بررسی ساختار داخلی ایزوتوپ‌های $^{160,161,162}Dy$ و محاسبه سطح مقطع واکنش $^{161}Dy(N,\gamma)^{162}Dy$

اعظم رحمتی‌نژاد[۱]، فریبا طاهری[۱]، روح اله رضوی نژاد[۲]، طیب کاکاوند[۱]

[۱]دانشگاه زنجان، دانشکده علوم، گروه فیزیک

[۲]دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، دانشکده علوم،گروه فیزیک

چکیده:

چگالی ترازهای هسته‌ای و آنتروپی ایزوتوپ‌های $^{160,161,162}Dy$ در دو مدل هسته‌ای دمای ثابت (CTM) و گاز فرمی جابه‌جاشده (BSFGM) استخراج شده‌اند. همچنین رفتار دمای هسته‌ای ایزوتوپ‌ها به صورت تابعی از انرژی برانگیختگی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت با استفاده از چگالی ترازهای هسته‌ای محاسبه شده، تابع برانگیختگی هسته ^{161}Dy در واکنش $^{161}Dy(N,\gamma)^{162}Dy$ به‌دست آمده و با داده‌های تجربی مقایسه شده است.

سطح مقطع واکنش‌های هسته‌ای و کمیت‌های ترمودینامیکی مربوط به هسته با استفاده از مدل‌های آماری پیش‌بینی می‌شوند. محاسبه چگالی تراز دقیق و مناسب از اهمیت بالایی در این راستا برخوردار است [۱]. دو مدل هسته‌ای دمای ثابت و گاز فرمی جابه‌جا شده از پرکاربردترین مدل‌های ماکروسکوپیک هسته‌ای می‌باشند.

دمای هسته‌ای T با استفاده از چگالی ترازهای هسته‌ای ρ(E)، طبق رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود [۲]:

$$\frac{1}{T} = \frac{d}{dE} ln\, \rho(E) \qquad (۱)$$

انتگرال‌گیری از رابطه‌ی بالا فرمول گاز فرمی در دمای ثابت را به‌دست می‌دهد [۳]:

$$\rho(E) = \frac{1}{T}\, Exp(\frac{E - E_0}{T}) \qquad (۲)$$

دمای هسته‌ای T و جابه‌جایی انرژی E_0 پارامترهای آزاد هستند. این پارامترها با استفاده از داده‌های تجربی مربوط به چگالی ترازها قابل محاسبه‌اند.

فرمول Bethe برای مدل گاز فرمی جابه‌جا شده طبق رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود [٤,٥]:

$$\rho(E) = \frac{Exp(2\sqrt{a(E - E_1)})}{12\sqrt{2}\sigma\sqrt[4]{a\,(E - E_1)^5}} \qquad (۳)$$

در رابطه‌ی بالا σ پارامتر قطع اسپین نام دارد و با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود [٦]:

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

a پارامتر چگالی تراز و E_1 جابه‌جایی انرژی نام دارد. این پارامترها با برازش فرمول Bethe و داده‌های تجربی محاسبه می‌شوند.

آنتروپی با استفاده از چگالی ترازهای هسته‌ای طبق رابطه‌ی زیر برحسب انرژی برانگیختگی محاسبه می‌شود:

$$S = \ln \rho(E) \qquad (۵)$$

دمای هسته‌ای طبق رابطه زیر با استفاده از آنتروپی به‌دست می‌آید:

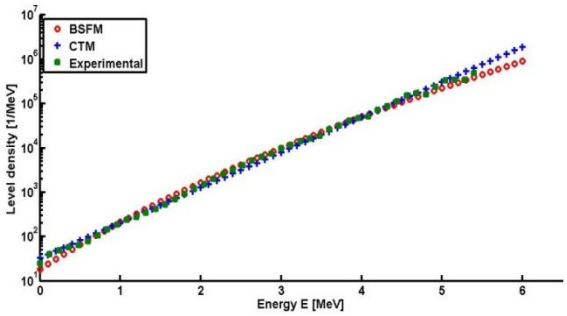
$$T(E) = (\frac{\partial s}{\partial E})^{-1} \qquad (۶)$$

در این کار ابتدا پارامترهای آزاد مدل‌های ماکروسکوپیک CTM و BSFGM را با برازش داده‌های تجربی مربوط به ایزوتوپ‌های $^{160,161,162}Dy$، با فرمول‌ها محاسبه نمودیم. برای این کار از نتایج تجربی کارهای اخیر گروه Oslo استفاده شده است [۷]. بهترین مقدارهای به‌دست آمده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول۱: پارامترهای آزاد فرمول‌های Bethe و دمای ثابت، محاسبه شده برای سه ایزوتوپ $^{160,161,162}Dy$

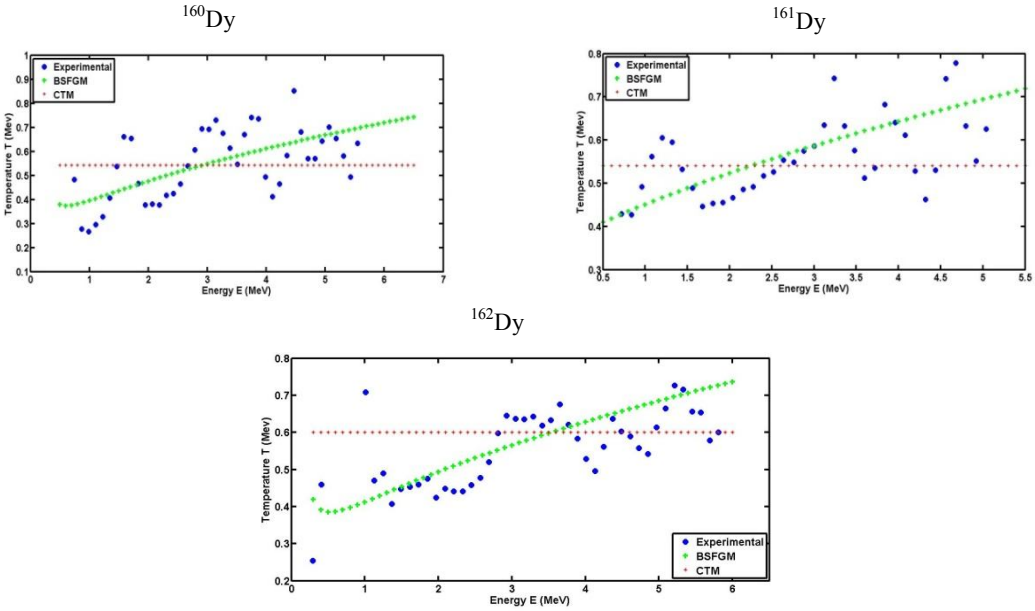
	پارامتر چگالی (a) [Mev^{-1}]	جابه‌جایی انرژی (E_1) [Mev]	دمای هسته‌ای (T) [Mev]	جابه‌جایی انرژی (E_0) [Mev]
^{160}Dy	۱۶.۰۱۶۹	۰.۰۵۰۴	۰.۵۴۴۲	−۰.۳۸۲۸
^{161}Dy	۱۶.۷۳۴۹	−۰.۷۹۲۲	۰.۵۴۶۵	−۱.۵۷۵۰
^{162}Dy	۱۵.۵۹۱۱	−۰.۰۵۲۸	۰.۵۷۳۲	−۰.۶۹۵۴

در شکل ۱ به عنوان نمونه، چگالی ترازهای هسته‌ای به‌دست آمده برای هسته ^{161}Dy با استفاده از پارامترهای جدول ۱، به همراه داده‌های تجربی مربوط به آن رسم شده است. با توجه به این نمودار توافق خوبی بین مقدارهای تجربی و هر دو رابطه‌ی تئوری BSFGM و CTM مشاهده می‌شود.



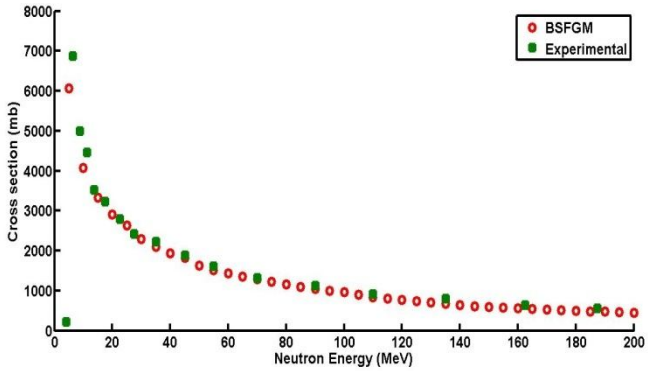
شکل۱: چگالی ترازهای هسته ^{161}Dy به صورت تابعی از انرژی برانگیختگی، در دو مدل CTM و BSFGM، همراه با داده‌های تجربی به دست آمده توسط گروه Oslo.

سپس با استفاده از چگالی ترازهای هسته‌ای به‌دست آمده، آنتروپی ایزوتوپ‌ها و با استفاده از آن دمای هسته‌ای آن‌ها محاسبه شده است. نتایج به صورت تابعی از انرژی برانگیختگی در شکل ۲ رسم و با داده‌های تجربی مربوط به آن مقایسه شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود در هر سه ایزوتوپ مدل BSFGM در توصیف رفتار دمای هسته‌ای موفق‌تر است.



شکل ۲: دمای هسته‌ای ایزوتوپ‌های $^{160,161,162}Dy$ به صورت تابعی از انرژی برانگیختگی.

در نهایت با استفاده از چگالی ترازهای به‌دست آمده با فرمول Bethe، تابع برانگیختگی هسته ^{161}Dy در واکنش ^{161}Dy(N,γ)^{162}Dy محاسبه شده است. در شکل ۳ نتیجه محاسبات با داده‌های تجربی مربوط به سطح مقطع این واکنش مقایسه شده است.



شکل ۳: تابع برانگیختگی هسته ^{161}Dy در واکنش ^{161}Dy(N,γ)^{162}Dy، محاسبه شده با پارامترهای به‌دست آمده با برازش داده‌های تجربی در مدل BSFGM، همراه با مقدارهای تجربی تابع برانگیختگی در این واکنش.

نتیجه‌گیری:

چگالی ترازهای هسته‌ای ایزوتوپ‌های ^{160,161,162}Dy با کمک داده‌های تجربی گروه Oslo طبق فرمول‌های گاز فرمی جابه‌جا شده (BSFGM) و گاز فرمی در دمای ثابت (CTM) محاسبه شده‌اند. با استفاده از نتایج محاسبات، آنتروپی ایزوتوپ‌ها و همچنین دمای هسته‌ای آن‌ها به‌دست آمده است. مقایسه نتایج به‌دست آمده در دو مدل با داده-های تجربی نشان می‌دهد که مدل گاز فرمی جابه‌جا شده در توصیف دمای هسته‌ای موفق‌تر از مدل دمای ثابت است. در نهایت با استفاده از چگالی ترازهای هسته‌ای به‌دست آمده با فرمول Bethe تابع برانگیختگی ^{161}Dy در واکنش ^{161}Dy(N,γ)^{162}Dy به‌دست آمده است. مقایسه نتایج با داده‌های تجربی نشان می‌دهد که چگالی ترازهای هسته‌ای محاسبه شده در این کار، تابع برانگیختگی را در توافق خوبی با داده‌های تجربی به‌دست می‌دهد.

مرجع‌ها:

1. Razavi, R., *phys. Rev. C.,* **88**, 014316 (2013).
2. Ericson, T., A Statistical Analysis of Excited Nuclear States, *Nucl. Phys*., **11**, 1, pp. 481-491 (1959).
3. Gilbert, A., Cameron, A. G. W., A Composite Nuclear-Level Density Formula with Shell Corrections, *Can. J. Phys*., **43**, 1, pp. 1446-1496 (1965).
4. Razavi, R., T. Kakavand, LEVEL STUDIES OF ^{93}Mo VIA ^{93}Nb(P, nγ) ^{93}Mo REACTION AND DENSITY OF DISCRETE LEVELS IN ^{93}Mo, *Nuclear Technology & Radiation protection*, **26** (1), 69 (2011).
5. Egidy, T. von, Schmidt, H. H., Behkami, A. N., Nuclear Level Densities and Level Spacing Distributions, Part II, *Nucl. Phys. A*, **481**, 2, pp. 189-206 (1988).
6. Ericson, T., *Nucl. Phys*., **11**, 481 (1959).
7. Nyhus, H. T. et al., *Phys. Rev. C*, **85**, 014323 (2012).