin-parity } J^P = 0^+ \,,\, 1^+ \,,\, 2^+ \,,\, 3^+ \,,\, 4^+ \,,\, 5^+$$

(د) بالنسبة للأنوية مزدوجة عدد البروتونات والنيوترونات even-even فإنها تكون في أدنى مستويات الطاقة. عدد النيوكليونات من كل مستوى طاقة يكون مزدوج . طالما يوجد عدد مزدوج من النيوكليونات من نفس المستوى وكل منها له نفس القيمة المطلقة للعزم المغناطيسي . ومن ثم وحتى يظل النيوكليون في أقل طاقة فإن هذا الزوج لابد أن يصطف في اتجاهين متضادين وهكذا نجد أن العزم الزاوي الكلي للنيوكليونات في أي مستوى طاقة يساوي صفر . وحيث أن كل قشرات البروتونات وقشرات النيوترونات ذات neutron shells عزم زاوي يساوي صفر . من ناحية أخرى فإن spin حالة النواة even-even يساوي صفر وحيث أن عدد النيوكليونات في كل مستوى طاقة في النواة even-even يكون even ، فإن التماثل parity للنواة يكون موجباً .