

نشربه تابش وفناوري مسةاي

نشریه تابش و فناوری هسته ای، سال دوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹٤

شبیه سازی تحول شکافت هسته برانگیخته ²⁰⁷ At تولید شده در فرایند همجوشی ¹⁹F+¹⁸⁸Os در چارچوب مدل آماری اصلاح شده

هادى اسلامي زاده'*، مهسا پيرپور'

^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: ۱۳۹٤/۳/۱۰)

چکیدہ

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، لل فرایند شکافت هسته برانگیخته At ^{۲۰۷} خلق شده در فرایند همجوشی $R^{MO}+^{P+1}$ (ا 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_{0} ، 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 At ^{۲۰۷} عبارتند از ^{۲۰}کافت، علین شکافت، بطست آوریم. و نشان برآورد تعداد نوترونهای خروجی قبل از فرایند شکافت هسته برانگیخته At بند و یژگیهای مختلف فرایند شکافت، بطور نمونه اقدام به 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 فبل از فرایند شکافت

* بوشهر، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، کد پستی: ۷۵۱۶۹۱۳۸۱۷ پست الکترونیکی: <u>m_eslamizadeh@yahoo.com</u>

۱. مقدمه

مدل آماری استاندارد [۱]، یکی از مدلهایی است که سابقا 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 [۸–۳] 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 نجمله میتوان به نسبت پارامترهای چگالی تراز n / a_r و نحریب تصحیح ارتفاع سد شکافت f اشاره نمود [۸–۳]. با نیز 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 پارامترها ی آزاد فوق الذکر خالی از اشکال نمی

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

ارتفاع این نقاط بطور صحیح تعیین نمی گرددند [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 اشكالات فوق الذكر مي باشند، موفق به ارائه مدل أماري 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، lpha، و ضریب تصحیح ارتفاع سد شکافت، $r_{
m B}$. در محاسبات پارامتر $r_{
m B}$ 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 $r_{
m B} > 1$ در نظر گرفته شود آنگاه انرژی کشش سطحی هسته افزایش یافته و انرژی كولمبي كاهش مي يابد كه در نهايت سبب افزايش ارتفاع سد شکافت می گردد، و بر عکس اگر $I_{\rm B} < 1$ 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 $\mathbf{f}_{\mathrm{B}}=\mathbf{1}$ هیچ تغییری در ارتفاع سد شکافت بوجود نمی آورد. همچنین بایستی متذکر شد که بکار گیری $I_{
m B}$ 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].

207^{At} در مقاله حاضر قصد داریم فرایند شکافت هسته ²⁰⁷At تولید در فرایند همجوشی ¹⁹F+¹⁸⁸Os را در چارچوب مدل آماری اصلاح شده شبیه سازی نمائیم، و بر اساس برآزش

$$V(r, A, Z, J, K) = B_{s}(r)E_{s}^{0}(Z, A)(1 - \alpha T^{2}) + B_{c}(r)E_{c}^{0}(Z, A) + \frac{(J(J+1) - K^{2})\hbar^{2}}{I_{\perp}(r)\frac{4}{5}MR_{0}^{2} + 8Ma^{2}} + \frac{K^{2}\hbar^{2}}{I_{\parallel}(r)\frac{4}{5}MR_{0}^{2} + 8Ma^{2}},$$
(Y)

که در رابطه بالا ${
m E_{s}^{0}}$ و ${
m E_{c}^{0}}$ انرژیهای کشش سطحی و $B_{c}(r) = B_{s}(r)$ کولمبی هسته در حالت کروی می باشند. $B_{s}(r)$ و ضرايب وابسته به تغيير شكل هسته مي باشند كه برحسب آنها و انرژیهای وابسته به کشش سطحی و کولمبی هسته در حالت کروی می توان انرژیهای کشس سطحی و کولمبی وابسته به lpha تغيير شكل هسته را برآورد نمود. M جرم كل هسته، lpha I_{\perp} و I_{\parallel} ، $a = 0.6 \, \text{fm}$ ، $R_0 = 1.2249^{\circ} \text{\AA}$ فريب دما، بترتيب 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 r و I_{\perp} ، B_{c} ، B_{s} ، E_{c}^{0} ، E_{s}^{0} [۱۱،۱۰] برآورد نمود. در شکلهای ۱، ۲ و ۳ نتایج محاسبات سد شکافت هسته ²⁰⁷At بر حسب پارامتر بدون بعد r/R₀ (R₀ شعاع هسته در حالت کروی می باشد) و بازاء ترکیبهای مختلف اسپین، دما و مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته ارائه گردیده شده اند، تا تاثیر اسپیین 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 کاملا مشخص می باشد که در یک دما مشخص با افزایش اسپین هسته ارتفاع سد شکافت، B_f، کاهش و بازاء 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 ²⁰⁷At 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 ²⁰⁷At 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].

$$V = E_s + E_c + E_r$$
, (۱)
که $E_s = E_c \cdot E_s$ 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.

12 ²⁰⁷At V (MeV) 8 4 T=0T=2T=30 T=4, J=0, K=0 0.4 0.8 1.2 2 1.6 2.4 r/R_0 شکل ۳. سد شکافت هسته ²⁰⁷At وابسته به یارامتر تغییر شکل $\mathbf{K} = \cdot \hbar$ و $\mathbf{J} = \cdot \hbar$ راسپین $\mathbf{J} = \cdot \mathbf{h}$ و $\mathbf{J} = \mathbf{h}$ ر

برحسب نتایج بدست آمده در برآورد سد شکافت At ²⁰⁷As توان نتیجه گرفت که عدم در نظر گیری اثر دما و اثر مولفه اسپین در امتداد محور تقارن هسته (حالتهای •= T و •= X) که در اکثر مدلهای آماری فرض می گردد حبب بروز خطا در محاسبات و ارائه نتایج غلط می گردد، چرا که در نظر گیری این پارامترها شدیدا 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 قرایند همجوشی وابسته به انرژی پرتابه می باشد. برای برآورد تابع توزیع اسپین یک هسته سنتز شده می توان از رابطه زیر استفاده نمود [۱۲]

$$\frac{d\sigma(J)}{dJ} = \frac{2\pi}{k^2} \frac{2J+l}{1+exp(\frac{J-J_c}{\delta I})},$$
(°)

که J_c اسپین بحرانی و **δ**J پخشدگی می باشـد، کـه اینهـا را میتوان به شکل معادله ٤ 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.



 $K = \cdot \hbar$



١٦

این کار را میتوان بـر حسـب محاسـبه پهنـای خـروج ذرات و یهنای شکافت و استفاده از روش مونت کارلو انجام داد. با توجه به اينكه طي تحول هسته حين فراينـد شـكافت احتمـال خروج ذراتی نظیر *γ,α*,p,n وجود دارد، لذا ابتـدا بایسـتی در هر بازه کوچک زمانی <u>A</u>t طی تحول شکافت مشخص گردد که آیا احتمال خروج ذره وجود دارد یا خیر. بـرای ایـن منظور می توان با تعیین پهنای کل بر حسب پهناهای جزعی زميان مجاز ، $\Gamma_{tot} = \Gamma_n + \Gamma_n + \Gamma_\alpha + \Gamma_\gamma + \Gamma_{fission}$ واياشي يعنى $au = \hbar / \Gamma_{total}$ را تعيين نمود، سپس از كامييوتر خواسته شود که یک عدد اتفاقی بین • 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 داد. $v = n, p, \alpha, \gamma$

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 پهناهای برای تعیین نوع ذره خروجی احتیاج به محاسبه پهناهای برای تعیین دوع ذره مروحی احتیاج ایه محاسبه پهناهای توان بر حسب رابطه ارائه شده در مرجع [۱۳] به شکل معادله ۲ برآورد نمود.

$$\begin{aligned} J_{c} &= \sqrt{A_{P}A_{T}/A_{CN}} (A_{P}^{1/3} + A_{T}^{1/3}) \times \\ & (0.33 + 0.205 \sqrt{E_{c.m.}} - V_{c}), \end{aligned} \tag{ξ}$$

$$\delta J = \begin{cases} (A_{P}A_{T})^{3/2} \times 10^{-5} \left[1.5 + 0.02(E_{c.m.} - V_{c} - 10) \right] \\ for \ E_{c.m.} > V_{c} + 10, \\ (A_{P}A_{T})^{3/2} \times 10^{-5} \left[1.5 - 0.04(E_{c.m.} - V_{c} - 10) \right] \\ for \ E_{c.m.} < V_{c} + 10, \end{cases}$$

در شکل ٤، بطور نمونه، تابع توزیع اسپین هسته ²⁰⁷At خلق شده در فرایند همجوشی ¹⁹F+¹⁸Os بازاء انرژیهای پرتابه ۱۰۰ و ۱۲۰ مگا الکترون ولت ارائه گردیده شده است.



در شکل ٤ 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 207At بایستی امکان خروج ذرات سبک مانند نوترون، پروتون، آلفا، تابش گاما و امکان شکافت را بررسی نمائیم. که

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

$$\varepsilon^{\circ} \quad \mathbf{k} = \bullet . \vee \bullet \quad \varepsilon \quad \nabla \bullet \quad \mathbf{k}_G = \bullet \operatorname{MeV}, \quad \mathbf{E}_G = \wedge \bullet \mathbf{A}^{-1/\mathcal{P}} \quad \varepsilon \quad \mathbf{k}_G = \mathsf{N} \bullet \mathbf{A}^{-1/\mathcal{P}}$$

$$\mathcal{I}_G = \mathsf{I} \cdot \mathsf{I} \cdot$$

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

$$\Gamma_f = (\sqrt{1 + \gamma^2} - \gamma) \times \Gamma_f^{BW}, \qquad (17)$$

در رابطه بالا $\gamma = \beta/2\omega_{sp}$ می باشد که β ضریب چسبندگی ماده هسته ای و γ_{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 $\Gamma_f^{BW} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\rho_{gs}(E^*)} \int_0^{E^*-B_f} \rho_{sp}(E^* - B_f - \varepsilon) d\varepsilon$ (۱۳)

که \mathbf{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 تقریبا برابر می باشند) را میتوان بشکل زیر

 $\Gamma_f^{BW} = \frac{T}{2\pi} \exp(-B_f / T), \qquad (1\varepsilon)$

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].

$$\begin{split} \Gamma_{v} = & (2s_{v} + 1) \frac{m_{v}}{\pi^{2} \hbar^{2} \rho_{c}(E_{int.})} \times \\ & \int_{0}^{E_{int.} - B_{v}} d\varepsilon_{v} \rho_{R}(E_{int.} - B_{v} - \varepsilon_{v}) \varepsilon_{v} \sigma_{inv.}(\varepsilon_{v}), \ (\Im) \end{split}$$

 \mathbf{B}_{v} , \mathbf{S}_{v} and \mathbf{S}_{v} , \mathbf{m}_{v} , \mathbf{m}_{v} , \mathbf{S}_{v} , \mathbf

$$\sigma_{inv.}(\varepsilon_{v}) = \begin{cases} \pi R_{v}^{2}(1 - V_{v}/\varepsilon_{v}) & \text{for } \varepsilon_{v} > V_{v} \\ 0 & \text{for } \varepsilon_{v} < V_{v} \end{cases}, \quad (\forall)$$

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}}$$
 , (۸)

$$V_{\nu} = [(Z - Z_{\nu}) Z_{\nu} K_{\nu}] / (R_{\nu} + 1.6), \qquad (9)$$

که برای پروتونها ضریب ${\rm K_v}$ برابر ۱.۱۵ و برای ذرات آلفا 1.۳۲ می باشد[۱۳].

برای محاسبه پهنای تابش گاما نیز می توان از رابطه زیر استفاده نمود [۱٤]

$$\Gamma_{\gamma} \cong \frac{3}{\rho_c(E_{int})} \int_0^{E_{int}} d\varepsilon \rho_c(E_{int} - \varepsilon) f(\varepsilon) , \qquad (1.)$$



$$\sigma_{Fiss} = \sum_{J} \sigma_{Fus}(J) \frac{\Gamma_f}{\Gamma_{tot}}, \qquad (1A)$$

که سطح مقطع همجوشی کل، $\sigma_{ ext{Fus}}$ ، را میتوان از بر همنهی سطح مقطعهای جزعی بشکل زیر برآورد نمود

$$\sigma_{Fus} = \sum_{J} \frac{d\sigma_{Fus}(J)}{dJ},\tag{19}$$

و همچنین در محاسبات جهت برآورد ناهمسانگردی پاره

های شکافت میتوان از رابطه زیر استفاده نمود [۱٦].

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

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

$$K_0^2 = \frac{T}{\hbar^2} \left[\frac{1}{I_{||}} - \frac{1}{I_{\perp}} \right],$$
 (71)

$$\Gamma_f^{BW} = \frac{T_{sp}}{2\pi} \exp(\frac{-2B_f}{T_{gs} + T_{sp}}), \qquad (10)$$

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

$$\Gamma_f = \frac{\sum_{K=-J}^{J} P(K) \Gamma_f(K)}{\sum_{K=-J}^{J} P(K)}, \qquad (17)$$

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

$$P(K) = (T / \hbar \omega_{eq}) exp(-V_{eq} / T), \qquad (1 \vee)$$

که $V_{
m eq}$ ارتفاع سد شکافت در حالت زمینه و $artheta_{
m eq}$ معرف انحناء در حالت زمینه می باشد.

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

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 ٦ 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، Ω ، و ضریب محاسبات انجام شده دو پارامتر ضریب دما، Ω ، و ضریب تصحیح ارتفاع سد شکافت، r_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 ناهمسانگردی پاره های شکافت برای هسته برانگیخته





²⁰⁷At شکل ۷. ناهمسانگردی زاویه ای پاره های شکافت هسته ²⁰⁷At بر حسب انرژی برانگیختگی. منحنی نقطه چنین 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 $r_{\rm B}$ -۱۰۰۱۵ - ۲۰ و ۲۰۰۰ - ۵ اند بترتیب عبارتند از در خاتمه جهت 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 207At بر حسب پارامترهای آزاد استخراج شده در قسمت قبل نموده ایم.

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

- [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 AIICE / 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 Tm (36 Ar,f) at $E_{lab} = 205$ 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}Er+²⁸Si, *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-ioninduced fission, *Phys. Rep.* 292, 131-237, 1998.



شکل۸ تعداد نوترون های خروجی قبل از فرایند شکافت هسته ²⁰⁷At بر حسب انرژی برانگیختگی. منحنی نقطه چنین 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 اسیین در امتداد محور تقارن هسته، فرایند شکافت هسته برانگیخته ²⁰⁷At خلق شده در واکنش همجوشی F+¹⁸⁸Os شبیه سازی گردیده شد. و بر حسب برازش داده های محاسباتی سطح مقطع شکافت و ناهمسانگردی یاره 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 مناسب این يارامتر ها ;1 عبار تند مقادير $r_{\rm R} = 1...10 \pm ...10$, $\alpha = ...1 \wedge ...00 \,{\rm MeV}^{-7}$ 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 ²⁰⁷At 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 ¹⁹F with ^{188,192}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 supper 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



نشربه تابش وفناوری ،سترای

Journal of Radiation and Nuclear Technology / Vol. 2 / No. 2 / summer 2015

Simulation of fission process of the excited nuclei ²⁰⁷At produced in fusion reactions ¹⁹F+¹⁸⁸Os in the framework of the modified statistical model

H. Eslamizadeh^{1*}, M. Pirpour²

Associated Professor, Department of Physics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran
 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 ²⁰⁷At produced in fusion reaction ¹⁹F+¹⁸⁸Os 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 ²⁰⁷At 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 ²⁰⁷At 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 ²⁰⁷At are satisfactorily in agreement with the experimental data.

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