بسم الله الرحمن الرحيم

٣١١٨٦

۱۳۷۹/۴/۲۰

مرکز اطلاعات علمی ایران
تاریخ مدارک

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده علوم پایه

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
فیزیک

7386

بررسی پدیدهٔ ابرشارش با استفاده از نظریه دوبروی-بوهم

فاطمه بوربور

استاد راهنما:
دکتر علی شجاعی باغینی

بهار ۱۳۷۹

۳۱۱۸۶

تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

اعـضـای هیـئـت داوران نـسخـهٔ نـهایی پایان نامه خـانم/~~آقای~~ فاطمه بوربور

تحت عنوان: **بررسی پدیدهٔ ابرشارش با استفاده از نظریه دوبروی - بوهم**

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

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبهٔ علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	آقای دکتر علی شجاعی	استادیار	
۲- استاد ناظر	آقای دکتر نوبری	دانشیار	
۳- استاد ناظر	آقای دکتر ایمان پور	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر امیرحسین عباسی	استادیار	

بسمه تعالی

دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ:.....

شماره:.....

پیوست:.....

آیین نامهٔ چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظربه اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس 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:

مادهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طورکتبی به مرکز نشر دانشگاه اطلاع دهد.

مادهٔ 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 منزیک است که در سال ۱۳۷۹ در دانشکدهٔ علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی ~~سرکارخانم~~/ جناب آقای دکتر علی شجاعی و مشاورهٔ سرکارخانم/جناب آقای دکتر ـــــ از آن دفاع شده است.»

مادهٔ 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.

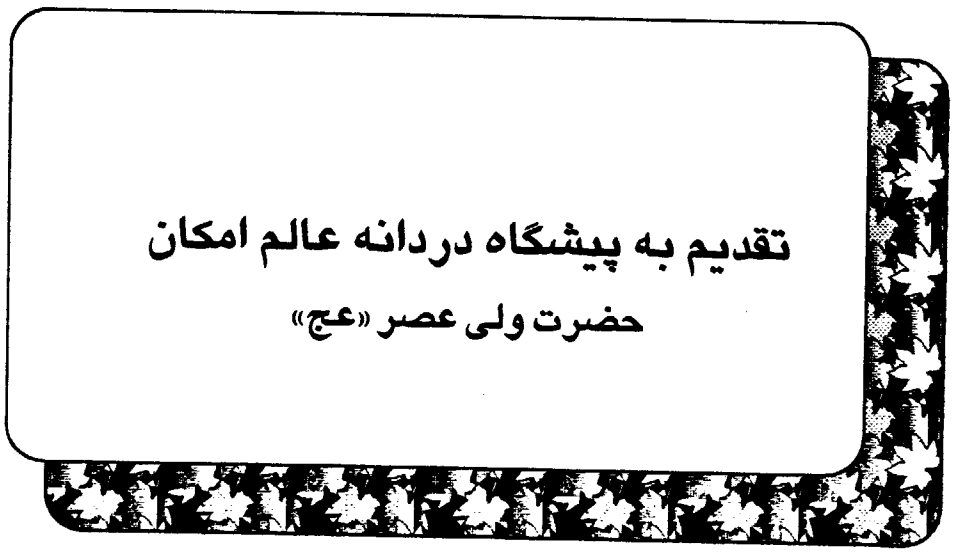
مادهٔ ۴ در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس تأدیه کند.

مادهٔ 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 مادهٔ ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادهٔ ۶ اینجانب فاطمه نوربخش دانشجوی رشته منزیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نوربخش

۷۹/۱/۲۴


تقدیم به پیشگاه دردانه عالم امکان
حضرت ولی عصر «عج»

تشکر و قدردانی

خداوند منان را سپاس می‌گویم که به اینجانب توفیق داد که در راه تحصیل علم قدمی هرچند کوچک بردارم و از وی طلب توفیق برای ادامه این راه در تمام مراحل زندگی خود دارم.

همچنین بر خود فرض می‌دانم که مراتب تشکر و قدر دانی خود را نثار عزیزانی کنم که هر یک به نحوی مرا در آماده سازی و تدوین این پایان نامه یاری نموده‌اند:

* ابتدا از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر علی شجاعی باغینی که راهنمایی این پایان نامه را به عهده داشتند و نه تنها در مراحل تحقیق پایان نامه که در تمام مراحل تحصیلم در این مقطع از راهنمائی‌ها و هدایتگریهای عالمانه و دلسوزانه ایشان بهره‌مند بودم و به واقع مصداق معلم واقعی بودند کمال سپاس و امتنان را دارم .

* همچنین از جناب آقای دکتر عباسی و جناب آقای دکتر نوبری و جناب آقای دکتر ایمان پور که زحمت مطالعه پایان نامه و حضور در جلسه دفاع از پایان نامه را تقبل فرمودند سپاسگزارم.

* و اما از عزیزانم: پدر و مادر دلسوز و مهربانم که با صبر و حوصله در طول سالیان تحصیلم صبورانه از هیچ کمک و مساعدتی دریغ نورزیدند و از همسر بزرگوارم که با حوصله در تمام فراز و نشیب‌های زندگیم از فراهم آوردن هرگونه امکانات برای اینجانب از هیچ کوششی فروگذار ننمودند و به جد می‌توان گفت اگر همکاری و همراهی شفیقانه و دلسوزانه ایشان نبود به پایان رسانیدن این کار برایم غیر ممکن بود صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم.

* همچنین از خواهران و برادران عزیزم و تمامی کسانی که به هر نوع در این راه مرا یاری رسانده‌اند متشکرم و توفیق تمام این عزیزان را از درگاه خداوند متعال خواستارم.

فاطمه بوربور

اردیبهشت ۷۹

چکیده

در سال ۱۹۵۲ برای اولین بار مقاله‌ای توسط بوهم ارائه شد که تئوری جدیدی به نام تئوری علّی مکانیک کوانتومی (تئوری دوبروی - بوهم) را ارائه می‌کرد. در این مقاله مطالب جدیدی که مورد توجه قرار گرفته بود غیر موجبیتی و غیر علی بودن تئوری مکانیک کوانتوم استاندارد کوپنهاگی بود و بوهم با تأکید بر اصل اندازه گیری و تقلیل تابع موج در تئوری مکانیک کوانتوم غیرعلی بودن این نظریه را انتقاد کرد. و با ارائه تئوری جدید خود که آن را تئوری علی مکانیک کوانتومی نامید استدلال کرد که تئوری بوهم می تواند مسیر هر ذره را مشخص کند مطلبی که در مکانیک کوانتومی استاندارد هیچ معنایی ندارد و فقط می توان از احتمال وجود یک ذره در یک نقطه صحبت کرد در این تئوری (دوبروی - بوهم) یک پتانسیل اضافی به نام پتانسیل کوانتومی علاوه بر پتانسیل کلاسیکی وجود دارد. این پتانسیل فرم غیر جایگزیده‌ای دارد و به چگالی آنسامبلی ذرات سیستم بستگی دارد. مکانیک کوانتومی اصلاً در مورد ذرات منفرد حرفی نمی تواند بزند ولی بنابر تئوری بوهم با داشتن مکان اولیه هر ذره می توان مکان آن را در هر لحظه بعد بدست آورد. از طرفی با استفاده از این تئوری می‌توان پدیده‌هایی 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 می‌شود حرف می‌زند و دلایل علّی و منطقی تری را بیان می‌کند. این تئوری در عین حال که حوزه مکانیک کوانتومی را دربردارد برای تک تک ذرات نیز مسیر را مشخص می کند که توضیحات بیشتر و مفصل تر آن در فصل اول آمده است. اما در فصل دوم یک سری توضیحات اجمالی در

مورد سیستمهای ابر شارشی داده شده است و این سیستمها را از دیدگاههای مختلف ۱- دیدگاه مکانیک کوانتومی ۲- دیدگاه دوبروی - بوهم مورد مطالعه قرار داده و خواص آن را بدست آورده‌ایم.

و در فصل سوم این سیستم فیزیکی را با استفاده از تئوری دوبروی - بوهم مورد محاسبه قرار داده و با توجه به پتانسیل جدیدی که بر سر راه ذرات ین سیستم قرار دارد مسیر ذرات را در دو بعد پیدا می‌کنیم و از آنجایی که پیدا کردن مسیر ذرات برای ما بسیار با اهمیت است محاسبات مشکل آن را انجام داده و در نهایت در فصل چهارم از این مسیرهای بدست آمده استفاده می‌کنیم و چسبندگی این سیستم را پیدا می‌کنیم. در ضمن ناگفته نماند که ما در اینجا از برهم کنش بین ذرات در سیستم صرف نظر کرده‌ایم که اگر آن را وارد کنیم حتماً جواب دقیق‌تری پیدا خواهیم کرد اما از آنجایی که می‌دانیم در دماهای حدود 0-2k برهم کنش ذرات از بین می‌رود تقریب ما را از جواب واقعی دور نمی‌کند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

فصل اول: تئوری دوبروی - بوهم

۱-۱- مقدمه ۳

۱-۲- مروری بر معادلات هامیلتون - یاکوبی : ۷

۱-۳- معادلات حرکت بوهمی : ۸

۱-۴- معادله مسیر و معادله شرودینگر : ۱۱

۱-۵- اصول موضوعه بوهم ۱۳

۱-۶- حل چند مسأله کاربردی نمونه در تأیید کارآیی نظریه ۱۳

۱-۱-۶- اتم هیدروژن گونه: ۱۳

۱-۲-۶- سد پتانسیل و پله پتانسیل : ۱۵

۱-۷- سیستم‌های چند ذره‌ای در تئوری بوهم ۱۹

۱-۸- مبحث غیر موضعیت در تئوری بوهم ۲۱

۱-۹- اصل عدم قطعیت و تئوری بوهم ۲۲

۱-۱۰- تئوری بوهم نسبیتی ۲۴

فصل دوم: پدیده ابرشارش

۲-۱ مقدمه ۳۷

۲-۲ سیستمهای بوزونی ۳۷

۲-۲-۱ خواص اصلی سیستمهای بوزونی ۳۷

۲-۲-۲- خواص ترمودینامیکی سیستمهای بوزونی ۴۰

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۲-۳- پدیده ابرشارش ۴۲
۲-۳-۱- روتونها در پدیده ابرشارش ۴۲
۲-۳-۲- اینرسی گاز روتونی ۴۶
۲-۳-۳- سرعت بحرانی برای پدیده ابر شارش ۴۹
۲-۴- محاسبه سرعت در پدیده ابر شارش با فرض وجود یک پتانسیل مانع ۵۲

فصل سوم: مسیر ذرات در ابر شارش

۳-۱- مقدمه ۶۱
۳-۲- تابع موج اغتشاش‌یافته ۶۲
۳-۳- متقارن سازی تابع موج : ۶۶
۳-۴- تقریبهایی که در این سیستم باید در نظرگرفته شود: ۶۸
۳-۵- فاز تابع موج: ۷۰

فصل چهارم: چسبندگی ابر شاره

۴-۱- مقدمه ۷۶
۴-۲- چسبندگی ۷۷
۴-۳- محاسبه چسبندگی برای سیستم ابرشارشی ۸۲

فصل اول

تئوری دوبروی - بوهم

۱-۱- مقدمه

اگر خوب به تاریخ فیزیک نگاه کنیم تا قبل از ارائه تئوری مکانیک کوانتومی تمام دیدگاههای فیزیکی علّی بود به عبارت دیگر با داشتن شرایط اولیه یک سیستم می‌توان سرنوشت سیستم را در لحظات بعد پیش‌بینی کرد. چه این سیستم ذره باشد چه میدان که دیدگاه فوق دیدگاههای کلاسیک است و نکته مهم این است که دو اصل علیت و موجیت را تأمین می‌کند. اما در اوایل قرن بیستم اتفاقاتی رخ داد که باعث شد به سراغ فرمولبندی فیزیک کوانتومی بروند چون این اتفاقات با فیزیک کلاسیک توجیه نمی‌شدند.

این اتفاقات به طور مثال عبارت بودند از تداخل با خود که در آزمایش دو شکاف به جای نور باریکه‌ای از نوترون به آن بتابانیم و شار خروج نوترون را آن قدر کم کنیم که در هر لحظه بیش از یک نوترون در دستگاه نباشد در این صورت باز هم طرح تداخلی روی پرده مشاهده می‌شود.

اتفاق دیگری که رخ داده بود تونل‌زنی است که بنابر دیدگاه کلاسیک انتظار داریم ذره در

جاهایی که انرژی‌اش کمتر از سد پتانسیل است وارد نشود ولی در واپاشی α، ذره آلفای داخل هسته از سد کولنی دافعه پروتونها (ناحیه ممنوعهٔ کلاسیک) عبور می‌کند. و مسئله غیرموضعیت که وقتی هر ذره به دو ذره متلاشی می‌شود و به اندازه کافی از هم دور می‌شوند چنانچه یک آزمایش روی یکی از آنها صورت گیرد نتیجه‌ای که روی دیگری به دست می‌آوریم بستگی به آزمایش روی ذره دارد.

شرودینگر با معرفی موجودی به نام تابع موج ذره در پی حل این مسائل بود. وی معتقد بود که $\psi(x)$ یک میدان واقعی مثل الکترومغناطیسی است. پس از او دیراک، جوردون و هایزنبرگ دیدگاه شرودینگر را تعمیم دادند و مکانیک کوانتومی را بیان و فرولبندی کردند. دیدگاه مکانیک کوانتومی استاندارد ظاهراً آزمایش‌های فوق را توجیه می‌کرد. آنها اصول موضوعه مکانیک کوانتومی استاندارد را به شرح زیر بیان کردند:

ـ حالت سیستم با یک بردار $|\alpha>$ مشخص می‌شود. این توضیح یا 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 می‌شد شباهت ندارد.

۲ـ کمیتهای فیزیکی با عملگر بیان می‌شوند و نتایج اندازه‌گیری یکی از ویژه مقادیر و ویژه حالتهای عملگر است (اصل موضوعه تصویر). بنابراین اصل با انجام عمل اندازه‌گیری سیستم به طور آنی به یکی از ویژه حالتهای $|a_n>$ می‌رود و مکانیک کوانتومی توضیحی سلسله علّی از قضایا در این اتفاق را توصیف کند ندارد.

۳ـ مقدار چشمداشتی کمیت فیزیکی توسط رابطه $<\hat{A}>=<\alpha\left|\hat{A}\right|\alpha>$ داده

می‌شود و احتمال یافتن سیستم در هر ویژه حالت $< a_n$، $| C_n |^2$ است:

$$| \alpha > = \sum_n C_n \ | a_n >$$

$$< \hat{A} > = \sum_n | C_n |^2 \ a_n \qquad (۱-۱)$$

بورن با این اصل در واقع اصل موضوعه دوم را کامل کرده و بیان می‌کند که احتمال رفتن به هر ویژه حالت چقدر است و به طور صریح نشان می‌دهد که مکانیک کوانتومی کوپنهاگی یک علم آماری است و نمی‌تواند درباره سیستم‌های منفرد توضیحی بدهد.

۴ـ تحول زمانی سیستم از معادله $H_{(\alpha , t)} = ih \frac{\partial}{\partial t} \ | \alpha , t >$ به دست می‌آید و این اصل در واقع مکانیک کوانتومی کوپنهاگی را نیمه موجبیتی می‌کند. مکانیک کوانتومی کوپنهاگی تا وقتی که اندازه‌گیری صورت نگرفته باشد یک تئوری علّی است. ولی اصل موضوعه دوم (اندازه‌گیری) این تئوری را هم غیرعلّی و هم غیرموجبیتی می‌کند. مکانیک کوانتومی در بیشتر مواقع نتایج آزمایش را به خوبی بیان می‌کند اما در مورد فرآیند آزمایش حرفی نمی‌زند در حالی که انتظار ما از فیزیک تنها همین قابلیت پیش‌بینی شده نیست. آنچه نباید فراموش کرد این است که نظریه کوانتوم چند مطلب قابل تأمل را در مقابل مکانیک کلاسیک بیان می‌کند:

الف - طرد موجبیت: موجبیت به معنای تعیین حوادث (پیش‌بینی حال از گذشته و آینده از حال) که مکانیک کوانتومی آن را نفی می‌کند.

ب - طرد علیّت: مکانیک کوانتومی استاندارد هم اصل علیّت عامّه و هم اصل سنخیّت علت و معلول را کنار می‌گذارد. به عبارتی یک علت واحده مثلاً اندازه‌گیری سیستم معلول‌های متعددی را ایجاب می‌کند.

ج - غیر موضعیت: نظریه کوانتومی غیر موضعیت را در کار می‌آورد درحالی که فیزیک کلاسیک با موضعیت سر و کار دارد به عبارتی انتظار نداریم شیء از اشیایی که ارتباطشان با آن قطع شده و در حول و حوش آن نیستند متأثر شود.

د - ناپیوستگی: در مکانیک کوانتومی با کمیت‌های ناپیوسته‌ای همچون انرژی و مومنتم ناپیوسته سر و کار 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 می‌کند.

۱-۲- مروری بر معادلات هامیلتون - یاکوبی :

همانطور که می‌دانید برای به دست آوردن معادلات حرکت به جای معادلات لاگرانژ می‌توان معادلات هامیلتون یاکوبی استفاده کرد. که این معادلات مثل سایر نظریات کلاسیکی به علیت پایبند است. معادلاتی که حرکت را تفسیر می‌کنند عبارتند از:

$$H_{(x,t)} + \frac{\delta S_{(x,t)}}{\delta t} = ۰$$

$$\frac{\delta S_{(x,t)}}{ot} = \frac{|\nabla s|^{۲}}{۲m} + v = ۰ \qquad (۱-۱)$$

و مومنتوم ذره که از این رابطه به دست می‌آید.

$$\bar{p} = mx = \overline{\nabla} s\,(x,t) \qquad ((۲)-۱)$$

و اگر فرض کنیم موقعیت ذره r(t) باشد

$$mr = \nabla s\,(x,t)\,\big|_{x=r(t)} \qquad ((۳)-۱)$$

که در معادلات بالا H هامیلتونی است که تابعی از X و ∇S و t است و $\nabla S = P$ اندازه حرکت ذرات آنسامبل (مجموعه) می‌باشد که با حل این معادلات و یافتن S(x,t) می‌توانیم مسیر هر یک از ذرات را با داشتن مکان و سرعت اولیه اومعادله (۱-۲) بدست آوریم که برای فرم‌بندی مکانیک بوهمی از معادلات هامیلتون یاکوبی استفاده می‌کنیم چون برای توصیف آنسامبلی از ذرات مناسبتر است و می‌دانیم در طبیعت به طور عمده چیزی که مورد بررسی قرار می‌گیرد آنسامبلی از ذرات است نه کل یک مجموعه.