

محاسبه ترازهای انرژی ایزوتوپ‌های $^{43-45-46}\text{Ca}$ با استفاده از کد OXBASH مدل لایه‌ای

عباس نیا، علیرضا^۱؛ شفقت، حمید^۱؛ سعید محمدی^۱

^۱ دانشگاه پیام نور، گروه فیزیک، مرکز مشهد

چکیده:

در این پژوهش، سطوح انرژی نوکلئونهای لایه والانس در ایزوتوپ‌های $^{43-45-46}\text{Ca}$ با استفاده از کد OXBASH مدل لایه‌ای محاسبه شده است. محاسبات در فضای مدل FP با سه پتانسیل، $KB3G$ ، $FPBM$ ، $FPD6N$ انجام شد و نتایج حاصل با نتایج تجربی مقایسه گردید و نهایتاً بهترین نتیجه حاصل که با نتایج تجربی تطابق بیشتری داشت انتخاب گردید. کد OXBASH یک کد محاسباتی برای انجام محاسبات مربوط به ساختار هسته بر اساس مدل لایه‌ای می‌باشد.

کلمات کلیدی: کد اکسبش، ایزوتوپهای کلسیم، سطوح انرژی، فضای برهمکنش (مدل FP)

OXBASH Code, Ca isotopes, Energy Levels, FP Model Space

مقدمه :

مدل‌های متعددی جهت توضیح خواص و واکنش‌های هسته‌ای پیشنهاد شده‌اند. از آنجا که هیچکدام از این مدل‌ها برای توضیح کل مشاهدات تجربی بطور کامل رضایت بخش نیستند، مدل‌های مختلفی برای تفسیر پدیده‌های گوناگون هسته‌ای بکار می‌روند. مفیدترین مدل‌ها در مورد ساختمان هسته‌ای عبارتند از: مدل لایه‌ای، مدل گاز فرمی، مدل قطره مایع، مدل تجمیعی. مدل لایه‌ای (Shell-Model) بوسیله M.Mayer، H.E.Suess، J.H.Jensen، O.Haxel توسعه یافت و Mayer و Jensen و Wigner جایزه نوبل را در سال ۱۹۶۳ بخاطر کار روی این موضوع و انجام مطالعات اساسی در مورد ساختمان هسته‌ای به خود اختصاص دادند. این مدل بر اساس این مشاهده استوار است که هسته‌ها با تعداد خاصی از پروتون‌ها و نوترون‌ها به پایداری ویژه‌ای دست می‌یابند. این تعداد (۲، ۸، ۲۰، ۲۸، ۵۰، ۸۲ و ۱۲۶) اعداد جادویی هسته‌ای نامیده می‌شوند.

برای توجیه این مشاهده، مدل لایه‌ای فرض می‌کند که نوکلئون‌ها خود را در ترازهای انرژی جداگانه‌ای، مابین هسته طوری مرتب می‌شوند، که مشابه الکترون‌ها و اوربیتال‌های اتم است. پایدارترین آرایه با پرشدن کامل ترازهای هسته‌ای گوناگون برای پروتون‌ها و نوترون‌ها بدست می‌آید. مشاهدات تجربی زیادی برای

تایید این ایده که تعداد جادویی نوکلون‌ها آرایه پایدار بخصوص دارند، وجود دارد. مدل لایه‌ای هسته، مشاهدات ذکر شده برای اعداد جادویی را به بهترین نحو نشان می‌دهد. همچنین این مدل برای پیش بینی دقیق اسپین و پارته نوکلیدهای با A فرد بکار رفته است و برای انحرافات آنها از شکل کروی دلایل محکمی ارائه می‌دهد. مدل لایه‌ای برای تغییر و تشریح هسته‌ها در حالات پایه بسیار مفید است.

در مدل لایه‌ای، حرکت هر نوکلئون منفرد را تحت تاثیر پتانسیل واحدی که نوکلئونهای دیگر همه در تولید آن شریک‌اند در نظر می‌گیریم، در نتیجه برای تمامی نوکلئونهای موجود در هسته می‌توان ترازهای انرژی متناظر به زیرلایه‌ها را بدست آورد.

مدارهای فضایی مشخص برای نوکلئونها، توسط اصل طرد پائولی پیش بینی می‌شود و با دانستن پتانسیل‌های هسته‌ای، برای تمام نوکلئون‌های هسته، می‌توان سطوح انرژی را محاسبه نمود.

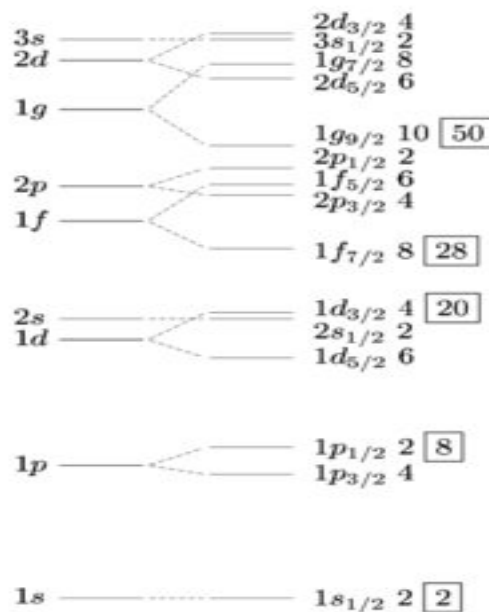
هدف از این پژوهش، محاسبه سطوح انرژی نوکلئونهای لایه والانس، در ایزوتوپ‌های $^{43-45-46}\text{Ca}$ با استفاده از کد OXBASH در مدل لایه‌ای می‌باشد. این برنامه مجموعه‌ای از دستورها برای انجام محاسبات مدل لایه‌ای با ابعاد بیش از حدود ۱۰۰.۰۰۰ در شمای J-T و حدود ۲.۰۰۰.۰۰۰ در شمای M می‌باشد. ما در این پژوهش نسخه ۸-۲۰۰۵ این کد را استفاده کرده‌ایم.

تئوری و محاسبات

OXBASH یک کد کامپیوتری قدرتمند جهت محاسبات مربوط به سطوح انرژی هسته‌های سبک و متوسط می‌باشد. با استفاده از آن می‌توان سطوح انرژی هسته‌ها را اندازه گرفت و با نتایج تجربی مقایسه نمود. یکی از مهمترین چالش‌ها در فیزیک هسته‌ای محاسبه و اندازه‌گیری سطوح انرژی نوکلئونهای هسته‌های متوسط و سنگین با استفاده از مدل پوسته‌ای می‌باشد، از این رو این محاسبات توسط کدهای رایانه‌ای، امری مهم و اجتناب ناپذیر است. برای این منظور کدهای بسیاری نوشته شده اند که از آنجمله می‌توان به Nutshell, REDSTICK, ANTOINE, OXBASH اشاره نمود. در این پژوهش ما کد OXBASH را بعنوان کدی که مدت‌هاست در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد، بکار برده‌ایم. در اینجا با استفاده از کد OXBASH، ترازهای انرژی نوکلئونهای ظرفیت ایزوتوپ‌های $^{43-45-46}\text{Ca}$ محاسبه و با مقادیر تجربی مقایسه شده است.

فضای برهمکنش^۱

با توجه به تعداد نوکلئونهای لایه والانس ایزوتوپ‌های $^{43-45-46}\text{Ca}$ مدل PF مدل مناسبی برای محاسبات می‌باشد. در در مدل PF اربیتال‌های والانس $1f_{7/2}$, $2p_{3/2}$, $2p_{1/2}$, $1f_{5/2}$ را بررسی می‌کند. شکل ۱ مدل SD و PF را بر اساس مدل لایه‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۱: مدل SD و PF بر اساس مدل لایه‌ای

اساس هامیلتونی در محاسبات مدل لایه‌ای، نرمالیزه کردن ماتریس Green می‌باشد [۱]. برای مدل فضایی SD، ۱۳ پتانسیل و برای FP، ۱۹ پتانسیل متفاوت در اکسبش وجود دارد [۲]. مدل‌های فضایی مورد استفاده، اربیتال‌های بکار رفته در محاسبه لایه‌های اصلی در مدل لایه‌ای را توضیح می‌دهد. ۱۹ پتانسیل برهمکنشی این فضا شامل SU3FP, GX1, GX2, KB3, KB3G, FPD6, FPBM, FPD6N, FPM, FPY, FPV, FPD6N, FPMH, FPV2, FPRKB, PBKB, FPMCC, FPMCD, FPMCE می‌باشند. [۳]

اولین ماتریس نرمالیزه شده G، در سال ۱۹۶۰ تولید شد که نتایج آن مطابقت خوبی با نتایج تجربی برای هسته‌های $18 < A < 40$ داشت [۴-۵]. و در سالهای ۱۹۹۱ و ۱۹۸۹ برای لایه‌های مدل FP پتانسیل‌های KB3G, FPBM, FPD6N، در اکسبش معرفی گردید. [۳]

کد OXBASH با مجموعه‌ای از مدل‌های فضایی و اثرات متقابل آن‌ها در مدل لایه‌ای با ابعاد بالا استفاده می‌شود. به منظور استفاده از این کد باید مدل فضایی و اثرات متقابل آن‌ها تعیین گردد. به عبارت دیگر پس از انتخاب مدل

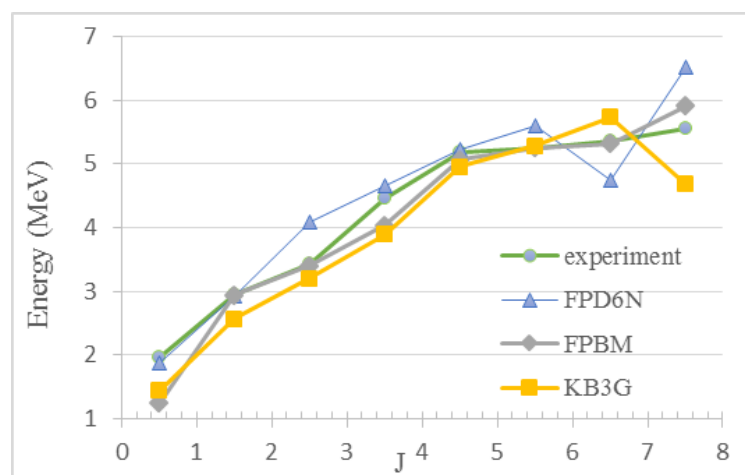
^۱ Interaction Space

فضایی مناسب که نوکلئون‌های والانس را در بر دارد، این کد یک مجموعه از حالت‌های پایه ممکن را ساخته و سپس ماتریس JT بر پایه ترکیب خطی حالت‌های پایه که مقادیر T و J مناسب می‌دهد، می‌سازد. سرانجام با انتخاب پتانسیل‌های مناسب هامیلتونی تولید و بصورت پیش فرض برای اولین ۱۰ مورد کمترین انرژی، محاسبات را انجام می‌دهد.

$^{43-45-46}\text{Ca}$ به ترتیب ۶ و ۵ و ۳ نوکلئون لایه والانس با پارامتر مثبت، منفی و منفی دارند و ایزواسپین آن‌ها به ترتیب ۳ و ۵ و ۲ می‌باشد. تکانه زاویه‌ای آن‌ها هم به ترتیب ۰-۶، ۰-۷ و ۰-۹ می‌باشد. پس از انجام محاسبات مربوط به سه ایزوتوپ با استفاده از سه پتانسیل KB3G, FPBM, FPD6N فضای FP در کد OXBASH، نتایج مربوطه در جداول ۱ و ۲ و ۳ ثبت شده است. لازم به ذکر است نمودار مربوط به مقایسه مقادیر تجربی هر ایزوتوپ با مقادیر حاصل از کد OXBASH برای KB3G, FPBM, FPD6N در شکل‌های ۲ و ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱: محاسبات سطوح انرژی ^{43}Ca با پتانسیل‌های مختلف

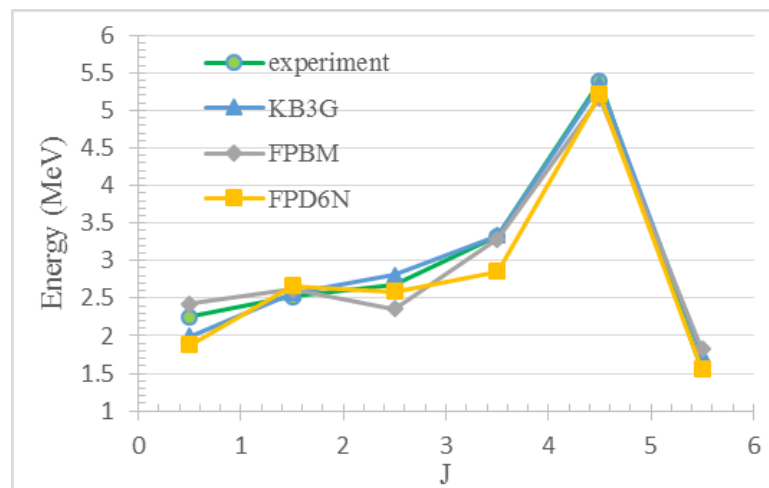
J	Experiment [7]	FPD6N	FPBM	KB3G
0/5	1/9574	1/875	1/242	1/443
1/5	2/9432	2/914	2/944	2/567
2/5	3/419	4/082	3/402	3/209
3/5	4/461	4/656	4/032	3/894
4/5	5/189	5/217	5/07	4/959
5/5	5/246	5/601	5/248	5/279
6/5	5/351	4/734	5/315	5/731
7/5	5/555	6/526	5/91	4/679



شکل ۲: منحنی مقایسه نتایج سطوح انرژی برای سه پتانسیل مختلف در مقایسه با نتایج تجربی ایزوتوپ ^{43}Ca

جدول ۲: محاسبات سطوح انرژی ^{45}Ca با پتانسیلهای مختلف

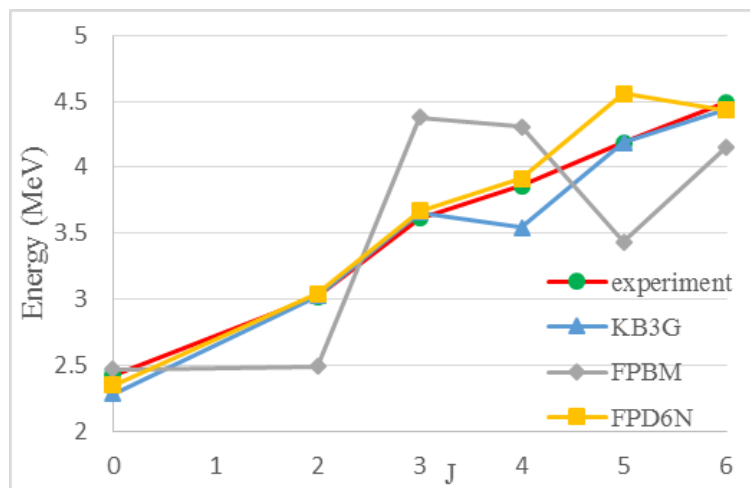
J	Experiment [8]	KB3G	FPBM	FPD6N
0/5	2/249	1/993	2/421	1/875
1/5	2/523	2/567	2/615	2/662
2/5	2/683	2/808	2/356	2/586
3/5	3/322	3/332	3/288	2/86
4/5	5/39	5/35	5/166	5/217
5/5	1/554	1/733	1/823	1/557



شکل ۳: منحنی مقایسه نتایج سطوح انرژی برای سه پتانسیل مختلف در مقایسه با نتایج تجربی ایزوتوپ ^{45}Ca

جدول ۳: محاسبات سطوح انرژی ^{46}Ca با پتانسیلهای مختلف

J	Experiment [9]	KB3G	FPBM	FPD6N
0	2/4231	2/285	2/469	2/349
1	---			
2	3/0226	3/023	2/49	3/041
3	3/614	3/657	4/379	3/668
4	3/8597	3/541	4/305	3/916
5	4/1845	4/186	3/436	4/56
6	4/4894	4/436	4/152	4/4311



شکل ۴: منحنی مقایسه نتایج سطوح انرژی برای سه پتانسیل مختلف در مقایسه با نتایج تجربی ایزوتوپ ^{46}Ca نتایج :

پس از مقایسه نتایج محاسبات انجام گرفته توسط کد OXBASH با مقادیر تجربی برای سطوح انرژی نوکلئونهای ظرفیت ایزوتوپهای $^{43-45}\text{Ca}$ به این نتیجه می‌رسیم که محاسبات ترازها با پتانسیل FPBM بیشترین تطابق با مقادیر تجربی دارد و در نقاط شروع و پایان نمودار، انحراف محاسبات از مقادیر تجربی قابل ملاحظه است اگرچه برای ^{43}Ca در $J=17/2, 19/2$ انجام محاسبات در این پتانسیلها امکانپذیر نبود برای ^{45}Ca در $J=13/2, 15/2$ نیز امکان محاسبات کد وجود نداشته است که بنظر می‌رسد انحراف پایانی بدلیل افزایش درمینانهای اسلیتر و محاسبات پیچیده می‌باشد. برای ایزوتوپ ^{46}Ca ترازهای بدست آمده از محاسبه با پتانسیل FPD6N تطابق بیشتری با مقادیر تجربی دارد و در نقاط پایانی انحراف قابل ملاحظه است اگرچه مقدار تجربی سطوح انرژی برای $J=1$ تاکنون بدست نیامده است.

مراجع :

- [1] *The Nuclear Shell Model Towards the Drip Lines*, B. A. Brown, Progress in Particle and Nuclear Physics 47, 517 (2001)
- [2] *Oxbash for Windows*, B. A. Brown, A. Etchegoyen, N. S. Godwin, W. D. M. Rae, W. A. Richter, W. E. Ormand, E. K. Warburton, J. S. Winfield, L. Zhao and C. H. Zimmerman, MSU-NSCL report number 1289.
- [3] Richter et al., Nucl. Phys. A523, 325 (1991)
- [4] K.-H Speidel et al, *phys let B* **659**1001, 2008.
- [5] K.-H Speidel et al, *phys Rev C* **78**, 017304, 2008.
- [6] B. H. Wildenthal, *Prog. Part. Nucl. Phys.* **11**, 5 (1984).
- [7] <http://www.nndc.bnl.gov/chart/reCenter.jsp?z=20&n=23>
- [8] <http://www.nndc.bnl.gov/chart/reCenter.jsp?z=20&n=25>
- [9] <http://www.nndc.bnl.gov/chart/reCenter.jsp?z=20&n=26>
- [10] B.H.Wildenthal, *Prog. Part. Nucl. Phys.* **11**,5, 1984.

- [11] W. Chung, Ph.D. thesis, Michigan State University (1976).
- [12] B.H. Wildenthal in *Elementary Modes of Excitation in Nuclei, Proceedings of the International School of Physics Enrico Fermi*, course 69, edited by A. Bohr and R.A. Broglia (North-Holland, 1977), **p. 383**; B.H. Wildenthal and W. Chung in *Mesons in Nuclei*, edited by M. Rho and D.H. Wilkinson, (North-Holland, 1979), p. 723
- [13] A.E. Stuchnery et al Phys Rev C 74,054307, 2006.
- [14] B. A. Brown / Pmg. Part. Nucl. Phys. 47 (2001) 517-599