



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم انسانی

رشته فلسفه - منطق فلسفی

عنوان پایان نامه:

ساختار نحوی و معنایی، و ملاحظات فلسفی در منطق کوانتومی

دانشجو: سیاوش اسدی

استاد راهنما: دکتر لطف الله نبوی

استاد مشاور: دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف

فروردین ۱۳۹۰

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



باسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیات داوران نسخه نهایی پایان خانم / آقای سیرش اسدی تحت عنوان: ساختار نوکی و معنایی و ملاحظات فلسفی در منطق کراسوفی را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر لطف الله بزرگی	دانشیار	
۲- استاد مشاور	دکتر غلامحسین رحیمی شویان	دانشیار	
۳- استاد ناظر (داخلی)	دکتر محمد باقری	دانشیار	
۴- استاد ناظر (خارجی)	دکتر دادرز حسین	دکتر تخصصی	
۵- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد علی محمدی	دانشیار	

## آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده 1- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده 2- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده 3- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه های مصوب انجام شود.

ماده 4- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده 5- این آیین‌نامه در 5 ماده و یک تبصره در تاریخ 87/4/1 در شورای پژوهشی و در تاریخ 87/4/23 در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید

«اینجانب، سیاوش اسدی، دانشجوی رشته فلسفه - منطق ورودی سال  
تحصیلی 1387

مقطع کارشناسی<sup>۲</sup> دانشکده علوم انسانی متعهد می شوم کلیه نکات مندرج  
در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های  
علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از  
پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد  
آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از  
طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه  
امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به  
جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم  
نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: ... سیاوش اسدی

... سیاوش اسدی

تاریخ: ۹۰/۱/۱۶

.....

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

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیت های علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده 1: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده 2: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته فلسفه - منطق است که در سال 1390 در دانشکده علوم انسانی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر لطف الله نبوی، مشاوره جناب آقای دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف از آن دفاع شده است.»

ماده 3: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده 4: در صورت عدم رعایت ماده 3، 50% بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده 5: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده 4 را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده 6: اینجانب سیاوش اسدی دانشجوی رشته فلسفه - منطق مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: سیاوش اسدی

تاریخ و امضا: ۹/۱۱/۹۰

اسدی

تقديم به:

با تشکر و قدردانی از:

استاد عزیز و بزرگوار، دکتر لطف الله نبوی که صفات متعالی معلّمی را در وجود ایشان متبلور دیدم و منطق انسانیت را از او آموختم. بی شک دورانی که در محضر آن وجود عزیز به تلمذ مشغول بودم، از بهترین خاطرات عمرم محسوب می شود. خالصانه ترین درودهایم نثارش باد.

استاد دکتر غلامحسین رحیمی شعریاف، که رأفت و جدیت را درهم آمیخته و تجسمی از علم و صداقت است. وجودش برای این حقیر غنیمتی ارزشمند بوده و هست. ای کاش قابلیتی در خور شاگردیش داشتم تا از برکات وجودش بیش از این بهره می بردم.

استاد دکتر سید محمد باقری، که در نخستین ملاقات، نشانه های اخلاقی متعالی در او هویدا بود و در محضرش، صمیمیت و خلوص فوران می کرد. هرچند طول زمان ملاقاتش بسیار اندک بود، عرض و عمق این دیدار به اندازه تمام ارادات خالصانه ام، وسیع بود.

استاد دکتر داوود حسینی، که با همه مشغله هایش، زحمت داوری پایان نامه این حقیر را پذیرفته است. از خدای متعال توفیقات روز افزون این عزیز را خواستارم.



## چکیده:

منطق کلاسیک در نظریه‌ی کوانتوم با چالش‌هایی مواجه می‌شود که از آن جمله می‌توان به پارادوکس دوشکاف، پارادوکس فون نیومن، پارادوکس گربه‌ی شرودینگر و پارادوکس EPR اشاره کرد. در این پایان‌نامه ضمن بررسی این پارادوکس‌ها، رابطه‌ی میان آن‌ها را نیز مورد بحث قرار می‌دهیم و نشان می‌دهیم که در حقیقت، پارادوکس‌های دوشکاف، گربه‌ی شرودینگر و EPR به نکته‌ی واحدی اشاره دارند که همان مفهوم برهم‌نهی یا سرش‌تگی پدیده‌های کوانتومی است. بیان فون نیومن نیز در واقع تعبیر ریاضیاتی این پارادوکس‌هاست و هر سه‌ی آن‌ها را پوشش می‌دهد. پس از بیان ناکارآمدی منطق کلاسیک در حوزه کوانتوم، ساختارهای نحوی و معنایی منطق کوانتومی دو ارزشی، سه ارزشی و فازی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این پایان‌نامه، تاکید اصلی برای معرفی ساختارهای نحوی، بر شناسایی روش استنتاج طبیعی است و ساختارهای معنایی شاخه‌های متفاوت منطق کوانتومی، هم به روش جبری و هم کریپکیایی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در انتها به ملاحظات فلسفی در منطق کوانتومی می‌پردازیم و نشان می‌دهیم که ضمن قبول عدم قطعیت در جهان زیر اتمی، می‌توان از واقع‌گرایی و اصل علیت در حوزه کوانتوم دفاع کرد. با پذیرش دیدگاه واقع‌گرایی، می‌توان در مورد صدق، نظریه‌ی تطابق یا طرح تارسکی را در حوزه کوانتوم معتبر دانست.

## واژگان کلیدی:

پارادوکس دوشکاف، پارادوکس فون نیومن، پارادوکس گربه‌ی شرودینگر، پارادوکس EPR، منطق کوانتومی، تحقق جبری، تحقق کریپکیایی، واقع‌گرایی، صدق در نظریه کوانتوم، علیت در نظریه کوانتوم

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات پژوهش.....
۱	۱-۱. مقدمه.....
۱۳	۱-۲. طرح مساله.....
۱۳	۱-۲-۱. مسائل حوزه منطقی.....
۱۳	۱-۲-۲. مسائل حوزه فلسفی.....
۱۳	۱-۳. فرضیه‌ها.....
۱۵	۱-۴. ضرورت طرح موضوع.....
۱۶	۱-۵. روش انجام تحقیق.....
۱۶	۱-۶. پیشینه تحقیقات و جنبه‌های نوآوری.....
۲۴	فصل دوم: پارادوکس‌های منطق کلاسیک در حوزه کوانتوم.....
۲۵	۲-۱. پارادوکس دو شکاف.....
۲۶	۲-۱-۱. صورت‌بندی منطقی پارادوکس دو شکاف.....
۲۹	۲-۱-۲. نقادی بر تقریر گیبینز.....
۳۳	۲-۱-۳. تقریر احتمالاتی پارادوکس دو شکاف.....
۳۹	۲-۲. پارادوکس فون نیومن.....
۳۹	۲-۲-۱. فضای هیلبرتی.....
۴۰	۲-۲-۲. فضای نرم دار.....

۴۰	.....۲-۲-۱-۲. فضای باناخ
۴۱	.....۲-۲-۱-۳. فضای ضرب داخلی
۴۱	.....۲-۲-۱-۴. فضای هیلبرتی
۴۱	.....۲-۲-۱-۵. زیرفضاهای بسته در فضای هیلبرتی
۴۲	.....۲-۲-۱-۶. سیستم‌های ارتو نرمال
۴۲	.....۲-۲-۲. پارادوکس فون نیومن
۴۸	.....۲-۳. پارادوکس گربه شرودینگر
۵۲	.....۲-۳-۱. تقریر دیگر از پارادوکس گربه
۵۳	.....۲-۳-۲. نقش اصل عدم اجتماع نقیضین در پارادوکس گربه
۵۴	.....۲-۴. پارادوکس EPR
۵۴	.....۲-۴-۱. آزمایش EPR
۵۵	.....۲-۴-۲. موضعیت
۵۶	.....۲-۴-۳. نظریه متغیر مخفی و قضیه بل
۵۷	.....۲-۴-۴. همبستگی‌های شبه EPR
۵۸	.....۲-۴-۵. بررسی چالش منطق کلاسیک
۶۰	.....۲-۴-۶. همبستگی‌های شبه EPR در جهان ماکروسکوپی
۶۲	.....۲-۵. ارتباط پارادوکس‌های چهارگانه با یکدیگر
۶۵	..... فصل سوم: منطق کوانتومی دو ارزشی
۶۶	.....۳-۱. دو سیستم OL و OQL از QBL
۶۹	.....۳-۲. ساختار نحوی OL و OQL

- ۶۹..... ۱-۲-۳. روش استنتاجی طبیعی در **OL**.....
- ۶۹..... ۱-۱-۲-۳. زبان **OL**.....
- ۷۱..... ۲-۱-۲-۳. دستگاه استنتاجی **OL**.....
- ۷۴..... ۲-۲-۳. روش اصلی موضوعی **OL** و **OQL**.....
- ۷۵..... ۱-۲-۲-۳. زبان **OL**.....
- ۷۶..... ۲-۲-۲-۳. دستگاه استنتاجی **OL**.....
- ۷۸..... ۳-۳. ساختار معنایی **OL**.....
- ۷۹..... ۱-۳-۳. شبکه‌ی متعامد غیرپخشی.....
- ۸۱..... ۲-۳-۳. تحقق جبری **OL**.....
- ۸۱..... ۳-۳-۳. صدق و صدق منطقی.....
- ۸۲..... ۴-۳-۳. نتیجه‌ی منطقی.....
- ۸۳..... ۵-۳-۳. تعبیر ادات ربط منطقی در **OL**.....
- ۸۳..... ۶-۳-۳. تطبیق معناشناسی کریپکی بر سیستم **OL**.....
- ۸۷..... ۱-۶-۳-۳. تعبیر ادات ربط در **OL**.....
- ۸۸..... ۲-۶-۳-۳. ارتباط معناشناسی‌های جبری و کریپکیایی.....
- ۸۹..... ۴-۳. ساختار معنایی **OQL**.....
- ۹۰..... ۵-۳. تعبیر فیزیکی معناشناسی **QBL**.....
- ۹۲..... ۶-۳. استلزام در **QBL**.....
- ۹۲..... ۱-۶-۳. رابط استلزام.....
- ۹۳..... ۲-۶-۳. تفاوت‌های معناشناختی ادات استلزام.....

- ۹۶..... استلزام اکید. ۳-۶-۳
- ۹۷..... ادات ربط انتاج. ۴-۶-۳
- ۹۸..... **QBL** در فرا نظریه. ۷-۳
- ۹۸..... ۱-۷-۳. چند تعریف در فرانظریه ی **QBL**.
- ۹۹..... ۲-۷-۳. فراقضیه ی صحت یا بهنجاری.....
- ۹۹..... ۳-۷-۳. فرا قضیه ی تمامیت.....
- ۱۰۱..... ۴-۷-۳. فرا نظریه **OQL**.....
- ۱۰۳..... ۸-۳. منطق کوانتومی محمولی.....
- ۱۰۴..... ۱-۸-۳. زبان صوری.....
- ۱۰۴..... ۱-۱-۸-۳. واژگان.....
- ۱۰۴..... ۲-۱-۸-۳. تعاریف.....
- ۱۰۵..... ۲-۸-۳. دستگاه استنتاجی.....
- ۱۰۵..... ۱-۲-۸-۳. اصول موضوعه.....
- ۱۰۵..... ۲-۲-۸-۳. قواعد استنتاج.....
- ۱۰۶..... ۳-۸-۳. ساختار معنایی.....
- ۱۰۶..... ۱-۳-۸-۳. تعبیر ادات منطقی.....
- ۱۰۸..... ۲-۳-۸-۳. تحقق کریپکیایی محمولی برای **OL**.....
- ۱۰۹..... ۳-۳-۸-۳. تعبیر ادات منطقی در تحقق کریپکیایی.....
- ۱۱۰..... ۴-۸-۳. فرانظریه منطق محمولات کوانتومی.....
- ۱۱۰..... ۹-۳. منطق کوانتوی موجهاتی.....

- ۱۱۰..... ۳-۹-۱. زبان صوری.....
- ۱۱۰..... ۳-۹-۱. واژگان.....
- ۱۱۱..... ۳-۹-۲. قواعد ساخت.....
- ۱۱۱..... ۳-۹-۳. تعاریف.....
- ۱۱۲..... ۳-۹-۲. دستگاه استنتاجی.....
- ۱۱۲..... ۳-۹-۲-۱. اصول موضوعه.....
- ۱۱۲..... ۳-۹-۲-۲. قواعد استنتاج.....
- ۱۱۲..... ۳-۹-۳. ساختار معنایی.....
- ۱۱۴..... ۳-۹-۴. سیستم *OQL* موجهاتی.....
- ۱۱۵..... فصل چهارم: منطق‌های کوانتومی غیر دو ارزشی.....
- ۱۱۶..... ۴-۱. منطق کوانتومی سه ارزشی.....
- ۱۱۹..... ۴-۱-۱. چند تعریف مهم.....
- ۱۲۲..... ۴-۱-۲. ساختار نحوی منطق کوانتومی سه ارزشی.....
- ۱۲۲..... ۴-۱-۲-۱. زبان *LMT*.....
- ۱۲۴..... ۴-۱-۲-۲. دستگاه استنتاجی *LMT*.....
- ۱۲۵..... ۴-۱-۳. ملاحظات معنایی در *LMT*.....
- ۱۲۶..... ۴-۱-۳-۱. معناشناسی ادات نقض.....
- ۱۲۷..... ۴-۱-۳-۲. معناشناسی ادات شرط.....
- ۱۲۸..... ۴-۱-۳-۳. معناشناسی ادات فصل.....
- ۱۲۸..... ۴-۱-۳-۴. معناشناسی ادات عطف.....

- ۱۲۹.....۴-۱-۳-۵. معناشناسی ادات دو شرطی.....
- ۱۳۰.....۴-۱-۳-۶. معناشناسی ادات نفی.....
- ۱۳۰.....۴-۱-۳-۷. معناشناسی ادات صدق.....
- ۱۳۱.....۴-۱-۳-۸. معناشناسی ادات کذب.....
- ۱۳۱.....۴-۱-۳-۹. معناشناسی ادات تصمیم‌ناپذیری.....
- ۱۳۳.....۴-۱-۴. تفاوت‌های سیستم *LM* و *LMT*.....
- ۱۳۶.....۴-۲. منطق کوانتومی فازی.....
- ۱۳۶.....۴-۲-۱. منطق *BZL*.....
- ۱۳۷.....۴-۲-۲. ساختار نحوی *BZL*.....
- ۱۳۷.....۴-۲-۲-۱. زبان *BZL*.....
- ۱۳۸.....۴-۲-۲-۲. دستگاه استنتاجی *BZL*.....
- ۱۳۹.....۴-۲-۳. ملاحظات معنایی در *BZL*.....
- ۱۳۹.....۴-۲-۳-۱. تحقق جبری *BZL*.....
- ۱۴۰.....۴-۲-۳-۲. تحقق کریپکیایی *BZL*.....
- ۱۴۴..... فصل پنجم: ملاحظات فلسفی در منطق کوانتومی.....
- ۱۴۵.....۵-۱. واقع‌گرایی و ضد واقع‌گرایی.....
- ۱۴۹.....۵-۱-۱. واقع‌گرایی در حوزه‌ی کوانتوم.....
- ۱۵۲.....۵-۱-۲. واقع‌گرایی و عدم قطعیت.....
- ۱۵۶.....۵-۲. صدق و کذب در حوزه‌ی کوانتوم.....
- ۱۶۳.....۵-۳. منطق کوانتومی واقع‌گرا.....

۱۶۳.....	۱-۳-۵ . تعبیر شرارت آمیز.....
۱۶۷.....	۲-۳-۵ . تعبیر عملی.....
۱۶۹.....	۴-۵ . منطق کوانتومی غیرواقع گرا.....
۱۷۱.....	۵-۵ . علیت در حوزه‌ی کوانتوم.....
۱۷۲.....	۱-۵-۵ . اصل علیت و خواص کوانتومی.....
۱۷۵.....	فصل ششم: نتیجه‌گیری.....
۱۷۶.....	۱-۶ . جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....
۱۸۱.....	۲-۶ . ارائه‌ی پیشنهادها.....
۱۸۳.....	فهرست منابع و مآخذ.....
۱۸۹.....	واژه‌نامه.....



# فصل اول

## کلیات پژوهش

- مقدمه
- طرح مسأله
- فرضیه‌ها
- ضرورت طرح موضوع
- روش انجام تحقیق
- پیشینه تحقیقات و جنبه‌های نوآوری

دوران فیزیک کلاسیک با نظریه‌ی خورشید مرکزی کپرنیک در قرن شانزدهم آغاز شد و بعدها توسط افرادی چون گالیله، نیوتن و ماکسول به اوج شکوفایی خود رسید. نفوذ فیزیک کلاسیک در میان دانشمندان به حدی رسید که در اواخر قرن نوزدهم تصور می‌شد که اصول فیزیکی حاکم بر جهان کاملاً شناخته شده است و همه چیز از مکانیک نیوتنی و نظریه الکترومغناطیس ماکسول تبعیت می‌کند. این امر موجب نوعی جزم‌گرایی فلسفی در این دوران شد و تصور نیاز به کشف قوانین بنیادین دیگری در فیزیک را بسیار کم‌رنگ ساخت.

اما در اوایل قرن بیستم و در پی توسعه تک‌نولوژی و دست‌یابی به وسایل جدید و پیچیده‌ی آزمایشگاهی، دانشمندان موفق به انجام آزمایش‌هایی شدند که بنیان‌های فیزیک کلاسیک را به لرزه درآورد. به عنوان مثال یکی از نتایج ناشی از آزمایش‌هایی دقیق بر روی الکترون‌ها این بود که یک الکترون می‌تواند در آن واحد از دو شکاف متفاوت عبور کند و این نتیجه‌ای بود که به هیچ وجه با تعبیر فیزیک کلاسیک سازگاری نداشت. همچنین آزمایش‌ها نشان دادند که در حوزه‌ی الکترون و دیگر ذرات زیر اتمی، اندازه‌گیری‌ها هرگز نمی‌توانند دقیق باشند و مدام در معرض یک عدم قطعیت بنیادین هستند. چنین نتایجی باعث به وجود آمدن نظریه‌ی نوینی در علم فیزیک شد که امروزه آن را با نام «نظریه‌ی کوانتومی» می‌شناسیم. در حقیقت فیزیک کوانتومی مانند شاخه‌های دیگر علوم تجربی، از آزمایش‌ها و مشاهدات تجربی سر بر می‌آورد، اما امروزه چنان عمیق و بسیط شده است که نه تنها از حیطه‌ی آزمایش، بلکه از حد فهم اذهان فراتر رفته است. این نظریه مفصلاً درباره‌ی محاسبات فرآیندهای زیر میکروسکوپی مطالبی ارائه می‌-

دهد، اما در عین حال از بیان یک تصویر جامع و فهم پذیر از چگونگی روی دادن این فرآیندها ناتوان است.<sup>۱</sup>

این ابهام و فهم ناپذیری فیزیک کوانتومی تا جایی است که یکی از برجسته‌ترین فیزیکدانان معاصر به نام فاینمن<sup>۲</sup> در کتاب خود با نام «ویژگی قانون فیزیکی» به صراحت اعلام می‌کند که هیچ کس نمی‌تواند مکانیک کوانتومی را بفهمد. اما دلیل این پیچیدگی و راز آلود بودن حوزه‌ی کوانتوم در چیست؟ پاسخ این سؤال از یک اصطلاح محوری در این نظریه ناشی می‌شود و آن مفهوم «موج مادی» است. خصلت دو گانه‌ی موج- ماده یا به تعبیر دیگر موج- ذره، که نخستین بار در سال ۱۹۲۴ توسط دو بروی<sup>۳</sup> مطرح شد، فیزیکدانان را وادار ساخت تا برای درک عمیق تری از آن به مباحث فلسفی تازه‌ای روی آورند و از منظری ماورای فیزیک درباره‌ی این مفهوم به بحث پردازند.

نخستین فیزیکدانان برجسته‌ای که با دیدگاهی فلسفی به بحث درباره‌ی این نظریه و خصلت دو گانه موج- ذره پرداختند، بور<sup>۴</sup> و اینشتین بودند که موضعی مخالف یکدیگر داشتند. بور واضع دیدگاهی بود که بعدها به نام مکتب کپنهاک شهرت یافت. او مدعی بود که نظریه‌ی کوانتومی، تنها نتایج اندازه گیری‌ها را پیش بینی می‌کند اما در پاسخ به این که «چرا طبیعت این گونه رفتار می‌کند» ساکت است. از سوی دیگر اینشتین به ماهیت احتمالاتی این نظریه اعتراض داشت و آن را در مخالفت با هدف علم، یعنی توصیف واقعیت به آن صورتی که هست، می‌پنداشت. جمله‌ی معروف اینشتین که «خدا تاس بازی نمی‌کند» بیانگر مخالفت جدی او با ماهیت احتمالاتی مکانیک کوانتومی است.

اما با وجود این مخالفت جدی اینشتین، به همراه اوج‌گیری اندیشه کوانتومی و طراحی آزمایش‌های پیچیده‌تر در این حوزه، ارائی راه‌کارهایی برای گذار از فیزیک کلاسیک به مکانیک کوانتومی لازم می‌نمود

---

<sup>۱</sup> . G. Greenstein and A. Zajonc, *The Quantum challenges*, Jones and Bartlett publishers, 1997 , P3

<sup>۲</sup> . Feynman

<sup>۳</sup> . De Broglie

<sup>۴</sup> . Bohr

و معرفی اصل مکملیت<sup>۱</sup> توسط بور یکی از این راهکارها بود که توسط جامعه علمی آن روز مورد پذیرش واقع شد. به خصوص در همایش پنجم سلوی که با حضور ستار گانی چون پلانک، دوبروی، دیراک، هایزنبرگ، شرودینگر، بورن، ارنفست و اینشتین برگزار شد، بور توانست تمام حضار (به جز اینشتین) را با مکملیت همراه سازد. تا جایی که ارنفست درباره‌ی سخنان بور در آن همایش نوشت:

«برتری او نسبت به همگان کاملاً مشهود بود. این برتری ابتداءً قابل درک نبود. اما آرام آرام همه را به سوی خود جلب کرد».

مخالفت اینشتین با مکانیک کوانتومی به حوزه‌ی مکملیت هم کشیده شد. او پیاپی آزمایش‌هایی ذهنی طرح می‌کرد تا بتواند خدشه‌ای بر پیکره‌ی مکملیت بور وارد کند. اما هر بار بور شبهات وارده را با دقت و تأمل پاسخ می‌گفت.

به طور خلاصه اصل مکملیت بیان می‌دارد که جسم ماهیتی دوگانه دارد؛ به گونه‌ای که ماهیت ذره ای جسم، مکمل ماهیت موجی آن است و چگونگی توصیف این مکملیت توسط محاسبات احتمالاتی انجام می‌پذیرد. در حقیقت اصل مکملیت بیان می‌دارد که ما هرگز نمی‌توانیم همه چیز را درباره‌ی یک پدیده‌ی کوانتومی بدانیم. بلکه فقط می‌توانیم نیمی از حقیقت آن را درک کنیم. مکملیت، موج و ذره را مفاهیم مانعه‌الجمع می‌داند که هرگاه آزمایش خاصی برای پدیده‌ای کوانتومی یکی را نشان دهد، دیگری وجود نخواهد داشت و این دو هیچ‌گاه بله‌هم ظاهر نمی‌شوند.

«کوانتوم کنش ما را وادار به قبول شیوه‌ی جدیدی از توصیف می‌کند که مکملیت نام گرفته است. با این مفهوم هر کاربرد مفروضی از مفاهیم کلاسیک، مانع کاربرد همزمان مفاهیم کلاسیکی دیگر می‌شود که برای تبیین پدیده‌ها در رابطه‌ی دیگر، به همان اندازه لازم است»<sup>۳</sup>.

---

<sup>۱</sup> . Complementarily principle

<sup>۲</sup> . P. Ehrenfest, "letter to S.Goudsmit, G.E. Uhlenbeck and G.H.Dieke, 3 November 1927", in *N.Bohr- Collected works*, vol 6 , by J.kalckar (ed), Amsterdam, Elsever , 1985 , P37

<sup>۳</sup> . N. Bohr, *Atomic Theory and The Description of Nature*, Cambridge: Cambridge University Press, 1961, P10