بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش بنیادی

اندازه‌گیری در فرمالیزم حالت نسبی اورت و تفسیر بس جهانی

استاد راهنما :

دکتر مجید رهنما

مؤلف :

زهرا داوری دولت آبادی

مرداد ماه ۱۳۸۸

خداوندا، نمی‌دانم

که کجای کدامترین جهان، ایستاد ه‌ام

و یا بر گرده کدام آنی‌ترین لحظه نشسته‌ام

و شاید چو ذره‌ای بر سریر وحشی موجی خوابیده‌ام

نمی‌دانم

ولی می‌دانم که هستم، چون تو را می‌پرستم.

تقدیم به

پدر و مادرم

به پاس تمام مهربانیها و فداکاریهایشان

تقدیر و تشکر

اینک که برگی دیگری از تقویم زندگیم ترسیم میشود شایسته است خدای مهربان را شاکر باشم به خاطر تمام فرصتهایی که به من ارزانی کرد و از او می‌خواهم که خرد را همواره رقیب جانم گرداند و آنی مرا به خود وانگذارد.

از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر رهنما سپاسگزارم، چرا که با دیدن‌ها و ندیدن‌هایش، اندیشیدن را برای چگونه زیستن به من آموخت. به امید آنکه آنچه از خرمن علمیشان خوشه چینی کردم به حکم نشر زکات علم به جامعه علمی، باز پرداخت نمایم.

از داوران محترم جناب آقایان دکتر یزدان پناه، دکتر رضایی و دکتر شیخی و همه اساتید بخش فیزیک از جمله آقای دکتر بلوری‌زاده که دفتر تحقیقم چند سالی به نام آنها ورق خورد، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

در اینجا لارم است از جناب آقای مهندس محمود فلاح به خاطر لطف و مهربانیشان در عطا کمک هزینه تحصیلی تشکر کنم و اتز خدای بزرگ برای ایشان طلب عمر با عزت میکنم. همچنین از آقای سالاری به خاطر همه مهربانیهایشان تشکر می‌کنم.

بوسه شوق و سپاس بر دستان پدر و مادرم می‌نهم که با نثار مهربانی همواره مشوق و پشتیبانم بودند و از خواهرهای مهربان و برادران عزیزم به خاطر تمام دلگرمی‌هایشان تشکر می‌کنم.

از تمام دوستان خود از جمله ناهید، لاله، مهدیه ، فاطمه و کتایون عزیز تشکر می‌کنم به خاطر تمام لحظات زیبایی که در کنارشان تجربه کردم. در نهایت از همه دوستان و همکلاسیهایم قدردانی میکنم و امیدوارم همواره موفق و پیروز باشند.

چکیده:

مکانیک کوانتومی چیزی فراتر از یک نظریه فیزیکی است چرا که بسیاری از بدیهی‌ترین اصول شناخت طبیعت در فیزیک را به چالش جدی می‌کشد. لذا تلاش در فهم مکانیک کوانتومی از ابتدای پیدایش آن یکی از جدی‌ترین مسائلی بوده است که ذهن بزرگترین فیزیکدانان را به خود مشغول ساخته است. عمده‌ترین مشکلی که مکانیک کوانتومی پس از گذشت بیش از ۸۰ سال از عمرش هنوز با آن در گیر است، مسئله " اندازه‌گیری " است. در این مورد نمی‌توان مرحله‌ی دوم فرایند اندازه‌گیری ، رمبش یا تقلیل تابع موج را به طریق مکانیک کوانتومی استاندارد توضیح داد.

در طی این تحقیق، فرمالیزم حالت نسبی اورت و بعد از آن تفسیر بس جهانی دویت که تلاشی برای حل این مشکل است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. نشان داده می‌شود که در تفسیر بس جهانی مفهومی از عالم کوانتومی ارائه می‌گردد که به واقعیت کلاسیکی خارجی که توسط ناظر داده می‌شود ، احتیاجی ندارد.

در پایان، آزمایش‌هایی فکری و اپتیکی که علاوه بر وجود جهان‌های دیگر ارتباط بین آنها را امری حقیقی و مسلم می‌داند، مورد بررسی قرار داده می‌شود البته باید توجه داشت که ارتباط بین جهان‌ها حداقل به یک روش با دقت تعریف شده و محدودی امکان پذیر می‌باشد.

فـهـرست:

عنوان	صفحه
۱. مروری بر مکانیک کوانتومی ۱	
۱-۱) مقدمه	۱
۱-۲) دستگاه اندازه‌گیری	۵
۱-۳) ناظر ذیشعور	۶
۱-۴) متغیرهای پنهان	۷
۱-۵) ناهمدوسی	۷
۱-۶) فرمالیزم حالت نسبی	۸
۲. فرمالیزم حالت نسبی اورت ۱۰	
۲-۱) مقدمه	۱۰
۲-۲) حوزه کاربرد فرمالیزم استاندارد	۱۱
۲-۳) مکانیک کوانتومی برای سیستم ایزوله شامل ناظر	۱۵
۲-۴) مفهوم حالت نسبی	۱۶
۲-۵) مشاهده	۲۰
۲-۶) حضور بیش از یک ناظر و دستگاه	۲۷
۲-۷) نتیجه	۳۱
۳. تفسیر بس جهانی.....۳۴	
۳-۱) مقدمه	۳۴

فـهـرست:

۳-۲) تفسیر بس جهانی ۳۵

۳-۲-۱) مفهوم جهان در MWI چیست؟ ۳۷

۳-۲-۲) مفهوم من (I) در MWI چیست؟ ۳۸

۳-۳) مطابقت بین فرمالیزم و تجربه‌مان ۳۹

۳-۳-۱) حالت کوانتومی یک شی ۳۹

۳-۳-۲) حالت کوانتومی متناظر با جهان ۴۰

۳-۳-۳) حالت کوانتومی عالم ۴۰

۳-۳-۴) $FAPP$ ۴۱

3-5-۳) اندازه حضور ۴۲

۳-۴) احتمال در تفسیر بس جهانی ۴۲

۴. نقد و تحلیل تفسیر بس جهانی..... ۴۶

۴-۱) مقدمه ۴۶

۴-۲) اصل فلسفی امساک ۴۸

۴-۳) انتخاب پایه‌های ترجیحی ۴۸

۴-۴) انتقادهای عمومی ۵۲

۴-۵) خارق‌العاده بودن تفسیر بس جهانی ۵۳

۵. آزمون‌هایی در تأیید تفسیر بس جهانی..... ۵۵

۵-۱) مقدمه ۵۵

فـهـرست:

۵-۲) آزمون‌های فکری وِیدمَن ۵۶

۵-۲-۱) آزمونگر بمب الیتزور- ویدمن ۵۶

۵-۲-۲) تجربه دوشخصیتی نوترون ۵۹

۵-۲-۳) دو جهان نوترون ۶۱

۵-۲-۴) توجیه مکانیک کوانتومی ۶۳

۵-۳) آزمایش تجربی آر. پلگا با کمک تجهیزات اپتیکی ۶۴

۵-۳-۱) پیشنهاد آزمایشی برای آزمودن تفسیر بس جهانی ۶۶

۵-۳-۲) تعیین مقیاس زمانی ناهمدوسی یون ساده ۷۱

۵-۳-۳) درک عملی ارتباط بین جهان‌های موازی ۷۵

نتیجه‌گیری ۷۹

منابع ***۸۱***

فصل اول

مروری بر مکانیک کوانتومی

ای. تی. جینر[1]

اجازه دهید که دوباره انگیزه‌مان را تکرار کنیم: اگر نظریه کوانتومی بطور عملی مؤفق نبود، ما هیچ انگیزه‌ای برای تفسیر آن نداشتیم. دقیقاً به خاطر مؤفقیت بی‌حد و حساب فرمالیزم کوانتومی است که " چیستی معنای این ریاضیات" بسیار مهم حیاتی می‌شود. یافتن یک تفسیر معقول فیزیکی برای َمکانیک کوانتومی باید در صدر تحقیقات فیزیکدانان نظری قرار گیرد؛ تا زمانیکه به این مهم دست نیافته‌ایم، تمامی دستاوردهای فیزیک نظری موقتی و گذارا خواهد بود[۱].

ج. ویلر[2]

اگر مکانیک کوانتومی کاملاً گیجتان نکرده است، آن را نفهمیده‌اید[۲].

۱-۱) مقدمه

مکانیک کلاسیک که به کارهای گالیله و نیوتون نضج گرفته بود، در اواخر قرن ۱۹ در اوج قدرت و یکه‌تازی خود بود. بطوریکه بسیاری از فیزیکدانان صحبت از پایان رسیدن فیزیک می-کردند و خواندن فیزیک را دیگر بی‌فایده می‌دانستند. اما در همین سالها مشاهده پدیده‌های نوین، آغاز گشایشی جدید در فیزیک را سبب شد که تمامی دیدگاه‌های رایج در خصوص طبیعت را تحت تأثیر قرار داد و سبب انقلابی شگرف در فیزیک گردید و امروز با گذشته بیش از ۸۰ سال از زمان طلوع این نظریه‌ی جدید و باوجود موفقیت‌های این نظریه در زمینه‌های تجربی؛ بحثهای زیادی بر سر مفاهیم آن وجود دارد که می‌توان این عدم توافق‌ها را در سخنرانی‌ها و مقاله‌های مختلفی که ارائه شده مشاهده کنیم[۳].

[1] E. T.Jayne's
[2] J. Wheeler

یکی از جدال‌انگیزترین مفاهیم در مکانیک کوانتومی"مفهوم اندازه‌گیری[1]" است که سرچشمه ابهامات زیادی شده است، چنانکه بوضوح آن را می توان در پارادوکس‌های گربه شرودینگر[2] و EPR [3] مشاهده کرد و اوج آن را در مناظره‌های بوهر-انیشتین[4] پیدا کرد [۴]. انیشتین برخلاف بوهر معتقد بود که مکانیک کوانتومی استاندارد[5] (تعبیر کپنهاگی[6]) تنها تلقی خودسازگار نیست، وی از سرنوشت آماری توصیف مکانیک کوانتومی ناراضی بود به نظر وی هضم یک جهان کاملاً شانسی آسانتر از جهانی است که بر آن قوانین احتمالات حاکم باشد. به نظر او نظریه مکانیک کوانتومی ناقص است و یک توصیف نهایی از طبیعت ارائه نمی‌دهد، به این دلیل که یک نظریه فیزیکی کامل باید خود رویدادها را توصیف کند نه فقط احتمال وقوع آنها را[۵].

این مشکلات از مغایرتی آشکار بین اصول متعدد مکانیک کوانتومی و فرایند اندازه‌گیری ناشی می‌شود. بویژه دینامیک خطی مکانیک کوانتومی به نظر می رسد با اصل موضوعه رمبش[7] (تقلیل) که در طول اندازه‌گیری رخ می‌دهد مخالف باشد. به عبارتی دینامیک و اصل موضوعه رمبش در انکار یکدیگر هستند. هنگامیکه اندازه‌گیری انجام می‌گیرد، اصل موضوعه رمبش به نظر می‌رسد درباره آنچه اتفاق می‌افتد درست باشد در حالیکه دینامیک به نظر می‌رسد بطور غریب نادرست باشد و همچنین تا زمانیکه اندازه‌گیری صورت نگیرد، دینامیک درست به نظر می‌رسد[۶].

در این جا قبل از بیان اصل موضوعه رمبش لازم است اصول موضوعه مکانیک کوانتومی استاندارد که توسط شرودینگر، هایزنبرگ، فون نویمان[8]،دیراک[9] و دیگران پایه‌گذاری شده است است را بیان کنیم[۷]:

[1] The concept of measurement
2 Schrödinger's cat paradox
[3] Einstein, Podolsky and Rosen
[4]Bohr- Einstein debates
[5] Orthodox quantum mechanics
[6] Copenhagen interpretation
[7] Postulate of Collapse(Reduction)
8 Von Neumann
[9] Dirac

اصل موضوعه ۱: نمایش حالتها[1]

در مکانیک کوانتومی یک حالت فیزیکی با یک بردار حالت در فضای برداری مختلط به نام فضای هیلبرت نمایش داده می‌شود. به تبعیت از دیراک این بردار حالت را کت می‌نامیم و با $|\psi\rangle$ نمایش می‌دهیم. این کت دارای تمام اطلاعات یک حالت فیزیکی است؛ هر چیزی را که در مورد حالت بخواهیم در کت وجود دارد.

اصل موضوعه ۲: نمایش خواص‌ها[2]

برای هر خاصیت فیزیکی P که امکان دارد از سیستمی مشاهده کنیم، عملگر خطی P در فضای برداری وجود دارد که آن خاصیت را نمایش می‌دهد.

اصل موضوعه ۳: ترکیب[3]

فضای حالت سیستم فیزیکی مرکب برابراست با ضرب تانسوری فضاهای برداری مربوط به مولفه‌های موجود در سیستم. به طور نمایشی این را بدین گونه بیان می‌کنیم:

$$|\psi\rangle = |\psi_1\rangle \otimes |\psi_2\rangle \otimes \ \dots \otimes |\psi_n\rangle \qquad (1-1)$$

اصل موضوعه ۴: دینامیک[4]

اگر اندازه‌گیری روی سیستم صورت نگیرد در این حالت سیستم فیزیکی با بردار حالت $|\psi\rangle$ بطور پیوسته مطابق با دینامیک موجبیتی (معادله شرودینگر) تحول می‌یابد:

$$|\psi\rangle \ \rightarrow \ |\psi_t\rangle = e^{-(\frac{2\pi i}{h})tH} \ |\ \psi\rangle \ e^{(\frac{2\pi i}{h})tH} \qquad (1-2)$$

اما اگر اندازه‌گیری انجام شود سیستم بطور خودبخودی و کتره‌ای به حالتی رمبش پیدا می-کند. به عبارتی اگر بردار حالت اولیه دستگاه اندازه‌گیری $|\psi^A[\dots]\rangle$ باشد، که $[\dots]$ نشان دهنده این است که دستگاه در آغاز عددی را نمایش نمی‌داده است و اگر بردار حالت سیستم به صورت برهم‌نهشی از تمام ویژه حالت‌های مختلفی که می تواند داشته باشد، در نظر گرفته شود؛ $|\psi^S\rangle = \sum_{m=1}^{n} a_m |\psi_m^S\rangle$ آنگاه به صورت زیر متحول می‌شود:

---

[1] Representation of States
[2] Representation of States
[3] Composition
[4] Dynamics

$$e^{-(\frac{2\pi i}{h})tH}(|\psi^S\rangle\otimes\ |\psi^A[\dots]\rangle)$$
$$= e^{-(\frac{2\pi i}{h})tH}\left(\sum_{m=1}^{n} a_m|\psi_m^S\rangle\otimes\ |\psi^A[\dots]\rangle\right)$$
$$= \sum_{m=1}^{n} a_m|\psi_m^S\rangle\ |\psi^A[A_m]\rangle \qquad (1-3)$$

در این‌جا برخلاف حالت کلاسیکی دستگاه همزمان مقادیر مختلف ... A_1, A_2 را نشان می-دهد و این برخلاف چیزی است که در آزمایشگاه مشاهده می‌شود.

در دهه‌ی دوم قرن بیستم، توسط فون نویمان این پدیده عجیب توضیح داده شد با اصل موضوعه کردن اینکه وقتی مشاهده انجام می‌گیرد بردار حالت در داخل خروجی معینی با احتمال داده شده برابر مربع نرم حالت ابتدایی در حالت نهایی رمبش می‌کند[۹]. در اینجا رندومیتی ذاتی در طبیعت مطرح می‌شود چیزی که اکثر فیزیکدانان از جمله انیشتین طبق یکانیت مکانیک کوانتومی با آن مخالف بودند. جمله مشهور انیشتین که " خداوند در خلقت جهان طاس نمی‌ریزد" به وضوح به ناخشنودی از این رندومیت ذاتی در طبیعت اشاره دارد[۱۰].

در اینجا داشتن دو انگاشت برای تحول حالت سیستم غیر معمولی است، وقتی این مفهوم به میان آورده شد کاملاً جدید بود و هنوز هم در فیزیک بی همتا و عجیب و در عین حال سرچشمه مشکلات است. براستی چرا به دو انگاشت جداگانه نیاز است؟ کجا گستره کاربرد تحول اولی تمام می شود و باید از تحول دوم استفاده کرد؟ به بیان دقیق‌تر، از میان همه برهم-کنش‌های سیستم فیزیکی یا اختلالاتی که بر آن وارد می‌شود کدامها را باید فرض کنیم تحولی مطابق با معادله شرودینگر و کدامها اندازه‌گیری (رمبش) هستند؟ منطقاً با مسئله‌ای مواجه هستیم که قبلاً وجود نداشت زیرا هیچکس فکر نمی کرد اندازه‌گیری، فرآیندی خاص باشد. خلاصه آنکه سؤال اساسی که این‌جا با آن روبرو هستیم این است که عامل این رمبش چیست؟ و چگونه انجام می گیرد؟

برای پاسخ به این پرسش اساسی راهکارهای مختلفی ارائه شده است که ما در ادامه آنها را مورد بررسی قرار می‌دهیم. البته باید توجه داشت که این عوامل بر اساس تحولات تاریخی بیان نشده‌اند و بیشتر در بستری مفهومی مورد پیگیری قرار گرفته‌اند.

۱-۲) دستگاه اندازه‌گیری

شاید در نظر اول به نظر برسد که این رمبش توسط دستگاه اندازه‌گیری انجام گرفته است. اما فون نویمان نشان داد که اگر ذرات میکروسکوپی از مکانیک کوانتومی پیروی کنند و از آنجا که دستگاه متشکل از این ذرات است، بنابراین دستگاه اندازه‌گیری خود نیز از مکانیک کوانتومی پیروی می کند و نمی تواند عامل این رمبش باشد. بعبارتی فون نویمان، موجود کوانتومی و دستگاه اندازه‌گیری را در یک سطح قرار می‌دهد و هر دو را محکوم به پیروی از مکانیک کوانتومی می‌داند[۱۱].

البته این امکان هم هست که بگوییم وسایل اندازه‌گیری از فیزیک کلاسیک تبعیت می کنند در این صورت سؤال مطرح می‌شود که مرز میان کلاسیک و کوانتوم کجاست؟ و بعلاوه ما شاهد تجربی بر وجود این چنین مرزی نداریم. در این صورت جهانشمولی مکانیک کوانتومی مورد سؤال قرار می‌گیرد، و این چیزی نیست که فیزیکدانان کوانتومی به آن راضی باشند.

۱-۳) ناظر ذیشعور[1]

امکان دیگری هم وجود دارد که رمبش صورت نگیرد تا آنکه ما به آن دست یابیم، به عبارت دیگر رمبش توسط ناظر ذیشعور رخ دهد. یک استدلال که به نفع این نظریه ارائه شده این است که رمبش و تصمیم گیری، هردو، اطلاعات را اضافه می کنند و در هر دو مورد چیزی که قبلاً ناشناخته بود، شناخته می‌شود. در اینجا بیان می‌شود به همان صورت که در تمامی فیزیک عمل و عکس‌العمل با هم رخ می دهند در این جا هم چون مغز روی جهان فیزیکی اثر می گذارد، پس عکس آن نیز باید رخ دهد و جهان نیز روی مغز ما به صورت رمبش اثر می‌گذارد. نتیجه چنین نظریه‌ای این است که هرگز چیزی رخ نمی دهد تا آنکه وارد مغز هوشیار شود. قهرمان این نظریه ویگنر[2] است مسئله جایگاه شعور مشاهده‌گر در مکانیک کوانتومی و تأثیر آن بر رمبش تابع موج را شاید بتوان در قالب ایده‌ی پارادوکس دوست ویگنر مطرح کرد. مشکل این فرض وقتی واضحتر می شود که توجه کنیم در صورت صحت این نظریه، باید در زمانهای اولیه که موجودات ذیشعور حضور نداشتند، حادثه‌ای رخ نداده باشد و لذا ویگنر بعداً نظریه‌اش را تعدیل و بیان کردکه سیستمهای پیچیده فاقد شعور نیز می‌تواند سبب رمبش شوند[۱۲].

[1] Sentient observer
2 E. Wigner

امکان دیگری هم هست که این مشاهده آگاهانه توسط ناظر خارج از جهان فیزیکی (مثلاً خدا) انجام شود و البته این نظریه متافیزیکی در میان فیزیکدانان طرفدار زیادی ندارد.

چنین تعبیر کوانتومی که وجود ناظر را برای اندازه‌گیری لازم می‌داند "تعبیر کپنهاگی" است، در این تعبیر تنها راهی که بتوان از سیستم کوانتومی اطلاعات بدست آورد را اندازه‌گیری می-داند؛ بنابراین باید در این جا بین دستگاهای ماکروسکوپی و دنیای میکروسکوپی کوانتومی تفاوت گذاشت. اما براستی مرز بین این دو دنیای ماکروسکوپی و میکروسکوپی گذاشت؟

در تبعیر کپنهاگی نتایج ممکن اندازه‌گیری را شیء و دستگاه اندازه‌گیری با هم تعیین می-کنند و نمی‌توان خواصی رابه شیء تا قبل از اندازه‌گیری نسبت داد. پس با این وجود تا وقتی اندازه‌گیری صورت نگرفته نمی‌توان پی به وجود شیء کوانتومی برد[۱۳].

۱-۴) متغیرهای پنهان[1]

راه‌حل دیگر برای مسئله رمبش توسل به متغیرهای پنهان است. می‌دانیم حالت‌هایی که در مکانیک کوانتومی استاندارد تعریف می‌شوند دارای مقادیر مشخصی برای متغیرها نیستند؛ بلکه به نوعی روی آنها متوسط‌گیری شده است. اما ما می‌دانیم برای اینکه نتایج آزمایش به صورت یگانه تعریف شود باید این مقادیر دارای مقدار مشخصی باشند. به دلیل همین احتمالی بودن مکانیک کوانتومی استاندارد است که تابع موج توصیفگر کاملی برای سیستم کوانتومی نیست.

مدافعان نظریه متغیرهای پنهان معتقدند که با دست یافتن به متغیرهای پنهان به نظمی در سطح زیر کوانتومی می‌رسند، چنانکه در این سطح حالت سیستم پس از اندازه‌گیری به طور یگانه تعیین می‌شود و در اینجا به یک مکانیک کوانتومی غیراحتمالی دست می‌یابیم:

$$\text{متغیرهای‌پنهان} + \sum_{m=1}^{n} a_m |\psi_m^S\rangle \; |\psi^A[A_m]\rangle \longrightarrow \text{مکانیک‌کوانتوم‌غیررمبشی} \qquad (1-4)$$

مزیت مهم نظریه حاوی متغیرهای پنهان این است که موجبیتی است و همچنین نیازی به ناظر برای رمبش تابع موج ندارد، زیرا در اینجا دیگر رمبشی صورت نمی‌گیرد[۱۴].

[1] Hidden variables

۱-۵) ناهمدوسی[1]

در ۱۹۷۰ زه[2] نشان داد که معادله شرودینگر خود مسبب یک نوع اثر سانسوری است، این اثر تحت عنوان ناهمدوسی بیان شد و در دهه‌های بعدی توسط ژورک[3] با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار گرفت.

ژورک متعقد است که محیط عامل تأثیر گذار در رسیدن به یک نتیجه کلاسیکی می‌شود به عبارتی برخورد ساده‌ای حتی با یک فوتون یا مولکول‌های هوا کافی است که مسبب اثری رمبشی شود. در نظریه ژورک به جای توابع موج از ماتریس‌های چگالی[4] استفاده شده است و در آن حالت کوانتومی یعنی حالت خالص[5] در اثر برهم‌کنش با محیط به حالت کلاسیکی یعنی حالت مخلوط[6] تبدیل می‌شود.

ژورک مسئله ناهمدوسی را به این صورت توضیح داد که ما در عمل با هیچ سیستم بسته‌ای (به جز کل عالم) روبه‌رو نیستیم و همه سیستم‌هایی که با آنها سروکار داریم در محیطی با بینهایت درجه آزادی قرار دارند و بنابراین با آن برهم‌کنش انجام می‌دهند. این برهم کنش باعث می‌شود که هر حالت خالص پس از مدتی به حالت مخلوط رمبش یابد که این حالت‌های مخلوط همان حالت‌های ممکن کلاسیکی هستند، چرا که هرگونه همبستگی[7] بین اجزا مختلف این حالت‌ها منتفی است. خلاصه آنکه ژورک دخالت محیط به عنوان سیستمی با بینهایت درجه آزادی در عمل اندازه‌گیری را اثر ناهمدوسی نامید[۱۵].

۱-۶) فرمالیزم حالت نسبی[8]

فرمالیزم حالت نسبی که در ۱۹۵۷ توسط دانشجوی دوره دکترای دانشگاه پرینستون[9] هاف اورت[10] معرفی شد، تلاشی برای حل مسئله اندازه‌گیری است. به این صورت، که اورت پیشنهاد کرد باید اصل موضوعه رمبش را از فرمالیزم مکانیک کوانتومی حذف کرد.

---

1 Decoherence
2 Zeh
3 Zurek
4 Density matrix
5 Pure state
6 Mixed state
7 Correlation
8 Relative state formulation
9 Princeton university
10 Hugh Everett III

مطابق با اورت، در مکانیک کوانتومی استاندارد یا به عبارتی مکانیک کوانتومی رمبشی همیشه لازم است ناظری خارج از سیستم در نظر گرفته شود و بنابراین نمی‌توانست حالتی که شامل ناظر یا به عبارتی عامل رمبش را توضیح بدهد. اورت ناظر را هم جزئی از سیستم در نظر گرفت[۱۶].

باید این نکته را در نظر داشت که مسئله رمبش تا این زمان راه‌حلی که مورد قبول همه فیزیکدانان باشد نیافته است واین پیشنهاد اورت مانند سایر راه‌حل‌های رمبش مدافع و مخالف-هایی دارد و در این پایان‌نامه سعی بر این است که این فرمالیزم را به صورت جزئی‌تر مورد بررسی قرار دهیم.

هرچند در طی این پایان‌نامه برخی از مسائل از منظر تاریخی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند، اما رویکرد اصلی بررسی مفهومی است نه تاریخی و لذا در بسیاری از موارد لزوماً پایبند به تحولات تاریخی نبوده‌ایم..

این پایان‌نامه دارای فصول زیر است:

۲. فرمالیزم حالت نسبی اورت

در این فصل سعی شده است یکی از راهکارهای جالب برای حل مسئله اندازه‌گیری که توسط اورت ارائه شده را با جزئیات بیشتر مورد بررسی و تحلیل قرار دهیم.

۳. تفسیر بس جهانی

در این فصل تفسیر بس جهانی که یکی از رایج‌ترین بازسازی‌های انجام شده روی فرمالیزم حالت نسبی اورت است مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۴. نقد و تحلیل تفسیر بس جهانی

در این فصل با توجه به مشاهدات کوانتومی تفسیر بس جهانی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۵. آزمایش‌هایی برای تأیید تفسیر چند جهانی

در این فصل آزمایش‌های ذهنی و اپتیکی که برای تأیید تفسیر بس جهانی و ارتباط بین جهان‌ها ارائه شده را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

فصل دوم

فرمالیزم حالت نسبی اورت

ویلیام جیمز

بنابراین نظریه‌ها ابزار می‌شوند، نه پاسخهایی به رازها (و معماها) ، ما بدانها اتکا می‌کنیم ... آنها تنها زبانهایی بشر ساخت هستند، همانطور که برخی آنرا یک خلاصه‌نویسی مفهومی می‌نامند، که ما گزارشهایمان از طبیعت را بر اساس آنها می‌نویسیم؛ و زبانها، همان‌طور که مشخص است، انتخاب بیانها و لهجه‌های مختلفی را تحمل می-کنند[۱۱].

نیلز بور

در واقع از دیدگاه فعلی ما، فیزیک را نباید مطالعه‌ی چیزی دانست، بلکه باید آن را وسیله‌ای دانست که می‌تواند روشهایی برای بررسی و تنظیم تجارب انسانی بوجود آورد. از این لحاظ وظیفه ماست که این تجارب را به نحوی مستقل از ذهنیات افراد و بنابراین به صورت عینی توضیح دهیم، یعنی به نحوی که بتوان آنرا بدون ابهام به زبان معمولی بشر به افراد دیگر منتقل کرد[۱۱].

۲-۱) مقدمه

اورت فرمالیزم حالت نسبی و به عبارت بهتر فرمالیزم غیر رمبشی‌اش را هنگامیکه دانشجوی دوره دکترای جان وایلر[1] در دانشگاه پرینستون بود ارائه و فرمول‌بندی کرد. فرمالیزم حالت نسبی وی تلاشی برای حل مسئله اندازه‌گیری است، به این صورت که اورت بیان کرد باید اصل موضوعه رمبش را از تئوری استاندارد مکانیک کوانتومی حذف کرد.

[1] John A. Wheeler

مشکل اصلی طبق نظر اورت این بود که در فرمالیزم رمبشی استاندارد همیشه لازم است ناظر به صورت سیستم خارجی در نظر گرفته شود. بنابراین نمی‌توانست حالتی که ناظر جزئی از سیستم است را توجیه کند، این مشکل زمانی حادتر می‌شد که فرمالیزم رمبشی نمی توانست برای کل عالم یعنی زمانیکه همه ناظران را شامل می‌شد به کار رود. در این جا همچنین ادعا می‌شود فرمالیزمی از تئوری کوانتوم ارائه می‌شود که برای نسبیت عام نیز کاربرد دارد[۱۷].

این تئوری فرمالیزم استاندارد مکانیک کوانتومی را رد یا تکذیب نمی‌کند بلکه آن را به صورت فرمالیزمی جدیدتر و کلی تر بیان می‌کند، که می‌توان تفسیر استاندارد را نیز از آن استنتاج کرد، به طوریکه می‌توان بیان کرد رابطه این فرمالیزم با فرمالیزم قبلی مانند متاتئوری با تئوری است و البته این تئوری بنیادی‌تر است.

در این جا اصل موضوعه ویژه در تئوری قبلی یعنی " مشاهده[۲]" حذف می‌شود. قبل از بررسی این تئوری جدید لازم است فرمالیزم استاندارد را به طور مختصر مورد بررسی قرار داد تا علت این اصلاح و بازنگری فهمیده شود[۱۶].

۲-۲) حوزه کاربرد فرمالیزم "استاندارد(مشاهده خارجی)"

در این فرمالیزم، سیستم فیزیکی به طور کامل توسط تابع حالت ψ توصیف می شود. ψ مؤلفه‌ای از فضای هیلبرت است و اطلاعاتی که به ما می‌دهد در حد مشخص کردن احتمالات نتایج مشاهده مختلف که روی سیستم توسط مشاهده خارجی صورت می‌گیرد. تابع ψ مشخصه‌ای عینیتی از سیستم است یعنی مستقل از حالت دانش ما از آن سیستم ایزوله است. از طرفی دو راه مختلف برای تغییر تابع حالت ψ در فرمالیزم استاندارد(مشاهده خارجی) وجود دارد:

[2] Observation

فرآیند۱: تغییر گسسته که به وسیله مشاهده کمیتی با ویژه حالتهای $\varphi_1, \varphi_2, \ldots$ اعمال می‌شود که در این صورت حالت ψ به حالت φ_j، با احتمال $\left|\left\langle\psi\middle|\varphi_j\right\rangle\right|^2$ تغییر خواهد کرد.

فرآیند۲: تغییر پیوسته و موجبیتی که حالت سیستم ایزوله با زمان مطابق معادله موج $\frac{\partial\psi}{\partial t} = A\psi$ متحول می‌شود؛ که در اینجا A عملگری خطی است.

این فرمالیزم به خوبی تجربه را توصیف می‌کند وهیچ گواه و مدرک تجربی برای تکذیب آن وجود ندارد. اما همه موقعیت‌های متصور داخل چهارچوب این فرمالیزم قرار نمی‌گیرد و همچنین مشخص نیست که چه زمانی کدام یک از فرایندهای تغییر حکم‌فرماست. بعبارتی تا زمانیکه سیستم فیزیکی تنها شامل ناظر و سیستم شیء باشد مسئله کاملاً با صحبت‌های بالا سازگار است، اما موقعیت کاملاً متناقض می‌شود اگر ما حضور بیشتر از یک ناظر را در نظر بگیریم. برای روشن‌تر شدن مسئله موردی را در نظر می‌گیریم که ناظر A اندازه‌گیری روی سیستم S انجام می‌دهد و ناظری دیگر، B، عمل اندازه‌گیری را روی سیستم کلی $A + S$ انجام می‌دهد. در اینجا اگر B توصیف کوانتومی از $A + S$ بدهد بنابراین برای آن تابع حالت ψ^{A+S} را در نظر می‌گیریم، تا زمانیکه B با $A + S$ برهم‌کنش نکرده است حالتش مطابق فرایند ۲ تغییر می‌کند حتی اگر A روی S اندازه‌گیری انجام دهد. از دید B هیچ چیزی شبیه فرایند ۱ نمی‌تواند رخ دهد واینجا مسئله اعتبار استفاده A از فرایند۱ در اندازه‌گیری‌اش مطرح می‌شود یا تابع حالت B باید توصیفی نادرست از چیزی که برای $A + S$ اتفاق می‌افتد ارائه دهد.

در ساده‌ترین حالت سیستم ایزوله‌ای شامل ناظر، دستگاه اندازه‌گیری و سیستم شیء را در نظر می‌گیریم(شکل (۱-۲)):