٤٠٧٧٥

دانشکده فیزیک
گروه فیزیک هسته‌ای

پایان نامه:
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک
گرایش هسته‌ای

عنوان:

محاسبه پتانسیل اپتیکی پراکندگی کشسان هستک–هسته با توجه به نظریه بروکنر

استاد راهنما:
دکتر رضا صفری

۱۳۸۳/۸/۱۴

استاد مشاور:
دکتر محمد علی جعفریزاده– دکترصالح اشرفی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تحویل مرکز

پژوهشگر:
احمد حشمتی سیس

شهریور ۱۳۸۳

۶۰۷۷۵

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

نام خانوادگی دانشجو: حشمتی سیس **نام:** احمد

عنوان پایان نامه: محاسبه پتانسیل اپتیکی پراکندگی کشسان هستک-هسته با توجه به نظریهٔ بروکنر

استاد راهنما: دکتر رضا صفری **اساتید مشاور:** دکتر محمدعلی جعفریزاده-دکتر صالح اشرفی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** فیزیک **گرایش:** هسته‌ای **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: فیزیک **تاریخ فارغ التحصیلی:**شهریور ۸۳ **تعداد صفحه:** ٦٧

کلید واژه‌ها:پراکندگی ، کشسان ،غیرکشسان، پتانسیل اپتیکی ، پروتون و هسته

چکیده:

در این پایان‌نامه با استفاده از کانال پراکندگی کشسان، یک مدل فیزیکی موسوم به مدل اپتیکی را برای توجیه پراکندگی پروتون از یک هسته ارائه می‌کنیم. با بکار بردن نظریه بروکنر از مرتبه اول یک پتانسیل اپتیکی را برای پراکندگی کشسان پروتون از هسته ^{40}Ca در انرژی۲۰۰Mev به دست می‌آوریم. برای محاسبه این پتانسیل نخست اندرکنش مؤثر بین هستک ها را به دست می آوریم که در واقع منجر به محاسبه t-ماتریس‌های اندرکنش مذکور شده و سپس پتانسیل اپتیکی پروتون-هسته را از طریق تا کردن این ماتریس‌ها در چگالی حالت زمینه محاسبه خواهیم کرد. سطح مقطع دیفرانسیلی پراکندگی کشسان پروتون از ^{40}Ca را روشهای تقریب مرتبه اول بورن و روش آنالیز امواج جزئی در انرژی ۲۰۰Mev محاسبه کرده و نتایج حاصله را با یکدیگر و آنها را با داده‌های تجربی مقایسه می کنیم وبحث های مربوطه را ارائه می کنیم.

به پیروی از کلام علی (ع) ، با سپاس از تمامی بزرگانی که به من بیش از کلام آموختند :

استاد فرزانه و ارجمندم جناب آقای دکتر رضا صفری که الفبای تحقیق و پژوهش را به ما آموختند و با رفتار و کردار نیک خودشان حسن خلق و آداب معاشرت را به ما یاد دادند .

- اساتید گرامیم جناب آقای دکتر محمدعلی جعفری زاده و دکتر صالح اشرفی ، که امر مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشته‌اند و گام به گام مرا در امر تحصیل هدایت فرموده اند .
- استاد گرامیم جناب آقای دکتر متولی که امر داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند و گام به گام مرا در در امر تحصیل هدایت فرموده اند .
- ریاست محترم دانشکده جناب آقای دکتر جسور و مدیر محترم گروه جناب آقای دکتر صالح پور و کلیه اساتید دانشکده فیزیک که همواره در طول این پروژه مرا یاری نموده اند .
- از مسئول محترم سایت کامپیوتری آقای اسعدی و کارکنان محترم کتابخانه دانشکده فیزیک و مسئولین محترم آموزش آقایان مهندس هاشم زاده و مهندس حمیدی کمال تشکر و قدردانی را دارم .
- از برادران و خواهران عزیزم کمال تشکر و قدردانی را دارم .
- از دوستان عزیزم آقایان توابی ، فرید یوسفی ، بروستانی ، فارغ بال ، هادیان ، شهریاری ، روئین ، آقاعلیپور ، عبادی ، اکبری ، محمدی ، احدی ، شجاعی ، جهانبخش ، ملک جانی ، مهاجری ، قربان پور ، مجاوری و تمامی هم ورودیهای عزیزم تقدیر و تشکر می کنم .

فهرست مطالب

عنوان صفحه

مقدمه..... ۱

فصل اول: بررسی منابع

۱-۱ محاسبه پتانسیل مدل اپتیکی..... ٤

۱-۲ معادله شرودینگر برای پتانسیل اپتیکی..... ۹

فصل دوم: مواد و روشها

۲-۱ انواع پتانسیل‌های اندرکنش هستک-هستک ۱۳

۲-۲ مدل اندرکنشی $V14$ هستک-هستک..... ۱۷

۲-۳ محاسبهt-ماتریس‌ها با توجه به پتانسیل $V14$ ۲۱

۲-۳-۱ بخش مرکزی اندرکنش مؤثر هستک-هستک ۲۱

۲-۳-۲ بخش اسپین-مدار اندرکنش مؤثر هستک-هستک..... ۲٤

۲-٤ پتانسیل پروتون-هسته..... ۲۷

۲-٤-۱ بخش مرکزی پتانسیل اپتیکی پروتون-هسته..... ۲۷

۲-٤-۲ بخش اسپین-مدار پتانسیل اپتیکی پروتون-هسته..... ۳٦

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱ پیشینه ٤۳

۳-۲ معادله لیپمن-شوئینگر..... ٤٤

۳-۳ بسط دامنهٔ پراکندگی بر حسب امواج جزئی ۵۱

۳-٤ محاسبات عددی..... ۵۷

۳-۵ بحث و نتایج..... ٦۲

پیشنهادات ٦٤

فهرست منابع..... ٦۵

چکیده انگلیسی ٦۷

مقدمه

در فیزیک هسته‌ای، برخلاف فیزیک اتمی و فیزیک ماده چگال، ماهیت نیروهای هسته‌ای و بستگی آنها به عوامل مختلف هنوز مساله حل نشده می‌باشد. بحث و کنکاش پیرامون آنها و اینکه این نیروها چه ماهیتی دارند و دارای چه وجوهی هستند همچنان ادامه دارد.

در محدوده فیزیک اتمی ماهیت برهمکنش ها کاملا مشخص است و نیروهای الکترومغناطیسی حاکم مطلق این حوزه هستند. بنابراین نتایج بسیار شگرفی ازاین آگاهی به دست می‌آید و پیشرفتهای بسیار بزرگ و فوق‌العاده‌ای دراین زمینه حاصل می‌شود. ولی در فیزیک هسته‌ای و فراهسته‌ای وضع کاملاً متفاوت است زیرا که اطلاعات کافی و منسجم از برهمکنش‌های هسته‌ای در اختیار نیست. گاهی وضع چنان است که به غیر از تقارنهای مشاهده شده ابزار و روش دیگری برای مطالعه در اختیار نداریم.

دو روش اساسی برای مطالعه نیروهای هسته‌ای وجوددارد، یکی مطالعه حالت مقید دوترون و دیگری مطالعه پراکندگی هستک-هستک. از خواص دوترون مطالب زیادی راجع به پتانسیل هسته‌ای می‌توان آموخت. برد و عمق آن را می‌توان تخمین زد و مشاهده می‌شود که پتانسیل هسته‌ای دارای مؤلفه غیرمرکزی بوده وبستگی به اسپین دارد. ولی مؤثرترین روش برای بررسی نیروهای هسته‌ای، پراکندگی هستک-هستک است.

پتانسیلی که به کار می‌بریم دومؤلفه حقیقی وموهومی دارد، که قسمت موهومی مسؤل ایجاد کانالهای غیرکشسان است. تابع موج ذره فرودی معمولاً به یک بهنجار می‌شود. در صورت وجود کانالهای غیرکشسان تابع موج پراکنده شده دیگر به یک بهنجار نخواهدبود. بنابراین یک احتمال معینی را برای باز شدن کانالهای دیگر که جمعاً کانال غیرکشسان نامیده می‌شود، درنظر می‌گیریم. این کانالهای غیرکشسان ممکن است برانگیختگی در ساختار هسته هدف ویا ذرهٔ فرودی باشد. چنین کانالهایی ممکن است شامل تبادل بار بین ذره فرودی و هسته هدف باشد.

با بکار بردن پایین‌ترین مرتبه نظریه بروکنر[1] پتانسیل اپتیکی هستک-هسته را برای پراکندگی کشسان $p-^{4}Ca$ در انرژی ۲۰۰ Mev با استفاده از پتانسیل بین هستکی $V14$ بدست می‌آوریم [۱]. هدف محاسبه وابستگی شعاعی پتانسیل اپتیکی هستک-هسته برای پراکندگی کشسان با استفاده از اندرکنش‌های بین هستکی است[۲]. در تقریب مرتبه اول بروکنراندرکنش بین هستکی واقعی وچگالی حالت زمینه هسته هدف به عنوان داده‌های اساسی هستند. در این تقریب پتانسیل اپتیکی هستک-هسته بطور عمده در دو مرحله به دست می‌آید. مرحله اول، محاسبه اندرکنش مؤثر بین هستک‌ها (t-ماتریس‌ها[2]) در چارچوب نظریه بروکنر با استفاده از اندرکنش واقعی دوهستک است.t-ماتریس‌ها توابع مختلطی از انرژی ذره فرودی، چگالی و فاصله جدایی هستک‌ها است. در مرحله دوم پتانسیل اپتیکی پروتون-هسته را از طریق تا کردن این ماتریسها درچگالی حالت زمینه محاسبه خواهیم‌کرد[۱].

---

[1] Braeckner theory
[2] t-matrice

هدف این پایان‌نامه محاسبه پتانسیل اپتیکی برای پراکندگی کشسان پروتون از هسته ^{40}Ca می‌باشد. در فصل اول مدل اپتیکی را توضیح می‌دهیم و فصل دوم را به نحوه محاسبه مؤلفه‌های مرکزی و اسپین-مدار پتانسیل اپتیکی اختصاص می‌دهیم ودر فصل سوم سطح مقطع دیفرانسیلی را برای این پراکندگی با روشهای تقریب مرتبه اول بورن و روش انتقال فاز محاسبه می‌کنیم. ضمناً نتایج حاصله را با یکدیگر و با نتایج تجربی مقایسه می‌کنیم.

فصل اول

بررسی منابع

۱-۱) محاسبه پتانسیل مدل اپتیکی

پراکندگی ذرات از هسته‌ها با مسئله معروف پراش نور توسط قرص کدر در اپتیک تشابه زیادی دارد. هسته یک مرکز جذب قوی برای هستک‌ها می‌باشد و بنابراین مقایسه آن با قرص را باید کاملاً معتبر دانست. برای ذرات باردار لازم است تداخل بین پراکندگی هسته‌ای و کولنی را مورد نظر قرار دهیم. مدل ساده‌ای که بطورکلی برای توضیح پراکندگی کشسان در حضور اثرات جذبی هسته به کارمی‌رود، مدل اپتیکی است.

برای محاسبه پتانسیل اپتیکی پراکندگی یک ذره از هسته نخست پراکندگی یک هستک فرودی آزاد توسط یک هسته با عدد جرمی A را مطرح می‌کنیم[۳] . اگر r_0 بردار مکان ذره فرودی و r_i نشان دهنده موقعیت هستک‌های هسته هدف باشد. معادله شرودینگر برای این اندرکنش بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$H(r_0;r_1,r_2,...,r_A)\psi(r_0;r_1,r_2,...,r_A)=E\psi(r_0;r_1,r_2,...,r_A) \qquad (۱-۱)$$

برای سادگی درجات آزادی اسپین و سایر درجات آزادی داخلی مربوط به هسته هدف و ذره فرودی را در نظر نمی‌گیریم. درحالت کلی ارائه حل تحلیلی دقیق برای مساله چند ذره‌ای (۱-۱) غیرممکن است. لذا اعمال روشهای تقریبی الزامی می‌باشد، البته سازگاری نتایج محاسبه

شده حاصل از روش‌های تقریبی و نتایج تجربی کارایی روش تقریب اعمال شده را توجیه خواهدکرد. ابتدا پادمتقارن سازی تابع موج ذره فرودی و هستک‌های هسته هدف را نادیده می گیریم. هامیلتونی کلی برای سیستمی که شامل ذره فرودی و هسته هدف می باشد، ممکن است به سه بخش جداسازی شود.

$$H(r_0;r_1,r_2,...,r_A)=T_0+\sum_{i=1}^{A}V(r_{0i})+H_A(r_0;r_1,r_2,...,r_A) \qquad (۲-۱)$$

که $r_{0i}=r_0-r_i$ برای $i\neq 0$ مختصهٔ نسبی بین ذره فرودی و هستک i ام هستهٔ هدف می‌باشد. عملگر T_0 توصیف کننده انرژی جنبشی ذره فرودی و $H_A(r_0;r_1,r_2,...,r_A)$ هامیلتونی مربوط به ساختار داخلی هسته هدف و معرف برهم کنش داخلی بین هستک‌های هسته می‌باشد. برهم کنش بین هستک‌های هسته و ذره فرودی با پتانسیل $V(r_{0i})$ توصیف می شود. فرض ما براین است که مسأله ویژه مقداری برای هسته هدف قبلاً حل شده است و مجموعه کامل جوابها، (ویژه توابع) $\{\phi_i\}$، برای معادله شرودینگر

$$H_A(r_0;r_1,r_2,...,r_A)\phi_i(r_1,r_2,...,r_A)=\varepsilon_i\phi_i(r_1,r_2,...,r_A) \qquad (۳-۱)$$

معلوم تصور می‌شود.بعلاوه، در نظر داریم که ϕ_i ها دراین معادله که یک بهنجار بوده ویکی از اعضای مجموعهٔ کامل ویژه توابع H_A می‌باشد.جواب عمومی معادله شرودینگر(۱-۲) بصورت ترکیب خطی از حاصلضربهای $\phi_i(r_1,r_2,...,r_A)\chi_i(r_0)$ می‌نویسیم:

$$\psi(r_0;r_1,r_2,...,r_A)=\sum_{ij}\chi_i(r_0)\phi_j(r_1,r_2,...,r_A) \qquad (۴-۱)$$

که $\chi_i(r_0)$ تابع موج ذره فرودی است. با توجه به اینکه ما پراکندگی کشسان هستک از هسته را مورد بحث قرارخواهیم داد، لذا بخش $\chi_0\phi_0$ از ψ موردعلاقه می‌باشد. لذا ذره فرودی و هسته هدف را در پایین‌ترین سطح انرژی خود در نظرمی‌گیریم. اگر ϕ_0 ازقبل معلوم باشد در نهایت باید χ_0 محاسبه گردد. برای این منظور نخست با استفاده از عملگرهای تصویر معادله‌ای برای $\langle\chi_0|$ به‌دست می‌آوریم. اگر این عملگر P تصویر نامیده شود، آن را بصورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$P=|\phi_0\rangle\langle\phi_0|. \qquad (۵-۱)$$

که نقش آن عبارت است از

$$P\psi=|\chi_0\rangle\otimes\langle\phi_0| \qquad (۶-۱)$$

با تعریف عملگر Q بصورت

$$Q=۱-P \qquad (۷-۱)$$

که ψ را به غیر از حالت پایه هسته هدف تصویر می کند، به راحتی می‌توان ثابت کرد:

$$P^2|\psi\rangle=P|\psi\rangle \qquad (۸-۱)$$

$$Q^2|\psi\rangle=Q|\psi\rangle \qquad (۹-۱)$$

$$PQ|\psi\rangle=QP|\psi\rangle=0 \quad \text{یا} \quad [P,Q]=0 \qquad (۱۰-۱)$$

یعنی اینکه P و Q عملگرهای تصویر متفاوتی در فضای هیلبرت مربوطه هستند. چون $P+Q=۱$ است. معادله شرودینگر (۱-۱) می‌تواند با استفاده از آنها بصورت زیر نوشت:

$$(E-H)(P+Q)|\psi\rangle=0 \qquad (۱-۱۱)$$

با ضرب P از طرف چپ در رابطه فوق و استفاده از روابط (۱-۸)، (۱-۹) و(۱-۱۰) خواهیم داشت:

$$P(E-H)P|\psi\rangle=-P(E-H)Q|\psi\rangle \qquad (۱-۱۲)$$

یا

$$(E-PHP)|\psi\rangle=(PHQ)Q|\psi\rangle \qquad (۱-۱۳)$$

همین‌طور از ضرب Q از سمت چپ درمعادله (۱-۱۱) خواهیم داشت:

$$(E-QHQ)Q|\psi\rangle=(QHP)P|\psi\rangle \qquad (۱-۱٤)$$

این رابطه را برای $Q|\psi\rangle$ می‌نویسیم.

$$Q|\psi\rangle=\frac{1}{E-QHQ}QHP|\psi\rangle \qquad (۱-۱۵)$$

با جایگذاری $Q|\psi\rangle$ درطرف راست معادله(۱-۱۳) منجر به عبارت زیر برای $P|\psi\rangle$ می‌شود:

$$\left\{E-PHP-PHQ\frac{1}{E-QHQ}QHP\right\}P|\psi\rangle=0 \qquad (۱-۱٦)$$

پس از ضرب طرف چپ این عبارت در $|\phi_0\rangle$ وانتگرال‌گیری روی مختصات هسته‌های هسته هدف و استفاده از معادله(۱-۵) نتیجه می‌شودکه:

$$\left\{E-\langle\phi_0|H|\phi_0\rangle-\langle\phi_0|HQ\frac{1}{E-QHQ}QH|\phi_0\rangle\right\}|\chi_0\rangle=0 \qquad (۱-۱۷)$$