

نشریه تابش و فناوری هسته‌ای، سال دوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴

شبیه سازی تحول شکافت هسته برانگیخته ^{207}At تولید شده در فرایند همجوشی $^{19}\text{F} + ^{188}\text{Os}$ در چارچوب مدل آماری اصلاح شده

هادی اسلامی زاده^{۱*}، مهسا پیرپور^۲

^۱دانشیار، گروه فیزیک، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، بوشهر، ایران

^۲کارشناس ارشد فیزیک، گروه فیزیک، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، بوشهر، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۱۹ - تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۳/۱۰)

چکیده

در تحقیق حاضر قصد داریم در چارچوب مدل آماری اصلاح شده و در نظر گیری تاثیر دما و اثر مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته، k فرایند شکافت هسته برانگیخته ^{207}At خلق شده در فرایند همجوشی $^{19}\text{F} + ^{188}\text{Os}$ را شبیه سازی نمائیم. و با محاسبه و برآزش داده های محاسباتی با داده های تجربی سطح مقطع شکافت و ناهمسانگردی پاره های شکافت، اطلاعاتی پیرامون ضریب دما، α ، و ضریب تصحیح ارتفاع سد شکافت، r_B ، که در این مدل بعنوان پارامترهای آزاد در نظر گرفته می شوند، بدست آوریم. و نشان خواهیم داد که مقادیر مناسب این دو پارامتر برای هسته ^{207}At عبارتند از $\alpha = 0.0180 \pm 0.0005 \text{ MeV}^{-2}$ و $r_B = 1.0015 \pm 0.0025$. سپس برای نشان دادن توانایی این مدل در برآورد ویژگیهای مختلف فرایند شکافت، بطور نمونه اقدام به برآورد تعداد نوترونهای خروجی قبل از فرایند شکافت هسته برانگیخته ^{207}At با بکارگیری پارامترهای استخراج شده خواهیم نمود، و نشان خواهیم داد که نتایج استخراج شده بطور رضایت بخشی با داده های تجربی در توافق می باشند.

واژه های کلیدی: شکافت، سطح مقطع شکافت، کثرت نوترونهای خروجی قبل از فرایند شکافت

* بوشهر، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، کد پستی: ۷۵۱۶۹۱۳۸۱۷

پست الکترونیکی: m.eslamizadeh@yahoo.com

۱. مقدمه

مدل آماری استاندارد [۱]، یکی از مدل‌هایی است که سابقاً جهت شبیه سازی و مطالعه تحول شکافت هسته های برانگیخته مورد استفاده متخصصین فیزیک هسته ای قرار گرفته است. لیکن در مواردی مشخص گردیده، که نتایج حاصل از بررسی بعضی از جنبه های شکافت در چارچوب این مدل با نتایج کارهای تجربی مغایرت دارد. به طور مثال برآورد این مدل برای زمان شکافت و تعداد نوترون های خروجی قبل از فرآیند شکافت در انرژیهای متوسط و زیاد، کمتر از زمان شکافت و تعداد نوترون های خروجی تعیین شده در کارهای تجربی می باشد. بنابراین تغییر یا تصحیح این مدل ضروری به نظر می رسیده است.

اولین بار کرامرز تاثیر چسبندگی ماده هسته ای را روی تحول شکافت هسته های برانگیخته برای برآورد پهنای شکافت [۲] در نظر گرفت و مدل آماری استاندارد را تصحیح نمود. سپس برخی از متخصصین فیزیک هسته ای در کدهای مختلف آماری [۳-۸] جهت شبیه سازی فرایند شکافت هسته های برانگیخته و باز تولید نمودن داده های تجربی، کمیت‌هایی را بعنوان پارامترهای آزاد در محاسبات در نظر گرفته اند، که از آنجمله میتوان به نسبت پارامترهای چگالی تراز a_f/a_n و ضریب تصحیح ارتفاع سد شکافت f_B اشاره نمود [۳-۸]. با این حال، شبیه سازی فرایند شکافت، در این کدها، به دلیل عدم در نظر گیری تاثیر دما و اثر مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته در برآورد سد شکافت بخوبی امکان پذیر نگردیده است. شایان ذکر می باشد که از نظر فیزیکی نیز استفاده از پارامترهای آزاد فوق الذکر خالی از اشکال نمی باشد، چرا که طی استفاده از این پارامترها در محاسبات انحنا

سد شکافت در نقاط زینی و حالت پایه و همچنین موقعیت و

ارتفاع این نقاط بطور صحیح تعیین نمی گردند [۹].

اخیراً مولفین مرجع [۹] با در نظر گیری تاثیر دما و تصویر بردار اسپین در امتداد محور تقارن هسته در برآورد سد شکافت و در نظر گیری دو پارامتر آزاد دیگر که فاقد اشکالات فوق الذکر می باشند، موفق به ارائه مدل آماری اصلاح شده جدیدی گردیده، و نشان داده اند که در چارچوب این مدل بخوبی میتوان فرایند شکافت هسته های برانگیخته تولید شده در فرایندهای همجوشی را شبیه سازی نمود. پارامترهای آزادی که این مولفین در محاسبات وارد نمودن عبارتند از ضریب دما، α ، و ضریب تصحیح ارتفاع سد شکافت، f_B . در محاسبات پارامتر f_B بگونه ای در نظر گرفته می شود که انرژی کشش سطحی هسته و انرژی کولمبی که در برآورد سد شکافت بکار می روند بترتیب متناسب با مجذور این پارامتر و متناسب با عکس این پارامتر باشند. شایان ذکر می باشد که اگر $f_B > 1$ در نظر گرفته شود آنگاه انرژی کشش سطحی هسته افزایش یافته و انرژی کولمبی کاهش می یابد که در نهایت سبب افزایش ارتفاع سد شکافت می گردد، و بر عکس اگر $f_B < 1$ انتخاب گردد انرژی کشش سطحی هسته کاهش و انرژی کولمبی افزایش می یابد و در نهایت ارتفاع سد شکافت کاهش می یابد. همچنین بدیهی می باشد که انتخاب $f_B = 1$ هیچ تغییری در ارتفاع سد شکافت بوجود نمی آورد. همچنین بایستی متذکر شد که بکار گیری f_B این امتیاز را دارد که انحنا سد شکافت در نقاط زینی و حالت پایه و همچنین موقعیت و ارتفاع این نقاط بطور مناسبی تعیین می گردند [۹].

در مقاله حاضر قصد داریم فرایند شکافت هسته ^{207}At

تولید در فرایند همجوشی $^{19}\text{F} + ^{188}\text{Os}$ را در چارچوب مدل آماری اصلاح شده شبیه سازی نمائیم، و بر اساس برآزش

$$V(r, A, Z, J, K) = B_s(r)E_s^0(Z, A)(1 - \alpha T^2) + B_c(r)E_c^0(Z, A) + \frac{(J(J+1) - K^2)\hbar^2}{I_{\perp}(r)\frac{4}{5}MR_0^2 + 8Ma^2} + \frac{K^2\hbar^2}{I_{\parallel}(r)\frac{4}{5}MR_0^2 + 8Ma^2}, \quad (2)$$

که در رابطه بالا E_s^0 و E_c^0 انرژیهای کشش سطحی و کولمبی هسته در حالت کروی می باشند. $B_c(r)$ و $B_s(r)$ ضرایب وابسته به تغییر شکل هسته می باشند که برحسب آنها و انرژیهای وابسته به کشش سطحی و کولمبی هسته در حالت کروی می توان انرژیهای کشش سطحی و کولمبی وابسته به تغییر شکل هسته را برآورد نمود. M جرم کل هسته، α ضریب دما، $R_0 = 1.2249 A^{1/3}$ fm، $a = 0.6$ fm و I_{\perp} و I_{\parallel} بترتیب گشتاور لختی موازی محور تقارن و گشتاور لختی عمود بر محور تقارن می باشند. دو جمله آخر در رابطه (۲) مربوط به انرژی دورانی هسته می باشند، که بر حسب فاصله جدایی دو پاره که پاره های شکافت را بوجود خواهند آورد، r ، ارائه گردیده شده اند. شایان ذکر می باشد که کمیت‌های E_s^0 ، E_c^0 ، B_s ، B_c ، I_{\perp} و I_{\parallel} را میتوان براساس مراجع [۱۱، ۱۰] برآورد نمود. در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ نتایج محاسبات سد شکافت هسته ^{207}At بر حسب پارامتر بدون بعد r/R_0 (زاویه شعاع هسته در حالت کروی می باشد) و بازه ترکیبهای مختلف اسپین، دما و مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته ارائه گردیده شده اند، تا تاثیر اسپین و در نظر گیری دما و مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته را در برآورد سد شکافت نشان دهند.

از شکل‌های ۱ و ۲ کاملاً مشخص می باشد که در یک دما مشخص با افزایش اسپین هسته ارتفاع سد شکافت، B_f ، کاهش و بازه یک اسپین معین با افزایش تصویر بردار اسپین

داده های محاسباتی سطح مقطع شکافت و ناهمسانگردی پاره های شکافت با داده های تجربی مقادیر این پارامترها را برای هسته ^{207}At تعیین نمائیم. و سپس برای نشان دادن توانایی این مدل در برآورد ویژگیهای مختلف فرایند شکافت، بطور نمونه اقدام به برآورد تعداد نوترونهای خروجی قبل از فرایند شکافت هسته برانگیخته ^{207}At بر حسب پارامترهای استخراج شده نمائیم.

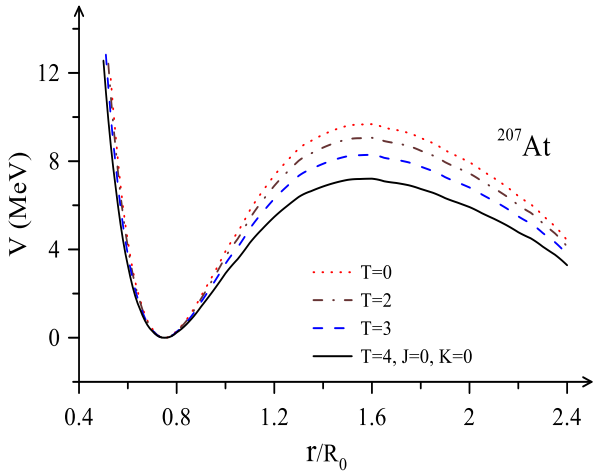
۲. روش تحقیق و تحلیل داده های تجربی:

در چارچوب مدل آماری اصلاح شده جهت شبیه سازی تحول شکافت هسته های برانگیخته ابتدا بایستی سد در مقابل شکافت یا به تعبیر دیگر انرژی پتانسیل وابسته به تغییر شکل را تعیین نمائیم. برای این منظور میتوان از مدل قطره ای استفاده نمود [۱]. شایان ذکر می باشد که مدل قطره ای، اثرات دما و تصویر بردار اسپین در امتداد محور تقارن هسته، K ، را در برآورد سد شکافت در نظر نمی گیرد. در چارچوب مدل قطره ای انرژی وابسته به تغییر شکل یک هسته با عدد جرمی A و عدد اتمی Z را میتوان از جمع انرژی کشش سطحی، انرژی کولمبی و انرژی دورانی هسته بشکل زیر برآورد نمود [۱].

$$V = E_s + E_c + E_r, \quad (1)$$

که E_s ، E_c و E_r بترتیب انرژیهای کشش سطحی، کولمبی و انرژی دورانی هسته می باشند.

به شکل نظری میتوان نشان داد [۹، ۱] که انرژی پتانسیل وابسته به تغییر شکل یک هسته با اسپین J و در نظر گیری تصویر بردار اسپین K و دمای T را می توان به شکل معادله ۲ ارائه نمود.



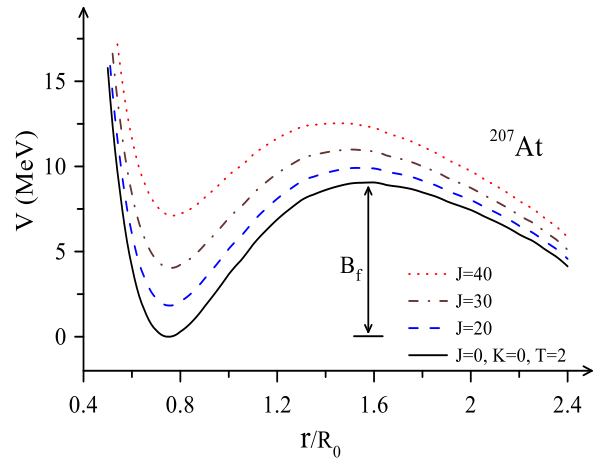
شکل ۳. سد شکافت هسته ^{207}At وابسته به پارامتر تغییر شکل r/R_0 ، بازاء مقادیر مختلف دما در اسپین $J = 0\hbar$ و $K = 0\hbar$

برحسب نتایج بدست آمده در برآورد سد شکافت ^{207}At می توان نتیجه گرفت که عدم در نظر گیری اثر دما و اثر مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته (حالت‌های $T=0$ و $K=0$) که در اکثر مدل‌های آماری فرض می گردد سبب بروز خطا در محاسبات و ارائه نتایج غلط می گردد، چرا که در نظر گیری این پارامترها شدیداً بر روی ارتفاع سد شکافت که نقش بسزایی در محاسبه کمیتهای دیگر دارد، تاثیر می گذارند. شایان ذکر می باشد، که تابع توزیع اسپین و همچنین تصویر آن بر روی محور تقارن یک هسته سنتز شده در فرایند همجوشی وابسته به انرژی پرتابه می باشد. برای برآورد تابع توزیع اسپین یک هسته سنتز شده می توان از رابطه زیر استفاده نمود [۱۲]

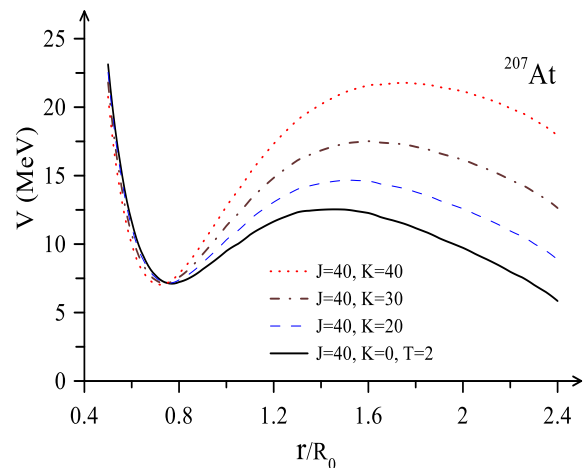
$$\frac{d\sigma(J)}{dJ} = \frac{2\pi}{k^2} \frac{2J+1}{1 + \exp\left(\frac{J - J_c}{\delta J}\right)}, \quad (3)$$

که J_c اسپین بحرانی و δJ پخشگی می باشد، که اینها را میتوان به شکل معادله ۴ برآورد نمود [۱۲].

ارتفاع سد شکافت افزایش می یابد. همچنین در شکل ۳ مشهود می باشد که با افزایش دما ارتفاع سد شکافت کاهش می یابد، به عبارت دیگر هسته ها در دماهای بالاتر سریعتر شکافته می گردند.



شکل ۱. سد شکافت هسته ^{207}At وابسته به پارامتر تغییر شکل r/R_0 ، بازاء مقادیر مختلف اسپین در دمای $T = 2\text{MeV}$ و $K = 0\hbar$.



شکل ۲. سد شکافت هسته ^{207}At وابسته به پارامتر تغییر شکل r/R_0 ، بازاء مقادیر مختلف تصویر بردار اسپین در امتداد محور تقارن هسته در دمای $T = 2\text{MeV}$ و اسپین $J = 40\hbar$.

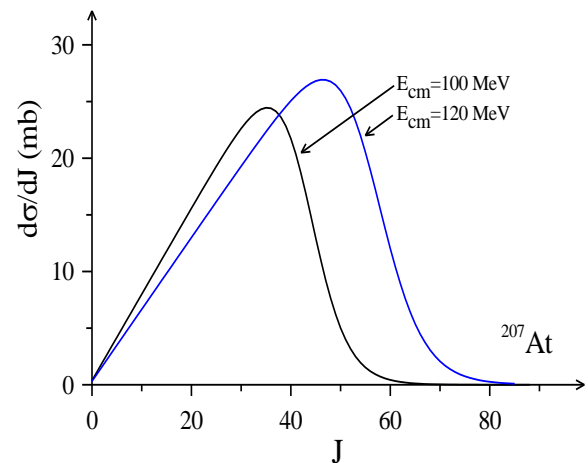
این کار را میتوان بر حسب محاسبه پهنای خروج ذرات و پهنای شکافت و استفاده از روش مونت کارلو انجام داد. با توجه به اینکه طی تحول هسته حین فرایند شکافت احتمال خروج ذراتی نظیر γ, α, p, n وجود دارد، لذا ابتدا بایستی در هر بازه کوچک زمانی Δt طی تحول شکافت مشخص گردد که آیا احتمال خروج ذره وجود دارد یا خیر. برای این منظور می توان با تعیین پهنای کل بر حسب پهنای جزعی خروج ذرات و پهنای شکافت، $\Gamma_{tot} = \Gamma_n + \Gamma_p + \Gamma_\alpha + \Gamma_\gamma + \Gamma_{fission}$ ، زمان مجاز واپاشی یعنی $\tau = \hbar / \Gamma_{total}$ را تعیین نمود، سپس از کامپیوتر خواسته شود که یک عدد اتفاقی بین ۰ و ۱ را انتخاب نماید، حال اگر عدد انتخابی کوچکتر از $\tau / \Delta t$ باشد احتمال خروج ذره یا احتمال شکافت هسته وجود دارد و در غیر اینصورت خیر، در حالتی که خروج ذره مجاز باشد بایستی نوع ذره مشخص گردد که این کار را می توان براساس روش مونت کارلو با در نظر گیری وزن نسبت $\Gamma_v / \Gamma_{total}$ که $v = n, p, \alpha, \gamma$ می باشد، انجام داد.

باید توجه داشت که بعد از خروج ذره، انرژی و اسپین سیستم بایستی برآورد گردد و مجدداً محاسبات از ابتدا تکرار گردد، تا زمانی که هسته انرژی برانگیختگی خود را از دست داده و سرد گردد و یا بسمت نقطه زینی رفته و شکافته شود. برای تعیین نوع ذره خروجی احتیاج به محاسبه پهنای خروج نوترون، Γ_n ، پروتون، Γ_p ، آلفا، Γ_α ، و پهنای گاما، Γ_γ می باشد. در محاسبات، پهنای خروج ذرات را می توان بر حسب رابطه ارائه شده در مرجع [۱۳] به شکل معادله ۶ برآورد نمود.

$$J_c = \sqrt{A_p A_T / A_{CN}} (A_p^{1/3} + A_T^{1/3}) \times (0.33 + 0.205 \sqrt{E_{c.m.} - V_c}), \quad (۴)$$

$$\delta J = \begin{cases} (A_p A_T)^{3/2} \times 10^{-5} [1.5 + 0.02(E_{c.m.} - V_c - 10)] \\ \text{for } E_{c.m.} > V_c + 10, \\ (A_p A_T)^{3/2} \times 10^{-5} [1.5 - 0.04(E_{c.m.} - V_c - 10)] \\ \text{for } E_{c.m.} < V_c + 10, \end{cases} \quad (۵)$$

در شکل ۴، بطور نمونه، تابع توزیع اسپین هسته ^{207}At خلق شده در فرایند همجوشی $^{19}\text{F} + ^{188}\text{Os}$ بازاء انرژیهای پرتابه ۱۰۰ و ۱۲۰ مگا الکترون ولت ارائه گردیده شده است.



شکل ۴. تابع توزیع اسپین هسته ^{207}At خلق شده در فرایند همجوشی $^{19}\text{F} + ^{188}\text{Os}$ بازاء انرژیهای پرتابه ۱۰۰ و ۱۲۰ مگا الکترون ولت.

در شکل ۴ مشهود می باشد که با افزایش انرژی پرتابه، احتمال تشکیل هسته مرکب با اسپین بزرگتر افزایش می یابد. در قدم دوم جهت شبیه سازی تحول شکافت هسته برانگیخته ^{207}At بایستی امکان خروج ذرات سبک مانند نوترون، پروتون، آلفا، تابش گاما و امکان شکافت را بررسی نماییم. که

که ε انرژی ذره گامای خروجی و تابع $f(\varepsilon)$ را نیز می توان بر حسب رابطه زیر ارائه نمود [۱۵]

$$f(\varepsilon) = \frac{4 e^2 (1+k) NZ}{3\pi \hbar c m c^2 A} \frac{\Gamma_G \varepsilon^4}{(\Gamma_G \varepsilon)^2 + (\varepsilon^2 - E_G^2)^2}, \quad (11)$$

که $k = 0.75$ و $\Gamma_G = 5 \text{ MeV}$, $E_G = 8.0 \text{ A}^{-1/3}$ می باشند [۱۵].

برای محاسبه پهنای شکافت یک هسته نیز میتوان از رابطه بوهر-ویلر [۱] با در نظر گیری تصحیح کرامرز [۲] استفاده نمود

$$\Gamma_f = (\sqrt{1+\gamma^2} - \gamma) \times \Gamma_f^{BW}, \quad (12)$$

در رابطه بالا $\gamma = \beta/2\omega_{sp}$ می باشد که β ضریب چسبندگی ماده هسته ای و ω_{sp} معرف انحنا سد شکافت در نقطه زینی می باشد. در چارچوب مدل بوهر-ویلر پهنای شکافت را می توان بر حسب رابطه زیر محاسبه نمود

$$\Gamma_f^{BW} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\rho_{gs}(E^*)} \int_0^{E^*-B_f} \rho_{sp}(E^* - B_f - \varepsilon) d\varepsilon \quad (13)$$

که B_f ارتفاع سد شکافت، ρ_{sp} و ρ_{gs} بترتیب چگالی حالت ها در نقطه زینی و حالت زمینه می باشند. لازم به ذکر می باشد که رابطه (۱۳) را در مواردی که ارتفاع سد شکافت کوچک باشد یا انرژی برانگیختگی خیلی بزرگ باشد (با توجه به اینکه دما در حالت زمینه و نقطه زینی تقریباً برابر می باشند) را میتوان بشکل زیر

$$\Gamma_f^{BW} = \frac{T}{2\pi} \exp(-B_f/T), \quad (14)$$

و در مواردی که ارتفاع سد شکافت بزرگ باشد و یا انرژی برانگیختگی سیستم کم باشد (با توجه به اینکه دما در حالت زمینه و نقطه زینی با همدیگر برابر نمی باشند) را میتوان بشکل معادله ۱۵ برآورد نمود [۹].

$$\Gamma_v = (2s_v + 1) \frac{m_v}{\pi^2 \hbar^2 \rho_c(E_{int.})} \times \int_0^{E_{int.}-B_v} d\varepsilon_v \rho_R(E_{int.} - B_v - \varepsilon_v) \varepsilon_v \sigma_{inv.}(\varepsilon_v), \quad (6)$$

که s_v اسپین ذره خروجی، m_v جرم ذره خروجی، B_v انرژی بستگی ذره خروجی، ρ_c و ρ_R به ترتیب دانسیته حالتها ی هسته مرکب و هسته باقیمانده بعد از خروج ذره می باشند. $E_{int.}$ انرژی گرمایی سیستم می باشد، که مقدار آنرا میتوان از رابطه $E_{int.} = E^* - V(r)$ تعیین نمود. در محاسبات برای محاسبه سطح مقطع معکوس، $\sigma_{inv.}$ می توان از رابطه ارائه شده در مرجع [۱۳] استفاده نمود

$$\sigma_{inv.}(\varepsilon_v) = \begin{cases} \pi R_v^2 (1 - V_v/\varepsilon_v) & \text{for } \varepsilon_v > V_v \\ 0 & \text{for } \varepsilon_v < V_v \end{cases}, \quad (7)$$

که در رابطه فوق

$$R_v = 1.21 [(A - A_v)^{1/3} + A_v^{1/3}] + (3.4/\varepsilon_v^{1/2}) \delta_{v,n}, \quad (8)$$

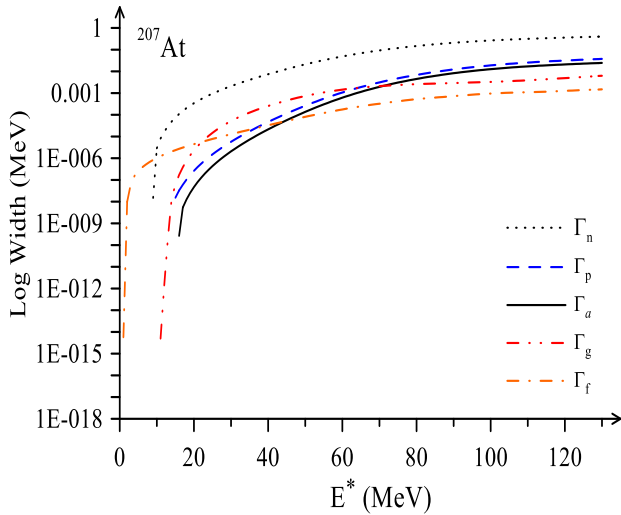
و A_v عدد جرمی ذره خروجی ($v = n, p, \alpha$) می باشد. سد کولمبی در مقابل ذرات باردار را نیز می توان بر حسب رابطه زیر برآورد نمود.

$$V_v = [(Z - Z_v) Z_v K_v] / (R_v + 1.6), \quad (9)$$

که برای پروتونها ضریب K_v برابر ۱.۱۵ و برای ذرات آلفا ۱.۳۲ می باشد [۱۳].

برای محاسبه پهنای تابش گاما نیز می توان از رابطه زیر استفاده نمود [۱۴]

$$\Gamma_\gamma \cong \frac{3}{\rho_c(E_{int.})} \int_0^{E_{int.}} d\varepsilon \rho_c(E_{int.} - \varepsilon) f(\varepsilon), \quad (10)$$



شکل ۵. پهناهای مختلف واپاشی برای ^{207}At بر حسب انرژی برانگیختگی.

در محاسبات جهت محاسبه سطح مقطع شکافت میتوان از رابطه زیر استفاده نمود

$$\sigma_{Fiss} = \sum_J \sigma_{Fus}(J) \frac{\Gamma_f}{\Gamma_{tot}}, \quad (18)$$

که سطح مقطع همجوشی کل، σ_{Fus} ، را میتوان از برهم‌نهی سطح مقطعهای جزعی بشکل زیر برآورد نمود

$$\sigma_{Fus} = \sum_J \frac{d\sigma_{Fus}(J)}{dJ}, \quad (19)$$

و همچنین در محاسبات جهت برآورد ناهمسانگردی پاره‌های شکافت میتوان از رابطه زیر استفاده نمود [۱۶].

$$A \approx 1 + \frac{\langle J^2 \rangle}{4K_0^2}, \quad (20)$$

که در آن K_0^2 ، وردایی توزیع گاوسی است و با رابطه زیر ارائه می‌گردد.

$$K_0^2 = \frac{T}{\hbar^2} \left[\frac{1}{I_{||}} - \frac{1}{I_{\perp}} \right], \quad (21)$$

$$\Gamma_f^{BW} = \frac{T_{sp}}{2\pi} \exp\left(\frac{-2B_f}{T_{gs} + T_{sp}}\right), \quad (15)$$

که در روابط بالا T_{sp} و T_{gs} بترتیب دما در حالت زمینه و نقطه زینی می‌باشند. شایان ذکر می‌باشد که رابط (۱۲) بازاء یک مقدار معین K ارائه گردیده شده و برای در نظر گیری اثر متوسط این کمیت در برآورد پهناهای شکافت میتوان از رابطه زیر استفاده نمود [۹].

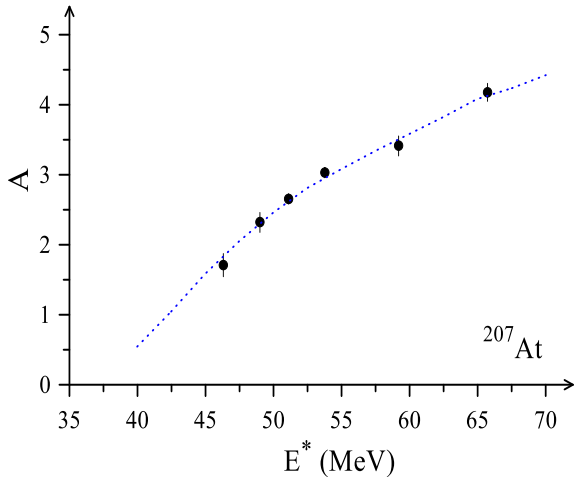
$$\Gamma_f = \frac{\sum_{K=-J}^J P(K) \Gamma_f(K)}{\sum_{K=-J}^J P(K)}, \quad (16)$$

در رابطه فوق $P(K)$ احتمال این میباشد که سیستم دارای مولفه اسپین K در امتداد محور تقارن هسته باشد، و مقدار آنرا می‌توان بر اساس رابطه زیر برآورد نمود:

$$P(K) = (T / \hbar \omega_{eq}) \exp(-V_{eq} / T), \quad (17)$$

که V_{eq} ارتفاع سد شکافت در حالت زمینه و ω_{eq} معرف انحنا در حالت زمینه می‌باشد.

در شکل ۵ نتایج مربوط به محاسبه پهناهای مختلف واپاشی ارائه گردیده شده است. از شکل ۵ مشهود می‌باشد که انرژی آستانه تابش گاما کمتر از انرژی آستانه خروج ذرات دیگر می‌باشد که این بواسطه انرژی بستگی کم فوتونها به هسته می‌باشد، و همچنین از شکل ۵ مشهود می‌باشد که احتمال خروج نوترون همواره بزرگتر از خروج ذرات باردار دیگر می‌باشد، که این بدلیل عدم وجود سد کولمبی در مقابل خروج ذرات نوترون می‌باشد.



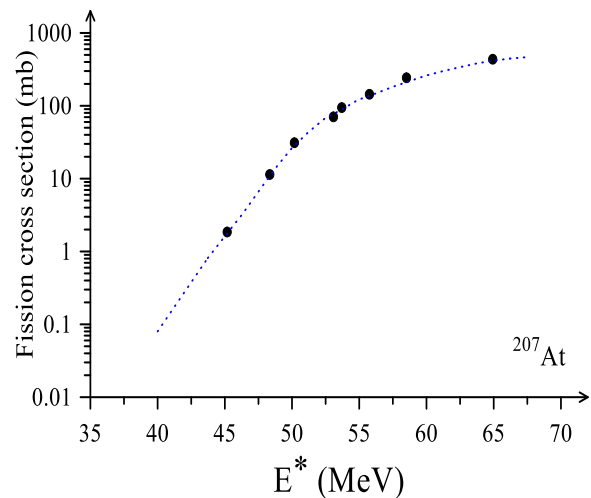
شکل ۷. ناهمسانگردی زاویه ای پاره های شکافت هسته ^{207}At بر حسب انرژی برانگیختگی. منحنی نقطه چین نتایج محاسبات در چارچوب مدل آماری اصلاح شده و دایره های تو پر داده های تجربی می باشند [۱۷].

مقادیر مناسب برای پارامترهای ضریب دما و ضریب تصحیح ارتفاع سد شکافت که جهت باز تولید داده های تجربی فوق الذکر بکار برده شده اند بترتیب عبارتند از $\alpha = 0.0180 \pm 0.0055 \text{ MeV}^{-2}$ و $\Gamma_B = 1.0015 \pm 0.0025$. در خاتمه جهت نشان دادن توانایی این مدل در برآورد ویژگیهای مختلف فرایند شکافت، بطور نمونه اقدام به برآورد تعداد نوترونهاى خروجی قبل از فرایند شکافت هسته برانگیخته ^{207}At بر حسب پارامترهای آزاد استخراج شده در قسمت قبل نموده ایم.

در شکل ۸ نتایج بدست آمده برای تعداد نوترونهاى خروجی قبل از فرایند شکافت هسته برانگیخته ^{207}At با داده های تجربی مقایسه گردیده شده است. از شکل ۸ مشهود می باشد که نتایج بدست آمده در چارچوب این مدل برای تعداد نوترونهاى خروجی هسته برانگیخته ^{207}At بطور رضایت بخشی با داده های تجربی در توافق می باشند.

در رابطه یاد شده I_{\perp} ، I_{\parallel} و T بترتیب گشتاور لختی موازی محور تقارن، گشتاور لختی در امتداد عمود بر محور تقارن و دمای هسته در نقطه زینی می باشد.

در شکل‌های ۶ و ۷ نتایج مربوط به سطح مقطع شکافت و ناهمسانگردی پاره های شکافت محاسبه شده در چارچوب مدل آماری اصلاح شده برای هسته ^{207}At با داده های تجربی مقایسه گردیده شده اند. شایان ذکر می باشد که در محاسبات انجام شده دو پارامتر ضریب دما، α ، و ضریب تصحیح ارتفاع سد شکافت، Γ_B ، بعنوان پارامترهای آزاد در نظر گرفته شده اند، و با تغییر توأم این دو پارامتر سعی به باز تولید همزمان داده های تجربی سطح مقطع شکافت و ناهمسانگردی پاره های شکافت برای هسته برانگیخته ^{207}At گردیده شده است.

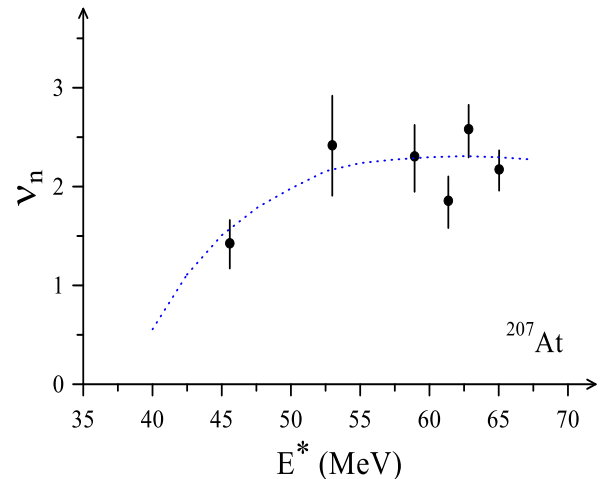


شکل ۶. سطح مقطع شکافت هسته ^{207}At بر حسب انرژی برانگیختگی. منحنی نقطه چین نتایج محاسبات در چارچوب مدل آماری اصلاح شده و دایره های تو پر داده های تجربی می باشند [۱۷].

بطور رضایت بخشی قادر باز تولید نوترونهای خروجی قبل از فرایند شکافت می باشد.

مراجع

- [1] N. Bohr and J. A. Wheeler, The mechanism of nuclear fission, *phys. Rev.* 53, 426-450, 1939.
- [2] H. Kramers, Brownian motion in a field of force and the diffusion model of chemical reactions, *Physica* 7, 284-304, 1940.
- [3] F. Pulnhofer, On the interpretation of evaporation residue mass distributions in heavy-ion induced fusion reactions, *Nucl. Phys. A* 280, 267-284, 1977.
- [4] M. Blann and T. A. Komoto, Hauser Feshbach codes for nuclei at high excitation and angular momenta, Lawrence Livermore National Laboratory Report No. UCID 19390, 1982.
- [5] M. Blann and J. Bisplinghoff, Code ALICE / LIVERMORE 82, Lawrence Livermore National Laboratory Report No. UCID 19614, 1982.
- [6] A. Gavron, Statistical model calculations in heavy ion reactions, *Phys. Rev. C* 21, 230-236, 1980.
- [7] H. Rossner, D. Hilscher, D. J. Hinde, B. Gebauer, M. Lehmann, M. Wilpert, and E. Mordhorst, Analysis of pre- and post-scission neutrons emitted in the reaction $^{169}\text{Tm}(^{36}\text{Ar}, f)$ at $E_{\text{lab}} = 205 \text{ MeV}$, *Phys. Rev. C* 40, 2629-2640, 1989.
- [8] J. P. Lestone et al., Pre-scission charged-particle multiplicities following the reactions $^{164,167,170}\text{Er}+^{28}\text{Si}$, *Nucl. Phys. A* 559, 277-316, 1993.
- [9] J. P. Lestone and S. G. McCalla, Statistical model of heavy-ion fusion-fission reactions, *Phys. Rev. C* 79, 044611-044634, 2009.
- [10] W. D. Myers and W. J. Swiateci, Nuclear masses and deformations, *Nucl. Phys.* 81, 1-60, 1966.
- [11] W. D. Myers and W. J. Swiateci, Anomalies in nuclear masses, *Ark. Fys.* 36, 343-352, 1967.
- [12] P. Fröbrich, I. I. Gontchar, Langevin description of fusion, deep-inelastic collisions and heavy-ion-induced fission, *Phys. Rep.* 292, 131-237, 1998.

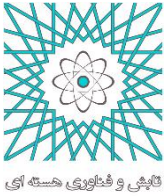


شکل ۸. تعداد نوترون های خروجی قبل از فرایند شکافت هسته ^{207}At بر حسب انرژی برانگیختگی. منحنی نقطه چین نتایج محاسبات در چارچوب مدل آماری اصلاح شده و دایره های توپر داده های تجربی می باشند [۱۸].

۳. نتیجه گیری:

در چارچوب مدل آماری اصلاح شده و در نظر گیری تاثیر دما و اثر مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته، فرایند شکافت هسته برانگیخته ^{207}At خلق شده در واکنش همجوشی $^{19}\text{F}+^{188}\text{Os}$ شبیه سازی گردیده شد. و بر حسب برآزش داده های محاسباتی سطح مقطع شکافت و ناهمسانگردی پاره های شکافت با داده های تجربی، مقادیر پارامترهای آزاد مدل یعنی ضریب دما و ضریب تصحیح ارتفاع سد شکافت تعیین گردیده شدند، و نشان داده شد که مقادیر مناسب این پارامترها عبارتند از $\Gamma_B = 1.0015 \pm 0.0025$ و $\alpha = 0.0180 \pm 0.0055 \text{ MeV}^{-2}$. سپس جهت نشان دادن توانایی این مدل جهت تعیین ویژگیهای دیگر فرایند شکافت، بطور نمونه تعداد نوترونهای خروجی وابسته به انرژی برانگیختگی برای هسته برانگیخته ^{207}At محاسبه گردیده شد. و نشان داده شد که این مدل

- energies. Proceedings International Conference on the peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 15, 408-418, 1958.
- [17] K. Mahata et al., Fusion of ^{19}F with $^{188,192}\text{Os}$, *Nucl. Phys. A* 720, 209-221, 2003.
- [18] K. Mahata, S. Kailas, S. S. Kapoor, Fission barriers and shell corrections at the saddle point for mass~200, *Prog. in part. And nucl. Phys.* 59, 305-307, 2007.
- [13] M. Blann, Decay of deformed and super deformed nuclei formed in heavy ion reactions, *Phys. Rev. C* 21, 1770-1782, 1980.
- [14] J. E. Lynn, The theory of neutron resonance reactions. Clarendon, *Oxford*, 1968.
- [15] V. G. Nedoresov, Yu. N. Ranyuk, Fotodelenie yader zagigantskim rezonansom, Kiev, Naukova Dumka, 1989 (in Russian).
- [16] I. Halpern, V. M. Strutinsky, Angular distributions in particle induced fission at medium



Simulation of fission process of the excited nuclei ^{207}At produced in fusion reactions $^{19}\text{F}+^{188}\text{Os}$ in the framework of the modified statistical model

H. Eslamizadeh^{1*}, M. Pirpour²

1. Associated Professor, Department of Physics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

2. M. Sc., Department of Physics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran

**Corresponding author's E-mail: m_eslamizadeh@yahoo.com*

(Received: 9/2/2015- Accepted: 1/6/2015)

ABSTRACT

In the present research, we want to simulate the fission process of the excited nucleus ^{207}At produced in fusion reaction $^{19}\text{F}+^{188}\text{Os}$ in the framework of the modified statistical model with considering the effects of projection of spin about the symmetry axis, K , and temperature. In our simulation, we calculate the fission cross section and anisotropy of the fission fragment angular distribution for ^{207}At and by fitting the calculated data with the experimental data extract the magnitude of the temperature coefficient of the effective potential, α , and the scaling factor of the fission-barrier height, r_B . Furthermore, we show that the appropriate values of these parameters for ^{207}At are $\alpha = 0.0180 \pm 0.0055 \text{ MeV}^{-2}$ and $r_B = 1.0015 \pm 0.0025$. Then, in order to show that the ability of this model to estimate another features of fission process, we calculate for example neutron multiplicity by using the extracted parameters for the excited nucleus ^{207}At . And also, we show that the calculated data for the neutron multiplicity for the excited nucleus ^{207}At are satisfactorily in agreement with the experimental data.

Keywords: *Fission, Fission cross section, Pre-scission neutron multiplicity*