



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

شکافت سه گانه $^{252}_{98}Cf$ بصورت $^{A_1}_{50}Sn + ^{A_2}_{28}Ni + ^{A_3}_{20}Ca$ و $^{A_1-1}_{50}Sn + ^{A_2+1}_{28}Ni + ^{A_3}_{20}Ca$

داریوش نادری و مرضیه ساعدی

دانشگاه رازی، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

در کار حاضر شکافت سه گانه را با استفاده از مدل های خطی و استوایی مورد بررسی قرار داده ایم. انرژی پتانسیل و احتمال عبور از سد شکافت را برای شکافت سه گانه هسته $^{252}_{98}Cf$ با فرض آنکه بصورت $^{A_1}_{50}Sn + ^{A_2}_{28}Ni + ^{A_3}_{20}Ca$ و $^{A_1-1}_{50}Sn + ^{A_2+1}_{28}Ni + ^{A_3}_{20}Ca$ باشد در حالتی که A_3 زوج است محاسبه کرده ایم. نتایج بدست آمده با استفاده از دو مدل باهم مقایسه شده اند. این محاسبات نشان می دهند که ترکیب خطی نسبت به حالت استوایی برای انرژی پتانسیل مقادیر کمتری را نتیجه می دهد در حالی که برای احتمال عبور از سد شکافت این مدل مقادیر بیشتری را نسبت به مدل استوایی پیش بینی می کند.

کلید واژه: شکافت سه گانه، مدل استوایی، مدل خطی

مقدمه:

تقسیم یک هسته به سه پاره شکافت که شکافت سه گانه نامیده می شود به فاصله کمی پس از کشف پدیده شکافت پیش بینی شد. برای همه هسته ها با پارامترهای شکافت $30.5 < Z^2/A < 43.5$ می توان شکافت سه گانه را انتظار داشت. استروتنسکی [1] شکل هسته های شکافت پذیر را مورد بررسی قرار داد و نشان داد که همراه با تغییر شکل های که دارای یک گردن هستند تنوعی از حالت هایی با دو گردن نیز بوجود می آید. واکنش شکافت سه گانه بطور وسیعی مورد مطالعه قرار گرفته است [2,3]. دو مدل خطی و استوایی برای بررسی شکافت سه گانه ارائه شده اند. دایل و گرینر نشان دادند که حالت خطی برای شکافت سه گانه ارجحیت بیشتری دارد. همین نتیجه توسط رویر و مانیماران و دیگران بدست آمد. اخیرا شکافت سه گانه $^{252}_{98}Cf$ مورد توجه قرار گرفته است [3,4,5].

در کار حاضر شکافت $^{252}_{98}Cf$ را برای ترکیب های $^{A_1}_{50}Sn + ^{A_2}_{28}Ni + ^{A_3}_{20}Ca$ و $^{A_1-1}_{50}Sn + ^{A_2+1}_{28}Ni + ^{A_3}_{20}Ca$ در حالتی که A_3 زوج است مورد بررسی قرار داده ایم.

محاسبات تئوری:

انرژی پتانسیل بین سه پاره شکافت با رابطه زیر مشخص می شود [4]



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳، دانشگاه اصفهان

$$V_T = \sum_{i=1}^3 \sum_{j>i}^3 (B_i + \frac{Z_i Z_j e^2}{R_{ij}^S} - 4 \left(\frac{a}{r_0}\right) \sqrt{a_{2i} a_{2j}} \times \left[g_i g_j \left(4 + \frac{R_{ij}^S}{a}\right) - \right. \\ \left. g_j f_i - g_i f_j \right] \frac{\exp\left(-\frac{R_{ij}^S}{a}\right)}{\frac{R_{ij}^S}{a}} \quad (1)$$

که در آن B_i انرژی های بستگی سه پاره شکافت هستند. همچنین کمیت های دیگر عبارتند از
و g_k های تابع $R_{ij}^S = 1.16 \left(A_i^{\frac{1}{3}} + A_j^{\frac{1}{3}} \right) + s_{ij}$, $a = 0.68 \text{ fm}$, $a_{2k} = 21.13 \left(1 - 2.3 \left(\frac{N-Z}{A} \right)^2 \right)$
عبارتند از f_k

$$g_k = \frac{R_k}{a} \cosh\left(\frac{R_k}{a}\right) - \cosh\left(\frac{R_k}{a}\right), f_k = \left(\frac{R_k}{a}\right)^2 \sinh\left(\frac{R_k}{a}\right) \quad (2)$$

در این روابط داریم $R_k = 1.16 A_k^{\frac{1}{3}}$ در حالت خطی مراکز سه پاره شکافت بر روی یک خط راست قرار دارند و
دومین پاره شکافت بین پاره های اول و دوم قرار می گیرد. در این حالت داریم

$$s_{12} = s_{23} = s, s_{13} = 2 \left(1.16 A_2^{\frac{1}{3}} + s \right) \quad (3)$$

برای حالت استوایی مراکز سه پاره شکافت در رئوس یک مثلث قرار دارند و داریم

$$s_{12} = s_{23} = s_{13} = s \quad (4)$$

احتمال نفوذ در سد شکافت با استفاده از تقریب WKB با رابطه زیر مشخص می شود [5]

$$P = \exp \left[-\frac{2}{\hbar} \int_{s_1}^{s_2} \{ 2\mu_{123} [V(s) - Q] \}^{1/2} ds \right] \quad (5)$$

در این رابطه $V(s)$ مجموع انرژی پتانسیل هسته ای و کولنی است. Q از رابطه زیر بدست می آید

$$Q = M - \sum_{i=1}^3 m_i \quad (6)$$

M و m_i به ترتیب اضافه جرم هسته مادر و پاره های شکافت هستند. μ_{123} از رابطه زیر تعیین می شود

$$\mu_{123} = \frac{A_1 A_2 A_3}{A_1 A_2 + A_3 (A_1 + A_2)} m \quad (7)$$

m جرم نوکلئون است. حد پایین انتگرال $s_1 = 0$ و حد بالای آن از شرط $V(s_2) = Q$ تعیین می شود.

نتایج:

محاسبات برای واکنش های مشخص شده در جدول ۱ انجام شده است. ستون دوم و سوم به ترتیب انرژی پتانسیل
برهم کنشی بین پاره های شکافت برای حالت های خطی و استوایی می باشند. تغییرات انرژی پتانسیل بر حسب
عدد جرمی پاره شکافت سوم به ترتیب در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده اند. با توجه به این شکل ها می توان
نتیجه گرفت که برای ${}_{50}^{A_1}Sn + {}_{28}^{A_2}Ni + {}_{20}^{A_3}Ca$ کمترین مقدار انرژی پتانسیل برای ترکیب ${}_{50}^{132}Sn + {}_{28}^7Ni$
 ${}_{20}^4Ca$ اتفاق می افتد زیرا هسته های ${}_{50}^{132}Sn$ و ${}_{20}^4Ca$ مازیک دو گانه و هسته ${}_{28}^7Ni$ نیز مازیک یک گانه است. در
حالیکه برای ${}_{50}^{A_1-1}Sn + {}_{28}^{A_2+1}Ni + {}_{20}^{A_3}Ca$ کمترین مقدار برای ${}_{50}^{130}Sn + {}_{28}^7Ni + {}_{20}^{50}Ca$ اتفاق می افتد.



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

همچنین در شکل های ۳ و ۴ تغییرات احتمال عبور از سد شکافت بر حسب عدد جرمی پاره شکافت سوم رسم شده است. بیشترین احتمال عبور از سد شکافت در دو حالت خطی و استوایی برای $^{A_1}_{50}\text{Sn} + ^{A_2}_{28}\text{Ni} + ^{A_3}_{20}\text{Ca}$ و $^{130}_{50}\text{Sn} + ^7_{28}\text{Ni} + ^{50}_{20}\text{Ca}$ و $^{132}_{50}\text{Sn} + ^7_{28}\text{Ni} + ^4_{20}\text{Ca}$ به ترتیب برای $^{A_1-1}_{50}\text{Sn} + ^{A_2+1}_{28}\text{Ni} + ^{A_3}_{20}\text{Ca}$ اتفاق می افتد.

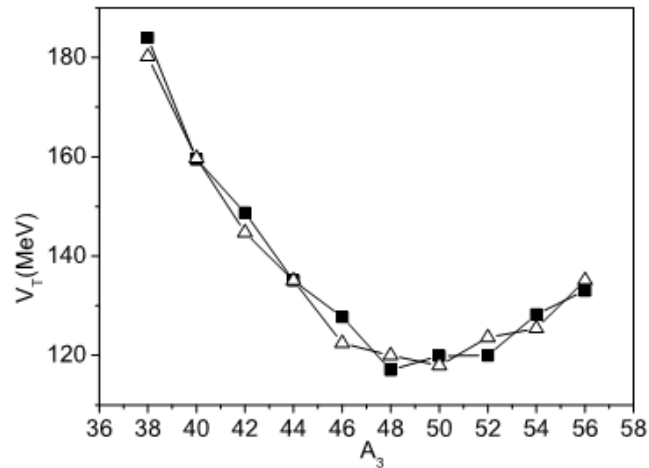
جدول ۱- انرژی پتانسیل پاره های شکافت. ستون های دوم و سوم به ترتیب نتایج بر اساس مدل خطی و استوایی هستند.

reaction	$V_{Coll}(MeV)$	$V_{Equ}(MeV)$
$^{137}_{50}\text{Sn} + ^{77}_{28}\text{Ni} + ^{38}_{20}\text{Ca}$	183.97	228.96
$^{136}_{50}\text{Sn} + ^{78}_{28}\text{Ni} + ^{38}_{20}\text{Ca}$	180.18	225.42
$^{136}_{50}\text{Sn} + ^{76}_{28}\text{Ni} + ^{40}_{20}\text{Ca}$	159.44	203.06
$^{135}_{50}\text{Sn} + ^{77}_{28}\text{Ni} + ^{40}_{20}\text{Ca}$	159.74	203.61
$^{135}_{50}\text{Sn} + ^{75}_{28}\text{Ni} + ^{42}_{20}\text{Ca}$	148.72	191.20
$^{134}_{50}\text{Sn} + ^{76}_{28}\text{Ni} + ^{42}_{20}\text{Ca}$	144.70	187.44
$^{134}_{50}\text{Sn} + ^{74}_{28}\text{Ni} + ^{44}_{20}\text{Ca}$	135.06	176.58
$^{133}_{50}\text{Sn} + ^{75}_{28}\text{Ni} + ^{44}_{20}\text{Ca}$	135.05	176.86
$^{133}_{50}\text{Sn} + ^{73}_{28}\text{Ni} + ^{46}_{20}\text{Ca}$	127.68	168.38
$^{132}_{50}\text{Sn} + ^{74}_{28}\text{Ni} + ^{46}_{20}\text{Ca}$	122.43	163.15
$^{132}_{50}\text{Sn} + ^{72}_{28}\text{Ni} + ^{48}_{20}\text{Ca}$	117.07	157.09
$^{131}_{50}\text{Sn} + ^{73}_{28}\text{Ni} + ^{48}_{20}\text{Ca}$	119.95	160.22
$^{131}_{50}\text{Sn} + ^{71}_{28}\text{Ni} + ^{50}_{20}\text{Ca}$	119.86	159.29
$^{130}_{50}\text{Sn} + ^{72}_{28}\text{Ni} + ^{50}_{20}\text{Ca}$	117.95	157.64
$^{130}_{50}\text{Sn} + ^{70}_{28}\text{Ni} + ^{52}_{20}\text{Ca}$	119.97	158.92
$^{129}_{50}\text{Sn} + ^{71}_{28}\text{Ni} + ^{52}_{20}\text{Ca}$	123.57	162.78
$^{129}_{50}\text{Sn} + ^{69}_{28}\text{Ni} + ^{54}_{20}\text{Ca}$	128.22	166.76
$^{128}_{50}\text{Sn} + ^{70}_{28}\text{Ni} + ^{54}_{20}\text{Ca}$	125.39	164.20
$^{128}_{50}\text{Sn} + ^{68}_{28}\text{Ni} + ^{56}_{20}\text{Ca}$	133.03	171.24
$^{127}_{50}\text{Sn} + ^{69}_{28}\text{Ni} + ^{56}_{20}\text{Ca}$	135.09	174.38

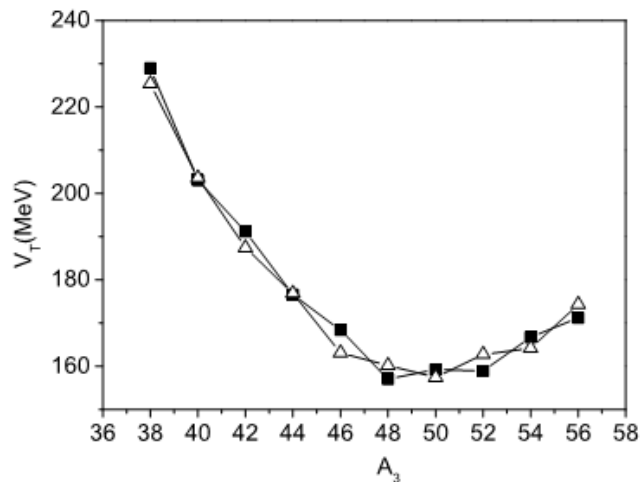


بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۱- انرژی پتانسیل پاره های شکافت بصورت تابعی از عدد جرمی پاره سوم برای حالت خطی. مربع های توپر و مثلث های توخالی به ترتیب مربوط به حالت های $^{A_1-1}_{50}\text{Sn} + ^{A_2+1}_{28}\text{Ni} + ^{A_3}_{20}\text{Ca}$ و $^{A_1}_{50}\text{Sn} + ^{A_2}_{28}\text{Ni} + ^{A_3}_{20}\text{Ca}$ می باشند.

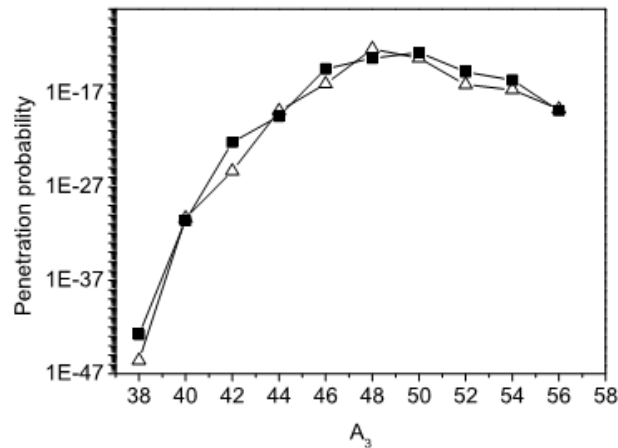


شکل ۲- انرژی پتانسیل پاره های شکافت بصورت تابعی از عدد جرمی پاره سوم برای حالت استوایی. مربع های توپر و مثلث های توخالی به ترتیب مربوط به حالت های $^{A_1-1}_{50}\text{Sn} + ^{A_2+1}_{28}\text{Ni} + ^{A_3}_{20}\text{Ca}$ و $^{A_1}_{50}\text{Sn} + ^{A_2}_{28}\text{Ni} + ^{A_3}_{20}\text{Ca}$ می باشند.

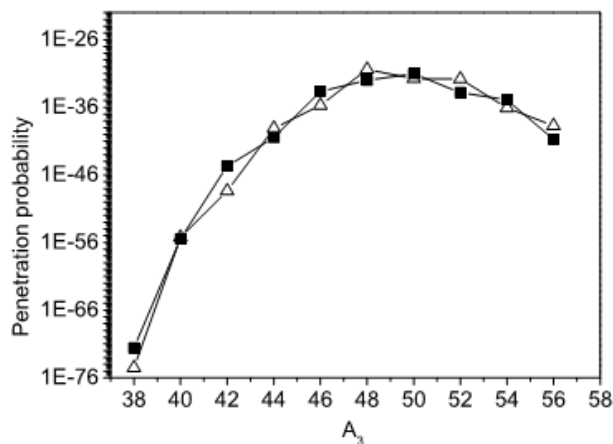


بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



شکل ۳- احتمال نفوذ در سد شکافت برحسب عدد جرمی پاره شکافت سوم با استفاده از مدل خطی. مثلث های توخالی و مربع های توپر به ترتیب نتایج ${}_{50}^{A_1-1}\text{Sn} + {}_{28}^{A_2+1}\text{Ni} + {}_{20}^{A_3}\text{Ca}$ و ${}_{50}^{A_1}\text{Sn} + {}_{28}^{A_2}\text{Ni} + {}_{20}^{A_3}\text{Ca}$ می باشند.



شکل ۴- احتمال نفوذ در سد شکافت برحسب عدد جرمی پاره شکافت سوم با استفاده از مدل استوایی. مثلث های توخالی و مربع های توپر به ترتیب نتایج ${}_{50}^{A_1-1}\text{Sn} + {}_{28}^{A_2+1}\text{Ni} + {}_{20}^{A_3}\text{Ca}$ و ${}_{50}^{A_1}\text{Sn} + {}_{28}^{A_2}\text{Ni} + {}_{20}^{A_3}\text{Ca}$ می باشند. با مقایسه نتایج بدست آمده برای دو مدل خطی و استوایی می توان پی برد که مدل خطی در مقایسه با مدل استوایی برای انرژی پتانسیل مقدار کمتری را نتیجه می دهد. همچنین برای احتمال عبور از سد شکافت مدل خطی در مقایسه با مدل استوایی مقدار بیشتری را پیش بینی می کند.

مراجع:

- [1] W. J. Swiatecki, in: Proceedings of the Second UN Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1958, United Nations.
- [2] R. K. Choudhury and V. S. Ramamurthy, " Scission-point configurations in ternary fission of ${}^{252}\text{Cf}$ from trajectory calculations", Phys. Rev. C 18, 2213(1978).
- [3] K.R. Vijayaraghavan, W. von Oertzen, and M. Balasubramaniam, " Kinetic energies of cluster fragments in ternary fission of ${}^{252}\text{Cf}$ ", Eur. Phys. J. A 48, 27 (2012).



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

- [4] K. Manimaran and M. Balasubramaniam, " Deformation and orientation effects in the ternary fragmentation potential of the ^4He - and ^{10}Be -accompanied fission of the ^{252}Cf nucleus ", J. Phys. G: Nucl. Part. Phys 37, 045104 (2010).
- [5] K. Manimaran and M. Balasubramaniam, " All possible ternary fragmentations of ^{252}Cf in collinear configuration", Phys. Rev. C **83**, 034609 (2011).