بسم الله الرحمن الرحيم

٤٢٧١

٢٧٤٥٧

مرکز اطلاعات علمی ایران
تحت پوشش مرکز

۱۳۷۸ /۸/ ۳۰

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده علوم پایه

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

فیزیک

بررسی گاز الکترونی یک بعدی با استفاده از نظریه دوبروی -بوهم

14281

مژگان نجفی

استاد راهنما:

دکتر علی شجاعی باغینی

بهار ۱۳۷۸

۲۷۴۵۷

تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعـضـای هیـئـت داوران نـسخـهٔ نـهایی پایان نامه خـانم / آقای مژگان نجفی

تحت عنوان: **بررسی گاز الکترونی یک بعدی با استفاده از نظریه دووبروی پوهم**

را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبهٔ علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	آقای دکتر شجاعی	استادیار	
۲- استاد ناظر	سرکارخانم دکتر فاطمه شجاعی	استادیار	
۳- استاد ناظر	آقای دکتر ناصر شاه طهماسبی	دانشیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر امیرحسین عباسی	استادیار	

شماره: .....
تاریخ: .....
پیوست: .....

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به مرکز نشر دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ مربیت است که در سال ۱۳۷۸ در دانشکدهٔ علوم پایه دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی جناب آقای دکتر علی‌ای بامنی و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ـــــ از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های نشریات دانشگاه تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به مرکز نشر دانشگاه اهدا کند دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب نرگس کهن دانشجوی رشته مربیت مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

تقدیم به محضر حضرت حجت

تشکر وقدردانی:

نگارنده وظیفه خود می داند که مراتب قدردانی خود را از افراد زیر که هر یک به نحوی در آماده سازی و تدوین این پایان نامه سهمی داشته اند،اظهار دارد.این تشکر وقدردانی همچنین نثار کسانی خواهد بود که نگارنده این سطور به هر علت نام آنها را به خاطرنسپرده است. توفیق تمام این عزیزان را در انجام خدمات علمی و فرهنگی از خداوند بزرگ خواستارم.

-به مصداق ((من علمنی حرفاً فقد صیرنی عبداً)) بر خود فرض می دانم از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر علی شجاعی باغینی که راهنمایی این پایان نامه را بعهده داشتند و تا آخرین مراحل پژوهش دستم را گرفته و با حوصله ودقت هدایتگر این تحقیق بودندکمال تشکر رابنمایم.

-جناب آقای دکتر ناصر شاه طهماسبی، جناب آقای دکتر امیر حسین عباسی وسرکارخانم دکتر فاطمه شجاعی باغینی بعنوان اساتید ممتحن که با مطالعه پایان نامه اینجانب و حضور در جلسه دفاع از پایان نامه، مرا یاری فرمودند.

-جناب آقای دکتر گلشنی وجناب آقای دکتر رزمی که در طی این مقطع تحصیلی ازکلاسهایشان بسیار بهره بردم.

-کارکنان و مسیولین محترم کتابخانه های زیر که در آماده سازی و تهیه منابع مختلف مورد نظر اینجانب،همکاری نمودند.

۱- کتابخانه دانشگاه تربیت مدرس

۲- کتابخانه دانشگاه صنعتی شریف

۳- کتابخانه دانشگاه تهران (کتابخانه گروه فیزیک دانشکده علوم،کتابخانه انستیتو الکتروتکنیک)

۴-کتابخانه مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات

و در آخر،اما نه کمتر از دیگران، از عزیزانم پدر،مادر،همسر،خواهران وبرادرم متشکرم که در طول سالیان تحصیلم و تمام فراز ونشیب های زندگیم ازفراهم آوردن هرگونه امکانات برای اینجانب از هیچ کوششی دریغ نورزیدند.

مژگان نجفی

خرداد ۷۸

فهرست مطالب

صفحه

چکیده

فصل اول - اصول نظریه بوهم

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تئوری علّی بوهم ۵

۱-۳- معادله هامیلتون ژاکوبی ۶

۱-۳-۱- تئوری هامیلتون ژاکوبی کوانتومی (معادلات بوهم) ۷

۱-۴-عملگرهای مکانیک کوانتومی استاندارد نظریه بوهم ۱۰

۱-۵- قوانین بقای میدان و ذره ۱۲

۱-۶- موج کلاسیکی و موج کوانتومی ۱۵

۱-۷- اصل عدم قطعیت و تئوری بوهم ۱۷

۱-۸- کاربردهای تئوری بوهم ۱۸

۱-۸-۱- مسئله اتمهای شبه ئیدروژنی ۱۸

۱-۸-۲- سد پتانسیل و پله پتانسیل ۲۰

فصل دوم - دستگاههای یک بعدی

۲-۱- مقدمه ۲۵

۲-۲- معرفی دستگاههای یک بعدی ۲۵

۲-۳- دستگاههای درونی ۲۶
۲-۴- دستگاههای بیرونی ۳۳
۲-۵- پدیده‌های فیزیکی ۴۱
۲-۶- کاربردهای دستگاههای یک بعدی ۴۳

فصل سوم - بررسی گاز الکترونی یک بعدی

۳-۱- مقدمه ۴۷
۳-۲- پتانسیل مؤثر الکترونها ۴۸
۳-۳- محاسبهٔ پتانسیل هارتری ۵۰
۳-۴- تابع موج اغتشاش یافته ۵۲
۳-۵- فاز تابع موج اغتشاش یافته ۵۴
۳-۶- معادلهٔ سرعت الکترونها ۵۶
۳-۷- معادلهٔ مسیر الکترونها ۵۸

فصل چهارم - محاسبات عددی و نتیجه‌گیری

۴-۱- مقدمه ۶۲
۴-۲- رسم مسیر ذرات در پتانسیل یک بعدی هارتری ۶۲
۴-۲-۱- تابع چگالی ذرات ۶۴
۴-۲-۲- تابع همبستگی ۶۴
۴-۳- مسیر ذرات در برخورد با سد پتانسیل ۶۴

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مراجع

چکیدهٔ انگلیسی

چکیده

تئوری علّی مکانیک کوانتومی (تئوری دوبروی- بوهم) برای اولین بار در سال ۱۹۵۲ توسط بوهم [۹و۸] به طور منسجم ارائه شد. می دانیم که مکانیک کوانتوم استاندارد کوپنهاگی بنابر اصل اندازه گیری و تقلیل تابع موج هم غیرعلّی و هم غیرموجبیتی است، اما تئوری بوهم به طور علّی مسیر هر ذره را مشخص می کند. در تئوری بوهم برای هر ذره تحت هر پتانسیلی می توان معادله مسیر را پیدا کرد. در این تئوری یک پتانسیل اضافی به نام پتانسیل کوانتومی علاوه بر پتانسیل کلاسیکی وجود دارد. این پتانسیل فرم غیرجایگزیده ای دارد و به چگالی آنسامبلی ذرات سیستم بستگی دارد. مکانیک کوانتوم استاندارد اصلاً در مورد ذرات منفرد حرفی نمی تواند بزند ،ولی بنابر تئوری بوهم با داشتن مکان اولیه هر ذره می توان مکان آن در هر لحظه بعد را به دست آورد. از طرفی با استفاده از این تئوری می توان پدیده هایی مانند تونل زنی را به طور کامل بررسی کرد و حتی مسیر ذرات در داخل سد را نیز پیدا کرد. به طور کلی دیدگاه بوهم در مورد تمام اتفاقاتی که در مکانیک کوانتومی کوپنهاگی با تابع موج و به صورت احتمالی بررسی می شود، حرف می زند و دلایل علّی و منطقی تری را بیان می کند. این تئوری در عین حال که حوزه مکانیک کوانتومی را دربردارد، برای تک تک ذرات نیز مسیر را مشخص می کند. توضیحات بیشتر و کاملتری در مورد این تئوری در فصل اول آمده است. در فصل دوم توضیح کاملی در مورد گاز الکترونی یک بعدی بیان شده است و در دنیای امروز که پیشرفت در تکنولوژی تهیه و ساخت نیمه هادی ها و ترانزیستورها و ابررسانا در حال پیشرفت روزافزون است، بررسی ساختار دقیق آنها نیز مهم می شود. از آنجا که بسیاری از پدیده ها در جامدات با ابعاد کم با شدت و وضوح بیشتری مشاهده می شوند، در این رساله سعی می کنیم که با بررسی گاز الکترون یک بعدی توسط تئوری بوهم مسیر واقعی الکترونها را در این سیستم بررسی کنیم. در اینجا ما تنها برهم کنش کولنی الکترون- الکترون را در بین ذرات درنظرگرفته ایم. این پروژه در واقع می تواند قسمتی از یک پروژه بزرگتر باشد که در آن عوامل دیگری همچون پتانسیل

یونهای زمینه، اسپین و دما را وارد مسئله کرد و هرچه بیشتر به مسیر واقعی الکترونها در سیستم نزدیک شد. با داشتن رفتار الکترونها در سیستم می توان تصویر روشنی از مسئله پیدا کرد. در فصل سوم به تفصیل این مسیر الکترونها را پیدا کرده ایم و در فصل چهارم در یک بخش چند پارامتر سیستم با استفاده از مسیر الکترونها را محاسبه و رسم کرده ایم و در قسمت دیگر مسیر الکترونها را در مسئله تونل زنی بررسی کرده ایم. این کار با دو روش انجام شده است. در روش اول برنامه از ابتدا با $\rho_0(x)$ و $\xi(x)$ شروع می کند و مقادیر آنها را در زمانهای بعد به دست می آورد و با استفاده از آن مسیر الکترونها را رسم می کند و روش دوم شبیه سازی مجدد روشی که آقای شریف زاده امین با استفاده از مقاله گلدبرگ انجام داده اند، است.

فصل اول

من نیز چون شوپنهاور معتقدم که نیرومندترین علت روآوردن به علم، ضرورت فرار از زندگی تاریک و غم انگیز روزانه است.

«اینشتین»

۱-۱ مقدمه

با مروری برتاریخ، سه دیدگاه برای توصیف سیستم های فیزیکی بیان شده است. تا اوائل قرن بیستم مکانیک نیوتنی حرف آخر را می زد. به اعتقاد نیوتن اگر شرایط اولیه ذره و نیروهای وارد بر ذره را بشناسیم می توانیم سرنوشت ذره را تعیین کنیم و همه سیستمهای فیزیکی بر اساس سرنوشت ذره قا بل بیان هستند. این دیدگاه را دیدگاه ذره ای می نامند. پس از آن ماکسول دیدگاه جدیدی را بنیانگذاری کرد که در آن مفهومی به نام میدان معرفی شد. با داشتن شرایط ا ولیه میدان و ذره بدون نیاز به نیروها میتوان سرنوشت ذره و میدان را پیدا کرد. این دیدگاه به دیدگاه ذره - میدانی معروف است. دیدگاه دیگری که توسط اینشتین بیان شد فقط با میدان سروکار دارد، یعنی با داشتن شرایط اولیه میدان می توان سرنوشت میدان را تعیین کرد. طرفداران این دیدگاه ذره را به عنوان قله جایگزیده میدان، قله انرژی و مومنتوم، می دانستند. این دیدگاه را دیدگاه میدانی می نامند. دیدگاهای اول وسوم دیدگاهای خالصی هستند و از لحاظ زیباشناختی جالبترند، ولی سه دیدگاه فوق دیدگاههای کلاسیک هستند و هر سه در دو اصل علّیت و موجبیت مشترکند [۱و۲].

آنچه باعث شد به سراغ فرمولبندی فیزیک کوانتومی برویم یک سری حوادث بود که با فیزیک کلاسیک توجیه نمی شدند:

الف) تداخل با خود : اگر در آزمایش دو شکاف به جای نور باریکه ای از نوترون به آن بتابانیم و شار خروج نوترون را آنقدرکم کنیم که درهر لحظه بیش از یک نوترون دردستگاه نباشد، بازهم طرح تداخلی روی پرده مشاهده می شود. اگر تصویر ذره ای کلاسیک را در نظر بگیریم در این صورت نوترون در هر لحظه از یکی از شکاف ها رد می شود و طرح تداخلی مشاهده شده بیانگر تداخل یک ذره با خودش است که توجیه کلاسیک ندارد [۳].

ب) تونل زنی: بنابر دیدگاه کلاسیک انتظار داریم ذره در جاهایی که انرژی اش کمتر از سد پتانسیل است وارد نشود ولی در واپاشی α ، ذره آلفای داخل هسته از سد کولنی دافعه پروتونها (ناحیه ممنوعه کلاسیک) عبور می کند [۴].

ج) غیرموضعیت: وقتی هر ذره به دو ذره متلاشی می شود و به اندازه کافی از هم دور می شوند، چنانچه یک آزمایش روی یکی از آنها صورت گیرد نتیجه ای که روی دیگری به دست می آوریم بستگی به آزمایش روی ذره اول دارد [۵].

شرودینگر با معرفی موجودی به نام تابع موج، بر مبنای دیدگاه میدانی اینشتین در پی حل این مسائل بود. وی معتقد بود که $\psi(x)$ یک میدان واقعی مثل میدان الکترومغناطیسی است. پس از او دیراک، جوردن و هایزنبرگ دیدگاه شرودینگر را تعمیم دادند و مکانیک کوانتومی استاندارد کوپنهاگی را بیان و فرمولبندی کردند. دیدگاه مکانیک کوانتومی استاندارد ظاهراً آزمایش های فوق را توجیه می کرد. آنها اصول موضوعه مکانیک کوانتومی استاندارد را به شرح زیر بیان کردند [۶]:

۱- حالت سیستم با یک بردار $|\alpha>$ مشخص می شود. این توضیح با هیچ یک از دیدگاههای کلاسیکی که در آنها حالت سیستم با مسیر ذره یا مسیر ذره و میدان و یا تنها با یک میدان تعیین می شد، شباهت ندارد.

۲- کمیت های فیزیکی با عملگر بیان می شوند و نتایج اندازه گیری یکی از ویژه مقادیر، ویژه حالتهای عملگر است (اصل موضوعه تصویر). بنابر این اصل، با انجام عمل اندازه گیری، سیستم به طور آنی به یکی از ویژه حالتهای $|a_n>$ می رود و مکانیک کوانتومی توضیحی در مورد سلسله علّی از قضایا در این اتفاق را توصیف کند، ندارد.

۳- مقدار چشمداشتی کمیت فیزیکی توسط رابطه $<\hat{A}> = <\alpha|\hat{A}|\alpha>$ داده می شود و احتمال یافتن سیستم در هر ویژه حالت، $|a_n>$، $|c_n|^2$ است:

$$|\alpha> = \sum_n c_n |a_n> \quad ; \quad <\hat{A}> = \sum_n |c_n|^2 a_n \qquad (۱-۱)$$

بورن با این اصل در واقع اصل موضوعه دوم را کامل کرده و بیان می کند که احتمال رفتن به هر ویژه حالت چقدر است و به طور صریح نشان می دهدکه مکانیک کوانتومی کوپنهاگی یک علم آماری است و نمی تواند درباره سیستم های منفرد توضیحی بدهد.

۴- تحول زمانی سیستم از معادله $H|\alpha, t> = i\hbar \frac{\partial}{\partial t}|\alpha, t>$ به دست می آید و این اصل در واقع مکانیک کوانتومی کوپنهاگی را نیمه موجبیّتی می کند. مکانیک کوانتومی کوپنهاگی تا وقتی که اندازه گیری صورت نگرفته باشد،یک تئوری علّی است. ولی اصل موضوعه دوم (اندازه گیری) این تئوری را هم غیرعلّی و هم غیرموجبیّتی می کند. دیراک صراحتاً می گوید" در مورد ذرات میکروسکوپی علیت و موجبیت را باید کنار گذاشت"[۶]. مکانیک کوانتومی در بیشتر مواقع نتایج آزمایش را به خوبی بیان می کند، اما در مورد فرآیند آزمایش حرفی نمی زند، در حالی که انتظار ما از فیزیک تنها همین قابلیت پیش بینی شده نیست. ولی اگر بخواهیم ابزارانگارانه با فیزیک برخورد کنیم، مکانیک کوانتومی استاندارد نسخه خوبی است، هر چند از این لحاظ نیز ممکن است بعدها دچار مشکل شود[۷].

آنچه نباید فراموش کرد این است که نظریه کوانتوم چند مطلب قابل تأمل را در مقابل مکانیک کلاسیک بیان می کند:

الف) طرد موجبیت: موجبیت به معنای تعین حوادث (پیش بینی حال از گذشته و آینده از حال) که مکانیک کوانتومی آن را نفی می کند.

ب) طرد علّیت: مکانیک کوانتومی استاندارد، هم اصل علّیت عامه و هم اصل سنخیت علت و معلول را کنار می گذارد. به عبارتی یک علت واحده مثلاً اندازه گیری یک سیستم، معلول های متعددی (نتایج اندازه گیری متفاوتی) را ایجاب می کند.

ج) غیرموضعیت: نظریه کوانتوم غیزموضعیت را در کارمی آورد درحالی که فیزیک کلاسیک با موضعیت سر و کار دارد. به عبارتی انتظار نداریم شیء از اشیائی که ارتباطشان با آن قطع شده و در حول و حوش آن نیستند متأثر شود.

د) ناپیوستگی: در مکانیک کوانتومی با کمیت های ناپیوسته ای همچون انرژی و مومنتوم ناپیوسته سر وکار داریم در حالیکه در مکانیک کلاسیک همه کمیتها پیوسته هستند.

با این تفاسیر، نظریه بوهم تلاشی است در جهت ارائه یک تئوری که نه تنها نتایج مکانیک کوانتومی را به بار آورد بلکه سلسله علّی قضایا را نیز بیان می کند.

۱-۲-اصول نظریه بوهم

برای بیان یک تئوری علّی یکی از متداول ترین راهها این است که مانند مکانیک کلاسیک به هر ذره یک مسیر نسبت دهیم و برای ارتباط دادن این تئوری با مکانیک کلاسیک یک زبان مشترک پیدا کنیم. این زبان مشترک راهی به سمت تئوری بوهم می باشد. این زبان مشترک وسیله ای در اختیار ما قرار می دهد تا حد درست فیزیک کلاسیک را از مکانیک کوانتومی به دست آوریم.بطوریکه لزوماً $\hbar \to 0$ و یا $N \to \infty$ (N تعداد ذرات)نیست. در مکانیک کوانتومی استاندارد فقط درباره آنسامبلی (مجموعه ای) از ذرات می توانستیم صحبت کنیم و اطلاعات کاملی در مورد یک ذره منفرد در اختیار ما قرار نمی دهد. ممکن است سیستم با خودش متغیرهایی به نام متغیرهای نهانی حمل کند که شامل اطلاعاتی از سیستم باشند که ظاهراً