

گذار فاز زوج شدگی نوکلئون‌ها در هسته‌های ^{89}Y و ^{208}Pb

روح اله رضوی نژاد^{۱*}، اعظم رحمتی نژاد^۲، طیب کاکاوند^۳، اصغر خوی^۱

^۱ گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

^۲ گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۳ گروه فیزیک، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، ایران

دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۰۴ ویرایش نهائی: ۱۳۹۵/۰۸/۱۷ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۳

چکیده

در این کار با بررسی چگالی ترازهای هسته‌ای و ظرفیت گرمایی هسته‌های ^{89}Y و ^{208}Pb به مطالعه گذار فاز سیستم نوکلئونی این هسته‌ها از حالت زوج شده به حالت گاز فرمی پرداخته‌ایم. به این منظور پارامترهای چگالی ترازهای هسته‌ای ^{89}Y و ^{208}Pb در مدل دمای ثابت، با استفاده از داده‌های تجربی گروه اسلو محاسبه شده و مقادیرهای به دست آمده در محاسبه سطح مقطع واکنش‌های هسته‌ای $^{208}\text{Pb}(n,el)$ ، $^{208}\text{Pb}(p,el)$ و $^{89}\text{Y}(n,el)$ و $^{89}\text{Y}(p,el)$ به کار رفته‌اند. با توجه به سازگاری خوب نتایج به دست آمده برای سطح مقطع واکنش‌های هسته‌ای با داده‌های تجربی مربوط به آن‌ها، رفتار دمای ثابت، که می‌تواند گواهی بر وجود گذار فاز زوج شدگی در سیستم نوکلئون‌های هسته باشد، تأیید می‌شود. همچنین ظرفیت گرمایی این هسته‌ها از چگالی ترازهای تجربی آن‌ها استخراج شده و اثر گذار فاز زوج شدگی نوکلئون‌ها در این کمیت ترمودینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

کلیدواژگان: زوج شدگی نوکلئون‌ها، گذار فاز هسته، چگالی ترازهای هسته‌ای، کمیت‌های ترمودینامیکی هسته

مقدمه

زوج شده در فلزهای ابررسانا معرفی شد و بعدها برای توصیف ویژگی‌های هسته‌ها نیز به کار رفت [۱، ۲]. ما در مطالعه‌های پیشین خود به بررسی زوج شدگی در هسته‌ها و به کارگیری مدل BCS برای آن‌ها پرداخته‌ایم [۳-۵]. یکی از کمیت‌هایی که زوج شدگی نوکلئون‌ها تأثیر زیادی بر آن دارد چگالی ترازهای هسته‌ای می‌باشد. این کمیت را می‌توان به صورت تعداد ترازهای هسته‌ای در یک انرژی مشخص تعریف نمود. با استفاده از چگالی ترازهای هسته‌ای می‌توان سطح مقطع واکنش‌های هسته‌ای و همچنین کمیت‌های ترمودینامیکی مربوط به هسته، از جمله دمای هسته، انرژی برانگیختگی، آنتروپی و ظرفیت گرمایی را

برهم کنش زوج شدگی ذره‌ها در سیستم‌های فرمیونی بس ذره‌ای، مانند الکترون‌ها در فلزهای ابررسانا، اهمیت بالایی در مطالعه رفتار این سیستم‌ها دارد. مشاهده ویژگی‌هایی مانند اختلاف جرم هسته‌های متوالی با عدد جرمی زوج و فرد، نشانه‌ای از اثر برهم کنش زوج شدگی بین نوکلئون‌های داخل هسته می‌باشد. در نظر گرفتن این اثر در مطالعه ساختار هسته‌ها و ویژگی‌های ترمودینامیکی آنها، به ویژه در انرژی‌های پایین، اهمیت بالایی دارد. مدل‌های میکروسکوپی مختلف برای مطالعه ویژگی‌های هسته‌ها با در نظر گرفتن برهم کنش زوج شدگی بین نوکلئون‌ها وجود دارند. از جمله این مدل‌ها، مدل BCS است که اولین بار برای الکترون‌های

* نویسنده مسئول: rrazavin@ihu.ac.ir

برحسب دما مورد بررسی قرار داده و نتیجه آن را با پیش‌بینی مدل دمای ثابت مقایسه نموده‌ایم.

تئوری و روش محاسبات

مطالعه ترازهای هسته‌ای در انرژی‌های پایین که داده‌های تجربی برای ترازهای هسته‌ای مجزا در دسترس می‌باشد، نشان می‌دهد که تعداد ترازهای مجزا در انرژی‌های برانگیختگی مختلف رفتار نمایی برحسب انرژی برانگیختگی دارد. این رفتار بعد از شکست زوج شدگی اولین زوج نوکلئون یعنی در انرژی $E = 2\Delta MeV$ اتفاق می‌افتد [۸]. Δ که معیاری است از قدرت زوج شدگی بین نوکلئون‌ها، گاف زوج شدگی نام دارد و معمولاً مقدار تقریبی $12A^{-1/2} MeV$ برای آن در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه دقیق‌تر این کمیت می‌توان از روش سه نقطه‌ای استفاده نمود [۹]. با توجه به رابطه بین تعداد ترازهای مجزا و انرژی برانگیختگی، فرمول زیر که قانون دمای ثابت نام دارد تعریف می‌شود [۱۰، ۱۱]:

$$N(E) = \exp\left(\frac{E - E_0}{T}\right) \quad 1$$

در رابطه بالا E_0 و T که به ترتیب جابه‌جایی انرژی و دمای هسته‌ای نامیده می‌شوند، برای سازگار کردن فرمول رابطه نمایی با داده‌های تجربی وارد شده‌اند. چگالی ترازهای هسته‌ای با استفاده از قانون دمای ثابت طبق رابطه زیر تعریف می‌شود [۱۱]:

$$\rho(E) = \frac{dN(E)}{dE} = \frac{1}{T} \exp\left(\frac{E - E_0}{T}\right) \quad 2$$

با داشتن داده‌های تجربی برای چگالی ترازهای هسته‌ای می‌توان پارامترهای E_0 و T را برای هر هسته تعیین نمود.

معمولاً در انرژی‌های بالاتر، از مدل نیمه تجربی دیگری به نام مدل گاز فرمی جابه‌جا شده (BSFGM) برای توصیف چگالی ترازهای هسته‌ای استفاده می‌شود.

محاسبه نمود. به‌تازگی گروه Oslo با روشی جدید به استخراج داده‌های تجربی چگالی ترازهای هسته‌ای پرداخته‌اند [۶، ۷]. بررسی چگالی ترازهای هسته‌ای تجربی هسته‌های ^{89}Y و ^{208}Pb ، نشانه‌هایی از گذار فاز سیستم نوکلئونی آن‌ها بین حالت‌های زوج شده و زوج نشده را نشان می‌دهد. چگالی ترازهای به دست آمده برای این هسته‌ها در انرژی‌های پایین رفتار دمای ثابت دارد. در این ناحیه انرژی، مدل دمای ثابت (CTM)، که یکی از مدل‌های ماکروسکوپیک نیمه تجربی برای محاسبه چگالی ترازها می‌باشد، تطبیق خوبی با داده‌های تجربی دارد. ثابت بودن دما با وجود افزایش انرژی در این هسته‌ها می‌تواند گواهی بر گذار فاز سیستم نوکلئونی آن‌ها باشد. به‌علاوه ظرفیت گرمایی به دست آمده با استفاده از چگالی ترازهای تجربی این هسته‌ها، در دمایی که دمای بحرانی نامیده می‌شود، رفتار اصطلاحاً S شکلی پیدا می‌کند. این رفتار گواه دیگری بر گذار فاز سیستم هسته است [۴]. در این کار ابتدا به معرفی مدل دمای ثابت و نحوه محاسبه کمیت‌های ترمودینامیکی با استفاده از چگالی ترازهای هسته‌ای پرداخته‌ایم. سپس مدل دمای ثابت را برای چگالی ترازهای هسته متوسط ^{89}Y و هسته سنگین ^{208}Pb مورد بررسی قرار داده و نتیجه آن را با داده‌های تجربی مقایسه نموده‌ایم. همچنین مقادیرهای به دست آمده در مدل دمای ثابت برای محاسبه سطح مقطع واکنش‌های هسته‌ای مربوط به این هسته‌ها به کار رفته است. با توجه به سازگاری خوب نتایج به دست آمده برای سطح مقطع واکنش‌های هسته‌ای با داده‌های تجربی مربوط به آن‌ها، رفتار دمای ثابت برای این هسته‌ها تأیید می‌شود. در نهایت ظرفیت گرمایی هسته‌های مورد بررسی را با استفاده از مقادیرهای تجربی مربوط به چگالی ترازها محاسبه کرده و به منظور بررسی اثر گذار فاز در این کمیت، تغییرات آن را

در رابطه بالا $P_T(E)$ احتمال این است که آنسامبل کانونی با انرژی E در دمای ثابت T باشد. این احتمال طبق رابطه زیر با استفاده از تابع پارش سیستم محاسبه می‌شود:

$$P_T(E) = \frac{\Omega(E_i) \exp(-\frac{E_i}{T})}{Z(T)} \quad ۷$$

ظرفیت گرمایی هسته با استفاده از انرژی برانگیختگی با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۴، ۴]:

$$C_v(T) = K_B \frac{\partial \langle E \rangle}{\partial T}, \quad ۸$$

که در آن K_B ثابت بولتزمن می‌باشد.

بحث و تفسیر نتایج

در این کار ابتدا دمای هسته‌ای و جابه‌جایی انرژی در مدل دمای ثابت با کمک برازش منحنی رابطه ۲ با داده‌های تجربی گروه اسلو برای هسته‌های ^{89}Y و ^{208}Pb ، با روش کمترین مربعات خطا، استخراج شده‌اند. این کار برای انرژی‌های بزرگتر از اولین شکست زوج‌شدگی نوکلئون‌ها ($E > 2\Delta\text{MeV}$) انجام شده است. مقدار انرژی اولین شکست زوج‌شدگی نوکلئون‌ها از روش سه نقطه‌ای برای هسته ^{89}Y و ^{208}Pb به ترتیب 2.79 MeV و 2.36 MeV به دست آمده است. نتیجه محاسبه پارامترهای مدل دمای ثابت در جدول ۱ آورده شده است. چگالی تراز به دست آمده برای این هسته‌ها در مدل دمای ثابت در شکل‌های ۱ و ۲ با داده‌های تجربی مربوط به آن‌ها مقایسه شده است. با توجه به این شکل‌ها هم‌خوانی خوبی بین نتایج به دست آمده و داده‌های تجربی مشاهده می‌شود.

فرض اصلی مدل گاز فرمی جابه‌جا شده این است که در سیستم هسته، نوکلئون‌ها در پتانسیل متوسط حاصل از مابقی سیستم و در ترازهایی با فاصله مساوی از هم واقع شده‌اند. رابطه زیر که به فرمول Bethe معروف است برای محاسبه چگالی ترازهای هسته‌ای در مدل گاز فرمی جابه‌جا شده به کار می‌رود [۱۳، ۱۲]:

$$\rho(E) = \frac{\text{Exp}(2\sqrt{a(E-E_1)})}{12\sqrt{2}\sigma^4\sqrt{a(E-E_1)^5}} \quad ۳$$

در رابطه بالا σ پارامتر قطع اسپین می‌باشد و رابطه‌های مختلفی برای بستگی آن به انرژی برانگیختگی تعریف شده است. رابطه زیر توسط گیلبرت و کامرون برای پارامتر قطع اسپین پیشنهاد شده است [۱۱]:

$$\sigma^2 = 0.0888A^{\frac{2}{3}}\sqrt{a(E-E_1)} \quad ۴$$

a و E_1 که به ترتیب پارامتر چگالی تراز و جابه‌جایی انرژی نام دارند، با برازش فرمول Bethe با داده‌های تجربی قابل محاسبه‌اند.

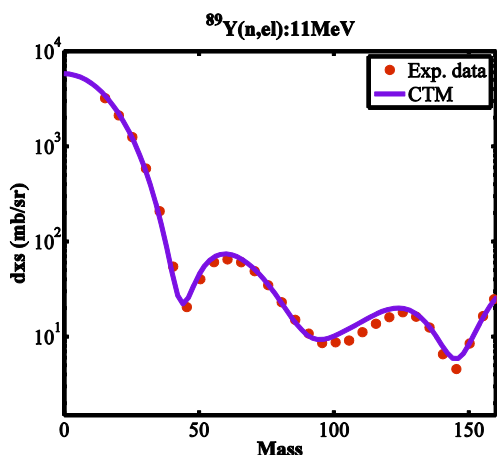
با استفاده از چگالی ترازهای هسته‌ای تجربی و با کمک روش‌های آماری می‌توان کمیت‌های ترمودینامیکی هسته را استخراج نمود. برای این کار معمولاً هسته به صورت یک آنسامبل کانونی در نظر گرفته می‌شود. تابع پارش سیستم نوکلئون‌های هسته طبق رابطه زیر با استفاده از چگالی ترازهای هسته در دمای T به دست می‌آید [۱۴، ۴]:

$$Z(T) = \sum_i \Omega(E_i) \exp(-\frac{E_i}{T}), \quad ۵$$

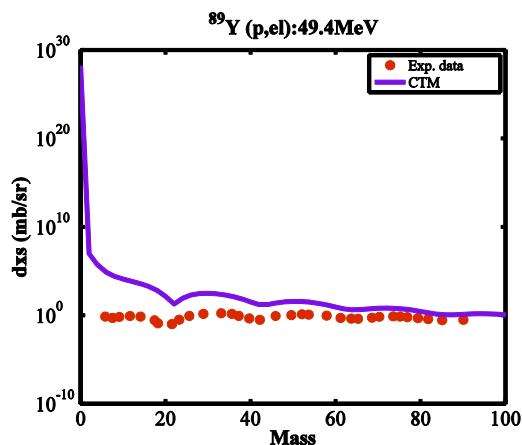
به طوری که $\Omega(E_i) = \frac{\rho}{\rho_0}$ و ρ_0 ثابت بهنجارش است. ρ_0 طوری انتخاب می‌شود که مقدار $\Omega(E)$ در حالت پایه ($T=0$) برابر با یک شود. انرژی برانگیختگی آنسامبل کانونی به صورت میانگین گرمایی محاسبه می‌شود:

$$\langle E \rangle = \int_0^\infty E P_T(E) dE \quad ۶$$

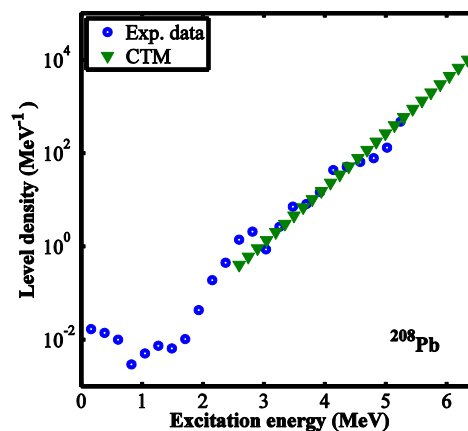
واکنش $^{208}\text{Pb}(p,el)$ در انرژی ۱۶ MeV به دست آمده‌اند. نتیجه به دست آمده برای این واکنش‌ها به ترتیب در شکل‌های ۳ تا ۶ برحسب انرژی برانگیختگی در کنار داده‌های تجربی رسم شده‌اند [۱۶-۱۹].



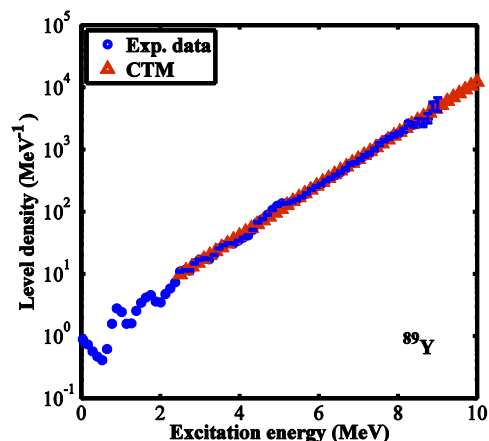
شکل ۳. سطح مقطع واکنش $^{89}\text{Y}(n,el)$ در انرژی ۱۱ MeV، محاسبه شده در مدل دمای ثابت در مقایسه با داده‌های تجربی واکنش [۱۶].



شکل ۴. سطح مقطع واکنش $^{89}\text{Y}(p,el)$ در انرژی ۴۹٫۴ MeV، محاسبه شده در مدل دمای ثابت در مقایسه با داده‌های تجربی واکنش [۱۷].



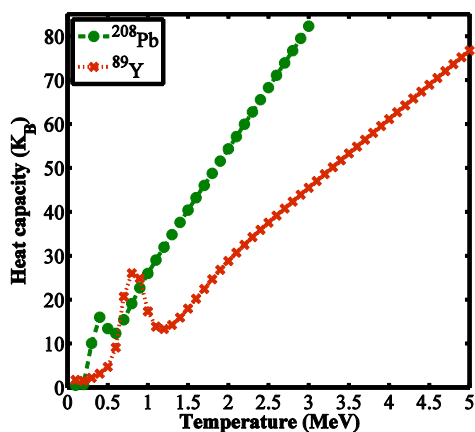
شکل ۱. نمودار چگالی ترازهای هسته‌ای ^{208}Pb در مدل دمای ثابت، برحسب انرژی برانگیختگی، همراه با داده‌های تجربی مربوط به آن [۶].



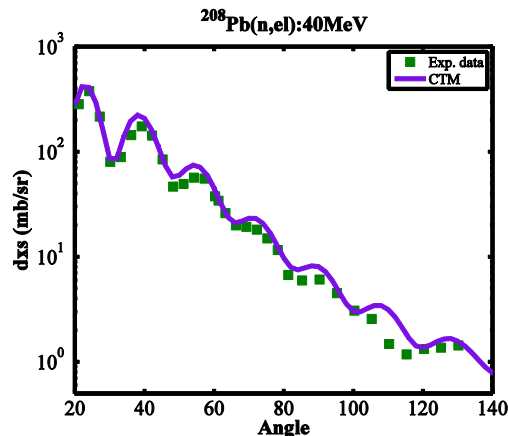
شکل ۲. نمودار چگالی ترازهای هسته‌ای ^{89}Y در مدل دمای ثابت، برحسب انرژی برانگیختگی، همراه با داده‌های تجربی مربوط به آن [۷].

یکی از کاربردهای چگالی ترازهای هسته‌ای استفاده از آن‌ها برای محاسبه سطح مقطع واکنش‌های هسته‌ای مختلف است. در این کار برای محاسبه سطح مقطع واکنش‌ها از کد کامپیوتری TALYS-1.6 استفاده شده است. TALYS یک برنامه قابل اطمینان برای محاسبه سطح مقطع واکنش‌های هسته‌ای است [۱۵]. پارامترهای به دست آمده در مدل دمای ثابت هسته‌های ^{89}Y و ^{208}Pb به‌عنوان ورودی به کد TALYS-1.6 داده شده‌اند و سطح مقطع واکنش $^{89}\text{Y}(n,el)$ در انرژی ۱۱ MeV، واکنش $^{89}\text{Y}(p,el)$ در انرژی ۴۹٫۴ MeV، واکنش $^{208}\text{Pb}(n,el)$ در انرژی ۴۰ MeV و

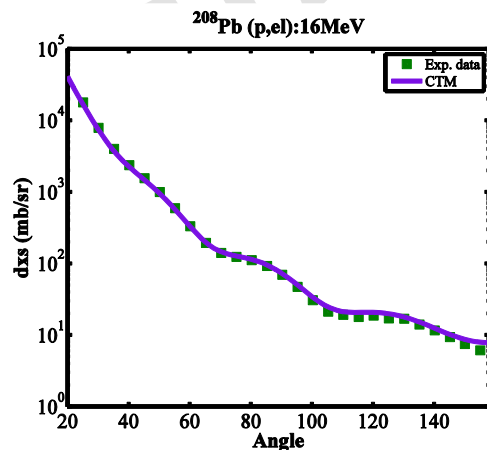
دماهای پایین است. ظرفیت گرمایی هسته‌های مورد مطالعه با استفاده از داده‌های تجربی و با کمک رابطه ۸ محاسبه شده است. برای انجام این محاسبه به مقدار چگالی ترازهای هسته‌ای در انرژی‌های بالاتر نیاز می‌باشد. با توجه به اینکه داده‌های تجربی چگالی ترازها محدود است از مدل گاز فرمی جابه‌جا شده، که مدل بسیار موفق‌تری در توصیف چگالی ترازها به‌ویژه در انرژی‌ها بالا می‌باشد، استفاده شده است. پارامترهای استفاده شده در فرمول Bethe که با استفاده از داده‌های تجربی چگالی ترازهای هسته‌ای به‌دست آمده‌اند در جدول ۱ آورده شده‌اند. نتیجه محاسبه ظرفیت گرمایی هسته‌های ^{208}Pb و ^{89}Y در شکل ۷ برحسب دمای هسته نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۷ رفتار S- شکل برای هر دو هسته مشاهده می‌شود. دمایی که در آن رفتار S- شکل مشاهده می‌شود در واقع دمای بحرانی گذار فاز هسته می‌باشد.



شکل ۷. ظرفیت گرمایی هسته‌های ^{208}Pb و ^{89}Y برحسب دمای هسته که از داده‌های تجربی چگالی ترازهای هسته‌ای استخراج شده‌اند. رفتار S- شکل منحنی ظرفیت گرمایی گواهی بر وجود گذار فاز زوج‌شدگی در این هسته‌ها می‌باشد.



شکل ۵. سطح مقطع واکنش $^{208}\text{Pb}(n,el)$ در انرژی ۴۰ MeV، محاسبه شده در مدل دمای ثابت در مقایسه با داده‌های تجربی واکنش [۱۸].



شکل ۶. سطح مقطع واکنش $^{208}\text{Pb}(p,el)$ در انرژی ۱۶ MeV محاسبه شده در مدل دمای ثابت در مقایسه با داده‌های تجربی واکنش [۱۹].

بررسی شکل‌های ۳ تا ۶ نشان می‌دهد مدل دمای ثابت در توصیف سطح مقطع واکنش‌ها موفق است و این تأییدی بر رفتار دمای ثابت برای هسته‌های مورد مطالعه است. رفتار دمای ثابت در هسته به گذار فاز سیستم نکلئون‌های هسته از حالت زوج شده به حالت زوج نشده نسبت داده می‌شود. دمایی که در آن گذار فاز رخ می‌دهد دمای بحرانی نامیده می‌شود. دمای ثابت هسته در واقع دمای بحرانی گذار فاز هسته است. در ادامه به بررسی اثر گذار فاز در ظرفیت گرمایی هسته‌های ^{89}Y و ^{208}Pb پرداخته‌ایم. یکی دیگر از نشانه‌های گذار فاز در هسته‌ها، رفتار S- شکل ظرفیت گرمایی آن‌ها در

جدول ۱. پارامترهای چگالی ترازهای هسته‌های ^{89}Y و ^{208}Pb در مدل دمای ثابت و گاز فرمی جابه‌جا شده که با استفاده از داده‌های تجربی مربوط به هسته‌ها [۶،۷] استخراج و در محاسبه کمیت‌های ترمودینامیکی و سطح مقطع واکنش‌های هسته‌ای استفاده شده‌اند.

پارامترها هسته‌ها	a [MeV ⁻¹]	E ₁ [MeV]	T [MeV]	E ₀ [MeV]
^{89}Y	۷,۸۲۴	۱,۲۸۵	۱,۰۵۲	۰,۰۴۵
^{208}Pb	۱۳,۹۶۱	۳,۰۵۳	۰,۳۷۰	۳,۳۰۰

مرجع‌ها

[1]. J. Bardeen, L.N. Cooper, J.R. Schrieffer, Theory of superconductivity, *Physical Review* **108** (1957) 1175.

[2]. A. Bohr, B.R. Mottelson, D. Pines, Possible analogy between the excitation spectra of nuclei and those of the superconducting metallic state *Physical Review* **110** (1958) 936.

[3]. R. Razavi, Role of neutrons and protons in entropy, spin cut off parameters and moments of inertia, *Physical Review C* **88** (2013) 014316.

[4]. A. Rahmatinejad, R. Razavi, T. Kakavand, Thermal quantities of ^{46}Ti , *Nuclear Physics A* **939** (2015)46.

[5]. A. Rahmatinejad, R. Razavi, T. Kakavand, Role of neutron and proton system in spin cut off parameter and entropy of $^{89,90}\text{Y}$, *Nuclear Physics A* **941** (2015)145.

[6]. N.U.H. Syed M. Guttormsen, F. Ingebretsen, A.C. Larsen, T. Lönnroth, J. Rekstad, A. Schiller, S. Siem, A. Voinov, Level density and γ -decay properties of closed shell Pb nuclei, *Physical Review C* **79** (2009)024316.

[7]. M. Guttormsen, A.C. Larsen, F.L. Bello Garrote, Y. Byun, T.K. Eriksen, F. Giacoppo, A. Gørgen, T.W. Hagen, M. Klintefjord, H.T. Nyhus, T. Renstrøm, S.J. Rose, E. Sahin, S. Siem, T. Tornyi, G.M. Tveten, A. Voinov, Shell-gap-reduced level densities in $^{89,90}\text{Y}$, *Physical Review C* **90** (2014) 044309.

با مقایسه دمای بحرانی تعیین شده از بررسی رفتار ظرفیت گرمایی هسته‌ها و دمای ثابت به دست آمده در مدل دمای ثابت، همخوانی خوبی بین آن‌ها مشاهده می‌شود. به عبارتی رفتار S-شکل ظرفیت گرمایی این هسته‌ها در دمایی که تقریباً با دمای ثابت به دست آمده در مدل دمای ثابت برابر است، تأییدی بر وجود گذار فاز بین حالت‌های زوج شده و زوج نشده سیستم نوکلئونی در این هسته‌هاست.

نتیجه‌گیری

در این کار اثر گذار فاز زوج شدگی سیستم نوکلئونی هسته‌های ^{89}Y و ^{208}Pb را در چگالی ترازهای هسته‌ای و ظرفیت گرمایی آن‌ها مورد بررسی قرار دادیم. با توجه به موفقیت مدل دمای ثابت در توصیف چگالی ترازهای هسته‌ای و همچنین سطح مقطع واکنش‌های هسته‌ای مربوط به هسته‌های مورد بررسی در انرژی‌های پایین، رفتار دمای ثابت و در نتیجه گذار فاز در این هسته‌ها پیش‌بینی می‌شود. مشاهده رفتار S-شکل ظرفیت گرمایی به دست آمده از داده‌های تجربی مربوط به این هسته‌ها در ناحیه دمایی مشابه با دمای ثابت به دست آمده از چگالی ترازهای هسته‌ای، پیش‌بینی گذار فاز زوج شدگی را در این هسته‌ها تأیید می‌کند.

dependence of the nucleon optical potential, *Physical Review C* **85** (2012) 024619.

[19]. R. Varner, A parameterization of the nucleon-nucleus Optical Model potential, *Physics Reports* **201** (1991) 57.

[8]. L.G. Moretto, A.C. Larsen, F. Giacoppo, M. Guttormsen, S. Siem, A.V. Voinov, Observation of a first-order pairing phase transition in atomic nuclei, *arXiv:1406.2642 [nucl-th]* (2014).

[9]. P. Möller, J.R. Nix, Nuclear pairing model, *Nuclear Physics A* **536** (1992) 20.

[10]. A.J. Koning, S. Hilaire, S. Goriely, Global and local level density models, *Nuclear Physics A* **810** (2008) 13–76.

[11]. A. Gilbert, A.G.W. Cameron, A Composite Nuclear Level Density Formula with Shell Corrections, *Canadian Journal of Physics* **43** (1965) 1446.

[12]. T. von Egidy, H.H. Schmidt, A.N. Behkami, Nuclear level densities and level spacing distributions, *Nuclear Physics A* **481** (1988) 189.

[13]. H.A. Bethe, An Attempt to Calculate the Number of Energy Levels of a Heavy Nucleus, *Physical Review* **50** (1936) 332.

[14]. A. Schiller, A. Bjerne, M. Guttormsen, M. Hjorth-Jensen, F. Ingelbretsen, E. Melby, S. Messelt, J. Rekstad, S. Siem, and S. W. Ødegård, Critical temperature for quenching of pair correlations, *Physical Review C* **63** (2001) 021306.

[15]. *RIPL-3 Handbook for calculation of nuclear reaction*; available at <http://www-nds.iaea.org/RIPL-3/> (2009).

[16]. S. Mellema, J.S. Petler, R.W. Finlay, F. S. Dietrich, J. A. Carr, and F. Petrovich, Microscopic distorted-wave approximation study of low-energy nucleon scattering from ^{89}Y , *Physical Review C* **36** (1987) 577.

[17]. G.S. Mania, D.T. Jonesa, D. Jacquesa, Elastic scattering of 50 MeV Protons by Nuclei in the range from ^{42}Ca to ^{208}Pb , *Nuclear Physics A* **165** (1971) 384.

[18]. R.P. Devito, D.T. Khoa, S.M. Austin, U.E.P. Berg, B.M. Loc, Neutron scattering from ^{208}Pb at 30.4 and 40.0 MeV and isospin

Pairing phase transition of nucleons in ^{89}Y and ^{208}Pb

Rohallah Razavi^{*},¹, Azam Rahmatinejad², Tayeb Kakavand³, Asghar Khooy¹

¹Department of Physics, Faculty of Science, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran

²Department of Physics, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³Department of Physics, Faculty of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Received: 24.01.2016 Final revised: 07.11.2016 Accepted: 23.11.2016

Abstract

In this paper, we have studied the phase transition of nucleons, between a paired phase and a Fermi gas state, in ^{89}Y and ^{208}Pb nuclei. In order to conduct this study, the nuclear level density parameters of ^{89}Y and ^{208}Pb nuclei in the constant temperature model were extracted by the using of experimental data from Oslo group. The extracted results were used in the calculation of the cross sections of $^{208}\text{Pb}(n,\text{el})$, $^{208}\text{Pb}(p,\text{el})$, $^{89}\text{Y}(n,\text{el})$ and $^{89}\text{Y}(p,\text{el})$ nuclear reactions. According to the good agreement between the extracted results and corresponding experimental values for the cross sections, a constant temperature behavior, which can be interpreted as an evidence for the pairing phase transition, is confirmed for the nuclei. In addition, heat capacity of ^{89}Y and ^{208}Pb nuclei has been extracted from the experimental level densities and the effect of pairing phase transition of nucleons is studied within this thermodynamic quantity.

Keywords: Nucleonic pairing, Nuclear phase transition, Nuclear level density, Thermodynamic quantities of nuclei

* Corresponding Author: rrazavin@ihu.ac.ir