

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 principle rejects divisibility principle, 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.

* 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.

رد اصل پخش‌پذیری در منطق کوانتومی با نگاهی به اصل عدم قطعیت 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. در واقع مکانیک کوانتومی و تجربیات حاصل از آن تأییدی برای این منطق در نظر گرفته شده 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 ارائه شده 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 پخش‌پذیری را رد می‌کند و نظریه متغیرهای پنهان که 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 کار آید.

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

* دانشجوی کارشناسی ارشد، 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

۱. مقدمه

از زمانی که مکانیک کوانتومی (Quantum mechanics) و تجربیات غیر کلاسیک آن آشکار شد یکی از موضوعات اساسی مورد مناقشه، تبیین منطقی مسائل مکانیک کوانتومی بوده است. از آنجایی که این مسائل با ساختارهای کلاسیک هم‌خوانی نداشتند پس امکان تبیین آن‌ها با منطق کلاسیک نیز وجود نداشت. عدم هماهنگی میان مکانیک کوانتومی و مکانیک کلاسیک، سبب ایجاد نگرش‌های جدید فلسفی در مکانیک کوانتومی شد.

در این میان مسائلی چون اصل عدم قطعیت (Uncertainty Principle)، اصل مکملیت (The principle of complementarity) و آزمایش دو شکاف یانگ (yongs two slit) نشان از یک تباین آشکار در مکانیک کلاسیک و مکانیک کوانتومی داشتند. با بروز این اختلافات جدی بعضی از دانشمندان بر آن شدند تا با نتایج حاصل از این پیامدها مقابله کرده و یا قسمت‌هایی از آن‌ها را تصحیح و یا به صورت دیگری تبیین کنند تا با نگرش‌های رایج ما نسبت به مفاهیم فیزیکی فاصله چندانی نداشته باشند. نقش انیشتین (Albert Einstein) به عنوان بزرگ‌ترین منتقد مکانیک کوانتومی استاندارد حائز اهمیت است. او به‌طور جدی به نقد دستاوردهای مکانیک کوانتومی پرداخت و سعی کرد با ارائه صورت‌بندی‌های منطقی و آزمایش‌های ذهنی نشان دهد که یا مکانیک کوانتومی توصیف کاملی ارائه نمی‌دهد و یا این‌که ناقص است.

ارائه تابع موج (Wave Function) و تعبیر آماری از مکانیک کوانتومی باعث شکاف بیش‌تر میان دانشمندان شد. معانی برخاسته از تابع موج برای درک و اندازه‌گیری مقادیر کوانتومی این پیامد را با خود داشت که این ابزارهای ریاضی در جهت توجیه چیزی است که نسبت به آن اطلاعات دقیقی نداریم و احتمال حضور ذره کوانتومی را برای ما مشخص می‌کند. علاوه بر آن‌که توجیه مسائل کوانتومی با فیزیک کلاسیک امکان‌پذیر نیست این نگاه غیر واقع‌گرایانه نیز باعث تمایز بیشتر میان مفاهیم کلاسیک و مفاهیم کوانتومی می‌شود. عدم امکان استفاده از منطق کلاسیک برای پدیده‌های مکانیک کوانتومی، فیزیک‌دانان را به سمت ایجاد منطقی مبتنی بر فضا‌های مکانیک کوانتومی پیش برد.

نکته مهم آن است که شاید بتوان خارج تمام این مباحث با تغییر متافیزیک به گونه‌ای معقول به مباحث جدید مطرح شده در مکانیک کوانتومی پاسخ داد، مثلاً اگر با تغییر متافیزیک، ساختار الکترون را از لحاظ وجودی، حالتی دوگانه در نظر بگیریم و منطق را

تغییر ندهیم علی‌الظاهر 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 فیزیک‌دان‌ها 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 جنبه‌های نظریه کوانتوم، پیش‌فرض منطقی جدید برای آن است. هدف مقاله حاضر کشف ساختارهای منطقی است که بر مبنای آن می‌توان در نظریه‌های فیزیکی مانند مکانیک کوانتومی که با منطق کلاسیک مطابقت ندارد، کارآیی داشته باشد (Birkhoff, Neumann, 1936: 823). تلاش 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 قابل تبیین 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 ارائه دلایلی برای سه‌ارزشی 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 توزیع‌پذیری به جابه‌جایی بین ادات و گزاره‌ها مربوط می‌باشد در مورد عملگرهای ناسازگار در اصل عدم قطعیت و عدم امکان جابه‌جایی این عملگرها، اصل توزیع‌پذیری ناکارآمد می‌باشد. در مورد تفسیر متغیرهای پنهان که ادعا می‌کند این عدم قطعیت ناشی از پارامترهای بسیار ظریف و پنهانی می‌باشد و در صورت وارد کردن آن‌ها عدم قطعیت از بین خواهد رفت، پس امکان جابه‌جایی مولفه‌های ناسازگار وجود دارد و جابه‌جایی 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 پس از آن 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 براونور 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 $1/2$ 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 در عین حال 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 بیرکهورف 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 تشکیل شده است یعنی با نظریه‌ی مجموعه‌ها مرتبط بوده و با بعضی از قوانین مانند قوانین جابجایی و دموورگان 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 قرار دادند. 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 به صورت موجی و ذره‌ای توصیف کرد؛ به عبارت دیگر، تابع موج حالت‌های سیستم کوانتومی را بر اساس فضای هیلبرت نشان می‌دهد. هر گزاره تجربی نتیجه اندازه‌گیری‌هایی بر روی یک ذره 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 سوپریم (Superemum) استفاده می‌کنیم. در واقع سوپریم 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 سوپریم 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 نشأت می‌گیرد لذا مکانیک کوانتومی با ساختارهای کلاسیک متفاوت است. البته با تقریب، بخش‌هایی از مکانیک کلاسیک را می‌توان بر اساس مکانیک کوانتومی توضیح داد. به عبارت دیگر مکانیک کلاسیک یک حالت خدی از مکانیک کوانتومی می‌باشد. حال منطق کوانتومی نیز از نظر 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 معناساختی خود 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). از آنجاکه یکی از آموزه‌ها 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 در نظر 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 فضاهاى 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 معناساختی زیادی با منطق کلاسیک دارد. پاتنم علاوه بر ارزش صادق و کاذب، ارزش میانه (Middle Value) را هم به منطق کوانتومی اضافه کرد. او صدق و کذب گزاره‌ها را وابسته به مشاهده می‌داند و به‌طورکلی معتقد بود که خارج از

چهارچوب مشاهده نمی‌توان در مورد صدق و کذب گزاره‌ها سخن گفت. در واقع 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 از نظر کریپکی قابل قبول نمی‌باشد او سیستم‌های صوری را خود منطق به حساب نمی‌آورد و فقط به واسطه 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 از آنجا بتوان این تغییرات را اعمال کرد وجود ندارد. به عبارت دیگر 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 عدم کفایت هندسه اقلیدسی مبنای ایجاد هندسه نااقلیدسی نیست بلکه هندسه نااقلیدسی بر مبنای اصول موضوعه بنانهاده شده است

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

علاوه بر کرییکی دیدگاه‌های کواین (Willard Van Quine) هم در مورد پیشینی بودن منطق و مباحث مربوط به منطق کوانتومی نیز مهم می باشد. او مسئله پیشینی و یا پسینی بودن منطق را به تناقضات میان مشاهدات تجربی و بازبینی آن‌ها نسبت می دهد و بایان این که هیچ توضیحی نمی تواند کامل باشد قضایای پیشینی و پسینی را رد می کند و اصلاح آن‌ها را ضروری می داند بر همین مبنا او در مکانیک کوانتومی نیز اصل اجتماع نقیضین (The principle of the community of contradictions) را نیاز به بازبینی مجدد می داند (Quine, 1961: 565). در واقع نگاه کواین به بحث منطق کوانتومی و سه ارزشی، یک نگاه پایه‌ای تر و در جهت حل ناکارآمدی‌های منطق کلاسیک می باشد (Quine, 1961: 566). به عبارتی کواین معتقد است که منطق کلاسیک برای توضیح مکانیک کوانتومی کارآمد نیست و نیازمند منطق کوانتومی می باشیم. او پسینی بودن و نیاز به تجربه را برای منطق ضروری نمی داند. اگر از دیدگاه کواین به منطق کوانتومی نگاه کنیم می توانیم استقلال منطق کوانتومی و سازگاری آن با منطق کلاسیک را حفظ کنیم. این امر موجب می شود که منطق کوانتومی به عنوان منطقی ارزشمند و در ادامه منطق کلاسیک کارآمد باشد.

۳. مبانی فلسفی مکانیک کوانتومی

تجرباتی که در تأیید مکانیک کوانتومی به کار می آیند بافهم کلاسیکی ما از جهان متفاوت می باشند این امر با توجه به مفاهیمی مانند دوگانگی موجی ذره‌ای و اصل عدم قطعیت و مبانی جدید مبتنی بر آن‌ها این ضرورت را ایجاد می کند نگرش فلسفی و منطقی ما نیز باید از اصول مکانیک کوانتومی متفاوت باشد. ایجاد منطق کوانتومی به عنوان تفسیری منطقی در جهت تعیین صدق و کذب گزاره‌های مکانیک کوانتومی می باشد.

آنچه در نگاه استاندارد مکانیک کوانتومی مشهود است، دیدگاه احتمالاتی به جای 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. در واقع 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 به صورت 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 به عبارت دیگر تا زمان اندازه‌گیری توسط ناظر، هیچ واقعیتی 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 در تعارض است. در تفسیر مکانیک کوانتومی کپنهاگی مقادیر به صورت بالقوه وجود دارند در نتیجه آزمایش به صورت واقعی و قابل مشاهده درمی‌آیند از این رو 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؟

در واقع 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. این یکی 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 متغیرهای 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 متغیرهای پنهان بیان کرد (Bell, 1966:451).

۴. اصل عدم قطعیت

همان طور که مکانیک کوانتومی را می‌توان بر اساس ریاضیات تابع موج شرودینگر بیان کرد، آن را می‌توان بر اساس ماتریس‌هایی که توسط هایزنبرگ ارائه شد نیز بیان کرد. هایزنبرگ با ارائه این ماتریس‌ها به همان نتایجی رسید که از طریق تابع موج برای ما حاصل می‌گردد. آنچه هردوی این‌ها را به نتیجه یکسانی می‌رساند تبیین احتمالاتی و فاصله‌گیری از صدق و کذب قطعی می‌باشد. موضوع مهم دیگر تبیین دوگانه موجی ذره‌ای می‌باشد که به نحوی وابستگی بخش هستی‌شناسانه عالم میکرو را به عملگر و ناظر نشان می‌دهد. به بیان ساده‌تر اصل عدم قطعیت می‌گوید که اندازه‌گیری هم‌زمان بعضی از متغیرها به صورت دقیق ممکن نیست و با یک عدم قطعیتی روبرو خواهیم بود. علاوه بر مساله اندازه‌گیری در اصل عدم قطعیت، ممکن است در شرایطی امکان تحقق بعضی از عمل‌گرها وجود نداشته باشد و این عدم امکان، از خود عدم قطعیت در اندازه‌گیری اهمیت بیشتری دارد. به عنوان مثال اگر بخواهیم به صورت هم‌زمان، مکان و اندازه حرکت یک الکترون را اندازه‌گیری کنیم، اندازه‌گیری هر یک از این پارامترهای فیزیکی باعث تغییر در اندازه‌گیری و در نهایت یک عدم قطعیت برای اندازه‌گیری دقیق هردوی آن‌ها می‌باشد (Hilgevoord and Uffink, 2001). در واقع گویا هر تلاشی برای دقت در اندازه‌گیری هم‌زمان متغیرها، در محدوده‌ای از عدم قطعیت در اندازه‌گیری خواهد بود. به عبارت دیگر در عمل‌گرهای ناسازگار چون امکان جابجایی آن‌ها وجود ندارد و با مطرح شدن پارامترهایی مانند ثابت پلانک که معادلات مربوط به اندازه‌گیری و امکان وجود هم‌زمانی این متغیرها را تغییر می‌دهند، مساله‌ای مهم تحت عنوان واقعیت اندازه‌گیری این عملگرها مطرح می‌شود، این مسئله نشان‌دهنده‌ی اهمیت موضوع اندازه‌گیری و ماهیت عملگرها در مکانیک کوانتومی می‌باشد. نگاه احتمالاتی و آماری به اتفاقات و وقایع عالم میکروسکوپی و دور کردن ما از قطعیت‌هایی که در بخش ماکروی عالم وجود دارد این سؤال اساسی را مطرح می‌کند که علاوه بر رد علیت، منطق حاکم بر هر یک از این حیطه‌ها با وجود تفاوت‌هایی که باهم دارند چگونه می‌توانند در کنار هم جمع آیند.

تعبیر 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 موجییت و موضوع مشاهده‌کننده و مشاهده‌پذیر می‌باشد (Capaldi, 1966:373). دلیل رد موجییت 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 موجییتی در ابعاد کوانتومی نداریم. از طرف دیگر چون تعبیر کوانتومی آماری هستند، لذا زنجیره علی وجود ندارد و اصل عدم قطعیت به نفی علیت منتهی می‌شود و چون آزمایش‌هایی که برای پی بردن به سرشت واقعیت انجام می‌شود خودشان تضمین‌کننده تخطی از واقعیت هستند لذا تفکیک کلاسیک بین مشاهده‌گر و مشاهده‌پذیر از اعتبار ساقط می‌شود (Capaldi, 1966:374). حال این سؤال اساسی مطرح است که آیا عدم قطعیت نتیجه عدم تعیین در طبیعت است و یا از جهل فعلی بشری ساطع شده 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 به‌طور جدی 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 تعبیری 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 تعبیر 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 گزاره‌های 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، گزاره‌هایی 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 گزاره‌ها 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 نگرش‌های فلسفی را در بر دارد نیاز به منطقی جدید برای اعتبار سنجی استدلال‌های 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 گزاره‌ها 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 پیش‌بینی ناپذیری برخی از آزمایش‌ها به معنی رد موجیبت در ابعاد اتمی می‌باشد. او این مسئله را موضوعی فلسفی می‌داند و نه یک مسئله علمی و می‌گوید با آن‌که گرایش من رد موجیبت 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 بی‌نیازی 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 نظریه‌های فیزیکی حاوی اطلاعاتی در مورد قوانین منطقی است که جهان از آنها پیروی می‌کند (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 به‌بیان دیگر 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 استدلال‌های 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 گزاره‌های 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 می باشد. EPR که از آن به عنوان یک پارادوکس یاد می شود، بیان می کند در صورت درست بودن اصول مکانیک کوانتومی استاندارد، یا این نظریه نمی تواند تمام وقایع را برای ما آن گونه که هستند بیان کند و یا اینکه این اصول باید غلط باشند. در واقع صورت بندی نظریه مکانیک کوانتومی به صورت اصل موضوعه، این امکان را ایجاد می کند که با اشکال به یکی از این اصول، این نظریه مورد تردید قرار می گیرد. 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 صورت بندی منطقی، به دو ادعا می پردازد. یا مکانیک کوانتومی ناقص است و نمی توانیم مقادیر ناسازگار فیزیکی را به صورت هم زمان اندازه بگیریم، یا اینکه اگر مکانیک کوانتومی کامل است، مقادیر ناسازگار می توانند وجود داشته باشند، پس به جای فرض کامل بودن مکانیک کوانتومی، مقادیر ناسازگار می توانند ارزش واقعی و قطعی داشته باشند. چون می توان برای این مقادیر ارزش واقعی در نظر گرفت و این با فرض های اساسی مکانیک کوانتومی در تناقض است، پس مکانیک کوانتومی توصیف کاملی از واقعیت را به ما نمی دهد. نتیجه این که مکانیک کوانتومی ناقص است (Einstein, Podolsky, Rosen, 1935: 779). این مقادیر ناسازگار ارتباط مستقیمی با درهم تنیدگی و اصل عدم قطعیت دارد. می بینیم که در همین صورت بندی محدود و انتزاعی برای کسانی مانند انیشتین دلایل کافی برای ناامیدی از مکانیک کوانتومی وجود داشت. بر اساس EPR امکان اندازه گیری واقعی مقادیر به صورت هم زمان وجود دارد پس عملاً گزاره هایی بر مبنای واقعیات عینی خواهیم داشت. اما این موضوع با اصول مکانیک کوانتومی استاندارد و تابع موج در تعارض است (Einstein, Podolsky, Rosen, 1935: 783). با توجه به متن EPR در دو سیستم که به اندازه کافی از هم فاصله دارند، با اندازه گیری بر روی یکی از سیستم ها به طور قطع می توانیم تمام اطلاعات مربوط به سیستم دیگر را هم به دست آوریم. این تعارض آشکار با فهم ما از مکانیک کوانتومی دلیل اساسی برای رد توصیف واقعی و کامل توسط مکانیک کوانتومی از جهان می باشد.

این تقابل آشکار بین EPR و اندازه گیری هم زمان عملگرهای ناسازگار در اصل عدم قطعیت در جواب بوهر (Niels Bohr) به انیشتین نیز به وضوح مطرح است. بوهر این دو سیستم را از هم تفکیک ناپذیر می داند و بیان می کند 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 برداشت.

۶. 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. به‌عنوان مثال اگر گزاره‌ای با فصل دو گزاره دیگر عطف شود، عملاً دو گزاره مورد فصل داریم که هرکدام از عطف دو گزاره تشکیل شده‌اند. در واقع ادات اولی، در بین آن دو ادات دیگر توزیع شده 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 از نظریه 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 بہ منطق، کاملاً با نگاه متافیزیکی و پیشینی در تعارض است. ورود ارزش میانہ بہ منطق کوانتومی و رد اصل توزیع پذیری در این منطق اگرچہ بر مبنای نگاه تجربی کسانی چون پاتنم شکل گرفته است ولی نکتہ مہم آن است کہ نتایج حاصل از این مباحث فلسفی اصالت منطق کوانتومی و استقلال آن را زیرسؤال نمی برد بہ عبارتی چون ارتباط منطق با متافیزیک بسیار تنگاتنگ است و شاید نتوان منطق را کاملاً از متافیزیک مستقل دانست لذا مباحثی مانند منطق کوانتومی و رد اصل توزیع پذیری در این منطق، مباحثی متافیزیکی هستند و اختلافاتی کہ در تعبیر بیان می شوند، نمی تواند استقلال منطق کوانتومی و نتایج آن را زیر سؤال ببرند.

در این نوشتار رد اصل توزیع پذیری را با دو مبحث بسیار مہم در مکانیک کوانتومی یعنی اصل عدم قطعیت و پارادوکس EPR بررسی می کنیم. از آنجاکہ اصل عدم قطعیت از ارکان اساسی مکانیک کوانتومی در تفسیر کپنهاکی است و مسئلہ EPR آموزہای برای تفسیر کپنهاکی مکانیک کوانتومی می باشد و از طرفی چون منطق کوانتومی بر ارکان ریاضیاتی مکانیک کوانتومی استوار است و برای سنجش استدلال ہا در این حیطہ از علم بہ کار می آید، لذا EPR می تواند آموزہای برای رد منطق مکانیک کوانتومی ہم باشد پس رد اصل توزیع پذیری از منظر این دو مقولہ یعنی تفسیر کپنهاکی و EPR حائز اہمیت می باشد. رد این اصل تعبیر و نتایج فلسفی و منطقی مہمی را در بر خواهد داشت و تفاسیر معرفت شناختی و ہستی شناختی مکانیک کوانتومی را تحت تأثیر قرار می دہد.

در بررسی رد اصل توزیع پذیری از دیدگاہ اصل عدم قطعیت ابتدا بہ ارتباط این دو می پردازیم. نتیجہ می گیریم کہ با در نظر گرفتن یکی، دیگری ناممکن خواهد بود. علت این موضوع آن است کہ اصل عدم قطعیت بہ نحوی عطف گزارہهای منطقی است کہ با یکدیگر ناسازگار هستند، لذا با فصل زوج های این چنینی می توان بہ اصل توزیع پذیری رسید ولی بر اساس خود اصل عدم قطعیت امکان اندازہ گیری ہم زمان آن ہا وجود ندارد پس اصل توزیع پذیری برای گزارہهای کوانتومی در منطق کوانتومی رد می شود.

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

با تغییر متافیزیک می توان بہ مباحث جدید مطرح شدہ در مکانیک کوانتومی پاسخ داد، ولی بہ علت ارتباط تنگاتنگ میان متافیزیک و منطق، تغییر در متافیزیک متحمل تغییر در منطق ہم می باشد. اگر با تغییر متافیزیک و نگہ داشتن منطق کلاسیک امکان تبیین گزارہها

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 مسئله عدم جابه‌جایی عملگرهای ناسازگار و تعریف سوپریمم در مورد ادات فصل می‌باشد. لذا منطق کوانتومی منطقی غیر پخشی می‌باشد. در مورد عملگرهای 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 درعین حال عطف دو گزاره صادق است.

اگر اصل توزیع‌پذیری را از منظر EPR مورد توجه 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 آن که 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. در واقع 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 هر دو 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 مورد پذیرش 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 به صورت مستقل و بدون نیاز به هر نوع تجربه‌گرایی (Empiricism)، یک منطق مستقلی است و می‌تواند در هر جایی 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 ابررسمان‌ها نیز از فضای هیلبرت و مکمل‌های متعامد استفاده شده 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 بنا شده‌اند 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 از آنجاکه مکانیک کوانتومی اصل توزیع‌پذیری را رد می‌کند، کاملاً با منطق کوانتومی سازگار است. EPR برای رد مکانیک کوانتومی طرح‌ریزی شده 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 تشکیل شده است) می‌باشد و خودش به تنهایی بیانگر اطلاعات فیزیکی نیست.
 ۲. معادله موج شرودینگر حالت‌های کوانتومی یک سیستم فیزیکی را ارائه می‌دهد این معادله از دو بخش زمانی و مکانی تشکیل شده است. حالت‌های کوانتومی، ویژه‌حالت‌ها و ویژه‌مقدارها مقادیری هستند که سیستم بعد از اندازه‌گیری یک متغیر به یکی از آن‌ها می‌رود.
- $$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V\Psi.$$
۳. فضای هیلبرت یک فضای برداری n بعدی است که هر کدام از بعدها، بر یکدیگر عمود می‌باشند. این فضای متعامد بر اساس ضرب داخلی بردارها می‌تواند کمیت‌های فیزیکی را نشان دهد و تأثیر آن‌ها بر روی هم بر اساس بردارهایی در این فضا و ضرب داخلی آن‌ها تعریف می‌شود.
 ۴. مجموعه مکمل‌های متعامد به مجموعه‌ای از بردارهای پایه که هر کدام 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 اشیاء، 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 از نظریه 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.

رد اصل پخش‌پذیری در منطق کوانتومی با نگاهی به اصل ... (سیدمهدی محمدی) ۲۸۳

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 می‌کند متغیرهای ریز و ظریفی وجود دارند که به علت در نظر نگرفتن آنها، مساله عدم قطعیت اتفاق می‌افتد. دیوید بوهر 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 physical 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). Quantum logic and probability theory. ntm logic and probability theory.
- Zawirski, Z. (1931). ``Attempts at application of many-valued logic to contemporary science''. Sprawozdania Poznan skiego Towarzystwa Przyjaciolof Nauk, 2(4), 6.