



تحول شکل هسته در ایزوتوپ‌های Rb با افزایش نوترون

اکبری، میثم، کاردان، اعظم

دانشگاه دامغان، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته ای

چکیده

در این تحقیق ما با استفاده از مدل نیلسون استروتینسکی کرنک شده (CNS) به بررسی تحول شکل هسته و پدیده چند شکلی در ایزوتوپ‌های کم نوترون Rb می‌پردازیم. مشاهده می‌شود که شکل این هسته در ایزوتوپ ^{74}Rb پخت می‌باشد، به طوری که با افزایش نوترون شاهد پدیده چند شکلی در ایزوتوپ‌های ^{76}Rb ، ^{75}Rb هستیم. سپس با اضافه کردن تنها یک نوترون پدیده چند شکلی در ^{77}Rb از بین می‌رود و شکل هسته کشیده می‌شود.

کلمات کلیدی: تحول شکل هسته، مدل نیلسون استروتینسکی کرنک شده، پدیده چند شکلی

Nuclear shape evolution in Rb isotopes with increasing the neutron number

Akbari, Meysam, Kardan, Azam

School of Physics, Damghan University, Damghan, Iran

Abstract

In this study, we use the Cranked Nilsson Strutinsky model (CNS) to investigate the shape evolution and the shape-coexistence phenomenon in deficient-neutron Rb isotopes. It is observed that shape of this nucleus in ^{74}Rb isotope is oblate, so that a shape coexistence is observed with increasing the neutron numbers in ^{75}Rb . Then the shape coexistence phenomenon disappears only with increasing one neutron in ^{77}Rb and the shape becomes prolate.

Keywords: Nuclear shape evolution, Cranked Nilsson Strutinsky model, Shape coexistence phenomenon



مقدمه

توضیح تحول شکل هسته یکی از چالش‌های نظریه ساختار هسته می‌باشد. شکل هسته‌ها نتیجه‌ای از اثر متقابل بین ساختارهای ماکروسکوپیکی و میکروسکوپیکی هسته است [۱]. یک تغییر کوچک در تعداد نوکلئون‌ها می‌تواند منجر به تغییرات سریع در بزرگی و نوع شکل شود، هر چند معمولاً تغییرات شکل هسته با افزایش یا کاهش نوکلئون تدریجی می‌باشد [۲]. هسته‌ها در حالت پایه خود در پایین‌ترین انرژی قرار دارند. انتظار می‌رود که هسته‌ها در یک مینیمم انرژی قرار بگیرند، اما در بررسی‌ها با هسته‌هایی روبه‌رو می‌شویم که در حالت پایه دارای چند مینیمم انرژی هستند و متوجه این حقیقت می‌شویم که یک هسته در یک ویژه مقدار انرژی می‌تواند با چند شکل مختلف ظاهر شود، که این شکل‌های مختلف به دلیل نحوه مختلف چیدمان نوکلئون‌ها در هسته می‌باشد این ظاهر شدن چند شکل برای هسته می‌تواند برای هر هسته رخ دهد و فهمیدن این موضوع که آیا این پدیده رخ می‌دهد یا خیر یکی از موضوع‌های چالش برانگیز در نظریه ساختار هسته‌ها است. پدیده چند شکلی یکی از ویژگی‌های جالب توجه و ناشناخته هسته‌ها در ۵۰ سال اخیر بوده است [۳]. این پدیده هم برای هسته‌های زوج و هم برای هسته‌های فرد رخ می‌دهد. وضعیت چند شکلی در هسته یک ویژگی نادر است که البته هنوز در تمامی هسته‌ها دیده نشده است. این پدیده نتیجه دو گرایش مخالف هم در هسته می‌باشد: اول تمایل به حفظ شکل کروی هسته می‌باشد و دوم برهمکنش بین پروتون و نوترون که باعث می‌شود هسته از شکل کروی خود خارج شود. هرچه این برهمکنش بیشتر شود هسته از حالت کروی بیشتر خارج خواهد شد و به سمت شکل‌های کشیده و یا پخت کشیده خواهد رفت [۴]. پدیده چند شکلی علاوه بر حالت پایه در حالت‌های برانگیخته به ویژه در اسپین‌های بالا که نوارهای دورانی برانگیخته پدیدار می‌شوند رخ می‌دهد. به دلیل آن که هر نوار دورانی بر روی یک ساختار متفاوت ساخته می‌شوند. این نوارها منجر به شکل‌های مختلف می‌شوند که با تغییر اسپین و در نتیجه تغییر انرژی تغییر می‌کند.

محاسبات

برای درک بهتر تغییر و تحول شکل هسته و همچنین پدیده چند شکلی به شناخت ساختار هسته‌های کروی و هسته‌های غیرکروی نیاز داریم. برای شناخت ساختار هسته باید یک پتانسیل مناسب را انتخاب کرد و هامیلتونی را حل نمود. با استفاده از پتانسیل نوسانگر هماهنگ کروی همراه با اصلاحات، هامیلتونی هسته‌های کروی توجیه می‌شود. این پتانسیل برای هسته‌های کروی و نزدیک به آن بسیار مناسب است اما برای هسته‌های غیرکروی دیگر پاسخگو نیست. زیرا در



اینگونه هسته‌ها شعاع هسته نسبت به حالت کروی تغییر می‌کند در نتیجه پارامترهای تغییر شکلی ($\epsilon_{\lambda\mu}$) برای آن تعریف می‌شود [۵]:

$$(1) R = R_0(1 + \sum_{\lambda\mu} \epsilon_{\lambda\mu} Y_{\lambda\mu})$$

نیلسون با اصلاح پتانسیل هسته‌ای و وارد کردن پارامترهای تغییر شکل، هامیلتونی جدیدی ارائه داد [۶]:

$$(2) H = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + \frac{1}{2} m [\omega_{\perp}^2 (x^2 + y^2) + \omega_z^2 z^2] - 2 \kappa \hbar \omega (l \cdot s) - \kappa \hbar \omega \mu (l^2 - \langle l^2 \rangle_N)$$

$$\omega_x = \omega_y = \omega_{\perp} \neq \omega_z$$

$$\omega_{\perp} = \omega_0(\epsilon) [1 + \frac{1}{3} \epsilon]$$

$$(3) \omega_z = \omega_0(\epsilon) [1 - \frac{2}{3} \epsilon]$$

در روابط ۲ و ۳، عبارت ϵ پارامتر تغییر شکل، ω_0 فرکانس دوران، κ و μ پارامترهای تغییر شکل تجربی هستند که از تجربه به دست می‌آیند و برای پروتون و نوترون تفاوت می‌کنند [۶]. تا اینجا رفتار ذره بصورت تک ذره و میکروسکوپیکی توضیح داده شد، با توجه به میکروسکوپیکی بودن مدل پوسته‌ای و مدل نیلسون، حالت 2^+ در هسته‌های زوج-زوج قابل توجه نبود. بنابراین هسته را بصورت ماکروسکوپیکی و با حرکت جمعی و مدل قطره مایع بررسی می‌کنیم. بررسی هسته تنها به صورت ماکروسکوپیکی نیز نمی‌تواند ویژگی‌ها و ساختار هسته را به خوبی توضیح دهد. در نهایت به کمک مدل‌های میکروسکوپیکی و ماکروسکوپیکی می‌توان به بررسی ساختار هسته پرداخت و انرژی کلی هسته را در رابطه ۴ بدست آورد که با تجربه همخوانی داشته باشد و مجموع هر دو رفتار تک ذره و جمعی انرژی هسته را توجیه کرد. هامیلتونی رابطه ۲ برای هسته‌های تغییر شکل یافته ساکن است. بهترین مدل برای توصیف هسته‌های غیر ساکن مدل کرنکینگ می‌باشد که توسط انگلیس در سال ۱۹۵۴ ارائه شده است [۶]. هامیلتونی هسته غیر ساکن به صورت رابطه ۵ می‌باشد [۶]:

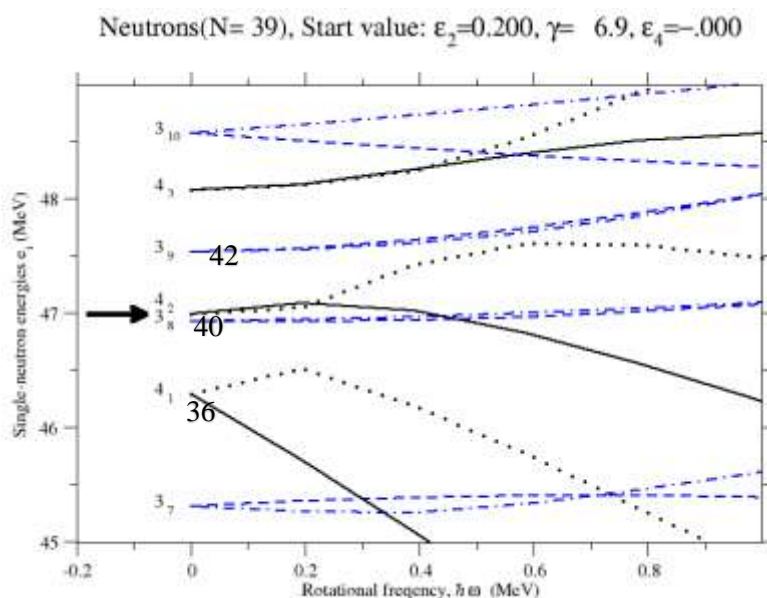
$$E_{\text{tot}} = E_{\text{LDM}} + E_{\text{shell}} \quad (4)$$

$$H = H_{\text{Nil}} - \omega j_x \quad (5)$$

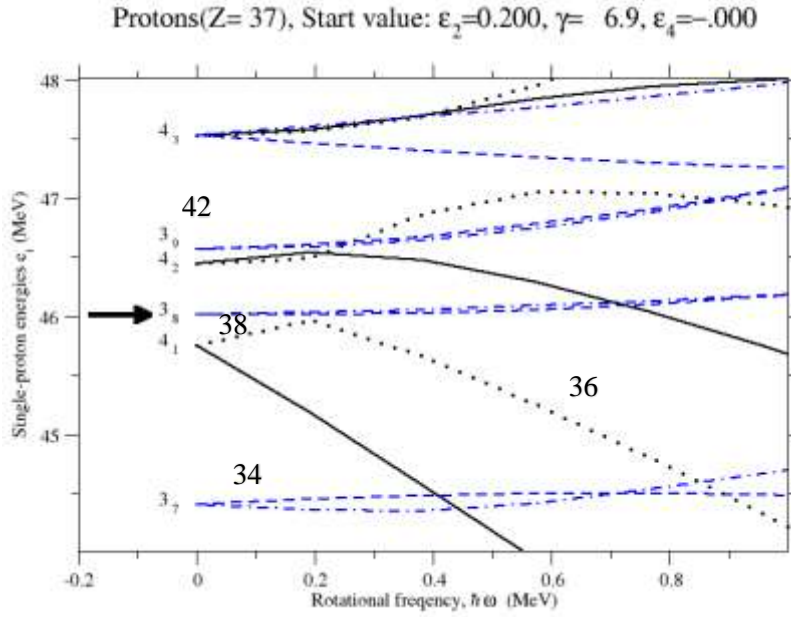
ما با استفاده از مدل نیلسون-استروتینسکی کرنک شده (CNS) [۷] که مجموعه‌ای از هامیلتونی کرنک شده و انرژی اصلاح شده است، نمودار انرژی‌های تک ذره هسته برحسب فرکانس دوران را با توجه به پارامترهای κ و $A=80 \mu$ که از تجربه به دست آمده و سطوح انرژی پتانسیل را برای هسته ^{76}Rb رسم می‌کنیم. در شکل ۱ نمودار انرژی تک ذره



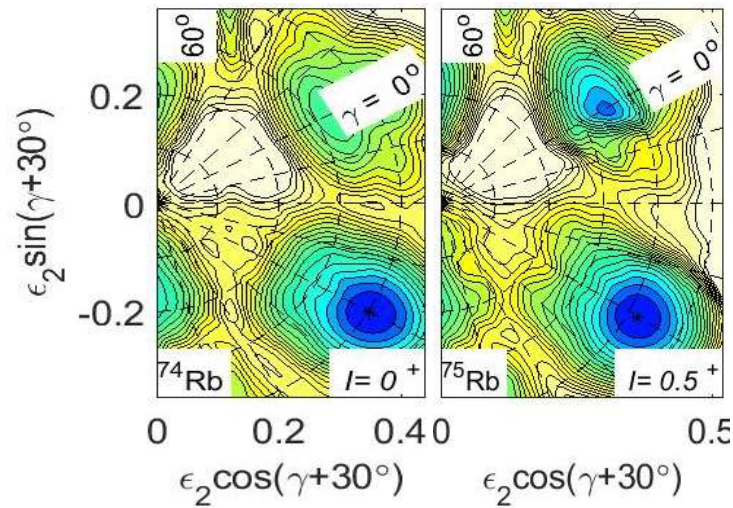
برحسب فرکانس دوران برای نوترون‌ها رسم شده است. علامت پیکان نشان‌دهنده سطح فرمی است. ترازهای قبل از سطح فرمی همگی پر هستند و ترازهای بعد از این سطح همگی خالی هستند. آخرین نوترون در سطح فرمی و در تراز نیلسونی ۴۲ قرار دارد. در مدل نیلسون ترازها دارای تبهگنی ۲ گانه می‌باشند و در هر تراز دو نوکلئون قرار دارد. در حالت پایه و قبل از افزایش فرکانس دوران در هر تراز ۲ نوکلئون قرار دارد و با افزایش فرکانس دوران ترازها شکافته شده و تبهگنی ۲ گانه نیز از بین می‌رود، چنان‌که با توجه به تقدم انرژی در هر تراز تنها یک نوکلئون جای می‌گیرد. در شکل ۲ نمودار انرژی تک ذره بر حسب فرکانس دوران پروتون‌ها رسم شده است. آخرین نوترون در تراز نیلسونی ۳۷ قرار دارد. نحوه چینش پروتون‌ها در ترازها مانند شکل ۱ می‌باشد. با استفاده از مدل CNS و به منظور بررسی تاثیر نوترون‌ها در ایجاد شکل هسته سطوح انرژی پتانسیل برای ایزوتوپ‌های ^{77}Rb , ^{76}Rb , ^{75}Rb , ^{74}Rb در شکل ۲ تنها برای حالت پایه رسم می‌کنیم. در شکل ۲ رنگ تیره نشان‌دهنده سطح انرژی پایین است و هرچه رنگ تیره‌تر باشد انرژی کمتر است. زاویه‌های $\gamma = 60^\circ - 60^\circ$ در شکل ۲ نشان‌دهنده شکل پخت، زاویه‌های $\gamma = 0^\circ - 120^\circ$ شکل کشیده هستند. در دیگر زوایا شکل هسته به صورت سه محوری خواهد بود. همانطور که شکل ۲ نشان می‌دهد کمینه انرژی هسته ^{74}Rb در $\gamma = -60^\circ$ است و در نتیجه شکل هسته ^{74}Rb در حالت پایه پخت می‌باشد.

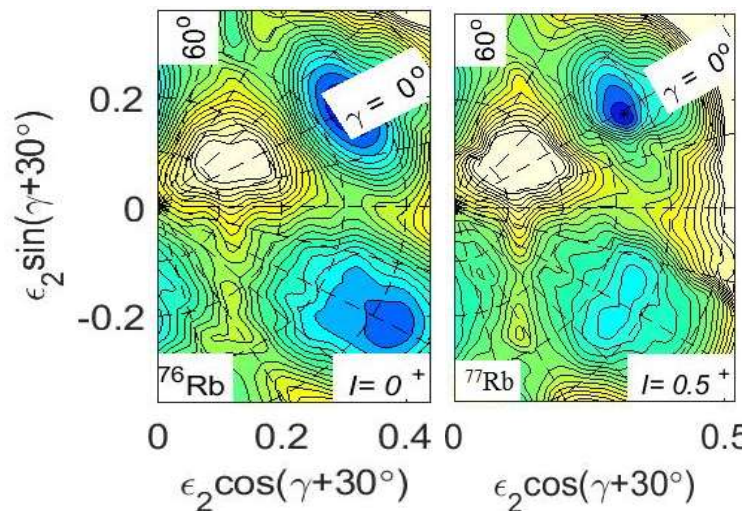


شکل ۱: نمودار انرژی تک-ذره بر حسب فرکانس دوران برای نوترون‌ها



شکل ۲: نمودار انرژی تک-ذره بر حسب فرکانس دوران برای پروتون‌ها





شکل ۲: سیر تحول تغییر شکل هسته Rb

نتیجه گیری

برای بررسی تحول شکل هسته Rb که ۳۷ پروتون دارد، بازه مورد بررسی ما $^{74-77}\text{Rb}$ است که در ایزوتوپ‌های ابتدایی و انتهای دیگر شاهد پدیده چند شکلی نخواهیم بود. آخرین پروتون این هسته در تراز کروی $2p_{3/2}$ و نزدیک گپ شکل پخت قرار دارد [۴]. اولین ایزوتوپ مورد بررسی هسته ^{74}Rb دارای ۳۷ نوترون است. آخرین نوترون این هسته در تراز کروی $2p_{3/2}$ و نزدیک گپ پخت قرار دارد [۴]. سطوح انرژی پتانسیل این هسته (شکل ۲) در حالت پایه نشان‌دهنده یک مینیمم در شکل پخت ($\gamma = -60$) هست. با افزایش نوترون به هسته Rb و داشتن ۳۸ نوترون تراز $2p_{3/2}$ پرمی‌شود. آخرین نوترون از گپ پخت فاصله می‌گیرد و یک مینیمم کشیده در سطوح انرژی پتانسیل آن ظاهر می‌شود که نشان دهنده وجود دو شکل به طور همزمان و در نتیجه ظهور پدیده چند شکلی هستیم. این پدیده در هسته ^{76}Rb جایی که به گپ کشیده $N=40$ نزدیک می‌شویم نمود بیشتری دارد و دو مینیمم کشیده و پخت به یک میزان و احتمال برابر قرار دارند. با افزودن یک نوترون به هسته ^{76}Rb و رسیدن آخرین نوترون به گپ $N=40$ دیگر شاهد پدیده چند شکلی نخواهیم بود. آخرین نوترون این هسته در تراز کروی $2p_{1/2}$ در گپ کشیده ۴۰ قرار می‌گیرد، و شکل هسته را به شکل کشیده تبدیل می‌کند. با بررسی ایزوتوپ‌های Rb متوجه می‌شویم که شکل هسته در ایزوتوپ ^{74}Rb پخت است. با افزایش نوترون به این هسته و نزدیک شدن به گپ میان پوسته‌ای و شکل کشیده مینیمم این شکل نیز در حالت پایه در ایزوتوپ‌های بالاتر مشاهده می‌شود. اوج پدیده چند شکلی زمانی این است که تعداد نوترون‌ها به ۳۹ می‌رسد. با افزایش تنها یک نوترون و



رسیدن به گپ $N=40$ مینیمم شکل پخت از بین می‌رود و شکل پایه هسته به کشیده تغییر می‌کند. با افزایش تدریجی نوترون به هسته شاهد تغییر شکل پایه هسته از پخت به شکل کشیده هستیم (شکل ۲).

مراجع

- [۱] S. Cruz. And et al, (2018). " Shape coexistence and mixing of low-lying $0+$ states in ^{96}Sr ". Physics Letters B.786, 94-99
- [۲] G.Georgiev, J.M Dugas (2009). "Nuclear structure studies of the neutron-rich Rubidium using Coulomb excitation" CERN-INTC
- [۳] R. Wadsworth, R. Ragnarsson, I. (2011). " Evidence for shape coexistence at medium spin in ^{76}Rb ." *Physics Letters B.*, vol701
- [۴] Wood, J. L. Heyde, K. (2011). " Shape coexistence in atomic nuclei." *Reviews of modern physics.*, vol 83
- [۵] Krane, Kenneth S. (1988). Introductory nuclear physics. New York: Wiley., Vol. 465.
- [۶] Ragnarsson, Ingemar. , Nilsson, Sven Gvsta. (2005). *Shapes and shells in nuclear structure.* Cambridge university press
- [۷] A.Kardan, I.Ragnarsson, H.M.Hakimabad and L.R.Motavalli, Phys. Rev. C. 86. (2012)