



تأثیر ضریب اتلافی پارامتر K بر تعداد نوترون های گسیل شده با استفاده از دینامیک چهار بعدی

داریوش، نادری*؛ حجت اله، امامی؛ مریم، زرگوشی

دانشگاه رازی، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

در کار حاضر با استفاده از مدل دینامیکی لانگوین چهار بعدی تعداد نوترون های گسیل شده از هسته مرکب در حال شکافت را محاسبه کرده ایم. پارامترهای کشیدگی، ضخامت گردن، عدم تقارن و تصویر اسپین هسته مرکب بر روی محور شکافت (K) چهار بعد محاسبات دینامیکی را تشکیل می دهند. ضریب اتلافی پارامتر K را به دو شکل ثابت و متغییر در نظر گرفته و تعداد نوترون های گسیلی را برای دو سیستم $^{169}\text{F} + ^{169}\text{Tm}$ و $^{18}\text{O} + ^{19}\text{Os}$ محاسبه کرده ایم. نتایج بدست آمده نشان می دهد که ضریب اتلافی متغییر همخوانی بهتری با نتایج تجربی دارد.

کلید واژه: دینامیک چهار بعدی، ضریب اتلافی، نوترون گسیلی، پارامتر کشیدگی

مقدمه:

مقادیر اندازه گیری شده ذرات باردار و نوترون های قبل از نقطه جدایی دو پاره شکافت معمولاً با نتایج مدل های آماری استاندارد توافق خوبی ندارند. با در نظر گرفتن مفهوم اتلافی و ویسکوزیته هسته ای می توان فرآیند شکافت را بصورت دینامیکی بررسی کرد. این فرآیند اتلافی منجر به کاهش پهنای شکافت شده و در نتیجه افزایش گسیل تعداد ذرات قبل از شکافت و سطح مقطع باقیمانده از تبخیر می شود. برای بررسی دینامیکی فرآیند شکافت، می توان معادلات فوکر- پلانک و یا معادلات لانگوین را بکار برد [۱]. استفاده از معادلات لانگوین کاربرد بیشتری دارد. معادلات لانگوین یک [۲] و دو بعدی [۳] برای محاسبه نوترون های قبل از نقطه جدایی بکار رفته اند. از معادلات سه بعدی علاوه بر محاسبه تعداد نوترون ها برای بررسی انرژی جنبشی پاره های شکافت نیز بکار می رود [۴].

معادلات دینامیک لانگوین چهار بعدی با ضریب اتلافی ثابت برای درجه آزادی چرخش اسپین هسته (مختصه K)، برای بررسی جنبه های مختلف واکنش های همجوشی - شکافت بکار برده شده است [۵]. اما بررسی این موضوع با در نظر گرفتن ضریب اتلافی غیر ثابت تاکنون انجام نشده است. در کار حاضر ما با استفاده از دینامیک چهار بعدی با ضریب اتلافی غیر ثابت، تعداد نوترون های گسیل شده از هسته در حال شکافت را بدست آورده و آن را با حالت ضریب اتلافی ثابت و نتایج تجربی مقایسه کرده ایم.



مدل تئوری:

تغییرات دینامیکی پارامتر چهارم که همان تصویر اسپین هسته مرکب بر روی محور شکافت است با رابطه زیر داده می شود [۶]

$$dK = -\frac{\gamma_K^2 I^2}{2} \frac{\partial V}{\partial K} dt + \gamma_K I \sqrt{\frac{T}{2}} \xi(t) \quad (1)$$

در این رابطه K و I, T, V به ترتیب انرژی پتانسیل، دما، اسپین هسته مرکب، و تصویر اسپین بر محور شکافت است. همچنین γ_K پارامتر جفت شدگی بین درجه آزادی چرخش و حمام داغ است و از رابطه زیر بدست می آید

$$\gamma_K = \frac{1}{R_N R_{c.m.} \sqrt{2\pi^3 n_0}} \sqrt{\frac{J_{\parallel} J_{eff} J_R}{J_{\perp}^3}} \quad (3)$$

که در آن $J_R = \frac{MR_{cm}^2}{\hbar}$, $n_0 = 0.0263 \text{ zs fm}^{-3}$ می باشد. J_{\parallel} و J_{\perp} ممان اینرسی حول محور شکافت، عمود بر محور شکافت و ممان اینرسی موثر است. همچنین R_{cm} و R_N فاصله بین دوپاره شکافت و شعاع گردن است. $\xi(t)$ یک عدد تصادفی است که در رابطه زیر صدق می کند

$$\begin{aligned} \langle \xi_i \rangle &= 0, \\ \langle \xi_i(t_1) \xi_j(t_2) \rangle &= 2\delta_{ij} \delta(t_1 - t_2). \end{aligned} \quad (4)$$

با میانگین گیری از رابطه (۱) داریم

$$\langle K(t) \rangle_{K_0} = K_0 \exp\left[-\frac{\gamma_K^2 I^2 \hbar^2}{2J_{eff}} (t - t_0)\right], \quad (5)$$

با استفاده از این رابطه زمان τ_K بصورت زیر تعریف می شود

$$\tau_K = \frac{2J_{eff}}{\gamma_K^2 I^2 \hbar^2} \quad (6)$$

معادلات لانگوین تغییرات سه بعد دیگر را تعیین می کنند که به شکل زیر می باشند [۷]

$$\begin{aligned} \frac{dq_i}{dt} &= \frac{p_j}{m_{ij}}, \\ \frac{dp_i}{dt} &= -\frac{p_j p_k}{2} \frac{\partial}{\partial q_i} \left(\frac{1}{m_{jk}} \right) - \frac{\partial F}{\partial q_i} - \gamma_{ij} \frac{p_j}{m_{jk}} + R(t), \end{aligned} \quad (7)$$

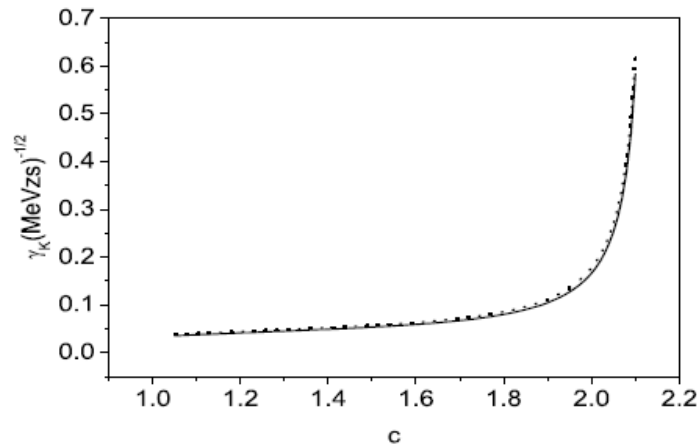


در این رابطه m_{ij} و $q, p, F, R(t), \gamma_{ij}$ به ترتیب نشان دهنده اصطکاک، نیروی رندوم، انرژی آزاد، تکانه، پارامتر دینامیکی (کشیدگی، عدم تقارن و ضخامت گردن) و اینرسی می باشند. پهنای واپاشی نوترون با رابطه زیر تعیین می شود [۸]

$$\Gamma_n = \frac{2m_n}{(\pi\hbar)^2 \rho_m(E_{int})} \int_0^{E_{int}-B_n} d\varepsilon \rho_d(E_{int} - B_n - \varepsilon) \varepsilon \sigma_{inv} \quad (۸)$$

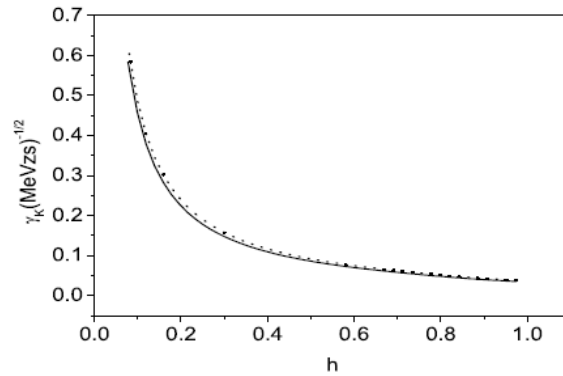
در این رابطه B_n و $\varepsilon, E_{int}, \rho_m, \rho_d$ به ترتیب چگالی ترازهای هسته باقیمانده، چگالی ترازهای هسته مرکب، انرژی برانگیختگی اولیه هسته مادر، انرژی نوترون منتشر شده و انرژی بستگی نوترون اند. در هر گام زمانی $\Delta t = 0.005 \hbar / \text{MeV}$ یک عدد تصادفی (r) با توزیع یکنواخت در بازه صفر تا یک تولید می کنیم اگر رابطه $r < \Delta t / \tau_n$ که در آن $\tau_n = \hbar / \Gamma_n$ برقرار باشد، گسیل یک نوترون در آن فاصله زمانی اتفاق می افتد.

نتایج:

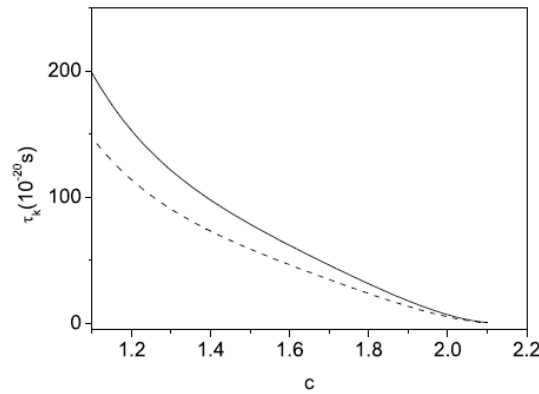


شکل ۱: تغییرات ضریب اتلافی پارامتر K بصورت تابعی از پارامتر کشیدگی. نمودار خط چین و پررنگ به ترتیب مربوط به واکنش های ${}^{169}\text{Tm} + {}^9\text{F}$ و ${}^{192}\text{Os} + {}^8\text{O}$ می باشند.

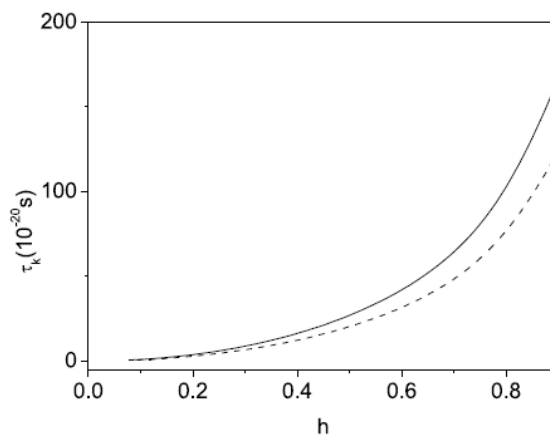
محاسبات برای دو سیستم ${}^{169}\text{Tm} + {}^9\text{F}$ و ${}^{192}\text{Os} + {}^8\text{O}$ انجام شده است. نتایج در شکل های ۱ تا ۶ نشان داده شده است. شکل (۱) نشان می دهد با افزایش پارامتر کشیدگی، ضریب اتلافی پارامتر K افزایش می یابد. در شکل (۲) می توان مشاهده کرد که با افزایش ضخامت گردن، این کمیت کاهش می یابد.



شکل ۲: تغییرات ضریب اتلافی پارامتر K بصورت تابعی از پارامتر کشیدگی. نمودار خط چین و پررنگ به ترتیب مربوط به واکنش های ${}^{169}_{69}Tm + {}^9_4F$ و ${}^{192}_{76}Os + {}^{18}_8O$ می باشند.



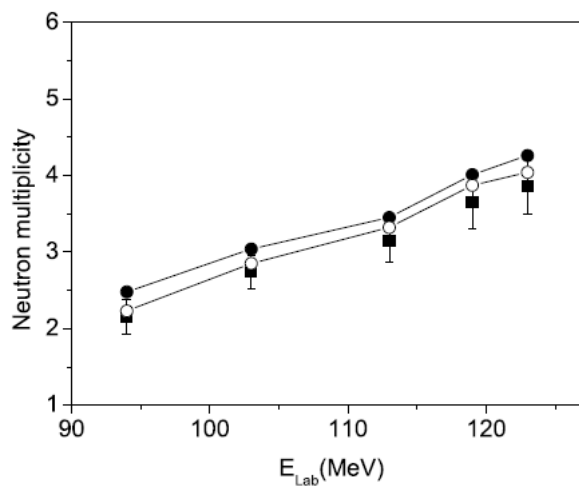
شکل ۳: تغییرات زمان ویژه مختصه K برحسب پارامتر کشیدگی. نمودار خط چین و پررنگ به ترتیب مربوط به سیستم ${}^{169}_{69}Tm + {}^9_4F$ و ${}^{192}_{76}Os + {}^{18}_8O$ می باشند.



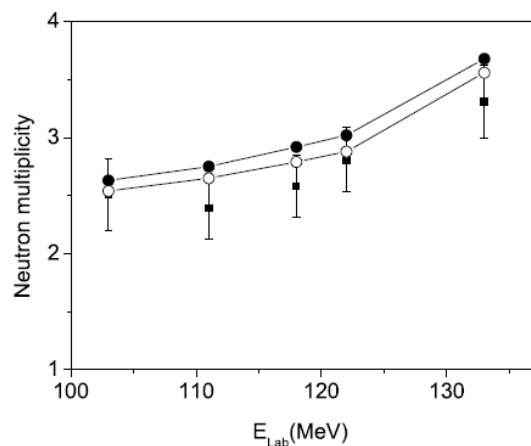
شکل ۴: تغییرات تغییرات زمان ویژه مختصه K برحسب پارامتر ضخامت گردن. نمودار خط چین و پررنگ به ترتیب مربوط به سیستم ${}^{169}_{69}Tm + {}^9_4F$ و ${}^{192}_{76}Os + {}^{18}_8O$ می باشند.



در شکل (۳) تغییرات زمان ویژه مختصه K بر حسب پارامتر کشیدگی نشان داده شده است. با افزایش پارامتر کشیدگی این زمان کاهش می یابد. در حالی در شکل (۴) با افزایش پارامتر ضخامت گردن این زمان افزایش می یابد. همچنین تغییرات تعداد نوترون های گسیل شده بر حسب انرژی برای دو سیستم ذکر شده در شکل های (۵) و (۶) نشان داده شده اند. مشاهده می شود برای حالتی که کمیت γ_K بصورت متغیر در نظر گرفته می شود نتایج بدست آمده همخوانی بهتری با نتایج تجربی دارند.



شکل ۵: تغییرات تعداد نوترون های گسیل شده در واکنش $^{18}O + ^{199}Os$ بر حسب انرژی. دایره های توپر و توخالی به ترتیب نتایج دینامیک چهار بعدی برای $\gamma_K = 0.0077 (MeV \cdot zs)^{-1/2}$ و γ_K متغیر است. مربع های توپر داده های تجربی اند [۹].



شکل ۶: تغییرات تعداد نوترون های گسیل شده در واکنش $^{19}F + ^{169}Tm$ بر حسب انرژی. دایره های توپر و توخالی به ترتیب نتایج دینامیک چهار بعدی برای $\gamma_K = 0.0077 (MeV \cdot zs)^{-1/2}$ و γ_K متغیر است. مربع های توپر داده های تجربی اند [۹].

مراجع:



- [۱] P. N. Nadtochy, G. D. Adeev, A. V. Karpov, More detailed study of fission dynamics in fusion-fission reactions within a stochastic approach. *Phys. Rev.C* ۶۵, ۰۶۴۶۱۵ (۲۰۰۲).
- [۲] W. Ye and N. Wang, Significant role of level-density parameters in probing nuclear dissipation with light-ion-induced fission excitation functions, *Phys. Rev. C* ۸۷, ۰۱۴۶۱۰ (۲۰۱۳).
- [۳] D. Naderi, M. R. Pahlavani and S. A. Alavi, Anisotropy of the angular distribution of fission fragments in heavy-ion fusion-fission reactions: The influence of the level-density parameter and the neck thickness, *Phys. Rev. C* ۸۷, ۰۵۴۶۱۸ (۲۰۱۳).
- [۴] A. V. Karpov, P. N. Nadtochy, D. V. Vain, G. D. Adeev, Three-dimensional Langevin calculations of fission fragment mass-energy distribution from excited compound nuclei. *Phys. Rev. C* ۶۳, ۰۵۴۶۱۰ (۲۰۰۱).
- [۵] P. N. Nadtochy, *et al.* Four-dimensional Langevin dynamics of heavy-ion-induced fission, *Phys. Rev. C* ۸۵, ۰۶۴۶۱۹ (۲۰۱۲).
- [۶] A. K. Dhara, K. Krishan, C. Bhattacharya, and S. Bhattacharya, A dynamical study of fission process and estimation of precission neutron multiplicity, *Phys. Rev. C* ۵۷, ۲۴۵۳ (۱۹۹۸).
- [۷] P. N. Nadtochy *et al.*, Examination of isospin effects in multi-dimensional Langevin fission dynamics, *Phys. Lett. B* ۶۸۵, ۲۵۸ (۲۰۱۰).
- [۸] P. Frobrich and I. I. Gontchar, , Langevin description of fusion, deep inelastic collisions and heavy ion induced fission, *Phys. Rep.* ۲۹۲, ۱۳۱ (۱۹۹۸).
- [۹] J. O. Newton, *et al.*, Measurement and statistical model analysis of pre-fission neutron multiplicities, *Nucl. Phys, A* ۴۸۳, ۱۲۶ (۱۹۸۸).