به‌نام راستی که به راستی سزاوار پرستش است

دانشکده: علوم

گروه: فیزیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک (گرایش هسته‌ای)

عنوان:

انرژی ماده‌ی هسته‌ای با پتانسیل UV_{14}

استاد راهنما:

دکتر سعیده زریونی

استاد مشاور:

دکتر صفدر حبیبی

پژوهشگر:

زهرا اسدی آقبلاغی

اسفند ۸۸

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان نامه در مجلات، کنفرانس ها و یا سخنرانی ها، باید نام دانشگاه بوعلی (یا استاد راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

به پاس حق ناز پروردگیم

تقدیم به

مادرم و پدرم

واژه‌ها چگونه باید در کنار یکدیگر صف آرایی کنند تا بتوانند مرا در سپاسگزاری از مادرم و پدرم یاری کنند، آنان که مهرشان در دلم جاودانه است و جز برای آنان نمی‌زیم، بی‌گمان در پیش مهر بی‌پایان آنها تا آخر عمر خجلم.

بگاه سختی دستانی پرقدرت و مهربان به یاریم می‌شتابند، استواری این دستان یاری رسان امید را در دلم زنده نگاه می‌دارد. یاورانی به مهربانی برادرم و گرمی خواهرانم، ای کاش بتوانم سپاسگزار مهربانی این دوستان بزرگم باشم.

از سرکار خانم دکتر زریونی که راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده داشتند و آقای دکتر حبیبی که مشاوره این پایان‌نامه را پذیرفتند، تشکر می‌کنم.

از آقایان دکتر فروزانی و دکتر درودی که زحمت مطالعه و داوری این پایانامه را پذیرفتند، سپاسگزارم.

از تمام عزیزانی که مرا در نوشتن این پایان‌نامه یاری کردند، سپاسگزارم.

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات پایان نامه تحصیلی

عنوان:

انرژی ماده‌ی هسته‌ای با پتانسیل UV_{14}

نام نویسنده: زهرا اسدی آقبلاغی

نام استاد راهنما: دکتر سعیده زریونی

نام استاد مشاور: دکتر صفدر حبیبی

دانشکده : علوم پایه	**گروه آموزشی: فیزیک**	
رشته تحصیلی: فیزیک	**گرایش تحصیلی: هسته‌ای**	**مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب:	**تاریخ دفاع: ۸۸/۱۲/۵**	**تعداد صفحات: ۹۹**

چکیده:

معادله حالت ماده‌ی هسته‌ای را در چارچوب روش پایین‌ترین مرتبه قید $(LOCV)$ و با استفاده از پتانسیل‌های حقیقی و نوکلئونی V_8 و UV_{14}، که از برازش با داده‌های پراکندگی نوکلئون- نوکلئون و ویژگی‌های دوترون به‌دست می‌آیند برای مقادیر مختلف پارامتر عدم تقارن بر حسب چگالی محاسبه کرده‌ایم. چگالی اشباع و انرژی بستگی با استفاده از پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} به ترتیب $0.32\ fm^{-3}$ و $0.35\ fm^{-3}$ و $-23.5MeV$ و $-23.6MeV$ به‌دست آمده‌اند. این نتایج با نتایج تجربی به‌دست آمده از پتانسیل‌ها و روش‌های دیگر هم‌خوانی دارد.

عنوان **فهرست مطالب** صفحه

پیشگفتار

فصل اول: پتانسیل‌های هسته‌ای

پیشگفتار ۶

۱-۱-ویژگیهای پتانسیل هسته‌ای ۷

۱-۲-انواع پتانسیل‌های هسته‌ای ۱۳

۱-۲-۱- پتانسیل‌های دونوکلئونی پدیده شناختی ۱۳

۱-۲-۲- پتانسیل‌های حقیقی دو نوکلئونی ۱۶

فصل دوم: بسط خوشه‌ای

پیشگفتار ۲۲

۲-۱- ماده‌ی هسته‌ای ۲۳

۲-۲- مدل‌های ماده‌ی هسته‌ای ۲۵

۲-۲-۱- مدل ذره‌ی مستقل ۲۵

۲-۲-۲- مدل جفت مستقل ۲۶

۲-۳- نظریه‌ی هارتری- فوک ۲۷

۲-۴- نظریه بسط خوشه‌ای ۲۸

فصل سوم: روش $LOCV$

پیشگفتار ۳۷

۳-۱- تابع همبستگی جسترو ۳۹

عنوان صفحه

۳-۲- انرژی خوشه‌های دوذره‌ای در پایه‌ی ذرات آزاد ۴۳

۳-۴ مزایای روش $LOCV$ ۴۷

فصل چهارم: محاسبه انرژی ماده‌ی هسته‌ای با پتانسیل‌های V_8 و UV_{14}

پیشگفتار ۵۰

۴-۱- پتانسیل برهمکنشی V_8 ..... ۵۲

۴-۱-۱ محاسبه انرژی E_2 با پتانسیل V_8 ..... ۵۵

۴-۲- پتانسیل برهمکنشی UV_{14} ۷۰

۴-۲-۱- محاسبه انرژی E_2 با پتانسیل UV_{14} ۷۵

۴-۳- بحث و نتیجه گیری ۹۳

مراجع ۹۵

عنوان | **فهرست جدول‌ها** | صفحه

جدول(۱-۱): نیروهای استاتیکی ۱۰

جدول (۴-۱): ضرایب y_n^i راید ۵۴

جدول (۴-۲): ضرایب y_n^i BJ ۵۴

جدول(۴-۳): قدرت پتانسیلی برای حالت‌های یکتایی ۷۳

جدول (۴-۴): قدرت پتانسیلی در حالت سه‌گانه ۷۳

جدول(۴-۵) کمیت‌های پتانسیل برهمکنشی دونوکلئونی V_{14} ۷۴

عنوان | **فهرست شکل‌ها** | صفحه

شکل(۱-۱):پتانسیل برهمکنشی با مغزی دافعه ۹

شکل(۴-۱): نمودار عملگر همبستگی f_1 برای کانال $^1S_0$ ۶۰

شکل(۴-۲): نمودار عملگر همبستگی f_1 برای کانال $^3P_0$ ۶۰

شکل(۴-۳): نمودار عملگر همبستگی f_1 برای کانال $^1P_1$ ۶۱

شکل(۴-۴): نمودار عملگر همبستگی f_1 برای کانال $^3p_1$ ۶۱

شکل(۴-۵): نمودار عملگر همبستگی f_1 برای کانال $^1D_2$ ۶۲

شکل(۴-۶): نمودار عملگر همبستگی f^1 برای کانال $^3D_2$ ۶۲

شکل (۴-۷): نمودارهای عملگرهای همبستگی f_3 ، f_2 برای کانال‌های جفت $[^3S_1 - ^3D_1]$ ۶۳

شکل(۴-۸): نمودارهای عملگرهای همبستگی f_3 ، f_2 برای کانال‌های جفت $[^3P_2 - ^3F_2]$ ۶۳

شکل (۴-۹): نمودار انرژی ماده‌ی هسته‌ای متقارن با پتانسیل V_8 ..... ۶۴

شکل (۴-۱۰): نمودار انرژی ماده‌ی نوترونی برحسب چگالی با پتانسیل V_8 ..... ۶۴

شکل(۴-۱۱): نمودارهای انرژی ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن برحسب چگالی برای پارامترهای مختلف عدم تقارن با پتانسیل V_8 ..... ۶۵

شکل(۴-۱۲): مقایسه نمودارهای انرژی ماده‌ی هسته‌ای متقارن و نامتقارن و ماده‌ی نوترونی با پتانسیل V_8 .. ۶۵

شکل(۴-۱۳): نمودار فشار ماده‌ی هسته‌ای متقارن با پتانسیل V_8 ..... ۶۷

شکل (۴-۱۴): نمودار فشار ماده‌ی نوترونی بر حسب چگالی با پتانسیل V_8 ..... ۶۷

شکل(۴-۱۵): نمودارهای فشار ماده‌ی هسته‌ای متقارن برای پارامترهای مختلف عدم تقارن با پتانسیل V_8 ... ۶۸

شکل(۴-۱۶): مقایسه نمودارهای فشار ماده‌ی هسته‌ای متقارن و نامتقارن و ماده‌ی نوترونی با پتانسیل V_8 .... ۶۸

شکل(۴-۱۷): نمودار تراکم ناپذیری ماده‌ی هسته‌ای متقارن با پتانسیل V_8 ..... ۶۹

عنوان | صفحه

شکل (۴-۱۸): نمودار عملگر همبستگی f_1 برای کانال $^1S_0$ ۷۹

شکل(۴-۱۹): نمودار عملگر همبستگی f_1 برای کانال $^3P_0$ ۷۹

شکل(۴-۲۰): نمودار عملگر همبستگی f_1 برای کانال $^1P_1$ ۸۰

شکل(۴-۲۱): نمودار عملگر همبستگی f_1 برای کانال $^3P_1$ ۸۰

شکل(۴-۲۲): نمودار عملگر همبستگی f_1 برای کانال $^1D_2$ ۸۱

شکل (۴-۲۳): نمودار عملگر همبستگی f_1 برای کانال $^3D_2$ ۸۱

شکل (۴-۲۴): نمودارهای عملگرهای همبستگی f_3 , f_2 برای کانال‌های جفت $[^3S_1 - ^3D_1]$ ۸۲

شکل (۴-۲۵): نمودارهای عملگرهای همبستگی f_3 , f_2 برای کانال‌های جفت $[^3P_2 - ^3F_2]$ ۸۲

شکل(۴-۲۶): نمودار انرژی ماده‌ی هسته‌ای متقارن با پتانسیل UV_{14} ۸۳

شکل (۴-۲۷): نمودار انرژی ماده‌ی نوترونی با پتانسیل UV_{14} ۸۳

شکل(۴-۲۸): نمودارهای انرژی ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن برحسب چگالی برای پارامترهای مختلف عدم تقارن‌های با پتانسیل UV_{14} ۸۴

شکل(۴-۲۹): مقایسه نمودارهای انرژی ماده‌ی هسته‌ای متقارن و نامتقارن و ماده‌ی نوترونی با پتانسیل UV_{14} ۸۴

شکل(۴-۳۰) نمودار فشار ماده‌ی هسته‌ای متقارن با پتانسیل UV_{14} ۸۵

شکل(۴-۳۱): نمودارهای فشار ماده‌ی نوترونی بر حسب چگالی با پتانسیل UV_{14} ۸۵

شکل (۴-۳۲): نمودارهای فشار ماده‌ی هسته‌ای نامتقارن برای پارامترهای مختلف عدم تقارنهای با پتانسیل UV_{14} ۸۶

شکل(۴-۳۳): مقایسه نمودارهای فشار ماده‌ی هسته‌ای متقارن و نامتقارن و ماده‌ی نوترونی با پتانسیل UV_{14} ۸۶

شکل(۴-۳۴): نمودار تراکم ناپذیری ماده‌ی متقارن با پتانسیل UV_{14} ۸۷

شکل (۴-۳۵): مقایسه نمودارهای عملگر همبستگی f_1 با پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} برای کانال $^1S_0$ ۸۸

عنوان | صفحه

شکل(۴-۳۶): مقایسه نمودارهای عملگر همبستگی f_1 با پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} برای کانال $^3P_0$ ۸۸

شکل(۴-۳۷): مقایسه نمودارهای عملگر همبستگی f_1 با پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} برای کانال $^1P_1$ ۸۹

شکل(۴-۳۸): مقایسه نمودارهای عملگر همبستگی f_1 با پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} برای کانال $^3P_1$ ۸۹

شکل(۴-۳۹): مقایسه نمودارهای عملگر همبستگی f_1 با پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} برای کانال $^1D_2$ ۹۰

شکل(۴-۴۰): مقایسه نمودارهای عملگر همبستگی f_1 با پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} برای کانال $^3D_2$ ۹۰

شکل(۴-۴۱): نمودارهای عملگرهای همبستگی f_3 , f_2 با پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} برای کانال‌های جفت $[^3S_1 - ^3D_1]$ ۹۱

شکل (۴-۴۲): نمودارهای عملگرهای همبستگی f_3 , f_2 با پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} برای کانال‌های جفت $[^3S_1 - ^3D_1]$ ۹۱

شکل(۴-۴۳): نمودارهای انرژی ماده‌ی هسته‌ای متقارن به روش $LOCV$ با پتانسیل V_8 و UV_{14} و روش WFF با پتانسیل UV_{14} ۹۲

شکل (۴-۴۴): نمودارهای فشار ماده‌ی هسته‌ای متقارن با پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} ۹۲

پیشگفتار

پیشگفتار

ماده‌ی هسته‌ای یک دستگاه فرضی نامحدود از بی‌نهایت نوکلئون بر همکنش کننده با چگالی یکنواخت است. بررسی ویژگی‌های ماده‌ی هسته‌ای موضوع تحقیقات گسترده‌ای در فیزیک هسته‌ای بویژه در سال‌های اخیر بوده است. بطور کلی حل دقیق یک مسئله بس ذره‌ای غیر ممکن است. بنابراین برای حل چنین مسائلی بیشتر به روش‌های تقریبی روی می‌آورند. روش‌های تقریبی متفاوتی برای حل این مسائل پیشنهاد شده است. از

جمله این روش‌ها می‌توان به روشی‌های مبتنی بر محاسباتی عددی مثل روش مونت‌کارلو اشاره کرد.

برای حل چنین دستگاهی ما از روش وردشی پایین‌ترین مرتبه قید موسوم به $LOCV$ [1] استفاده کرده‌ایم. این روش وردشی، یک روش بس ذره‌ای است که بر مبنای روش بسط خوشه‌ای نوشته شده است. در این نظریه برای اینکه مسئله بی‌نهایت بعدی را که با آن درگیر هستیم به صورت قابل حلی درآوریم، فضای بی‌نهایت بعدی (هیلبرت) مسئله را به زیر فضاهای کوچکتری تقسیم می‌کنیم. هر زیر فضا شامل خوشه‌هایی با تعداد معینی ذره است و در پایان انرژی دستگاه برحسب کمیت‌هایی که برای خوشه‌های n ذره‌ای تعریف می‌شوند، نوشته می‌شود.

روش $LOCV$ را می‌توان برای دستگاه‌هایی که در آن ذرات تحت تاثیر اندرکنش‌های کوتاه برد و قوی هسته‌ای هستند مورد بررسی قرار داد. در این نوع دستگاه‌ها یک پتانسیل برهمکنشی ویژه برای اندرکنش ذره‌ها پیشنهاد می‌شود. در چنین مسائلی ما علاقمندیم نمودار انرژی برحسب چگالی را پیدا کنیم.

محدودیتی که در روش $LOCV$ و در حقیقت برای بسط خوشه‌ای وجود دارد در چگالی‌های خیلی بالا رخ می‌دهد. به این دلیل که در چگالی‌های بالا سهم‌های بالاتر مربوط به خوشه‌های چند جسمی در مقدار چشمداشتی انرژی اهمیت پیدا می‌کنند و این درحالی است که در چگالی‌هایی پایین سهم مربوط به خوشه‌های بالاتر از خوشه‌های دوجسمی در انرژی بسیار کوچک و قابل صرف نظر کردن است.

محاسبات بس ذره‌ای به روش $LOCV$ با پتانسیل‌های پدیده شناختی مانند $\mathrm{Re}id68$ که داده‌های پراکندگی را به خوبی برازش می‌کند، معمولاً انرژی بستگی و چگالی اشباع ماده‌ی هسته‌ای را خیلی بالا نشان می‌دهد. در سال ۱۹۷۹ پتانسیل گذار $NN \to N\Delta$ با اصلاح پتانسیل $\mathrm{Re}id68$ $(\Delta - \mathrm{Re}id68)$ به‌صورت مستقیم در هامیلتونین وارد گردید و باعث شد محاسبات به روش $LOCV$ یک نتیجه قابل قبولی برای انرژی بستگی و نقطه اشباع ماده‌ی هسته‌ای بدست آورد و این موفقیت سبب شد تا دانشمندان به استفاده از این روش روی آورند و با پتانسیل‌های متفاوت برای ماده‌ی هسته‌ای نتایج بهتری بدست آورند.

[1] Lowest order constrained variational

باتوجه به نکات بالا ما سعی کرده‌ایم با پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} که به خوبی با داده‌های پراکندگی برازش شده‌اند و استفاده از روش $LOCV$ انرژی ماده‌ی هسته‌ای را بدست آوریم.

به دنبال این پیشگفتار در این پایان نامه

- در فصل اول، پتانسیل هسته‌ای و ویژگی‌های برهمکنش نوکلئون-نوکلئون را شرح می‌دهیم و در ادامه پتانسیل‌های پدیده شناختی و حقیقی را معرفی می‌کنیم.
- در فصل دوم، ماده‌ی هسته‌ای، مدل‌های گوناگون پیشنهاد شده برای ماده‌ی هسته‌ای، نظریه بسط خوشه‌ای، توابع همبستگی و چگونگی بدست آوردن انرژی خوشه‌های دو ذره‌ای و سه‌ذره‌ای را به طور کامل شرح خواهیم داد.
- در فصل سوم، روش وردشی پایین‌ترین مرتبه قید $LOCV$، تابع همبستگی جسترو، فرمول‌بندی روش $LOCV$ برای تعیین توابع همبستگی وابسته به کانال‌های برهمکنشی آورده شده است.
- در فصل چهارم ابتدا در مورد معادله‌ی حالت ماده‌ی هسته‌ای صحبت شده است و در ادامه پتانسیل های V_8 و UV_{14} به طور کامل شرح داده شده است و نتایج بدست آمده به‌صورت نمودارهایی از تابع‌های همبستگی، انرژی، فشار و تراکم‌ناپذیری برای پتانسیل‌های V_8 و UV_{14} نشان داده شده است.
- در پایان نتایج حاصل از این تحقیق را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در نوشتن این پایان نامه سعی شده است، تا مطالب بیان شده تا حد ممکن روان ارائه شود و از بیان مطالب حاشیه‌ای که در این تحقیق کار برد کمتری دارد خود داری شود. در این تحقیق از زبان برنامه نویسی فورترن ۹۰ و نرم افزارهای TC و $Excel$ استفاده شده است.

فصل اول

پتانسیل‌های هسته‌ای

پیشگفتار

همانطور که می‌دانیم نوکلئون‌ها در هسته توسط نیروی هسته‌ای کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. به دلیل آن که نیرو با گرادیان پتانسیل متناسب است و همچنین نظریه کوانتومی بر حسب پتانسیل فرمول‌بندی شده است، برای محاسبه انرژی و دیگر ویژگیهای ماده‌ی هسته‌ای نیازمند آنیم که به خوبی با ویژگی‌های پتانسیل هسته‌ای آشنا شویم. بنابراین فصل اول این پایان نامه را با توضیح ویژگی‌های پتانسیل هسته‌ای آغاز می‌کنیم.

۱-۱- ویژگی‌های پتانسیل هسته‌ای

با مطالعه ویژگی‌های هسته‌ها و آزمایش‌های پراکندگی نوکلئون - نوکلئون در انرژی‌های بالا می‌توان ویژگی‌های برهمکنش نوکلئون- نوکلئون را تعیین کرد. این پتانسیل دارای ویژگی‌های زیر است:

۱. پتانسیل هسته‌ای یک کمیت نرده‌ای است.

۲. این پتانسیل تحت تعویض ذرات ناوردا است.

۳. پتانسیل هسته‌ای تحت وارونی زمان ناوردا است.

۴. این پتانسیل به پاریته وابسته است. چون پاریته بستگی به زوج بودن یا فرد بودن l دارد، بنابراین پتانسیل هسته‌ای برای l زوج و l فرد متفاوت است.

۵. این پتانسیل به اسپین ذرات وابسته است. با توجه به ویژگیهای پتانسیل هسته‌ای، این پتانسیل نمی‌تواند همه ترکیب‌های $\vec{s}_1,\vec{s}_2$ را در بر گیرد. به این دلیل که اسپین ذرات در اثر وارونی زمان معکوس می‌شود، جمله‌هایی مانند s_1,s_2 و ترکیبی مثل $A\vec{s}_1+B\vec{s}_2$ در تابع پتانسیل نمی‌توانند وجود داشته باشند و همچنین جمله‌هایی مانند $\vec{p}.\vec{s}$ و یا $\vec{r}.\vec{s}$ به دلیل آنکه تحت تعویض ذرات ناوردا نیستند، نیز نمی‌توانند در تابع پتانسیل وجود داشته باشند. جمله‌های $(\vec{r}.\vec{s})^2$ ، $\vec{s}_1.\vec{s}_2$ و یا $\vec{s}_1^2.\vec{s}_2^2$ تحت وارونی زمان و تعویض ذرات ناوردا هستند، ساده‌ترین این جمله‌ها، جمله $\vec{s}_1.\vec{s}_2$ است که برابر است با:

$$\vec{s}_1.\vec{s}_2=\frac{1}{2}\left[s^2-s_1^2-s_2^2\right] \qquad (۱-۱)$$

مقدار چشمداشتی بالا برابر است با:

$$\langle s_1.s_2\rangle=\frac{1}{2}\left[s(s+1)-s_1(s_1+1)-s_2(s_2+1)\right]\hbar^2 \qquad (۱-۲)$$

که برای حالتهای اسپین یک‌تایی و اسپین سه‌تایی به صورت زیر است:

$$\langle s_1.s_2\rangle=\frac{1}{4}\hbar^2 \qquad s=1 \qquad (۱-۳)$$

$$\langle s_1.s_2\rangle=-\frac{3}{4}\hbar^2 \qquad s=0 \qquad (۱-۴)$$