



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: فیزیک

گروه: هسته ای

بررسی عددی و تحلیلی برهمکنش فوق ریز و سطوح انرژی ایزوتوپ های مختلف

دانشجو: الهام مقصودی

استاد راهنما:

دکتر حسن حسن آبادی

استاد مشاور:

مهندس حامد رحیم اف

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۹۱

بادرود فراوان به روح پر فتوح پدر بزرگوارم

تقدیم به

خانواده عزیزم و اساتید بزرگوارم در دانشگاه صنعتی شاهرود

تقدیر و شکر

پاس پروردگار یکتا که سخوران، در ستودن او مانند شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزارش کردن نتوانند. بدون شک جایگاه استاد بسیار والا است و در مقام قدردانی از زحمات او، زبان قاصر است اما با این وجود بر خود لازم می دانم از زحمات و پشتیبانی بی شائبه استاد ارزشمند و شایسته ام جناب آقای دکتر حسن حسن آبادی که در کمال سع صدر، از بیچ گلی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند و همینطور از استاد صبور و ارجمندم، جناب آقای مهندس حامد رحیم اف که زحمت مشاوره این پایان نامه را متقبل شدند و همیشه باروی کشاده پاسخگویی به می مشکلاتم بوده اند و نقش مهمی در به ثمر رسیدن این کار داشته اند، صمیمانه شکر و قدردانی نمایم. در انتها از مادر و برادر عزیزم علی که همواره در این راه مشوق من بوده اند و همیشه خود را مرهمون لطف آن های دانم و از دوستان و اساتید بزرگوارم، آقای صابر زرین کمر و خانم های زارلو، مولایی و جوادی نش که همواره مایه دلگرمی من در این مدت بوده اند پاس گزارم و موفقیت ایشان را در تمامی مراحل زندگی از خداوند متعال خواستارم.

تعهد نامه

اینجانب **الهام مقصودی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک هسته‌ای دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **بررسی عددی و تحلیلی برهمکنش فوق ریز و سطوح انرژی ایزوتوپ های مختلف** تحت راهنمایی دکتر حسن حسن آبادی متعهد می شوم

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «**Shahrood University of Technology**» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجودات زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۱/۰۶/۱۸

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده :

در چند دهه نخست قرن بیستم، مدل‌های مفهومی در زمینه فیزیک هسته‌ای نقش‌آفرینی اساسی داشتند و برای مطالعه ساختار هسته مدل‌هایی از جمله مدل‌های قطره مایع، لایه‌ای و کوآرک-مانند ارائه شده‌اند. این پایان‌نامه براساس مطالعه‌ی مدل لایه‌ای و به دست آوردن سطوح انرژی برهمکنش فوق‌ریز می‌باشد. ابتدا به منظور بررسی مدل لایه‌ای در محدوده‌ی مکانیک کوانتومی غیرنسبیتی، معادله شرودینگر را در حضور پتانسیل وود-ساکسون حل کرده و با در نظر گرفتن اصل طردپائولی برای ایزوتوپ‌های منیزیم طیف انرژی را برای سطوح مختلف به دست می‌آوریم سپس با وارد کردن برهمکنش اسپین-مدار به عنوان جمله اختلالی، اثر این پتانسیل را روی مدل لایه‌ای بررسی می‌کنیم و علاوه بر این معادله شرودینگر را برای پتانسیل‌های وود-ساکسون و اسپین-مدار بدون در نظر گرفتن هیچ گونه تقریبی برای هسته‌های پایدار و ناپایدار به روش عددی حل کرده و نتایج به دست آمده از دو روش تحلیلی و عددی را مقایسه می‌کنیم. علاوه ویژه‌توابع برحسب توابع فوق‌هندسی گزارش شده‌اند. سپس برای بررسی مدل لایه‌ای و سطوح انرژی در محدوده مکانیک کوانتومی نسبیتی، معادله‌ی دیراک را برای تک نوکلئون منفرد موجود در هسته در شرایط تقارن اسپینی و تقارن شبه‌اسپینی در حضور پتانسیل‌های فیزیکی مناسب شعاعی و زاویه‌ای حل کرده و طیف انرژی و مولفه‌های اسپینور دیراک را بدست می‌آوریم و با در نظر گرفتن پتانسیل تانسوری، اثر این پتانسیل را بر طیف انرژی بدست آمده از حل معادله‌ی دیراک و تبهگنی‌های موجود بین حالت‌های مقید بررسی می‌کنیم و بستگی ویژه مقادیر انرژی را به برخی از پارامترهای پتانسیل و برخی دیگر از پارامترهای موجود در مساله در هر دو حالت غیرنسبیتی و نسبیتی توصیف می‌کنیم. در نهایت به بررسی یک مساله بنیادی در مکانیک کوانتومی غیرنسبیتی می‌پردازیم و طیف انرژی یک ذره را در میدان پتانسیل کولنی یک دومرکزی حاصل از شکافت به دست می‌آوریم و رفتار انرژی را برحسب پارامترهای بکارگرفته شده در مساله بررسی می‌کنیم.

کلمات کلیدی: مدل لایه‌ای، مکانیک کوانتومی غیر نسبیتی و نسبیتی ، مساله‌ی دومرکزی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه پذیرفته شده:

An Approximate Solution of the Dirac Equation for Hyperbolic Scalar and Vector Potentials and a Coulomb Tensor Interaction by SUSYQM, *Modern Phys. Lett. A*, 26 (2011) 2703.

Dirac equation for generalized Pöschl-Teller scalar and vector potentials and a Coulomb tensor interaction by Nikiforov-Uvarov method, *J. Math. Phys.* 53 (2012) 022104.

Relativistic symmetries of the Dirac equation under the nuclear Woods–Saxon potential, *Phys. Scr.* 85 (2012) 055007.

Dirac particles in the presence of the Yukawa potential plus a tensor interaction in SUSYQM framework, *Phys. Scr.* 86 (2012) 015005.

A Quasi-Analytical Study of the Nonrelativistic Two-Center Coulomb Problem, *Few-Body Syst* DOI 10.1007/s00601-012-0459-2.

فهرست مطالب

۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- ساختار هسته و مدل‌های هسته‌ای
۶	۲-۱- پتانسیل اسپین-مدار
۱۰	فصل دوم: بررسی غیرنسبیتی مدل لایه‌ای
۱۱	۱-۲- ترازهای انرژی و برهمکنش فوق ریز ایزوتوپ‌های منیزیم
۱۳	۱-۱-۲- حل عددی معادله‌ی شرودینگر تحت پتانسیل وود-ساکسون و برهمکنش اسپین مدار
۱۹	۲-۱-۲- حل تحلیلی معادله‌ی شرودینگر در حضور پتانسیل وود-ساکسون و بررسی تاثیر ترم اسپین-مدار با روش اختلال
۲۲	۲-۲- بررسی طیف انرژی غیرنسبیتی در حضور پتانسیل تیتز
۲۹	فصل سوم: بررسی نسبیتی مدل لایه‌ای
۳۰	۱-۳- معادله دیراک مستقل از زمان
۳۲	۱-۱-۳- معادله دیراک برای پتانسیل‌های شعاعی
۳۴	۲-۱-۳- معادله دیراک برای پتانسیل‌های شعاعی به همراه پتانسیل تانسوری
۳۶	۲-۲- ترازهای انرژی نسبیتی در حضور پتانسیل یوکاوا
۴۵	۱-۲-۳- اثرات برهمکنش تانسوری بر حالت‌های مقید در حضور پتانسیل یوکاوا
۴۶	۲-۲-۳- اثرات پارامتر α بر حالت‌های مقید در حضور پتانسیل یوکاوا
۴۷	۳-۲-۳- اثرات پارامتر V_0 بر حالت‌های مقید در حضور پتانسیل یوکاوا
۴۸	۴-۲-۳- اثرات پارامتر M بر حالت‌های مقید در حضور پتانسیل یوکاوا
۴۸	۵-۲-۳- اثرات پارامترهای C_s و C_{ps} بر حالت‌های مقید در حضور پتانسیل یوکاوا
۴۹	۶-۲-۳- توابع موج در حضور پتانسیل یوکاوا
۵۲	۳-۳- ترازهای انرژی نسبیتی در حضور پتانسیل هسته‌ای وود-ساکسون
۵۸	۴-۳- ترازهای انرژی نسبیتی در حضور پتانسیل تیتز
۶۳	۵-۳- ترازهای انرژی نسبیتی در حضور پتانسیل پوشل-تیلر
۶۹	۶-۳- ترازهای انرژی نسبیتی در حضور پتانسیل دنگ-فن
۷۲	۷-۳- ترازهای انرژی نسبیتی در حضور پتانسیل منینگ-رزن
۷۹	۸-۳- ترازهای انرژی نسبیتی در حضور پتانسیل مربع موبیوس
۸۴	۹-۳- ترازهای انرژی نسبیتی در حضور پتانسیل ایکارت بعلاوه‌ی پتانسیل تغییرشکل یافته و اصلاح شده هیلاری
۹۰	۱۰-۳- ترازهای انرژی نسبیتی در حضور پتانسیل وابسته به انرژی

۹۶	۱۱-۳- ترازهای انرژی نسبیتی تحت پتانسیل هولسن در حضور نوعی برهمکنش تانسوری یوکاوا
۱۰۴	۱۲-۳- ترازهای انرژی نسبیتی در حضور پتانسیل وابسته به زاویه
۱۰۸	فصل چهارم: بررسی سطوح انرژی فوقریز در مساله دومرکزی کولنی غیرنسبیتی
۱۰۹	۱-۴- مدل لایه‌ای دو مرکزی
۱۱۰	۲-۴- مطالعه تحلیلی مساله‌ی غیرنسبیتی دو مرکزی کولنی
۱۲۲	نتایج و پیشنهادات
۱۲۴	پیوست الف
۱۲۸	مراجع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- اختلاف انرژی بین مقدار اندازه‌گیری شده B/A و مقدار محاسبه شده با فرمول نیمه تجربی جرم برحسب تعداد پروتن‌ها Z (شکل الف) و تعداد نوترون‌ها N (شکل ب). ۵
- شکل ۱-۲- نمایش پتانسیل‌های معرفی شده برای بررسی مدل لایه‌ای، پتانسیل‌های نوسانگر هارمونیک، چاه مربعی و وود-ساکسون ۷
- شکل ۱-۳- سطوح انرژی هسته‌ای در غیاب و حضور برهمکنش اسپین-مدار ۸
- شکل ۱-۲- رفتار پتانسیل‌های وود-ساکسون و اسپین-مدار و ترکیب آن‌ها ۱۳
- شکل ۲-۲- ویژه مقادیر انرژی برحسب عدد جرمی برای حالت‌های مختلف ۱۷
- شکل ۲-۳- توابع موج برای $N=Z$ در حضور پتانسیل‌های وود-ساکسون و اسپین-مدار ۱۸
- شکل ۲-۴- توابع موج برای ایزوتوپ‌های مختلف منیزیم ۱۸
- شکل ۲-۵- انرژی برحسب M تحت پتانسیل تیتز ۲۴
- شکل ۲-۶- تابع موج تحت پتانسیل تیتز ۲۶
- شکل ۲-۷- رفتار $\langle [\cosh(ar_0) - \sinh(ar_0) \coth(ar)]^2 \rangle$ برحسب α برای بعضی از مقادیر l و n تحت پتانسیل تیتز ۲۷
- شکل ۲-۸- رفتار $\langle [\cosh(ar_0) - \sinh(ar_0) \coth(ar)]^2 \rangle$ برحسب r_0 برای بعضی از مقادیر l و n تحت پتانسیل تیتز ۲۷
- شکل ۲-۹- تغییر قدرت نوسان برحسب ضریب V_0 تحت پتانسیل تیتز ۲۸
- شکل ۳-۱- رفتار پتانسیل یوکاوا ۳۶
- شکل ۳-۲- اثرات برهمکنش تانسوری بر سطوح انرژی مقید برای محدوده‌های شبه‌اسپینی (نمودار چپ) و اسپینی (نمودار راست) تحت پتانسیل یوکاوا ۴۶
- شکل ۳-۳- اثر پارامتر α بر سطوح انرژی در تقارن‌های شبه‌اسپینی و اسپینی برای $H=0$ و $H=0.75$ تحت پتانسیل یوکاوا ۴۷
- شکل ۳-۴- اثر پارامتر V_0 بر سطوح انرژی در تقارن‌های شبه‌اسپینی و اسپینی برای $H=0$ و $H=0.75$ تحت پتانسیل یوکاوا ۴۷
- شکل ۳-۵- محاسبه انرژی‌ها به صورت تابعی از M بدون برهمکنش تانسوری (نمودار چپ) و با برهمکنش تانسوری (نمودار راست) در تقارن‌های شبه‌اسپینی و اسپینی برای سطوح انرژی مقید تحت پتانسیل یوکاوا ۴۸
- شکل ۳-۶- وابستگی سطوح انرژی مقید بر پارامترهای C_{ps} و C_s تحت پتانسیل یوکاوا ۴۹
- شکل ۳-۷- توابع موج شعاعی بالایی و پایینی در تقارن شبه‌اسپینی تحت پتانسیل یوکاوا ۵۰
- شکل ۳-۸- توابع موج شعاعی بالایی و پایینی در تقارن اسپینی تحت پتانسیل یوکاوا ۵۰
- شکل ۳-۹- انرژی برحسب a برای تقارن شبه‌اسپینی و اسپینی تحت پتانسیل وود-ساکسون ۵۷
- شکل ۳-۱۰- انرژی برحسب R برای تقارن شبه‌اسپینی و اسپینی تحت پتانسیل وود-ساکسون ۵۷
- شکل ۳-۱۱- رفتار پتانسیل تیتز ۵۸

- شکل ۳-۱۲- انرژی برحسب α برای تقارن شبه‌اسپینی و اسپینی تحت پتانسیل تیتز به ازای $H = 1$ ۶۳
- شکل ۳-۱۳- انرژی برحسب α تحت پتانسیل پوشل-تیلر ۶۹
- شکل ۳-۱۴- رفتار پتانسیل دنگ-فن ۷۰
- شکل ۳-۱۵- انرژی برحسب α تحت پتانسیل مربع موبیوس ۸۳
- شکل ۳-۱۶- انرژی برحسب H تحت پتانسیل مربع موبیوس ۸۴
- شکل ۳-۱۷- انرژی برحسب H برای تقارن‌های شبه‌اسپینی و اسپینی تحت پتانسیل ایکارت بعلاوه‌ی پتانسیل اصلاح شده‌ی هیلاری ۸۸
- شکل ۳-۱۸- انرژی برحسب α برای تقارن‌های شبه‌اسپینی و اسپینی تحت پتانسیل ایکارت بعلاوه‌ی پتانسیل اصلاح شده‌ی هیلاری ۸۸
- شکل ۳-۱۹- انرژی برحسب V_0 برای تقارن‌های شبه‌اسپینی و اسپینی تحت پتانسیل ایکارت بعلاوه‌ی پتانسیل اصلاح شده‌ی هیلاری ۸۹
- شکل ۳-۲۰- توابع موج شعاعی بالایی و پایینی برای تقارن‌های شبه‌اسپینی و اسپینی تحت پتانسیل ایکارت بعلاوه‌ی پتانسیل اصلاح شده‌ی هیلاری ۸۹
- شکل ۳-۲۱- انرژی برحسب C_f تحت پتانسیل وابسته به انرژی برای دومین انتخاب ۹۵
- شکل ۳-۲۲- انرژی برحسب η_f تحت پتانسیل وابسته به انرژی برای دومین انتخاب ۹۵
- شکل ۳-۲۳- توابع موج شعاعی بالایی و پایینی در تقارن شبه‌اسپینی تحت پتانسیل هولسن ۹۹
- شکل ۳-۲۴- توابع موج شعاعی بالایی و پایینی در تقارن اسپینی تحت پتانسیل هولسن ۱۰۲
- شکل ۳-۲۵- اثر پارامتر α بر سطوح انرژی در تقارن‌های شبه‌اسپینی و اسپینی برای $V_1 = 0 \text{ fm}^{-1}$ تحت پتانسیل هولسن ۱۰۲
- شکل ۳-۲۶- اثر پارامتر V_1 بر سطوح انرژی در تقارن‌های شبه‌اسپینی و اسپینی تحت پتانسیل هولسن ۱۰۳
- شکل ۳-۲۷- اثر پارامتر M بر سطوح انرژی در تقارن‌های شبه‌اسپینی و اسپینی تحت پتانسیل هولسن ۱۰۳
- شکل ۴-۱- تغییر انرژی پتانسیل یک هسته تغییر شکل یافته به صورت تابعی از تغییر شکل هسته یا انحراف از حالت کروی ۱۰۹
- شکل ۴-۲- مختصات بیضوی (λ, μ) و مختصات کروی کشیده (λ, μ, φ) ۱۱۱
- شکل ۴-۳- انرژی حالت پایه برحسب R برای $Z_a = 2, Z_b = 1$ ۱۱۹
- شکل ۴-۴- انرژی حالت پایه برحسب m برای $Z_a = 2, Z_b = 1$ ۱۲۰
- شکل ۴-۵- انرژی حالت پایه برحسب Z_b برای $R = 5 \text{ fm}, m = 1 \text{ fm}^{-1}$ ۱۲۰
- شکل ۴-۶- $\Lambda_{0,5}(\lambda)$ برحسب λ و $M_{0,5}(\mu)$ برحسب μ و تابع موج حالت پایه $\Psi_{0,5}(\lambda, \mu)$ برحسب λ و μ ۱۲۱

فهرست جداول

جدول	۱-۲	مقادیر عددی انرژی‌های حالت‌های مقید برای پتانسیل وود-ساکسون.....	۱۴
جدول	۲-۲	ویژه‌مقادیر عددی حالت‌های مقید برای پتانسیل وود-ساکسون بعلاوه‌ی برهمکنش اسپین-مدار برای هسته‌های پایدار.....	۱۵
جدول	۳-۲	نتایج تحلیلی برای پتانسیل های وود-ساکسون و اسپین-مدار ایزوتوپ‌های منیزیم.....	۲۱
جدول	۴-۲	مقایسه‌ی نتایج عددی و تحلیلی برای پتانسیل های وود-ساکسون و اسپین-مدار ایزوتوپ‌های منیزیم.....	۲۲
جدول	۵-۲	ویژه‌مقادیر حالت‌های مقید برای پتانسیل تیتز.....	۲۵
جدول	۱-۳	حالت‌های مقید برای تقارن شبه‌اسپینی برای پتانسیل یوکاوا.....	۴۴
جدول	۲-۳	حالت‌های مقید برای تقارن اسپینی برای پتانسیل یوکاوا.....	۴۵
جدول	۳-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن شبه‌اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل وود-ساکسون.....	۵۵
جدول	۴-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل وود-ساکسون.....	۵۶
جدول	۵-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن شبه‌اسپینی برحسب V_0 برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل تیتز.....	۶۱
جدول	۶-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن اسپینی برحسب V_0 برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل تیتز.....	۶۲
جدول	۷-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن شبه‌اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل پوشل-تیلر.....	۶۶
جدول	۸-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل پوشل-تیلر.....	۶۷
جدول	۹-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن شبه‌اسپینی برای برخی از مقادیر C_{ps} تحت پتانسیل پوشل-تیلر.....	۶۸
جدول	۱۰-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن اسپینی برای برخی از مقادیر C_s تحت پتانسیل پوشل-تیلر.....	۶۸
جدول	۱۱-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن شبه‌اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل دنگ-فن.....	۷۱
جدول	۱۲-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل دنگ-فن.....	۷۲
جدول	۱۳-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن شبه‌اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل منینگ-رزن.....	۷۷
جدول	۱۴-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل منینگ-رزن.....	۷۸
جدول	۱۵-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن شبه‌اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل مربع موبیوس.....	۸۱
جدول	۱۶-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل مربع موبیوس.....	۸۲
جدول	۱۷-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن شبه‌اسپینی برای برخی از مقادیر C_{ps} تحت پتانسیل مربع موبیوس.....	۸۲
جدول	۱۸-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن اسپینی برای برخی از مقادیر C_s تحت پتانسیل مربع موبیوس.....	۸۳
جدول	۱۹-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن شبه‌اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل ایکارت بعلاوه‌ی پتانسیل اصلاح شده‌ی هیلاری.....	۸۶
جدول	۲۰-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن اسپینی برای برخی از مقادیر H تحت پتانسیل ایکارت بعلاوه‌ی پتانسیل اصلاح شده‌ی هیلاری.....	۸۷
جدول	۲۱-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن شبه‌اسپینی برای برخی از مقادیر C_L, η_c, C_c و η_L تحت پتانسیل وابسته به انرژی برای اولین انتخاب.....	۹۴
جدول	۲۲-۳	انرژی در محدوده‌ی تقارن اسپینی برای برخی از مقادیر C_L, η_c, C_c و η_L تحت پتانسیل وابسته به انرژی برای اولین انتخاب.....	۹۴
جدول	۲۳-۳	حالت‌های مقید در محدوده‌ی تقارن شبه‌اسپینی برای برخی از مقادیر V_1 تحت پتانسیل هولسن و برهمکنش تانسوری یوکاوا.....	۹۸

جدول ۳-۲۴- حالت‌های مقید در محدوده‌ی تقارن اسپینی برای برخی از مقادیر V_1 تحت پتانسیل هولسن و برهمکنش تانسوری
یوکاوا..... ۱۰۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱- ساختار هسته و مدل‌های هسته‌ای

${}^N_Z X$ نشان دهنده هسته اتم و هسته مجموعه‌ای مقید از نوترون‌ها و پروتون‌ها است. X عنصر شیمیایی است با A نوکلئون و Z نشان‌دهنده تعداد پروتون‌ها و $N = A - Z$ نمایش‌گر تعداد نوترون‌ها است. به $A = N + Z$ عدد جرمی هسته می‌گویند. به هسته‌هایی که تنها از لحاظ تعداد نوترون تفاوت دارند ایزوتوپ و به هسته‌هایی با A یکسان اما Z متفاوت، ایزوبار می‌گویند. نوکلئون‌ها همانند لپتون‌ها فرمیون‌اند و اسپین $\frac{1}{2}$ دارند. نوترون بار الکتریکی خالص ندارد. بار پروتون مخالف بار الکترون است، بار الکتریکی پروتون در یک نقطه تمرکز نیافته است بلکه به طور متقارن حول مرکز پروتون توزیع شده است. با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی شعاع میانگین این توزیع بار تقریباً برابر $R_p \approx 0.8fm$ است. همچنین توزیع بار گسترده‌ای برای نوترون یافت شده است، به طوری‌که بار مثبت در ناحیه مرکزی با بار منفی در فواصل دورتر خنثی می‌گردد. توزیع ماده نیز در نوکلئون‌ها به فاصله‌ای در حدود R_p گسترش می‌یابد. هیچ نظریه‌ی کاملی وجود ندارد که تنها بر اساس شناسایی نیروی بین نوکلئون‌ها بتواند ساختار و رفتار هسته‌های پیچیده را توصیف کند. هر مدل موفق‌ی باید بتواند ویژگی‌هایی که تاکنون مطرح شده را به طور منطقی توضیح دهد و همچنین خواص دیگری را پیش‌بینی کند که با تجربه سازگار باشند. یکی از ساده‌ترین مدل‌های هسته‌ای که در دهه ۱۹۳۰ معرفی شد و به خوبی می‌تواند رفتار انرژی بستگی نوکلئون و بستگی آن را به عدد جرمی هسته توضیح دهد، مدل قطره مایع است که مدلی است که هسته را به شکل مجموعه‌ای از نوترون‌ها و پروتون‌ها در نظر می‌گیرد که به صورت قطره‌ای تراکم‌ناپذیر در آمده و از جهاتی مانند قطره مایع کلاسیک رفتار می‌کند. این مدل بر اساس اشباع نیروی هسته‌ای استوار است و اینکه نیروی هسته‌ای مستقل از نوع نوکلئون‌ها بوده و هسته از ماده‌ی غیرقابل تراکم تشکیل شده است. در سال ۱۹۳۵ وایتساکر یک روش نیمه‌تجربی را که منجر به پیدایش رابطه‌ی ساده‌ای به صورت معادله

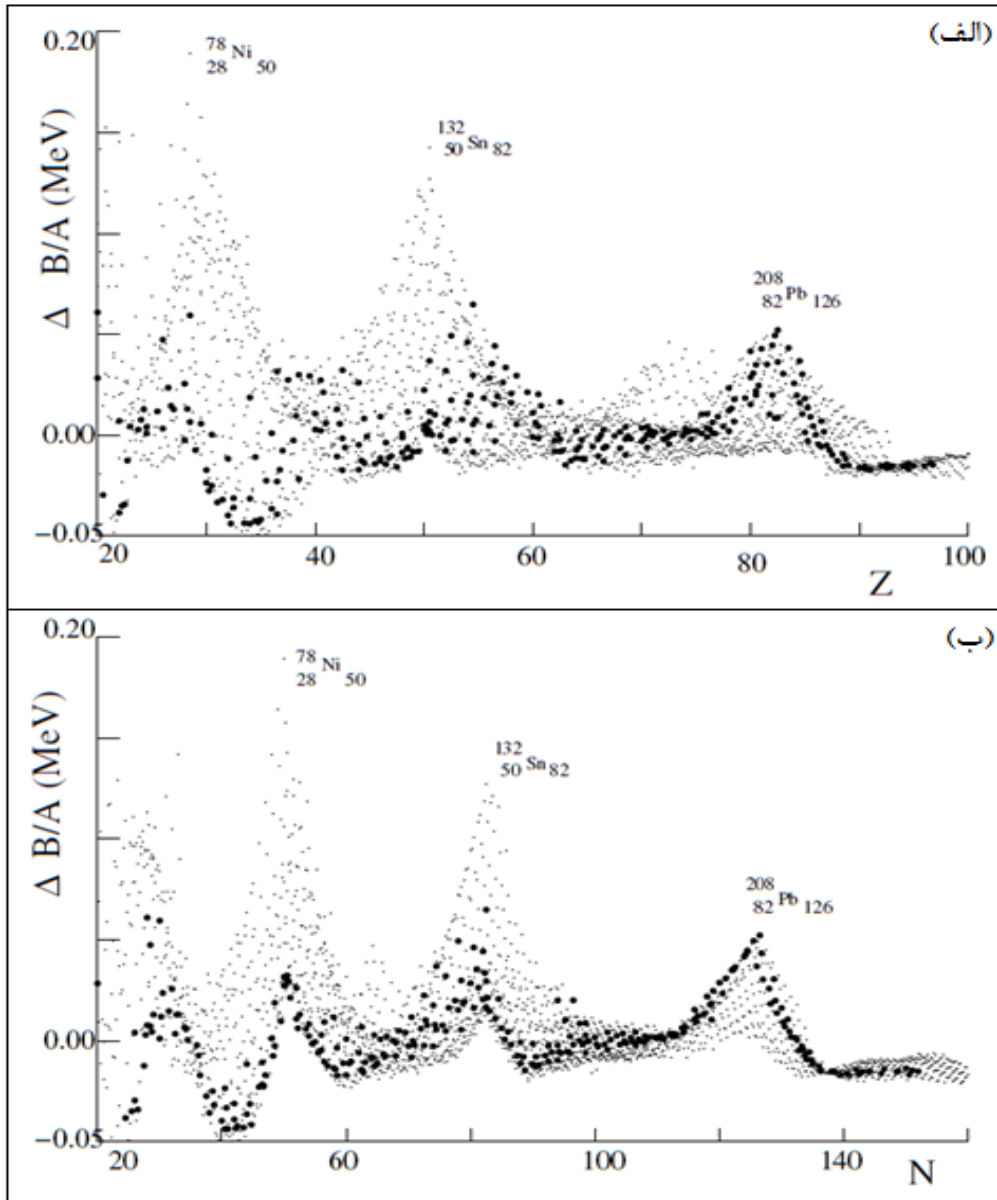
(۱-۱) برای انرژی بستگی هسته‌ها در حالت پایه‌شان می‌شود معرفی کرد [۱]

$$B(A, Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_a \frac{(N - Z)^2}{A} + \delta(A), \quad (1-1)$$

پنج جمله موجود در معادله (۱-۱) را به ترتیب از چپ به راست اثرهای حجمی، سطحی، کولنی، تقارنی و جمله‌ی تصحیح انرژی زوجیت می‌نامند. به مرور زمان با کسب اطلاعات بیشتر در مورد هسته‌ها، نارسایی‌ها و کمبودهایی در مدل قطره مایع بروز کرد که تلاش در جهت رفع آن‌ها منجر به پیدایش مدل لایه‌ای شد. این مدل بر این اساس استوار است که هسته دارای ساختار منظمی است و نوترون‌ها و پروتون‌ها در هسته در چاه پتانسیلی که متعلق به همه‌ی آن‌هاست در حالت‌های کوانتومی پایداری قرار گرفته‌اند و به گونه‌ای رفتار می‌کنند که گویی بیشتر نوکلئون‌های درون هسته، بخش مرکزی خنثایی را تشکیل می‌دهند و فقط تعداد کمی از نوکلئون‌ها بیرون از این بخش مرکزی هستند که نماینده حالت‌های برانگیخته‌ی کم‌انرژی هستند و این به مانند حالت‌های اتمی است که الکترون‌ها در پوسته‌هایی آرایش یافته‌اند و فعالیت‌های شیمیایی آن توسط الکترون‌های ظرفیت تعیین می‌شود. یکی از کاربردهای مدل لایه‌ای، مدل ذره‌ی خیلی مستقل است که بر این اساس استوار است که به استثنای یکی از نوکلئون‌ها، بقیه‌ی نوکلئون‌های موجود در هسته به صورت زوج شده هستند و هسته با توجه به حرکت همین نوکلئون منفرد توصیف می‌شود. از لحاظ تاریخی، مدل لایه‌ای از همان ابتدا از طریق تئوری پیش‌بینی نشده بود بلکه شواهد تجربی و مقایسه نتایج حاصل از تجربه با مدل لایه‌ای و پوسته‌های پر گازهای نجیب در ساختار اتمی وجود مدل لایه‌ای را نشان داد. در فیزیک اتمی برای انرژی یونش، یعنی انرژی مورد نیاز برای جدا کردن یک الکترون از یک اتم خنثی با Z الکترون، ناپیوستگی‌هایی در اطراف $Z = 2, 10, 18, 36, 54, 86$ یعنی برای گازهای نجیب، دیده می‌شود. این ناپیوستگی‌ها با پوسته‌های پر الکترونی همراه شده است. پدیده‌ای مشابه در فیزیک هسته‌ای رخ می‌دهد وجود بسیاری از نتایج تجربی نشان می‌دهد که هسته‌های اتمی دارای ساختار پوسته‌ای هستند و اینکه آن‌ها می‌توانند مانند اتم‌ها با پر کردن پوسته‌های پی‌درپی از چاه پتانسیل موثر ایجاد شوند و این آرایش به گونه‌ای است که اصل طرد پائولی در آن رعایت می‌شود. قیاس بین هسته و اتم نشان می‌دهد که در مقابل انرژی یونش اتم، هسته دارای انرژی‌های تفکیک S_n و S_p (انرژی لازم برای جدا کردن یک نوترون یا پروتون از هسته) می‌باشد.

$$\begin{aligned} S_n &= B(Z, N) - B(Z, N - 1), \\ S_p &= B(Z, N) - B(Z - 1, N), \end{aligned} \quad (2-1)$$

این دو کمیت به‌ازای مقادیر خاصی از N یا Z دارای ناپیوستگی‌هایی هستند که اعداد جادوئی نامیده می‌شوند که عبارتند از ۲، ۸، ۲۰، ۲۸، ۵۰، ۸۲ و ۱۲۶. ناپیوستگی در انرژی‌های تفکیک ناشی از فزونی انرژی بستگی برای هسته‌های جادوئی است. در شکل ۱-۱ این اختلاف انرژی بستگی تجربی و انرژی بستگی پیش‌بینی شده از فرمول نیمه تجربی جرم بر حسب Z و N رسم شده است و مشاهده می‌شود که تغییرات انرژی بستگی در مقابل ۱۲۶، ۸۲، ۵۰، ۲۸، ۲۰، ۸، ۲، $N = Z = ۲$ افزایش می‌یابد و بیشترین مقادیر به‌ازای هسته‌های جادوئی مضاعف است یعنی هسته‌هایی که Z و N آن‌ها، هر دو یکی از اعداد جادوئی باشند.



شکل ۱-۱۰- اختلاف انرژی بین مقدار اندازه‌گیری شده B/A و مقدار محاسبه شده با فرمول نیمه تجربی جرم برحسب تعداد پروتون‌ها Z (شکل الف) و تعداد نوترون‌ها N (شکل ب). نقطه‌های پر برای هسته‌هایی هستند که از نظر واپاش β پایدارند [۲].

به طوریکه اگر تعداد پروتون‌ها یا نوترون‌ها یکی از اعداد جادویی ۲، ۸، ۲۰، ۲۸، ۵۰، ۸۲ و ۱۲۶ باشد، هسته تبدیل به یک سیستم پایدار می‌شود که

- انرژی بستگی هسته در این حالت زیاد است.
- انرژی زیادی برای جدا کردن نوکلئون منفرد از هسته موردنیاز است.
- اختلاف انرژی زیادی بین حالت پایه و پایین‌ترین حالت برانگیخته وجود دارد.

تفاوت اساسی بین مدل لایه‌ای هسته‌ای و فیزیک اتمی این است که در فیزیک هسته‌ای برخلاف فیزیک اتمی منبع خارجی که پتانسیل هسته را تامین کند وجود ندارد و نوکلئون‌ها در هسته تحت تاثیر پتانسیلی هستند که منحصرًا حاصل برهمکنش نوکلئون-نوکلئون است. مدل لایه‌ای در حالت غیرنسبیتی بر اساس معادله شرودینگر برای سطوح ذره‌ی مستقل استوار است [۳]

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 + V(r)\right)\psi_i(r) = \varepsilon_i\psi_i(r), \quad (3-1)$$

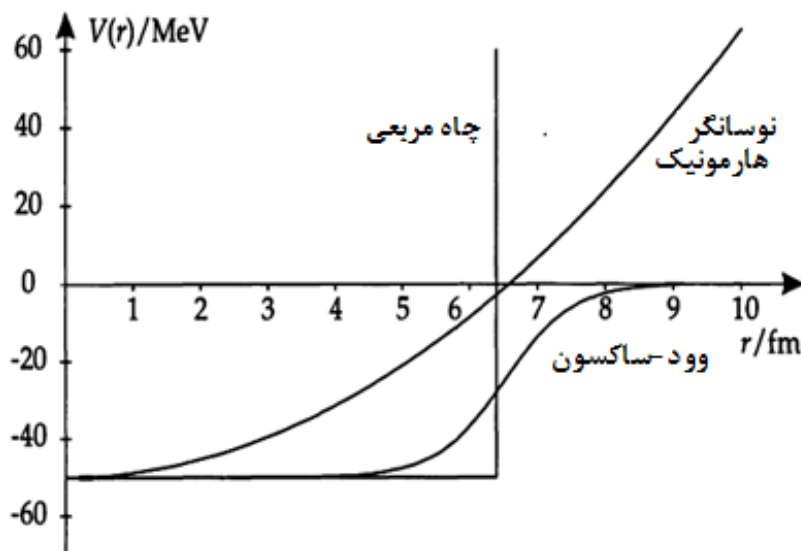
مدل لایه‌ای به صورت موفق‌ی خصوصیات حالت پایه و حالت‌های برانگیخته‌ی بسیاری از هسته‌ها را توصیف می‌کند.

۱-۲- پتانسیل اسپین-مدار

برای ارائه مدل لایه‌ای در ابتدا باید پتانسیل هسته‌ای مناسبی انتخاب شود. در ابتدا دو نوع پتانسیل چاه مربعی و نوسانگر هماهنگ در نظر گرفته شد ولی در ترازهای انرژی حاصل از این پتانسیل‌ها تنها ۳ عدد جادویی اول یعنی ۲، ۸ و ۲۰ ظاهر شد و در ترازهای انرژی بالاتر هیچ‌گونه ارتباطی با اعداد جادویی تجربی دیده نمی‌شد. این پتانسیل‌ها، پتانسیل هسته‌ای مناسبی نیستند زیرا با توزیع چگالی هسته‌ای همخوانی ندارند. از آنجاییکه پتانسیل هر نوکلئون در هسته ناشی از برهمکنش‌هایی است که این نوکلئون با نوکلئون‌های دیگر هسته دارد در این صورت شکل فضایی انرژی پتانسیل مشابه توزیع ماده‌ی هسته‌ای است، این توزیع در بخش درونی هسته مقدار تقریباً ثابتی دارد و در سطح، در فاصله‌ای تقریباً برابر با برد نیروی هسته‌ای و در حدود شعاع میانگین، کاهش می‌یابد و به سمت صفر می‌رود. لبه‌ی تیز چاه پتانسیل باعث می‌شود که پتانسیل به سرعت به سمت صفر برود و در مورد نوسانگر هماهنگ روند کاهش بیش از حد کند صورت می‌گیرد و ذره خیلی زود آزاد و انرژی جنبشی آن بینهایت می‌شود. اما انرژی پتانسیل هسته‌ای نوکلئون درون هسته را به شکل رابطه (۴-۱) نشان می‌دهند.

$$V(r) = \frac{-V_0}{1 + \exp[(r-R)/a]}, \quad (4-1)$$

و این شکل ایده آل پتانسیل را پتانسیل وود-ساکسون می نامند. پتانسیل های معرفی شده برای مدل لایه ای در شکل ۱-۲ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۲- نمایش پتانسیل های معرفی شده برای بررسی مدل لایه ای، پتانسیل های نوسانگر هارمونیک، چاه مربعی و وود-ساکسون [۳]

اگرچه پتانسیل وود-ساکسون از فرم توزیع چگالی هسته ای تبعیت می کند اما بازهم در توجیه کامل اعداد جادویی ناموفق است. تا اینکه مایر و جنسن در سال ۱۹۴۹ یک جمله تصحیحی تحت عنوان پتانسیل اسپین-مدار که تابعی از $l.s$ است، به پتانسیل وود-ساکسون اضافه کردند و موفق به اصلاح مدل لایه ای شده و فاصله مناسبی بین زیرپوسته ها به دست آوردند [۴].

پتانسیل اسپین-مدار (SO) به شکل $V_{so}(r)l.s$ در نظر گرفته می شود، که در آن l و s به ترتیب تکانه های زاویه ای مداری و اسپینی نوکلئون در حال حرکت در چاه هسته ای هستند. جمله اسپین-مدار اگر l و s موازی باشند، انرژی بستگی را افزایش می دهد و در صورت پادموازی بودن آنها انرژی بستگی را کاهش می دهد و این باعث می شود برای مقادیر مختلف تکانه ای زاویه ای کل $j = l + s$ انرژی های متفاوتی داشته باشیم. برای نوکلئونی با عددهای کوانتومی تکانه ای زاویه ای l و j داریم

$$\langle l.s \rangle = \frac{1}{2} [j(j+1) - l(l+1) - s(s+1)] \hbar^2, \quad (5-1)$$