پژوهشگاه دانش‌های بنیادی

شماره مقاله : ۷۵

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

تاثیر ساختار هاله ای بر روی سطح مقطع همجوشی کامل $^{6}He + ^{64}Zn$

محمد محمودی*، علی اکبر رجبی

دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته ای

چکیده

در این مقاله سطح مقطع همجوشی کامل واکنش $^{6}He + ^{64}Zn$ در انرژی های نزدیک سد همجوشی بررسی شده است. نشان داده ایم ، با لحاظ کردن ساختار هاله ای مناسب در جملات مربوط به چگالی ماده هسته ای ، محاسبات تحلیلی سطح مقطع همجوشی توافق بهتری را با مقادیر تجربی نشان می دهد. همچنین برای توافق مناسب، تابع توزیع تعمیم یافته دو پارامتری فرمی را برای چگالی ماده هسته ای نوکلئون های هاله پیشنهاد نموده ایم.

بررسی ساختار و واکنش های هسته ای، ^{6}He بسیار جالب است. این هسته دارای ساختار عجیبی موسوم به ساختار هاله ای است و از نظر تعداد نوترون غنی می باشد ($N/Z = 2$) . نوترون های سطح آن دارای اهمیت ویژه ای است. ^{6}He با انرژی کمتر از یک مگا الکترون ولت مقید شده است. میانگین انرژی جدایی نوکلئون برای هسته های پایدار ٦ تا ٨ مگا الکترون ولت می باشد. این ویژگی ها می تواند در مدل سازی واکنش های آن و جهت درک بهتر واکنش های هسته های بسیار غنی از نوترون نظیر ^{8}He و ^{11}Li که دارای ساختار هاله ای اند، مفید واقع گردد. نیز موجب مبادله نوکلئون های سطحی بین هسته های پرتابه و هدف می گردند، بدنبال آن فرآیند هایی مانند «شکست[۱] »و «انتقال[۲] » در واکنش های هسته ای افزایش می یابند. این فرآیند ها بر روی سطح مقطع همجوشی موثر می باشند[۱،۲]. در این زمینه، سعی می گردد محاسبات تحلیلی سطح مقطع همجوشی در توافق بهتری با مقادیر تجربی باشد. یکی از مدل های موجود جهت بررسی تحلیلی سطح مقطع همجوشی، مدل SBPM[۳] می باشد[۳]. در این مدل، سد همجوشی توسط پتانسیل کولنی و هسته ای بین سیستم پرتابه و هدف توصیف می گردد. تعدادی از محققین، پتانسیل هسته ای بین هسته های پرتابه و هدف را توسط روش DFM[٤] با استفاده از پتانسیل نوکلئون – نوکلئون از نوع M3Y محاسبه نموده اند[٤]. در این محاسبات انتخاب تابع توزیع چگالی ماده هسته ای بسیار مهم است. پیش بینی می شود، هنگامی که سیستم شامل هاله هسته باشد، لحاظ نمودن اثرات هاله ای در جمله های مربوط به چگالی ماده هسته ای حائز اهمیت باشد. چهار نوع تابع توزیع چگالی پدیده شناختی برای هاله هسته ها پیشنهاد شده است[۵] : مدل متقارن فرمی[۵] (SF) ، مدل گاوس– هاله[٦] (GH) ، مدل گاوس – گاوس[۷] (GG) و مدل

[1] - break up
[2] - transfer
[3]- Single Barrier Penetration Model
[4] - Double Folding Model
[5] - Symmetrized Fermi
[6] - Gaussian–Halo
[7] - Gaussian– Gaussian

گاوس- نوسانگر[۸] (GO). مطابق توابع توزیع GG و GO فرض می شود، هسته شامل دو قسمت متمایز مغزی و هاله (چند نوکلئون ظرفیت) با توزیع فضایی متفاوت می باشد. اما مطابق توابع توزیع SF و GH برای توزیع نوکلئون های متفاوت نمی توان فرقی قائل بود. برای درک بهتر به معرفی مدل GO که در آن ساختار هاله ای لحاظ شده است می پردازیم، مطابق این مدل هسته هایی مانند ^{6}He و ^{8}He شامل نوکلئون های مغزی(۲پروتون و ۲ نوترون) و نوکلئون های ظرفیت یا هاله (۲ نوترون در ^{6}He و ٤ نوترون در ^{8}He) می باشند. که توزیع چگالی هر یک از قسمت های مغزی و هاله به ترتیب توسط روابط زیر داده می شود [۵] :

$$\rho_c(r)=\left(\frac{3}{2\pi R_c^2}\right)^{\frac{3}{2}}\exp\left(-\frac{3r^2}{2R_c^2}\right) \quad (۱)$$

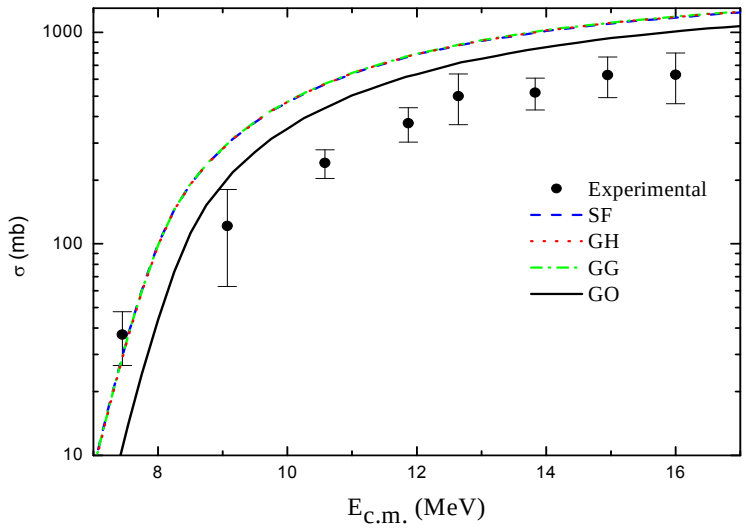
$$\rho_h(r)=\frac{5}{3}\left(\frac{5}{2\pi R_h^2}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{r}{R_h^2}\right)^2\exp\left(-\frac{5r^2}{2R_h^2}\right) \quad (۲)$$

R_c و R_h به ترتیب بیانگر جذر میانگین مجذور شعاع قسمت های مغزی و هاله می باشند. کل توزیع چگالی ماده هسته ای ρ_m، با یک نوکلئون نرمالیزه می شود و مطابق رابطه زیر داده می شود :

$$\rho_m(r)=[4\rho_c(r)+(A-4)\rho_h(r)]/A \quad (۳)$$

در این مقاله، سطح مقطع همجوشی کامل واکنش $^{6}He + ^{64}Zn$ با استفاده از مدل SBPM بررسی شده است. پتانسیل هسته ای مورد نیاز را توسط روش DFM با استفاده از پتانسیل نوکلئون – نوکلئون از نوع M3Y با لحاظ نمودن جملات وابسته به اسپین و ایزواسپین محاسبه نموده ایم [6] . سطح مقطع همجوشی متناظر با هر یک از تابع های توزیع چگالی SF ، GH ، GG و GO در شکل ۱ ارائه شده است.

[8] - Gaussian– Oscillator



شکل ۱ : مقایسه بین محاسبات تحلیلی سطح مقطع همجوشی متناظر با توابع توزیع چگالی ماده هسته ای مختلف هاله هسته ^{6}He ، با داده های آزمایشگاهی برای واکنش همجوشی $^{6}He+^{64}Zn$. داده های آزمایشگاهی سطح مقطع همجوشی از مرجع[۷].

مطابق شکل ۱ ، سطح مقطع همجوشی متناظر با تابع توزیع چگالی ماده هسته ای مبتنی بر مدل GO که در آن ساختار هاله ای بهتری لحاظ شده است، توافق بهتری را با داده های آزمایشگاهی نشان می دهد. اما توافق مناسب بر قرار نمی باشد. در این مقاله برای برقراری توافق مناسب بین محاسبات تحلیلی سطح مقطع همجوشی با مقادیر تجربی، توزیع چگالی هر یک از قسمت های مغزی و هاله را به ترتیب توسط روابط زیر پیشنهاد می کنیم:

$$\rho_c(r)=\frac{\rho_{oc}}{1+\exp(\frac{r-c_c}{a_c})} \qquad (٤)$$

$$\rho_h(r)=\frac{\rho_{oh}r^2}{1+\exp(\frac{r-c_h}{a_h})} \qquad (٥)$$

رابطه (٤) تابع توزیع چگالی دو پارامتری فرمی(2PF) می باشد. رابطه (٥) نیز تعمیم یافته آن است که می تواند، در شرایط فضایی نوکلئون های هاله صدق کند. در این آنالیز پارامترهای a_c ، c_c ، a_h و c_h را طوری تنظیم می کنیم، که محاسبات تحلیلی سطح مقطع همجوشی در توافق مناسب با مقادیر تجربی باشد. این محاسبات برای مقادیر مختلف پارامترها آنقدر تکرار می شوند تا کمیت $\chi^2=\frac{1}{N}\sum_{1}^{N}\frac{(\sigma_{th}-\sigma_{ex})^2}{(\Delta\sigma_{ex})^2}$ به کمتر از ۰/۰۱ برسد. مجموعه ای از مقادیر که از آنالیز دقیق

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

واکنش همجوشی $^{6}He+^{64}Zn$ برای پارامترهای a_c ، c_c ، a_h و c_h هاله هسته ^{6}He به دست آمده است به ترتیب ۰/٤۷ ، ۱/٤۱ ، ۰/٤ و ۳/۰ فرمی می باشد. مقادیر تجربی سطح مقطع همجوشی از مرجع [۷] استخراج شده اند.

نتیجه گیری

در این مقاله سطح مقطع همجوشی کامل واکنش $^{6}He + ^{64}Zn$ در انرژی های نزدیک سد همجوشی با استفاده از تابع های توزیع چگالی ماده هسته ای مختلف برای پرتابه ^{6}He بررسی شده است. نشان داده ایم ، محاسبات تحلیلی سطح مقطع همجوشی متناظر با توزیع ماده هسته ای مبتنی بر مدل GO که در آن ساختار هاله ای بهتری لحاظ شده است، توافق بهتری را با داده های آزمایشگاهی نشان می دهد. زیرا با استفاده از این ساختار، آرایش فضایی بهتری برای هسته پرتابه مهیا می گردد، که می توان با استفاده از آن جملات وابسته به ایزواسپین را با دقت بیشتری در پتانسیل مورد نیاز لحاظ نمود. همچنین برای برقراری توافق مناسب محاسبات تحلیلی سطح مقطع همجوشی با مقادیر تجربی، تابع توزیع تعمیم یافته دو پارامتری فرمی را برای چگالی ماده هسته ای نوکلئون های هاله پیشنهاد کرده ایم، که پارامتر های مربوط به آن ملموس تر از پارامترهای مربوط به توابع توزیع به کار گرفته شده توسط محققین دیگر است.

مرجع ها

[1] Raj Kumar, J. A. Lay, and A. Vitturi, *Phys. Rev. C* **89**, 027601 (2014).
[2] J. Rangel, J. Lubian, et al. , *Eur. Phys. J. A* **49**, 57 (2013).
[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] G.D. Alkhazov, et al., *Nucl. Phys. A* **712**, 269 (2002).
[6] M. E. Brandan and G. R. Satchler, Phys. Rep. **285**, 143 (1997).
[7] V. Scuderi, A. Di Pietro, et al., Phys. Rev. C **84** , 064604 (2011).