



بررسی مشخصات سد همجوشی در برهمکنش هسته های تغییر شکل یافته

فاطمه، لاری دارابی*؛ امید؛ ناصر قدسی

دانشگاه مازندران، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

در این مقاله با استفاده از فرمالیزم پتانسیل تقریبی به مطالعه مشخصات سد همجوشی، محل سد R_B و ارتفاع سد V_B ، بر روی سیستم های همجوشی که به صورت کروی-تغییر شکل یافته می باشند، پرداخته ایم. در این بررسی ها هسته تغییر شکل یافته *oblate* در دو نحوه سمت گیری، برهمکنش سرد و برهمکنش گرم، با هسته کروی برخورد می کند. نتایج بدست آمده منجر به پارامتر سازی فرمول هایی ساده جهت محاسبه کمیت های R_B و V_B در دو سمت گیری مذکور شده است که نشان می دهد در حالت کلی، *multi barrier* بتوان برای برهمکنش شامل هسته های تغییر شکل یافته به فرمولی ساده جهت محاسبه محل و ارتفاع سد همجوشی دست یافت.

کلمات کلیدی: برهمکنش همجوشی، پتانسیل تقریبی، ارتفاع و محل سد همجوشی، هسته های تغییر شکل یافته، برهمکنش سرد، برهمکنش گرم

مقدمه :

یکی از عوامل مهم در تحلیل واکنش های همجوشی، دانستن شکل دقیقی از پتانسیل برهمکنشی کل می باشد. بطور کلی این پتانسیل شامل سه بخش مختلف است. (۱) پتانسیل کولنی که ناشی از برهمکنش های بلند برد الکترومغناطیسی است. (۲) پتانسیل هسته ای که ناشی از برهمکنش های کوتاه-برد قوی هسته ای است. (۳) پتانسیل گریز از مرکز که ناشی از تکانه زاویه ای نسبی هسته های هدف و پرتابه می باشد. از طرفی در بیشتر مطالعات تئوری، پتانسیل ابتدا برای موج حالت S محاسبه می شود. از آنجایی که در فرایند برخورد هسته های هدف و پرتابه، محاسبه پتانسیل کولنی با دقت بالایی قابل انجام است، مهم ترین بخش، پیش بینی شکل دقیقی از پتانسیل هسته ای است. مطالعات انجام گرفته در این زمینه منجر به معرفی مدل های تئوری مختلفی برای محاسبه این بخش از پتانسیل برهمکنشی کل شده است [۱-۳]. یکی از این مدل ها، مدل پتانسیل تقریبی است که اولین نسخه از آن در سال ۱۹۷۷ توسط J. Blocki و همکارانش برای هسته های کروی معرفی شده است [۴]. در سال های اخیر این مدل برای هسته های تغییر شکل یافته تعمیم داده شده است [۵-۷].

بررسی بر روی هسته های تغییر شکل یافته، یکی از موضوعاتی است که در سال های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. مطالعات آزمایشگاهی و تئوری متفاوتی انجام شده است که بر اساس آن، اینگونه هسته ها را با پارامتر های تغییر شکل هسته، دو قطبی و چند قطبی الکتریکی، مشخص می کنند [۸،۹]. برهمکنش هایی که شامل یک یا دو هسته تغییر شکل یافته می باشند، عناصر پرتابه و هدف می توانند در سمت گیری

های متفاوتی با یکدیگر برخورد کنند. بطوریکه در اینگونه برخوردها به ازای هر سمت گیری، یک ارتفاع و محل سد همجوشی بدست می آید. بنابراین در این دسته واکنش ها با چندین سد همجوشی یا به اصطلاح multi barrier مواجه ایم.

از آنجایی که پارامتر تغییر شکل هسته ها به طور مستقیم بر روی محل و ارتفاع سد همجوشی تاثیر می گذارد، بنابراین بررسی مشخصات سد حائز اهمیت می باشد. در سال های اخیر تلاش های فراوانی مبنی بر پارامتر سازی ارتفاع و محل سد همجوشی صورت گرفته است که منجر به ارائه فرمول هایی ساده جهت محاسبه R_B و V_B شده است [۱۰-۱۵]. در اکثر این مطالعات، هسته های شرکت کننده در واکنش به صورت کروی فرض شده اند. در این تحقیق با بررسی بر روی هسته های تغییر شکل یافته، می خواهیم ببینیم که آیا می توان روند منظمی برای مشخصات سد در اینگونه واکنش ها یافت. برای این منظور با استفاده از فرمالیزم پتانسیل تقریبی تعمیم یافته برای هسته های تغییر شکل یافته، سیستم های کروی-تغییر شکل را مورد بررسی قرار خواهیم داد که هسته تغییر شکل یافته $(\beta_2 = -0.330)$ oblate در دو سمت گیری برهمکنش سرد و گرم با هسته کروی برخورد خواهد داشت.

روش انجام کار :

پتانسیل برهمکنشی کل میان هسته های پرتابه و هدف، یکی از فاکتورهای مهم در آنالیز واکنشهای همجوشی می باشد. این پتانسیل برای امواج کروی عبارت است از:

$$V_T(r) = V_C(r) + V_N(r) \quad (1)$$

که در آن $V_C(r)$ پتانسیل کولنی و $V_N(r)$ پتانسیل بخش هسته ای می باشد که در این مقاله از فرمالیزم پتانسیل تقریبی تعمیم یافته برای هسته های تغییر شکل یافته برای محاسبه این بخش استفاده شده است [۵]؛

$$V_N(r) = 4 \pi \gamma \bar{R} \Phi(S) \quad \text{MeV} \quad (2)$$

که در آن پارامتر های γ و \bar{R} به ترتیب ضریب انرژی سطح و شعاع کاهش یافته هسته های پرتابه و هدف میباشد [۵].

تابع جهانی $\Phi(S)$ بدین صورت تعریف میشود:

$$\Phi(S) = \begin{cases} \frac{-1}{2}(S - 2.54)^2 - 0.0852(S - 2.54)^3 & S \leq 1.2511 \\ -3.437 \exp\left(\frac{-S}{0.75}\right) & S \geq 1.2511 \end{cases} \quad (3)$$

که در آن S از رابطه زیر بدست می آید؛

$$S = r - X_1 - X_2 \quad (4)$$

در رابطه بالا r ، فاصله بین مراکز دو هسته می باشد و مقادیر X_1 و X_2 از مرجع [۵] گرفته شده اند.

با تعیین پتانسیل برهمکنشی کل، ارتفاع و محل سد همجوشی با روابط زیر قابل محاسبه میباشند:

$$\left. \frac{dV_T(r)}{dr} \right|_{r=R_B^{Th}} = 0, \quad (5)$$

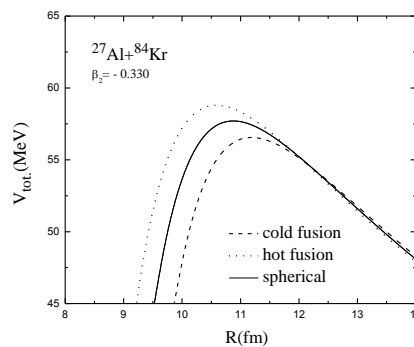
$$\left. \frac{d^2V_T(r)}{dr^2} \right|_{r=R_B^{Th}} \leq 0.$$

نتایج :

در این مقاله به منظور پارامتر سازی مشخصات سد همجوشی در ابتدا مقادیر تئوری این کمیتها را برای واکنشهای منتخب در این مقاله که در جدول ۱ لیست شده اند، محاسبه می کنیم. برای نمونه در شکل ۱ نمودار پتانسیل کل برای واکنش $^{27}\text{Al} + ^{84}\text{Kr}$ در دو سمت گیری برهمکنش گرم و سرد رسم شده است. همانطور که مشاهده می شود، پارامتر های تغییر شکل و همچنین نحوه سمت گیری هسته ها تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی ارتفاع و محل سد همجوشی دارد.

جدول شماره (۱)

واکنش	$^{27}\text{Al} + ^{16}\text{O}$	$^{27}\text{Al} + ^{40}\text{Ar}$	$^{27}\text{Al} + ^{84}\text{Kr}$	$^{27}\text{Al} + ^{197}\text{Au}$	$^{27}\text{Al} + ^{208}\text{Pb}$
$Z_1 Z_2$	۱۰۴	۲۳۴	۴۶۸	۱۰۲۷	۱۰۶۶



شکل (۱): نمودار پتانسیل برهمکنشی کل بر حسب فاصله بین هسته های پرتابه و هدف.

از آنجاییکه S یکی از پارامترهای مهم و اساسی در مدل پتانسیل تقریبی است، لذا ما از آن برای پارامتر سازی محل سد استفاده میکنیم. برای این منظور مقادیر محاسبه شده ی پارامتر S_B برای هر یک از جفت واکنش های موجود در مقاله بر حسب تابعی از $\frac{Z_1 Z_2}{A_1^{1/3} + A_2^{1/3}}$ در دو نحوه سمت گیری برهمکنش گرم و سرد، در شکل (۲) رسم شده اند. همانطور که مشاهده میشود، روند منظمی بین مقادیر تئوری S_B و پارامتر انتخاب شده وجود دارد که منحنی فیت شده ی آن بدین صورت ارائه می شود:

$$S_B^{Par.}(x) = \exp(a + bx + cx^2) \quad (6)$$



که در آن X پارامتر $\frac{Z_1 Z_2}{A_1^{1/3} + A_2^{1/3}}$ و نیز $a_1=1,309$ ، $b_1=-0.008$ ، $c_1=3,16E-5$ و $a_2=1,343$ ، $b_2=-0,006$

و $c_2=2,31E-5$ به ترتیب مقادیر فیت شده برای سمت گیری سرد و گرم می باشند.

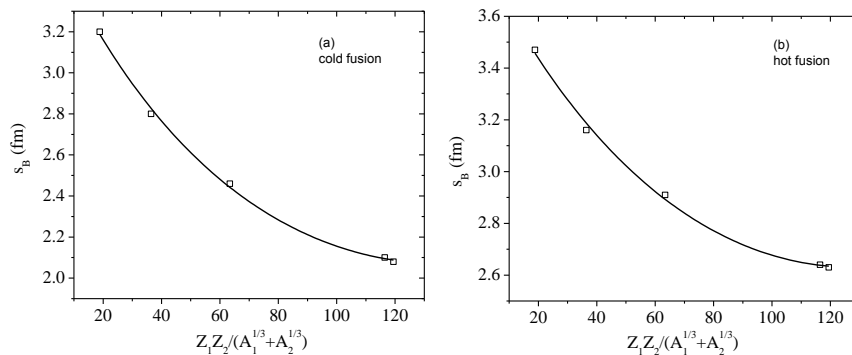
با پارامتر سازی S_B ، R_B بطور غیر مستقیم قابل پارامترسازیست. بطوریکه؛

$$R_B^{Par.}(x) = S_B^{Par.}(x) + X_1 + X_2 \quad (7)$$

برای محاسبه درصد خطای حاصل از مقادیر تئوری و پارامتر سازی شده محل سد، از فرمول زیر بهره میگیریم؛

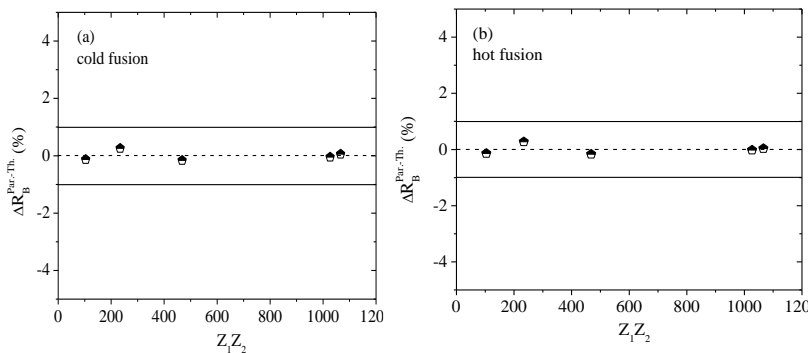
$$\Delta R_B^{Par.-Th.}(\%) = \frac{R_B^{Par.} - R_B^{Th.}}{R_B^{Th.}} \times 100 \quad (8)$$

مقادیر بدست آمده برای هر یک از دو سمت گیری ذکر شده در بالا، در شکل (۳) رسم شده اند. همانطور که مشاهده میشود، درصد خطا در بازه $(\pm 1\%)$ میباشد.



شکل (۲): منحنی روند تغییرات S_B بر حسب تابع $\frac{Z_1 Z_2}{A_1^{1/3} + A_2^{1/3}}$ در سمت گیری (a) برهمکنش گرم و (b)

برهمکنش سرد.



شکل (۳): درصد خطای حاصل از فرم پارامتر سازی شده و مقادیر تئوری بدست آمده بر حسب $Z_1 Z_2$

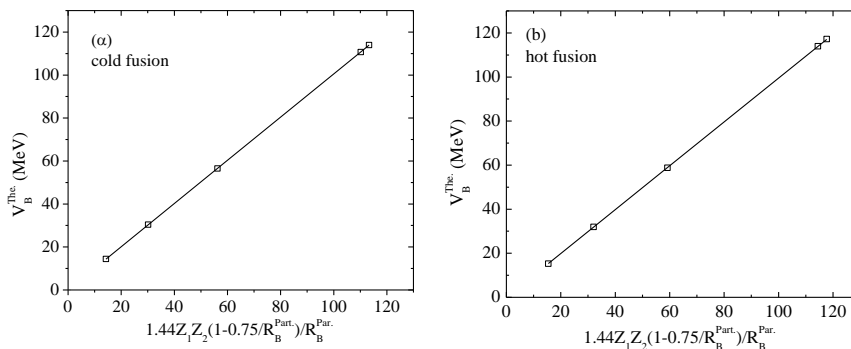
در ادامه برای پارامتر سازی ارتفاع سد همجوشی، از کمیت پیشنهاد شده از مراجع [۱۶،۱۷] استفاده کرده ایم. روند تغییرات V_B بر حسب $1.44 \frac{Z_1 Z_2}{R_B^{Par.}} (1 - \frac{0.75}{R_B^{Par.}})$ برای سیستمهای مختلف برهمکنشی در شکل (۴) رسم شده اند. بررسی ها نشان میدهند که روندی منظم و خطی بین ارتفاع سد و پارامتر پیشنهاد شده وجود دارد که خط فیت شده آن عبارت است از؛

$$V_B^{Par.} = \alpha (1.44 \frac{Z_1 Z_2}{R_B^{Par.}} (1 - \frac{0.75}{R_B^{Par.}})) \quad (9)$$

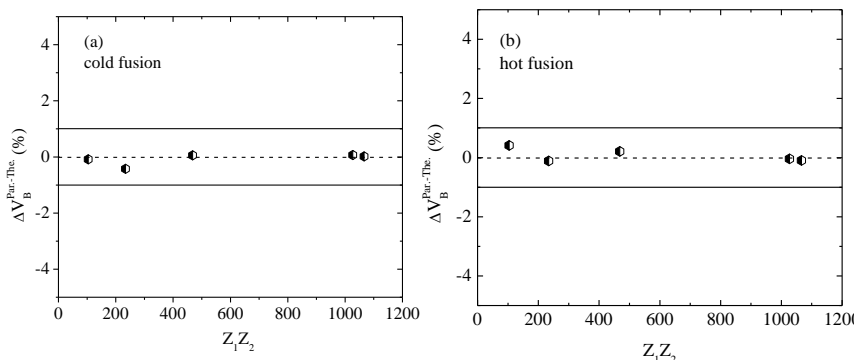
که برای سمت گیری سرد و گرم، به ترتیب ۱،۰۰۵ و ۰،۹۹۴ می باشد. با استفاده از معادله اخیر درصد خطای حاصل از مقادیر پیشبینی شده و مقادیر تئوری ارتفاع سد، از رابطه زیر محاسبه و در شکل (۵) رسم میشود؛

$$\Delta V_B^{Par.-Th.} (\%) = \frac{V_B^{Par.} - V_B^{Th.}}{V_B^{Th.}} \times 100 \quad (10)$$

نتایج حاصل نشان می دهد که درصد خطا در بازه $\pm 1\%$ میباشد.



شکل (۴): منحنی روند تغییرات V_B بر حسب تابع $1.44 \frac{Z_1 Z_2}{R_B^{Par.}} (1 - \frac{0.75}{R_B^{Par.}})$ در دو حالت سمت گیری (a) برهمکنش سرد و (b) برهمکنش گرم.



شکل (۵): درصد خطای حاصل از فرم پارامتر سازی شده و مقادیر تئوری بدست آمده بر حسب $Z_1 Z_2$

بحث و نتیجه گیری :

در این مقاله با استفاده از فرمالیزم پتانسیل تفریبی به مطالعه محل و ارتفاع سد همجوشی، بر روی سیستم هایی که به صورت کروی-تغییر شکل یافته (جدول ۱) می باشند، پرداخته ایم. در این بررسی ها هسته تغییر شکل یافته oblate در دو نحوه سمت گیری، برهمکنش سرد و برهمکنش گرم، با هسته کروی برخورد می کند. محل و ارتفاع سد بطور قابل ملاحظه ای تحت تاثیر پارامتر های تغییر شکل و همچنین نحوه سمت گیری هسته های پرتابه و هدف می باشد (شکل ۱). با مطالعه بر روند تغییرات مشخصات سد همجوشی برای این گونه واکنشها، توانسته ایم روابطی تحلیلی و ساده برای محاسبه R_B و V_B در دو سمت گیری ذکر شده در بالا پیشنهاد دهیم (شکل های ۲ و ۴). نتایج حاصل از بررسی بر روی تعدادی از واکنش های همجوشی که در محدوده $10.66 < Z_1, Z_2 < 10.4$ قرار داشتند، نشان می دهد که درصد خطای مقادیر پیش بینی شده ی ارتفاع و محل سد و داده های تئوری بدست آمده در حدود $\pm 1\%$ می باشد (شکل های ۳ و ۵). از آنجایی فرمولهای پارامتر سازی شده می توانند مقدار دقیق ارتفاع و محل سد همجوشی را بدون انجام محاسبات سخت و طاقت فرسا تخمین بزنند، مخصوصا برای هسته هایی که مشخصات سد همجوشی آنها هنوز بصورت تجربی اندازه گیری نشده است، بنابراین پیش بینی می شود که با مطالعه سیستماتیکی برهمکنش های شامل هسته های تغییر شکل یافته در حالت کلی، multi barrier، بتوان به فرمولی ساده جهت محاسبه محل و ارتفاع سد همجوشی دست یافت.

مراجع :

- [۱] R. K. Puri and R. K. Gupta, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. ۱۷, ۱۹۳۳ (۱۹۹۱).
- [۲] P.R. Christensen, A. Winther, Phys. Lett. B ۶۵, ۱۹ (۱۹۷۶).
- [۳] R. Bass, Phys. Rev. Lett. ۳۹, ۲۶۵ (۱۹۷۷); Nucl. Phys. A ۲۳۱, ۴۵ (۱۹۷۴).
- [۴] J. Blocki et al., Ann. Phys. (NY) ۱۰۵, ۴۲۷ (۱۹۷۷).
- [۵] R.K. Gupta, N. Singh and M. Manhas, Phys. Rev. C ۷۰, ۰۳۴۶۰۸ (۲۰۰۴).
- [۶] M. Manhas and R. K. Gupta, Phys. Rev. C ۷۲, ۰۲۴۶۰۶ (۲۰۰۵).
- [۷] R. Kumar, M. Bansal, S. K. Arun, and R. K. Gupta, Phys. Rev. C ۸۰, ۰۳۴۶۱۸ (۲۰۰۹).
- [۸] S. Misticu, and W. Greiner, Phys. Rev. c ۶۶, ۰۴۴۶۰۶ (۲۰۰۲).
- [۹] S. Misticu, and W. Greiner, Phys. Rev. c ۶۹, ۰۵۴۶۰۱ (۲۰۰۴).
- [۱۰] N. K. Dhiman and R. K. Puri, Acta. Phys. Pol. B ۳۷, ۱۸۵۵ (۲۰۰۶).
- [۱۱] I. Dutt, and R. K. Puri, Phys. Rev. C ۸۱, ۰۶۴۶۰۸ (۲۰۱۰).
- [۱۲] I. Dutt, Physics of Atomic nuclei ۷۴, ۱۰۱۰ (۲۰۱۱).
- [۱۳] O. N. Ghodsi, and R. Gharaei, Eur. Phys. J. A ۴۸, ۲۱ (۲۰۱۲).
- [۱۴] O. N. Ghodsi, R. Gharaei and F. Lari, Phys. Rev. C, ۸۶, ۰۲۴۶۱۵ (۲۰۱۲).
- [۱۵] W.W. Qu, G.L. Zhang, X.Y. Le, Nuclear Physics A ۸۶۸, ۱ (۲۰۱۱).
- [۱۶] N.G. Nicolis, Eur. Phys. J. A ۲۱, ۲۶۵ (۲۰۰۴).
- [۱۷] R. Moustabchir and G. Royer, Nucl. Phys. A ۶۸۳, ۲۶۶ (۲۰۰۱).