



## مطالعه تحول شکافت هسته $^{234}\text{Np}$ با در نظرگیری اثرات نیروهای اقلافی در چارچوب مدل آماری تصحیح شده کرامرز

هادی اسلامی زاده\*، سمانه زارعی

دانشگاه خلیج فارس بوشهر، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

### چکیده

در مقاله حاضر قصد داریم در چارچوب مدل آماری تصحیح شده کرامرز احتمال ورود به حالت‌های ایزومری هسته  $^{234}\text{Np}$  تولید شده در فرایند همجوشی  $p+^{238}\text{U}$  را در محدوده انرژی برانگیختگی  $E_p^{lab} = 9.75 - 12.5 \text{ MeV}$  بعد از خروج دو نوترون را برآورد نماییم. نشان دهیم که چسبندگی ماده هسته ای نقش بسیار موثری روی احتمال ورود به حالت‌های ایزومری دارد و همچنین نشان خواهیم داد که مقدار چسبندگی ماده هسته ای  $\text{Np}$  طی انتقال به نقطه زینی و نقطه قطع برابر  $\beta = 2.5 \times 10^{21} \text{ s}^{-1}$  می باشد.

واژه های کلیدی: شکافت، چسبندگی ماده هسته ای، شکافت پذیری

### مقدمه:

چسبندگی ماده هسته ای پارامتری است که تاثیر بسیار مهمی بر نحوه تحول فرایند شکافت هسته های سنگین برانگیخته دارد، که از آن جمله میتوان تاثیر بر تعداد ذرات خروجی قبل از فرایند شکافت، زمان شکافت، احتمال شکافت، احتمال ورود به حالت‌های ایزومری و... را برشمرد. در این مقاله قصد داریم در چارچوب مدل آماری تصحیح شده کرامرز تاثیر چسبندگی ماده هسته ای را بر روی احتمال ورود به حالت‌های ایزومری (حالت‌هایی در کف چاه دوم سد شکافت) را بررسی نماییم.

در چارچوب مدل بوهر- ویلر [۱] پهنای واپاشی یک هسته که در حالت تعادل ترمودینامیکی می باشد را میتوان بر حسب رابطه زیر برآورد نمود

$$\Gamma = \frac{\hbar}{t} = \frac{N_{T_s}}{2\pi\rho_{g_s}}, \quad (1)$$



که  $N_{T_s}$  تعداد ترازهای انتقال در نقطه زینی و  $\rho_{gs}$  چگالی حالتها در چاه پتانسیل می باشد. چگالی حالتها در نقطه زینی یا در چاه پتانسیل را میتوان بر حسب مدل گاز فرمی بشکل زیر برآورد نمود

$$\rho(U) \propto \exp(2\sqrt{a(q)U}), \quad (2)$$

$a(q)$  پارامتر چگالی تراز گاز فرمی و  $U$  انرژی برانگیختگی گرمایی هسته می باشد که بشکل زیر تعریف می گردد

$$U(q) = a(q)T^2, \quad (3)$$

که  $T$  دمای هسته می باشد.

در چارچوب مدل بوهر- ویلر پهنای شکافت یک هسته را می توان بر حسب رابطه زیر برآورد نمود

$$\Gamma_f^{BW} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\rho_{gs}(E)} \int_0^{E-B_f} \rho_{sp}(E - B_f - \varepsilon) d\varepsilon, \quad (4)$$

$\rho_{sp}$  و  $\rho_{gs}$  معرف چگالی حالتها در چاه پتانسیل و نقطه زینی می باشند. شایان ذکر می باشد که رابطه بوهر- ویلر برای پهنای شکافت، اثر چسبندگی ماده هسته ای را در نظر نمی گیرد. اولین بار کرامرز [۲] رابطه بوهر- ویلر را بشکل زیر تصحیح نمود

$$\Gamma_f = (\sqrt{1+\gamma^2} - \gamma) \times \Gamma_f^{BW}, \quad (5)$$

که  $\gamma = \beta / 2\omega_{sp}$  ضریب چسبندگی ماده هسته ای و  $\omega_{sp}$  انحنا سد شکافت در نقطه زینی می باشد.

### روش کار:

در قدم اول جهت شبیه سازی تحول شکافت هسته در چارچوب مدل آماری تصحیح شده کرامرز ابتدا بایستی سد شکافت یا به تعبیر دیگر انرژی پتانسیل وابسته به تغییر شکل را تعیین نمود. برای این منظور می توان از مدل قطره ای استفاده نمود [۳]. شایان ذکر است که مدل قطره ای اثرات پوسته ای را در برآورد سد شکافت در نظر نمی گیرد. بطور کلی انرژی پتانسیل یک هسته در حال چرخش با اسپین  $I$  را میتوان از جمع انرژی پتانسیل در چارچوب مدل قطره ای  $V_d(r, I)$  و تصحیح پوسته ای  $\delta W$  بشکل زیر برآورد نمود

$$V(r, J, T) = V_{ld}(r, J) + \delta W(r) \times F(T), \quad (6)$$

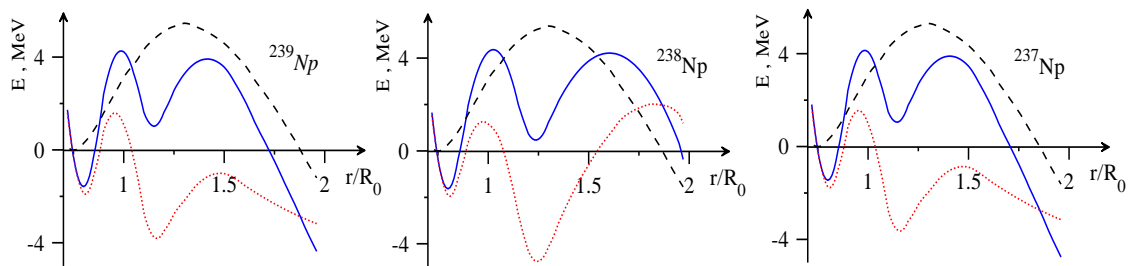
در تابع فوق،  $r$  فاصله بین مرکز جرم دو پاره که پاره های شکافت را بوجود خواهند آورد و  $F(T)$  تابع میرایی اثرات پوسته ای وابسته به دما که مطابق با [۴] بشکل زیر در نظر گرفته شد

$$F(T) = \left[ 1 + \exp\left(\frac{T - T_{cr}}{\Delta T}\right) \right]^{-1}, \quad (7)$$

مقادیر پارامترهای  $\Delta T$ ،  $T_{cr}$  بترتیب برابر  $1.75 \text{ MeV}$ ،  $0.2 \text{ MeV}$  انتخاب گردیدند.

برای محاسبه  $\delta W$  وابسته به تغییر شکل میتوان  $(V, J=0, T=0)$  را بر حسب اتصال چهار سهمی با در نظرگیری پارامترهای تجربی سد شکافت یعنی ارتفاع نقاط زینی، عمق چاه دوم و انحنا در کف چاهها و نقاط زینی تقریب زد و سپس بنا به رابطه (۶)،  $\delta(r)W$  را محاسبه نمود.

در شکل ۱ نتایج محاسبات سد پتانسیل با دو کوهان، سد پتانسیل بر حسب مدل قطره ای و تصحیحات پوسته ای برای  $^{239}\text{Np}$ ،  $^{238}\text{Np}$ ،  $^{237}\text{Np}$  بر حسب پارامتر  $R/r$  ارائه گردیده است.



شکل ۱- سد پتانسیل بر اساس مدل قطره ای - -، تصحیحات پوسته ای وابسته به تغییر شکل... و سد پتانسیل با دو کوهان - -  $R$ . شعاع اولیه هسته قبل از تغییر شکل می باشد.

در قدم دوم شبیه سازی تحول شکافت، بایستی امکان خروج ذرات سبک مانند نوترون، پروتون، آلفا، تابش گاما و امکان شکافت را بررسی نمود. که این را می توان بر حسب محاسبه پهنای خروج ذرات و پهنای شکافت استفاده از روش منت کارلو مشخص نمود.

در چارچوب این مدل جهت برآورد انرژی برانگیختگی قابل دسترس سیستم در چاهها و نقاط زینی می توان از رابطه زیر استفاده نمود

$$E_{\text{int}} = E^* - V(r, J, T) \quad (8)$$

که  $E^*$  انرژی برانگیختگی کل،  $P$  ممتنم سیستم،  $V$  انرژی پتانسیل وابسته به تغییر شکل و اسپین هسته، و  $E_{\text{rot}}$  انرژی چرخشی هسته می باشد. باید متذکر شد که انرژی برانگیختگی قابل دسترس سیستم بعد از خروج هر ذره می بایستی دوباره محاسبه گردد.

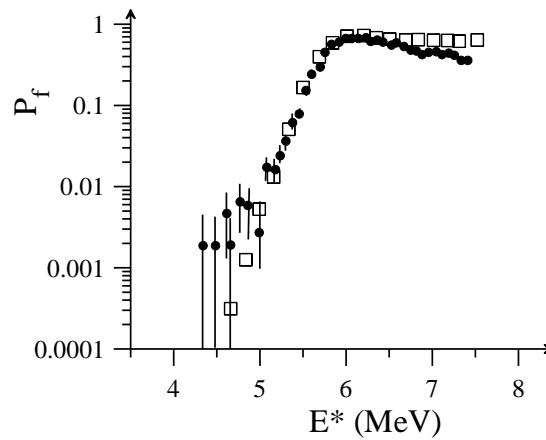
جهت شبیه سازی احتمال خروج ذرات سبک مانند نوترون، پروتون، آلفا و گاما احتیاج به محاسبه پهنای خروج نوترون، پروتون .... در هر مرحله از محاسبات می باشد. در محاسبات، پهنای خروج ذرات برحسب فرمالیزم هایزر فیشباخ [۵] محاسبه گردیدند

$$\Gamma_{\{C, J, E_c^*\} \rightarrow \{b, I_b\}} = \frac{1}{2\pi\rho_c^g(E_c^*, J)} \sum_{I_R} (2I_b + 1)(2I_R + 1) \int_{V_{\text{col}}}^{E_c^* - B_b} d\varepsilon_b \rho_R^g(E_c^* - B_b - \varepsilon_b, I_R) \times \sum_{S_b=|I_b-I_R|}^{I_b+I_R} \sum_{I_R=|J-S_b|}^{J+S_b} \tau_{I_b S_b}^J(b, \varepsilon_b) \quad (9)$$

در رابطه بالا  $\rho_c^g$  و  $\rho_R^g$  دانسیته حالتها در چاه پتانسیل برای هسته مرکب و هسته باقیمانده بعد از خروج ذره  $b$ ،  $I_b$  و  $I_R$  بترتیب اسپین ذره خروجی و هسته باقیمانده و  $\tau_{I_b S_b}^J$  ضرایب انتقال می باشند. برای محاسبه پهنای خروج تابش گاما، از رابطه [۶ و ۷] و برای محاسبه پهنای عبور از سد پتانسیل از رابطه (۵) استفاده گردیده شد.

### نتایج و بحث نتایج:

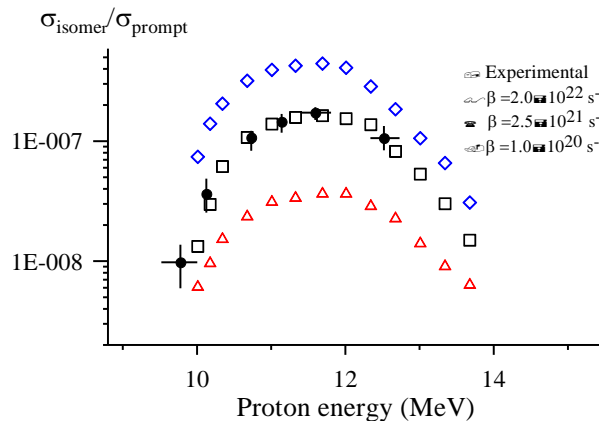
در شکل ۲ نتایج حاصل از محاسبات برای احتمال شکافت هسته  $^{239}\text{Np}$  وابسته به انرژی برانگیختگی با داده های تجربی [۸] مقایسه گردیده شده است.



شکل ۲- احتمال شکافت هسته  $^{239}\text{Np}$  وابسته به انرژی برانگیختگی. • - داده های تجربی [۸]

در شکل ۲ کاملاً مشهود است که با افزایش انرژی برانگیختگی احتمال شکافت به مقدار یک نزدیک می‌گردد. در چارچوب این مدل اگر هسته طی تحول شکافت با خروج ذراتی مانند نوترون، پروتون، آلفا یا تابش گاما در چاه پتانسیل دوم سرد گردد می‌تواند یکی از حالت‌های ایزومری را اشغال نماید. در شکل ۳ نتایج محاسبات برای احتمال ورود به حالت‌های ایزومری  $^{239}\text{Np}$  برحسب مقادیر مختلف چسبندگی با داده های تجربی [۹] مقایسه گردیده شده است.

شایان ذکر می‌باشد که در محاسبات انجام شده در این تحقیق پارامتر چسبندگی ماده هسته ای بعنوان یک پارامتر آزاد در نظر گرفته شده و بر حسب آن احتمال ورود به حالت‌های ایزومری هسته  $^{239}\text{Np}$  برآورد گردیده شد.



شکل ۳. احتمال ورود به حالت‌های ایزومری برحسب مقادیر مختلف چسبندگی ماده هسته ای. • - داده های تجربی [۸]

### بحث و نتیجه گیری:

در چارچوب مدل آماری تصحیح شده کرامرز با در نظر گیری اثرات نیروهای اتلافی، احتمال ورود به حالت‌های ایزمری  $^{237}\text{Np}$  با در نظر گیری مقادیر مختلف چسبندگی برآورد گردیده شد و نشان داده شد که مقدار مناسب برای چسبندگی ماده هسته ای Np معادل  $2.5 \times 10^{21} \text{ s}^{-1}$  می‌باشد.

### مرجع ها:

1. N. Bohr and J.A. Wheeler, The mechanism of nuclear fission, phys. Rev. ۵۳, ۴۲۶ (۱۹۳۹).
2. H. Kramers, Brownian motion in a field of force and the diffusion model of chemical reactions, Physicca, ۷, ۲۸۴ (۱۹۴۰).
3. W.D. Myers and W.H. Swiateci, Nuclear masses and deformations, Nucl. Phys. ۸۱, ۱ (۱۹۶۶).
4. - D.O. Eremenko et al., Fragment angular distribution as a probe of fission dynamics in nuclei with two classes of excited states, J. Phys. G : Nucl. Part. Phys. ۲۲, ۱۰۷۷ (۱۹۹۶).
5. W. Hauser, H. Feschbach, The inelastic scattering of neutrons, Phys. Rev. ۸۷, ۳۶۶ (۱۹۵۲).
6. J.R. Grover, J. Gilat, De-Excitation of Highly Excited Nuclei, Phys. Rev. ۱۵۷, ۸۰۲ (۱۹۶۷).
7. F.H. Ruddy, B.D. Pate, E.W. Vogt, Formation and decay of the compound nucleus  $^{237}\text{Ge(II)}$ . Calculation; competition between gamma ray and particle emission, Nucl. Phys. A ۱۲۷, ۳۲۳ (۱۹۶۹).
8. B.B. Back et al., Determination of the  $^{233}\text{Pa}(n,f)$  reaction cross section from ۰.۵ to ۱۰ MeV neutron energy using the transfer reaction  $^{233}\text{Th}(^3\text{He},p)^{233}\text{Pa}$ , Phys. Rev. ۱۰, ۱۹۴۸ (۱۹۷۴).
9. E. Migneco, G. Russo, R. De Leo and A. Pantaeo, Fission isomer of  $^{237\text{m}}\text{Np}$ , Phys. Rev. C ۱۶, ۱۹۱۹ (۱۹۷۷).