# توانايي مدل ديناميک – استاتيکي در تحليل شکافت هسته هاي سنگين برانگيخته

**اسلامی زاده محمد هادی**
گروه فیزیک دانشگاه خلیج فارس بوشهر-بوشهر-خیابان شهید ماهینی-دانشگاه خلیج فارس
*e-mail: m_eslamizadeh @ yahoo.com*

## چکیده

*درچارچوب مدل دینامیک استاتیکی نتایج تجربی احتمال شکافت برای تعدادی از ایزوتوپهای Pu ،احتمال ورود به حالتهای ایزومری $^{240}Pu$ به شکافت آنی و زمان شکافت برای واکنش $^{238}Pu + \alpha$ بازاء $E_\alpha = ۲۰ - ۳۰\ Mev$ آنالیز گردیدند، برحسب مدل فوق الذکر قصد داریم توانایی این مدل را در آنالیز برخی نتایج تجربی نشان دهیم.*

***واژه های کلیدی:*** *شکافت، اثرات پوسته‌ای، زمان شکافت، ایزومرهای شکلی، احتمال شکافت.*

### مقدمه

وجود چاه پتانسیل دوم در سد شکافت هسته‌های سنگین در موارد مختلفی از جمله شکافت حالتهای ایزومری،تشدیدهای شکافت گزارش شده است. وجودچاه پتانسیل دوم تاثیر موثری بر زمان شکافت ،تعداد ذرات سبک خروجی قبل از فرایند شکافت، توزیع زاویه ای پاره های شکافت و ... دارد.
جهت آنالیز نتایج تجربی می توان از مدل استاتیکی یا مدل دینامیکی استفاده کرد، استفاده ازمدل استاتیکی در مواردی با موفقیت ودر مواردی با شکست روبرو گردیده، بطور مثال آنالیز تعداد متوسط نوترونهای خروجی قبل از فرایندشکافت باتوجه به کوتاه بودن زمان شکافت که در چارچوب این مدل پیش بینی می‌گردد میسر نمی‌باشد واز طرفی استفاده از مدل دینامیکی هم با توجه به زمان طولانی محاسبات توسط کامپیوتر با مشکلاتی همراه می‌باشد، از این رو مناسب می‌باشد که از مدل دینامیک استاتیکی که منتجه از ترکیب مدل دینامیکی با مدل استاتیکی است، استفاده گردد.

### شرح مدل محاسباتی

در چارچوب مدل دینامیک استاتیکی[۱] انرژی پتانسیل یک هسته در حال چرخش با اسپین J را میتوان از جمع انرژی پتانسیل در چارچوب مدل قطره‌ای $V_{ld}(r,J)$ [۲] و تصحیح پوسته‌ای $\delta W$ محاسبه کرد

$$\Gamma_b = \frac{\cdot}{2\pi\rho_A(E^*;J)} \sum_{I_B} (2I_b+1)(2I_B+1) \times \int_{V_{coul}}^{\infty} d\varepsilon_b \rho_B(E^* - B_b - \varepsilon_b; I_B) \times \sum_{S_b=|I_b-I_B|}^{I_b+I_B} \sum_{l_b=|J-S_b|}^{J+S_b} T^J_{l_b S_b}(b,\varepsilon_b) \quad (3)$$

پهنای خروج تابش گاما، با رابطه [6,7]

$$\Gamma_\gamma = \frac{1}{2\pi\rho(E^*,J)} \sum_{I_B=|J-1|}^{J+1} \int_0^{E^*} d\varepsilon\, \xi \times \rho(E^* - \varepsilon, I_B)\varepsilon^3 \quad (4)$$

پهنای عبور از سد اول و دوم پتانسیل با رابطه بوهر اویلر [8]، با در نظر گیری تصحیح کرامرز [9]

$$\Gamma_f = c_{kram} \frac{1}{2\pi\rho(E^*,J)} \int_{-B_f}^{E^*-B_f} d\varepsilon \times \frac{\rho_{sad}(E^* - B_f - \varepsilon, J)}{1+e^{-2\pi\varepsilon/(\hbar\omega_{sad})}} \quad (5)$$

وجهت محاسبه دانسیته حالت‌های هسته از رابطه اگنیتوک[10]با در نظر گیری اثرات چرخشی و ارتعاشی استفاده گردیدند.

$$\rho(E,J) = K_{rot}K_{vib}\rho_{\text{int}}(E,J) \quad (6)$$

در چارچوب مدل دینامیک استاتیکی محاسبات در چاه پتانسیل اول مبتنی برمدل استاتیکی، وبنا به روش منت کارلو رویداد خروج ذرات یا عبور از سد پتانسیل اول تعیین می‌گردد، و در صورت رویداد عبور از سد پتانسیل اول، محاسبات در چاه پتانسیل دوم در چارچوب مدل دینامیکی ادامه می‌یابد.

جهت شبیه سازی تحول هسته در چارچوب مدل دینامیکی می‌توان از سیستم معالادت لانژوین استفاده [11] کرد

$$\frac{dr}{dt} = \frac{p}{m(r)}$$

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{1}{2}\left[\frac{p}{m(r)}\right]^2 \frac{dm(r)}{dr} - \frac{dV}{dr} - \beta(r)p + f(t) \quad (7)$$

$$\Gamma_b = \frac{1}{2\pi\rho_A(E^*;J)} \sum_{I_B} (2I_b+1)(2I_B+1) \times \int_{V_{coul}}^{E_c^*-B_b} d\varepsilon_b \rho_B(E^*-B_b-\varepsilon_b;I_B)$$
$$\times \sum_{S_b=|I_b-I_B|}^{I_b+I_B} \sum_{l_b=|J-S_b|}^{J+S_b} T_{l_b S_b}^{J}(b,\varepsilon_b) \qquad (3)$$

پهنای خروج تابش گاما، با رابطه [6,7]

$$\Gamma_\gamma = \frac{1}{2\pi\rho(E^*,J)} \sum_{I_B=|J-1|}^{J+1} \int_0^{E^*} d\varepsilon\,\xi \times \rho(E^*-\varepsilon,I_B)\varepsilon^3 \qquad (4)$$

پهنای عبور از سد اول و دوم پتانسیل با رابطه بوهر اویلر [8]، با در نظر گیری تصحیح کرامرز [9]

$$\Gamma_f = c_{kram} \frac{1}{2\pi\rho(E^*,J)} \int_{-B_f}^{E^*-B_f} d\varepsilon \times \frac{\rho_{sad}(E^*-B_f-\varepsilon,J)}{1+e^{-2\pi\varepsilon/(\hbar\omega_{sad})}} \qquad (5)$$

وجهت محاسبه دانسیته حالت‌های هسته از رابطه اگنیتوک[10]با در نظر گیری اثرات چرخشی و ارتعاشی استفاده گردیدند.

$$\rho(E,J) = K_{rot}K_{vib}\rho_{\text{int}}(E,J) \qquad (6)$$

در چارچوب مدل دینامیک استاتیکی محاسبات در چاه پتانسیل اول مبتنی برمدل استاتیکی، وبنا به روش منت کارلو رویداد خروج ذرات یا عبور از سد پتانسیل اول تعیین می‌گردد، و در صورت رویداد عبور از سد پتانسیل اول، محاسبات در چاه پتانسیل دوم در چارچوب مدل دینامیکی ادامه می‌یابد.

جهت شبیه سازی تحول هسته در چارچوب مدل دینامیکی می‌توان از سیستم معالادت لانژوین استفاده [11] کرد

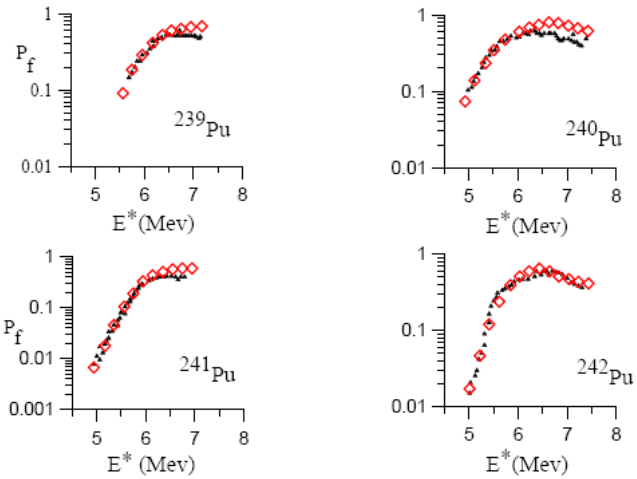
$$\frac{dr}{dt} = \frac{p}{m(r)}$$
$$\frac{dp}{dt} = -\frac{1}{2}\left[\frac{p}{m(r)}\right]^2 \frac{dm(r)}{dr} - \frac{dV}{dr} - \beta(r)p + f(t) \qquad (7)$$

در رابطه بالا r مختصه جمعی، p ممنتم خطی، m(r) پارامترایرسی وابسته به تغییر شکل، V انـرژی پتانسـیل، β(r) ویسکوزیته و f(t) نیروی اتفاقی می‌باشد وبگونـه‌ای تعریـف مـی‌گـردد کـه دارای فـرم گوسـین بـوده و $\langle f(t)\rangle = 0$.

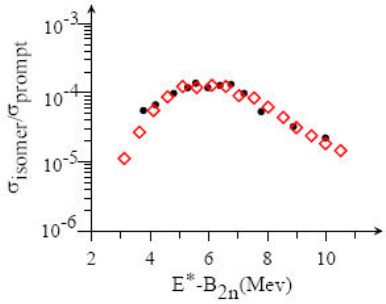
طی شبیه سازی تحول هسته در چارچوب مدل دینامیکی چندین امکان بـرای مسـیر لانـژوین میتـوان انتظـار داشت ۱- رسیدن به نقطه جدایی که دراین صورت می‌توان هسته را شـکافته شـده پنداشـت ۲-خـروج ذرات سبک وته نشین شدن در چاه پتانسیل دوم و ورود به حالتهای ایزومری ۳- برگشت به چاه پتانسیل اول، که در مورد آخر کل محاسبات بایستی مجددا تکرار گردد.

## آنالیز دادههای تجربی

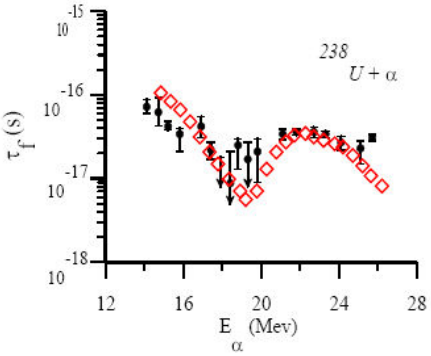
برحسب آنالیز نتایج شکافت پـذیری $^{۲۴۲}$pu، $^{۲۴۱}$pu ، $^{۲۴۰}$pu ، $^{۲۳۹}$pu، احتمـال ورود بـه حالتهـای ایزومـری $^{۲۴۰}$pu، وزمان شکافت واکنش $^{۲۳۸}$U + α بازاء $E_\alpha$ = ۲۰ - ۳۰ Mev می‌توان پارامترهـای سـد شـکافت را بـرای ایزوتوپهای $^{۲۴۲}$pu، $^{۲۴۱}$pu ، $^{۲۴۰}$pu ، $^{۲۳۹}$pu تعیین کرد، بطوریکه بر حسب برازش نتایج تجربی شکافت پذیری با نتایج محاسبات، ارتفاع و انحناء سد اول، واز برازش نتایج تجربی با نتایج محاسبات احتمال ورود به حالتهای ایزومری $^{۲۴۰}$Pu به شکافت آنی و زمان شکافت برای واکنش $^{۲۳۸}$U + α بـازاء $E_\alpha$ = ۲۰ - ۳۰ Mev مـی‌تـوان عمق چاه دوم وارتفاع وانحنا سد دوم را تعیین کرد، در شکلهای ۲،۳،۴ نتایج برازش نتـایج تجربـی بـا نتـایج محاسبات ارئه گردیده است.




شکل2:احتمال شکافت هسته های $^{۲۴۲}$pu ، $^{۲۴۱}$pu ، $^{۲۴۰}$pu ، $^{۲۳۹}$pu بر حسب انرژی برانگیختگی ▲- داده هـای تجربی [12]،◊ – نتایج محاسبات.




شکل3:سطح مقطع تشکیل ایزمرهای شکلی $^{۲۳۰}$Pu به سطح مقطع شکافت آنی برحسب $E^*-B_{2n}$، $B_{2n}$ مجموع انرژی بستگی دو نوترون خروجی از $^{۲۳۲}$Pu تشکیل شده در واکنش $^{۲۳۸}$U + α قبل از ورود به حالتهای ایزومری $^{۲۳۰}$Pu، ●–داده های تجربی[۱۲]،◊- نتایج محاسبات.




شکل۴:زمان شکافت هسته مرکب حاصله از واکنش $^{۲۳۸}$U + α برحسب انرژی ذره α، ●–داده های تجربی [13]،◊- نتایج محاسبات.

درجدول ۱ نتایج پارامترهای سد شکافت تعدادی ازایزوتوپهای پلوتونیم که در چارچوب مدل دینامیک استاتیکی محاسبه گردیده‌اند ارائه گردیده و نتایج با نتایج سیستماتیک (*) مقایسه گردیده است.

جدول ۱: مقایسه پارامترهای محاسبه شده سد شکافت $^{242}$pu ، $^{241}$pu ، $^{240}$pu ، $^{239}$pu با پارامترهای سیستماتیک[۴]

| Nucleus | $B_A$ (Mev) | $\hbar\omega_A$ (Mev) | $B_B$ (Mev) | $\hbar\omega_B$ (Mev) | $E_{II}$ (Mev) |
|---|---|---|---|---|---|
| $^{242}$Pu | 5.63 (5.60±0.20)* | 0.90 (1.04)* | 5.15 (5.10±0.20)* | 0.45 (0.60)* | 2.00 (-)* |
| $^{241}$Pu | 6.00 (6.10±0.20)* | 0.84 (0.80)* | 5.10 (5.40±0.20)* | 0.60 (0.52)* | 1.75 (1.90±0.20)* |
| $^{240}$Pu | 5.60 (5.30±0.20)* | 1.00 (1.04)* | 5.00 (5.10±0.20)* | 0.80 (0.60)* | 2.00 (2.40±0.20)* |
| $^{239}$Pu | 6.15 (6.20±0.20)* | 0.86 (0.80)* | 5.50 (5.50±0.20)* | 0.52 (0.52)* | 2.20 (2.60±0.20)* |

## بحث ونتیجه گیری:

در مقاله ارائه شده تحول شکافت تعدادی ازایزوتوپهای پلوتونیم با درنظرگیری اثرات اتلافی و وابستیگی دمایی سد پتانسیل در چارچوب مدل دینامیک- استاتیکی مورد بررسی قرار گرفتند، و بر حسب آنالیز داده های تجربی زمان شکافت، شکافت پذیری و احتمال ورود به حالتهای ایزومری $^{239}$Pu پارامترهای سد شکافت تعدادی از ایزوتوپهای پلوتونیم تعیین گردیدند. لازم به ذکر است که پارامترهای سد شکافت که سابقاً آنالیز گردیده اند مبتنی بر مدل استاتیکی و بدون در نظرگیری اثرات جنبشی هسته بوده است ونشان داده شد که عمق چاه دوم پتانسیل اندکی کوچکتر از مقادیر آنالیز شده در چارچوب مدل اساتیکی می‌باشد.

## مراجع:

1.Frobrich,I,I.Gontchar, and N.D.Mavlitov,Nucl.phys.A556,281(1993).
2.Myiers W.D.,Swiatecki W.J.Average nuclear properties//ANN.Phys.1969.v.55.P 395-505.
3.Yuminov O.A.et al.//Nuclear Instruments and Methods in Physics research B.2000v.165.P. 960-964.
4.Bjornholm S.,Lynn J.E The double- hummped fission barrier.//.Review of Modern Physics .1980.V.52.p.725-931.
5.W.Hauser,H.Feschbach,Phys.Rev.87 (1952)366.
6.J.R.Grover,Gilat,Phys.Rev.157(1967)802,814,823
7.F.H.Ruddy,B.D.Pate,E.W.Vogt,Nucl.Phys.A 127(1969)323.
8.N.Bohr,J.A.Wheeler,Phys.Rev.56 (1939)426.
9.H. Kramers,PhysiccaVII(4)(1940)284
10.A.V.Ignatyuk,K.Istekov,and G.n.Smirenkin,Sov.J.Nucl.Phys.29,450 (1979).
11.T.Wada,Y.Abe,and N.Garjan,Phys.Rev.Lett.70,35-38(1993).
12.Britt B.C.et al.//Phys.Rev.c.1971.v.4.p.1444.
13.Grusha O.V.et al.//Nucl.Phys.A.1984,v. 429.p.313.