

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی

چگالی تراز تک ذره‌ای در مدل لایه‌ای میدان متوسط

پهلوانی، محمدرضا؛ فرهادی، الهام؛ علوی، سیدعلیرضا
گروه فیزیک هسته‌ای، دانشکده علوم پایه دانشگاه مازندران، بابلسر

چکیده

چگالی تراز هسته‌ای پارامتری مهم در بررسی ساختار هسته، برهمکنش‌های هسته‌ای و ترمودینامیک هسته‌ها محسوب می‌شود. مدل BSFGM یکی از مدل‌های شناخته شده برای محاسبه چگالی تراز هسته به حساب می‌آید و دربرگیرنده جابجایی انرژی برانگیختگی و پارامتر چگالی تراز می‌باشد. در این مطالعه، پارامتر چگالی تراز با استفاده از مدل نیمه کلاسیکی و با تعیین چگالی تراز تک ذره‌ای در انرژی فرمی، آزادی انرژی پتانسیل هسته‌ای میدان متوسط برای پتانسیل‌های چاه مربعی متناهی، نوسانگر هارمونیک و وودز-ساکسون بصورت مستقیم محاسبه شده است. از مقایسه نتایج مستقیم بدست آمده با مقادیر برازش شده برای پارامتر چگالی تراز، همخوانی خوبی مشاهده می‌شود.

Single Particle Level Density in Mean Field Shell Model

Pahlavani, M. R; Farhadi, E; Alavi, S. A

Department of Nuclear Physics, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar

Abstract

The nuclear level density is considered as one of the important parameters in the study of nuclear structure, nuclear reactions and thermodynamics of nuclei. BSFGM model is considered one of identified nuclear level density models that include the excitation-energy shift and level density parameter. In this study, the level density parameter is calculated using semi classical model and with determining of single particle level density in Fermi energy for nuclear mean field potential energy for a finite square well, oscillator harmonic potential and the Wood-Saxon potential are calculated directly. The comparison of direct results obtained with the values obtained from the fitted level density parameters, a good agreement is observed.

به صورت تبهگن بدست می‌آیند. پتانسیل شعاعی وودز-ساکسون به همراه پتانسیل ناشی از برهمکنش اسپین مدار ترازهای هسته‌ای و اعداد جادویی را که نشان دهنده لایه‌های بسته هسته‌ای هستند به درستی نتیجه می‌دهد [۱].

با حل معادله شرودینگر برای پتانسیل‌های میدان میانگین، بدون در نظر گرفتن جفت شدگی نوکلئون‌ها، ترازهای انرژی و معادله موج نوکلئونی بدست می‌آید. ترازهای انرژی تک-نوکلئونی نوترونی و پروتونی بعنوان یک پارامتر اساسی در تعیین پارامترهای ترمودینامیکی هسته از قبیل دما، آنتروپی، فشار و ظرفیت گرمایی به حساب می‌آیند. چگالی تراز هسته‌ای بصورت تعداد ترازهای هسته در واحد انرژی برانگیختگی مؤثر تعریف می‌شود.

در هسته‌های سنگین به دلیل نزدیک شدن ترازها به همدیگر و همپوشانی‌های آنها تمایز بین ترازها سخت می‌باشد زیرا با افزایش

مقدمه

مدل لایه‌ای یکی از مدل‌های هسته‌ای موفق هسته‌ای است که با استفاده از پتانسیل میدان متوسط و پتانسیل ناشی از برهمکنش نوکلئون‌ها، ترازهای نوترون و پروتون هسته را با دقت بالایی پیش بینی می‌کند. میدان متوسط برای نوترون شامل جملات پتانسیل هسته‌ای و برهمکنش اسپین مدار و برای پروتون علاوه بر این جملات، پتانسیل کولنی را نیز دربر می‌گیرد. تاکنون پتانسیل‌های مختلفی برای هسته‌های کروی و تغییر شکل یافته پیشنهاد شده است که از جمله آنها به پتانسیل چاه مربعی متناهی و نامتناهی، پتانسیل نوسانگر هارمونیک و پتانسیل وودز-ساکسون^۱ می‌توان اشاره کرد. با اعمال پتانسیل چاه مربعی و نوسانگر هماهنگ ترازها

^۱ Woods_Saxon

انرژی قطع اسپین است که بصورت تابعی از پارامترهای چگالی تراز هسته‌ای و A عدد جرمی هسته تعریف می‌شود

$$\sigma^2 = 0.0146 A^{\frac{5}{4}} \frac{1 + \sqrt{1 + 4a(u - E_1)}}{2a} \quad (2)$$

در روش نیمه کلاسیکی با استفاده از پتانسیل‌های میدان متوسط هسته چگالی تراز تک ذره ای بصورت تابعی از انرژی تک نوکلئون‌ها تعیین می‌شود [۳ و ۴].

$$g(\varepsilon) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} \int d\vec{r} \left\{ \sqrt{\varepsilon - v(r)} \theta[\varepsilon - v(r)] \right\} \quad (3)$$

که در آن $V(r)$ پتانسیل میدان متوسط هسته‌ای، m جرم نوکلئون و $\theta(x)$ تابع پله‌ای است.

پتانسیل چاه مربعی متناهی بصورت $V = -V_0$ تعریف می‌شود که در آن V_0 نشان‌دهنده عمق چاه است.

پتانسیل نوسانگر هماهنگ بصورت زیر تعریف می‌شود

$$V^{HO}(r) = \frac{1}{2} m \omega^2 r^2 - V_0 \quad (4)$$

که در این رابطه V_0 عمق چاه و ω فرکانس نوسان است.

پتانسیل وودز-ساکسون با رابطه زیر بیان می‌شود

$$V^{WS}(r) = \frac{-V_0}{1 + e^{(r-R)/d}} \quad (5)$$

که شعاع هسته و d پارامتر ضخامت سطح می‌باشند و عمق چاه بصورت زیر ارائه می‌شود

$$V_0 = 51 \pm 33 \left(\frac{N-Z}{A} \right) \text{ MeV} \quad (6)$$

که در آن علامت مثبت مربوط به پروتون و علامت منفی مربوط به نوترون است.

با در نظر گرفتن پتانسیل نوسانگر هماهنگ، چگالی تراز تک ذره‌ای بصورت زیر بدست می‌آید

$$g_{HO}(E) = \frac{(E - v_0)^2}{(\hbar\omega_0)^3} \left\{ 1 - \left[1 - \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\frac{|V_0|}{\varepsilon - V_0}} \right] + \frac{4}{3\pi} \left(\frac{|V_0|}{\varepsilon - V_0} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{|V_0|}{\varepsilon - V_0}} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon - V_0}} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon - V_0}} \right\} \theta(E) \quad (7)$$

انرژی، ترازها بیشتر بهم نزدیک می‌شوند. به همین دلیل چگالی تراز برای هسته‌های سنگین دارای اهمیت قابل توجهی است.

بطور کلی در محاسبه چگالی تراز بطور مستقیم از روش‌های آماری که به صورت تئوری ارائه می‌شوند استفاده می‌شود. به عنوان مثال به مدل‌های آماری دمای ثابت (CTM)، مدل گاز فرمی (FGM)، مدل^۲ BSFG، مدل ابر شاره (GSM) می‌توان اشاره کرد [۲].

در مدل BSFG چگالی تراز هسته‌ای دارای دو پارامتر چگالی تراز تک ذره‌ای و انرژی جابجایی برانگیختگی است. معمولاً این پارامترها به عنوان پارامترهای قابل تنظیم از طریق برازش داده‌های تجربی تعیین می‌شوند. هرچند برای محاسبه پارامتر چگالی تراز، به جز برازش از مدل‌های مختلف هسته‌ای مثل مدل قطره مایع، مدل لایه‌ای و رابطه نیمه تجربی می‌توان استفاده کرد و این پارامتر را بطور مستقیم محاسبه نمود.

در روش محاسبه مستقیم پارامتر چگالی تراز با استفاده از مدل لایه‌ای انتخاب پتانسیل میدان میانگین برای بدست آوردن چگالی تراز تک ذره‌ای g و مقدار آن در انرژی فرمی نقش تعیین کننده‌ای دارد. در این مطالعه، پارامتر چگالی تراز در مدل BSFG بصورت تابعی از چگالی تراز تک ذره‌ای با استفاده از مدل نیمه کلاسیکی برای پتانسیل‌های نوسانگر هماهنگ و چاه پتانسیل مربعی و پتانسیل وودز-ساکسون برای تعدادی از هسته‌های سبک، متوسط و سنگین محاسبه شده و نتایج بدست آمده با نتایج سایر روش‌ها مقایسه گردیده است.

چگالی تراز تک ذره‌ای

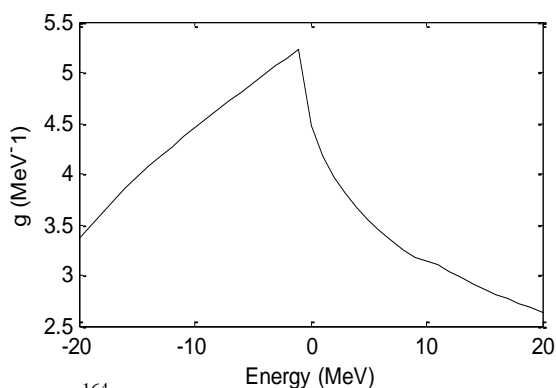
در مدل BSFG چگالی تراز هسته‌ای با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید

$$\rho(u) = \frac{e^{2\sqrt{a(u-E_1)}}}{12\sqrt{2}a^{\frac{1}{4}}\sigma(u-E_1)^{\frac{5}{4}}} \quad (1)$$

که در آن پارامتر u انرژی برانگیختگی، E_1 پارامتر جابجایی انرژی برانگیختگی می‌باشد و a پارامتر چگالی تراز است. σ پارامتر

^۲ Back-Shifted Fermi Gas Model

هسته ^{164}Dy انرژی حالت های مقید و غیر مقید برای پتانسیل وودز-ساکسون را نشان می دهد..



شکل شماره (۳): چگالی تراز تک ذره ای نوترونی هسته ^{164}Dy با اعمال پتانسیل وودز-ساکسون بر حسب انرژی

همانطور که مشاهده می شود در هر یک از نمودارها حالت های مقید که دارای انرژی های منفی می باشند با افزایش انرژی، چگالی تراز تک ذره ای نیز سیر صعودی دارد و در حالت های پیوسته که دارای انرژی های مثبت می باشند با افزایش انرژی نمودارها با سیر نزولی مشاهده می شوند.

برای پروتون پتانسیل کولنی نیز بصورت زیر در محاسبات اعمال می شود و به پتانسیل میدان متوسط هسته ای اضافه می شود

$$V_c(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \begin{cases} \frac{Ze^2}{2R_c} \left(3 - \left(\frac{r}{R_c} \right)^2 \right) & , r \leq R_c \\ \frac{Ze^2}{r} & , r \geq R_c \end{cases} \quad (8)$$

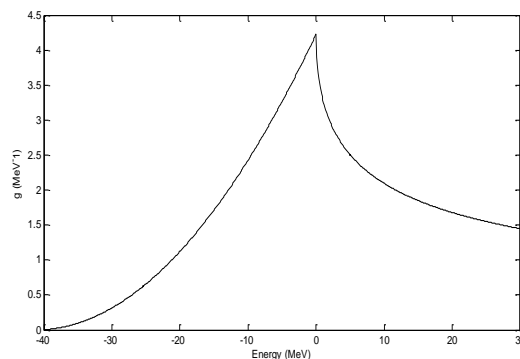
با معلوم بودن چگالی تراز تک ذره ای نوترونی و پروتونی پارامتر چگالی تراز را برای هسته های مختلف در انرژی فرمی با استفاده از رابطه زیر می توان تعیین کرد

$$a = \frac{\pi^2}{6} [g_p(\epsilon_f^p) + g_n(\epsilon_f^n)] \quad (9)$$

که در آن $g_p(\epsilon_f^p)$ و $g_n(\epsilon_f^n)$ به ترتیب انرژی فرمی تک ذره ای نوترون و پروتون است.

لباستفاده از مدل نیمه کلاسیکی و با تعیین چگالی تراز تک ذره ای در انرژی فرمی بازای انرژی پتانسیل هسته ای میدان متوسط برای پتانسیل های وودز-ساکسون و نوسانگر هارمونیک، پارامتر چگالی تراز در مدل BSFG بصورت مستقیم محاسبه شده و نتایج حاصل

نمودار تغییرات چگالی تراز تک ذره ای نوترونی هسته ^{164}Dy با انرژی حالت های مقید و غیر مقید با در نظر گرفتن پتانسیل نوسانگر هماهنگ در شکل (۱) رسم شده است.

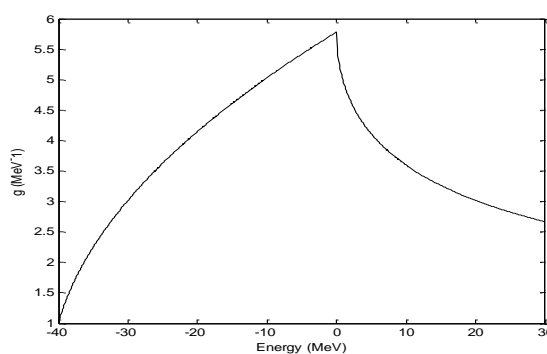


شکل شماره (۱): تغییرات چگالی تراز تک ذره ای نوترونی هسته ^{164}Dy با انرژی حالت های مقید و غیر مقید با در نظر گرفتن پتانسیل نوسانگر هماهنگ

با جایگذاری پتانسیل چاه مربعی در معادله (۳) چگالی تراز تک ذره ای با رابطه ی زیر داده می شود

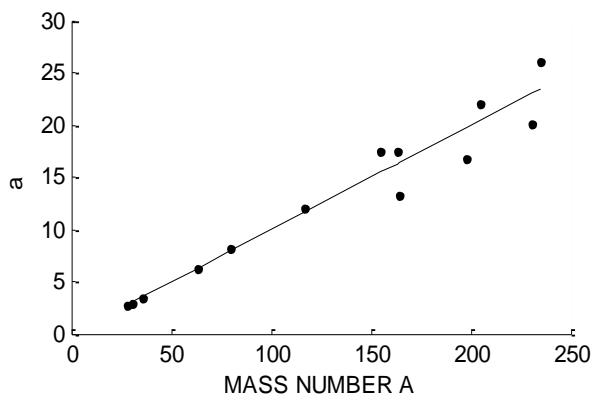
$$g_{SQ}(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2} \frac{4\pi R_0^3}{3} [\sqrt{E - v_0} \theta(E - v_0) - \sqrt{E} \theta(E)]$$

نمودار چگالی تراز تک ذره ای نوترونی برای پتانسیل چاه مربعی بر حسب انرژی برای هسته ^{164}Dy محاسبه و در شکل (۲) رسم شده است.



شکل شماره (۲): تغییرات چگالی تراز تک ذره ای نوترونی هسته ^{164}Dy با انرژی حالت های مقید و غیر مقید با در نظر گرفتن پتانسیل چاه مربعی

با جایگذاری پتانسیل وودز-ساکسون در معادله (۳) چگالی تراز تک ذره ای از طریق حل انتگرال از طریق روش های عددی بدست می آید. شکل (۳) نحوه تغییرات چگالی تراز تک ذره ای نوترونی



شکل شماره (۴): پارامتر چگالی تراز بر حسب عدد جرمی

نتیجه گیری

چگالی تراز تک نوکلئونی با استفاده از مدل نیمه کلاسیکی برای پتانسیل‌های میدان متوسط هسته‌ای چاه پتانسیل مربعی، نوسانگر هماهنگ و وودز-ساکسون تعیین شده است. برای هرکدام از این پتانسیل‌ها، چگالی تراز تک ذره‌ای بر حسب انرژی رسم شد. در حالت‌های مقید که دارای انرژی‌های منفی می‌باشند در هر دو نمودار با افزایش انرژی، چگالی تراز تک ذره‌ای نیز سیر صعودی دارد و در حالت‌های پیوسته که دارای انرژی‌های مثبت می‌باشند با افزایش انرژی نمودارها دارای تغییرات نزولی اند.

با استفاده از مقادیر بدست آمده از چگالی تراز تک نوکلئونی در انرژی فرمی نوترون و پروتون پارامتر چگالی تراز در مدل BSFG بصورت مستقیم محاسبه و مشاهده گردید که همخوانی خوبی با نتایج بدست آمده از برازش با داده‌های تجربی دارد. همچنین نحوه تغییرات پارامتر چگالی تراز با عدد جرمی هسته‌ها بیانگر دور شدن مقادیر پارامتر چگالی تراز از رابطه ساده $A/10$ در محدوده هسته‌های سنگین است.

مرجع‌ها

- [1] A. Bohr and B. R. Mottelson, *Nuclear Structure* (Benjamin, Reading, MA, 1975), Vol. II, Chap. 6.
- [2] P. Demetriou and S. Goriely, "Microscopic nuclear level densities for practical applications Nucl", *Nucl. Phys. A* **695** (2001) 95–108.
- [3] S. Shlomo, "Energy level density of nuclei", *Nucl. Phys. A* **539** (1992) 17-36.
- [4] S. Shlomo, V. M. Kolomietz, and H. Dejbakhsh "Single particle level density in a finite depth potential well", *Phys. Rev. C* **55** (1997) 1972-1981.
- [5] B. M. Oginni et al., "Test of level density models from reactions of ^6Li on ^{58}Fe and ^7Li on ^{57}Fe ", *Phys. Rev. C* **80** (2009) 034305.

از این محاسبات به ترتیب در ستون دوم و سوم جدول (۱) ارائه شده است. همچنین مقدار پارامتر چگالی تراز در این مدل که با استفاده از روش برازش در منبع [۵] بدست آمده نیز در ستون سوم جدول قرار داده شده است.

جدول ۱: پارامتر چگالی تراز تک ذره‌ای با اعمال پتانسیل‌های مختلف برای تعدادی از هسته‌های سبک، وزن متوسط و سنگین

$a^{[5]}$ (MeV^{-1})	a^{HO} (MeV^{-1})	a^{WS} (MeV^{-1})	هسته
۳.۴۳	۲.۵۴	۲.۷۰	^{28}Si
۷.۰۸	۵.۵۱	۶.۲۴	^{63}Ni
۱۴.۱۵	۱۰.۵۴	۱۲.۰۱	^{117}Sn
۱۹.۳۵	۹.۹۲	۱۳.۲۶	^{155}Gd
۱۷.۳۱	۱۴.۶۴	۱۷.۴۶	^{163}Dy
۱۷.۷۵	۱۴.۷۲	۱۷.۵۴	^{164}Dy
۱۶.۰۰	۱۱.۰۶	۱۶.۸۱	^{198}Au
۲۱.۴۷	۱۸.۰۰	۲۲.۰۹	^{205}Pb
۲۵.۹۸	۱۳.۵۲	۲۰.۱۷	^{231}Th
۲۵.۰۸	۲۱.۵۹	۲۶.۰۷	^{235}U

با توجه به جدول (۱) می‌توان نتیجه گرفت که از اعمال پتانسیل وودز-ساکسون در محاسبه پارامتر چگالی تراز نتایج بهتری در مقایسه با پتانسیل نوسانگر هماهنگ حاصل می‌شود و همچنین نتایج بدست آمده از محاسبه مستقیم پارامتر چگالی تراز، همخوانی خوبی با مقادیر برازش شده در منبع [۵] دارد.

در شکل (۴) نمودار تغییرات پارامتر چگالی تراز بدست آمده از روش محاسبه مستقیم با استفاده از پتانسیل وودز-ساکسون برای هسته‌های جدول (۱) بر حسب عدد جرمی هسته‌ها رسم شده است. خط راست در شکل نشان دهنده مقادیر پارامتر چگالی تراز بدست آمده از رابطه ساده $a = A/10$ می‌باشد. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود بطور کلی با افزایش عدد جرمی پارامتر چگالی تراز نیز افزایش می‌یابد و فاصله مقادیر محاسبه شده از خط رسم شده بیشتر می‌شود.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی