Research in Logic, Institute for Humanities and Cultural Studies (IHCS)
Biannual Journal, Vol. 12, No. 1, Spring and Summer 2021, 261-284
Doi: 10.30465/lsj.2021.36487.1366

Rejection of divisibility principle in quantum logic with respect to uncertainty principle and EPR paradox

Seyed Mahdi Mohammadi*

Abstract

From the time physicists have proposed the quantum logic, this logic is formed somehow in relation with quantum mechanics and experiences based on it. In fact, quantum mechanics and experiences gained from it assumed an approval to this logic. One of the highlights of the quantum mechanics, is uncertainty principle, which is a doctrine to reject the divisibility in quantum logic. Also EPR is assumed as a doctrine to reject the quantum mechanics. In the case of rejection of quantum mechanics, does the quantum logic also be questioned? In this paper it is shown that the uncertainty principle is rejecting the divisibility principle and EPR. The aim of this study is to show that the uncertainty principal rejects divisibility principal, and hidden-variable theory which comes after EPR paradox, known as a rival theory, (even in the case of rejection of standard quantum mechanics) doesn't reject the quantum logic. The outcome of this is that in practice quantum logic is independent of quantum mechanics, and it might be applied in areas other than quantum mechanics.

Keywords: Quantum mechanics, quantum logic, uncertainty principle, EPR paradox, principle of distributivity, hidden variable theory.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* M.Sc. Student, Department of Philosophy, Islamic Azad University, Tehran Research Sciences Branch, Tehran, Iran, sm.mohammadi@gmail.com

Date received: 13/05/2021, Date of acceptance: 11/08/2021

Copyright © 2010, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/ or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منطق‌پژوهی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
دوفصل‌نامهٔ علمی (مقالهٔ علمی ـ ترویجی)، سال دوازدهم، شمارهٔ اول، بهار و تابستان ۱۴۰۰، ۲۶۳ – ۲۸۴

رد اصل پخش‌پذیری در منطق کوانتومی با نگاهی به اصل عدم‌قطعیت و پارادوکس EPR

سیدمهدی محمدی*

چکیده

از زمانی که منطق کوانتومی توسط فیزیکدان‌ها ارائه شد این منطق به نحوی در نسبت با مکانیک کوانتومی و تجربیات حاصل از آن شکل گرفت. درواقع مکانیک کوانتومی و تجربیات حاصل از آن تأییدی برای این منطق در نظر گرفته‌شده است. یکی از بزرگ‌ترین دستاوردهای مکانیک کوانتومی اصل عدم قطعیت است که آموزه‌ای برای رد پخش‌پذیری در منطق کوانتومی می‌باشد. از سوی دیگر EPR نیز به‌عنوان آموزه‌ای برای رد مکانیک کوانتومی استاندارد ارائه‌شده است. حال آیا در صورت رد مکانیک کوانتومی با EPR، منطق کوانتومی هم زیر سؤال می‌رود؟ در این مقاله به دنبال آن هستیم که نشان دهیم اصل عدم قطعیت، اصل بخش‌پذیری را رد می‌کند و نظریه متغیرهای پنهان‌که به دنبال پارادوکس EPR می‌آید هم به‌عنوان یک نظریه رقیب، حتی در صورت رد مکانیک کوانتومی استاندارد، منطق کوانتومی را رد نمی‌کند. نتیجه چنین امری این است که عملاً منطق کوانتومی مستقل از مکانیک کوانتومی کارآمد است و ممکن است در حوزه‌هایی به‌جز مکانیک کوانتومی هم به کارآید.

کلیدواژه‌ها: مکانیک کوانتومی، منطق کوانتومی، اصل عدم قطعیت، پارادوکس EPR، اصل توزیع‌پذیری، نظریه متغیرهای پنهان.

پرتال جامع علوم انسانی

* دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه فلسفه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران، تهران، ایران،
sm.mohammadi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۰

Copyright © 2018, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and Adapt the material for any purpose

۱. مقدمه

از زمـانی کـه مکانیـک کوانتـومی (Quantum mechanics) و تجربیـات غیـر کلاسـیک آن آشکار شد یکی از موضوعات اساسی مورد مناقشه، تبیین منطقی مسـائل مکانیـک کوانتـومی بوده است. ازآنجایی‌که این مسائل با ساختارهای کلاسیک هـم‌خـوانی نداشـتند پـس امکـان تبیین آن‌ها با منطق کلاسیک نیز وجود نداشت. عدم همـاهنگی میـان مکانیـک کوانتـومی و مکانیک کلاسیک، سبب ایجاد نگرش‌های جدید فلسفی در مکانیک کوانتومی شد.

در این میان مسائلی چون اصل عـدم قطعیـت (Uncertainty Principle)، اصـل مکملیـت (The principle of complementarity) و آزمایش دو شـکاف یانـگ (yangs two slit) نشـان از یک تباین آشکار در مکانیک کلاسیک و مکانیک کوانتومی داشتند. بـا بـروز ایـن اختلافـات جدی بعضی از دانشمندان بر آن شدند تا با نتایج حاصل از این پیامـدهـا مقابلـه کـرده و یـا قسمت‌هایی از آن‌ها را تصحیح و یا به‌صورت دیگری تبیین کنند تا با نگرش‌هـای رایـج مـا نسبت به مفاهیم فیزیکـی فاصـله چنـدانی نداشـته باشـند. نقـش انیشـتین (Albert Einstein) به‌عنوان بزرگ‌ترین منتقد مکانیک کوانتومی استاندارد حائز اهمیـت اسـت. او بـه‌طورجـدی به‌نقد دستاوردهای مکانیک کوانتومی پرداخت و سعی کرد با ارائه صورت‌بندی‌هـای منطقـی و آزمایش‌های ذهنی نشان دهد که یا مکانیک کوانتومی توصیف کاملی ارائه نمـی‌دهـد و یـا این‌که ناقص است.

ارائه تابع موج (Wave Function) و تعبیـر آمـاری از مکانیـک کوانتـومی باعـث شـکاف بیش‌تر میان دانشمندان شد. معانی برخاسته از تابع مـوج بـرای درک و انـدازه‌گیـری مقـادیر کوانتومی این پیامد را با خود داشت که این ابزارهای ریاضی در جهت توجیه چیـزی اسـت که نسـبت بـه آن اطلاعـات دقیقـی نـداریم و احتمـال حضـور ذره کوانتـومی را بـرای مـا مشـخص مـی‌کنـد. عـلاوه بـر آن‌کـه توجیـه مسـائل کوانتـومی بـا فیزیـک کلاسـیک امکان‌پذیر نیست این نگاه غیر واقع‌گرایانه نیز باعث تمـایز بیشـتر میـان مفـاهیم کلاسـیک و مفاهیم کوانتومی می‌شود. عدم امکان استفاده از منطق کلاسـیک بـرای پدیـده‌هـای مکانیـک کوانتومی، فیزیک‌دانان را به سـمت ایجـاد منطقـی مبتنـی بـر فضـاهای مکانیـک کوانتـومی پیش برد.

نکته مهم آن است که شاید بتوان خارج تمام این مباحث با تغییر متافیزیـک بـه گونـه‌ای معقول به مباحث جدید مطرح شـده در مکانیـک کوانتـومی پاسـخ داد، مـثلا اگـر بـا تغییـر متافیزیک، ساختار الکترون را از لحاظ وجودی، حـالتی دوگانـه در نظـر بگیـریم و منطـق را

تغییر ندهیم علی الظاهر کار مهمی انجام شده است ولی به علت ارتباط تنگاتنگ میان متافیزیک و منطق، گویا هر تغییری در متافیزیک متحمل تغییر در منطق هم می‌باشد، لذا فیزیک دان‌ها با تغییر ساختار منطقی نسبت به توضیح منطقی گزاره‌ها و استدلال‌های مکانیک کوانتومی اقدام کردند. اگر تنها با تغییر متافیزیک و نگه داشتن منطق کلاسیک می‌توانستند این گزاره‌ها و استدلال‌های جدید را توضیح دهند، بی‌شک در همان مسیر قدم می‌نهادند. اما تغییر در متافیزیک گویا همراه با تغییر در منطق خواهد بود.

دو تن از دانشمندان به نام‌های فون نیومان (John Von neumann) و بیرکهوف (George David Birkhoff) بر اساس فضاهای هیلبرت (Hilbert Space) منطق کوانتومی (Quantum logic) را تبیین کردند (Birkhoff,Neumann, 1936: 824). یکی از جنبه های نظریه کوانتوم، پیش‌فرض منطقی جدید برای آن است. هدف مقاله حاضر کشف ساختارهای منطقی است که برمبنای آن می توان در نظریه های فیزیکی مانند مکانیک کوانتومی که با منطق کلاسیک مطابقت ندار، کارآیی داشته باشد ,Birkhoff,Neumann) . (1936:823تلاش این دو دانشمند بر آن بود که با ارائه گزاره‌های کوانتومی بر اساس فضاهای هیلبرت و تعریف ادات منطقی، منطقی جدید را ارائه دهند. این منطق امکان تبیین مسائل منطقی در حیطه‌ای را فراهم کرد که گویا با فیزیک کلاسیک و منطق کلاسیک قابل‌تبیین نبود. استفاده نیومان و بیرکهوف از فضاهای هیلبرت و بسط مجموعه‌ها و نسبت‌دادن زیر فضاهای بسته هیلبرتی به هر گزاره در مکانیک کوانتومی حرکت بزرگی در جهت گسترش مفاهیم جدید منطقی بود. با گسترش منطق کوانتومی و ارائه‌ی دلایلی برای سه ارزشی بودن آن و رد اصل توزیع‌پذیری در این منطق این سؤال اساسی مطرح می‌شود که آیا این منطق با منطق کلاسیک ناسازگار است و یا این‌که در ادامه هم قرار دارند و یا یکی دربرگیرنده دیگری است. در این مقاله به دنبال آن هستیم که رد اصل توزیع‌پذیری را از دو منظر رقیب یعنی اصل عدم قطعیت و متغیرهای پنهان (Hidden variables) بررسی کنیم. از آنجا که اصل توزیع پذیری به جابه‌جایی بین ادات و گزاره ها مربوط می‌باشد در مورد عملگرهای ناسازگار در اصل عدم قطعیت و عدم امکان جابه‌جایی این عمل‌گرها، اصل توزیع پذیری ناکار آمد میباشد. در مورد تفسیر متغیر های پنهان که ادعا می‌کند این عدم قطعیت ناشی از پارامتر های بسیار ظریف و پنهانی می‌باشد و در صورت وارد کردن آن‌ها عدم قطعیت از بین خواهد رفت، پس امکان جابجایی مولفه‌های ناسازگار وجود دارد و جابجایی بین ادات منطقی و این عملگرها مانع از

اصل توزیع پذیری نمی‌باشد. در این مقاله تلاش می‌کنیم تا نشان دهیم منطق کوانتومی استقلال ذاتی از هر نوع تجربه‌گرایی دارد و بی‌نیاز از مکانیک کوانتومی استقلال خویش را حفظ می‌کند و شاید بتواند برای بخش‌های دیگر علم نیز مفید باشد. در این نوشتار بعد از معرفی اجمالی منطق کوانتومی و مکانیک کوانتومی وارد دو بحث مهم اصل عدم قطعیت و EPR می‌شویم و پس‌ازآن به اصل توزیع‌پذیری در منطق کوانتومی و نتایج آن می‌پردازیم و در تلاشیم که استقلال این منطق را از مکانیک کوانتومی تبیین کنیم.

۲. منطق کوانتومی

مبحث سه ارزشی بودن منطق سابقه طولانی دارد و با ورود تناقضی مانند پارادوکس راسل و دیدگاه مدافعان منطق شهودی مانند براوئور که اصل طرد شق ثالث را تنها برای مجموعه‌های متناهی می‌دانستند، این مباحث دوباره مطرح شدند. جان لوکا سیویچ (Jan Lukasiewicz) در سال ۱۹۲۰ مقدار ارزش میانه را ۱/۲ در نظر گرفت (Lukasiewicz, 1920: 170-171) در ادامه در سال ۱۹۳۱ زاورسکی (Zigmond Zaworski) یک منطق سه ارزشی برای مکانیک کوانتومی پیشنهاد داد. او استدلال کرد که مسئله موجی ذره‌ای مکانیک کوانتومی را می‌توان بر اساس منطقی سه ارزشی تبیین کرد زیرا این مساله که یک ذره در عین حال موج هم باشد از منظر منطق دو ارزشی قابل تبیین نیست لذا به ارزش منطقی سوم نیاز داریم چون این مساله از منظر منطق دو ارزشی درعین‌حال که گزاره‌ای خودمتناقض است، صحیح هم می‌باشد (zawirski, 1931: 6). تبیین منطقی مسئله موجی ذره‌ای پیشرفت بزرگی در ارائه منطقی مکانیک کوانتومی بود. با مشاهده برخی از آزمایش‌های جدید در فیزیک، برخی از فیزیک‌دانان پیشنهاد دادند تا اصل طرد شق ثالث در مکانیک کوانتومی رد شود (Reichenbach, 1944:145).

ایده منطق کوانتومی در ابتدا توسط بیرکهوف و فون نیومان در سال ۱۹۳۶ مطرح شد. آن‌ها در جهت کشف ساختاری منطقی برای نظریه‌های کوانتومی که با منطق کلاسیک سازگاری ندارد کار خود را آغاز کردند و نتیجه گرفتند که منطق گزاره‌های مکانیک کلاسیک از یک شبکه بولی تشکیل‌شده است یعنی با نظریه‌ی مجموعه‌ها مرتبط بوده و با بعضی از قوانین مانند قوانین جابجایی و دمورگان قابل تبیین می‌باشد. آن دو با استفاده از بردارها و عملگرهای مکانیک کوانتومی ارزش صدق گزاره‌ها را تعیین کردند و با استفاده از مجموعه مکمل‌های متعامد (Orthocomplement) نشان دادند که اتحادهای توزیع‌پذیری که

در مکانیک کلاسیک معتبراند در مکانیک کوانتومی اعتبار ندارند و این مکمل‌های متعامد را ساختار منطق کوانتومی قراردادند. این دو به هر گزاره مکانیک کوانتومی، یک زیر فضای بسته هیلبرتی نسبت دادند (Birkhoff,Neumann,1936:830-833). استفاده از فضای هیلبرت نسبت زیادی بین مکانیک کوانتومی و منطق کوانتومی ایجاد می‌کند.

در مکانیک کوانتومی برای توضیح حالات سیستم کوانتومی از تابع موج استفاده می‌شود. تابع موج دارای هویتی ریاضیاتی است که می‌توان بر اساس آن ذرات کوانتومی را به‌صورت موجی و ذره‌ای توصیف کرد ؛ به‌عبارت‌دیگر، تابع موج حالت‌های سیستم کوانتومی را بر اساس فضای هیلبرت نشان می‌دهد. هرگزاره تجربی نتیجه اندازه‌گیری‌هایی بر روی یک‌ذره کوانتومی است و تعداد سنجش‌های انجام‌شده، متناظر با یک فضای بسته هیلبرتی می‌باشد. در منطق کوانتومی از ساختار فضای هیلبرت و نظریه مجموعه‌ها برای تعریف گزاره‌ها و ادات منطقی استفاده می‌شود. بعد از آن‌که بین گزاره‌ها ادات منطقی را اعمال کردیم، نتیجه حاصل باید یک زیر فضای بسته هیلبرتی باشد به این منظور در تعریف ادات عطف چون اشتراک دو زیر فضای بسته، عملاً یک زیر فضای بسته را نتیجه می‌دهد با مشکلی روبرو نخواهیم بود ولی برای ادات وصل ممکن است اجتماع دو زیر فضای بسته، یک زیر فضای بسته نباشد، لذا از تعریفی تحت عنوان سوپریمم (Superemum) استفاده می‌کنیم. درواقع سوپریمِ دو زیر فضای بسته، کوچک‌ترین زیر فضای بسته‌ای است که شامل آن دو زیر فضا می‌باشد. نکته مهم در فصل دو گزاره این است که در استفاده از ادات فصل ممکن است نتیجه بدست‌آمده، عضو هیچ‌یک از دو زیر فضای بسته هیلبرتی قبلی نباشد ولی عضو سوپریمم آن دو فضا باشد. ممکن است هیچ‌یک از گزاره‌ها صادق نباشند اما ترکیب فصلی آن‌ها صادق باشد این مطلب، هسته مرکزی تفاوت منطق‌های کوانتومی و کلاسیک را تشکیل می‌دهد (Wilce, 2002). استفاده از فضای هیلبرت برای تبیین گزاره‌های منطق کوانتومی از خود مکانیک کوانتومی نشات می‌گیرد لذا مکانیک کوانتومی با ساختارهای کلاسیک متفاوت است. البته با تقریب، بخش‌هایی از مکانیک کلاسیک را می‌توان بر اساس مکانیک کوانتومی توضیح داد. به‌عبارت‌دیگر مکانیک کلاسیک یک حالت حّدی از مکانیک کوانتومی می‌باشد. حال منطق کوانتومی نیز ازنظر سمنتیک (Semantic) و پرگماتیست (Pragmatist) می‌تواند با منطق کلاسیک متفاوت باشد که این تفاوت‌ها، شامل معنی ادات منطقی، قضایا و ساختار صوری می‌باشد.

ساختار صوری منطق کلاسیک مبتنی بر جبر بولی و ساختار صوری منطق کوانتومی براساس مکمل‌های متعامد می‌باشد در این ساختار نظریه مجموعه‌ها به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای تبیین ادات و معناشناختی خودِ گزاره‌ها استفاده می‌شود لذا قوانین مربوط به نظریه مجموعه‌ها به‌صورت بخش مهمی از منطق کوانتومی مطرح می‌شود. حال اگر یکی از اصول این نظریه در این منطق رد شود بررسی و نتایج معرفت‌شناختی و نتایج آن‌ها حائز اهمیت می‌باشد. مسئله دیگر این است که فیلسوفانی چون پاتنم منطق را مانند هندسه امری تکاملی و مبتنی بر تجربه‌ی صدق ضروری برمی‌شمارند. در واقع پاتنم منطق را امری پسینی می‌داند که صدق آن مبتنی بر تجربه می‌باشد(Putnam, 1969:220) . ازآنجاکه یکی از آموزه ها برای مکانیک کوانتومی استاندارد، در جهت رد اصل عدم قطعیت و تعبیر آماری از کوانتوم، EPR و مبحث متغیرهای پنهان است و در عین حال یکی از نتایج اصول موضوعه مکانیک کوانتومی استاندارد، اصل عدم قطعیت می‌باشد لذا این اصل و EPR شرایط تجربی کافی برای صدق ضروری در منطق کوانتومی می‌باشند.

بعضی از منطق‌دانان مانند دامت منطق کوانتومی را در ادامه منطق کلاسیک می‌دانند (Dummett, 1978: 277) و بعضی دیگر مانند کریپکی آن را تفسیری جدید از منطق کلاسیک می‌دانند (Stairs, 2015: 30) و عده‌ای هم مانند ون فراسن با رد معنای سه ارزشی بودن منطق کوانتومی آن را خوانش جدیدی از همان منطق کلاسیک می‌دانند (Van Fraassen, 1974: 240) . در این میان هیلاری پاتنم با رد منطق کلاسیک و ناسازگاری آن با جهان فیزیکی مکانیک کوانتومی را یک دلیل تجربی برای منطق کوانتومی درنظر می‌گیرد (Putnam, 1957: 75). او می‌گوید ما در جهانی غیر کلاسیک زندگی می‌کنیم و با توجه به دلایل تجربی بیان می‌کند که برخی از صدق‌های ضروری منطق کلاسیک کاذب هستند لذا به منطق دیگری احتیاج داریم (Putnam, 1969: 220). پاتنم با اشاره به هندسه اقلیدسی و نااقلیدسی و رد هندسه اقلیدسی در مورد مباحث جدید علمی مانند فضاهای خمیده در پی اثبات این موضوع است که با تکیه بر منطق غیر کلاسیک می‌توان قوانین کوانتومی را شرح داد (Stairs, 2015: 23) منطق کوانتومی به‌عنوان یک منطق سه ارزشی تفاوت‌های ساختاری و معناشناختی زیادی با منطق کلاسیک دارد. پاتنم علاوه‌بر ارزش صادق و کاذب، ارزش میانه (Middle Value) را هم به منطق کوانتومی اضافه کرد. او صدق و کذب گزاره‌ها را وابسته به مشاهده می‌دانست و به‌طورکلی معتقد بود که خارج از

چهارچوب مشاهده نمی‌توان در مورد صدق و کذب گزاره‌ها سخن گفت. درواقع او منطق را امری منطبق بر واقعیت می‌دانست (Putnam, 1969:230).

به تعبیر پاتنم امر میانه یعنی اینکه صدق و کذب گزاره را نمی‌توانیم تعیین کنیم. پاتنم (Hilary Putnam) علت این مسئله را به خاطر نداشتن اطلاعات کافی در مکانیک کوانتومی می‌داند و چون این موضوع را امری ذاتی می‌پندارد لذا ارزش میانه را مطرح می‌کند (Putnam, 1957: 73-80). در این میان حتی کسانی مانند رایشن باخ پا را فراتر گذاشته و منطق سه ارزشی را برای کلیت جهان در نظر می‌گیرند و معتقدند که برای برخی از تجارب فیزیکی تعیین صدق و کذب وجود ندارد لذا باید از ارزش سوم استفاده کرد (Reichenbah, 1998) البته او با توجه به منطق سه ارزشی تبیین منطقی قابل‌قبولی از مسئله موجی ذره‌ای ارائه می‌دهد و امکان‌پذیرش نگاه آماری و احتمالاتی را برای منطق کوانتومی مطرح می‌کند (Feyerabend, 1958: 52). در این نگاه تجربه گرایانه به منطق کسانی چون پاتنم با کنار گذاشتن منطق کلاسیک قوانین توزیع‌پذیری را هم کنار می‌گذارند. او علت این کار را امکان تفسیر تجربی و مسئله ناظر و مشاهده شونده مانند آنچه در دو شکاف یانگ ایجاد می‌شود، می‌داند (Stairs, 2015: 25) اما این نوع نگاه به منطق کوانتومی ازنظر کریپکی قابل‌قبول نمی‌باشد او سیستم‌های صوری را خودِ منطق به‌حساب نمی‌آورد و فقط به‌واسطه آن، درستی استدلال‌ها بررسی می‌شود (Stairs, 2015:30) . تغییر سیستم صوری نمی‌تواند موجب تغییر استدلال شود زیرا استدلال در مرکز و محوریت سیستم‌های صوری قرار دارد و چیزی که بیرون از مرکز قرار دارد نمی‌تواند مرکز را تغییر دهد گویا جایی برای بیرون ایستادن از استدلال که ازآنجا بتوان این تغییرات را اعمال کرد وجود ندارد. به‌عبارت‌دیگر کریپکی استدلال را مرکز سیستم‌های صوری می‌داند لذا سیستم‌های صوری نمی‌توانند مرکزیت خود و شیوه استدلال را تغییر دهند (Stairs, 2015:29) . به عبارت ساده‌تر چون اصالت با استدلال است و اگر قرار به تغییر استدلال باشد بیرون از استدلال جایی وجود ندارد که بخواهیم این تغییرات را اعمال کنیم. لذا نگاه پاتنم و رایشن باخ به منطق از دید او غلط است. کریپکی معتقد است با آن‌که پاتنم سخن از تجربه برای صدق ضروری گزاره‌ها می‌آورد ولی نگاهی شهودگرایانه به منطق دارد. او معتقد است که استفاده پاتنم از هندسه‌های اقلیدسی و نااقلیدسی برای رد منطق کلاسیک و رسیدن به منطق کوانتومی صحیح نمی‌باشد. شهود و یا تجارب ما و عدم‌کفایت هندسه اقلیدسی مبنای ایجاد هندسه نااقلیدسی نیست بلکه هندسه نااقلیدسی بر مبنای اصول موضوعه بنانهاده شده است

(Stairs, 2015: 30). بنابراین ازنظر کریپکی منطق کلاسیک و کوانتومی تنها بر اساس ساختارهای صوری متفاوتشان و با محوریت جایی که باید استدلالی را موردسنجش قرار دهند ارجحیت پیدا می‌کنند لذا قبول یکی عملاً رد دیگری نیست. رد کریپکی بر نظریات پاتنم به نحوی اثبات پیشینی بودن منطق و عدم نیاز به ملاحظات تجربی در منطق می‌باشد درواقع اعمال ملاحظات تجربی در منطق کاری غیرمنطقی است. استدلال کریپکی این امکان را برای ما فراهم می‌کند تا به نحوی استقلال منطق کوانتومی را تبیین کنیم.

علاوه بر کریپکی دیدگاه‌های کواین (Willard Van Quine) هم در مورد پیشینی بودن منطق و مباحث مربوط به منطق کوانتومی نیز مهم می‌باشد. او مسئله پیشینی و یا پسینی‌بودن منطق را به تناقضات میان مشاهدات تجربی و بازبینی آن‌ها نسبت می‌دهد و بابیان این‌که هیچ توضیحی نمی‌تواند کامل باشد قضایای پیشینی و پسینی را رد می‌کند و اصلاح آن ها را ضروری می‌داند بر همین مبنا او در مکانیک کوانتومی نیز اصل اجتماع نقیضین (The principle of the community of contradictions) را نیاز به بازبینی مجدد می‌داند (Quine,1961:565). درواقع نگاه کواین به بحث منطق کوانتومی و سه ارزشی، یک نگاه پایه‌ای‌تر و در جهت حل ناکارآمدی‌های منطق کلاسیک می‌باشد (Quine, 1961: 566). به عبارتی کواین معتقد است که منطق کلاسیک برای توضیح مکانیک کوانتومی کارآمد نیست و نیازمند منطق کوانتومی می‌باشیم. او پسینی بودن و نیاز به تجربه را برای منطق ضروری نمی‌داند. اگر از دیدگاه کواین به منطق کوانتومی نگاه کنیم می‌توانیم استقلال منطق کوانتومی و سازگاری آن با منطق کلاسیک را حفظ کنیم. این امر موجب می‌شود که منطق کوانتومی به‌عنوان منطقی ارزشمند و در ادامه منطق کلاسیک کارآمد باشد.

۳. مبانی فلسفی مکانیک کوانتومی

تجربیاتی که در تائید مکانیک کوانتومی به کار می‌آیند بافهم کلاسیکی ما از جهان متفاوت می‌باشند این امر با توجه به مفاهیمی مانند دوگانگی موجی ذره‌ای و اصل عدم‌قطعیت و مبانی جدید مبتنی بر آن‌ها این ضرورت را ایجاد می‌کند نگرش فلسفی و منطقی ما نیز باید از اصول مکانیک کوانتومی متفاوت باشد. ایجاد منطق کوانتومی به‌عنوان تفسیری منطقی در جهت تعیین صدق و کذب گزاره‌های مکانیک کوانتومی می‌باشد.

آن‌چه در نگاه استاندارد مکانیک کوانتومی مشهود است، دیدگاه احتمالاتی به‌جای صدق و کذب قطعی گزاره‌ها می‌باشد.

ریاضیات مکانیک کوانتومی بر اساس تابع موج این پیامد را به همراه دارد که موضوع اندازه‌گیری در مکانیک کوانتومی، اهمیت زیادی دارد. درواقع تابع موج تمامی مقادیری که یک کمیت می‌تواند داشته باشد را مشخص می‌کند ولی تا زمانی که اندازه‌گیری صورت نگرفته باشد، هیچ‌کدام از این مقادیر به‌صورت واقعی وجود ندارند و تنها با اندازه‌گیری، یکی از این مقادیر محقق خواهد شد. تابع موج به عنوان یک ماهیت ریاضی تنها مقادیری که یک ذره بر اساس عملگرها می‌تواند داشته باشد را تعیین می‌کند به‌عبارت‌دیگر تا زمان اندازه‌گیری توسط ناظر، هیچ واقعیت عینی وجود نخواهد داشت و تنها می‌توان مقادیر بالقوه (potential values) را برای آن کمیت در نظر گرفت (Schrodinger, 1926: 1049).

تعبیر احتمالاتی (Probabilistic interpretation) از مکانیک کوانتومی ما را به سمت یک نظریه غیر کلاسیک هدایت می‌کند. این تعبیر می‌تواند تنها بخشی از ذهنیت ما به آن‌چه مشاهده می‌کنیم را روشن نماید. این موضوع که مشاهده‌کننده می‌تواند بر مشاهده‌پذیر و نتایج حاصل از این نظارت تأثیرگذار باشد با فیزیک کلاسیک و فهم متعارف ما درتعارض است. در تفسیر مکانیک کوانتومی کپنهاگی مقادیر به‌صورت بالقوه وجود دارند در نتیجه آزمایش به‌صورت واقعی و قابل‌مشاهده درمی‌آیند ازاین‌رو این امر تعابیر بزرگ معرفت‌شناختی را به همراه دارد (Heisenberg, 1949). عدم تطابق معرفت‌شناختی ما از بخش کوچک عالم با بخش‌های بزرگ‌تر و تجارب روزمره ما از جهان باعث دوگانگی فلسفی و منطقی و تعابیر متفاوت هستی‌شناختی و معرفت‌شناختی می‌شود. در میان تمام آن‌چه در اصول مکانیک کوانتومی با تجارب روزمره ما از فیزیک متفاوت است، می‌توان گفت اصل عدم قطعیت یکی از مشهودترین آن‌ها می‌باشد. چگونه اندازه‌گیری یک کمیت می‌تواند باعث عدم قطعیت در اندازه‌گیری یک کمیت دیگر شود؟

درواقع سؤال اصلی این است که عدم اطمینان ما از وقایع و گزاره‌های منتسب به آن‌ها در ذات عالم وجود دارد و یا بخشی از ناآگاهی ما می‌باشد. این‌یکی از مهم‌ترین پرسش‌های هستی‌شناختی و معرفت‌شناختی در مکانیک کوانتومی است. در این میان مساله متغیرهای پنهان که توسط دیوید بوهم مطرح شد (Bohm, 1952:166) و دیدگاه کوچن و اسپکر برای ارائه رد متغیر های پنهان بر اساس فرمالیستی قوی‌تر از کار فون نیومان حائز اهمیت است. (Kochen,Specker, 1975:293) . البته کاری که توسط جان بل تحت عنوان نامساوی بل

مطرح شد دیدگاه مکانیک کوانتومی استاندارد را دیدگاهی درست در مقابل تفسیر متغیرهـای پنهان بیان کرد (Bell, 1966:451).

٤. اصل عدم‌قطعیت

همان طور که مکانیک کوانتـومی را مـی‌تـوان بـر اسـاس ریاضـیات تـابع مـوج شـرودینگر بیان کرد، آن را می‌توان بر اساس ماتریس‌هایی که توسط هایزنبرگ ارائه شد نیـز بیـان کـرد. هایزنبرگ با ارائه این ماتریس ها به همان نتایجی رسـید کـه از طریـق تـابع مـوج بـرای مـا حاصل می‌گردد. آنچه هردوی این‌ها را بـه نتیجـه یکسـانی مـی‌رسـاند تبیـین احتمـالاتی و فاصله‌گیری از صدق و کذب قطعی مـی‌باشـد. موضـوع مهـم دیگـر تبیـین دوگانـه مـوجی ذره‌ای می‌باشد که به نحوی وابستگی بخش هستی شناسانه عالم میکرو را به عملگر و نـاظر نشان می‌دهد. به بیان ساده‌تر اصل عدم قطعیت می‌گوید که اندازه‌گیری هـم‌زمـان بعضـی از متغیرها به‌صورت دقیق ممکن نیست و با یک عدم قطعیتی روبرو خـواهیم بـود. عـلاوه بـر مساله اندازه‌گیری در اصل عدم قطعیت، ممکن اسـت در شـرایطی امکـان تحقـق بعضـی از عمل‌گرها وجود نداشته باشد و ایـن عـدم امکـان، از خـود عـدم قطعیـت در انـدازه گیـری اهمیت بیشتری دارد. به‌عنوان مثال اگر بخواهیم به‌صورت هم‌زمان، مکـان و انـدازه حرکـت یک الکترون را اندازه‌گیری کنیم، اندازه‌گیری هر یک از این پارامترهای فیزیکی باعـث تغییـر در اندازه گیری و درنهایت یک عدم قطعیت برای اندازه‌گیری دقیق هردوی آن‌هـا مـی‌باشـد (Hilgevoord and Uffink, 2001). درواقع گویا هر تلاشی برای دقت در اندازه‌گیری هم‌زمـان متغیرها، در محدوده‌ای از عدم قطعیت در انـدازه‌گیـری خواهـد بـود. بـه عبـارت دیگـر در عمل‌گرهای ناسازگار چون امکان جابجایی آن‌ها وجود ندارد و با مطرح شدن پـارامتر هـایی مانند ثابت پلانک که معادلات مربوط به اندازه گیری و امکان وجود هم‌زمـانی ایـن متغیرهـا را تغییـر مـی‌دهنـد، مسـاله ای مهـم تحـت عنـوان واقعیـت انـدازه‌گیـری ایـن عملگرهـا مطرح می‌شود، این مسئله نشان‌دهنده‌ی اهمیت موضوع اندازه‌گیـری و ماهیـت عملگرهـا در مکانیک کوانتومی می‌باشد. نگاه احتمالاتی و آماری به اتفاقات و وقایع عـالم میکروسـکوپی و دور کردن ما از قطعیت‌هایی که در بخش ماکروی عالم وجود دارد ایـن سـؤال اساسـی را مطرح می‌کند که علاوه بـر رد علیـت، منطـق حـاکم بـر هریـک از ایـن حیطـه‌هـا بـاوجود تفاوت‌هایی که باهم دارند چگونه می‌توانند در کنار هم جمع آیند.

تعابیر فلسفی و منطقی زیادی از اصل عدم قطعیت نتیجه می‌شود. خود هایزنبرگ (Werner Heisenberg) سه پیامد را از اصل عدم قطعیت استخراج کرده است که شامل رد علیت، رد موجبیت و موضوع مشاهده‌کننده و مشاهده‌پذیر می‌باشد (Capaldi, 1966:373). دلیل رد موجبیت عدم تعیین مکان و سرعت ذره در لحظه معین می‌باشد. در واقع تعیین این دو مولفه را نمی‌توان در هر زمان، با زمان دیگر مرتبط دانست. لذا موجبیتی در ابعاد کوانتومی نداریم. از طرف دیگر چون تعابیر کوانتومی آماری هستند، لذا زنجیره علی وجود ندارد و اصل عدم قطعیت به نفی علیت منتهی می‌شود و چون آزمایش هایی که برای پی بردن به سرشت واقعیت انجام می‌شود خودشان تضمین‌کننده تخطی از واقعیت هستند لذا تفکیک کلاسیک بین مشاهده‌گر و مشاهده پذیر از اعتبار ساقط می‌شود (Capaldi, 1966:374) . حال این سؤال اساسی مطرح است که آیا عدم قطعیت نتیجه عدم تعین در طبیعت است و یا از جهل فعلی بشری ساطع‌شده است؟ ذاتاً عینی است و یا ذهنی است؟ آیا از بازتاب معرفت نداشتن ما نتیجه می‌شود و یا یک خصیصه عینی از طبیعت است و عدم قطعیت در نقص اندازه‌گیری و نادانی بشر نیست بلکه در ذات طبیعت است به عبارتی محدودیت‌های گریزناپذیر از یک امر معرفت‌شناختی و یک امر وجود شناختی است (Heisenberg, 1930) علاوه بر مطالب فوق می‌توان این سؤال را مطرح کرد که آیا آنچه با ابزار محاسبات احتمالی برای یک آزمایش به دست می‌آوریم تمام آن چیزی است که می‌توانیم از آن مسئله داشته باشیم یا آن‌که این موضوع بیانگر نوعی نگرش و دیدگاه ما نسبت به مکانیک کوانتومی می‌باشد.

بعضی از دانشمندان برآن شدند تا با نتایج حاصل از این پیامدها به‌طورجدی مقابله کرده و یا قسمت‌هایی از آن‌ها را تصحیح و یا به‌صورت دیگری تبیین کنند تا با نگرش‌های رایج ما نسبت به مفاهیم فیزیکی فاصله چندانی نداشته باشند (Bohm, 1952: 168) . یکی از این روش‌ها، واردکردن متغیرهایی به معادلات مکانیک کوانتومی بود تا از نتایجی مانند اصل عدم قطعیت جلوگیری شود. این موضوع به متغیرهای پنهان مشهور شد. این نگاه به مکانیک کوانتومی در مقابل نگاه رایج که تفسیر کپنهاگی بود قرار گرفت. این تعبیر از مکانیک کوانتومی بعد از مسئله EPR مطرح شد و به دنبال تفسیری واقع‌گرایانه از مکانیک کوانتومی بود. یعنی این که به جای یک رویکرد آماری و احتمالاتی، به یک تفسیر عینی‌تر و با انطباق بیشتر با ساختارهای کلاسیک برسد. نظریه استاندارد و نظریه متغیرهای پنهان، از منظرهای مختلف سعی در تبیین مسائل کوانتومی را داشتند. درواقع تعابیری که هر یک از

این دیدگاه‌ها ارائه می‌کرد دربرگیرنده نگاهی فلسفی به مکانیک کوانتومی بود. مسئله اساسی این است که در صورت رد هر یک از این نظریه‌ها، باز اهمیت منطق کوانتومی پابرجاست. منطق کوانتومی جدای از تفاسیر و تعابیر مختلف بر اساس اصول ریاضی و زبان صوری خود می‌تواند صدق و کذب گزاره‌های کوانتومی را تعیین کند. منطق کوانتومی به‌عنوان یک منطق سه ارزشی امکان تبیین منطقی گزاره های مبتنی بر تجربیات جدید از فیزیک را فراهم می‌کند که قبل از آن امکان تبیین منطقی آن‌ها وجود نداشت. این امکان منطقی، جدای از تفاسیر و نظریات مختلف مکانیک کوانتومی می‌باشد. آنچه مکانیک کوانتومی از شناخت واقعیات جدید عالم را برای ما فراهم نموده است ممکن است نگرش‌های ما را در باب وجود و چیستی ذرات تغییر دهد، اما آنچه در این باب مهم است، گزاره هایی است که امکان تبیین آن‌ها با منطق کلاسیک وجود ندارد، لذا منطقی سه‌ارزشی مبتنی بر ساختار زبان خود مکانیک کوانتومی برای تعیین صدق و کذب این گزاره ها و مجموعه استدلال‌های معتبر به‌کار می‌آید. منطق کوانتومی این کار را برای یک زبان خاص مربوط به مکانیک کوانتومی انجام می‌دهد. منطق کوانتومی تجزیه و تحلیل از زبان نظریه کوانتوم را بیان می‌کند (Vanfraassen, 1974:227) . در واقع مکانیک کوانتومی علاوه برآنکه تغییر در نگرش های فلسفی را در بر دارد نیاز به منطقی جدید برای اعتبار سنجی استدلال های این نظریه نیز لازم است.

مکانیک کوانتومی مانند فیزیک کلاسیک شامل مجموعه‌ای از گزاره‌ها می‌باشد. با آن‌که این گزاره‌ها به واقعیات کوانتومی ارجاع داده می‌شوند اما خودشان ساختاری متافیزیکی دارند. درواقع منطق کوانتومی که پایه این گزاره ها می‌باشد یک ساختار متافیزیکی است. پس عملاً آزمایش‌هایی که در مکانیک کوانتومی شکل می‌گیرد نمی‌توانند صدق و کذب گزاره‌های منطق کوانتومی را تعیین کنند. ماکس بورن در سال ۱۹۲۶ در مقاله‌ای با عنوان مکانیک کوانتومی فرایندهای برخورد "Quantum mechanics of collision processes." بیان می‌کند که پیش‌بینی‌ناپذیری برخی از آزمایش‌ها به معنی رد موجبیت در ابعاد اتمی می‌باشد. او این مسئله را موضوعی فلسفی می‌داند و نه یک مسئله علمی و می‌گوید با آن‌که گرایش من رد موجبیت در دنیای اتمی است اما چون این یک مسئله فلسفی است استدلال‌ها و آزمایش‌های فیزیکی به‌تنهایی نمی‌توانند این موضوع را اثبات کنند (Born, 1926: 24). گویا کسانی چون ماکس بورن که از طراحان اصلی مکانیک کوانتومی می‌باشند هم به جدایی مسائل متافیزیکی از تجربیات فیزیکی اذعان می‌نمایند.

درواقع متافیزیکی بودن منطق و حتی منطق کوانتومی علت بی نیازی آن از تجربه می‌باشد. اصطلاح منطق با سطح بالایی از انتزاع همراه است در واقع منطق سیستمی از بدیهیات و یا قوانینی است که مجموعه جملات و استدلال‌های معتبر برای یک زبان خاص را مشخص می‌کند و در این میان منطق مکانیک کوانتومی نیز این کار را برای مکانیک کوانتومی انجام می‌دهد (Vanfraassen, 1974:227). برای مطالعه جهان تجربی لازم است که مطالبی در مورد منطق را فرض بگیریم این موضوع پیشینی بودن منطق را بیان می‌کند (Dickson, 2001:276) این موضوع برخلاف آن است که بگوییم تجربیات جدید در مکانیک کوانتومی علت درستی منطق کوانتومی می‌باشند. منطق کوانتومی پیشنهاد نمی‌کند که قوانین منطقی به صورت تجربی آزمایش شوند. بلکه پیشنهاد می‌کند که نظریه های فیزیکی حاوی اطلاعاتی در مورد قوانین منطقی است که جهان از آنها پیروی می کند (Dickson, 2001:283) این مسئله اهمیت منطق کوانتومی و استقلال آن را از مکانیک کوانتومی نشان می‌دهد. تائید و یا رد یکی از تعابیر رقیب در مکانیک کوانتومی به‌وسیله آزمایش ممکن نیست زیرا آزمایش‌ها تنها یک نتیجه دارند درحالی‌که ما بر اساس دیدگاه‌های فلسفی و مسائل متافیزیکی تعابیر مختلفی را می‌توانیم داشته باشیم به‌بیان‌دیگر نگاه متافیزیکی به منطق کوانتومی صحت آن را جدای از هر نوع نظریه رقیب در مکانیک کوانتومی نشان می‌دهد و امکان تبیین تجارب جدید، بیان می‌کند که ساختارهای صوری و ریاضیاتی این منطق صحیح می‌باشد. در استدلال های فوق بیان نمی‌شود که صحت منطق کوانتومی مبتنی بر تجربه می‌باشد و یا این که پیشینی بودن آن ارتباط این منطق را با هر گزاره پسینی نفی می‌کند. بلکه تنها به دنبال نشان دادن آن است که بیان کند استدلال‌سنجی گزاره های تجربی با این منطق، سازگاری دارد و این موضوع علاوه بر صحت این منطق کارآمدی آن را نیز نشان می‌دهد.

۵. پارادوکس EPR

تفسیر کپنهاکی (Copenhagen) از مکانیک کوانتومی، گرچه در میان فیزیکدانان از حمایت زیادی برخوردار بود. ولی بزرگانی چون انیشتین در تلاش بودند که به سمت یک تفسیر عینی و واقع‌گرایانه‌تر حرکت کنند. در این میان شاید نقش EPR (مخفف اسم انیشتین- پودولوسکی (Boris Podolsky) - روزن (Nathan Rosen) می‌باشد) به‌عنوان یک آزمایش ذهنی که اصول تفسیر استاندارد را به چالشی منطقی می‌کشاند بسیار

حائز اهمیت می‌باشد. EPR که از آن به‌عنوان یک پارادوکس یاد می‌شود، بیان می‌کند در صورت درست بودن اصول مکانیک کوانتومی استاندارد، یا این نظریه نمی‌تواند تمام وقایع را برای ما آن‌گونه که هستند بیان کند و یا اینکه این اصول باید غلط باشند. درواقع صورت‌بندی نظریه‌ی مکانیک کوانتومی به‌صورت اصل موضوعه، این امکان را ایجاد می‌کند که با اشکال به یکی از این اصول، این نظریه موردتردید قرار می‌گیرد. نگاه رئالیستی انیشتین به علم مانع از پذیرش نتایج احتمالی و غیر عینی از مکانیک کوانتومی بود، لذا او به سمت طراحی این آزمایش ذهنی برای به چالش کشیدن و اشکال منطقی بر مکانیک کوانتومی برآمد (Einstein, Podolsky,Rosen,1935:777). متن EPR در یک صورت‌بندی منطقی، به دو ادعا می‌پردازد. یا مکانیک کوانتومی ناقص است و نمی‌توانیم مقادیر ناسازگار فیزیکی را به‌صورت هم‌زمان اندازه بگیریم، یا اینکه اگر مکانیک کوانتومی کامل است، مقادیر ناسازگار می‌توانند وجود داشته باشند، پس به‌جای فرض کامل بودن مکانیک کوانتومی، مقادیر ناسازگار می‌توانند ارزش واقعی و قطعی داشته باشند. چون می‌توان برای این مقادیر ارزش واقعی درنظر گرفت و این با فرض های اساسی مکانیک کوانتومی در تناقض است، پس مکانیک کوانتومی توصیف کاملی از واقعیت را به ما نمی‌دهد. نتیجه این‌که مکانیک کوانتومی ناقص است (Einstein, Podolsky, Rosen, 1935: 779). این مقادیر ناسازگار ارتباط مستقیمی با درهم تنیدگی و اصل عدم قطعیت دارد. می‌بینیم که در همین صورت‌بندی محدود و انتزاعی برای کسانی مانند انیشتین دلایل کافی برای ناامیدی از مکانیک کوانتومی وجود داشت. بر اساس EPR امکان اندازه‌گیری واقعی مقادیر به‌صورت هم‌زمان وجود دارد پس عملاً گزاره‌هایی بر مبنای واقعیات عینی خواهیم داشت. اما این موضوع با اصول مکانیک کوانتومی استاندارد و تابع موج درتعارض است (Einstein, Podolsky, Rosen, 1935: 783). با توجه به متن EPR در دو سیستم که به‌اندازه کافی از هم فاصله‌دارند، با اندازه‌گیری بر روی یکی از سیستم‌ها به‌طورقطع می‌توانیم تمام اطلاعات مربوط به سیستم دیگر را هم به دست آوریم. این تعارض آشکار بافهم ما از مکانیک کوانتومی دلیل اساسی برای رد توصیف واقعی و کامل توسط مکانیک کوانتومی از جهان می‌باشد.

این تقابل آشکار بین EPR و اندازه‌گیری هم‌زمان عملگرهای ناسازگار در اصل عدم‌قطعیت در جواب بوهر (Niels Bohr) به انیشتین نیز به‌وضوح مطرح است. بوهر این دو سیستم را از هم تفکیک‌ناپذیر می‌داند و بیان می‌کند که ما فقط با یک سیستم

روبه‌رو هستیم پس هر اندازه‌گیری بر روی یک بخش از آن سیستم باعث اختلال در بخش‌های دیگر خواهد شد لذا عملاً امکان تعیین دقیق اندازه‌گیری وجود نخواهد داشت (Bohr, 1935: 696). آنچه در EPR مهم است حرکت به سمت یک نظریه رقیب یعنی نظریه‌ی متغیرهای پنهان می‌باشد. همان‌طور که گفته شد این نظریه در تلاش است تا یک تفسیر عینی و واقعی از مکانیک کوانتومی ارائه دهد. انیشتین علاوه بر متن مقاله EPR مکاتبات زیادی با دانشمندان دیگر بخصوص با شرودینگر داشت تا به نحوی با غیرواقع‌گرایی مکانیک کوانتومی استاندارد مقابله کند. در ادامه دیوید بوهم (David Bohm) نظریه متغیرهای پنهان را ارائه داد که ظاهراً نظریه‌ای واقع‌گرایانه بود و نتایجی چون اصل عدم قطعیت را در برنداشت.

٦. اصل توزیع‌پذیری (The Principle of distributability) و منطق کوانتومی

اصل توزیع‌پذیری که یکی از ارکان نظریه مجموعه‌ها است، یکی از اجزاء منطق می‌باشد. این اصل دربرگیرنده قوانین بین جمع و ضرب، اشتراک و اجتماع و ادات عطف و فصل می‌باشد. بر اساس این اصل، توزیع هر یک از ادات بر مجموعه‌ای از ادات دیگر که با یک‌دیگر ارتباط دارند، وجود خواهد داشت. به‌عنوان‌مثال اگر گزاره‌ای با فصل دو گزاره دیگر عطف شود، عملاً دو گزاره مورد فصل داریم که هرکدام از عطف دو گزاره تشکیل‌شده‌اند. درواقع ادات اولی، در بین آن دو ادات دیگر توزیع‌شده است. ولی در منطق کوانتومی این توزیع‌پذیری وجود نخواهد داشت و رد اصل توزیع‌پذیری را خواهیم داشت.

$$x \wedge (y \vee z) \neq (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$$

از زمانی که فون نیومان و بیرکهوف بر اساس فضای هیلبرت ادات منطقی را در منطق کوانتومی مطرح کردند، برای ادات فصل و عطف به نحوی نظریه مجموعه‌ها وارد منطق کوانتومی شد. آنچه در توضیح یا تبیین فصل در منطق کوانتومی بیان شد بخشی از نظریه مجموعه‌ها را در برداشت. لذا بررسی اصلی چون توزیع‌پذیری و نحوه کارکرد یا رد آن در منطق کوانتومی با آن‌که بخشی ازنظریه مجموعه‌ها می‌باشد در این منطق حائز اهمیت است. آنچه در ادامه کار نیومان توسط پاتنم انجام شد، رد اصل توزیع‌پذیری در منطق کوانتومی بود. پاتنم معتقد است حتی در اموری مانند صدق ضروری در منطق ممکن است با دلایل تجربی که در آینده به دست می‌آید درستی آن امور اثبات شوند

(Putnam, 1969: 216-221). این نگاه کاملاً تجربی به منطق، کاملاً با نگاه متافیزیکی و پیشینی در تعارض است. ورود ارزش میانه به منطق کوانتومی و رد اصل توزیع‌پذیری در این منطق اگرچه بر مبنای نگاه تجربی کسانی چون پاتنم شکل‌گرفته است ولی نکته مهم آن است که نتایج حاصل از این مباحث فلسفی اصالت منطق کوانتومی و استقلال آن را زیرسؤال نمی‌برد به عبارتی چون ارتباط منطق با متافیزیک بسیار تنگاتنگ است و شاید نتوان منطق را کاملا از متافیزیک مستقل دانست لذا مباحثی مانند منطق کوانتومی و رد اصل توزیع‌پذیری در این منطق، مباحثی متافیزیکی هستند و اختلافاتی که در تعابیر بیان می‌شوند، نمی‌تواند استقلال منطق کوانتومی و نتایج آن را زیر سؤال ببرند.

در این نوشتار رد اصل توزیع‌پذیری را با دو مبحث بسیار مهم در مکانیک کوانتومی یعنی اصل عدم قطعیت و پارادوکس EPR بررسی می‌کنیم. ازآنجاکه اصل عدم قطعیت از ارکان اساسی مکانیک کوانتومی در تفسیر کپنهاکی است و مسئله EPR آموزه‌ای برای تفسیر کپنهاگی مکانیک کانتومی می‌باشد و از طرفی چون منطق کوانتومی بر ارکان ریاضیاتی مکانیک کوانتومی استوار است و برای سنجش استدلال ها در این حیطه از علم به‌کار می‌آید، لذا EPR می‌تواند آموزه‌ای برای رد منطق مکانیک کوانتومی هم باشد پس رد اصل توزیع‌پذیری از منظر این دو مقوله یعنی تفسیر کپنهاگی و EPR حائز اهمیت می‌باشد. رد این اصل تعابیر و نتایج فلسفی و منطقی مهمی را در بر خواهد داشت و تفاسیر معرفت‌شناختی و هستی‌شناختی مکانیک کوانتومی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در بررسی رد اصل توزیع‌پذیری از دیدگاه اصل عدم قطعیت ابتدا به ارتباط این دو می‌پردازیم. نتیجه می‌گیریم که با در نظر گرفتن یکی، دیگری ناممکن خواهد بود. علت این موضوع آن است که اصل عدم قطعیت به نحوی عطف گزاره‌های منطقی است که با یکدیگر ناسازگار هستند، لذا با فصل زوج‌های این‌چنینی می‌توان به اصل توزیع‌پذیری رسید ولی بر اساس خود اصل عدم قطعیت امکان اندازه‌گیری هم‌زمان آن‌ها وجود ندارد پس اصل توزیع‌پذیری برای گزاره‌های کوانتومی در منطق کوانتومی رد می‌شود.

$$x \wedge (y \vee z) \neq (x \wedge y) \vee (x \wedge z)$$

با تغییر متافیزیک می‌توان به مباحث جدید مطرح شده در مکانیک کوانتومی پاسخ داد، ولی به علت ارتباط تنگاتنگ میان متافیزیک و منطق، تغییر در متافیزیک متحمل تغییر در منطق هم می‌باشد. اگر با تغییر متافیزیک و نگه داشتن منطق کلاسیک امکان تبیین گزاره‌ها

و استدلال‌های جدید ممکن بود، همان مسیر ادامه پیدا می‌کرد. اما تغییر در متافیزیک گویا همراه تغییر در منطق خواهد بود. و در این منطق جدید اصل توزیع‌پذیری رد می‌شود.

اصل عدم قطعیت توضیح ساده‌ای در کنار گذاشتن اصل توزیع‌پذیری است زیرا ممکن است دو گزاره صادق نباشند اما ترکیب فصلی آن‌ها صادق باشد. علت این مساله عدم جابه‌جایی عملگرهای ناسازگار و تعریف سوپریمم در مورد ادات فصل می‌باشد. لذا منطق کوانتومی منطقی غیر پخشی می‌باشد. در مورد عملگر های ناسازگار که با ادات فصل و یا عطف به هم مرتبط می‌شوند با توجه به اصل توزیع‌پذیری، اشتراک زیر فضاهای حاصل از عطف و فصل گزاره‌ها ناممکن می‌شود. مثلاً اگر برای اسپین (Spin) یک الکترون، گزاره q را بالا بودن و گزاره p را پایین بودن اسپین الکترون در نظر بگیریم، این دو گزاره فاقد ارزش صحت معین هستند یعنی نه صادق و نه کاذب می‌باشند پس ارزش معینی ندارند ولی درعین‌حال عطف دو گزاره صادق است.

اگر اصل توزیع‌پذیری را از منظر EPR موردتوجه قرار دهیم چون اطلاعات سیستم B اطلاعات سیستم A را هم به ما می‌دهد به عبارتی عطف اطلاعات مربوط به هر سیستم و فصل این اطلاعات با اطلاعات سیستم دیگر کاملاً امکان‌پذیر خواهد بود. پس اصل توزیع‌پذیری از منظر EPR کاملاً صادق است. موضوع مهم این است که بنیان‌گذاران EPR این پارادوکس را برای نفی منطقی مکانیک کوانتومی و یا عدم کامل بودن اطلاعات کوانتومی ارائه کرده‌اند لذا با آن‌که اصل توزیع‌پذیری در این آموزه صحیح می‌باشد ولی EPR برای رد و یا صحت این اصل بنا نشده است. EPR با صورت‌بندی منطقی و آزمایش ذهنی بیان می‌کند که مکانیک کوانتومی توانایی توصیف کامل از واقعیات عینی عالم را ندارد. حال زوج اطلاعات مکان و تکانه حرکت در سیستم A و فصل آن با زوج تکانه حرکت و مکان در سیستم B گرچه با اصل توزیع‌پذیری کاملاً همسو می‌باشد اما خود این هم‌سویی الزامی برای رد منطق کوانتومی نمی‌باشد. درواقع EPR در تلاش است تا مکانیک کوانتومی را ناقص و یا غیرمنطقی نشان دهد و حتی اگر با منطق کوانتومی هم‌سو نباشد با آن ناسازگاری ندارد. اگر نظریه متغیرهای پنهان که به نحوی در امتداد EPR قرار دارد را بررسی کنیم سازگاری و تطابق آن با منطق کوانتومی مشهود خواهد بود. علت این مساله، ساختارهای ریاضی و سازگاری زبان صوری منطق کوانتومی با تفسیر متغیرهای پنهان از مکانیک کوانتومی می‌باشد. در واقع منطق کوانتومی که بر اساس فضای هیلبرت بنا شده است، سازگاری کامل با هردو نظریه رقیب را دارا هست و دلیل این مساله ساختار

ریاضی و صوری منطق کوانتومی می‌باشد. از سوی دیگر طبق نظر کریپکی نمی‌توانیم منطق متافیزیکی را بر اساس ساختارهای تجربی مورد خدشه قرار دهیم لذا با آن‌که منطق کوانتومی را از دو منظر رقیب بررسی می‌کنیم تنها به دنبال شواهد تجربی هستیم که نشان از کارآمدی منطق دارد و صحت آن از قبل موردپذیرش می‌باشد. لازم به ذکر است در این‌جا هدف، رسیدن به استقلال منطق کوانتومی از هر نوع ساختار تجربی است و پس از آن به کار آمدی این منطق از دو منظر رقیب توجه می‌شود. به عبارت دیگر بررسی این منطق از مناظر رقیب تنها برای کارآمدی آن مورد توجه است و آنچه حائز اهمیت است، متافیزیکی بودن و استقلال این منطق از هر ساختار تجربی می‌باشد که در عین حال کارآمد هم هست.

۷. منطق کوانتومی مستقل از مکانیک کوانتومی

رد اصل توزیع‌پذیری بر اساس اصل عدم قطعیت این امکان را ایجاد می‌کند که با استفاده از یکی از ارکان مکانیک کوانتومی آموزه‌ای برای رد این اصل در منطق کوانتومی داشته باشیم. اما آنچه حائز اهمیت است این است که آیا استفاده از ابزارهای ریاضیاتی مکانیک کوانتومی در منطق کوانتومی این مسئله را ایجاد کرده و یا این‌که این منطق به‌صورت مستقل و بدون نیاز به هر نوع تجربه‌گرایی (Empiricism)، یک منطق مستقلی است و می‌تواند در هرجایی از علم که مبتنی بر فضای هیلبرت است کار آیی داشته باشد.

ساختارهای صوری منطق کوانتومی مبتنی بر ساختارهای ریاضی مکانیک کوانتومی است. اما این انطباق الزاماً دلیل بر آن نیست که به‌کارگیری ادات منطقی برای گزاره‌های کوانتومی بخشی از ریاضیات مکانیک کوانتومی می‌باشد بلکه با تعاریفی که از ادات منطقی در منطق کوانتومی داریم، می‌بینیم که این منطق از ساختارهای مستقل و متمایزی برخوردار است. علاوه بر این مسئله در تئوری‌های دیگر علمی مانند ابرریسمان‌ها نیز از فضای هیلبرت و مکمل‌های متعامد استفاده‌شده است. این نظریه شامل مباحث جدید علمی مانند رسیدن به وحدت میدان‌ها می‌باشد (Nachie, 2007: 787-793) لذا شاید بتوان در این نظریات هم از منطق کوانتومی استفاده نمود. این نظریات بااینکه ارتباط معناداری با مکانیک کوانتومی دارند اما از ساختارهای ریاضیاتی و نتایج مستقلی بهره می‌برند.

در منطق کوانتومی برای تعریف هر گزاره، ساختاری مانند ریاضیات مکانیک کوانتومی داریم اما منطق کوانتومی استقلال و تمامیت خود را از مکانیک کوانتومی حفظ می‌کند.

درواقع به نظر می‌آید که این منطق بی‌نیاز از مکانیک کوانتومی، دارای ارکان مستقل و استواری است و درواقع مکانیک کوانتومی برای تبیین منطقی پدیده‌های خود به آن نیاز دارد. حال اگر مکانیک کوانتومی به هر نحوی ابطال شد منطق کوانتومی به‌عنوان منطقی که با منطق کلاسیک ناسازگار نیست هم چنان باقی خواهد ماند و می‌تواند در مباحثی که براساس فضای هیلبرت بناشده‌اند کارآمد باشد. استقلال منطق کوانتومی از دو مسئله بزرگ اصل عدم قطعیت و پارادوکس EPR نشان می‌دهد که این منطق از مسائل تجربی بی‌نیاز است و امکان کارآمدی آن در حیطه‌های خارج از مکانیک کوانتومی فراهم خواهد بود. از طرفی دیگر نظریه متغیرهای پنهان که به نحوی حاصل نتایج EPR می‌باشد و به‌عنوان رقیب نظریه استاندارد مطرح است، منطق کوانتومی را رد نمی‌کند. در این نظریه هم گزاره‌ها بر اساس فضاهای بسته هیلبرتی می‌باشند و صدق و کذب گزاره‌ها را می‌توان براساس منطق کوانتومی سنجید.

۸. نتیجه‌گیری

مکانیک کوانتومی بر اساس مبانی منطق کلاسیک قابل تبیین نیست لذا با ریاضیاتی مبتنی بر مکانیک کوانتومی، منطق کوانتومی پدید آمده است. یکی از ارکان منطق کوانتومی رد اصل توزیع‌پذیری می‌باشد که با مکانیک کوانتومی کاملاً همسو می‌باشد. درواقع ازآنجاکه مکانیک کوانتومی اصل توزیع‌پذیری را رد می‌کند، کاملاً با منطق کوانتومی سازگار است. EPR برای رد مکانیک کوانتومی طرح‌ریزی‌شده است و با منطق کوانتومی ناسازگاری ندارد و در صورت رد مکانیک کوانتومی، منطق کوانتومی پابرجا می‌ماند از طرفی نظریه رقیب یعنی نظریه متغیرهای پنهان که به نحوی حاصل EPR می‌باشد با منطق کوانتومی در تضاد نیست. درواقع تفاسیر فلسفی هر یک از این دیدگاه‌ها به اصالت متافیزیکی منطق کوانتومی لطمه نمی‌زند.. منطق امری تجربی نیست و منطق کوانتومی حاصل تجارب جدید فیزیک نمی‌باشد بلکه این تجربیات، در منطق کوانتومی قابل تبیین هستند و این موضوع مستقل از هر نوع نظریه در مکانیک کوانتومی می‌باشد. علاوه بر این منطق کوانتومی می‌تواند در مباحث دیگر علمی که از مکانیک کوانتومی جدا هستند کارآمد باشد. پس منطق کوانتومی، مستقل از مکانیک کوانتومی بوده و کارآمد است.

پی‌نوشت‌ها

۱. تابع موج یک ابزار ریاضی برای به دست آوردن احتمال حضور ذره کوانتومی است. این تابع معمولاً یک بردار مختلط (اعدادی که از دو بخش حقیقی و موهومی تشکیل‌شده است) می‌باشد و خودش به‌تنهایی بیانگر اطلاعات فیزیکی نیست

۲. معادله موج شرودینگر حالت‌های کوانتومی یک سیستم فیزیکی را ارائه می‌دهد این معادله از دو بخش زمانی و مکانی تشکیل‌شده است. حالت‌های کوانتومی، ویژه‌حالت‌ها و ویژه‌مقدارها مقادیری هستند که سیستم بعد از اندازه‌گیری یک متغیر به یکی از آن‌ها می‌رود.

$$i\bar{h}\frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\bar{h}^2}{2m}\frac{\partial^2 \Psi}{\partial \mathrm{x}^2} + V\Psi.$$

۳. فضای هیلبرت یک فضای برداری n بعدی است که هرکدام از بعدها، بر یکدیگر عمود می‌باشند. این فضای متعامد بر اساس ضرب داخلی بردارها می‌تواند کمیت‌های فیزیکی را نشان دهد و تأثیر آن‌ها بر روی‌هم بر اساس بردارهایی در این فضا و ضرب داخلی آن‌ها تعریف می‌شود.

۴. مجموعه مکمل‌های متعامد به مجموعه‌ای از بردارهای پایه که هرکدام بر یکدیگر عمود بوده و این امکان را ایجاد می‌کنند که بتوانیم هر بردار را بر اساس آن‌ها بنویسیم یک مجموعه مکمل متعامد می‌گویند (مانند بردار ijk در فضای سه‌بعدی) در فضاهای n بعدی تعداد این بردارهای پایه متعامد n می‌باشد.

۵. نظریه مجموعه‌ها، یک نظریه در ریاضیات، مبتنی بر اصل موضوعه می‌باشد. این نظریه بیان می‌کند که ما برای دسته‌ای از اشیا، اعداد و.... که از یک خصوصیت خاصی برخوردار می‌باشند، می‌توانیم یک سری روابط برای کل آن و یا برخی از اجزای آن داشته باشیم. درواقع این نظریه، دربرگیرنده روابط بین اجزا و خود مجموعه‌ها می‌باشد. این نظریه با منطق گزاره‌ها در ارتباط است.

۶. جبر بولی بخشی از ریاضیات است که در ارتباط تنگاتنگ با نظریه مجموعه‌ها و منطق می‌باشد و بر پایه درستی یا نادرستی نتایج گزاره‌هاست و دربرگیرنده عملگرها و قوانین حاکم بر این عمل‌گرها در نسبت با گزاره‌ها می‌باشد به عبارت ساده‌تر ریاضیاتی است که با استفاده ازنظریه مجموعه‌ها می‌تواند منطق گزاره‌ها را تبیین کند.

۷. آزمایش دو شکاف یانگ نشان می‌دهد که در مکانیک کوانتومی ذراتی مانند الکترون کاملاً از خود خواص موجی را نشان می‌دهند. اگر در سر راه باریکه‌ای از الکترون‌ها شکاف قرار دهیم مانند آن است که در صفحه پشت این شکاف امواجی از الکترون‌ها راداریم که در بعضی جاها کم و در بعضی جاها زیادتر هستند.

۸. اصل مکملیت بوهر که در راستای اصل عدم قطعیت است بیان می‌کند که نمی‌توان بعضی از خصوصیات ذرات کوانتومی را باهم دیگر مشاهده کرد.

۹. نظریه متغیرهای پنهان تفسیری از مکانیک کوانتومی است که بیان میکرد متغیرهای ریز و ظریفی وجود دارند که به علت درنظر نگرفتن آن‌ها، مساله عدم قطعیت اتفاق می‌افتد. دیوید بوهم با وارد کردن تغییراتی در معادلات، که بر اساس این متغیرهای پنهان بود، معادلات مکانیک کوانتومی را طوری بازنویسی کرد که برای عملگرهای ناسازگار، عدم قطعیت وجود نداشته باشد.

کتاب‌نامه

Bell, J. S. (1966). On the problem of hidden variables in quantum mechanics. Reviews of Modern Physics, 38(3), 447.

Birkhoff, G., & Von Neumann, J. (1936). The logic of quantum mechanics. Annals of mathematics, 823-843.

Bohm, D. (1952). A suggested interpretation of the quantum theory in terms of" hidden" variables. I. Physical review, 85(2), 166.

Bohr, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?. Physical review, 48(8), 696.

Born, M. (1926). Quantum mechanics of collision processes. Uspekhi Fizich.

Capaldi, N. (1966). Philosophy of science: The historical development of scientific concepts and their philosophical implications (Vol. 868). Monarch Press.

Dummett, M. (1978). Truth and other enigmas. Harvard University Press.

Einstein, A., Podolsky, B., & Rosen, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?. Physical review, 47(10), 777.

El Naschie, M. S. (2007). Hilbert space, Poincaré dodecahedron and golden mean transfiniteness. Chaos, Solitons & Fractals, 31(4), 787-793.

Feyerabend, P. (1958). Reichenbach's interpretation of quantum-mechanics. Philosophical Studies, 9(4), 49-59.

Foreman, S., Moss, A., & Scott, D. (2011). Predicted constraints on cosmic string tension from Planck and future CMB polarization measurements. Physical Review D, 84(4), 043522.

Heisenberg, W. (1949). The physical principles of the quantum theory. Courier Corporation.

Heisenberg, W.K. (1930). The phyical principles of the Quantum theory. Chicago. Dover.

Hilgevoord, J., & Uffink, J. (2001). The uncertainty principle.

Kochen, S., & Specker, E. P. (1975). The problem of hidden variables in quantum mechanics. In The logico-algebraic approach to quantum mechanics (pp. 293-328). Springer, Dordrecht.

Lukasiewicz, J. (1920). On three-valued logic. Ruch filozoficzny, 5(170-171).

Putnam, H. (1957). Three-valued logic. Philosophical Studies, 8(5), 73-80.

Putnam, H. (1969). Is logic empirical?. In Boston studies in the philosophy of science. Springer, Dordrecht (pp.216-241).

Quine, W. V. (1961). From a logical point of view: Nine logico-philosophical essays (No. 566). Harvard University Press.

Reichenbach, H. (1944). Philosophic Foundations of Quantum. Mechanics. Univ. of California Press, Berkeley and Los Angeles.

Reichenbach, H. (1998). Philosophic foundations of quantum mechanics. Courier Corporation.

Schrödinger, E. (1926). An undulatory theory of the mechanics of atoms and molecules. Physical review, 28(6), 1049.

Stairs, A. (2015). Could logic be empirical? The Putnam-Kripke debate (p.23). Cambridge: Cambridge University Press.

Van Fraassen, B. C. (1974). The labyrinth of quantum logics. In Logical and Epistemological Studies in Contemporary Physics (pp. 224-254). Springer, Dordrecht.

Wilce, A. (2002). QuaWilce, A. (2002). Quantum logic and probability theory. ntum logic and probability theory.

Zawirski, Z. (1931). ``Attempts at application of many-valued logic to contemporary science". Sprawozdania Poznan skiego Towarzystwa Przyjaciof Nauk, 2(4), 6.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی