وابستگی چگالی تراز هسته‌ای ^{104}Pd به پاریته

نجیمی گشتاسب،رسول [۱]- کارگر،زهره* [۱]

دانشگاه شیراز، دانشکده علوم، بخش فیزیک

چکیده:

در این پژوهش وابستگی چگالی تراز هسته‌ای ^{104}Pd به پاریته محاسبه شده است. برای انجام محاسبات از روش میکروسکوپی ابررسانایی و رابطه نسبت پاریته فرد به پاریته زوج[۱] استفاده شده است. مدل ابررسانایی برای توصیف سیستم‌های فرمیونی دارای برهم‌کنش زوجیت بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج بدست آمده از چگالی تراز نشان می‌دهد که در انرژی برانگیختگی پایین تعداد ترازها با پاریته مخالف برابر نیستند و با افزایش انرژی برانگیختگی تعداد ترازها با پاریته مخالف برابر می‌شوند. همچنین چگالی تراز کل نیز در این پژوهش محاسبه شده است توافق خوبی میان نتایج نظری و نتایج آزمایشگاهی مشاهده می‌شود.

کلمات کلیدی: *پاریته، چگالی تراز هسته‌ای، مدل ابررسانایی*

parity dependence of nuclear level density of ^{104}Pd nuclei

Najimi Gashtaseb, Rasool[1]; kargar, Zohreh[1]

[1] Shiraz University, Faculty of Sciences, Department of Physics

Abstract:

In this paper, we have calculated the parity dependence of nuclear level density of ^{104}Pd nuclei. Hereof, we have used the microscopic superconductivity model and the odd-even parity ratio [1]. The superconducting model are used widely to describe the fermionic pairing systems. In low excitation energy the parity dependence of nuclear level density shows that the number of levels with opposite parity is not equal but with increasing excitation energy, they become equal. Also, the total level density has been calculated in this study. A good agreement between the theoretical and the experimental results is observed.

Key words: parity, nuclear level density, superconductivity model

مقدمه :

در دهه‌های اخیر مطالعات نظری و *آزمایشگاهی* فراوانی برای محاسبه چگالی تراز هسته‌ای انجام شده است. در نظریه واکنش هسته‌ای، چگالی تراز هسته ای یک کمیت مهم برای تعیین فرآیند واکنش و محاسبه سطح مقطع واکنش است[۲]. در سال ۱۹۳۶ میلادی، بت[۱] برای محاسبه چگالی تراز هسته‌ای، هسته

[1] Bethe

را به صورت گازی فرمیونی در نظر گرفت. در این مدل نوکلئون‌های بدون برهم‌کنش درحجم هسته محبوس هستند[۳]. برای هماهنگی نتایج چگالی تراز آزمایشگاهی با نتایج این مدل، انرژی برانگیختگی در مدل گاز فرمی باید توسط پارامتر شیفت انرژی تصحیح شود. از اینرو مدل گاز فرمی به عقب شیفت داده شده جایگزین مدل گاز فرمی شد[۴]. در این مدل رابطه چگالی تراز به شرح زیر است:

$$\rho(E)=\frac{e^{2\sqrt{a(E-\delta)}}}{\sqrt{48}a^{\frac{1}{4}}(E-\delta)^{\frac{5}{4}}} \qquad (۱)$$

در این رابطه a پارامتر چگالی تراز، E انرژی برانگیختگی و δ پارامتر شیفت انرژی است.

در این مدل برهمکنش زوجیتی میان نوکلئون‌های هسته در نظر گرفته نشده است. برهم‌کنش زوجیتی در هسته‌ها مشابه زوج شدن الکترونها در شبکه ابررسانا است. برای توصیف زوجیت در شبکه از مدل ابررسانایی استفاده می‌شود. این نظریه وجود انرژی گذاری را پیش‌بینی می‌کند که در انرژی های کمتر از آن، دیگر مدل گاز فرمی مناسب نیست[۵, ۶].

پاریته نقش بسیار مهمی در خصوصیات آماری هسته‌ها دارد. وابستگی چگالی تراز به پاریته و توزیع آماری پاریته برای بررسی فرآیندهای هسته ای مانند واکنش جذب نوترون و فرآیند نقض پاریته ضروری است.

در سال ۱۹۶۰ میلادی اریکسون پیشنهاد داد که در انرژی برانگیختگی‌های کم نسبت به حالت پایه با ترازهای پاریته فرد و زوج نامساوی، می‌تواند سبب ایجاد تعداد یکسان ترازهایی با پاریته فرد و زوج شود[۷]. مطالعات نظری مختلف بر اساس تجزیه و تحلیل داده های تجربی[۸, ۹] نشان می دهد چگالی تراز وابستگی نسبتا قابل توجهی به پاریته دارد. با استفاده از روش مونت کارلو چگالی تراز کل و وابسته به پاریته در چارچوب مدل لایه‌ای برهم‌کنشی محاسبه شده است. با مقایسه این نتایج با نتایج تجربی چگالی تراز، وابستگی چگالی تراز به پاریته مشاهده شد [۱۰]. در سال ۲۰۰۰ میلادی رابطه‌ی مناسبی برای وابستگی خصوصیات ترمودینامیکی هسته‌ها به پاریته پیشنهاد شد. که طبق آن پاریته یکسان سطوح در انرژی‌های کم به پاریته متفاوت در انرژی‌های بالا منجر می‌شود[۱].

روش کار :

با استفاده از تبدیلات بوگولیوف هامیلتونی جفتیدیگی در مدل BCS به هامیلتونی شبه ذرات بـدون برهم‌کنش تبدیل می‌شود. از اینرو با استفاده از این هامیلتونی، تابع پارش بزرگ و تابع پتانسـیل بـزرگ بـرای سیستم بدست می‌آید[۱۱]:

$$Z(\alpha,\beta)=e^{\Omega(\alpha,\beta)},$$
$$\Omega(\alpha,\beta)=-\beta\sum_k(\varepsilon_k-\lambda-E_k)+2\sum_k\ln(1+e^{-\beta E_k})-\beta\frac{\Delta^2}{G}. \quad (۲)$$

در این معادله ε_k انرژی تراز تک‌ذره‌ای، λ پتانسیل شیمیایی، $E_k=\sqrt{(\varepsilon_k-\lambda)^2+\Delta^2}$ انرژی شبه ذرات، Δ پارامتر گاف، G قدرت جفتیدگی ذرات و β عکس دمای هسته‌ای است.

برای محاسبه پارامتر گاف محتملترین مقدار پارامتر گاف در نظر گرفته می‌شود و از آن برای محاسبه سایر روابط ترمودینامیکی استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial\Omega}{\partial\Delta}=0 \quad (۳)$$

با استفاده از رابطه (۲) و (۳) خواهیم داشت:

$$\sum_{k>0}\frac{1}{E_k}\tanh\left(\frac{1}{2}\beta E_k\right)=\frac{2}{G} \quad (۴)$$

این رابطه، معادله گاف نامیده می‌شود.

در ادامه روابط ترمودینامیکی را با استفاه از تابع پتانسیل بزرگ سیستم و رابطه گاف بدست می‌آید. بدین ترتیب برای تعداد ذرات، انرژی و آنتروپی سیستم خواهیم داشت:

$$N=\frac{\partial\Omega}{\partial\alpha}=\sum\left[1-\frac{\varepsilon_k-\lambda}{E_k}\tanh\left(\frac{1}{2}\beta E_k\right)\right] \quad (۵)$$

$$E=-\frac{\partial\Omega}{\partial\beta}=\sum_k\varepsilon_k\left[1-\frac{(\varepsilon_k-\lambda)}{E_k}\tanh\left(\frac{1}{2}\beta E_k\right)\right]-\frac{\Delta^2}{G} \quad (۶)$$

$$S=\Omega(\alpha,\beta)+\beta E-\alpha N=2\sum\ln[1+\mathrm{e}^{-\beta E_k}]+2\sum\beta E_k\left(\frac{1}{1+\mathrm{e}^{\beta E_k}}\right) \quad (۷)$$

با استفاده از روش‌های آماری چگالی تراز هسته‌ای بدین صورت بدست می‌آید:

$$\rho(E,N,Z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}\frac{e^S}{(2\pi)^{\frac{3}{2}}}\frac{1}{\sqrt{D}} \quad (۸)$$

در معادله (۸)، Sآنتروپی سیستم، σ فاکتور قطع اسپینی و D دترمینانی 3×3 شامل مشتقات مرتبه دوم از تابع پارش بزرگ در نقطه زینی است.

با مقایسه رشد نمایی چگالی تراز هسته‌ای (معادله (۸)) و معادله گاز فرمی به عقب شیفت داده شده (معادله (۱))، مشاهده می‌شود توان دوم آنتروپی سیستم، تابعی از پارامتر چگالی تراز هسته‌ای و پارامتر شیفت انرژی است[۱۲, ۱۳]:

$$S^2 = 4a(E-\delta). \qquad (۹)$$

برای در نظر گرفتن ویژگی‌های ترمودینامیکی به پاریته می‌توان از تقریبی مناسب استفاده کرد[۱]. این تقریب رابطه‌ای ساده از نسبت احتمال تعداد ترازهای با پاریته زوج و فرد پیشنهاد می‌دهد. این رابطه بدین شرح است:

$$\frac{P_-}{P_+} = \frac{Z_-(\beta)}{Z_+(\beta)} = \tanh(f) \qquad (۱۱)$$

در این رابطه P_- , P_+ احتمال تعداد ترازهای پاریته فرد و پاریته زوج است. همچنین $Z_-(\beta)$, $Z_+(\beta)$ به ترتیب تابع پارش سیستم با پاریته فرد و تابع پارش سیستم با پاریته زوج و f احتمال کل اشغال ترازها است. این احتمال برابر با جمع احتمال اشغال ترازهای پروتونی و نوترونی است.

$$f = f_n + f_p \qquad (۱۲)$$

همچنین برای تابع پارش کل سیستم $Z(\beta)$خواهیم داشت:

$$Z(\beta) = Z_-(\beta) + Z_+(\beta) \qquad (۱۳)$$

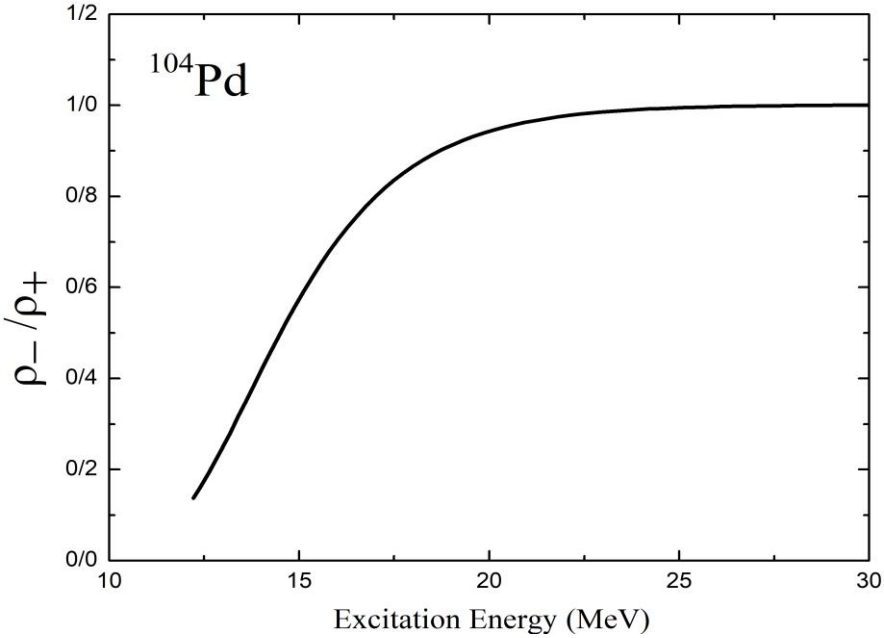
با استفاده از رابطه (۱۱) و (۱۳) تابع پارش سیستم برای پاریته فرد و پاریته زوج بدست می آید:

$$Z\pm(\beta) = \frac{Z(\beta)}{1+\tanh^{\pm1}(f)} \qquad (۱۴)$$

در این پژوهش برای محاسبه چگالی تراز وابسته به پاریته هسته ^{104}Pd ، روابط تعداد ذرات، انرژی و آنتروپی سیستم بر اساس تابع پارش وابسته به پاریته تعمیم داده شد. سپس با استفاده از انرژی و آنتروپی وابسته به پاریته پارامتر چگالی تراز محاسبه شد. سپس با استفاده از رابطه چگالی تراز در مدل گازفرمی به عقب شیفت داده شده، چگالی تراز وابسته به پاریته هسته ^{104}Pd محاسبه شد.

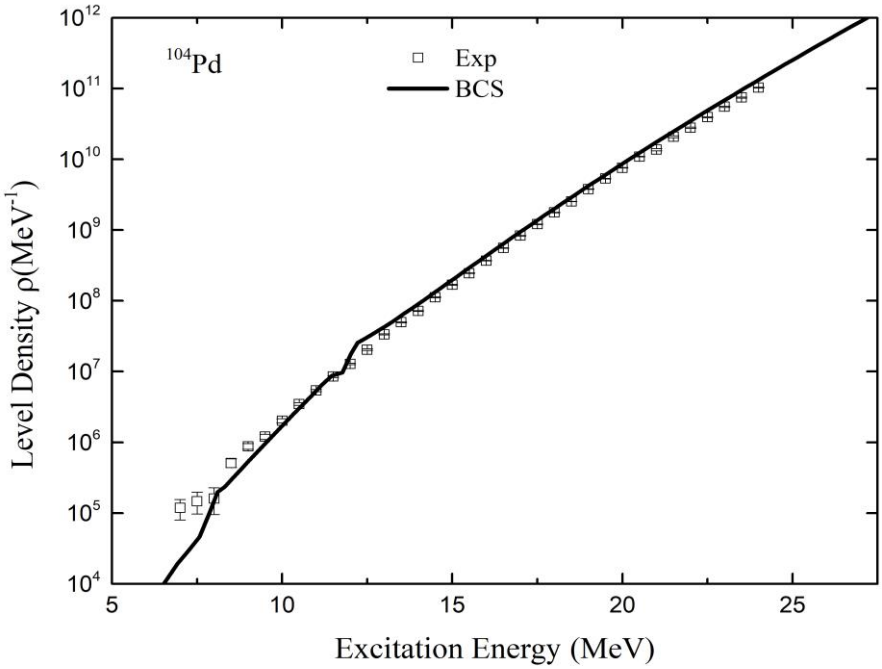
نتایج :

با استفاده از مدل ابررسانایی نسبت چگالی تراز پاریته فرد به چگالی تراز پاریته زوج برای هسته ^{104}Pd بر حسب انرژی برانگیختگی محاسبه شده است و در شکل(۱) نشان داده شده است. نسبت چگالی تراز پاریته فرد به چگالی تراز پاریته زوج برای هسته ^{104}Pd وابسته به انرژی برانگیختگی است. این نسبت برای هسته ^{104}Pd با افزایش انرژی برانگیختگی به سمت یک میل می‌کند. ازاینرو تعداد ترازها با با پاریته فرد و زوج در انرژی برانگیختگی بالا با هم برابر است.



شکل (۱): نسبت چگالی تراز پاریته فرد به چگالی تراز پاریته زوج برای هسته ^{104}Pd با استفاده از مدل ابررسانایی

با استفاده از وابستگی چگالی تراز هسته ^{104}Pd به پاریته و با استفاده از مدل ابررسانایی، چگالی تراز هسته‌ای ^{104}Pd محاسبه شده است. در شکل(۲) چگالی تراز هسته‌ای ^{104}Pd محاسبه شده با نتایج آزمایشگاهی[۱۴] مقایسه شده است. توافق مناسبی میان نتایج نظری و نتایج آزمایشگاهی مشاهده می‌شود.



در شکل(۲) چگالی تراز هسته‌ای ^{104}Pd بر حسب انرژی برانگیختگی با استفاده از مدل ابررسانایی

بحث ونتیجه گیری :

تعداد ترازهای هسته‌ای وابستگی زیادی به پاریته در انرژی برانگیختگی کم دارد. با افزایش انرژی برانگیختگی تعداد ترازهای هسته‌ای با پاریته مخالف به یکدیگر نزدیکتر می‌گردند و در انرژی برانگیختگی بالا تعداد ترازهای هسته‌ای با پاریته مخالف مساوی می‌گردند. این روند نشان دهنده گذار از تعداد نامساوی ترازها با پاریته مخالف به تعداد مساوی ترازها با پاریته مخالف است.

مراجع :

[1] Alhassid, Y., et al., *Parity dependence of nuclear level densities.* Physical review letters, 2000. **84**(19): p. 4313.

[۲] Rauscher, T., F.-K. Thielemann, and K.-L. Kratz, *Nuclear level density and the determination of thermonuclear rates for astrophysics* .Physical Review C, 1997. **56**(3): p. 1613.

[۳] Bethe, H., *An attempt to calculate the number of energy levels of a heavy nucleus.* Physical Review, 1936. **50**(4): p. 332.

[٤] Gilbert, A. and A. Cameron, *A composite nuclear-level density formula with shell corrections.* Canadian Journal of Physics, 1965. **43**(8): p. 1446-1496.

[٥] Iljinov, A., et al., *Phenomenological statistical analysis of level densities, decay widths and lifetimes of excited nuclei.* Nuclear Physics A, 1992. **543**(3): p. 517-557.

[٦] Wile, J., et al ,.*Temperatures, energies, and degree of thermal equilibration of fragments in damped nuclear reactions.* Physical Review C, 1987. **35**(4): p. 1608.
[٧] Ericson, T., *The statistical model and nuclear level densities.* Advances in Physics, 1960. **9**(36): p. 425-5.١١
[٨] Blokhin, A. and A. Ignatyuk, *PARITY DISTRIBUTION OF STATES OF EXCITED NUCLEI.* SOVIET JOURNAL OF NUCLEAR PHYSICS-USSR, 1976. **23**(1): p. 31-33.
[٩] Grimes, S., *Problems in calculating parity ratios for nuclear level densities with the Fermi gas model* .Physical Review C, 1988. **38**(5): p. 2362.
[10] Nakada, H. and Y. Alhassid, *Total and parity-projected level densities of iron-region nuclei in the auxiliary fields monte carlo shell model.* Physical review letters, 1997. **79**(16): p. 2939.
[11] Lang, D., *Nucleon correlations and nuclear level densities.* Nuclear Physics, 1963. **42**: p. 353-366.
[12] Kargar, Z., *Pairing correlations and thermodynamical quantities in Mo 96, 97.* Physical Review C, 2007. **75**(6): p. 064319.
[13] Kargar, Z. and F. Mosaleh, *Thermal phase transition in 93− 98Mo nuclei.* Physica Scripta, 2011. **83**(3): p. 035201.
[14] Chakrabarty, D., et al., *Energy variation of nuclear level density in Pd 104 and Sn 114 in the excitation-energy region of 7 to 24 MeV.* Physical Review C, 1995. **51**(6): p. 2942.