

مدل نوری هسته های اتمی

۱۴۵۷۵۳۸

ایوان اولهلا

لادیسلاو گوموچاک

زدنیک پلو هاش

ترجمه: پروانه نظرزاده

سرشناسه: اولیلا، ایوان

عنوان و نام پدیدآور: مدل نوری هسته های اتمی/ایوان اولیلا، لادیسلاو گوموچاک، زدینیک پلوهاش؛ مترجم پروانه نظرزاده

مشخصات نشر: تفرش - دانشگاه تفرش- ۱۳۹۵

مشخصات ظاهری: ۱۹۳ ص

وضعیت فهرست نویسی: فیا

یادداشت: عنوان اصلی "Optical Model of the Atomic Nucleus"

موضوع: Nuclear optical models

شناسه افزوده: گوموچاک، لادیسلاو

شناسه افزوده: پلوهاش، زدینیک

شناسه افزوده: لارزاده، پروانه، ۱۳۴۴- مترجم

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۶۲۴۴-۸۵-۶

رده بندی مکرر: ۱۳۹۵ م ۴۹ الف/ QC۱۷۳

رده بندی دیویی: ۵۳۹/۷۲

شماره کتاب شناسی ملی: ۴۴۰۴۰۸



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

شناسنامه کتاب:

نام کتاب: مدل نوری هسته های اتمی

نام مترجم: پروانه نظرزاده

چاپ: چاپ روز

سال نشر: ۱۳۹۵

نوبت چاپ: اول

تیراژ: ۵۰۰

قیمت: ۲۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۶۲۴۴-۸۵-۶

انتشارات دانشگاه تفرش: Email: nashr@tafreshu.ac.ir

فیزیک هسته ای یکی از قدیمی ترین حوزه های علم فیزیک است که دستاورد های آن، تاثیرات زیادی بر زندگی انسان داشته است. استفاده از نیروگاه های هسته ای برای تولید برق، کار برد رادیو داروها در درمان انواع سرطان ها و بیماری ها، استفاده از پرتوهای گاما در کشاورزی و پزشکی و... و منفور ترین کاربرد آن یعنی بمب هسته ای، از جمله کاربردهای این حوزه در زندگی جامعه ی انسانی است که حاصل واکنش های هسته ای می باشند.

کتاب مدل نوری هسته ها، به بررسی واکنش های هسته ای می پردازد. در این کتاب ابتدا، پراکندگی کشسان، غیر کشسان و در ادامه واکنش های هسته ای مورد بررسی قرار می گیرند. این کتاب با بررسی واکنش های هسته ای در محدوده ی انرژی های، کم، متوسط و زیاد، به بررسی مدل نوری و کار برد آن می پردازد. در بخش پایانی کتاب، نظریه ی مدل نوری ارائه و توضیح داده می شود.

از آنجایی که مدل نوری مدل مفهومی در توضیح واکنش های هسته ای است، کتاب مدل نوری (اپتیکی) هسته های اتمی، برای کسانی که به بررسی واکنش های هسته ای علاقمند هستند و همچنین دانشجویان دوره های تکمیلی دانشگاه ها که در این دوره مشغول تحصیل می باشند، می تواند راهگشا و آموزنده باشد و همچنین به عنوان کتاب درسی در بررسی بخشی از واکنش های هسته ای، می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

امید است ترجمه ی این کتاب کمکی هرچند کوچک، در جهت بالا بردن سطح دانش هسته ای دانشجویان و علاقمندان به این علم، باشد.

پیشگفتار

کشف واکنش های زنجیره های باعث رشد و توسعه ی زمینه ی جدیدی در فیزیک شد و از آن زمان، این شاخه ی علمی، یعنی فیزیک هسته ای، به سرعت پیشرفت کرده است. در این حوزه، توجه و علاقه ی زیادی به مطالعه ی خصوصیات هسته های اتمی و اجزاء آن و همچنین احتمال استفاده از اطلاعات و دانش بدست آمده، وجود دارد.

وظیفه و هدف فیزیک هسته ای، پیدا کردن قوانین کلی که بر ساختار هسته های اتمی و رفتار آنها حاکم هستند، میباشد. در حال حاضر، فیزیک هسته ای تنها بعضی از خصوصیات هسته های اتمی را با استفاده از مدل های مختلف و در سطحی که آرد کاملاً متفاوت، توضیح می دهد.

این کتاب به مدل نورن می پردازد. این مدل، می تواند فرآیند های واکنش های هسته ای را با موفقیت توضیح داده و نتایج ارزشمندی را در مورد این پدیده ها، موجب شود. ساختار مدل نورن، که هسته ی اتمی را چیزی شبیه به محیطی نیمه رسانا در نظر می گیرد ابتدا از یک روش پدیده شناختی پیروی می کرد. بعدها، وقتی که این مدل نتایج خوبی ارائه کرد، پرسشی به این شکل مطرح شد که آیا می توان آنرا بصورت عمیق تری اثبات کرد؟ و پاسخ این بود که این امر امکان پذیر است.

در این کتاب، کوشش زیادی کردیم تا این موضوع را بخوبی ارائه دهیم که مورد قبول دو گروه از فیزیکدان ها، یعنی گروهی که اندازه گیری میکنند و گروهی که تلاش میکنند نظریه ی اساسی را به نتیجه برسانند، باشد.

ما دامنه ی وسیعی از مقالات اصلی را مورد توجه و بررسی قرار داده ایم اما، تمام مباحث در فیزیک متن را با محاسبات سخت و خسته کننده، کند و مختل نکنیم. در چنین موردی به خواننده توصیه می شود به نشریات تخصصی مراجعه کند.

فهرست سرفصل ها	۵
مقدمه	۸
فصل اول: نظریه ی پراکندگی کشسان	۱۳
۱. مقدمه	۱۳
۲. مختصات های پامانه های آزمایشگاهی و مرکز جرم	۱۴
۳. تعریف سطح طع و جواب معادله ی حرکت	۱۶
۴. تقریب بنیادی در نظریه ی پراکندگی	۲۴
۵. رابطه ی بین جابجایی فاز و پتانسیل برهمکنش	۲۷
۶. برخورد ذرات مشابه	۳۰
۷. پراکندگی کشسان ذرات قطبیده	۳۳
۸. مسائل کلی قطبش	۴۲
فصل دوم: پراکندگی غیر کشسان و واکنش هسته ای حقیقی	۵۳
۹. مقدمه	۵۳
۱۰. واکنش های هسته ای ذرات بدون اسپین	۵۶
۱۱. رابطه های برایت و ویگنر	۶۲
۱۲. واکنش های هسته ای ذرات با اسپین	۶۵
۱۳. نظریه ی ماتریس R	۷۱
فصل سوم: مدل نوری هسته ای اتمی در بازه ی انرژی های کم	۸۰

۸۰	۱۴. مقدمه
۸۸	۱۵. رابطه ی بین مدل نوری با آزمایش
۹۳	۱۶. نظریه ی بنیادی برهمکنش نوترون با هسته ای با اسپین صفر
۱۰۲	۱۷. مقایسه ی نظریه ی بنیادی با آزمایش
۱۰۴	۱۸. روش های تقریبی جواب ها
۱۲۳	فصل چهارم: مدل نوری هسته ی اتمی در بازه ی انرژی های متوسط
۱۲۳	۱۹. مقدمه
۱۲۶	۲۰. پتانسیل اسپین مدل
۱۳۰	۲۱. پدیده ی قطبش
۱۳۲	۲۲. مقایسه با آزمایش
۱۴۶	فصل پنجم: مدل نوری هسته ای در بازه ی انرژی های بالا
۱۴۶	۲۳. مقدمه
۱۴۹	۲۴. پراکندگی پراش ذرات باردار
۱۵۱	۲۵. نظریه ی بنیادی مدل نوری در انرژی های بالا
۱۵۵	۲۶. ضریب شکست مختلط
۱۶۰	۲۷. مقایسه ی نظریه ی یک هسته ی نیمه شفاف با آزمایش ها
۱۶۶	فصل ششم: نظریه ی مدل نوری
۱۶۶	۲۸. مقدمه
۱۶۶	۲۹. استنتاج معادله ی حرکت از پتانسیل نوری
۱۷۴	۳۰. تخمین پارامترهای پتانسیل نوری

پیوست ها..... ۱۷۹

I- تابع گرین..... ۱۷۹

II- شماری از رابطه های مفید برای محاسبه قطبش..... ۱۸۶

III- قطبش دوترون..... ۱۹۱

www.ketab.ir

از زمان کشف هسته ی اتمی توسط راترفورد در سال ۱۹۱۱، شاخه ی جدیدی از فیزیک به نام فیزیک هسته ای رشد کرد. این شاخه از فیزیک، دارای نقاط عطف مهم زیادی در تاریخچه ی خود می باشد. ابتدا، کشف واکنش های هسته ای بود. این واکنش ها منجر به تغییراتی در هسته های اتمی می شوند؛ و این واقعیت را ثابت می کنند که هسته ها دارای یک ساختار درونی خاص می باشند. کشف نوترون توسط چادویک متعاقباً منجر به این ایده شد (۱) که هسته های اتمی متشکل از دو نوع ذره هستند: پروتون ها و نوترون ها، که جرم لختی آنها تقریباً با هم برابر است. در حال حاضر، پروتون و نوترون رسماً به عنوان دو حالت متفاوت از ذره ای شناخته می شوند که نوکلئون نام دارد. در آخر، بررسی نیروهای هسته ای به غیر از نیروهای که منشاء الکترومغناطیسی دارند، منجر به پیش بینی وجود ذرات خاص، مزون های π ، شدند. ذرات حامل برهم کنش بین نوکلئونهای موجود در هسته ی اتمی، فرض شده (۲) و بعدها به طور واقعی یافت شدند.

در سالهای اخیر، کشف فرایندهای هسته ای خاص، برای مثال شکافت هسته های اورانیوم، که به اهمیت اجتماعی فوق العاده ای دست یافته اند و واکنش های گرما هسته ای، باعث ایجاد رشدی سریع در فیزیک هسته ای شدند.

تحقیقات هسته ای به طور جدایی ناپذیر به تلاش های زورمندانه برای تبیین خواص هسته ای بر اساس یک نظریه ی مناسب، منسجم و غیر قابل انکار، مرتبط می باشند. این تلاش جدی برای تکامل این نظریه، توسط بروکتر (۳) در سال ۱۹۵۵ و سال های بعد از آن صورت گرفته است. این نظریه تقریباً دیر شکل گرفت و در واقع تلاشی برای شکل دهی یک نظریه ی ماده ی هسته ای به جای یک نظریه ی هسته ای بود.

مشکلات خاصی که با آنها در مطالعه ی هسته ی اتمی مواجه می شویم، شرایط منحصر بفردی را ایجاد میکنند که در آن از یک طرف، نتایج تحقیقات هسته ای، کاربرد عملی دارند و از طرف دیگر هیچ نظریه ی اثبات شده ای در دست نیست.

ساختار هسته ها، به استثنای سبک ترین آنها، متشکل از ذرات زیادی است که توسط نیروهایی به هم متصل شده اند که اطلاعات و دانش زیادی درباره ی آنها نداریم. در هر شاخه از فیزیک، مسئله چند

جسمی، باعث بروز پیچیدگی در ریاضیات مسئله شده و حتی در برخی از حوزه ها سبب یافت نشدن جواب، شده است. این مسئله حتی، برای مثال، در مورد مکانیک کوانتوم نسبیتی نیز صدق می کند؛ ما معادلات حرکت برای یک سامانه متشکل از ذرات زیاد را نمی دانیم. همچنین ما نمی دانیم که آیا اثرات نسبیتی ایجاد شده توسط مقادیر بزرگ تکانه، نقش مهمی را در یک هسته ی اتمی ایفاء می کنند یا خیر. این اثرات، مانند تاثیرات در پوسته های اتمی، احتمالاً خیلی بزرگ نخواهند بود. حتی اگر محاسبه ی خود را محدود به مکانیک کوانتومی غیر نسبیتی کنیم، که برای ساختن معادله ی حرکت یک سامانه با ذرات بسیار زیاد، مناسب است، باز هم با معادلاتی روبرو می شویم که با سختی و دشواری زیاد، حل خواهند شد. در بسیاری از مسائل مکانیک کوانتومی، پاسخ دقیق معادله حرکت را نمی دانیم، ولی توانایی استفاده از روش موسوم به روش اختلال را، برای محاسبه داریم. برای مثال، ابتدا سامانه ی مورد نظر را به عنوان یک سامانه از ذرات آزاد در نظر می گیریم و سپس برهمکنش آنها را به عنوان یک اختلال کوچک برای سامانه ی آزاد می کنیم. استفاده از این روش برای این مسئله وقتی امکان پذیر است که برهمکنش مورد نظر توسط پارامترهای مشخص شود که به اندازه کافی کوچک باشند. آنگاه می توانیم جواب مورد نظر را با توجه به این پارامتر بسط دهیم و در نظر گرفتن چند جمله ی اول این بسط، کافی خواهد بود. برهمکنش الکترومغناطیسی کاملاً بدی چنین روشی مناسب است، زیرا پارامتر مشخص کننده ی آن، ثابت ساختار ریز، $\alpha = 1/137 \approx \frac{2\pi e^2}{hc} \approx \frac{1}{137} \text{ cm}^{-1}$ ، است (که در آن e بار الکترون، h ثابت پلانک و c سرعت نور در خلاء است)، بسیار کوچکتر از یک می باشد. در مورد برهمکنش هسته ای، پارامتر مشخصه، چند برابر بزرگتر است و تقریباً برابر با $2\pi e^2 / hc \sim 15$ می باشد. عبارت g در اینجا نقش "بار مزونی" را ایفاء می کند. درچنین موردی، کاربرد و استفاده از روش اختلال همراه با شک و تردید است، زیرا در اینجا به صراحت دیده می شود که یک برهمکنش قوی وجود دارد که اثر کلی آن می تواند یک اثر قابل توجه بر روی گذار از سامانه ی ذرات آزاد به یک سامانه از ذرات تحت تاثیر یکدیگر، داشته باشد.

با وجود کامپیوترهای بسیار کارآمد، عدم کارآیی روش اختلال نباید مسئله مهم و جدی ای باشد. مسئله مهمتر این واقعیت است که دانش ما از نیروهای درون هسته کافی نیست و به ما امکان یک تشریح تحلیلی را نمی دهد. همچنین انرژی پتانسیل برهمکنش برای ما نامعلوم است، و نمی دانیم که آیا نیروهای هسته ای را می توان از آن پتانسیل استخراج کرد یا خیر. از داده های آزمایشی می توانیم به

ماهیت نیروهای هسته ای و شکل پتانسیل پی ببریم. برای مثال می دانیم که نیروهای هسته ای، نیروهایی قوی با برد کوتاه هستند و به اسپین نوکلئونها بستگی دارند.

وضعیت کنونی دانش هسته ای، که شامل مقدار بزرگی از داده های آزمایشی و تجربی درباره ی ویژگی ها و رفتار هسته های اتمی است، ولی یک نظریه ی مبسوط از هسته ی اتمی به ما نمی دهد، حاکی از تلاش های صورت گرفته برای تشریح داده های جمع آوری شده در مورد هسته های اتمی یا گروه های آنها، بر اساس یک مدل مناسب است. هدف در اینجا، تبدیل مسئله ای که تقریباً غیر قابل حل است، به یک تقریب و در نتیجه، یک مسئله ی قابل حل، به طوریکه میزان خطا کمینه باشد، است.

پیشرفت مدل های هسته ای نتیجه ی دو روش بوده است. روش اول، برهمکنش هسته ای قوی را در نظر می گیرد و هسته را نیز به عنوان یک بدنه ی فشرده، محکم و مقید به یکدیگر فرض می کند. در حالیکه روش دوم، هسته را به عنوان سامانه هایی از ذرات در نظر می گیرد که به طور مستقیم مستقل از یکدیگر هستند و در یک میدان هسته ای میانگین خاص حرکت می کنند. بسیار شگفت انگیز است که این نوع مدل ها از ذرات مستقل نتایج بسیار خوبی را به ویژه در بازه ی انرژیهای پایین ارائه می دهند.

اولین مورد از این مدل ها که در تشریح ساختار هسته ای و همچنین در محاسبه ی گشتاورهای هسته ای مغناطیسی و الکتریکی سودمند بود، مدل پوسته ای است. در این مدل، در یک میدان پتانسیل واقعی میانگین ساده حرکت می کنند. با توجه به اصل طریقی، این ذرات به طور تدریجی سطوح قابل قبول را پر کرده و پوسته هایی مانند الکترون ها در اتم را شکل می دهند.

تلاش برای توضیح تعداد به تدریج فزاینده ای از پدیده ها با کمک این مدل، منجر به استفاده از پتانسیل های نسبتاً ساده، مثل چاه پتانسیل مستطیل شکل یا پتانسیلی از نوع نوسانی، تا پتانسیل هایی که حتی شامل وابستگی به اسپین نوکلئون بودند، شد. یکی از مهمترین اصلاحات صورت گرفته در این مدل "مدل هسته ای واحد یا یکپارچه" میباشد که شامل جفت شدگی قوی است. این مدل هسته را دارای پوسته ی بسته به عنوان یک کل، که می تواند حرکت های مخصوص به بدنه های فشرده را انجام دهد، و نوکلئون هایی را که در پوسته ی بسته نشده ی خارجی هستند بعنوان ذرات مستقل، در نظر میگیرد.

تلاش های صورت گرفته برای توضیح پراکندگی نوکلئونها از روی هسته ی اتمی، یا واکنش های هسته ای، با کمک مدل پوسته ای، موفقیت آمیز نبود. در مقابل، بررسی واکنش های هسته ای، طرح اولیه ی بور مبنی بر این که هسته، ذره ی فرودی را جذب کرده و همراه با آن، یک سامانه ی ناپایدار معین و یا یک هسته ی مرکب را تشکیل می دهد را، تایید میکنند. بر اساس طرح اولیه ی بور، این سامانه ی ترکیبی بعدتر، بدون توجه به نحوه ی شکل گیری خود، تجزیه می شود. با این وجود، از آنجاییکه آزمایش های صورت گرفته به طور کامل این مفهوم را تایید نکردند، فرناخ، سربر و تیلور (۴) مدلی را پیشنهاد نمودند که بر اساس آن هسته، یک جاذب کامل در نظر گرفته نمی شد. بر این اساس، هسته تا حدودی جاذب در نظر گرفته می شود. چنین مدلی از "هسته ای با شفافیت نسبی"، وابستگی سطح-مقطع های پراکندگی نوترین به هسته ها و واکنش های هسته ای در بازه ی MeV ۱۰۰ را، به طور موفقیت آمیز توضیح می دهد. مفهوم هسته به عنوان یک محیط نیمه شفاف، معادل با مدل نوری هسته ای است (۵)، که مانند مدل پوسته ای یک مدل ذرات مستقل است. با این حال در این مدل، در مقایسه با مدل پوسته ای، پتانسیل میانگین، که در مدل در آن حرکت می کند، یک کمیت مختلط می باشد. در طی دهه ی گذشته، نشان داده شد که مدل نوری، محاسبه مقادیر سطح-مقطع پراکندگی نوکلئونها، مزون های π و K و همچنین سطح-مقطع واکنش های هسته ای القایی توسط این ذرات و ذرات دیگر در بازه گسترده ی انرژی بین صفر تا تقریباً MeV ۲۰۰ را، در نتایج محاسبات، از همسویی خوبی با داده های تجربی برخوردارند.

علاوه بر این، مدل نوری تنها از تعداد کمی پارامتر استفاده می کند. در کل دو تا چهار پارامتر، که در تمامی هسته های اتمی مشترک می باشند. از این رو، این مدل ما را قادر به تعیین سطح-مقطع ها، حتی برای هسته هایی که هنوز مقادیر سطح-مقطع شناخته نشده اند، می کند.

به نظر می رسد که این موفقیت مدل نوری یک موفقیت تصادفی نیست. می توان نشان داد که مدل نوری هسته ی اتمی را می توان به طور کاملاً طبیعی به عنوان یکی از جواب های تقریبی نظریه ی بسیار کلی پراکندگی ذره از روی یک سامانه با ذرات بسیار زیاد، که توسط واتسون (۶) تکمیل شده است، استخراج کرد.

این کتاب تنها به مدل نوری اختصاص داده شده است و به بررسی کاربرد و استفاده از مدل نوری خصوصاً در بازه ی انرژی های کم تا MeV ۱۰، در بازه انرژی های متوسط بین MeV ۱۰۰-۱ و در بازه انرژی

های بالا یعنی بالای 100 MeV می پردازد. انتظار می رود که خواننده پایه و اساس مکانیک کوانتومی را بداند. دو فصل اول به بررسی نظریه ی پراکندگی کشسان و واکنش های هسته ای، با توجه به مطالب مهم فصل های بعدی، می پردازد. در صورتی که خواننده علاقه مند به مطالعه ی جامع و کامل نظریه ی پراکندگی کشسان و واکنش های هسته ای باشد، توصیه می شود که به کارها و تحقیقات جامع تر در خصوص این فرآیندها مراجعه کند (۷). فصل آخر مرتبط با انگیزه ی نظری مدل نوری است که بدلیل دشواری آن، در آخر این کتاب قرار داده شده است و در ضمن برای یک درک عینی از اهمیت مدل نوری ضروری نمی باشد.

در سراسر این کار، از سامانه واحدهای طبیعی استفاده می کنیم و $h/2\pi = 1$ و $C = 1$ را در نظر می گیریم، زیرا در این واحدها جرم، ضربه و انرژی دارای ابعاد مشابهی می باشند: cm^{-1} ، تکانه ی زاویه ای بدون بعد است، و با یک الکترون دارای مقدار $\sqrt{\frac{1}{137}}$ می باشد. متعاقباً، انرژی 1 MeV دارای مقداری معادل $1.07 \times 10^{11} \text{ cm}^{-1}$

منابع

۱۲

- (۱) D. D. Ivanenko (۱۹۳۲), *Nature* ۱۲۹, ۷۹۸. W. Heisenberg (۱۹۳۲), *Zs. f. Phys.* ۷۷, ۱.
- (۲) H. Yukawa (۱۹۳۵), *Proc. Phys. Mat. Soc. Japan.* ۱۲, ۴۸.
- (۳) K. A. Brueckner and C. A. Levinson (۱۹۵۵), *Phys. Rev.* ۹۷, ۱۳۴۴. K. A. Brueckner (۱۹۵۷), *Phys. Rev.* ۱۰۰, ۳۶.
- (۴) S. Feshbach, R. Serber and T. Taylor (۱۹۴۹), *Phys. Rev.* ۷۵, ۱۳۵۲.
- (۵) S. Feshbach, C. Porter and V. F. Weisskopf (۱۹۵۴), *Phys. Rev.* ۹۶, ۴۴۸.
- (۶) K. M. Watson (۱۹۵۳), *Phys. Rev.* ۸۹, ۵۷۵.
- (۷) V. V. Maljarov (۱۹۵۹), *Osnovy teorii atomnogo jadrd*, Fizmatgiz, Moskova. A. S. Davydov (۱۹۵۸), *Teorija atomnogo jadra*, Fizmatgiz, Moskova.