



بررسی سیستماتیک اثرات تراکم‌ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای بر روی رفتار نامتعارف پارامتر پخشیدگی سطح پتانسیل در واکنش‌های همجوشی سبک

قرائی، رضا* - یزدی، محمدرضا

دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

چکیده:

هدف از این تحقیق توجیه رفتار غیره منتظره‌ی پارامتر پخشیدگی پتانسیل در واکنش‌های همجوشی متشکل از هسته‌های سبک با در نظر گرفتن نقش اثرات ماده‌ی هسته‌ای سرد از طریق چارچوب مدل واپیچش دوگانه (DF) می‌باشد. برای این منظور، نتایج شبیه‌سازی این اثرات را در برهم‌کنش‌های نوکلئونی بر روی رفتار وابسته به انرژی سطح مقطع‌های همجوشی تعداد ۲۶ واکنش سبک با شرط $64 \leq Z_1 Z_2 \leq 204$ ارزیابی کردیم. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که با وجود کوچک بودن شعاع هسته‌های برخوردکننده، اثرات ماده‌ی هسته‌ای علاوه بر اینکه نقش بسزایی در دستیابی به پیش‌بینی‌های دقیق از رفتار سطح مقطع‌های همجوشی دارند می‌توانند بعنوان توجیهی برای بزرگتر شدن مقادیر پارامتر پخشیدگی در واکنش‌های همجوشی سبک در نظر گرفته شوند. در این تحقیق همچنین رفتاری سیستماتیک برای این پارامتر بدست آورده‌ایم که با نتایج حاصل از مطالعات قبلی در این زمینه سازگاری مطلوبی دارد.

کلمات کلیدی: واکنش‌های همجوشی سبک، پارامتر پخشیدگی سطح پتانسیل، اثرات تراکم‌ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای

Systematic analysis of the nuclear matter incompressibility effects on the abnormal behavior of the surface diffuseness parameter in the light fusion reactions

Gharaei, Reza; Yazdi, Mohammad Reza

Department of Physics, Hakim Sabzevari University, Sabzevar

Abstract:

Within the framework of the double-folding (DF) model, the aim of this work is to justify an unexpected behavior of the diffuseness parameter in fusion reactions induced by light nuclei by considering the cold nuclear matter effects. For this purpose, we evaluate the results obtained by simulating these effects on the energy-dependent behavior of the fusion cross sections of 26 light fusion reactions with condition of $64 \leq Z_1 Z_2 \leq 204$. Despite the radius of the colliding nuclei is small, the obtained results show that the effects of the nuclear matter play a significant role in obtaining accurate predictions of the behavior of the fusion cross sections and justifying the increase of the diffuseness parameter in the fusion reactions. In this study, we also obtain a systematic behavior for diffuseness parameter which is compatible with the previous studies.

Keywords: Light fusion reactions, surface diffuseness parameter, nuclear matter incompressibility effects



مقدمه:

پتانسیل برهم‌کنشی بین دو هسته یک عامل اساسی در تفسیر واکنش‌های همجوشی هسته‌ای و تعیین سطح مقطع‌های مربوط به اینگونه از واکنش‌ها می‌باشد. در حالت کلی این پتانسیل شامل دو بخش جاذبه‌ی کوتاه برد هسته‌ای و دافعه‌ی بلند برد کولنی است. محاسبات بخش کولنی به راحتی امکان‌پذیر است اما با توجه به اینکه ماهیت نیروی هسته‌ای تا حدی پیچیده و ناشناخته است، برای محاسبه‌ی پتانسیل ناشی از نیروی هسته‌ای، مدل‌های مختلفی ارائه شده است که هر کدام از این مدل‌ها به گونه‌ای در بازتولید داده‌های تجربی سطح مقطع همجوشی موفق بوده‌اند. از جمله مدل‌های استاندارد برای تعیین قدرت برهم‌کنش‌های هسته‌ای در طول فرایند همجوشی، مدل پتانسیل وودس - سکسون (WS) می‌باشد که بصورت زیر فرمول‌بندی می‌شود،

$$V_N^{WS}(r) = \frac{-V_0}{1 + \exp\left(\frac{r - R_0}{a}\right)} \quad (1)$$

در این رابطه r نشان دهنده‌ی فاصله‌ی مرکز هسته‌های هدف و پرتابه از یکدیگر و پارامترهای V_0 ، R_0 و a به ترتیب بیانگر عمق پتانسیل هسته‌ای، شعاع میانگین و پخشیدگی سطح پتانسیل می‌باشند. با توجه به اینکه پارامتر پخشیدگی میزان گسترش پتانسیل را به نواحی فراتر از سطح هسته نشان می‌دهد بنابراین انتظار خواهیم داشت که تغییر در مقدار آن بر روی ناحیه‌ی خارجی سد کولنی تأثیرگذار باشد، به طوری که شیب پتانسیل در ناحیه‌ی دنباله بطور عمده توسط پخشیدگی سطح پتانسیل مشخص می‌شود. از آنجاییکه در واکنش‌های پراکندگی کشسان هسته‌های برهم‌کنشی فقط ناحیه‌ی دنباله‌ی پتانسیل را درک می‌کنند، در نتیجه اثرات سطحی پتانسیل برای آن‌ها بسیار مهم است. از طرفی در مورد واکنش‌های همجوشی نیز نقطه‌ی شروع واکنش از ناحیه‌ی دنباله پتانسیل می‌باشد، تحت این شرایط محققان انتظار داشتند که بتوانند داده‌های سطح مقطع تجربی را با استفاده از پارامتر پخشیدگی یکسان برای پراکندگی‌های کشسان و واکنش‌های همجوشی باز تولید کنند.

بر اساس تحقیقات انجام شده در مورد واکنش‌های پراکندگی کشسان مقدار پارامتر پخشیدگی سطح پتانسیل که براساس برآزش سطح مقطع تئوری به داده‌های متناظر تجربی بدست آمده است، بطور متوسط در حد $0,63 \text{ fm}$ [۱] می‌باشد. برخلاف نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته در زمینه‌ی واکنش‌های پراکندگی کشسان، تحقیقات مربوط به واکنش‌های همجوشی آشکار می‌سازد که پارامتر پخشیدگی a در محدوده‌ی $0,75 \text{ fm}$ تا $1,5 \text{ fm}$ [۲,۳] قرار دارد که بطور قابل توجهی از مقدار مورد پذیرش برای پراکندگی‌های کشسان بزرگ‌تر است. در طول سال‌های اخیر تلاش‌های متعددی برای توجیه رفتار غیر منتظره‌ی پارامتر پخشیدگی در واکنش‌های همجوشی انجام گرفته است. در طی مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۰ بر روی فرایند همجوشی هسته‌های پرتابه‌ی ^{12}C ، ^{16}O ، ^{28}Si و ^{35}Cl با هسته‌ی هدف ^{92}Zr صورت گرفت،



محققان تأثیر اعمال اثرات تراکم ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای را بر روی رفتار پارامتر پخشیدگی مورد بررسی قرار داده‌اند [۴]. نتایج تحقیقات صورت گرفته در آن مطالعه آشکار می‌سازد که اعمال اثرات تراکم ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای به طور متوسط منجر به افزایش مقادیر پارامتر پخشیدگی تا حدود $0,73 \text{ fm}$ برای واکنش‌های مذکور شده است. در بررسی دیگری که در سال ۲۰۱۱ صورت گرفت [۵]، محققان تلاش کردند تا نقش اثرات وابستگی به انرژی را برای توصیف رفتار غیرمنتظره‌ی پارامتر پخشیدگی a در واکنش‌های همجوشی مورد بررسی قرار دهند. برای دستیابی به این هدف، با مطالعه بر روی تعداد قابل توجهی از واکنش‌های همجوشی یک رابطه وابسته به انرژی برای این پارامتر ارائه شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد مقادیر پخشیدگی محاسبه شده توسط این رابطه به‌طور چشمگیری از مقدار $0,63 \text{ fm}$ بزرگ‌تر می‌باشد. همچنین می‌توان به مقاله‌ای که در سال ۲۰۱۷ برای اولین بار تأثیر اثرات دینامیکی را بر روی رفتار پخشیدگی در واکنش‌های همجوشی بررسی کرده است، اشاره کرد [۶]. محققان در این مطالعه تلاش کرده‌اند با شبیه‌سازی اثرات دینامیکی با توجه به مدل "دینامیک کوانتوم-مولکولی بهبود یافته" توجیه فیزیکی مناسبی برای رفتار غیرمنتظره‌ی مورد بحث در واکنش‌های همجوشی مختلف ارائه دهند. با توجه به مباحث مطرح شده در این بخش می‌توان نتیجه گرفت که تاکنون اثرات تراکم-ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای، اثرات وابستگی به انرژی و اثرات دینامیکی بعنوان عوامل فیزیکی مختلف برای درک هر چه بیشتر رفتار پارامتر پخشیدگی شناخته شده‌اند. با وجود تحقیقات انجام گرفته در این زمینه هنوز دلایل اصلی ناهنجاری در مقدار پخشیدگی a و انحراف آن از مقدار $0,63 \text{ fm}$ برای واکنش‌های همجوشی مشخص نیست و محققان با ورود اثرات فیزیکی گوناگون در محاسبات تئوری سعی در توجیه رفتار غیر منتظره‌ی این پارامتر دارند.

سوالی که در این بین مطرح می‌شود این است که با توجه به اینکه تاکنون شبیه‌سازی اثرات تراکم ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای در پتانسیل برهم‌کنشی به‌منظور محاسبه‌ی سطح مقطع همجوشی تئوری و به تبع آن محاسبه‌ی پخشیدگی a فقط برای واکنش‌های نیمه سنگین بررسی شده است، و با اشاره به این موضوع که در واکنش‌های همجوشی با هسته‌های پرتابه و هدف سبک حجم ناحیه‌ی همپوشانی کوچک می‌باشد، آیا باز هم می‌توان از اثرات تراکم ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای بعنوان عامل افزایش پارامتر پخشیدگی در واکنش‌های همجوشی با هسته‌های برهم‌کنشی سبک نام برد؟ به منظور دستیابی به پاسخ مناسب برای این سؤال نقش اثرات تراکم ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای را بر روی رفتار پارامتر پخشیدگی تعداد ۲۶ واکنش همجوشی سبک که هسته‌های هدف و پرتابه‌ی آن‌ها شامل ایزوتوپ‌های عناصر O, F, Mg, Al, Si, S و Cl می‌باشند مورد بررسی قرار داده‌ایم. لیست مربوط به واکنش‌های انتخابی در جدول (۱) قابل مشاهده می‌باشد.

روش کار:



پتانسیل DF یکی از پرکاربردترین مدل‌های پتانسیل هسته‌ای است که در طی سال‌های اخیر بطور گسترده برای آنالیز واکنش‌های همجوشی و ویژگی‌های مرتبط با آن مورد استفاده قرار گرفته است. نگاه دقیق به ساختار تحلیلی مدل پتانسیل DF آشکار می‌سازد که این مدل با تعیین قدرت برهمکنش‌های نوکلئون-نوکلئون میان هسته‌های پرتابه و هدف، قدرت پتانسیل برهم‌کنشی در طول فرایند همجوشی را محاسبه می‌کند. بنابراین مدل DF را می‌توان بعنوان یک مدل پتانسیل میکروسکوپی در نظر گرفت. به منظور محاسبه‌ی پتانسیل هسته‌ای با استفاده از مدل DF می‌توان نوشت [۷]،

$$V_{DF}(R) = \int dr_1 \int dr_2 \rho_1(r_1) \rho_2(r_2) v_{NN}(r_{12}=R+r_2-r_1). \quad (2)$$

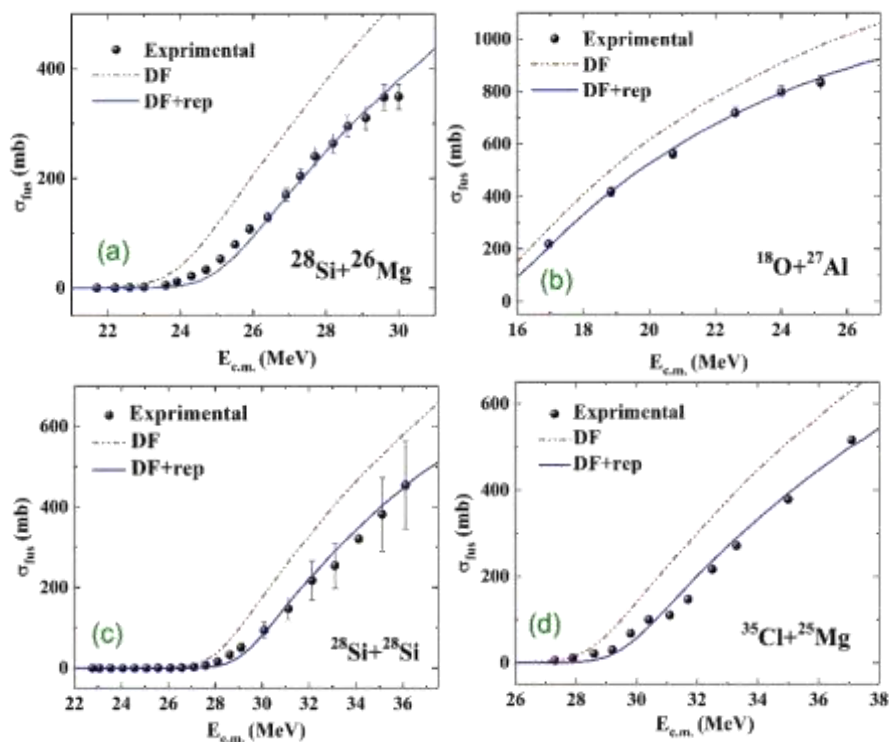
انتگرال بالا شامل دو بخش اصلی قدرت برهم‌کنشی نوکلئون‌ها و چگالی هسته‌های برخورد کننده می‌باشد، که برای پارامتر سازی توزیع چگالی هسته‌های برهم‌کنشی از تابع توزیع دو پارامتری فرمی-دیراک برپایه‌ی محاسبات هارتری-فوک [۸] و برای محاسبه‌ی قدرت برهم‌کنشی نوکلئون‌های هسته‌های پرتابه و هدف از نسخه‌ی CDM3Y6-Paris [۷] استفاده کرده‌ایم. با احتساب این دو ورودی، محاسبات پتانسیل DF را می‌توان برپایه‌ی کد برنامه‌نویسی ارائه شده در مرجع [۹] انجام داد. نتایج مطالعات انجام شده در زمینه‌ی واکنش‌های همجوشی مختلف حاکی از آن است که مدل DF پتانسیل هسته‌ای را در فواصل شعاعی کم (نواحی داخلی پتانسیل) صرفاً به صورت جاذبه پیش‌بینی می‌کند. وجود این نقیصه محققان را برآن داشت تا از طریق مدل‌سازی و اعمال اثرات تراکم‌ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای، فرم اصلاح شده‌ی از پتانسیل DF را معرفی نمایند. در این تحقیق از رویکرد معرفی شده در مرجع [۱۰] برای محاسبه‌ی قدرت برهم‌کنش‌های نوکلئون-نوکلئون ناشی از اثرات مغزی دافعه استفاده شده است.

نتایج:

در این بخش قصد داریم تا ابتدا به مطالعه و بررسی اهمیت اعمال اثرات تراکم‌ناپذیری در بهبود توافق میان داده‌های تئوری و تجربی سطح مقطع همجوشی برای واکنش‌های همجوشی ارائه شده در جدول (۱) پردازیم. برای این منظور رفتار وابسته به انرژی سطح مقطع همجوشی را در انرژی‌های اطراف و بالای سد کولنی برای این واکنش‌ها بر اساس مدل پتانسیل DF محاسبه کرده‌ایم. قابل توجه است با فرض کروی بودن هسته‌های هدف و پرتابه و همچنین صرف نظر کردن از پوسته‌های باز نوترونی هسته‌های برهم‌کنشی، برای محاسبه‌ی سطح مقطع همجوشی در محدوده انرژی‌های اطراف و بالای سد کولنی از مدل نفوذ از سد تک بعدی بر پایه‌ی نرم‌افزار فرتن بهره گرفته‌ایم [۱۱، ۱۲]. بعنوان نمونه منحنی‌های مربوط به سطح مقطع‌های همجوشی محاسبه شده بر اساس مدل DF برای ^4He واکنش $^{18}\text{O}+^{27}\text{Al}$ ، $^{28}\text{Si}+^{26}\text{Mg}$ و $^{35}\text{Cl}+^{25}\text{Mg}$ در شکل (۱) به صورت نقطه-خط ترسیم شده‌اند. در مرحله‌ی بعد با اعمال اثرات اصلاحی



تراکم‌ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای و شبیه‌سازی مغز دافعه در مدل پتانسیل DF از طریق نرم افزار Maple 2018، همانگونه که در شکل (۱) نیز مشاهده می‌شود شاهد کاهش چگال‌گیری در سطح مقطع همجوشی و بهبود توافق آن با داده‌های آزمایشگاهی می‌باشیم. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل پتانسیل اصلاح شده‌ی DF+Rep در بازتولید داده‌های آزمایشگاهی سطح مقطع همجوشی در انرژی‌های بالای سد کولنی برای واکنش‌های سبک به شکل مطلوبی موفق می‌باشد. در ادامه قصد داریم تأثیر اثرات اصلاحی تراکم‌ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای را بر روی پارامتر پخشیدگی a بررسی کنیم. بدین منظور با برازش پتانسیل WS به منحنی‌های پتانسیل DF و DF+Rep مقادیر پارامتر پخشیدگی برای واکنش‌های انتخابی را تعیین و در جدول (۱) گزارش کرده‌ایم. علاوه بر این داده‌های تجربی پارامتر پخشیدگی برای مجموع ۲۶ واکنش مورد بررسی را از طریق برازش سطح مقطع‌های حاصل از پتانسیل WS به داده‌های متناظر آزمایشگاهی استخراج نموده‌ایم.



شکل (۱) مقایسه‌ی مقادیر تئوری و تجربی سطح مقطع همجوشی برای واکنش‌های همجوشی الف) $^{28}\text{Si}+^{26}\text{Mg}$ ، ب) $^{18}\text{O}+^{27}\text{Al}$ ، ج) $^{28}\text{Si}+^{28}\text{Si}$ و د) $^{35}\text{Cl}+^{25}\text{Mg}$ با استفاده از پتانسیل DF با و بدون اثرات مدل‌سازی مغز دافعه.



جدول (۱) مقادیر حاصل پارامتر پخشیدگی a برای واکنش‌های مورد تحقیق با توجه به برازش به داده‌های تئوری و تجربی سطح مقطع همجوشی.

Reactions	Z_1Z_2	Q^{DF} (fm)	Q^{DF+rep} (fm)	Q^{Exp} (fm)
$^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$	۶۴	۰٫۶۴	۰٫۶۸	۰٫۷۲
$^{16}\text{O} + ^{27}\text{Al}$	۱۰۴	۰٫۶۴	۰٫۶۸	۰٫۷۴
$^{16}\text{O} + ^{28}\text{Si}$	۱۱۲	۰٫۶۵	۰٫۶۹	۰٫۷۴
$^{17}\text{O} + ^{16}\text{O}$	۶۴	۰٫۶۴	۰٫۶۶	۰٫۷۴
$^{17}\text{O} + ^{27}\text{Al}$	۱۰۴	۰٫۶۵	۰٫۶۹	۰٫۷۵
$^{18}\text{O} + ^{16}\text{O}$	۶۴	۰٫۶۴	۰٫۷۳	۰٫۷۳
$^{18}\text{O} + ^{27}\text{Al}$	۱۰۴	۰٫۶۵	۰٫۷۲	۰٫۷۶
$^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$	۱۱۷	۰٫۶۵	۰٫۶۷	۰٫۷۶
$^{24}\text{Mg} + ^{30}\text{Si}$	۱۶۸	۰٫۷	۰٫۷۶	۰٫۸
$^{28}\text{Si} + ^{24}\text{Mg}$	۱۶۸	۰٫۶۵	۰٫۶۹	۰٫۷۹
$^{28}\text{Si} + ^{26}\text{Mg}$	۱۶۸	۰٫۶۶	۰٫۷۷	۰٫۷۷
$^{28}\text{Si} + ^{28}\text{Si}$	۱۹۶	۰٫۶۶	۰٫۷۶	۰٫۷۹
$^{28}\text{Si} + ^{30}\text{Si}$	۱۹۶	۰٫۷	۰٫۷۹	۰٫۸۱

Reactions	Z_1Z_2	Q^{DF} (fm)	Q^{DF+rep} (fm)	Q^{Exp} (fm)
$^{30}\text{Si} + ^{24}\text{Mg}$	۱۶۸	۰٫۷	۰٫۷۵	۰٫۸۲
$^{30}\text{Si} + ^{26}\text{Mg}$	۱۶۸	۰٫۷	۰٫۸	۰٫۸
$^{30}\text{Si} + ^{30}\text{Si}$	۱۹۶	۰٫۷۴	۰٫۷۶	۰٫۸۱
$^{32}\text{S} + ^{24}\text{Mg}$	۱۹۲	۰٫۶۸	۰٫۷۳	۰٫۸۳
$^{32}\text{S} + ^{25}\text{Mg}$	۱۹۲	۰٫۶۹	۰٫۶۹	۰٫۸۶
$^{32}\text{S} + ^{26}\text{Mg}$	۱۹۲	۰٫۶۹	۰٫۶۹	۰٫۸۴
$^{34}\text{S} + ^{24}\text{Mg}$	۱۹۲	۰٫۶۸	۰٫۶۷	۰٫۸۶
$^{35}\text{Cl} + ^{24}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۸	۰٫۷۱	۰٫۸۴
$^{35}\text{Cl} + ^{25}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۸	۰٫۷۵	۰٫۸۳
$^{35}\text{Cl} + ^{26}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۹	۰٫۷۹	۰٫۸۱
$^{37}\text{Cl} + ^{24}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۶	۰٫۶۹	۰٫۸۲
$^{37}\text{Cl} + ^{25}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۷	۰٫۷۵	۰٫۸۳
$^{37}\text{Cl} + ^{26}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۷	۰٫۸۱	۰٫۸۲

Reactions	Z_1Z_2	Q^{DF} (fm)	Q^{DF+rep} (fm)	Q^{Exp} (fm)
$^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$	۶۴	۰٫۶۴	۰٫۶۸	۰٫۷۲
$^{16}\text{O} + ^{27}\text{Al}$	۱۰۴	۰٫۶۴	۰٫۶۸	۰٫۷۴
$^{16}\text{O} + ^{28}\text{Si}$	۱۱۲	۰٫۶۵	۰٫۶۹	۰٫۷۴
$^{17}\text{O} + ^{16}\text{O}$	۶۴	۰٫۶۴	۰٫۶۶	۰٫۷۴
$^{17}\text{O} + ^{27}\text{Al}$	۱۰۴	۰٫۶۵	۰٫۶۹	۰٫۷۵
$^{18}\text{O} + ^{16}\text{O}$	۶۴	۰٫۶۴	۰٫۷۳	۰٫۷۳
$^{18}\text{O} + ^{27}\text{Al}$	۱۰۴	۰٫۶۵	۰٫۷۲	۰٫۷۶
$^{19}\text{F} + ^{27}\text{Al}$	۱۱۷	۰٫۶۵	۰٫۶۷	۰٫۷۶
$^{24}\text{Mg} + ^{30}\text{Si}$	۱۶۸	۰٫۷	۰٫۷۶	۰٫۸
$^{28}\text{Si} + ^{24}\text{Mg}$	۱۶۸	۰٫۶۵	۰٫۶۹	۰٫۷۹
$^{28}\text{Si} + ^{26}\text{Mg}$	۱۶۸	۰٫۶۶	۰٫۷۷	۰٫۷۷
$^{28}\text{Si} + ^{28}\text{Si}$	۱۹۶	۰٫۶۶	۰٫۷۶	۰٫۷۹
$^{28}\text{Si} + ^{30}\text{Si}$	۱۹۶	۰٫۷	۰٫۷۹	۰٫۸۱

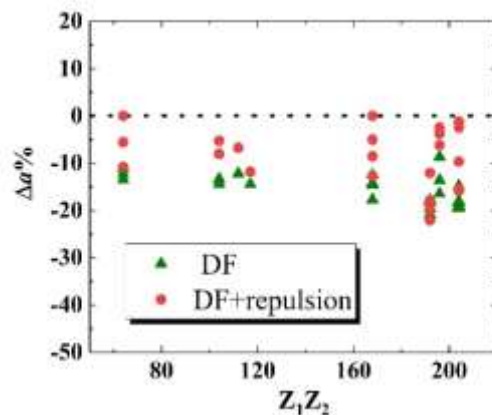
Reactions	Z_1Z_2	Q^{DF} (fm)	Q^{DF+rep} (fm)	Q^{Exp} (fm)
$^{30}\text{Si} + ^{24}\text{Mg}$	۱۶۸	۰٫۷	۰٫۷۵	۰٫۸۲
$^{30}\text{Si} + ^{26}\text{Mg}$	۱۶۸	۰٫۷	۰٫۸	۰٫۸
$^{30}\text{Si} + ^{30}\text{Si}$	۱۹۶	۰٫۷۴	۰٫۷۶	۰٫۸۱
$^{32}\text{S} + ^{24}\text{Mg}$	۱۹۲	۰٫۶۸	۰٫۷۳	۰٫۸۳
$^{32}\text{S} + ^{25}\text{Mg}$	۱۹۲	۰٫۶۹	۰٫۶۹	۰٫۸۶
$^{32}\text{S} + ^{26}\text{Mg}$	۱۹۲	۰٫۶۹	۰٫۶۹	۰٫۸۴
$^{34}\text{S} + ^{24}\text{Mg}$	۱۹۲	۰٫۶۸	۰٫۶۷	۰٫۸۶
$^{35}\text{Cl} + ^{24}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۸	۰٫۷۱	۰٫۸۴
$^{35}\text{Cl} + ^{25}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۸	۰٫۷۵	۰٫۸۳
$^{35}\text{Cl} + ^{26}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۹	۰٫۷۹	۰٫۸۱
$^{37}\text{Cl} + ^{24}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۶	۰٫۶۹	۰٫۸۲
$^{37}\text{Cl} + ^{25}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۷	۰٫۷۵	۰٫۸۳
$^{37}\text{Cl} + ^{26}\text{Mg}$	۲۰۴	۰٫۶۷	۰٫۸۱	۰٫۸۲



برای درک بیشتر از میزان بهبود توافق میان داده‌های تئوری و تجربی پارامتر پخشیدگی a بواسطه‌ی اعمال اثرات اصلاحی ماده‌ی هسته‌ای در محدوده جرمی مورد بررسی، درصد اختلاف نسبی میان این داده‌ها را از طریق رابطه‌ی زیر محاسبه نموده‌ایم،

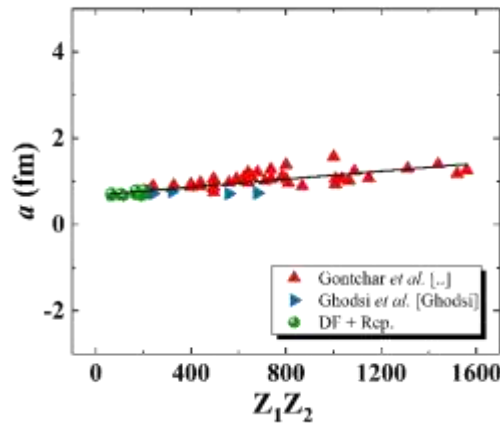
$$\Delta a(\%) = \frac{a^{Theor.} - a^{Exp.}}{a^{Exp.}} \times 100 \quad (3)$$

نتایج این محاسبات در شکل (۲) برحسب حاصلضرب $Z_1 Z_2$ واکنش‌های مختلف نمایش داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که با اعمال اثرات اصلاحی ماده‌ی هسته‌ای توافق میان مقادیر تئوری پارامتر پخشیدگی با داده‌های تجربی متناظر بطور قابل توجهی بهبود می‌یابد.



شکل (۲) مقادیر حاصله برای $\Delta a(\%)$ برحسب حاصلضرب $Z_1 Z_2$ واکنش‌های انتخابی براساس مدل DF قبل و بعد از اعمال اثرات تراکم‌ناپذیری.

در شکل (۳) مقادیر استخراج شده برای پارامتر پخشیدگی با احتساب اثرات تراکم‌ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای برحسب حاصلضرب $Z_1 Z_2$ واکنش‌های همجوشی انتخابی رسم شده‌اند. در این شکل همچنین مقادیر پارامتر a حاصل از مطالعات انجام شده در مراجع [۴،۵] که به محدوده‌های جرمی سنگین‌تر اختصاص دارند نیز نمایش داده شده‌اند.



شکل (۳) رفتار مقادیر استخراج شده برای پارامتر پخشیدگی حاصل از تحقیق حاضر و آنهایی که براساس مراجع [۴،۵] گزارش شده‌اند برحسب حاصلضرب Z_1Z_2 هسته‌های برهم‌کنشی.

همانگونه که مشاهده می‌شود، مقادیر حاصل برای پارامتر پخشیدگی مبتنی بر رویکرد پیشنهادی در این تحقیق از یک روند افزایشی منظم تبعیت می‌کنند که با رفتار بدست آمده برای این پارامتر در مراجع [۴،۵] همخوانی مطلوبی دارد. لازم به ذکر است که در این مطالعه کلیه گراف‌ها از طریق نرم افزار Origin 2018 رسم شده‌اند.

بحث و نتیجه گیری:

در این مقاله، برای نخستین بار بر اساس چارچوب مدل پتانسیل DF، به بررسی سیستماتیک نقش اثرات تراکم‌ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای بر روی سطح مقطع همجوشی و پخشیدگی a در واکنش‌های همجوشی سبک پرداخته‌ایم. برای این منظور مطالعه‌ی خود را معطوف به ۲۶ سیستم همجوشی با شرط $64 \leq Z_1Z_2 \leq 204$ برای حاصلضرب اعداد پروتونی هسته‌های پرتابه و هدف آن کرده‌ایم. نتایج حاصله نشان می‌دهد علیرغم کوچک بودن شعاع هسته‌های شرکت‌کننده در واکنش‌های همجوشی انتخابی و متعاقباً کم بودن حجم ناحیه‌ی همپوشانی در مورد آنها، باز هم اعمال اثرات ماده‌ی هسته‌ای باعث افزایش توافق میان داده‌های تئوری و تجربی سطح مقطع در نواحی انرژی نزدیک و بالای سد کولنی می‌شود. علاوه براین، مشاهده شد که وجود این اثرات را می‌توان بعنوان دلیلی برای توجیه رفتار غیره منتظره پارامتر پخشیدگی در واکنش‌های همجوشی و بهبود توافق میان مقادیر تئوری و تجربی این پارامتر دانست.



مراجع:

- [1] J. O. Newton *et al.*, Phys. Rev. C **64**, 064608 (2001).
- [2] K. Hagino *et al.*, Phys. Rev. C **71**, 044612 (2005).
- [3] J. O. Newton *et al.*, Phys. Lett. B **586**, 219 (2004).
- [4] O. N. Ghodsi, V. Zanganeh, Nucl. Phys. A. **846**, 40 (2010).
- [5] M. Singh *et al.*, Mod. Phys. Lett. A. **26**, 2129 (2011).
- [6] R. Gharaei *et al.*, Phys. Rev. C. **95**, 034620 (2017).
- [7] I. I. Gontchar *et al.*, Phys. Rev. C. **69**, 024610 (2004).
- [8] <http://www-nds.iaea.org/RIPL-2/masses.html>.
- [9] I. I. Gontchar, M. V. Chushnyakova, Comput. Phys. Commu. 181, 168 (2010).
- [10] S. Misicu, H. Esbensen, Phys. Rev. C. **75**, 034606 (2007).
- [11] S. G. Steadman *et al.*, Annu. Rev. Nucl. Sci. **36**, 649 (1986).
- [12] M. Beckerman. Rep. Prog. Phys. **51**, 1047 (1988).