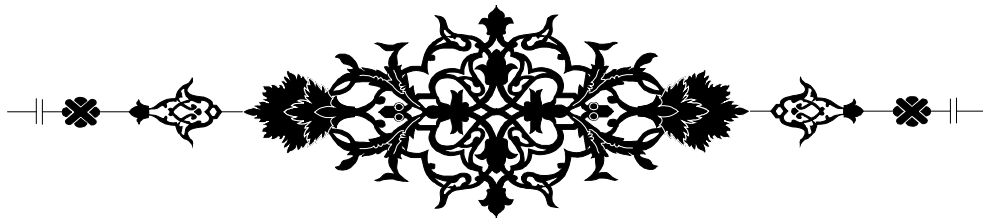


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





پایان نامه دوره دکتری در رشته فیزیک گرایش هسته ای

موضوع :

شبیه سازی دینامیکی برهم کنش همجوشی یونهای سنگین

استاد راهنما :

دکتر امید ناصر قدسی

اساتید مشاور :

دکتر محمد مهدوی

نام دانشجو :

وحید زنگانه

تیر ماه ۱۳۹۱

شیه سازی دینامیکی برهم کنش، همجویشی یونهای سنگین

پروردگارا!

خود را تقدیم تومی دارم، بامن آن و از من آن ساز آنچه خود اراده کنی.

از اسارت نفس رهایم کن تا انجام اراده ات را بهتر بتوانم،

مشکلاتم را بگیر تا پیروزی بر آنها شاهی باشد برای کسانی که به

قدرت تو و در راه تو یاریشان خواهیم کرد

باشد همیشه بحر اراده ات گردن منم.

آمین

پاسکزاری:

پس خداوند بزرگ را که در راه به پایان رساندن این پژوهش، همواره مرابور بود. بر خود لازم می دانم از زحمات فراوانی که استاد راهنمای شفیقم دکتر امید ناصر قدسی در به انجام رساندن این پژوهش متحمل شدند و علاوه بر درس پژوهشی به من درس زندگی آموختن صادقانه تشکر و قدر دانی نمایم. از طرفی از اساتید محترم مشاور خود دکتر محمد مهدوی پاسکزارم، من خود را در به ثمر رسیدن این پژوهش مدیون خانواده عزیزم می دانم که همواره یاریم کردند. همچنین از دوستانم که در تمام لحظات شاد و تلخ کنارم بودن تشکر می کنم، مخصوصاً از دوستان خوبم جناب آقای رضا قرانی و دکتر مهدی عصری که زحمت تصحیح این رساله را متقبل شدن صمیمانه تشکر می کنم.

تقدیم به:

روح پدر بزرگوار و مادر مهربانم که در مقابل تمام سختی‌هایی که برای من کشیدند، تنها درس خواندن را از من خواستن و آن را
نیز برای من.

و

همسر مهربان و فدکارم.

چکیده

در این رساله به تحلیل میکروسکوپی فرآیند همجوشی در چارچوب مدل های استاتیکی و دینامیکی پرداخته- ایم. برای مطالعه در دیدگاه استاتیکی از مدل دابل-فولدینگ همراه با اصلاحات ناشی از اثرات چگالی و مغز دافعه در پتانسیل هسته‌ای استفاده کرده‌ایم. نتایج حاصل، لزوم اعمال اثرات ناشی از خواص ماده هسته‌ای را برای داشتن توافق بهتر بین مقادیر تئوری و تجربی پتانسیل و سطح مقطع همجوشی نشان می‌دهد. برای مطالعه برهمکنش های هسته‌ای در دیدگاه دینامیکی از آخرین نسخه اصلاح شده مدل QMD بنام ImQMD استفاده کرده‌ایم. پتانسیل استاتیکی را برای واکنش های همجوشی مختلف با فرض ثابت بودن چگالی هسته‌های برهمکنشی در مدل ImQMD محاسبه کرده‌ایم و توافق قابل قبولی را با مدل های متعارف نظیر پتانسیل های تقریبی و اصلاح شده وودس-سکسون بدست آورده‌ایم. به منظور بررسی اثرات تراکم ناپذیری ماده هسته‌ای، عرض تابع موج گاوسی و انرژی برخورد بر روی پتانسیل دینامیکی، مجموعه پارامترهای جدید IQ3 و SKP* را پیشنهاد کرده‌ایم. نتایج حاصل برای پتانسیل دینامیکی براساس این دو نسخه جدید نشان می‌دهد که تأثیر تراکم ناپذیری ماده هسته‌ای بیشتر در نواحی داخلی پتانسیل است، درحالیکه عرض تابع موج گاوسی علاوه بر نواحی داخلی بر روی ارتفاع سد کولنی نیز مؤثر است. از طرفی با افزایش انرژی برخورد، ارتفاع سد پتانسیل نیز افزایش می‌یابد و حد نهایی آن به مقادیر استاتیکی می‌رسد. در این رساله همچنین سطح مقطع های برهمکنش را با محاسبه احتمال فرایند همجوشی براساس مدل ImQMD و پارامترهای جدید IQ3 و SKP*، مورد بررسی قرار داده‌ایم. نتایج بدست آمده توافق قابل قبولی را بین مقادیر تئوری و تجربی سطح مقطع در انرژی های بزرگتر و اطراف سد همجوشی نشان می‌دهد. همچنین بررسی مکانیزم فرایند همجوشی، اهمیت تبادل نوکلئونی را در انرژی های اطراف و کوچکتر از سد همجوشی نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی:

واکنش های همجوشی یون های سنگین ، معادله حالت هسته ای، تراکم ناپذیری ماده هسته ای، نیروی اسکریم، مدل DF، مدل ImQMD.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
الف	چکیده
د	فهرست شکل ها
س	فهرست جدول ها
۱-۵	فصل اول: مقدمه
۶-۲۱	فصل دوم: مطالعه استاتیکی اثرات ماده هسته ای
۶	مقدمه فصل
۷	۱-۲: مطالعه استاتیکی اثرات ماده هسته ای بر روی پتانسیل برهم کنشی و سطح مقطع همجوشی
۷	۱-۱-۲ در نظر گرفتن اثرات وابسته به چگالی در نیروی بین نوکلئونی
۸	۱-۱-۱-۲ تولید هسته ها قبل از برهم کنش
۹	۲-۱-۱-۲ محاسبه پتانسیل با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو
۱۲	۳-۱-۱-۲ اثرات برهم کنش نوکلئون-نوکلئون وابستگی چگالی بر روی پتانسیل کل
۱۶	۲-۱-۲ مدل سازی مغز دافعه
۲۲-۴۰	فصل سوم: مدل QMD و مقایسه نسخه های مختلف آن
۲۲	مقدمه فصل
۲۶	۱-۳: مدل CMD
۲۷	۲-۳: مدل QMD

۳۰	.....QMD تولید هسته‌های اولیه در مدل
۳۱	..... QMD تابع موج نوکلئون و معادلات تحول زمانی در مدل
۳۳	.....برخورد دو جسمی
۳۴	.....BQMD مدل
۳۴	.....BQMD شرایط اولیه مدل
۳۵	.....BQMD پتانسیل مدل
۳۵	.....BQMD بخش برخورد دو جسمی در مدل
۳۵	.....IQMD مدل
۳۶	.....IQMD پتانسیل مدل
۳۶	.....IQMD برخورد بین نوکلئونها در مدل
۳۶	.....HQMD مدل
۳۷	.....EQMD مدل
۳۸	.....EQMD شرایط اولیه مدل
۳۹	.....EQMD پتانسیل مدل
۳۹	.....EQMD برخورد بین نوکلئونها در مدل
۴۰	.....ImQMD مدل
۴۱-۵۹	.....فصل چهارم: مدل ImQMD
۴۱	.....مقدمه فصل
۴۳	.....ImQMD محاسبه توزیع فضای فاز در مدل

۴۵	۲-۴ تولید هسته‌های پایدار در حالت اولیه
۴۶	۳-۴ معادلات تحول زمانی و پتانسیل برهم کنش
۵۱	۴-۴ پارامتر پخشیدگی تابع گاوسی (σ_T)
۵۲	۵-۴ تقریب اثرات طرد پائولی در مدل ImQMD
۵۴	۶-۴ برخورد بین نوکلئونها
۵۵	۱-۶-۴ سطح مقطع کل σ_{tot}
۵۵	۲-۶-۴ سطح مقطع الاستیک σ_{el}
۵۶	۷-۴ تنظیم پارامترهای ImQMD

فصل پنجم: مطالعه دینامیکی همجوشی یونهای سنگین با استفاده از مدل ImQMD

۶۰-۹۱	
۶۰	مقدمه فصل
۶۱	۱-۵ پارامترهای جدید IQ3 و SKP*
۶۱	۱-۱-۵ لزوم معرفی پارامترهای IQ3 و SKP*
۶۱	۲-۱-۵ نحوه تنظیم پارامترهای IQ3 و SKP*
۶۳	۲-۵: تست پارامترهای جدید IQ3 و SKP*
۶۳	۱-۲-۵ تست پایداری انرژی بستگی و جذر میانگین مربعی شعاع هسته‌ها
۶۷	۲-۲-۵ تحول زمانی چگالی
۶۸	۳-۲-۵ مقایسه با پارامترهای IQ1 و IQ2
۷۰	۳-۵ محاسبه پتانسیل استاتیکی و دینامیکی

۷۴	..... ۴-۵ عوامل مؤثر بر پتانسیل دینامیکی
۷۴	..... ۱-۴-۵ تراکم ناپذیری ماده هسته ای
۷۷	..... ۲-۴-۵ عرض تابع موج گاوسی (σ_T)
۸۱	..... ۳-۴-۵ انرژی برهم کنش
۸۵	..... ۵-۵ سطح مقطع همجوشی
۸۸	..... ۶-۵: بررسی مکانیزم برهم کنش همجوشی
۹۲-۱۰۶	..... فصل ششم: جمع بندی و پیشنهادات
۹۲	..... مقدمه فصل
۹۳	..... ۱-۶ جمع بندی
۹۶	..... ۲-۶ نتیجه گیری
۹۹	..... ۳-۶ پیشنهادات
۹۹	..... ۱-۳-۶: استفاده از مدل شبکه ای FCC در تولید هسته های اولیه قبل از واکنش
۱۰۲	..... ۲-۳-۶: تصحیحات اثرات تغییر شکل هسته های برهم کنش در مدل ImQMD
۱۰۲	..... ۳-۳-۶: بررسی فرایند شکافت با استفاده از مدل ImQMD
۱۰۴	..... ۴-۳-۶: محاسبه میانگین طول عمر هسته های مرکب با استفاده از مدل ImQMD
۱۰۵	..... ۵-۳-۶: بررسی پارامتر پخشیدگی پتانسیل W.S با استفاده از روش ImQMD
۱۰۷-۱۲۴	..... پیوست ها:
۱۰۷	..... الف) میانگین چگالی هسته ای
۱۰۸	..... ب) پتانسیل برهم کنشی مدل ImQMD

- ج) مشتق نسبت به Γ پتانسیل برهم کنشی در مدل ImQMD ۱۱۱
- پ) الگوریتم اشغال فضای فاز ۱۱۶
- ت) روش رانگ- کوتا ۱۱۹
- ر) پتانسیل Proximity ۱۲۲
- منابع و ماخذ ۱۲۵
- چکیده انگلیسی ۱۳۰

فهرست شکل ها

- شکل (۱-۱): تولید هسته های فوق سنگین در آزمایشگاه توسط گروه هافمن. ۱ صفحه
- شکل (۲-۱): شماتیکی از افزایش چگالی کل در حین برهمکنش استاتیکی و نقض اصل طرد پائولی.. ۲
- شکل (۳-۱): کانالهای مختلف همجوشی هسته های..... ۴
- شکل (۱-۲): ارتفاع سد پتانسیل برای نسخه های مختلف ترم وابسته به چگالی در زوایای مختلف برهم کنش. حالت صفر نسخه مستقل از چگالی میباشد سایر موارد در جدول (۲-۲) معرفی شده اند..... ۱۵
- شکل (۲-۲): پتانسیل برهم کنش واکنش های ^{12}C , ^{16}O , ^{28}Si , ^{35}Cl بر ^{92}Zr با استفاده از پتانسیل BDM3Y و MIP..... ۱۷
- شکل (۳-۲): سطح مقطع همجوشی واکنش های ^{12}C , ^{16}O , ^{28}Si , ^{35}Cl بر ^{92}Zr برای پتانسیل های BDM3Y و MIP به ترتیب با خط و نقطه نشان داده شده است. همچنین مقادیر تجربی نیز به منظور مقایسه با نقاط خالی آورده شده است..... ۱۸
- شکل (۴-۲): توزیع سد پتانسیل برای واکنش های ^{12}C , ^{16}O , ^{28}Si , ^{35}Cl بر ^{92}Zr برای پتانسیل های BDM3Y و MIP..... ۲۰
- شکل (۱-۳): شماتیکی از نسخه های مختلف مدل QMD..... ۲۵
- شکل (۲-۳): الگوریتم شبیه سازی مدل QMD و نسخه های مختلف آن..... ۲۹
- شکل (۱-۴): شکل (b) ترم سطحی پتانسیل اسکریم و شکل (a,c) اثرات انرژی سطحی بر روی چگالی نوکلئونها..... ۵۰
- شکل (۲-۴): اشغال فضای فاز برای هسته ^{208}Pb در طی زمان..... ۵۴

شکل (۱-۵): تغییرات انرژی بستگی هسته های ^{16}O (a) ، ^{28}Si (b) ، ^{40}Ca (c) ، ^{90}Zr (d) و ^{90}Zr (e)

^{208}Pb بر حسب زمان با بکارگیری برهم کنش IQ3 ۶۵

شکل (۲-۵): تغییرات میانگین مربع شعاعی هسته های ^{16}O (a) ، ^{28}Si (b) ، ^{40}Ca (c) ، ^{90}Zr (d) و

^{208}Pb (e) بر حسب زمان با بکارگیری برهم کنش IQ3 ۶۶

شکل (۳-۵): تحول زمانی چگالی برای برهم کنش $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb}$ در انرژی $E_{c.m.}=200$ ۶۷

شکل (۴-۵): مقایسه تحول زمانی چگالی برای پارامترهای IQ1, IQ2, IQ3, SKP* برای برهم کنش

$^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb}$ در انرژی $E_{c.m.} = 200(\text{MeV})$ ۶۹

شکل (۵-۵): پتانسیل استاتیکی مدل ImQMD و مقایسه آن با مدل های Proximity و MWS برای

واکنش های $^{40}\text{Ca} + ^{40}\text{Ca}$ (a) ، $^{40}\text{Ca} + ^{90}\text{Zr}$ (b) ، $^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$ (c) و $^{16}\text{O} + ^{90}\text{Zr}$ (d) ۷۲

شکل (۶-۵): پتانسیل دینامیکی برهم کنش $^{50}\text{Ti} + ^{208}\text{Pb}$ در انرژی $E_{c.m.}=210 (\text{MeV})$ ۷۳

شکل (۷-۵): اثرات تراکم ناپذیری ماده هسته ای بر روی پتانسیل هسته های برای برهمکنش

$^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb}$ با استفاده از نیروهای اسکریم با تراکم ناپذیری متفاوت ۷۵

شکل (۸-۵): مقایسه پتانسیل دینامیکی برهم کنش $^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$ برای پارامترهای IQ3 و SKP* در انرژی

های $E_{c.m.}=80$ (a) و $E_{c.m.}=120 (\text{MeV})$ (b) ۷۶

شکل (۹-۵): مقایسه پتانسیل دینامیکی برهم کنش $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb}$ برای پارامترهای IQ3 و SKP* در انرژی

های $E_{c.m.}=179$ (a) و $E_{c.m.}=205 (\text{MeV})$ (b) ۷۶

شکل (۱۰-۵): اثرات عرض تابع موج گاوسی بر روی پتانسیل دینامیکی برای برهم کنش $^{16}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$ در

انرژی $E_{c.m.}=80$ (a) و $E_{c.m.}=120 (\text{MeV})$ (b) برای برهم کنش $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb}$ در انرژی (c)

های $E_{c.m.}=179$ و $E_{c.m.}=205$ (d) ۷۸

شکل (۵-۱۱): اثرات عرض تابع موج گاوسی بر روی پتانسیل دینامیکی برای برهم کنش $^{16}\text{O}+^{208}\text{Pb}$ با

استفاده از پارامترهای IQ3 و σ_T های متفاوت ۸۰

شکل (۵-۱۲): اثرات عرض تابع موج گاوسی بر روی پتانسیل دینامیکی برای برهم کنش $^{50}\text{Ti}+^{249}\text{Bk}$ با

استفاده از پارامترهای IQ3 و σ_T های متفاوت ۸۰

شکل (۵-۱۳): مقایسه پتانسیل دینامیکی برای واکنش $^{16}\text{O}+^{208}\text{Pb}$ در انرژی های برهم کنشی متفاوت.

پتانسیل استاتیکی توسط مدل ImQMD محاسبه شده است ۸۲

شکل (۵-۱۴): مقایسه پتانسیل دینامیکی برای واکنش $^{48}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}$ در انرژی های برهم کنشی متفاوت.

پتانسیل استاتیکی توسط مدل ImQMD محاسبه شده است ۸۲

شکل (۵-۱۵): تحول زمانی توزیع چگالی برهم کنش $^{48}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}$ در انرژی $E_{c.m.}=173(\text{MeV})$ (a)

زمان $280(\text{fm}/c)$ و (b) زمان $700(\text{fm}/c)$ و $E_{c.m.}=205(\text{MeV})$ (c) زمان $280(\text{fm}/c)$ و (d)

زمان $700(\text{fm}/c)$ ۸۴

شکل (۵-۱۶): فاصله مرکز جرم بین دو هسته در طی زمان برای برهم کنش $^{48}\text{Ca}+^{208}\text{Pb}$ در دو انرژی

$E_{c.m.}=173(\text{MeV})$ و $E_{c.m.}=205(\text{MeV})$ ۸۵

شکل (۵-۱۷): احتمال فرایند همجوشی $g_{\text{fus}}(E,b)$ بر حسب E به ازاء چند پارامتر برخورد مختلف. ۸۶

شکل (۵-۱۸): سطح مقطع همجوشی واکنش $^{16}\text{O}+^{208}\text{Pb}$ به ازاء پارامترهای IQ1, IQ2, IQ3 و SKP^* با

استفاده از مدل ImQMD ۸۸

شکل (۵-۱۹): چهار نقطه از پتانسیل دینامیکی واکنش $^{50}\text{Ti}+^{208}\text{Pb}$ در انرژی $E_{c.m.}=202(\text{MeV})$.. ۸۹

شکل (۵-۲۰): بررسی مکانیزم برهم کنش دینامیکی واکنش $^{50}\text{Ti}+^{208}\text{Pb}$ در فواصل متفاوت ۹۱

شکل (۶-۱): نمایش اعداد کوانتومی در مدل شبکه‌ای ۱۰۰

شکل (۶-۲): تحول زمانی برهم کنش $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ در پارامتر برخورد $b=7\text{ fm}$ و انرژی برهم کنش

..... $E_{c.m.}=15\text{A (MeV)}$ ۱۰۳

شکل (۶-۳): تحول زمانی واکنش $^{197}\text{Au} + ^{197}\text{Au}$ در انرژی برخورد $E_{c.m.}=15\text{A (MeV)}$ و پارامتر

..... $b=2\text{ fm}$ برخورد ۱۰۵

شکل (۶-۴): مقایسه سطح مقطع همجوشی محاسبه شده با مقادیر مختلف برای پارامتر پخشیدگی پتانسیل

..... W.S. ۱۰۶

فهرست جدول ها

صفحه	جدول
	جدول (۱-۲): مقایسه ارتفاع سد و محل سد بدست آمده از روش مونت کارلو (M.C.) و مدل DF در جهت گیری های مختلف برای هسته های هدف و پرتابه..... ۱۲
	جدول (۲-۲): نسخه های مختلف وابسته به چگالی نیروی نوکلئون- نوکلئون M3Y..... ۱۳
	جدول (۱-۴): ضرایب پتانسیل انرژی به ازاء نسخه های مختلف اسکریم..... ۵۰
	جدول (۲-۴): پارامترهای IQ1 و IQ2 پیشنهاد شده برای مدل ImQMD..... ۵۹
	جدول (۱-۵): ضرایب مورد استفاده برای پارامترهای ImQMD..... ۶۲
	جدول (۲-۵): مقادیر انرژی بستگی و میانگین مربع شعاعی برای هسته های سبک تا سنگین با استفاده از مدل ImQMD با بکارگیری پارامترهای برخورد IQ3 و مقایسه آن با مقادیر تجربی و نیمه تجربی. ۶۴
	جدول (۳-۵): ضرایب انرژی جنبشی هسته ها بر اساس مدل توماس فرمی تعمیم یافته..... ۷۱
	جدول (۴-۵): ضرایب عرض تابع گاوسی برای نسخه های IQ3(I-V)..... ۷۹

لیست مقالات چاپ شده:

الف) مقالات ISI

- 1- V. Zanganeh, N. Wang and O. N. Ghodsi, “Dynamical nucleus-nucleus potential and incompressibility of nuclear matter”, PHYSICAL REVIEW C 85, 034601 (2012).
- 2- O.N. Ghodsi , V. Zanganeh, “The effect of the nuclear state equation on the surface diffuseness parameter of the Woods–Saxon potential in the heavy ion fusion reactions”, Nuclear Physics A 846 (2010) 40–50.
- 3- O. N. Ghodsi and V. Zanganeh, “Calculation of the total potential between two deformed heavy ion nuclei using the Monte Carlo method and M3Y nucleon-nucleon forces”, PHYSICAL REVIEW C 79, 044604 (2009)

ب) مقالات ارائه شده در کنفرانسهای داخلی:

- 1- O. N. Ghodsi and V. Zanganeh , Iranian Physics Conference, 5-8 septembere 2011, Oromie, Iran.
- 2- O. N. Ghodsi , V. Zanganeh and M.Golshanian, Iranian Physics Conference, , 5-8 septembere 2011, Oromie, Iran
- 3- O. N. Ghodsi , V. Zanganeh and M.Golshanian, Annul Iranian nuclear Conference, 2010, Esfahan, Iran.
- 4- O. N. Ghosi and V. Zanganeh, Iranian Physics Conference, 18 August 2010, BU-ALI Sina unevercity, Iran.
- 5- O. N. Ghodsi and V. Zanganeh, Iranian Physics Conference, 15 August 2009, Esfahan, Iran.
- 6- O. N. Ghodsi and V. Zanganeh, Iranian Physiscs Conference, 24 August 2009, Kashan University, Iran.

فصل اول:

مقدمه