



بررسی اثرات تغییر شکل هسته‌ها و ماده هسته‌ای بر روی مکان و ارتفاع سد همجوشی

محمدارازی، گزل؛ ایزدپناه، عبدالمجید*؛ زنگانه، وحید

گروه فیزیک، دانشگاه گلستان، گرگان

چکیده

با در نظر گرفتن اثرات تغییر شکل هسته هدف مکان، ارتفاع سد و پتانسیل کل همجوشی، برای واکنش‌های $^{14}\text{N}+^{59}\text{Co}$ ، $^{16}\text{O}+^{72}\text{Ge}$ ، $^{40}\text{Ar}+^{165}\text{Ho}$ و $^{16}\text{O}+^{186}\text{W}$ که دارای پارامتر تغییر شکل بزرگ مثبت و منفی هستند، محاسبه شده است. همچنین به منظور بررسی اثرات کشش سطحی هسته‌ها بر روی پتانسیل کل همجوشی، محاسبات به کمک مدل پتانسیل پیرامونی و با سه نسخه مختلف از این پتانسیل که دارای ضرایب کشش سطحی متفاوت هستند، انجام شده است. نتایج بدست آمده بستگی مکان و ارتفاع سد و همچنین پتانسیل کل برهم‌کنش را به جهت‌گیری فضایی هسته هدف تغییر شکل یافته نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: پتانسیل پیرامونی، ارتفاع و مکان سد، هسته‌های تغییر شکل یافته.

مقدمه

اهمیت دانستن مقدارهای دقیق مکان و ارتفاع سد پتانسیل بین هسته‌ای برهم‌کنش‌گر در محاسبه سطح مقطع واکنش‌های یون‌های سنگین و ممکن نبودن اندازه‌گیری این کمیت‌ها بطور تجربی منجر به استفاده از مدل‌های نظری گوناگونی برای محاسبه این مقدارها شده است که برای مثال می‌توان به مدل فولدینگ دوگانه، مدل تابع چگالی انرژی اسکریم و مدل پتانسیل پیرامونی اشاره کرد [۳-۱]. در بسیاری از مطالعات، برای سهولت انجام کار و دوری از پیچیدگی‌های محاسبات، هسته‌های برهم‌کنش‌گر را کروی در نظر گرفته و از اثرات تغییر شکل هسته‌ها چشم‌پوشی شده است [۴]. بدیهی است چشم‌پوشی از این اثرات، به‌ویژه در هسته‌های متوسط و سنگین، منجر به بروز خطا در محاسبات و دوری از مقدارهای تجربی می‌گردد. در این مقاله به بررسی اثرات تغییر شکل هسته‌های هدف از حالت کروی در واکنش‌های همجوشی و همچنین تاثیر جهت‌گیری فضایی این هسته‌ها در مقدارهای محاسبه‌شده برای مکان و ارتفاع سد همجوشی با استفاده از مدل پتانسیل پیرامونی می‌پردازیم.



مدل پتانسیل پیرامونی

یکی از شایع‌ترین مدل‌های محاسبه پتانسیل بین هسته‌ای، مدل پیرامونی است. در این مدل، که در سال ۱۹۷۷ توسط بلوکی و همکاران ارائه شد [۵]، پتانسیل برهم‌کنش برحسب ویژگی‌های سطح‌های هسته‌های برهم‌کنش‌گر و در نظر گرفتن اثرات تراکم‌ناپذیری هسته‌ای به صورت زیر داده می‌شود

$$V_{Prox}(\xi) = 4\pi\gamma b\bar{R}\varphi(\xi) \quad (\text{MeV}) \quad (1)$$

تابع $\varphi(\xi)$ که به تابع جهانی موسوم است به صورت زیر تعریف می‌شود

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

پارامتر ξ به کمینه فاصله جدایی بین سطح‌های دو هسته بستگی دارد و با رابطه $\xi = \frac{r-C_1-C_2}{b}$ داده می‌شود که در آن r فاصله بین دو مرکز هسته‌ها، b پخشیدگی (پهنای) سطح (که برابر یک در نظر گرفته می‌شود) و C_i ها شعاع‌های پرتابه و هدف می‌باشند و از رابطه زیر برآورد می‌شوند

$$C_i = R_i \times \left\{ 1 - \left(\frac{b}{R_i}\right)^2 \right\} \quad i = 1 \text{ و } 2 \quad (3)$$

در اینجا R_i ها شعاع‌های موثر هسته‌ها بوده و عبارتند از

$$R_i = 1.28 A_i^{\frac{1}{3}} - 0.76 + 0.8 A_i^{\frac{-1}{3}} \quad (4)$$

با استفاده از روابط بالا، شعاع انحنای میانگین، \bar{R} ، نیز به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\bar{R} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (5)$$

در این مدل، γ ضریب کشش سطحی هسته‌ها می‌باشد که با رابطه زیر به تعداد کل پروتون‌ها و نوترون‌های دو هسته مرتبط است

$$\gamma = \gamma_0 \left[1 - k_s \left(\frac{N-Z}{N+Z} \right)^2 \right] \quad (6)$$

N و Z تعداد کل نوترون‌ها و پروتون‌های دو هسته است. مقدارهای مختلف ضرایب ثابت γ_0 و k_s نسخه‌های مختلف این پتانسیل را معرفی می‌کند. جدول ۱ مقدارهای این ضرایب را برای نسخه‌های $Prox^{۷۷}$ ، $Prox^{۸۸}$ و $Prox^{۲۰۱۰}$ بکار رفته در این مقاله، نشان می‌دهد.

جدول ۱: پارامترهای ثابت ضریب کشش سطحی سه نسخه پتانسیل پیرامونی.

نسخه	γ_0	k_s
------	------------	-------



۱,۷۸۲۶	۰,۹۵۱۷	Prox ^{۷۷}
۲,۳	۱,۲۴۹۶	Prox ^{۸۸}
۴	۱,۴۶۰,۷۳۴	Prox ^{۲۰۱۰}

در این مقاله پتانسیل کل برهم کنش بین دو هسته به صورت $V_{tot}(r) = V_{prox}(r) + V_C(r)$ محاسبه می شود که در آن V_{prox} پتانسیل محاسبه شده با استفاده از مدل پیرامونی و V_C پتانسیل کولنی است که بطور کلی برای دو هسته تغییر شکل یافته از رابطه زیر محاسبه می شود [۶]

$$V_C(r) = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r} + 3Z_1 Z_2 e^2 \sum_{j,i=1,2} \frac{1}{2j+1} \frac{R_i^j(\alpha_i)}{r^{j+1}} Y_{j,0}(\theta_i) \left\{ \beta_{ji} + \frac{4}{7} \beta_{ji}^2 Y_{j,0}(\theta_i) \right\} \quad (۷)$$

θ_i زاویه بین محور تقارن هسته ها (در این جا هسته هدف) و محور Z است که در شکل ۱ نشان داده شده است. برای وارد کردن اثرات تغییر شکل، شعاع هسته هدف از رابطه زیر محاسبه شده است

$$R_2(\alpha_2) = R_2 [1 + \sum_j \beta_{j2} Y_{j,0}(\alpha_2)] \quad (۸)$$

که در آن R_2 از رابطه (۴) محاسبه می شود، $Y_{j,0}(\alpha_2)$ تابع های هماهنگ کروی و β_{j2} ها نیز پارامترهای تغییر شکل هسته می باشند. در این پژوهش تنها جملات شامل β_{22} و β_{42} (چهار قطبی و هشت قطبی) را در نظر گرفته ایم. با توجه به محاسبه شعاع هسته هدف از رابطه بالا، شعاع انحنای میانگین از رابطه زیر بدست می آید [۷]

$$\frac{1}{\bar{R}^2} = \frac{1}{R_{11}R_{12}} + \frac{1}{R_{21}R_{22}} + \left(\frac{1}{R_{11}R_{21}} + \frac{1}{R_{12}R_{22}} \right) \sin^2(\varphi) + \left(\frac{1}{R_{11}R_{22}} + \frac{1}{R_{21}R_{12}} \right) \cos^2(\varphi) \quad (۹)$$

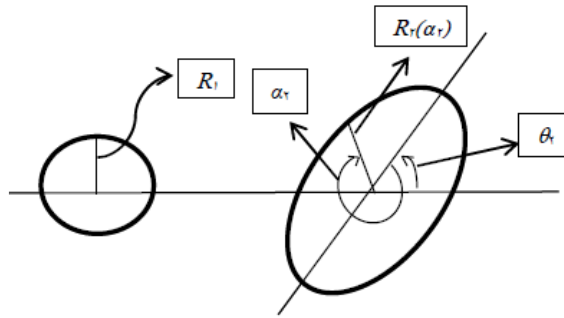
که در آن شعاع های انحنای عبارتند از

$$R_{i1}(\alpha_i) = \frac{[R_i^2(\alpha_i) + \hat{R}_i^2(\alpha_i)]^{3/2}}{R_i^2(\alpha_i) + 2\hat{R}_i^2(\alpha_i) - R_i(\alpha_i)R''_i(\alpha_i)} \quad (۱۰)$$

$$R_{i2}(\alpha_i) = \frac{R_i(\alpha_i) \sin(\alpha_i)}{\cos(\frac{\pi}{2} - \alpha_i - \delta_i)}$$

پارامتر δ_i نیز عبارت است از [۷]

$$\tan(\delta_i) = -\frac{\hat{R}_i(\alpha_i)}{R_i(\alpha_i)} \quad (۱۱)$$



شکل ۱: شماتیکی از هسته‌های برهم کنش کننده تغییر شکل یافته.

محاسبات و نتایج

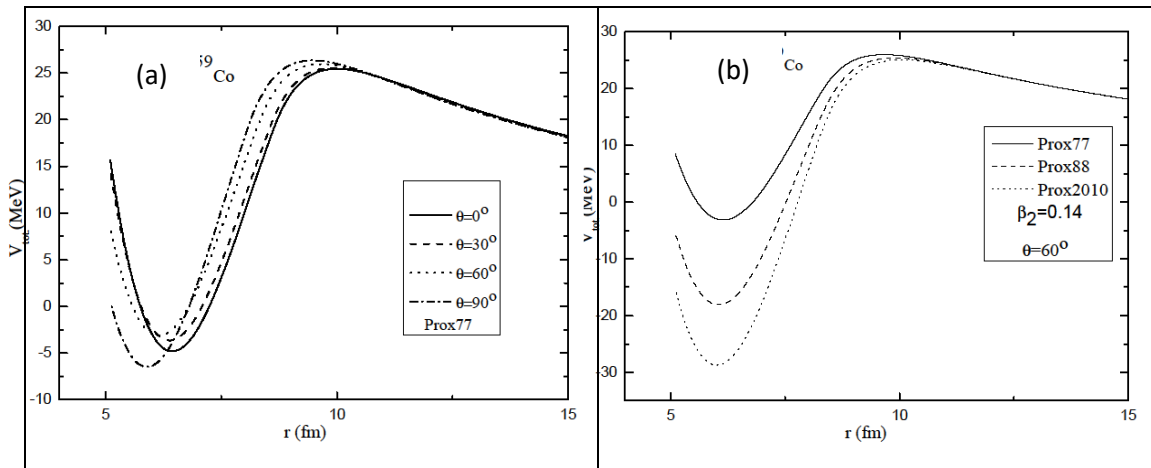
در این پژوهش، بر اساس روابط معرفی شده، پتانسیل کل واکنش را برای واکنش‌های $^{40}\text{Ar}+^{165}\text{Ho}$ ، $^{16}\text{O}+^{72}\text{Ge}$ ، $^{14}\text{N}+^{59}\text{Co}$ و $^{16}\text{O}+^{186}\text{W}$ با هسته هدف پخیده ($\beta_2 < 0$) و کشیده ($\beta_2 > 0$) و پرتابه‌های کروی محاسبه کردیم. مکان و ارتفاع سد به کمک روابط زیر محاسبه می‌شوند

$$\left. \frac{dV(r)}{dr} \right|_{r=r_B} = 0 \quad \text{و} \quad \left. \frac{d^2V(r)}{dr^2} \right|_{r=r_B} \leq 0$$

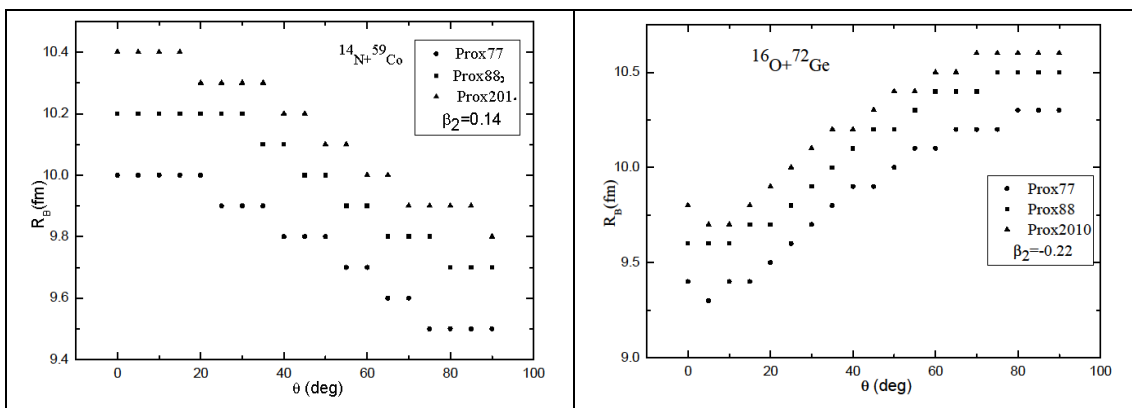
نتایج بدست آمده حاکی از بستگی شدید مکان و ارتفاع سد پتانسیل به اثرات ناشی از تغییر شکل هسته هدف می‌باشد. برای مثال در شکل (a)-۲ به منظور مطالعه جهت‌گیری هسته‌های برهم‌کنش‌گر بر پتانسیل کل، پتانسیل کل برهم‌کنش $^{14}\text{N}+^{59}\text{Co}$ را، برای نمونه، با در نظر گرفتن پارامترهای تغییر شکل (β_2 و β_4) نشان داده‌ایم. همان‌طور که از این شکل پیدا است با افزایش زاویه، پتانسیل کل افزایش یافته و تشکیل توزیع سد پتانسیل را می‌دهد که این به دلیل مثبت بودن (کشیدگی) پارامتر تغییر شکل هسته ^{59}Co می‌باشد و این کشیدگی سبب کاهش نیروی هسته‌ای و افزایش پتانسیل کل می‌شود. همچنین به منظور نشان دادن اثرات پارامتر کشش سطحی، مکان‌های سد پتانسیل بدست آمده از نسخه‌های مختلف پتانسیل پیرامونی که دارای پارامتر کشش سطحی متفاوتی هستند در جهت‌گیری فضایی $\theta_2 = 60^\circ$ در شکل (b)-۲ رسم شده است. در این شکل، بستگی پتانسیل کل به اثرات کشش سطحی هسته‌ها به روشنی دیده می‌شود. با توجه به تاثیر تغییر شکل هسته‌ها و اثرات ماده هسته‌ای بر روی پتانسیل کل، به منظور نشان دادن این اثرات بر روی ارتفاع و مکان سد پتانسیل، نمودار مکان و ارتفاع سد را بر حسب زاویه در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده‌ایم. در اینجا نیز نتایج بدست آمده از هر سه نسخه بکار گرفته شده، بستگی هر دو کمیت به زاویه را کاملاً نشان می‌دهند. از شکل ۳ دیده می‌شود که برای هسته‌های کشیده ($\beta_2 > 0$) محل سد با افزایش زاویه کاهش و برای هسته‌های پخیده ($\beta_2 < 0$) افزایش پیدا می‌کند که این روند برای ارتفاع سد پتانسیل عکس می‌باشد. دلیل این روند افزایشی ارتفاع سد با افزایش زاویه

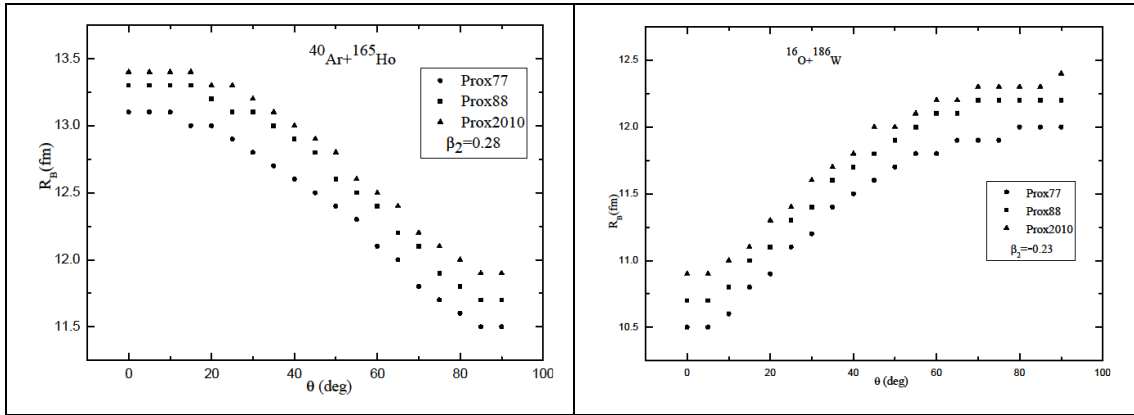


برای هسته‌های کشیده، ناشی از کاهش تاثیر بخش هسته‌ای و غلبه پتانسیل کولنی می‌باشد. از طرفی در زوایای زیاد هسته‌های برهم‌کنش‌گر در فواصل کمتری به یکدیگر می‌رسند که سبب کاهش محل سد می‌شود. این توجیه را بطور مشابه می‌توان برای هسته‌های پخیده نیز بکار برد. همچنین این شکل‌ها نشان می‌دهد برای همه نوع هسته‌های کشیده و پخیده، مکان سد بدست آمده از پتانسیل پیرامونی ۲۰۱۰ از همه بیشتر و از پتانسیل ۷۷ از همه کمتر است. این روند برای ارتفاع سد پتانسیل عکس می‌باشد. به عبارت دیگر، ارتفاع سد پتانسیل ۷۷ از همه بیشتر و پتانسیل ۲۰۱۰ از همه کمتر است که نشان دهنده نقش ماده هسته‌ای در ارتفاع و محل سد پتانسیل می‌باشد.

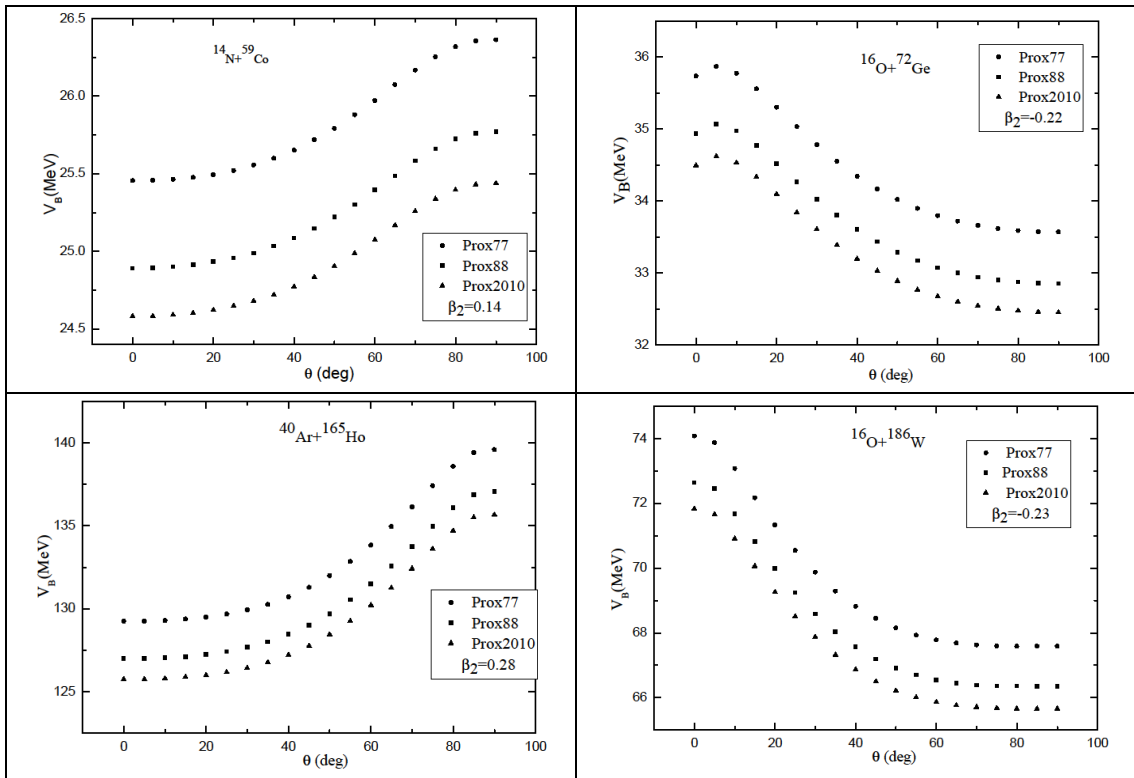


شکل ۲: (a) تاثیر جهت‌گیری فضایی بر پتانسیل کل در زوایای مختلف. (b) نقش کشش سطحی هسته‌های برهم‌کنش‌گر بر پتانسیل کل.





شکل ۳: تاثیر جهت گیری فضایی و ماده هسته‌ای بر مکان سد پتانسیل.



شکل ۴: تاثیر جهت گیری فضایی و ماده هسته‌ای بر ارتفاع سد پتانسیل.

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از پتانسیل پیرامونی نقش تغییر شکل هسته‌ها و اثرات ماده هسته‌ای را بر پتانسیل کل برهم‌کنش و ارتفاع سد و مکان سد نشان داده‌ایم. مهمترین نتایج حاصل از این مطالعه را می‌توان به صورت زیر بیان کرد: ۱- تغییر شکل هسته‌ها بر



پتانسیل کل، تاثیر زیادی دارد به ویژه در نواحی که همپوشانی بین دو هسته صورت می‌گیرد، تاثیر بسزایی دارد. ۲- ماده هسته‌ای باعث تغییرات زیادی بر پتانسیل کل می‌شود. ۳- برای هسته‌های کشیده با افزایش زاویه، محل سد کاهش پیدا می‌کند و برای هسته‌های پخیده افزایش می‌یابد (شکل ۳). ۴- با افزایش زاویه برای هسته‌های کشیده/ پخیده ارتفاع سد پتانسیل افزایش / کاهش می‌یابد. ۵- مکان سد پتانسیل ۲۰۱۰ از همه بیشتر و پتانسیل ۷۷ از همه کمتر است. ۶- ارتفاع سد پتانسیل ۲۰۱۰ از همه کمتر و پتانسیل ۷۷ از همه بیشتر است.

مراجع

- [1] W.W.Qu, G.L.Zhang and X.Y.Le, Nucl.Phys.A 869,1,(2011).
- [2] I.Dutt and R.K.Puri, Phys.Rev.C 81,064608 (2010).
- [3] O.N.Ghodsi and F.Lari, Mod.Phys.Lett.A 28, 29 (2013).
- [4] I.Dutt and R.K.Puri, Phys.Rev.C 81,064609 (2010).
- [5] J.Blocki and et al., Ann.Phys. 105, 427 (1977).
- [6] M.Manhas and R.K.Gupta, Phys.Rev.C 72,024606 (2005).
- [7] R.K.Gupta, N. Singh and M.Manhas, Phys.Rev.C 70,034608 (2004).



Investigation of Nuclei Deformation Effects and Nuclear Matter on the Fusion Barrier Height and Position

Mohammadarazi, Gozal; Izadpanah, Abdolmajid*; Zanganeh, Vahid

Department of Physics, Golestan University, Gorgan, Iran

By using the effects of target nucleus deformation, we calculate position, height and total potential of fusion for $^{14}N+^{59}Co$, $^{16}O+^{72}Ge$, $^{40}Ar+^{165}Ho$ and $^{16}O+^{186}W$ reactions, which have large positive and negative deformation parameters. Also, to study the effects of surface tension of nuclei on the total fusion potential, we carried out the calculations using three different Proximity potentials with different surface tension coefficients. The results show that the position, height and total potential are all dependent to spatial orientation of the deformed target nuclei.

Keywords: proximity potential, barrier height and position, deformed nuclei.