

مطالعه‌ی سطح مقطع همجوشی برای سیستم‌های مقیدضعیف



عبدالمجید، ایزدپناه؛ وحید، زنگانه*؛ مهدی، میرزایی؛ فرهاد، یعقوبی‌مهران

دانشگاه گلستان، دانشکده علوم، گروه فیزیک

چکیده

در این مقاله از رابطه‌ی تصحیح‌شده وانگ برای محاسبه سطح مقطع همجوشی کامل سیستم‌های مقیدضعیف ${}^6_3\text{Li} + ({}^{144}_{62}\text{Sm}, {}^{152}_{62}\text{Sm}, {}^{209}_{83}\text{Bi})$ استفاده شده و نتایج با فرمول وانگ و مقادیر تجربی مقایسه گردیده است. نتایج بدست آمده توافق خوبی را بین سطح مقطع‌های محاسبه شده با استفاده از مدل وانگ تصحیح‌شده و نتایج تجربی نشان می‌دهد.

کلید واژه: مدل وانگ تصحیح شده، سطح مقطع همجوشی کامل، هسته‌های مقیدضعیف.

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه زیادی به واکنش‌های همجوشی یون‌های سنگین با هسته‌های مقیدضعیف به‌عنوان پرتابه، شده است [۱ و ۲]. این هسته‌ها در مطالعه‌ی ساختار هسته‌ها و واکنش‌های اخترفیزیک هسته‌ای مهم هستند [۴]. هسته‌های مقیدضعیف (سست) انرژی آستانه‌ی فروپاشی پایینی دارند و فرایندهای همجوشی هسته‌ای آنها به صورت همجوشی کامل (CF-complete fusion) و همجوشی ناکامل (incomplete fusion- ICF) دسته‌بندی می‌شود [۵]. اندازه‌گیری مجزای این دو فرایند برای سیستم‌های مقیدضعیف در حال حاضر بصورت تجربی امکان‌پذیر نمی‌باشد. در برخورد هسته‌های مقیدضعیف، سطح مقطع همجوشی کامل (CF) ممکن است تحت تاثیر دو اثر باشد: دنباله بلند چگالی همبسته با نوکلئون‌های مقیدضعیف، ارتفاع سد همجوشی را کاهش می‌دهد و باعث تغییر انحنای آن می‌شود، همچنین اثرات دینامیکی قوی ناشی از جفت‌شدگی با کانال فروپاشی با کاهش ارتفاع سد به افزایش همجوشی می‌انجامد. تلاش‌های نظری برای محاسبه‌ی سطح مقطع‌های ICF، CF و همجوشی کل (TF)، $\sigma_{TF} = \sigma_{CF} + \sigma_{ICF}$ ، به دو رهیافت استاتیکی و دینامیکی تقسیم می‌شود [۶]. سطح مقطع همجوشی در برخوردهای هسته- هسته‌ای ممکن است به شدت تحت تاثیر کانال اثرات جفت‌شدگی قرار داشته باشد. این اثرات به ویژه در انرژی‌های زیر سد مهم هستند تا جایی که با حضور



کانال‌های ناکشسان یا انتقال، سطح مقطع ممکن است افزایش یابد [۷]. در این محاسبات، محاسبه پتانسیل برهم‌کنش و در نظر گرفتن کانال‌های فروپاشی، اثرات انتقالی و جفت شدگی تأثیر به‌سزایی دارند.

در این مقاله وابستگی انرژی به تکانه زاویه‌ای برای بدست آوردن معادله‌ای برای تکانه زاویه‌ای بر حسب انرژی مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت با توجه به رابطه بدست آمده برای هر سیستم مجزا، رابطه‌ی وانگ اولیه را تصحیح کرده و تکانه زاویه‌ای را به آن اضافه نموده و رابطه را تصحیح می‌کنیم. سپس با استفاده از رابطه‌ی وانگ تصحیح شده، سطح مقطع هم‌جوشی واکنش را برای سیستم مقید ضعیف به‌دست آورده و مقادیر بدست آمده را با نتایج تجربی مقایسه می‌کنیم.

محاسبه سطح مقطع هم‌جوشی در برهم‌کنش‌های یون سنگین

سطح مقطع هم‌جوشی کل برهم‌کنش از مجموع سطح مقطع‌های جزئی که احتمال وقوع برهم‌کنش در انرژی و زاویه خاصی را به دست می‌دهند، حاصل می‌شود. سطح مقطع کل هم‌جوشی، احتمال کلی وقوع برهم‌کنش است و از رابطه زیر به دست می‌آید،

$$\sigma_{tot}(E) = \sum_{l=0}^{l=\infty} \sigma_l(E) \quad (1)$$

σ_l سطح مقطع جزئی برای پاره موج l امی است و بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$\sigma_l(E) = \frac{\pi \hbar^2}{2\mu E} (2l+1) T_l(E) \quad (2)$$

$$T_l(E) = [1 + \exp(\pi S_l(E))]^{-1} \quad (3)$$

که در این رابطه T_l احتمال نفوذ پاره موج l ام، μ جرم کاهش‌دهنده پرتابه، E انرژی مرکز جرم و V سد پتانسیل برهم‌کنش است. در رابطه معمولی وانگ سد پتانسیل یک بعدی بصورت ساده و شعاعی در نظر گرفته می‌شود،

$$V_0(r) = V_{B0} - \frac{1}{2} \mu^2 \omega^2 (r - R_{B0})^2 \quad (4)$$

که در آن ω انحناي سد پتانسیل موج S ، V_{B0} و R_{B0} ارتفاع و مکان سد موج S است.

در نتیجه سطح مقطع کل برای موج S به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\sigma_w(E) = \frac{\hbar\omega \cdot R_b^2}{2E} \ln \left[1 + \exp \left(\frac{\gamma\pi(E-V_b)}{\hbar\omega} \right) \right] \quad (5)$$

این رابطه به فرمول وانگ معروف است که یک رابطه تقریبی برای محاسبه سطح مقطع هم جوشی می باشد.

در مدل تصحیح شده وانگ سطح مقطع هم جوشی بصورت زیر بدست می آید [۷]

$$\sigma_{fus} = \left(\frac{\hbar\omega \cdot R_b^2}{2E} \right) \ln \left[\frac{1+e^{-y_0}}{1+e^{-z}} \right] \quad (6)$$

$$z = y_0 + \left[\frac{\pi\hbar}{\omega \cdot \mu R_b^2} \right] L_f (L_f + 1) \quad (7)$$

که در آن L_f ، حد تکانه زاویه ای ماکزیمم برای هم جوشی می باشد. همچنین سطح مقطع جزئی موج لام در ضریب تصحیح کننده P_l ضرب می شود. بطوری که

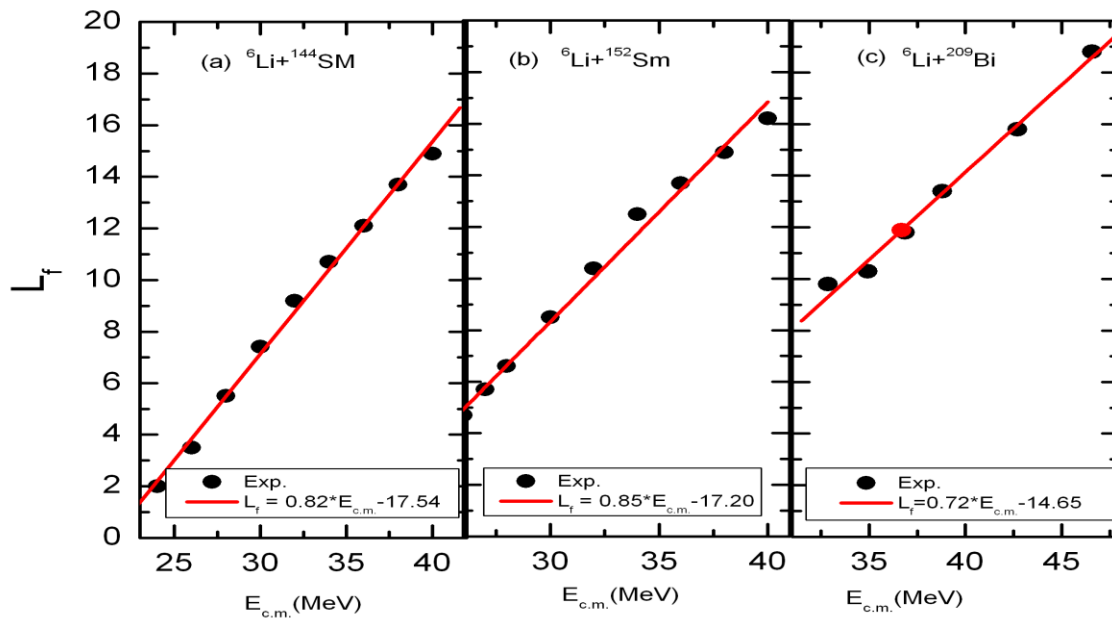
$$\sigma_{fus} = \frac{\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{l=\infty} (2l+1) T_l P_l \quad (8)$$

$$P_l = \begin{cases} 1 & l \leq L_f \\ 0 & l > L_f \end{cases} \quad (9)$$

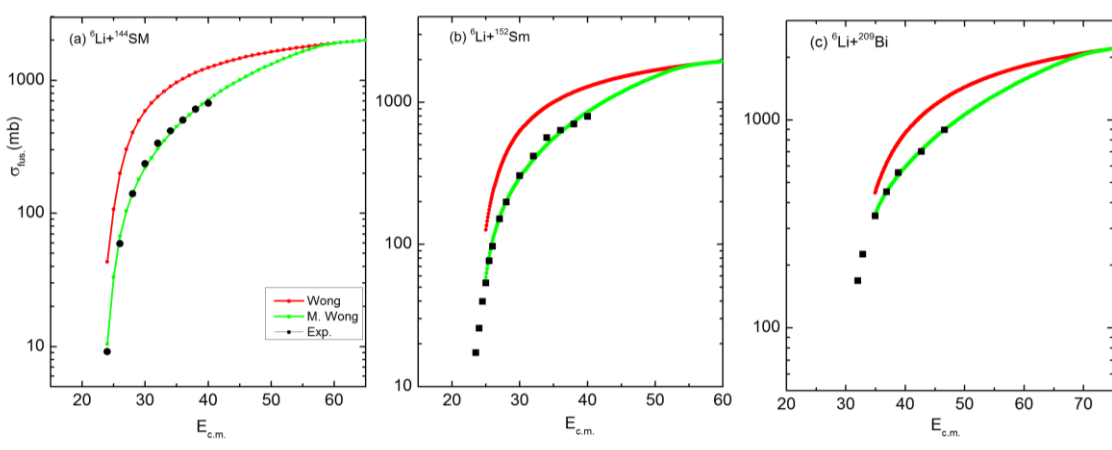
برای محاسبه پارامترهای سد: $\hbar\omega$, R_b , V_b می توان از برازش سطح مقطع هم جوشی فرمول وانگ تصحیح نشده استفاده کرد. در جدول (۱) مقادیر مربوط به این پارامترها برای هر واکنش نشان داده شده است. همچنین برای به دست آوردن رابطه L_f بر حسب E_{cm} می توان از برازش داده های تجربی سطح مقطع های هم جوشی در انرژی های مختلف استفاده کرد. در نهایت با استفاده از معادله بدست آمده L_f بر حسب E_{cm} می توان سطح مقطع هم جوشی را بدست آورد. در شکل های (۱-a, ۱-b, ۱-c) و (۲-a, ۲-b, ۲-c) نمودار بدست آمده L_f بر حسب E_{cm} و همچنین سطح مقطع هم جوشی بر حسب E_{cm} برای چند سیستم مقید ضعیف، به همراه نتایج تجربی نشان داده شده است.

جدول (۱): پارامترهای $\hbar\omega$, R_b , V_b برای واکنش های مختلف در حالت موج s.

واکنش	$\hbar\omega$	V_b (MeV)	R_b (fm)
${}^7\text{Li} + {}^{144}\text{Sm}$	۴٫۷۵۶۵	۲۴٫۴۷	۱۰٫۰۹۹
${}^7\text{Li} + {}^{152}\text{Sm}$	۴٫۶۹۰۳	۲۴٫۲۶	۱۰٫۱۹۹
${}^7\text{Li} + {}^{209}\text{Sm}$	۴٫۸۲۸	۳۰٫۷۵	۱۰٫۸۹۹



شکل (۱): مقادیر L_f محاسبه شده با توجه به داده‌های تجربی سطح مقطع هم‌جوشی برای برهم‌کنش‌های ${}^6\text{Li} + {}^{144}\text{Sm}$ (a)، ${}^6\text{Li} + {}^{152}\text{Sm}$ (b) و ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi}$ (c)



شکل (۲): مقایسه سطح مقطع هم‌جوشی کل با استفاده از فرمول وانگ و سطح مقطع هم‌جوشی کامل با فرمول تصحیح شده وانگ با مقادیر تجربی برای برهم‌کنش‌های ${}^6\text{Li} + {}^{144}\text{Sm}$ (a)، ${}^6\text{Li} + {}^{152}\text{Sm}$ (b) و ${}^6\text{Li} + {}^{209}\text{Bi}$ (c)

نتیجه گیری:



در این مقاله با بررسی سیستم‌های مقید ضعیف و بکارگیری یک تکانه زاویه‌ای ماکزیمم (L_f) برای تصحیح رابطه سطح مقطع هم‌جوشی کامل وانگ، توافق خوبی بین محاسبات حاصل از رابطه تصحیح شده وانگ برای سیستم‌های مقید ضعیف (${}^6_3\text{Li} + ({}^{144}_{62}\text{Sm}, {}^{152}_{62}\text{Sm}, {}^{209}_{83}\text{Bi})$) با داده‌های تجربی مشاهده می‌شود. همچنین با مشاهده شکل‌های ۲-a, ۲-b, ۲-c می‌توان دریافت در انرژی‌های بالا، محاسبات فرمول وانگ و فرمول تصحیح شده وانگ به یکدیگر میل می‌کنند و در انرژی‌های پایین با یکدیگر اختلاف دارند. این اختلاف، همان‌گونه که انتظار می‌رود، ناشی از شکسته نشدن این هسته‌ها در طی برهم‌کنش در انرژی‌های بالا می‌باشد. در انرژی‌های بالا هسته‌های مقید ضعیف فرصت زیادی برای شکسته شدن ندارند و به سرعت وارد برهم‌کنش می‌شوند. در صورتی که در انرژی‌های پایین این هسته‌ها زمان کافی برای رسیدن به هسته هدف را دارند و می‌توانند قبل از رسیدن به هسته هدف شکسته شوند.

مراجع

- [۱] R. Rafiei and et. al., Phys. Rev. C ۸۱, ۰۲۴۶۰۱ (۲۰۱۰).
 [۲] S. Santra, and et. al., Phys. Rev. C ۸۳, ۰۳۴۶۱۶ (۲۰۱۱).
 [۳] D. J. Hinde and M. Dasgupta, Phys. Rev. C ۸۱, ۰۶۴۶۱۱ (۲۰۱۰).
 [۴] O. N. Ghodsi, S. A. Seyyedi and S. Mohammadi, Modern Physics Letters A ۲۷, ۱۲۵۰۱۳۳ (۲۰۱۲).
 [۵] L.F. Cantoa, and et. al., Physics Reports ۴۲۴, ۱۱۱ (۲۰۰۶).
 [۶] O. N. GHODSI, S. A. SEYYEDI, Modern Physics Letters A ۲۸, ۱۳۵۰۰۴۰ (۲۰۱۳).
 [۷] E. F. Aguilera, J. J. Kolata, PHYSICAL REVIEW C ۸۵, ۰۱۴۶۰۳ (۲۰۱۲).
 [۸] M. Dasgupta, and et. al. Phys. Rev. C ۷۰, ۰۲۴۶۰۶ (۲۰۰۴).
 [۹] P.R.S. Gomes and et. al., Phys. Lett.B ۶۳۴, ۳۵۶ (۲۰۰۶).
 [۱۰] P.R.S. Gomes and et. al., Phys.Rev.C ۷۳, ۰۶۴۶۰۶ (۲۰۰۶).