مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)

بررسی عمق پتانسیل نوکلئون – نوکلئون در واکنش های همجوشی $^{4,6}He + ^{209}Bi$

محمد محمودی*، علی اکبر رجبی

دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته ای

چکیده

در این مقاله سطح مقطع همجوشی واکنش های $^{4}He + ^{209}Bi$ و $^{6}He + ^{209}Bi$ را در انرژی های نزدیک سد همجوشی با استفاده از پتانسیل نوکلئون – نوکلئون از نوع مغزی نرم بررسی کرده ایم. با استفاده از یک پارامتر آزاد محدوده عمق پتانسیل مغزی نرم را طوری تغییر داده ایم تا محاسبات تحلیلی سطح مقطع همجوشی در توافق مناسبی با مقادیر تجربی باشد. نتایج نشان می دهند با افزایش انرژی پرتابه، اندازه پارامتر عمق پتانسیل مغزی نرم کاهش می یابد. همچنین مشاهده می شود پارامتر عمق محاسبه شده برای پرتابه ^{6}He نسبت به ^{4}He در همان محدوده انرژی، به ویژه در انرژی های زیر سد همجوشی بزرگتر است. ما سعی می کنیم این رفتار را توضیح دهیم.

در سال های اخیر بررسی مکانیسم واکنش های همجوشی شامل هسته های پرتابه از نوع « هاله[1] » نظیر ^{6}He ، ^{8}He و ^{11}Li مورد توجه محققین زیادی قرار گرفته است[۱،۲]. یکی از سوال های اساسی در این مطالعات تاثیر گسترش شعاعی توزیع نوکلئون ها بر روی سطح مقطع همجوشی می باشد. از مدل های موجود جهت بررسی تحلیلی سطح مقطع همجوشی، مدل SBPM[2] می باشد[۳]. در این مدل، سد همجوشی توسط پتانسیل کولنی و هسته ای بین سیستم پرتابه و هدف توصیف می گردد. پتانسیل هسته ای بین هسته های پرتابه و هدف را می توان توسط روش DFM[3] محاسبه نمود[٤]. در این محاسبات علاوه بر چگالی ماده هسته ای، انتخاب برهم کنش موثر بین نوکلئون های هسته های پرتابه و هدف بسیار مهم است. در این مقاله، سطح مقطع همجوشی کامل واکنش $^{6}He + ^{209}Bi$ با استفاده از مدل SBPM بررسی شده است. از آنجایی که گسترش شعاعی نوکلئون ها در هاله هسته ها نسبت به ایزوتوپ های پایدارشان بسیار مهم است، واکنش ایزوتوپ پایدار ^{4}He با ^{209}Bi را در همان محدوده انرژی بررسی کرده ایم. مطابق کارهای قبلی مان پتانسیل هسته ای مورد نیاز را از طریق شبیه سازی به روش مونت کارلو محاسبه نموده ایم [٥، ٦]. نتایج این روش با نتایج روش DFM توافق خوبی را نشان داده است [٥]. در محاسبه پتانسیل کل بین سیستم پرتابه و هدف ، تابع توزیع متقارن فرمی[4] (SF) را برای چگالی ماده هسته ای استفاده کرده ایم. این تابع مطابق رابطه زیر داده می شود[۷]:

$$\rho_m(r) = \frac{3}{4\pi R_\circ^3}\left[1+\left(\frac{\pi a}{R_\circ}\right)^2\right]^{-1} \sinh\left(\frac{R_\circ}{a}\right) \Big/ \left[\cosh\left(\frac{R_\circ}{a}\right)+\cosh\left(\frac{r}{a}\right)\right] \qquad (۱)$$

[1] - halo
[2]- Single Barrier Penetration Model
[3] - Double Folding Model
[4] - Symmetrized Fermi

کمیت های $R_{\circ}$ و a به ترتیب پارامتر های « شعاع نصف- چگالی» و «پخش» می باشند. اندازه این پارامترها که در جدول ۱ آمده است، از آزمایش های پراکندگی کشسان پروتون به دست آمده اند[۷]. مطابق جدول ۱ کمیت $R_{\circ}$ برای دو هسته ^{4}He و ^{6}He تقریباً یکسان است. اما پارامتر پخش a برای ^{6}He تقریباً دو برابر پارامتر مربوط به ایزوتوپ پایدار ^{4}He است. از این رو ممکن است پارامتر پخش روی برهم کنش موثر دو نوکلئون سیستم پرتابه و هدف، در انرژی های مختلف موثر باشد. برای این منظور برهم کنش موثر بین دو نوکلئون هسته های پرتابه و هدف را از نوع مغزی نرم مطابق رابطه زیر انتخاب کرده ایم [۸].

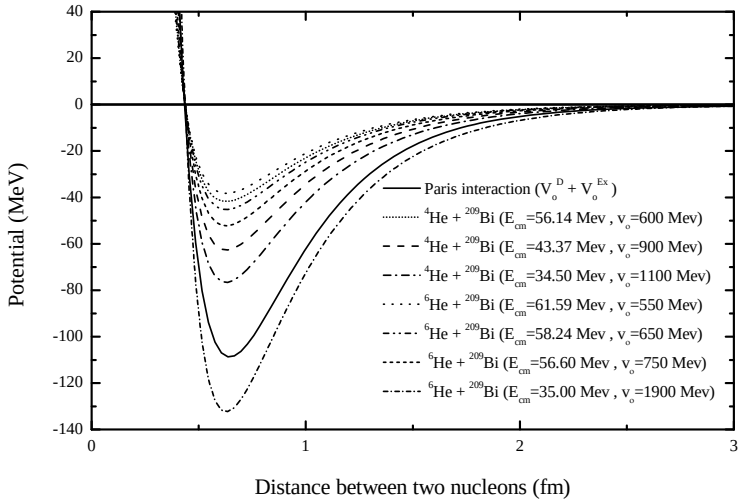
$$V_{ij}^{N}(r_{ij}) = -v_o(1-\frac{c}{r_{ij}})\frac{\exp(-r_{ij}/r_{\circ})}{(r_{ij}/r_{\circ})} \qquad (۲)$$

v_o ، c و r_o به ترتیب عمق پتانسیل، شعاع مغزی دافعه و پارامتر برد نیروی بین دو نوکلئون می باشند. برای انتخاب پارامترهای مشخص کننده پتانسیل مغزی نرم، از برازش آن با مجموع جمله های مستقیم و تبادلی پتانسیل M3Y-Paris [۹] استفاده کرده ایم. مقادیر به دست آمده برای پارامترهای c ، r_o و v_o به ترتیب ۰/۴۳۵fm ، ۰/۵fm و ۱۵۶۸ MeV می باشند. در این تحلیل با توجه به تاثیر پارامتر v_o بر روی عمق پتانسیل شکل (۱)، این پارامتر را به صورت پارامتر آزاد در نظر گرفته ایم. اندازه آن را به گونه ای تنظیم نموده ایم، که سطح مقطع همجوشی متناظر با پتانسیل هسته – هسته به دست آمده در توافق مناسب با مقادیر تجربی باشد. این محاسبات برای مقادیر مختلف پارامتر v_o آنقدر تکرار شده اند تا درصد خطای بین مقادیر تحلیلی و تجربی سطح مقطع همجوشی کمتر از ۱٪ شود. مقادیر به دست آمده پارامتر v_o متناظر با سطح مقطع همجوشی واکنش های مورد مطالعه در انرژی های مختلف در شکل های ۱و ۲ ارائه شده است. مقادیر تجربی سطح مقطع همجوشی از مرجع [۲] استخراج شده اند.

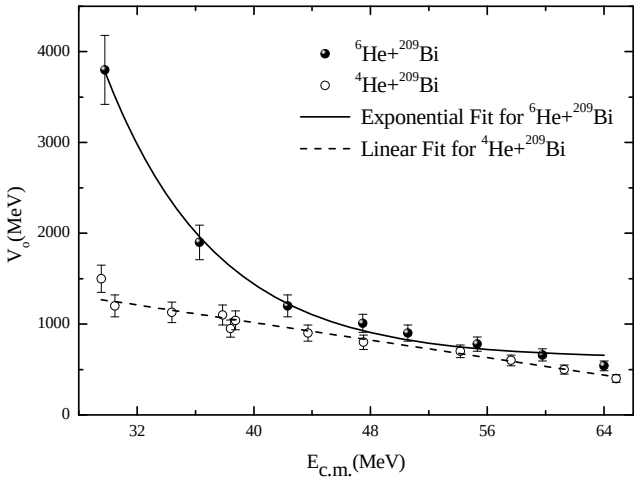
جدول ۱: اندازه پارامتر ها ی مربوط به توزیع چگالی ماده هسته ای

هسته	R_o(fm)	a(fm)
^{4}He	۱/۲۶	۰/۳۱
^{6}He	۱/۲۳	۰/۵۷

مقاله‌نامه بیست و سومین کنفرانس بهاره فیزیک (۳۰-۲۹ اردیبهشت ۱۳۹۵)



شکل ۱ : پتانسیل نوکلئون – نوکلئون محاسبه شده از نوع مغزی نرم برای واکنش های همجوشی $^{4}He + ^{209}Bi$ و $^{6}He + ^{209}Bi$ در انرژی های مختلف و مقایسه محدوده ی برد و مغزی دافعه ی آن با محدوده ی برد و مغزی دافعه ی پتانسیل نوکلئون – نوکلئون از نوعM3Y-Paris.



شکل ۲ : پارامتر عمق پتانسیل نوکلئون – نوکلئون محاسبه شده از نوع مغزی نرم برای وکنش های $^{4}He + ^{209}Bi$ و $^{6}He + ^{209}Bi$ در انرژی های مختلف؛ منحنی های خط چین و توپر به ترتیب برازش مناسبی از پارامتر عمق پتانسیل را بر حسب انرژی در دستگاه مرکز جرم برای واکنش های $^{4}He + ^{209}Bi$و $^{6}He + ^{209}Bi$ نشان می دهند.

نتیجه گیری

مطابق شکل های ۱ و ۲ با افزایش انرژی پرتابه، عمق پتانسیل مغزی نرم به دست آمده از آنالیز دقیق سطح مقطع همجوشی واکنش های $^{4}He + ^{209}Bi$ و $^{6}He + ^{209}Bi$ کاهش می یابد. نیز پارامتر عمق محاسبه شده برای پرتابه ^{6}He نسبت به ^{4}He در

همان محدوده انرژی، به ویژه در انرژی های زیر سد همجوشی بزرگتر است. این نتیجه می تواند به علت بزرگتر بودن پارامتر پخش مربوط به چگالی هاله هسته ^{6}He ، نسبت به ^{4}He باشد. زیرا پارامتر پخش بزرگتر بیانگر دم بلندتر در چگالی ماده هسته ای است. به عبارتی هرچه پارامتر پخش بزرگتر باشد نوکلئون های سطح هسته در چگالی کمتری قرار دارند و چندان به هسته مقید نیستند که در اثر آن با کاهش انرژی پرتابه فرآیند شکست کاهش و فرآیند انتقال افزایش می یابد و موجب می شود نوکلئون های بیشتری بین هسته های پرتابه و هدف مبادله گردد، بدنبال آن سطح مقطع همجوشی نسبت به حالتی که پرتابه ایزوتوپ پایدار می باشد افزایش می یابد.

مرجع ها

[1] V. Scuderi, A. Di Pietro, et al., Phys. Rev. C **84** , 064604 (2011).
[2] R. Wolski, I. Martel, et al., Eur. Phys. J. A **47**, 111 (2011).
[3] A. B. Balantekin, S. E. Koonin, J. W. Negele, Phys. Rev. C **28**, 1565(1983).
[4] I. I. Gontchar, D. J. Hinde, et al., Phys. Rev. C **69** , 024610 (2004).
[5] O. N. Ghodsi, M. Mahmoodi, and J. Ariai, Phys. Rev. C **75** , 034605 (2007).
[6] O.N. Ghodsi, M. Mahmoodi, and J. Ariai, Int. Journ. Mod. Phys. E **18**, 1751 (2009).
[7] G.D. Alkhazov, et al., *Nucl. Phys. A* **712**, 269 (2002).
[8] H.Kohler Y.Waghmare , *Nucl. Phys.* , 66 , 26l (1965).
[9] M. E. Brandan and G. R. Satchler, Phys. Rep. **285**, 143 (1997).