

پیش بینی ارتفاع سد شکافت هسته‌های تولید شده در واکنشهای شکافت القایی با یون ^{16}O در انرژیهای مختلف

سعید سهیلی و فرزاد علیزاده

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، کد پستی ۶۵۱۷۴ همدان، ایران

(دریافت مقاله: ۸۷/۲/۳؛ دریافت نسخه نهایی: ۸۸/۴/۷)

چکیده

ارتفاع سد شکافت برای هسته‌های مرکب تشکیل شده در پنج سیستم شکافت هسته‌های $^{16}\text{O} + ^{238}\text{Pb}$ ، $^{16}\text{O} + ^{209}\text{Bi}$ ، $^{16}\text{O} + ^{232}\text{Th}$ ، $^{16}\text{O} + ^{238}\text{U}$ و $^{16}\text{O} + ^{248}\text{Cm}$ در گستره انرژی ۹۰ MeV تا ۲۱۵ MeV محاسبه گردید. روش محاسبه، مبتنی بر داده‌های تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت در نظر گرفته شد. توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت با مدل‌های حالت گذار توصیف می‌شود. بدین منظور از دو مدل، یکی مدل آماری نقطه زینی استاندارد و دیگری مدل آماری نقطه انقطاع استفاده می‌گردد. نام‌های پیشنهادی برای دو مدل بستگی به نقطه تعیین مشخصات نهایی پاره‌های شکافت دارد. در مدل آماری نقطه زینی استاندارد به کار گرفته شده در این مقاله، تکانه زاویه‌ای هسته مرکب را I و تصویر تکانه را در راستای محور تقارن هسته مرکب K فرض می‌کنیم. برای توصیف کمی پاره‌های شکافت فرض می‌کنیم که الف) پاره‌های شکافت در امتداد محور تقارن هسته‌ای جدا می‌شوند و ب) اگر چه K یک عدد کوانتومی خوش تعریف بین گذار هسته از وضعیت اولیه تا نقطه زین نیست، دور از نقطه زین K یک عدد کوانتومی خوش تعریف است. مدل آماری حالت گذار برای دو موقعیت یکی بدون تصحیح گسیل نوترون و دیگری با اعمال تصحیح گسیل نوترون در محاسبات به کار گرفته شد. تصحیح گسیل نوترون‌های قبل از نقطه انقطاع، به‌طور قابل قبولی داده‌های ناهمسانگردی زاویه‌ای اندازه‌گیری شده را توجیه نمود. در این مقاله، ارتفاع سد شکافت را برای دو هسته فوق سنگین محاسبه نمودیم که تا کنون به طریق تجربی اندازه‌گیری نشده است.

واژه‌های کلیدی: همجوشی، شکافت، مدل نقطه زینی، ناهمسانگردی زاویه‌ای، ارتفاع سد شکافت

۱. مقدمه

می‌باشد، بدین معنی که انحراف داده‌ها یکنواخت و قابل تصحیح است. برخی از نتایج اندازه‌گیریهای توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم‌های القایی با ذرات فرودی سنگین ($A_p > 20$) در انرژیهای بالای سد کولنی نسبت به آنچه که از طریق مدل برای این کمیت پیش بینی می‌شود، بیشتر به‌دست آمده است [۲-۵]. به‌طور مشابه، در انرژیهای نزدیک به انرژی سد کولنی، برای سیستم‌های شکافت القایی با ذرات فرودی مانند ^{16}O ، ^{19}F و برای هسته‌های هدف اکتینید، با کاهش انرژی ذره فرودی ناهمسانگردی افزایش می‌یابد [۵]. به علت اینکه ساز و کار واکنشهای هسته مرکب به درستی روشن نیست، برای ایجاد درک صحیحی از این فرآیند، لازم است که ترکیبی از

ناهمسانگردی زاویه‌ای مشاهده شده در توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت و وابستگی آن به انرژی ذره فرودی، به‌عنوان یک عامل مهم برای تعیین ارتفاع سد شکافت در سیستم‌های شکافت القایی با یون سنگین به کار گرفته شد. داده‌های ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت معمولاً در ساختار مدل آماری حالت گذار مورد بررسی قرار می‌گیرد [۱]. این مدل شرح مبسوطی از سیستم‌های مختلف با ترکیبات متفاوتی از ذره فرودی و هسته هدف در اختیار قرار می‌دهد. البته اختلاف داده‌های ناهمسانگردی از مقدار پیش بینی شده تئوری در نزدیکی سد کولنی، مشابه اختلاف داده‌ها در مقادیر بیش از سد کولنی

که در آن $\langle I^2 \rangle$ گشتاور دوم توزیع اسپین هسته مرکب است، در ضمن K_0^2 (واریانس توزیع K) رابطه مستقیمی با گشتاور لختی مؤثر I_{eff} دارد:

$$K_0^2 = \frac{TI_{eff}}{h^2} \rightarrow \frac{I_{eff}}{h^2} = \frac{K_0^2}{T}, \quad (2)$$

که در آن، T معرف دمای هسته مرکب در نقطه زینی است. در ضمن باید بدانیم که برای وابستگی $\frac{I_{eff}}{h^2}$ به $\langle I^2 \rangle$ نیز یک رابطه خطی در نظر گرفته می‌شود [۱۳].

دمای هسته مرکب در نقطه زینی توسط رابطه $T = \sqrt{\frac{E_{ex}}{a}}$ داده می‌شود، در این رابطه a معرف پارامتر چگالی تراز است که در محاسبات $\frac{A}{\lambda/\delta}$ در نظر گرفته شده است (در اینجا A معرف عدد جرمی هسته مرکب می‌باشد). انرژی برانگیختگی در نقطه زینی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$E_{ex} = E_{c.m} + Q - E_R(\langle I^2 \rangle) - B_f(\langle I^2 \rangle), \quad (3)$$

که در آن $E_{c.m}$ انرژی پرتابه در چارچوب مرکز جرم، Q مقدار انرژی حاصل از تشکیل هسته مرکب، E_R انرژی دورانی هسته مرکب (محاسبه شده با استفاده از مدل سیرک [۱۴]) و B_f ارتفاع سد شکافت است. داده‌های موجود در مورد انرژی پرتابه، در چارچوب آزمایشگاهی است (E_{lab})، بنابراین لازم است توسط رابطه زیر، این انرژی در چارچوب مرکز جرم محاسبه گردد:

$$E_{c.m} = E_{lab} \frac{M_{Target}}{M_{CN}}, \quad (4)$$

که در آن M_{Target} و M_{CN} به ترتیب جرم هسته هدف و جرم هسته مرکب است.

مقدار Q را می‌توان از تفاضل فزونی جرم هسته‌های برخورد کننده و هسته مرکب محاسبه کرد:

$$Q = [\Delta(\text{هسته مرکب}) - \Delta(\text{هسته هدف}) + \Delta(\text{پرتابه})], \quad (5)$$

که در آن فزونی جرم (Δ) توسط رابطه زیر تعریف می‌گردد:

$$\Delta = M - A. \quad (6)$$

اگر تصحیح گسیل نوترون به محاسبات اضافه گردد، انرژی

واکنشهایی که منجر به تشکیل هسته مرکب نمی‌شوند را جایگزین واکنش هسته مرکب نمود. این واکنشها شامل شکافت سریع^۱، شبه شکافت^۲ و شکافت پیش تعادلی^۳ هستند [۲] و [۵-۹]. به طور کلی داده‌های ناهمسانگردی اندازه‌گیری شده، به کانال ورودی، تغییر شکل هسته هدف، اسپین هسته هدف، جرم ذره فرودی و انرژی ذره تابشی وابسته‌اند. اگر فرض کنیم که فقط نوترونهای گسیل شده قبل از نقطه زینی^۴ در تعیین دمای هسته نقش دارند (نه نوترونهای قبل از نقطه انقطاع^۵) می‌توان به طور قابل قبولی، اختلاف مشاهده شده بین داده‌های ناهمسانگردی و محاسبات مدل را توجیه نمود [۱۰]. در این مقاله، داده‌های ناهمسانگردی زاویه‌ای سیستمهای $^{16}\text{O} + ^{238}\text{U}$ ، $^{16}\text{O} + ^{232}\text{Th}$ ، $^{16}\text{O} + ^{209}\text{Bi}$ ، $^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$ و $^{16}\text{O} + ^{248}\text{Cm}$ را برای محاسبه ارتفاع سد شکافت هسته‌های مرکب ^{224}Th ، ^{225}Pa ، ^{248}Cf ، ^{254}Fm و ^{264}Rf مورد استفاده قرار دادیم. در مرحله اول، گسیل نوترون را نادیده و در مرحله بعد، تصحیح گسیل نوترون را در محاسبات در نظر گرفتیم. داده‌های تجربی که در این مقاله برای مقایسه با محاسبات به کار گرفته شد شامل انرژی پرتوی فرودی است که در گستره انرژی ۹۰ MeV تا ۲۱۵ MeV قرار دارند [۱۱].

۲. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت

ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت با رابطه $A = W(180^\circ) / W(90^\circ)$ داده می‌شود، که $W(\theta)$ تابع توزیع زاویه‌ای در زاویه θ است [۱]. جزئیات این مدل را در مرجع [۱۲] می‌توان مشاهده نمود. یک معادله تخمینی برای ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت در مدل نقطه زینی حالت گذار به صورت زیر داده می‌شود:

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

۱. Fast fission

۲. Quasi fission

۳. Pre-equilibrium fission

۴. Pre-saddle neutron

۵. Pre-scission neutron

برانگیختگی در نقطه زینی به صورت زیر خواهد بود:

$$E_{ex} = E_{c.m} + Q - E_R (< I^2 >) - B_f - \nu E_n, \quad (7)$$

که در آن E_n انرژی حمل شده توسط یک نوترون گسیل شده در فرآیند شکافت است و کمیت ν ، متوسط تعداد نوترونهایی است که در فرآیند شکافت گسیل می‌شود. در محاسبات، برای هر نوترون انرژی 5 MeV در نظر گرفته شده است. تعداد متوسط نوترونهای گسیلی را می‌توان توسط برون‌یابی مقادیر تجربی محاسبه کرد. با اعمال تصحیح گسیل نوترون دیده می‌شود که مقدار پیش‌بینی شده برای کمیت ارتفاع سد شکافت با مقادیر تجربی همخوانی بسیار خوبی دارد. دلیل آن این است که روشی که در آن گسیل نوترون در نظر گرفته نمی‌شود، سهم بیشتری از انرژی را به انرژی سد نسبت می‌دهد بنابراین مقدار پیش‌بینی شده برای کمیت ارتفاع سد شکافت در این روش بیش از مقدار تجربی است. همان‌طور که می‌دانیم نوترونهای گسیل شده در فرآیند شکافت هسته‌ای حامل انرژی هستند، بنابراین سهمی از انرژی را باید به این نوترونها نسبت دهیم. در نتیجه، اعمال تصحیح گسیل نوترون باعث می‌گردد که ارتفاع سد شکافت محاسبه شده، در مقایسه با محاسبه این کمیت برای حالتی که گسیل نوترون در نظر گرفته نمی‌شود دقیقتر باشد.

۳. سد شکافت

آزمایش تعیین ارتفاع سد شکافت، آزمایشی بسیار پیچیده و پرهزینه است. بنابراین، ارتفاع سد شکافت هسته‌های محدودی در ناحیه اعداد جرمی بالا تا کنون به طریق تجربی اندازه‌گیری شده‌اند. در این صورت، با استفاده از مدل آماری گذار که در محاسبه ناهمسانگردی پاره‌های شکافت مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌توان ارتفاع سد شکافت را پیش‌بینی نمود. روشهای مختلفی برای محاسبه ارتفاع سد شکافت وجود دارد. برخی از این روشها در زیر آورده شده است:

- تعیین ارتفاع سد شکافت از روی انرژی برانگیختگی وابسته به Γ_n / Γ_f .
- تعیین ارتفاع سد شکافت از روی توابع برانگیختگی

$$.(d, pf), (t, df), (t, pf), (n, f)$$

- تعیین ارتفاع سد شکافت از روی توابع برانگیختگی شکافت فوتونی.
- تعیین ارتفاع سد شکافت از طریق محاسبه انرژی هسته در نقطه زینی.
- تعیین ارتفاع سد شکافت با استفاده از مقادیر تجربی توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت.

هر کدام از این روشها محدودیتهای و کاستیهایی دارد. روش تعیین ارتفاع سد شکافت از روی مقادیر تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت روشی نوین در این زمینه به شمار می‌رود. در ادامه به شرح این روش می‌پردازیم. همان‌طور که در معادله (۳) دیده می‌شود ارتفاع سد شکافت در محاسبه کمیت انرژی برانگیختگی ظاهر می‌گردد. با توجه به اینکه مقادیر تجربی ناهمسانگردی را بر حسب انرژی ذره فرودی در اختیار داریم، با استفاده از روش کمترین مجذورات قادر خواهیم بود ارتفاع سد شکافت را محاسبه نماییم.

در شکل‌های ۱ تا ۵، داده‌های ناهمسانگردی توزیع زاویه‌ای پاره‌های شکافت با نتایج محاسبات مقایسه شده است. در این شکلها، ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستمهای مورد مطالعه بر حسب متغیر x نمایش داده شده است که طبق

تعریف برابر با $\frac{E_{c.m}}{V_b}$ در نظر گرفته شده است. برای تشکیل هسته

مرکب، سد پتانسیلی وجود دارد که سد کولنی یا سد همجوشی^۱ (V_b) نامیده می‌شود و توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

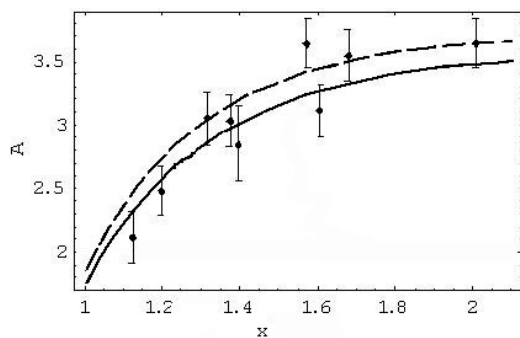
$$V_b = k \frac{Z_1 Z_2}{R} \quad (8)$$

که در آن k ضریب ثابت، Z_1 و Z_2 اعداد اتمی هسته‌های پرتابه و هسته هدف، و R فاصله مرکز دو هسته از یکدیگر در حال تماس است. اگر شعاع هسته‌ها را R_1 و R_2 در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

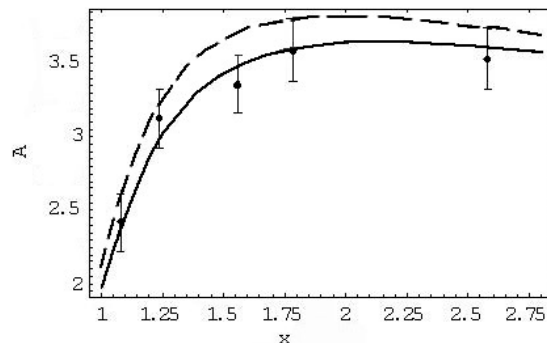
$$R = R_1 + R_2 \quad (9)$$

که در آن A_1 و A_2 عدد جرمی هسته پرتابه و عدد جرمی هسته هدف می‌باشند.

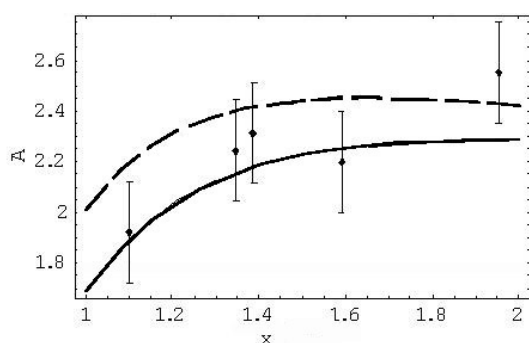
۱. Fusion barrier



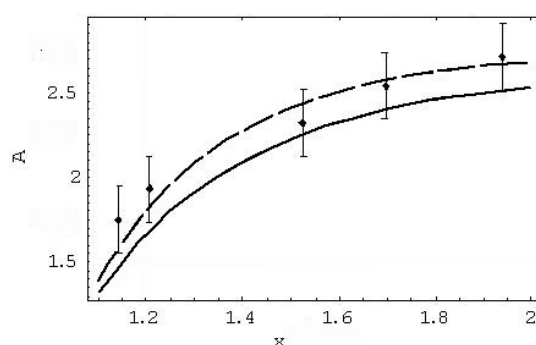
شکل ۲. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم $^{225}\text{Pa} \rightarrow ^{16}\text{O} + ^{209}\text{Bi}$ بر حسب متغیر x .



شکل ۱. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$ بر حسب متغیر x .



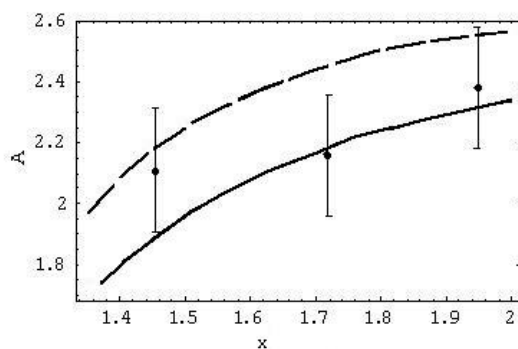
شکل ۴. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم $^{254}\text{Fm} \rightarrow ^{16}\text{O} + ^{238}\text{U}$ بر حسب متغیر x .



شکل ۳. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم $^{248}\text{Cf} \rightarrow ^{16}\text{O} + ^{232}\text{Th}$ بر حسب متغیر x .

پر، ناهمسانگردی زاویه‌ای بر حسب این متغیر را با تصحیح گسیل نوترون نشان می‌دهد و کمیت A ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت است. فروریش^۱ و همکارانش با استفاده از محاسبات مدل‌های دینامیکی پیشنهاد دادند که در انرژی‌های بالاتر از انرژی سد، تعداد نوترونهای بیشتری در مرحله گذار از نقطه زینی به نقطه انقطاع گسیل می‌شوند، بنابراین این نوترونها در دمای هسته مرکب در نقطه زینی بی تاثیرند [۱۵].

در جدولهای زیر مقادیر تجربی ناهمسانگردی زاویه‌ای، انرژی پرتابه در چارچوب آزمایشگاهی، انرژی پرتابه در چارچوب مرکز جرم و انرژی دورانی هسته مرکب را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵. ناهمسانگردی زاویه‌ای پاره‌های شکافت برای سیستم $^{264}\text{Rf} \rightarrow ^{16}\text{O} + ^{248}\text{Cm}$ بر حسب متغیر x .

در این شکلها منحنی خط چین، ناهمسانگردی زاویه‌ای بر حسب متغیر x را بدون تصحیح گسیل نوترون و منحنی خط

جدول ۱. نتایج محاسبات برای سیستم $^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$.

E_{lab} (MeV)	$E_{c.m}$ (MeV)	E_R (MeV)	A
۹۰	۸۰/۶۶۲	۲/۰۹۲۷	۲/۴۲
۱۱۰	۹۲/۵۹۸	۶/۲۲۹۸	۳/۱۳
۱۳۰	۱۱۶/۵۱۷	۱۰/۳۱۰۱	۳/۳۶
۱۴۸	۱۳۲/۶۵۱	۱۴/۱۱۴۸	۳/۵۸
۲۱۵	۱۹۲/۷۰۲	۲۵/۹۷۳۴	۳/۵۳

جدول ۲. نتایج محاسبات برای سیستم $^{16}\text{O} + ^{209}\text{Bi}$.

E_{lab} (MeV)	$E_{c.m}$ (MeV)	E_R (MeV)	A
۹۴	۸۴/۶۵۸	۲/۵۵۰۵	۲/۱۱
۱۰۲	۹۰/۳۰۲	۳/۷۴۵۶	۲/۴۸
۱۱۲	۹۹/۱۵۵	۶/۲۶۰۰	۳/۰۵
۱۱۷	۱۰۳/۵۸۲	۶/۷۳۵۸	۳/۰۳
۱۱۹	۱۰۵/۳۵۳	۷/۷۴۱۹	۲/۸۵
۱۳۴	۱۱۸/۶۳۲	۱۰/۶۵۴۱	۳/۶۴
۱۳۷	۱۲۱/۲۸۸	۱۱/۳۹۸۴	۳/۱۱
۱۴۳	۱۲۶/۶۰۰	۱۲/۶۸۵۵	۳/۵۴
۱۶۶	۱۵۱/۴۵۸	۱۷/۰۹۲۴	۳/۶۴

جدول ۳. نتایج محاسبات برای سیستم $^{16}\text{O} + ^{232}\text{Th}$.

E_{lab} (MeV)	$E_{c.m}$ (MeV)	E_R (MeV)	A
۹۰	۹۱/۱۷۶	۲/۳۸۴۱	۱/۷۵
۹۵	۹۶/۲۴۱	۲/۵۶۴۵	۱/۹۳
۱۲۰	۱۲۱/۵۶۸	۶/۹۹۳۹	۲/۳۲
۱۴۰	۱۳۵/۳۲۰	۱۰/۷۰۰۶	۲/۵۴
۱۶۰	۱۵۴/۶۵۲	۱۴/۰۲۲۴	۲/۷۱

جدول ۴. نتایج محاسبات برای سیستم $^{16}\text{O} + ^{238}\text{U}$.

E_{lab} (MeV)	$E_{c.m}$ (MeV)	E_R (MeV)	A
۹۰	۸۹/۲۴۵۸	۲/۵۱۱۴	۱/۹۲
۱۱۰	۱۰۹/۰۷۸	۴/۹۱۱۸	۲/۲۴
۱۱۴	۱۱۳/۰۴۵	۵/۷۶۳۵	۲/۳۴
۱۳۰	۱۲۸/۹۱۱	۷/۸۵۹۷	۲/۲۰
۱۴۸	۱۵۸/۲۶۸	۱۰/۲۹۱۷	۲/۵۵

جدول ۵. نتایج محاسبات برای سیستم $^{248}\text{Cm} + ^{16}\text{O}$.

E_{lab} (MeV)	$E_{c.m}$ (MeV)	E_R (MeV)	A
۱۱۰	۱۲۱/۸۰۹	۴/۱۲۴۸	۲/۱۱
۱۳۰	۱۴۳/۹۵۷	۷/۵۹۴۶	۲/۱۶
۱۴۸	۱۶۳/۱۵۷	۱۰/۶۱۹۰	۲/۳۸

جدول ۶. در این جدول، کمیت‌های پارامتر شکافت پذیری، نسبت تعداد نوترونها به تعداد پروتونها، ارتفاع سد شکافت بدون در نظر گرفتن گسیل نوترون و با در نظر گرفتن گسیل نوترون و مقدار تجربی این کمیت را برای هسته‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

منابع	ارتفاع سد شکافت تجربی (MeV)	ارتفاع سد شکافت (با در نظر گرفتن گسیل نوترون) (MeV)	ارتفاع سد شکافت (بدون در نظر گرفتن گسیل نوترون) (MeV)	N/Z	پارامتر شکافت پذیری (χ)	هسته مرکب
۱۶	۶/۴	۶/۲۶	۱۷/۰۶	۱/۴۸۹	۰/۷۶۳	^{224}Th
۱۷	۶/۳	۶/۴۶	۲۲/۰۶	۱/۴۷۲	۰/۷۷۴	^{225}Pa
۱۷	۵/۳	۵/۴۱	۲۱/۶۷	۱/۵۳۱	۰/۸۲۶	^{248}Cf
-	*	۷/۰۸	۲۶/۳۸	۱/۵۴۰	۰/۸۴۲	^{254}Fm
-	*	۲/۲۶	۲۳/۶۱	۱/۵۳۸	۰/۸۷۵	^{264}Rf

* : عناصر ^{254}Fm و ^{264}Rf جزء عناصر فوق سنگینی هستند که مقدار تجربی ارتفاع سد شکافت آنها موجود نمی‌باشد.

۴. نتیجه گیری

می‌دهد که، محدوده انرژی دورانی متوسط برای سیستمها حدود ۷ MeV تا ۱۱ MeV است در حالی که دامنه انرژی نوترونهای گسیلی بین ۱۰ MeV تا ۲۱ MeV است. بنابراین متوسط انرژی حمل شده توسط نوترونهای گسیل شده در فرآیند شکافت از انرژی دورانی که در اثر برخورد ذره پرتابی با هسته هدف به هسته مرکب نسبت داده می‌شود، بیشتر است.

مشاهده می‌گردد که اختلاف بین مقادیر پیش بینی شده مدل آماری و مقادیر تجربی کمتر از ۳ درصد است. در این جدول، پارامتر شکافت پذیری از رابطه

$$\chi = \frac{Z^2/A}{50/83[1 - 1/7826(\frac{N-Z}{A})^2]}$$

محاسبه شده است [۵]. با

توجه به اینکه نتایج حاصل از این روش به‌طور چشمگیری به مقادیر تجربی نزدیک است می‌توان از این روش برای تعیین ارتفاع سد شکافت عناصری که مقدار تجربی سد شکافت آنها در اختیار نیست بهره برد. برای مثال در این مقاله، مقدار تجربی

اگر برای پیش بینی ارتفاع سد شکافت هسته مرکب در فرآیند شکافت، تنها به پارامتر شکافت پذیری اکتفا کنیم ممکن است در برخی موارد در محاسبه این کمیت به تناقض برسیم. با بررسی نسبت تعداد نوترونها به پروتونهای هستهها (N/Z)، مشاهده می‌شود که هسته‌هایی که از فزونی نوترون بیشتری برخوردارند تعداد متوسط نوترونهای گسیلی بیشتری نیز دارند (جدول ۶)، بنابراین با وجود اینکه پارامتر شکافت پذیری بزرگتری دارند ولی دارای ارتفاع سد شکافت کوچکتری می‌باشد. این موضوع اهمیت تعداد متوسط نوترونهای گسیلی و در واقع لزوم وجود تصحیح نوترونی در محاسبه ارتفاع سد شکافت را نشان می‌دهد. راه دیگری که می‌توان اهمیت تصحیح گسیل نوترون را درک کرد، این است که مقدار انرژی دورانی (E_R) سیستمهای شکافته را با مقدار انرژی که توسط نوترونهای گسیلی حمل می‌گردد مقایسه نمود. مقایسه این کمیتها نشان

محاسبات، قابل اطمینان هستند. در واقع صحت این مطلب را نتایج به دست آمده برای دیگر هسته‌های مورد مطالعه، تایید می‌کنند.

کمیت ارتفاع سد شکافت دو هسته ^{254}Fm و ^{264}Rf تا کنون گزارش نشده است. ارتفاع سد شکافت این دو هسته را محاسبه کردیم و در مقایسه با مقادیر محاسبه شده برای این دو هسته با سد شکافت عناصر مجاور، می‌توان نتیجه گرفت که

مراجع

1. R Vandenbosch and J R Huizenga, "Nuclear Fission", Academic Press, New York, (1973).
2. B B Back, *Phys. Rev. C* **31** (1985) 2104.
3. B B Back et al., *Phys. Rev. C* **53** (1996) 1734.
4. J Toke et al., *Nucl. Phys. A* **440** (1985) 327.
5. S Kailas, *Phys. Rep.* **284** (1997) 381.
6. G V Raviprasad et al., *Phys. Rev. C* **57** (1990) 971.
7. D J Hinde et al., *Phys. Rev. C* **53** (1996) 1290.
8. V S Ramamurthy et al., *Phys. Rev. Lett.* **54** (1985) 178.
9. J P Lestone et al., *Phys. Rev. C* **56** (1997) R2907.
10. P Frobrich et al., *Z. Phys.* **A349** (1994) 99.
11. B B Back, *Phys. Rev. C* **32** (1985) 195.
12. S Soheyli, et al., *International of modern Physics A*, Vol. 22, No. **5** (2007) 1027.
13. S Soheyli, et al., *International of modern Physics E*, Vol. 17, No. **1** (2008) 1.
14. A J Sierk, *Phys. Rev. C* **33** (1986) 2039.
15. P Frobrich et al., *Z. Phys. A* **349** (1994) 99.
16. B B Back et al., *Phys. Rev. C* **32** (1985) 195.
17. S Cohen, et al., *Ann. Phys.* **22** (1963) 406.