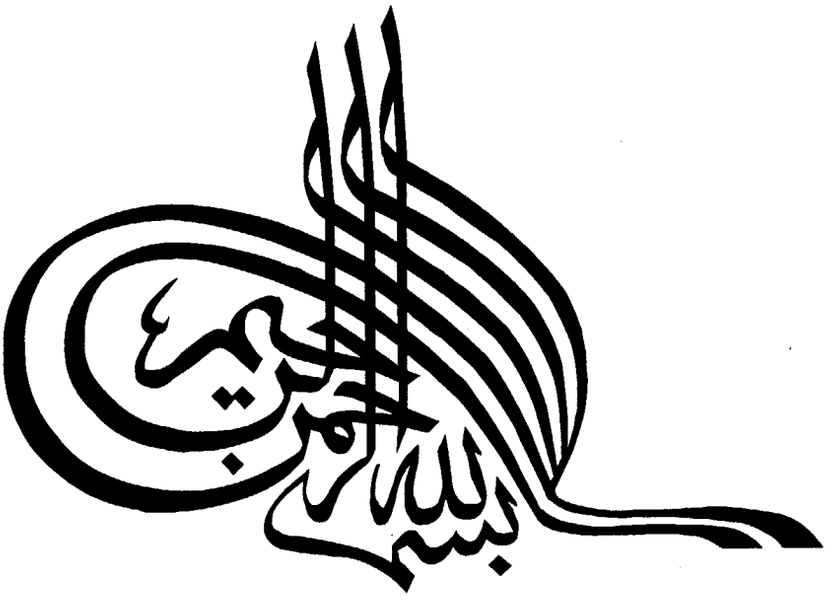

٢٤٨١٣

۱۳۷۸ /۳/ ۲۰

دانشکده علوم

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تمبر مدارک

پایان نامه برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

موضوع :

بررسی تضادهای بین تئوری کوانتوم و نسبیت خاص

اساتید راهنما :

دکتر مهدی گلشنی
(دانشگاه صنعتی شریف)

دکتر محسن سربیشه‌ای
(دانشگاه فردوسی مشهد)

تهیّه کننده :

علی آهنج

سال تحصیلی :

۷۶-۷۷

۲۴۸۱۳

1703/2

رایانکده
حروفچینی، ترجمه، ویراستاری

تقدیم به

پدر و مادر گرامی‌ام

بخاطر تمامی زحماتشان

و

همسر مهربانم

بخاطر همراهی‌اش

تشکر و قدردانی

بدینوسیله لازم می‌دانم مراتب سپاسگزاری خود را از اساتید محترم راهنما آقایان **دکتر مهدی گلشنی، دکتر محسن سربیشه‌ای** که در نگارش این پایان‌نامه همواره مشوق و راهنمای من بوده‌اند و همچنین از آقایان **دکتر علیرضا مختاری** و **دکتر ناصر شاه طهماسبی**، بخاطر حضور در جلسه دفاعیه پایان‌نامه اینجانب ابراز دارم.

ضمناً از دست‌اندرکاران مؤسسهٔ حـ وفچینی رایـانکده، آقـای جـواد نبی‌زاده و خانم مظلوم نیز تشکر می‌نمایم.

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیشگفتار	۱
فصل اول - نظری کوتاه به تئوری کوانتوم و نسبیت خاص	
۱-۱: صفات مشخصه تئوری کوانتوم	۵
۱-۲: تأثیرات فلسفی تئوری کوانتوم	۱۱
۱-۳: نگاهی به نسبیت خاص و اصل موضعیت	۱۴
مراجع	۱۷
فصل دوم - از آزمایش ذهنی EPR تا آزمایش تجربی ADR	
۲-۱: کوانتوم مکانیک از دیدگاه اینشتین	۱۹
۲-۲: آزمایش ذهنی EPR	۲۱
۲-۳: آزمایش بوهم - EPR (اسپین ذره - پلاریزاسیون فوتون)	۲۵
۲-۴: نامساوی بل	۳۳
۲-۵: تعمیم نامساوی بل	۳۸
۲-۶: آزمایش تجربی ADR	۴۱
مراجع	۵۰
فصل سوم - تئوری حاوی متغیرهای نهان غیر موضعی (مدل علیتی بوهم)	
۳-۱: مقدمه	۵۲
۳-۲: تعبیر علیتی بوهم از معامله شرودینگر برای یک ذره بودن اسپین	۵۳
۳-۳: تعبیر علیتی بوهم برای دو ذره بدون اسپین	۵۶

عنوان	صفحه

۴-۳: تعبیر علیتی بوهم از معادله پائولی برای یک ذره اسپین‌دار ۵۷

۵-۳: تعبیر علیتی بوهم برای دو ذره اسپین‌دار ۶۰

۶-۳: تعبیر علیتی از آزمایش EPR ۶۲

۷-۳: تعبیر علیتی و نامساوی بل ۶۸

مراجع ۷۱

فصل چهارم - تلاش برای رفع تناقض بین نسبیت خاص و تئوری کوانتوم

۱-۴: مقدمه ۷۳

۲-۴: ملاحظات جارت ۷۴

۳-۴: تئوری زیرکوانتومی H ۸۷

۴-۴: تئوری‌های معادل با نسبیت خاص ۱۰۹

مراجع ۱۳۲

فصل پنجم - نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیری ۱۳۴

پیشگفتار

شالوده و اساس این رساله بر پایه فیزیک بنیادی قرار گرفته است. وظیفه فیزیک بنیادی، بررسی و مطالعه تئوری‌های بنیادین فیزیک و رفع اشکالات و تناقض‌های بین آنها و سعی برای ساختن تئوری‌های جدید، می‌باشد. با مطالعه اجمالی تاریخ علم فیزیک، با سه تئوری بنیادین برخورد می‌کنیم. تئوری نخست، فیزیک کلاسیک است که شامل مکانیک نیوتنی و نظریه الکترومغناطیسی ماکسول می‌باشد. فیزیک کلاسیک در نیمه دوم قرن نوزدهم میلادی، به کمال خود رسید. اما در اواخر قرن نوزدهم پدیده‌هایی در ناحیه سرعتهای بالا و حوزه میکروسکپی مشاهده گردید که در چهارچوب فیزیک کلاسیک قابل توجیه نبود.

در اوایل قرن بیستم دو تئوری نسبیت (خاص و عام) و مکانیک کوانتومی وارد دنیای فیزیک شد. تئوری نسبیت خاص توسط اینشتین در سال ۱۹۰۵ ارائه گردید. این تئوری توانست پدیده‌های موجود در سرعتهای بالا را توجیه کند.

نظریه کوانتوم توسط افراد زیادی مانند بور - پلانک، هایزنبرگ، شرودینگر، دیراک، بورن، یوردان و همکارانشان از ۱۹۰۰ تا ۱۹۲۷ توسعه یافت.

این تئوری توانست، پدیده‌های جهان خرد (میکروفیزیک) را به خوبی توجیه کند. در سال ۱۹۲۷ بود که تعبیری برای فرمالیزم ریاضیات مکانیک کوانتومی توسط بور و هایزنبرگ و همفکرانشان ارائه شد. این تعبیر که به تعبیر کپنهاگی یا تعبیر سنتی موسوم است، بسیاری از شالوده‌های فلسفی فیزیک کلاسیک را فرو ریخت. عقاید بنیانگذاران مکتب کپنهاگی این بود که : ما باید صرفاً به تنظیم داده‌های حسی اکتفا کنیم و با استفاده از فرمالیزم ریاضی نظریه کوانتوم به پیش‌بینی تجارب بپردازیم. آنچه قابل مشاهده است واقعیت دارد و ورای آن واقعیتی ندارد. وظیفه فیزیک تنها این است که مشاهدات ما را به هم ربط دهد و در مورد پدیده های طبیعی پیش‌بینی‌هایی بکند.

در فصل اول به بررسی اجمالی و فشرده تئوری‌های کوانتوم و نسبیت خاص و ملزومات فلسفی آنها،

می‌پردازیم. در فصل دوم به بررسی دقیق تناقضات و اختلافات بین تئوری کوانتوم و نسبیت خاص که از آزمایش ذهنی EPR شروع می‌گردد، آشنا می‌شویم. آزمایش ذهنی EPR توسط اینشتین و پودولسکی و روزن مطرح گردید. پس از آن با آزمایش بوهم - EPRکه توسط بوهم ارائه شد، آشنا می‌شویم. این آزمایش با استفاده از اسپین ذره و یا پلاریزاسیون فوتون نور صورت می‌گیرد.

در این آزمایشات ذهنی، جواب تئوری کوانتوم با اصول نسبیت خاص متعارض به نظر می رسد. پس یا باید نسبیت خاص را بپذیریم و تئوری کوانتوم رایک تئوری ناقص بدانیم و یا تئوری کوانتوم را پذیرفته و آنگاه که با سرعتهای بالاتر از نور سروکار داریم نسبیت خاص و اصل موضعیت راکنار بگذاریم.

بر پایه آزمایش بوهم - EPR، شخصی بنام جان بل در سال ۱۹۶۴، نامساویی را ارائه داد که به نامساوی بل معروف گردید. این نامساوی با پذیرش اصل موضعیت ساخته می‌شود و در شرایط خاص، تئوری کوانتوم آن را نقض می‌کند.

این نامساوی پایه واساس کارهای تجربی سالهای بعد قرارگرفت. نامساوی بل، مسیر را برای آزمون تجربی آزمایش EPR، فراهم نمود. چندین بار توسط گروههای مختلف این نامساوی از طریق تجربی آزمایش شد که مهمترین و آخرین آنها، توسط آسپه از فرانسه در سال ۱۹۸۲ باکمک همکارانش انجام گرفت. (آزمایش ADR) غالب آزمایشهای انجام شده، با تئوری کوانتوم همخوانی داشت و نامساوی بل در همه آنها نقض می‌گردید.

در فصل سوم به بررسی تئوری بوهم می‌پردازیم. تئوری بوهم یک نظریه علیتی غیر موضعی می‌باشد. در این تئوری برای ذره مسیری معین وجود دارد و مشخصات ذره در هر لحظه و در هر مکان به طورکامل و دقیق معلوم می‌باشد. ولی غیر موضعی بودن آن و وجود تأثیرات آنی در نظریه و پیچیده بودن روابط آن از مشکلات تئوری بوهم می‌باشد.

در فصل چهارم راه‌حلهایی راکه بعضی از فیزیک دانان بنیادی برای رفع تناقض دو تئوری نسبیت خاص و کوانتوم ارائه داده‌اند، بررسی می‌کنیم.

در فصل آخر، با بررسی کل ماجرا و راه‌حلهای مطرح شده، نتایجی را که می‌توانیم بدست آوریم، بیان شده است.

امید است که این رساله، قدمی در جهت روشن‌کردن بحران حاکم موجود بین دو تئوری بنیادین فیزیک معاصر باشد.

در اینجا لازم می‌دانم که از اساتید راهنما، جناب دکتر مهدی گلشنی استاد دانشگاه صنعتی شریف بخاطر راهنمایی اینجانب، تهیه و ارسال مقالات و منابع مورد نیاز و جناب دکتر محسن سربیشه‌ای استاد دانشگاه فردوسی مشهد، بخاطر در اختیارگذاشتن کتب درخواستی اینجانب و راهنماییهای لازم، صمیمانه تشکر کنم.

فصل اوّل

نظری کوتاه به تئوری کوانتوم و نسبیت خاص

۱-۱- صفات مشخصه تئوری کوانتوم

در این بخش، با پنج ویژگی مختص تئوری کوانتوم بصورت بسیار خلاصه‌ای آشنا می‌شویم. این صفات، خاص تئوری کوانتوم می‌باشد و تأثیرات بسیار ژرفی بر عقاید فلسفی فیزیکدانان معاصر گذاشته است که در بخش بعدی در مورد آنها بحث خواهیم کرد.

۱-۱-۱- مسئله تفکیک عین و ذهن و اصل مکمّلیت بوهر

در دیدگاه تئوری کوانتوم، جهان به دو قسمت تقسیم می‌گردد. (منظور از جهان، مجموعه‌ای است که مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفته است).

الف) قسمت تحت مطالعه یا آزمایش

به این قسمت سه نام اطلاق می‌گردد : سیستم (System) - شیء و عین (Object)

ب) قسمت ناظر یا آزمایشگر و یا ذهن (Subject)

تقسیم بندی فوق به شکافت هایزنبرگ معروف است.

در تئوری کوانتوم برخلاف فیزیک کلاسیک پدیده تحت مطالعه (سیستم) و ناظر مطالعه‌کننده یا آزمایشگر یک واحد تجزیه‌ناپذیر می‌باشند، که هرگونه دخالت آزمایشگر در تجزیه این پدیده، به ظهور یک پدیدهٔ دیگر منجر می‌شود. به عبارت دیگر، خواص سیستم کوانتومی مستقل از وسیله اندازه‌گیری نیست.

بورن می‌گوید : «نمی‌توان ناظر یک پدیده فیزیکی را با تماشاگران یک نمایش تئاتر مقایسه کرد، بلکه می‌توان آن را با یک بازی فوتبال مقایسه نمود، که در آن عمل مشاهده همراه با کف زدنها و هیاهو، اثری چشمگیر روی سرعت و تمرکز بازیگران و در نتیجه آنچه مورد تماشا است، دارد».

بنابراین برای توضیح غیر مبهم پدیده‌های کوانتومی، باید تمام تدارکات تجربی را مشخص کرد. هرگونه تغییر در وسایل اندازه‌گیری، باعث محو شدن پدیده اصلی و ظهور یک پدیده جدید می‌شود.

. ثابت کوانتومی پلانک (h)، بروجود یک برهم‌کنش محدود بین سیستم و ناظر دلالت می‌کند بنابراین حتی اگر بفرض وسایل اندازه‌گیری، کار خودشان را بخوبی انجام دهند نمی‌توانیم عمل بر هم‌کنش شیء بر روی آنها را کنترل کنیم.

بور بجای عقیده کلاسیک، «استقلال سیستم از آزمایشگر» عقیده مکملیت را وارد می‌کند و از طریق تعریف مکملیت پدیده‌های کوانتومی را توضیح می‌دهد.

بر طبق این اصل، توصیف یگانه از یک پدیده کوانتومی، امکان ندارد. اما توصیفهای مکمل مانعةالجمع برای سیستم‌های اتمی وجود دارند و هر یک در شرایطی کاملند. مثلاً توصیف علّی و توصیف زمانی - مکانی، دو توصیف مکمل مانعةالجمع بحساب می‌آیند که هر یک در شرایطی صادقند. (مکملیت دوری Circular).

complementarity بورگاهی مکملیت را در مورد خواص فیزیکی سیستمهای فیزیکی بکار برد. مثلاً مکان و اندازه حرکت یک سیستم کوانتومی، دو کمیت مکمل بحساب می‌آیند.

(مکملیت متوازی Parallel Complemen tarity)

سه اشکال مهم در اینجا مطرح می‌گردد.

۱ - مرز جدایی بین سیستم و مشاهده‌گر (عین و ذهن) درکجاست؟ در تئوری کوانتوم مرز معینی برای جدایی این دو قسمت از جهان وجود ندارد.

۲- آیا قسمت دوم جهان یعنی ناظر باید موجودی هوشیار و آگاه باشد یا خیر؟ برای جواب به این سؤال هیچگونه اتفاق نظری وجود ندارد. از دیدگاه هایزنبرگ بودن یا نبودن شعور برای مشاهده‌گر اصلاً مهم نمی‌باشد. ولی از دیدگاه بسیاری، بخصوص فون نویمان، هوشیاری و آگاهی یک نقش ضروری دارد.

۳- اشکال سوم به اصل مکملیت وارد می‌شود. چنانچه گفتیم هدف بور یافتن یک اصل عام بود که بتواند به کمک آن پدیده‌های کوانتومی را تعبیر کند. او اصل مکملیت را بجای عقیده «استقلال شیء از ذهن» وارد نمود. بور و همفکران او هرگز تعریف صریحی از مکملیت ارائه نداده‌اند.

صریحترین تعریف از مکملیت را می‌توان عبارت زیر، از یک سخنرانی بور در ۱۹۲۹ تلقی نمود: «اصل کوانتوم ما را مجبور می‌کند که نحوه دیگری از توصیف موسوم به مکمّلیت را بپذیریم، بدین معنی که هر استفاده مشخص از (یک دسته) مفاهیم کلاسیک، کاربرد همزمان مفاهیم کلاسیک دیگری را که در زمینه‌ای دیگر به همان اندازه ضرورت دارند، غیر ممکن می‌سازد». ایرادات زیادی بر اصل مکمّلیت بور وارد کرده‌اند.

- چرا مکمّلیت منحصر به دو خاصیت است و آن را به سه خاصیت و یا بیشتر تعمیم نداده‌اند؟

به قول فون نویمان چیزهای زیادی می‌باشد که خاصیت جابجایی ندارند و به سهولت می‌توان سه اپراتور پیدا کرد که جابجاپذیر نباشند.

- اصل مکمّلیت از دیدگاه دیراک قابل قبول نبود چون نسبتاً نامشخص است. و معادله‌ای که قبلاً نداشته باشیم، به ما نمی‌دهد. از طرف دیگر هنوز حرف آخر در مورد امواج و ذرات زده نشده است.

- اشکال دیگر که از طرف اینشتین وارد می‌شود این است که اجازه نداریم توصیف نظری را به طور مستقیم متکی به احکام تجربی کنیم.

اینشتین در رد دیدگاه بور می‌گوید :

«این فرض که موج و ذره تنها اشکال ممکن ماده هستند، اختیاری است و چیزی تضمین نمی‌کند که در آینده صورتهای دیگر ماده کشف نشوند. حداکثر می‌توان گفت که تا این زمان نتوانسته‌ایم به پیش از این دست یابیم».

۲-۱-۱- اصل برهم نهی و رابطه عدم قطعیت هایزنبرگ

حالت کوانتومی $|\psi>$ را می‌توان از برهم‌نهی ویژه حالات مشاهده‌گر A یعنی $|A_n>$ بدست آورد.

$$|\psi> = \sum_n Cn \mid A_n>$$

$|Cn|^2$ احتمال پیداکردن نتیجه An را به ما می‌دهد. A می‌تواند X یا P و یا هر کمیت فیزیک دیگر باشد.

$(\Delta X)\ (\Delta P) \geq \hbar/2$

طبق رابطه عدم قطعیت دقت در تعیین اندازه کمیت X، باعث از بین رفتن دقت در اندازه‌گیری P می‌گردد، و بالعکس. X و P را دو کمیت مزدوج هم می‌گویند و با یکدیگر رابطهٔ جابجایی ندارند.

$[X , P] = i\hbar$

اگر A و B دو کمیت مزدوج باشند، $|\psi>$ فقط می‌تواند ویژه حالت یکی از این دو باشد. آیا روابط عدم قطعیت، بمعنای وجود عدم قطعیت در ذات طبیعت است و طبیعت طوری عمل می‌کند که هرگز نمی‌توانیم از دو کمیت مزدوج همزمان اطلاعات کسب کنیم. و یا معرف ناقص بودن توصیف تئوری کوانتومی از طبیعت می‌باشد؟ در تئوری جنبشی گازها یا تئوری حرکت براونی، در سطح زیرین تئوری آماری تصویر کاملی قرار گرفته است که هر مولکولی در هر زمانی، یک مکان و یک سرعت معین و خوش تعریف دارد. آیا در سطح زیرین مشخصه آماری کوانتوم مکانیک، یک تئوری زیرین «متغیرهای پنهان» وجود دارد؟

۳-۱-۱- تقلیل تابع موج

طبق گفته دیراک «اندازه‌گیری همیشه باعث می‌شود که سیستم به ویژه حالت متغیر دینامیکی که اندازه‌گیری می‌شود، بپرد». به عنوان مثال وقتی که متغیر دینامیکی مربوط به ذره A را اندازه‌گیری می‌کنیم به ذره ما به عنوان مثال X ذره، تابع موج ذره که طبق معادله شرودینگر بطور پیوسته متحول می‌باشد، به طور ناگهانی و موقت در طی اندازه‌گیری تعطیل می‌شود و حالت $|\psi>$ سیستم ناگهان به ویژه تابع کمیت مشاهده شده، تغییر می‌کند یعنی: $|\psi> \rightarrow |A_n>$ به این پدیده «تقلیل تابع موج» گفته می‌شود.

پدیده «تقلیل تابع موج» چهرهٔ غیر قابل فهم از تئوری کوانتوم می‌باشد. به عنوان مثال، تابع موج تا قبل از رسیدن به مانع پتانسل، دو امکان در بر دارد. یکی بازتاب و دیگری عبور ولی پس از برخورد با مانع پتانسیل، یکی از دو امکان را انتخاب می‌کند و تقلیل می‌یابد. این سؤال‌ها مطرح می‌شود که: ماهیت این تابع موج

چیست؟ تقلیل چگونه انجام می‌گردد؟

▣ چون تنها قسمت سیستم یا شیء (Object) جهان، متحمل فروپاشی و تقلیل می‌گردد و چون مرز بین سیستم و آزمایشگر یا شیء و ذهن جهان معین و مشخص نیست، بنابراین مشخص نمی‌باشد که در چه مرحله‌ای فروپاشی و تقلیل داریم.

مشکل بعدی چگونگی تقلیل تابع موج می‌باشد. هیچ گونه توافقی وجود ندارد که علت تقلیل تابع موج چیست و در چه موقع صورت می‌گیرد؟ ظاهراً بنظر می‌رسد که این تقلیل توسط دستگاه اندازه‌گیری انجام می‌پذیرد. اما فون نویمان نشان داد که اگر دستگاه اندازه‌گیری، خودش توسط مکانیک کوانتومی توصیف شود تقلیل تابع موج توسط آن ممکن نمی‌باشد. یک امکان این است که بگوییم وسیله اندازه‌گیری از فیزیک کلاسیک تبعیت می‌کند. در این صورت این سؤال مطرح می‌شود که مرز بین کوانتوم و کلاسیک کجاست ؟ بعلاوه ما شاهد تجربی برای وجود چنین مرزی نداریم. علاوه بر این در چنین صورتی جهانشمول بودن مکانیکی کوانتومی مورد سؤال قرار می‌گیرد، و این چیزی نمی‌باشد که فیزیکدان کوانتومی به آن راضی باشد. شق دیگر این است که تقلیل توسط ناظر ذی‌شعور رخ می‌دهد. مشکل این فرض وقتی واضح‌تر می‌شود که توجه کنیم در صورت صحت این نظریه، باید در زمانهای اولیه که موجودات ذی‌شعور حضور نداشتند، حادثه‌ای رخ نداده باشد. تنها امکانی که باقی می‌ماند این است که بگوییم مشاهده آگاهانه توسط ناظر خارج از جهان فیزیک (مثلاً خدا)، باعث تقلیل تابع موج می‌شود و البته این در میان فیزیک‌دانان طرفدار زیادی ندارد. راه حل دیگر مسئله، توسل به متغیرهای نهانی است. مهمترین نظریه متغیر نهانی مربوط به بوهم می‌باشد. این مورد، در یک فصل مجزا مورد بحث واقع خواهد شد.

۴-۱-۱- پهن‌شدگی بسته موج

برای یک ذره آزاد، یک بسته موج گوسی یعنی بسته‌ای با عدم قطعیت مینیمم داریم. رابطه عدم قطعیت رادر