

مطالعه ساختار اسپین‌های بالای حاصل، (حالت‌های ایراست)، از واکنش شکافت القایی



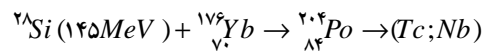
بهادر رضاآبادی، جواد^(۱) - شیبانی، جواد^(۱) - رحیمی، فرهاد*^(۲)

۱- دانشگاه پیام نور مشهد، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک

۲- دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک

چکیده:

ما با جستجو در آزمایش‌های گروه یوروگام ۲، در استراسبورگ فرانسه، توانستیم داده‌های مستخرج از شکافت القایی هسته مرکب ^{204}Po ، که از برخورد یونهای سنگین به هم، ایجاد می‌شود، را بررسی کنیم و واکنش باریکه‌های یونی ^{28}Si شتاب یافته با انرژی 145MeV توسط شتابدهنده ویویترون (Vivitron)، در بمباران هدف ^{176}Yb را مطالعه کنیم. این شتابدهنده در مرکز تحقیقات هسته‌ای (CRN) واقع در کرونینبورگ، در حومه شهر استراسبورگ می‌باشد.



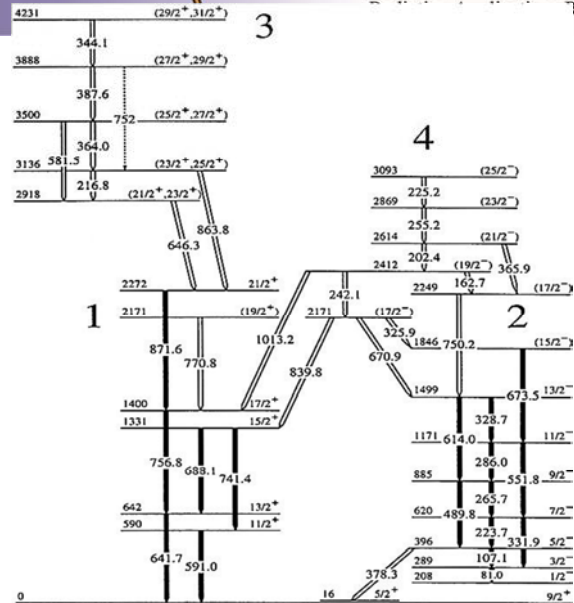
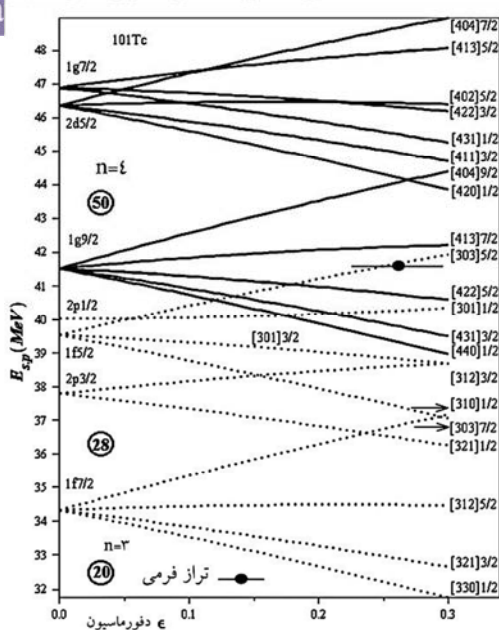
در این تحقیق ساختارهای اسپین‌بالای مشاهده شده (ساختار ایراست) در هسته ^{101}Tc مطالعه شده است.

کلمات کلیدی: شکافت القایی، ساختار ایراست (yrast)، روتیان ذرات، ممان اینرسی سینماتیک، همراستایی.

مقدمه:

^{101}Tc دارای ۴۳ پروتون است و لذا در بین هسته‌های با پوسته‌های نیمه پر، ($Z=40$)، و هسته‌های کروی ($Z=50$) قرار می‌گیرد. اهمیت مطالعه این هسته در تحریکات انفرادی ذرات و روی ساختار جمعی آنست. در واقع رفتار جمعی، با دور شدن از پوسته بسته $Z=50$ ، به تدریج مهم تر می‌شود. از مطالعه ^{101}Tc می‌توان چهار نوار در شمای ترازهای این هسته تشخیص داد که روی شکل (۱) نشان داده شده‌اند. ما سپس به توجیح این نوارها می‌پردازیم و ویژگیهای آنها را با ترازهای نیلسون که خود محاسبه و رسم کرده ایم مقایسه می‌کنیم.

نوار یک (۱): نوار یک که نوار ایراست نیز می‌باشد در کارهای ساوج و همکاران [۱] و دژبخش و همکاران [۲] مشاهده شده است. گروه یوروگام ۲ یک گذار اضافی 771KeV به صورت همزمانی با گذار 642KeV و 757KeV مشاهده کرده‌اند و در آن واهلش تراز 2171KeV را نیز مشاهده کرده‌اند. همچنین یک حالت فرض شده $19/2^+$ توسط دژبخش و همکاران با یک انرژی 2401KeV پیشنهاد شده است. اما هیچ گذار 1001KeV که بتواند تراز $17/2^+$ را مرتبط کند مشاهده نشده است.



شکل ۲: محاسبه و رسم ترازهای حالت های
انفرادی پروتون ها در نمودار نیلسون برای ^{101}Tc
(محاسبه نظری با استفاده از نرم افزار Maple).

شکل ۱: شمای ترازهای ^{101}Tc ، را داریم ترازهای
جدید مشاهده شده توسط یوروگام با خاکستری
نشان داده شده اند [۳].

مشاهده می شود که این ترازها از قانون $I(I+1)$ تبعیت نمی کنند، اما حالت های $11/2^-$ و $15/2^-$ دارای انرژی اندکی کمتر از تراز های، به ترتیب، $13/2^-$ و $17/2^-$ می باشند. این ساختار در صورتی رعایت می شود که به توان یک اسپین - پارته $19/2^+$ را برای حالت جدید به 2171KeV ، متعلق به نواری ۱، نسبت داد. به نظر انتساب $g_{9/2}$ برای حالت بنیادی، $(R=0)$ ، $I=j=9/2$ ، طبیعی تلقی می شود. مدارهای حاصل از اوربیتال مدل پوسته های کروی $g_{9/2}$ ، در مجاورت تراز فرمی برای $Z \sim 40$ یافت می شود که نقش مهم در این ناحیه دارد. مدار $5/2^+$ [۴۲۲] نزدیک به تراز فرمی از ^{101}Tc می تواند امکان را برساند (شکل ۲). هسته ^{101}Tc در یک ناحیه حد واسط بین جفت شدگی قوی و جفت شدگی ضعیف قرار دارد.

نوار ۲: ترازهای مختلف توسط محققین دیگر هم ارائه شده است، (دژبخش و همکاران) [۱] (ساوج و همکاران) [۲]، که در مورد ساختار نواری ۲ می باشد. نقطه ناسازگاری در مرتبه گذار های 552KeV و 329KeV ظاهر می شوند، که ناشی از وا انگیختگی تراز 1499KeV می باشند. همفرودی مشاهده شده بین گذار 266KeV (یا $7/2^- \rightarrow 9/2^-$) و گذار 329KeV (یا $11/2^- \rightarrow 13/2^-$)، مؤید ساختار پیشنهادی توسط دژبخش و همکاران است. یک گذار اضافی 672KeV ، نسبت به شمای اضافی پیشنهادی توسط ساوج و همکاران، مشاهده شده است. به علاوه یک تراز 750KeV در یوروگام ۲ نیز مشاهده شده است، که از حالت 1499KeV می آید. اگر ساختار جفت شدگی قوی اولین ترازهای نواری ۲ را با ویژگی $\Delta I=1$ برای گذارهای



ارتباط دهنده دو تراز پیاپی، و ویژگی $\Delta I=2$ را برای گذارهای موازی با دو گذار $\Delta I=1$ ، در نظر بگیریم، به یک اسپین $15/2$ برای حالت 1846KeV و $17/2$ برای حالت های با انرژی تحریکی 2171KeV و 2249KeV می رسمیم.

$$E_I = E_K + A [I(I+1) - K^2] + B [I(I+1) - K^2]^2 + C [I(I+1) - K^2]^3 + \dots$$

$$+ (-1)^{I+K} \frac{(I+K)!}{(I-K)!} [A_{TK} + B_{TK} [I(I+1) - K^2] + C_{TK} [I(I+1) - K^2]^2 + \dots] \quad (1)$$

با تنظیم انرژی های حالت ها توسط فرمول دورانی فوق، برای یک تصویر $K=1/2$ از اسپین، می توانیم نتایج زیر را به دست آوریم.

$$A = 29/8\text{KeV}, B = -0/054\text{KeV}, A_1 = -0/13\text{KeV}, E_K = 177/9\text{KeV}$$

این پارامترها حالت اسپینی $17/2$ را با یک انرژی تحریکی 2227KeV معین می کنند که باعث جابه جایی حالت انرژی 2249KeV در پیوستار نوار 2 می شود نه تراز 2171KeV آن. تراز (2171KeV) نیز به سمت حالت های پاریته مثبت از نوار برای گذار 840KeV وا انگیزته می شود، و بیانگر یک ساختار متفاوت از این حالت نسبت به حالت های نوار 2 می باشد که دارای آرایش $\pi p_{1/2}$ مخلوط با اوربیتال های دیگر با پاریته منفی اند.

نوار 3 و 4 : حالت های نوارهای 3 و 4 برای اولین بار توسط گروه یوروگام مشاهده شدند. نوار 3 به سمت ترازهای 2272KeV از نوار 1 وا انگیزته می شود، در حالی که حالت های نوار 4 به ترتیب به سمت نوار 1 و 2 وا انگیزته می گردند. یک شباهت قوی بین شمای ترازهای این هسته و هسته های ^{103}Ru [4] و ^{105}Ru وجود دارد [5]. برای این دو نوع هسته، توزیع های زاویه ای یا قطبش خطی گذارهای الکترومغناطیسی نشان داده شده اند که در آن، گذارهای با انرژی های کم، مشابه با گذارهای 3 و 4 از ^{101}Tc ، همان گذارهای با $\Delta I=1$ می باشند. از همین ویژگی برای گذارهای ارتباط دهنده های حالت های پیاپی نوار 3 و 4 از ^{101}Tc نیز استفاده شده است. اگر ویژگی نامنظم گذارها در نوارهای 3 و 4 ، با نوارهای یکسان از هسته های ^{103}Ru و ^{105}Ru مقایسه شوند، انرژی گذار به طور منظم افزایش می یابد. برخی گذارها که به فرض گذارهای $\Delta I=2$ (365KeV ، 752KeV و 581KeV) هستند و شدت بسیار ضعیف دارند، مشاهده شده اند. در مورد نوار 4 گذارهای متعددی این نوار را به نوار 1 و 2 مرتبط می کند که اسپین ها و پاریته های ترازهای انرژی 2249KeV و 2412KeV را کنترل می کند. گذار 750KeV ، که حالت با اسپین $13/2$ را ایجاد می کند، اسپین حالت انرژی 2249KeV را به $17/2$ محدود می کند، زیرا اگر گذار با سرشت $\Delta I=3$ باشد، مدت بقای حالت انرژی تحریکی 2249KeV نسبت به دریچه همفرودی به کار رفته در آزمایش ($\sim 150\text{ns}$)، بسیار طولانی است، و می توان همفرودی های بین گذارهای موجود در این حالت و وا انگیزتی این حالت را مشاهده کرد.

محاسبات مورد استفاده:

محاسبه بسامد چرخشی ω برای گذار بین حالت‌هایی با اسپین‌های $I+1$ و $I-1$ توسط فرمول زیر:

$$I_x(\omega) = \sqrt{I(I+1) - K^2} \approx \sqrt{\left(I + \frac{1}{2}\right)^2 - K^2} \quad (3) \quad \omega(I) = \frac{dE(I)}{dI_x(I)} \approx \frac{E(I+1) - E(I-1)}{I_x(I+1) - I_x(I-1)} \quad (2)$$

K و $I_x(\omega)$ به ترتیب تصاویر اسپین کل بر روی محورهای تقارن و چرخش هستند.

محاسبه روتیان ذرات:

$$e = E'(\omega) = \frac{E_{I+1} + E_{I-1}}{2} - \omega I_{x,I} \quad (4)$$

محاسبه روتیان شبه ذرات:

$$e' = E'(\omega) - E_{\text{ref}}(\omega) = \frac{E_{I+1} + E_{I-1}}{2} - \omega I_{x,I} - E_{\text{ref}}(\omega) + \Delta \quad (5)$$

$$I_{x,\text{ref}}(\omega) = \vartheta \omega = (\vartheta_0 + \vartheta_1 \omega^2) \omega \quad (7) \quad \vartheta = \vartheta_0 + \vartheta_1 \omega^2 \quad (6)$$

که در آن Δ اختلاف جرم هسته با جرم فرد و هسته‌های زوج - زوج مجاور می‌باشد.

محاسبه ممان اینرسی استاتیکی:

$$\vartheta_I^{(1)} = \left(\frac{2}{\hbar^2} \frac{dE(I)}{dI_x} \right)^{-1} = \frac{I_x}{\hbar \omega} \quad \text{محاسبه شده از} \quad \vartheta_I^{(1)} = \frac{I_{x,I}}{\hbar \omega_I} \quad (8)$$

$$\vartheta_I^{(1)} \approx 2\hbar^2 \frac{(I-1)}{E_\gamma} \quad (9) \quad \text{که به طور تجربی داریم:}$$

محاسبه همراستایی: میزان همراستایی (اسپین تولید شده با نوکلئون‌های جدا شده از هسته «شبه ذرات» در

راستای محور عمود بر محور تقارن) را تقریباً می‌توان از تفاضل تکانه زاویه‌ای کل و اسپین مربوط به

حرکت چرخشی هسته تغییر شکل یافته باقیمانده $I_{x,\text{ref}}(\omega)$ به دست آورد

$$i_x = I_x(\omega) - I_{x,\text{ref}}(\omega) = I_x(\omega) - (\vartheta_0 + \vartheta_1 \omega^2) \omega \quad (10)$$

$$E_{\text{ref}}(\omega) = -\int I_{x,\text{ref}}(\omega) d\omega = \frac{\hbar^2}{8\vartheta_0} - \frac{1}{2} \vartheta_0 \omega^2 - \frac{1}{4} \vartheta_1 \omega^4 \quad (11)$$

هسته مرجع هسته همسایه زوج - زوج نزدیک است که برای توصیف دوررانه‌های جمعی ناحیه انتخاب می

شود و رفتار آن توسط پارامترهای هاریس داده می‌شود [۷]:

نتایج:

ما تغییر تابع فرکانس دوران ممان اینرسی جنبشی $\vartheta^{(1)}$ نوارهای دورانی ^{101}Tc را با هسته‌های زوج - زوج

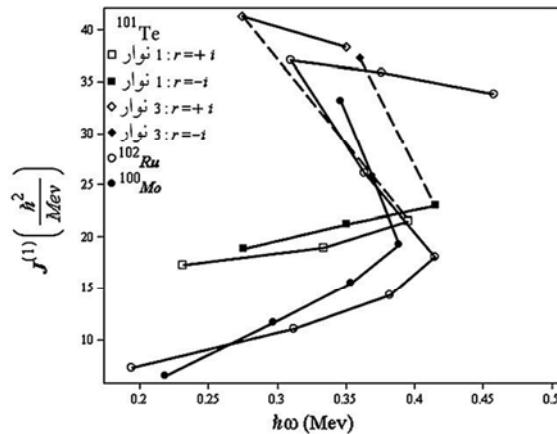
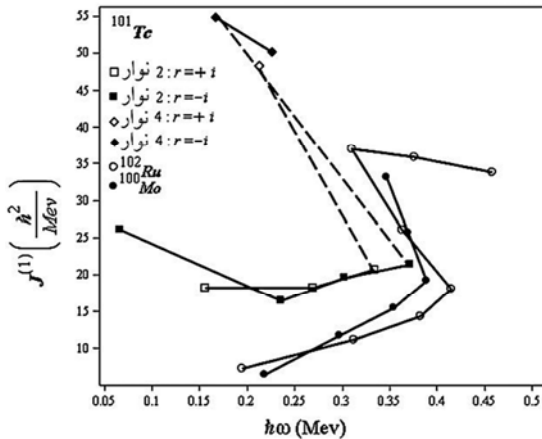
مجاور، محاسبه و مقایسه کرده ایم (شکل ۳). در ^{102}Ru ، مشاهده یک «پس خمش» به همراستا سازی یک

زوج $vh_{1/2}$ نسبت داده می‌شود [۶].

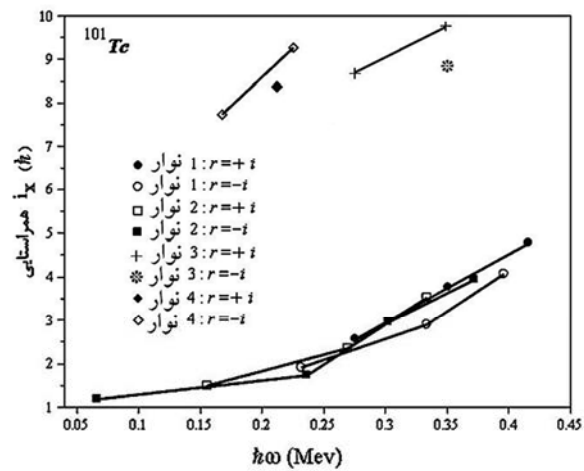
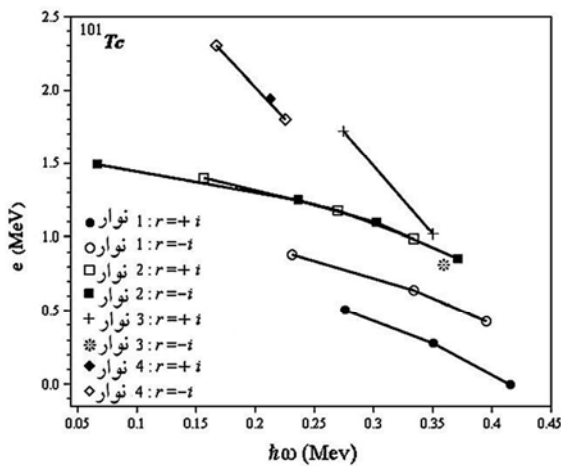


18th Iranian's Nuclear Conference

در شکل (۳) افزایش ممان اینرسی جنبشی بین نواری‌های ۱ و ۳ برای یک مقدار $\hbar\omega$ در حدود 0.35 MeV مشاهده می‌شود. به علاوه در هسته ^{100}Mo و ^{102}Ru پدیده پس خمش با یک انرژی تحریکی حدود 3 MeV رخ داده است، که مانند نوار ۱ از ^{101}Tc مشاهده شده است.



شکل ۳: محاسبه و رسم ممان اینرسی سینماتیک چهار نوار از ^{101}Tc و نوار پایه هسته‌های زوج - زوج مجاور ^{100}Mo و ^{102}Ru . یک افزایش ممان اینرسی بین نواری‌های ۱ و ۳ برای مقدار $0.35 \sim \hbar\omega$ قابل مشاهده است که بیانگر پدیده پس خمش در این حدود می‌باشد.



شکل ۵: محاسبه و رسم روتیانه‌های تجربی برای چهار نوار ^{101}Tc با مشخصه i (برای محاسبه از شمای ترازهای انرژی ^{101}Tc استفاده نموده ایم).

شکل ۴: محاسبه همراستایی تجربی که برای چهار نوار ^{101}Tc با مشخصه i ، رسم نموده ایم، یک دامنه همراستایی حدود $8\hbar$ در فرکانس تقریبی $0.4 \sim \hbar\omega$ قابل مشاهده است.

از مقایسه با رفتارهای نوارهای بنیادی هسته‌های زوج - زوج مجاور، یک آرایش $(\pi g_{9/2} \nu h_{11/2})^2$ پیشنهاد می‌شود و نوار ۳ از ^{111}Tc متناظر با همراستایی زوج نوترون‌ها خواهد بود. از همراستایی زوج پروتون‌ها در امتداد محور تقارن هسته می‌توان وجود یک مشخصه شکافت ضعیف را توضیح داد. در شکل‌های (۴) و (۵) روتیان‌های تجربی و همراستایی‌ها را برای چهار نوار مشاهده شده در ^{111}Tc محاسبه نموده ایم که در آنها از پارامترهای هاریس $\theta_0 = 8\hbar^2 \cdot \text{MeV}^{-1}$ و $\theta_1 = 20\hbar^4 \cdot \text{MeV}^{-3}$ استفاده شده است. برای این محاسبات گروه یوروگام مقادیر $K = 5/2$ را برای نوار ۱ و $K = 1/2$ را برای نوار ۲، سازگاری داده اند. برای نوارهای ۳ و ۴ فرض شده که اسپین نوکلئون‌های جفت نشده در امتداد محور دوران همراستا می‌شوند و باعث یک شرکت ضعیف قلب در تصویر اسپینی روی محور تقارن، می‌گردند. مقادیر $K = 7/2$ برای نوارهای ۳ و ۴ گرفته شده اند و تفاوت جرم بین هسته‌های زوج - زوج و هسته‌های به جرم فرد باعث فیکس شدن مقدار Δ به $1/3 \text{ MeV}$ شده است.

روی نمودار روتیان‌های تجربی، یک مشخصه ی شکاف مهم در نوار ۱ مشاهده می‌شود که مغایر سه نوار دیگر است. برای نوارهای ۳ و ۴، با وجود یک مشخصه شکاف، به اشکال می‌توان گذارهای E_2 را مشاهده کرد، که معرف احتمال ضعیف گذارهای E_2 نسبت به گذارهای M_1 می‌باشد.

بحث و نتیجه گیری:

ساختار هسته‌ای مشاهده شده در ^{111}Tc چهار نوار را نمایش می‌دهد. نوار ۱ با مشخصه شکاف مهم، به اشغال پروتون مجرد از مدار تکانه زاویه ای j بالا $\pi g_{9/2}$ ، نسبت داده می‌شود. از اشغال حالت $\pi p_{1/2}$ می‌توان یک نوار پاریده منفی در دوران را مشاهده کرد که قویاً جفت شده است. دو نوار دو قطبی با بیشترین انرژی تحریکی، یکی با پاریده مثبت و دیگری با پاریده منفی توسط گروه یوروگام تشخیص داده شده اند. این نوارها به ترتیب به همراستایی یک زوج از نوترون‌های $\nu h_{11/2}$ و جفت شدگی پروتون $\pi g_{9/2}$ ، به حالت‌های پاریده منفی ظاهر شونده در قلب ^{110}Mo از ^{111}Tc ، توجیه می‌شوند. محاسبات نظری با این توجیه سازگارند.

مراجع:

- [1] D.G. Savage et al., Physical Review C 55 (1997) 20
- [2] H. Dejbakhsh et al., Physical Review C 44 (1991) 9
- [3] F. Hoellinger et al., Eur. Phys. J. A 4, 39-32 (1999)
- [4] H. Dejbakhsh et al., Physical Review C 37 (1988) 62
- [5] F.R. Espinoza-Quinones et al., Physical Review C 55 (1997) 2787
- [6] D.R. Haenni et al., Physical Review C 33 (1986) 543
- [7] G.I. Harris, et al, Phys Rev., 139 (1965) p1113