



بررسی تغییرات ضرایب باری موثر چهار قطبی برای زنجیره های ایزوتوپی Cd و Xe

مختاری، فاطمه*^(۱) - صبری، هادی^(۲)

دانشگاه پیام نور مرکز تحصیلات تکمیلی، دانشکده علوم، گروه فیزیک، تهران

دانشگاه تبریز، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای، تبریز

چکیده:

وابستگی اساسی ضرایب باری موثر به ویژگی های ساختاری هسته های مختلف را می توان برای بررسی پدیده گذار فازی - شکلی هسته ای به کار برد. با استفاده از مدل برهمکنش بوزونی، احتمال های گذار چهار قطبی الکتریکی بین ترازهای مختلف هسته های دو زنجیره ایزوتوپی Cd و Xe را محاسبه و در مقایسه با مقادیر تجربی متناظر، ضرایب باری موثر چهار قطبی تعیین گردید. نتایج حاصل مدل تئوری برای احتمال گذارهای مختلف، انطباق قابل قبولی را با مقادیر تجربی نشان می دهد. همچنین تغییرات ضرایب باری موثر برای هسته های ناحیه گذار فازی شکلی هسته ای قابل توجه تر می باشد.

کلمات کلیدی: مدل برهمکنش بوزونی (IBM)، گذار فازی - شکلی هسته ای (QPT)، احتمال گذار چهار قطبی الکتریکی، ضرایب باری موثر.

مقدمه :

پدیده گذار فازی-شکلی هسته ای که گذار فاز حالت پایه یا دمای صفر هم نامیده می شود، یکی از موضوعات قابل توجه در مطالعات سالیان اخیر بوده است. روش های مختلف برای بررسی این پدیده و همچنین رابطه آن با سایر مشاهده پذیرهای حساس به ساختار هسته معرفی شده است [۱-۲]. استفاده از مدل های مختلف که بر پایه روش های جبری تعریف شده اند، متداول می باشد. این روش ها همراه با تقارن های ریاضی خاص، تغییر شکل های هسته ای یا همان گذار بین حدود تقارنی مختلف را با تغییر پارامترهای ساده توصیف می نماید. مدل برهمکنش بوزونی (IBM)، به عنوان یکی از پرکاربردترین مدل های جبری، توسط یاکلو و آریما در سال ۱۹۷۵ برای توصیف برانگیختگی های جمعی هسته های اتمی، ارائه شد. در این مدل نوکلئون ها در ایزوتوپ های زوج-زوج، به صورت یک هسته ای ساکن و تعداد زوجی از ذرات ظرفیتی در نظر گرفته می شود. ذرات بیرون لایه بسته، به صورت دو نوع بوزون، با تکانه های زاویه ای 0 و 2 ، به ترتیب s و d بوزون، فرض می شوند. عملگرهای خلق و فنای بوزونی تشکیل جبر $U(6)$ با سه زنجیره ی زیرگروهی، منطبق با تقارن های $U(5)$ ، $SU(3)$ و $SO(6)$ می دهند که جواب های هامیلتونین بوهر بوده و به ترتیب دارای شکل های کروی، تغییر شکل یافته ی محوری و گامای ناپایدار هستند [۳-۴].



گذارهای الکترومغناطیسی مراتب مختلف در هسته‌ها به دلیل اندرکنش‌های صورت گرفته بین میدان‌های الکترومغناطیسی هسته‌ای و گشتاورهای ذاتی نوکلئون‌ها قابل بررسی می‌باشد. احتمال این گذارها با دقت قابل قبولی توسط روش‌های تجربی تعیین شده و لذا محاسبه این احتمالات در قالب مدل‌های مختلف، امکان ارزیابی توانایی مدل‌ها و همچنین عملگرهای متناظر را فراهم می‌سازد. گذارهای چهار قطبی الکتریکی، $E2$ ، معمول‌ترین گذار مورد مطالعه در ساختار سیستم‌های هسته‌ای می‌باشد که این مسئله ناشی از اطلاعات تجربی قابل توجه در خصوص این گذار می‌باشد. احتمالات گذار و سایر کمیات متناسب با نرخ گذارهای مختلف همچون میزان تغییر شکل، نیمه عمرهای موثر و غیره، کمیات حساس به ساختار هسته‌ها بوده و لذا می‌توان در ناحیه گذار فازی - شکلی هسته‌ای مورد ارزیابی قرار گیرند [۵-۶].

در این مطالعه، احتمال گذار چهار قطبی الکتریکی برای دو زنجیره ایزوتوپی Xe و Cd که معرف هسته‌های ناحیه گذار فازی - شکلی هسته‌ای بین حدود $U(5)$ و $SO(6)$ می‌باشند، تعیین شده است. سپس تغییرات ضرایب باری موثر چهار قطبی برای این هسته‌ها بررسی شده و رابطه آن با پدیده گذار فازی-شکلی هسته‌ای ارزیابی شده است.

روش کار :

مدل برهمکنش بوزونی، پرکاربردترین مدل جبری برای بررسی ترازهای انرژی و همچنین نرخ گذارهای مراتب مختلف الکترومغناطیس سیستم‌های هسته‌ای در محدوده انرژی‌های پایین ($\leq 3 \text{ MeV}$) می‌باشد. در ساده‌ترین نوع این مدل، IBM-1، تفاوتی بین پروتون و نوترون قائل نشده و ذرات بیرون لایه بسته، به صورت دو نوع بوزون با تکانه‌های زاویه‌ای ۰ و ۲، به ترتیب s و d بوزون، فرض می‌شوند. فضای جبری این مدل با در نظر گرفتن زیر فضای دو عملگر بوزونی، $U(6)$ می‌باشد. برای توصیف شکل‌های مختلف هسته‌های شناخته شده، سه حد دینامیکی $U(5)$ ، $SU(3)$ و $SO(6)$ ، برای این مدل معرفی می‌شود. برای توصیف حالت‌های مختلف هر هسته بر اساس حد دینامیکی خاص، از مجموعه اعداد کوانتومی متناظر با گروه‌های تقارنی آن حد دینامیکی استفاده می‌شود.

مطالعات گسترده در سالیان اخیر نشان می‌دهد که قسمت عمده هسته‌های شناخته شده به طور کامل در یک حد دینامیکی فرار نگرفته و رفتار بینابینی از خود نشان می‌دهند. حد دینامیکی $E(5)$ برای توصیف گذار بین دو حد $U(5)$ و $SO(6)$ و همچنین حد دینامیکی $X(5)$ برای توصیف گذار بین دو حد $U(5)$ و $SU(3)$ مورد استفاده قرار می‌گیرند. تغییرات ترازهای انرژی و به تبع آن کمیات حساس به ترازها از جمله، نرخ گذارهای الکترومغناطیس را می‌توان برای تعیین پدیده گذار فازی - شکلی هسته‌ای مورد استفاده قرار داد. هر دو زنجیره ایزوتوپی Xe و Cd به دلیل قرار گرفتن در نزدیکی لایه



بسته $Z = 50$ ، نشانه هائی از گذار فازی - شکلی مرتبه دوم، یعنی متناسب با حد دینامیکی $E(5)$ را از خود نمایش می دهند (دلیل این امر را با تغییرات مقادیر نسبت ترازهای انرژی، $R_4 = \frac{E(4_1^+)}{E(2_1^+)}$ ، می توان توجیه نمود [۱]).

احتمال های گذار الکتریکی، $B(E\lambda)$ ، یا مغناطیسی $B(M\lambda)$ ، کمیات حساس به ساختار هسته می باشند. با توجه به اطلاعات تجربی فابل قبول پیرامون این دسته از کمیات، مطالعه نرخ گذارهای مختلف بین ترازهای هسته ای، معیاری برای بررسی توانائی مدل های مختلف در پیش بینی ویژه حالات و همچنین عملگر گذار می باشد. گذارهای چهار قطبی الکتریکی به دلیل احتمال روی دادن بیشتر نسبت به سایر مدهای گذار و همچنین اطلاعات تجربی کامل تر، اولین گزینه برای بررسی می باشند. عملگر گذار چهار قطبی الکتریکی در مدل بر همکنش بوزونی به صورت [۵]

$$T_{\mu}^{(E2)} = \alpha [d^{\dagger} \times \tilde{s} + s^{\dagger} \times \tilde{d}]_{\mu}^{(2)} + \beta [d^{\dagger} \times \tilde{d}]_{\mu}^{(2)} \quad (1)$$

تعریف می شود. که α ضریب بار موثر چهار قطبی و β یک ضریب بدون بعد می باشد. همچنین $s^{\dagger}(d^{\dagger})$ عملگرهای خلق بوزون $s(d)$ هستند. احتمال گذار چهار قطبی الکتریکی کاهش یافته بین حالات $I_i \rightarrow I_f$ با فرمول [۵-۶]

$$B(E2; I_f \rightarrow I_i) = \frac{|\langle I_f || T(E2) || I_i \rangle|^2}{2I_i + 1} \quad (2)$$

تعیین می -

شود. در محاسبه این کمیت، ابتدا ویژه حالات مختلف هسته انتخابی با استفاده از اعداد کوانتومی زنجیره تقارنی برچسب خورده و سپس اثر عملگر گذار چهار قطبی الکتریکی، رابطه ۱، بر روی آن تعیین می شود. فرم ویژه تابع برای حدود تقارن دینامیکی $U(5)$ ، $SU(3)$ و $O(6)$ به ترتیب برابر $|N, n_d, \nu, L\rangle$ ، $|N, (\lambda, \mu), K, L\rangle$ و $|N, \sigma, \tau, \nu_{\Delta}, L\rangle$ می باشد. در این مقاله ما از معنای ترکیب هامیلتونین ها یا ترکیب دو حد تقارنی استفاده نمودیم، بلکه صرفاً بر اساس رابطه بین اعداد کوانتومی و تفاوت آن برای هسته های مختلف، این طبقه بندی به صورت عمومی با فرض قرار گرفتن این هسته ها در نزدیکی لایه بسته و لذا استفاده از حد دینامیکی $U(5)$ پیش رفتیم [۱]. با تاثیر عملگرهای خلق و نابودی بوزون واقع در رابطه ۱، مقدار احتمال های گذار را به دست می آوریم. سپس این فرایند برای تمام گذارهای چهار قطبی الکتریکی که مقدار تجربی آن معلوم می باشد تکرار شده و در نهایت با استفاده از برنامه MATLAB و فرایند برازش، ثابت های α و β تعیین می شود.

نتایج :

در این مطالعه، زنجیره ایزوتوپی Xe و Cd در ناحیه گذار فازی - شکلی هسته ای بین حدود مورد بررسی قرار گرفت. هدف این مطالعه بررسی تغییرات ضریب موثر باری برای هسته های مختلف این دو زنجیره می باشد. بدین منظور ابتدا



با استفاده از مفاهیم مدل بوزون برهمکنشی، تمام حالات دارای گذار چهار قطبی الکتریکی در این هسته‌ها، که مقدار تجربی نرخ گذار برای آنها گزارش شده است، بر اساس اعداد کوانتومی حد دینامیکی (5) U برچسب خورد. سپس با اثر عملگر گذار چهار قطبی الکتریکی، رابطه ۱، و همچنین قضیه ویگنر - اکارت، ویژه مقادیر اپراتورهای این گذار تعیین شد. سپس با مقایسه روابط حاصل و مقادیر تجربی موجود [۶]، ثابت های برازش، یعنی ضریب موثر باری چهار قطبی α و همچنین ضریب بدون بعد β ، تعیین شد. نتایج حاصل برای این دو ضریب در هسته های مختلف زنجیره های ایزوتوپی انتخابی در جدول های ۱ و ۲ فهرست شده است. همچنین نتایج تئوری حاصل از مدل برهمکنش بوزونی با استفاده از این ضرایب برای احتمال گذارهای چهار قطبی الکتریکی مختلف و مقایسه آن با نتایج تجربی در شکل های ۱ و ۲ برای زنجیره های ایزوتوپی Cd و Xe ارائه شده است.

جدول شماره ۱. ضریب باری موثر چهار قطبی α (بر حسب e^2b) و همچنین ضریب بدون بعد β برای زنجیره ایزوتوپی Cd.

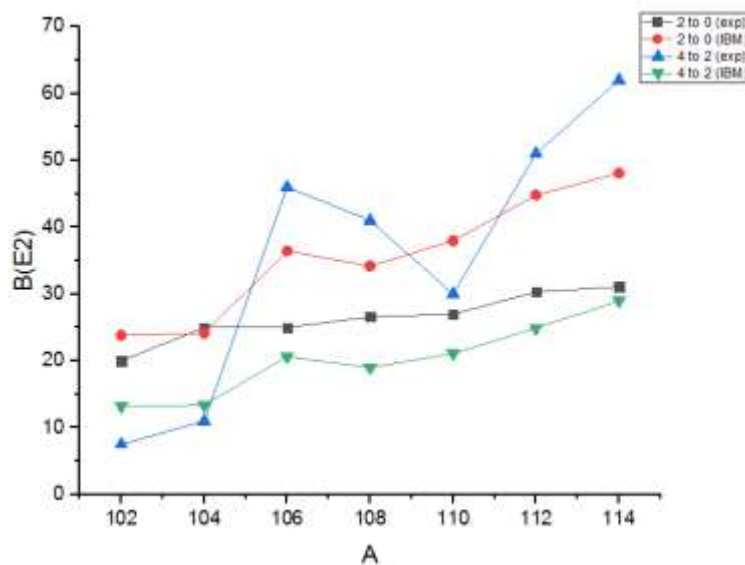
هسته	α_2	β_2
$^{102}_{48}\text{Cd}$	0.037	-2.314
$^{104}_{48}\text{Cd}$	0.001	-1.478
$^{106}_{48}\text{Cd}$	0.049	-7.246
$^{108}_{48}\text{Cd}$	0.363	-1.029
$^{110}_{48}\text{Cd}$	0.067	-0.962
$^{112}_{48}\text{Cd}$	0.022	-0.778
$^{114}_{48}\text{Cd}$	0.192	-0.829

جدول شماره ۲. ضریب باری موثر چهار قطبی α (بر حسب e^2b) و همچنین ضریب بدون بعد β برای زنجیره ایزوتوپی Xe.

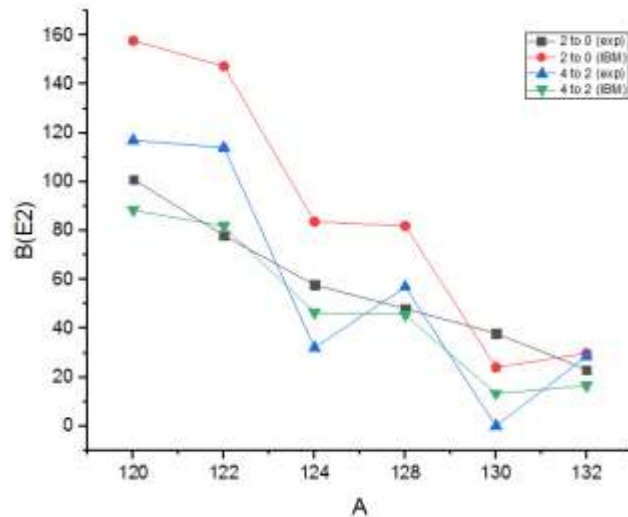
هسته	α_2	β_2
$^{120}_{54}\text{Xe}$	0.134	-0.804
$^{122}_{54}\text{Xe}$	0.095	-0.407
$^{124}_{54}\text{Xe}$	0.01	-0.659
$^{126}_{54}\text{Xe}$	0.144	-1.143
$^{128}_{54}\text{Xe}$	0.103	-0.964
$^{130}_{54}\text{Xe}$	0.001	-1.093
$^{132}_{54}\text{Xe}$	0.023	-1.455

نتایج حاصل در شکل های ۱ و ۲ انطباق مناسبی را بین نتایج مدل انتخابی و مقادیر تجربی نمایش می دهد. این نتیجه علاوه بر تایید صحت فرایند برازش، انتخاب صحیح اعداد کوانتومی برای حالات مختلف را تایید می کند. علیرغم پارهای اختلافات در دسته ای از گذارهای مطالعه شده بخصوص گذار $4_1^+ \rightarrow 2_1^+$ در زنجیره ایزوتوپی Cd و همچنین گذارهای $2_1^+ \rightarrow 0_1^+$ در زنجیره ایزوتوپی Xe، تغییرات رفتاری در ایزوتوپ های مختلف در نتایج تئوری نیز دیده می شود. این اختلافات را می توان بر پایه ترکیب تقارن ها و لزوم استفاده از هامیلتونین های ترکیبی توصیف نمود.

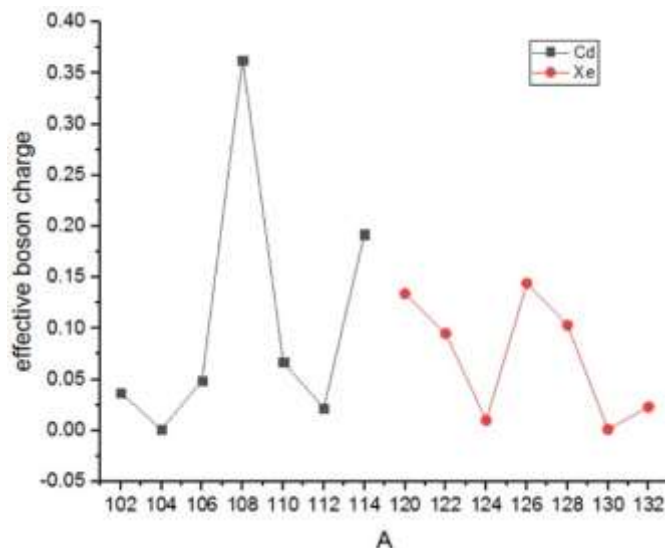
در ادامه و در شکل ۳، تغییرات ضرایب باری موثر چهار قطبی را برای هسته‌های مختلف این دو زنجیره نمایش داده ایم. نتایج حاصل را میتوان بر پایه پدیده همزیستی شکلی و ترکیب تقارن‌ها در هسته‌های مختلف ارزیابی نمود. بر این اساس تغییرات قابل توجه برای آن دسته از هسته‌هایی هستند که ترکیب تقارن‌ها در ترازهای مختلف آنها گزارش شده است [۷-۸].



شکل ۱. مقایسه نتایج مدل IBM و مقادیر تجربی برای گذارهای چهار قطبی الکتریکی مختلف زنجیره ایزوتوپی Cd . نتایج در واحد eb^2 بیان شده است.



شکل ۲. مقایسه نتایج مدل *IBM* و مقادیر تجربی برای گذارهای چهار قطبی الکتریکی مختلف زنجیره ایزوتوپی *Xe*. نتایج در واحد eb^2 بیان شده است.



شکل ۳. تغییرات ضرایب بار موثر چهار قطبی برای دو زنجیره ایزوتوپی *Cd* و *Xe*.

بحث و نتیجه گیری :

در این مطالعه تغییرات ضرایب باری موثر چهار قطبی برای زنجیره های ایزوتوپی *Xe* و *Cd* در ناحیه گذار فازی - شکلی هسته ای بین حدود دینامیکی بررسی شده است. میزان ضرایب باری موثر چهار قطبی هسته ها با استفاده از برچسب زنی حالت ها و محاسبه مقدار چشمداشتی در قالب مدل برهمکنش بوزونی محاسبه



شده و در مقایسه با مقادیر تجربی احتمال های گذار، با استفاده از فرایند برازش تعیین شد. همچنین نتایج تئوری حاصل از مدل برهمکنش بوزونی با استفاده از این ضرایب و مقایسه آن با نتایج تجربی ارائه شد و انطباق قابل قبولی را با مقادیر تجربی نشان می دهد. تغییرات ضرایب باری موثر برای هسته های ناحیه گذار فازی شکلی هسته ای قابل توجه تر می باشد. روش مطالعاتی و این مشاهده پذیرها در مطالعه دیگری مورد استفاده قرار نگرفته است، ولی نتیجه بارز این مقاله مبنی بر بررسی تغییرات ضرایب باری موثر برای هسته های ناحیه گذار فازی شکلی هسته ای، در منابع [۷] و [۸] نتایج مشابهی گرفته شده است.

وابستگی اساسی ضرایب باری موثر به ویژگی های ساختاری هسته های مختلف را می توان برای بررسی پدیده گذار فازی - شکلی هسته ای به کار برد.

مراجع :

- [1] F. Iachello and A. Arima, The Interacting Boson Model (Cambridge University Press, Cambridge, England, ۱۹۸۷).
- [2] J.P. Feng Pan, Draayer, New algebraic solutions for $SO(6) \leftrightarrow U(5)$ transitional nuclei in the interacting boson model, Nucl.Phys. A. ۶۳۶, ۱۵۶ (۱۹۹۸).
- [3] R.F. Casten, D.D. Warner, The interacting Boson Approximation, Rev. Mod. Phys. ۶۰, ۳۸۹ (۱۹۸۸).
- [4] G L Long, W L Zhang, H Y Ji, J F Gao, Generalized Michailov plot analysis of inband E2 transitions of deformed nuclei, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. ۲۴, ۲۱۳۳ (۱۹۹۸).
- [5] National Nuclear Data Center,(Brookhaven National laboratory), chart of nuclides, (<http://www.nndc.bnl.gov/chart/reColor.jsp?newColor=dm>).
- [6] H. Sabri Z.Jahangiri, M.A.Mohammadi , Investigation of shape coexistence in 118–128Te isotopes, Phys. A. 946, 11 (2016)..Nucl
- [7] H.Sabri, A theoretical study of energy spectra and two-neutron separation energies of $^{106-122}\text{Cd}$ isotopes in the transitional region of IBM, Eur. Phys. J. Plus, 129, 138 (2014).
- [8]. M.A. Jafarizadeh, N. Fouladi, H. Sabri, Description of Even–Even $^{114-134}\text{Xe}$ Isotopes in the Transitional Region of IBM, Braz. J. Phys. 43, 34 (2013).