منطق کوانتومی: منطقِ صادقِ کاذب!

محسن انبیایی / دکتری فلسفهٔ دین مؤسسهٔ آموزشی و پژوهشی امام خمینی anbiaei@yahoo.com

دریافت: ۹۶/۱۰/۲۵ **پذیرش:** ۹۷/۰۳/۱۰

چکیده

نیروبرد (مکانیک) کوانتومی در طلیعه قرن بیستم جانشین نیروبرد سنتی شد. برای معادله موج شرودینگر که در این نیروبرد جدید، دارای جایگاهی همچون جایگاه قوانین حرکت نیوتن در نیروبرد سنتی است، تعبیرهای فلسفی بسیاری ارائه شده که تعبیر منطق کوانتومی یکی از این تعابیر است. بنیان‌گذاران منطق کوانتومی مدعی‌اند که بر اساس مشاهداتشان در سطح کوانتومی، منطق سنتی که پیش از این به عنوان معیار سنجش استدلال صحیح از ناصحیح بوده است، فاقد کارایی مناسب است و باید آن را با یکی از تقاریر منطق کوانتومی جای‌گزین ساخت. در این مقاله ضمن معرفی مختصر نیروبرد کوانتومی و تعبیر منطق کوانتومی از این نیروبرد، حتی‌الامکان از ورود به مباحث صوری منطق کوانتومی احتراز می‌شود و با روش تحلیلی، امکان جای‌گزینی منطق سنتی با چنین منطقی بررسی می‌شود. بر اساس این تحقیق مشخص شد که منطق کوانتومی را باید صرفاً یک صورت‌بندی ریاضیاتی دانست، نه یک منطق جای‌گزین، چراکه اولاً منوط به یک تعبیر خاص از معادله شرودینگر است و ثانیاً به‌وضوح از منطق سنتی برای ابطال آن استفاده کرده است. همچنین نتیجه‌ای که از کاربست این منطق بر دو منطق سنتی و کوانتومی حاصل می‌شود، صادق و کاذب بودن هم‌زمان هر دو منطق است، نه کاذب بودن منطق سنتی و صادق بودن منطق جای‌گزین.

کلیدواژه‌ها: منطق کوانتومی، منطق ارسطویی، منطق سنتی (کلاسیک)، نیروبرد (مکانیک) کوانتومی، نظریه کوانتوم، تعبیر کوانتومی، تابع موج.

مقدمه

ظهور الگوواره (پارادایم) فیزیک کوانتومی در دهه‌های آغازین قرن بیستم درک سنتی انسان از محیط فیزیکی اطراف او را به نحو بنیادین تغییر داد. در تصویر جدید، نیرو (انرژی) که پیش از این موج تلقی می‌شد، از خود رفتار ذره‌ای نشان می‌داد و ماده که ذره قلمداد می‌شد، دارای رفتار موجی بود. برخلاف نیروبرد (مکانیک) نیوتنی که در آن با داشتن اطلاعات کافی از وضعیت حال یک ساختار فیزیکی، آینده آن ساختار قابل پیش‌بینی و گذشته آن قابل محاسبه بود، معادله *شرودینگر* صرفاً احتمال یک حالت فیزیکی را می‌توانست پیش‌بینی کند. تصویر جدید از دنیای فیزیکی به قدری سخت و تاریک بود که *فاینمن* مدعی شد هیچ‌کس دنیای کوانتومی جدید را نمی‌شناسد (فاینمن، ۱۹۶۵، ص۱۲۳).

به‌موازات پیشرفت در جنبه‌های محاسباتی نظریه *کوانتوم*، فیلسوفان فیزیک تلاش خود را برای فهم واقعیت خارجی بر اساس امکانات جدید علم آغاز کرده و تعابیر مختلفی را برای نیروبرد کوانتومی پیشنهاد دادند. یک تعبیر کوانتومی به مجموعه گزاره‌هایی متافیزیکی گفته می‌شود که تلاش می‌کند تصویری منسجم از واقعیت خارجی بر اساس صحت نیروبرد کوانتومی ارائه نماید. در برخی از این تعابیر برای رفع ناسازگاری‌های ایجادشده، بازتعریف مفاهیم سنتی (کلاسیک) فیزیکی پیشنهاد گردید. اینشتین معتقد بود که اطلاعات تجربی جدید سبب می‌شود که یک مفهوم، اعتبارش را از دست بدهد. *نیلزبور* و سایر مدافعان تعبیر کپنهاگی ضمن حفظ مفاهیم سنتی معتقد بودند که کاربرد هم‌زمان مفاهیم سنتی ممکن نیست و باید از شیوه توصیف مکمل برای توصیف یک ساختار کوانتومی استفاده نمود (گلشنی، ۱۳۶۹، ص۷۶ـ۷۸).

چالش‌انگیزترین تعبیر را طرف‌داران منطق کوانتومی بیان کردند. آنان معتقدند باید منطق خود را به گونه‌ای پایه‌ریزی کنیم که با نتایج مشاهداتی فیزیک کوانتومی تناقضی نداشته باشند. از نگاه این گروه، همان‌گونه که تجربه نشان داد که هندسه جهان برخلاف تصور دوهزارساله، اقلیدسی نبوده و هندسه نااقلیدسی جای‌گزین آن شد، تجربه رویدادهای کوانتومی به ما نشان می‌دهد که باید منطق کوانتومی را جای‌گزین منطق ارسطویی نماییم. *دیوید فینکلشتین* می‌گوید:

> **اینشتین مفهوم سنتی زمان را دور انداخت؛ بور مفهوم سنتی حقیقت را کنار گذاشت. نادرستی ایده‌های منطقی سنتی ما به‌روشنی در مقام عمل روشن می‌گردد. قدم بعدی این است که بیاموزیم درست فکر کنیم؛ یعنی به روش منطق کوانتومی فکر کنیم (کیست، ۲۰۰۹، ص٤٢).**

نخستین بار در سال ۱۹۳۶ *گارت بریکهوف* و *جان فان نیومن* با مقاله «منطق نیروبرد کوانتومی» به معرفی این ایده پرداختند. *رایشنباخ* در ۱۹۴۴ طرح منطق سه‌ارزشی *لوکاسیویچ* را برای تبیین پدیده‌های کوانتومی پیشنهاد داد و در ۱۹۵۷ *پاتنام* ضمن ارائه ادله‌ای جدید، مدعی حرکت به سمت ساده‌سازی ساختار تمام قوانین شد. *فایرابند* ارزش حالت میانه (نه صادق و نه کاذب) را ناشی از جهل معرفت‌شناسانه دانست و منطق سه‌ارزشی را به منطق دوارزشی بازگرداند (فایرابند، ۱۹۵۸، ص۴۹).

علی‌پور (۱۳۸۸) در پایان‌نامه «منطق کوانتومی» و *شیروانی* (۱۳۹۲) در پایان‌نامه «بررسی شبکه‌های ارتومدولار و جبر بولی جزئی به‌مثابه پایه‌هایی برای منطق کوانتوم» و *کریم صالحی* (۱۳۷۸) در پایان‌نامه «منطق مکانیک

کوانتومی» بدون ورود به حیطه نقد، به معرفی این منطق پرداخته‌اند. *اسدی و نبوی* (۱۳۹۱)، در مقاله «معناشناسی ادات ربط در منطق کوانتومی» ادات ربط در این منطق را به دو صورت جبری و کریپکایی معرفی کرده، ارتباط این معناشناسی‌ها را با جهان فیزیکی تشریح می‌کند. همچنین در مقاله «بررسی سه چالش منطق کلاسیک در حوزه کوانتوم» (۱۳۸۹) با بررسی سه تناقض‌نمای دو شکاف، فان نویمن و گربه شرودینگر به این نتیجه می‌رسند که گربه شرودینگر و نیز برخی تقاریر از دو تناقض‌نمای نخست، منطق سنتی را با چالشی جدی مواجه ساخته‌اند.

این نوشتار با استفاده از منابع کتابخانه‌ای و به روش تحلیلی، ضمن خودداری از ورود به مباحث صوری منطق کوانتومی، به دنبال بررسی امکان و یا ضرورت طرح چنین منطقی است.

۱. نیروبرد کوانتومی

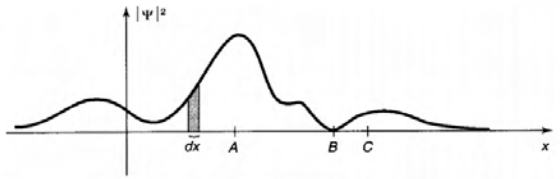
ذره‌ای را با جرم m در نظر بگیریم که در راستای x محور مختصات در حال حرکت است و نیروی f(x,t) به آن وارد می‌شود. نیروبرد (مکانیک) سنتی با استفاده از قانون دوم نیوتن (F= ma)، مکان ذره را در زمان معین (x(t)) به صورت دقیق مشخص می‌سازد. با مشخص شدن مکان، می‌توان سرعت (v=dx/dt)، تکانه (p=mv)، نیروی جنبشی (t=(1/2)mv2) و هر مؤلفه دیگر مربوط به ذره را مشخص ساخت.

نیروبرد کوانتوم به شکل کاملاً متفاوتی با این مسئله برخورد می‌کند و به دنبال توصیف تابع‌موج ذره می‌باشد (Ψ(x,t)) که با استفاده از معادله شرودینگر قابل‌حل می‌باشد:

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

احتمال یافتن یک ذره را در مکان و زمان خاص می‌توان با |Ψ(x,t)|2 مشخص نمود. برای مثال در شکل مقابل که تابع‌موج یک ذره را نمایش می‌دهد، احتمال یافت شدن ذره در نقطه A بسیار بالا، در نقطه C پایین و در نقطه B برابر صفر می‌باشد.



تابع‌موج یک ذره

تمایز اصلی نیروبرد (مکانیک) سنتی و نیروبرد کوانتومی در این است که برخلاف نیروبرد سنتی که نتایج قطعی و روشنی دارد، تابع‌موج یک ذره حتی اگر به صورت دقیق کشف شود، باز هم نتایج احتمالاتی را در اختیار قرار می‌دهد (گریفیتث، ۱۹۹۴، ص۱۷).

ماکس بورن در تابستان ۱۹۲۶ تعبیری احتمالاتی از نیروبرد موجی شرودینگر را برگزید و بدین‌وسیله توانست اشکالات مطرح‌شده نسبت به آن را برطرف کند. بر اساس ایده بورن، توان دوم Ψ صرفاً نمایش‌دهنده احتمال وجود یک ذره در مکان خاص است. تفسیر احتمالاتی نیروبرد موجی که به نام قانون بورن معروف شد، علی‌رغم ناخرسندی فیزیک‌دانان متمایل به فیزیک سنتی همچون *دوبروی*، *اینشتین* و *شرودینگر* به‌سرعت در میان مجامع علمی مقبولیت یافت.

۲. منطق کوانتومی

بریکهوف و *فان نیومن* در مقاله سال ۱۹۳۶ خود، طرحی از یک منطق غیرسنتی را برای فهم واقعیت کوانتومی ارائه نمودند. آنان معتقد بودند اگر ما بر اساس منطق جدید تفکر کنیم، دیگر نتایج نیروبرد کوانتومی برای ما چندان عجیب نخواهد بود. در دیباچه این مقاله آمده است:

> **یکی از جنبه‌های نظریه کوانتوم که بیشترین توجه را به خود جلب کرده است، بداعت مفاهیم منطقی پیش‌فرض آن می‌باشد. بر اساس این نظریه، حتی توصیف ریاضی کامل از یک ساختار فیزیکی S شخص را قادر به پیش‌بینی دقیق نتایج یک آزمایش بر روی S نمی‌سازد... موضوع مقاله حاضر کشف این امر است که به پیدا کردن کدام ساختارهای منطقی در نظریات فیزیکی می‌توانیم امیدوار باشیم که همانند نیروبرد کوانتومی تابع منطق سنتی نباشد (بریکهوف و فان نیومن، ۱۹۳۶، ص۸۲۳).**

رویدادهای طبیعی در فیزیک سنتی هماهنگی کاملی با منطق دو ارزشی ارسطویی داشت. حدود نیم‌قرن پیش جرج *بول* (George boole) کشف کرده بود که قوانین این منطق را می‌توان بر اساس یک جبر خاص که مشابهت زیادی به جبر مرسوم داشت و بعدها به نام او جبر بولی نامیده شد، بیان کرد (د رونده، دامنچ و فریتز). برای مثال همان‌گونه که می‌توان گفت: $A * (B + C) = (A * B) + (A * C)$، بر اساس قانون توزیع‌پذیری در منطق سنتی نیز می‌توانیم بگوییم: $A \wedge (B \vee C) = (A \wedge B) \vee (A \wedge C)$.

قانون توزیع‌پذیری را در آزمایش دو شکاف (double-slit experiment) در محیط فیزیک سنتی به شکل ذیل می‌توان توضیح داد:

A = توپ به نقطه P در صفحه پشتی دو شکاف برخورد کرده است؛

B = توپ از شکاف سمت راست عبور کرده است؛

C = توپ از شکاف سمت چپ عبور کرده است.

براین‌اساس همان‌گونه که می‌توانیم بگوییم توپ به نقطه P برخورد کرده و از یکی از دو شکاف راست و یا چپ عبور کرده است، می‌توانیم بگوییم یا توپ از شکاف راست گذشته و به نقطه P برخورد کرده است و یا از شکاف چپ عبور و به نقطه فوق برخورد کرده است.

اصل عدم امکان اجتماع دو نقیض (Excluded middle principle) و عدم ارتفاع آن دو (Principle of Non-Contradiction) ازجمله مهم‌ترین قوانین در منطق سنتی است. براین‌اساس می‌توانیم گفت: $(A \vee \neg A = 1)$ و نیز: $(A \wedge \neg A = 0)$.

بنابراین اگر منطق سنتی در سطح کوانتومی صحیح باشد، اسپین یک ذره صرفاً در حالت up و یا down خواهد بود، درحالی‌که نتایج مشاهدات کوانتومی خلاف آن را نشان می‌دهد؛ چراکه تا وقتی ساختار در شرایط اندازه‌گیری (Measurement) قرار نگرفته باشد، در حالت برهم‌نهی (Superposition) تمامی حالات ممکن است و ازاین‌رو دیگر منطق دوارزشی در آن کارآمد نخواهد بود. *پل دیراک* در کلاس‌های درس خود قطعه گچی را دو تکه کرده و تکه‌ای را در یک طرف میز و تکه دیگر را در طرف دیگر میز قرار می‌داده و می‌گفته است که از نظر سنتی حالتی وجود دارد که در آن تکه گچ «اینجاست» و حالت دیگری هم وجود دارد که تکه گچ «آنجاست» و این دو حالت، تنها حالات ممکن می‌باشند که با یکدیگر قابل‌جمع نیز نیستند. در دنیای کوانتومی، نه‌فقط حالت‌های «اینجا» و «آنجا» که بی‌نهایت حالت دیگر نیز برای الکترون وجود دارد و ترکیب این حالت‌ها که از نظر فیزیک سنتی مانعة‌الجمع‌اند، ممکن است (پولکینگهورن، ۱۳۸۹، ص۳۸).

بریکهوف و *فان نیومن* که به دنبال منطق سازگار با مشاهدات کوانتومی بوده و متوجه شده بودند که نمی‌توان پدیده‌های فیزیکی را به شکل مستقیم به منطق جدید مرتبط ساخت، از یک واسطه ریاضی یعنی فضای هیلبرت و مفاهیم وابسته به آن استفاده کردند.

در منطق کوانتومی، فضای فاز (Phase space) ساختار که مجموعه تمامی حالات ممکن آن ساختار می‌باشد، معادل با یک فضای هیلبرت (Hilbert space) در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین هر تابع‌موج ψ که نمایشگر یک حالت کوانتومی است، متناظر با یک بردار h از فضای هیلبرت H می‌باشد. حال اگر n سنجش بر روی ساختار S صورت گیرد، n نتیجه X1، X2، ... و XN به دست خواهد آمد که این مجموعه را فضای مشاهده‌ای (Observation space) ساختار و هر زیرمجموعه از آن را یک گزاره تجربی می‌نامیم. حال با توجه به هم‌ارز بودن فضای فاز ساختار با یک فضای هیلبرت می‌توان هر گزاره تجربی را معادل با یک زیرفضای بسته هیلبرت در نظر گرفت (بریکهوف و فان نیومن، ۱۹۳۶، ص ۸۲۳ـ۸۲۴). این امر منجر به آن شده است که عملگرهای موجود در منطق کوانتومی معنایی کاملاً متفاوت با این عملگرها در منطق سنتی پیدا کنند. برای وضوح مطلب به بررسی کارکرد عملگر فصل در منطق کوانتومی می‌پردازیم.

در فضای هیلبرت، اجتماع دو زیرفضای بسته (Closed subspaces) ممکن است یک زیرفضای بسته نباشد. بنابراین اجتماع دو زیرفضای بسته مانند H1 و H2 ممکن است یک گزاره تجربی نباشد. لذا برای معرفی ادات فصل، به‌جای اجتماع دو زیر فضا از زبرینه (سوپرمیم، Supremum) آنها استفاده می‌کنیم. زبرینه دو زیرفضای بسته، کوچک‌ترین زیرفضای بسته‌ای است که شامل آن دو زیرفضا باشد و آن را با نماد $\sqcup$ نمایش می‌دهیم؛ بنابراین اگر داشته باشیم $h4 = h1 \sqcup h2$، h4 زیرفضای بسته معادل با گزاره $p \vee q$ خواهد بود:

این مطلب، هسته مرکزی تفاوت منطق‌های کوانتومی و کلاسیک را تشکیل می‌دهد؛ زیرا ثابت می‌شود که ممکن است برداری مانند x از فضای هیلبرت H، عضو هیچ‌یک از زیرفضاهای h1 و h2 نباشد، اما عضوی از

سوپرمیم آنها باشد. این خود به آن معناست که ممکن است هیچ‌یک از گزاره‌های p و q صادق نباشند، اما ترکیب فصلی آنها صادق باشد (اسدی و نبوی، ۱۳۹۱، ص۹).

بنابراین درحالی‌که گزاره p (بالا بودن اسپین الکترون) فاقد ارزش صحت معین است، یعنی نه صادق است و نه کاذب و نیز گزاره q (پایین بودن اسپین الکترون) به شکلی مشابه فاقد ارزش صحت معین می‌باشد، درعین‌حال $(p \vee q)$ صادق خواهد بود. این امر برخلاف منطق سنتی است که در آن با صادق نبودن دو گزاره، ترکیب فصلی آنها نیز صادق نخواهد بود؛ بنابراین قانون توزیع نیز در منطق کوانتومی برقرار نخواهد بود:

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

۳. نقد و بررسی

منطق کوانتومی در صورت‌بندی نظریه کوانتوم به موفقیت نسبی دست یافته است؛ اما آیا این موفقیت مستلزم جای‌گزینی این منطق به‌جای منطق سنتی است؟ منتقدان معتقدند که موفقیت در صورت‌بندی ملازمه‌ای با صدق آن نظریه ندارد و از سوی دیگر تعمیم این صورت‌بندی به سایر حیطه‌های نظری ممکن نیست.

۱ـ۳. وابسته بودن به پذیرش تفسیر برهم‌نهی از تابع‌موج

آیا می‌توان منطق کوانتومی را جای‌گزین قطعی برای منطق سنتی دانست؟ علی‌رغم آنکه منطق کوانتومی توانسته است صورت‌بندی مناسبی برای مناسبات کوانتومی ارائه دهد، اما به نظر می‌رسد بسیار زود است که بخواهیم آن را به عنوان منطق جای‌گزین معرفی کنیم. مشکل ازآنجا آغاز می‌شود که منطق کوانتومی بر تفسیر خاصی از تابع موج استوار شده که دلایل فیزیکی و فلسفی کافی برای پذیرش آن در حال حاضر وجود ندارد.

همان‌گونه که بیان شد، نیروبرد مکانیکی صرفاً بیانگر احتمالات یک رویداد کوانتومی است. دو رویکرد عمده در تفسیر این احتمالات میان فیزیک‌دانان وجود دارد. هرچند برخی بنیان‌گذاران نظریه کوانتوم این احتمالات را وجودشناختی دانسته و بر اساس آن تمامی ساختارهای کوانتومی در طبیعت را در حالت برهم‌نهی قرار دادند، اما شمار فراوانی از فیزیک‌دانان همچون *اینشتین*، *شرودینگر*، *دوبروی* و *بوهم* هیچ‌گاه چنین تفسیری از تابع موج را نپذیرفتند. آنان معتقدند که علت اینکه تابع‌موج اشیا را در حالت برهم‌نهی قرار می‌دهد، صرفاً ناقص بودن نیروبرد کوانتومی است. در ساختارهای کوانتومی، متغیرهای پنهان (Hidden variables) وجود دارند که با افزوده شدن آنها به نیروبرد کوانتومی مشخص می‌شود که تمامی موجودات کوانتومی در حالت متعین قرار دارند.

ایده متغیرهای پنهان موجب می‌شود که جهان کوانتومی برای ما همچون جهان کلان تصویرپذیر باشد. تصور اینکه اشیا حتی در سطح کوانتومی در حالت برهم‌نهی قرار داشته باشند، در تضاد با شهود اولیه تمام انسان‌هاست. اینشتین که اصل برهم‌نهی را مخالف تلقی عمومی می‌دانست، در همان آغاز منازعات، بعد از بیان جمله معروف خود که «گمان نمی‌کنم خداوند در جهان طاس بیندازد» این اصل را مورد اعتراض قرار داده و به بور چنین گفت: «آیا شما فکر می‌کنی، زمانی که کسی به ماه نگاه نمی‌کند، ماه در آنجا نیست؟» (پایس، ۱۹۷۹، ص۹۰۷).

ادله مختلفی بر عدم صحت تفسیر وجودشناختی از احتمالات تابع‌موج مطرح گردیده که گربه شرودینگر (Schrodinger's cat)، دوست ویگنر (Wigner's friend)، پراش دو شکاف (Double-slit diffraction) و استدلال EPR ازجمله این اعتراضات است. شرودینگر با آزمایش نظری مشهور خود نشان داد که با فزون‌سازی اثر برهم‌نهی به سطح کلان جهان، ناگزیر از آن هستیم که گربه او را که در شرایط آزمایشگاهی خاصی قرار گرفته است، به‌صورت هم‌زمان مرده و زنده بدانیم (دور و توفل، ۲۰۰۹، ص۳). نتیجه نظرسنجی‌های اخیر نشان می‌دهد که گرایش عمومی فیزیک‌دانان به سمت مردود دانستن اصل برهم‌نهی افزایش فراوانی یافته است (سامر، شلوسهر و دیگران و نورسن و نلسون).

۲ـ۳. وابسته بودن به یک تعبیر خاص از اصل برهم‌نهی

اگر نظریات متغیر پنهان مردود اعلام شود، آیا الزامی به پذیرش منطق کوانتومی وجود دارد؟ باز پاسخ منفی است؛ چراکه منطق کوانتومی صرفاً یکی از تعابیر مختلفی است که برای نیروبرد کوانتومی برفرض پذیرش اصل برهم‌نهی ارائه شده است. همان‌گونه که گفته شد، یک تعبیر کوانتومی به مجموعه گزاره‌هایی متافیزیکی گفته می‌شود که تلاش می‌کند تصویری منسجم از واقعیت خارجی بر اساس صحت نیروبرد کوانتومی ارائه دهد. انتخاب و یا رد یک تعبیر کوانتومی بر اساس شواهد علمی ممکن نیست؛ چراکه تمامی تعبیرهای کوانتومی به پیش‌بینی‌های مشترک می‌انجامند؛ ازاین‌رو گزینش تعبیر صحیح باید بر اساس ملاک‌های خارج از علم صورت پذیرد. ماکس بورن زمانی که در مقاله سال ۱۹۲٦ خود اعلام کرد که پیش‌بینی‌ناپذیری برخی آزمایش‌ها به معنای آن است که در دنیای اتمی عدم موجبیت حاکم است، تذکر داد که این تصمیمی فلسفی است، نه علمی: «گرایش من به این است که موجبیت در دنیای اتمی متروک است؛ اما این یک موضوع فلسفی است که برای آن استدلالات فیزیکی به‌تنهایی قاطع نیستند» (گلشنی، ۱۳٦۹، ص٤٤).

پولکینگهورن نیز می‌نویسد:

تصویر فرایند فیزیکی که نظریه کوانتوم به ما می‌دهد، با آنچه در تجربیات روزمره خود با آن مواجه هستیم، آنچنان تفاوت دارد که لاجرم این پرسش را مطرح می‌کند که آیا دنیای زیراتمی، دنیایی واقعی است یا اینکه نیروبرد کوانتوم چیزی نیست مگر شیوه‌ای که ما را به انجام اعمال ریاضی قادر می‌سازد. این پرسش، پرسشی فلسفی است که خود علم قادر به پاسخ به آن نمی‌باشد و نمونه‌ای از چالش‌های میان واقع‌گرایان و تحصل‌گرایان می‌باشد (پولکینگهورن، ۱۳۸۹، ص۱۱۳).

در انتخاب فلسفی میان تعابیر ارائه‌شده، تعبیری که مخالف با اصول تثبیت‌شده فلسفی همچون اصل علیت باشد، پذیرفتنی نیست و تعبیری که سازگار با درک عام (common sense) نباشد، نمی‌تواند گزینه مطلوبی به شمار رود (هالتون و السون، ۱۹۸۷، ص ۱ـ۱۶)؛ چنان‌که تعبیرهای چندجهانی (MWI) و چندذهنی (MMI) همین دلیل با رغبت چندانی روبه‌رو نشده‌اند. حتی اگر مدعی شویم که منطق کوانتومی در تعارض با اصول اولیه فلسفی نیست، نمی‌توان منکر شد که این منطق فاصله چندانی با درک عام انسان‌ها دارد.

۳ـ۳. عدم صدق فرضیه در زمان اندازه‌گیری

یکی از مؤلفه‌های اساسی نظریه کوانتوم، فروپاشی تابع موج در زمان اندازه‌گیری است. در زمان اندازه‌گیری، تابع موج سقوط می‌کند و ساختار از حالت برهم‌نهی خارج می‌شود و در یک حالت متعین قرار می‌گیرد که بر اساس منطق کوانتومی قابل تبیین نیست. به‌عبارت‌دیگر، اگر p1، p2 ... و pn نتایج محتمل یک اندازه‌گیری باشند، ابزار اندازه‌گیری (p1 ∨ p2) را آشکار خواهد ساخت که در آن عملگر ∨ به همان معنای سنتی به کار رفته است، نه به معنای منطق کوانتومی.

عدم صدق یک منطق در شرایط خاص به معنای خط پایان آن منطق در تمامی شرایط خواهد بود. این همان ملاکی است که طرف‌داران منطق کوانتومی برای خارج کردن منطق سنتی از گردونه استفاده کردند. آنها با ادعای عدم صدق منطق سنتی در ساختارهای کوانتومی اعلام کرده بودند که منطق کوانتومی تنها منطق صحیح در تمامی حالات خواهد بود. حتی اگر از اشکال فوق صرف‌نظر کنیم، باید توجه داشت که با تعریف صحیح اندازه‌گیری، مشخص خواهد شد که حیطه صدق منطق کوانتومی بسیار محدود خواهد شد.

راسل از منظر پدیدارشناختی به مسئله اندازه‌گیری پرداخته و تفکیک مشهوری که در تعبیر کپنهاگی میان تحول تابع زمان (Time dependent evolution) تابع‌موج که با معادله موجیتی شرودینگر توصیف می‌شود و اندرکنش‌های برگشت‌ناپذیر (Irreversible interaction) را که معمولاً اندازه‌گیری نامیده می‌شوند، ذکر می‌کند و یادآور می‌شود که نباید این اندرکنش‌های برگشت‌ناپذیر را به اندرکنش میان ساختار کوانتومی و ابزار اندازه‌گیری کلان اختصاص دهیم؛ بلکه این اندرکنش‌ها شامل سه قسم اندرکنش خرد ـ کلان (Micro-macro interaction)، خرد ـ میانجی (Micro-meso interaction) و خرد ـ خرد (Micro-micro interaction) می‌شود.

۴ـ۳. پیشینی بودن منطق سنتی

طرف‌داران منطق کوانتومی آشکارا وابستگی منطق خود را به مشاهدات تجربی بیان کرده‌اند، اما آیا مشاهدات تجربی می‌تواند به نقض منطق سنتی بینجامد؟ اگر منطق کوانتومی معرفتی پیشینی باشد، مشاهده هر گونه تناقض میان آن و مشاهدات تجربی بدان معناست که باید قضیه تجربی را بازبینی کنیم. اکنون این پرسش مطرح است که قضایای منطق سنتی را باید پیشینی بدانیم یا پسینی؟ *دیکسون* می‌گوید: «برخی فیلسوفان گمان می‌کنند که آنها همه‌چیز را درباره منطق پیش از مطالعه جهان می‌دانند، اما جهان شیوه زننده‌ای در غافلگیر کردن این افراد دارد» (دیکسون، ۲۰۰۱).

کواین تمایز میان قضایای پیشینی و پسینی را برداشته، می‌گوید:

> **هیچ بیانی مصون از اصلاح نیست. حتی برای ساده‌سازی نیروبرد کوانتومی، اصلاح اصل منطقی اجتماع نقیضین را پیشنهاد کرده‌اند و اصولاً چه تفاوتی است میان چنین شیوه‌ای و شیوه‌ای که از طریق آن کپلر جای‌گزین دیدگاه بطلمیوسی شد. دیدگاه اینشتین جای‌گزین دیدگاه نیوتن و دیدگاه داروین جای‌گزین دیدگاه ارسطو؟ (کواین، ۱۹۵۱).**

اما در مقابل *دامت* در پاسخ به *کواین* و *پاتنم* معتقد است: «این ایده که معنای عمل‌گرهای قضیه‌ای، مفروض جدول صدق (Truth-table) بوده و درنتیجه قانون توزیع را باید همراه آنها در نظر گرفت، هیچ‌گاه قابل تجدیدنظر نمی‌باشد» (دامت، ۱۹۷۸، ص۲۷۷).

در این نوشتار به این مقدار بسنده می‌کنیم که آیا طرف‌داران منطق کوانتومی آن‌گونه که *کواین* ادعا کرده است توانسته‌اند ناکارآمدی منطق سنتی را ثابت نمایند؟ به نظر نمی‌رسد آنان در این امر توفیق چندانی یافته باشند؛ چراکه ایشان به‌روشنی از منطق سنتی برای انکار آن استفاده کرده‌اند. آنان در هنگام مواجهه با محیط آزمایشگاهی، ترتیب آزمایش و نتیجه مشاهدات کاملاً از منطق سنتی استفاده می‌کنند و صرفاً پس از مواجه شدن با نتایج عجیب معادله موج است که به فکر استفاده از منطق جای‌گزین می‌افتند. آیا زمانی که یک فیزیک‌دان وارد محیط آزمایشگاه می‌شود، وجود ابزار آزمایشگاهی را در حالتی از برهم‌نهی می‌بیند و وجود آنها را بر روی میز حالتی ترکیبی از صادق و کاذب می‌داند؟

برخی گمان می‌کنند که اگر ما به جای منطق ارسطویی، مطابق منطق کوانتومی فکر کنیم، نیروبرد کوانتومی چندان برای ما عجیب به نظر نخواهد رسید. متأسفانه این فکر چندان کمکی نمی‌کند؛ چراکه ما مطابق منطق ارسطویی فکر می‌کنیم. در حقیقت وقتی درباره منطق‌های غیرارسطویی فکر می‌کنیم، این کار را با استفاده از منطق ارسطویی متداول خود انجام می‌دهیم. به هرحال دانشمندانی که سروکار فراوانی با منطق کوانتومی دارند، چنان با منطق ارسطویی عجین شده‌اند که به یک معنا می‌توانیم بگوییم زمانی که مشغول منطق کوانتومی‌اند، با منطق سنتی فکر می‌کنند (رورلیخ، ۱۹۹۰، ص۱۸۱).

۵ـ۳. تطبیق قاعده منطق کوانتومی بر خود

منطق کوانتومی مدعی نیست که فقط در ساختارهای کوانتومی کارایی دارد، بلکه مدعی است که دارای نقشی هنجاری برای تشخیص تمامی استدلال‌های صحیح از ناصحیح است: «منطق کوانتومی هیچ‌گونه شکافی منطقی میان زمینه سنتی و زمینه کوانتومی نمی‌گذارد. منطق کوانتومی تنها منطق صحیح می‌باشد» (دیکسون، ۲۰۰۱).

حال برفرض صحت منطق کوانتومی، نتایج کاربست این منطق را نسبت به دو منطق سنتی و جدید بررسی می‌کنیم. اگر صحت منطق کوانتومی را p و صحت منطق سنتی را q در نظر بگیریم، هرچند $(p \vee q)$ صادق خواهد بود، اما هر یک از p و q فاقد ارزش صحت معین هستند (به همان صورت که اگر p به معنای بالا بودن اسپین الکترون و q به معنای پایین بودن اسپین باشد، در عین صدق $(p \vee q)$، هیچ‌یک از p و q ارزش صحت معین نخواهند داشت)؛ بنابراین به جای حکم به کذب منطق سنتی و صدق منطق کوانتومی، هر دو منطق را باید منطق صادقِ کاذب بدانیم.

۶ـ۳. عدم استقبال از سوی فیزیک‌دان

هرچند بی‌اعتنایی جامعه علمی به یک فرضیه نمی‌تواند حدفاصلی استوار میان حق و باطل باشد، اما به‌هرحال این بی‌توجهی به‌ویژه پس از معرفی کامل یک فرضیه می‌تواند قرینه خلافی بر صدق آن فرضیه باشد. آیا منطق کوانتومی مورد پذیرش فیزیک‌دانان قرار گرفته است؟ در چندین نظرسنجی که در سال‌های اخیر صورت گرفته است، هیچ‌یک از فیزیک‌دانان شرکت‌کننده در نظرسنجی از چنین تعبیری حمایت نکرده است (سامر، شلوسهر و دیگران و نورسن و نلسون). *مایکل دیکسون* که ازجمله طرف‌داران منطق کوانتومی است و برای رفع برخی اشکالات، سعی در ارائه تقریر جدید از این منطق دارد، پذیرفته است که چنین ایده‌ای تاکنون مورد استقبال جامعه علمی فیزیک‌دانان قرار نگرفته است:

آیا تعبیر منطق کوانتومی مرده است؟ غیبت تقریباً کامل آن از مباحث پیرامون تعبیر نظریه کوانتوم چنین بـه ذهـن می‌اندازد؛ درحالی‌که کارهای ریاضیاتی بر روی منطق کوانتومی به صورت مستمر ادامه دارد، رغبت به تعبیر منطـق کوانتومی... به نظر می‌رسد که تقریباً هیچ است (دیکسون، ۲۰۰۱).

۷ـ۳. منطق‌های جای‌گزین

به‌رغم کارآمدی منطق کوانتومی در صورت‌بندی برخی پدیده‌های کوانتومی در سال‌های اولیه، عدم کارایی آن نسبت بـه برخی پدیده‌های دیگر مشخص شد و تلاش برای ارائه نظریه‌های کامل‌تر آغاز گردیـد. پـالایش کوانتـومی (quantum filtering) که در اواخر دهه هفتاد توسط *بلاوکین* معرفی گردید، ازجمله این جای‌گزین‌هاست (بلاوکین، ۱۹۹۲، ص۱۷۱). *پانانگادن* (Prakash Panangaden) نیز در ۲۰۰۴ با استفاده از شکل خاصی از منطق استنتاج عمیق (Deep inference logic) موسوم به BV سعی در توصیف تکامل علّی کوانتومی (Causal Quantum Evolution) نمود (پانانگادن). دقـت در انگیـزه، مفاد و روش این ایده‌پردازی‌ها نشان می‌دهد که آنها بیش از آنکه به دنبال ارائه ضوابط عام استدلال و استنتاج باشند، بـه دنبال صورت‌بندی منسجم نتایج مشاهدات تجربی‌اند: «منطق کوانتومی صرفاً با معرفت‌شناسی جهان کوانتومی سـروکار دارد... و چیزی ندارد که درباره هستی‌شناسی بگوید و نسبت به اینکه دیدگاه ابزارانگارانه داشته باشیم یا دیدگاه واقع‌گرایانه، خنثاست و لذا به میزان کمی به فهم فلسفی قضیه کمک می‌کند» (رورلیخ، ۱۹۹۰، ص۱۸۴).

نتیجه‌گیری

بر اساس تحقیق حاضر مشخص شد که منطق کوانتومی صرفاً یک صورت‌بندی ریاضیاتی کوانتومی است و بنـا بـه دلایل ذیل نمی‌تواند معیار سنجش قضایای صادق از کاذب قلمداد گردد:

۱. صادق بودن چنین تعبیری منوط بـه آن اسـت کـه احتمـالات موجـود در معادلـه مـوج شـرودینگر را احتمـالات وجودشناختی و نه معرفت‌شناختی بدانیم؛ درحالی‌که چنین تعبیری از این معادله نه‌تنها تثبیت نشـده اسـت، بلکـه روزبه‌روز موقعیت خویش را در میان فیزیک‌دانان از دست می‌دهد؛

۲. حتی اگر احتمالات موجود در معادله شرودینگر را احتمالات وجودشناختی بدانیم، باز هم تعابیر مختلفی بـرای ایـن معادله وجود دارد که منطق کوانتومی صرفاً یکی از این تعابیر محسوب می‌شود؛

۳. چنین تعبیری هیچ‌گاه موردتوجه و پذیرش جامعه علمی فیزیک‌دانان قرار نگرفته است؛

۴. بدون استفاده از مبانی منطق سنتی، امکان ابطال آن بر اساس مشاهدات تجربی وجود ندارد؛

۵. نتیجه کاربست منطق کوانتومی نه کذب منطق سنتی است و نه صدق منطق کوانتومی، بلکه باید هـر دو منطـق را صادقِ کاذب دانست.

منابع

اسدی، سیاوش و لطف‌الله نبوی، ۱۳۹۱، «معناشناسی ادات ربط در منطق کوانتومی»، ***فیزیک کاربردی***، دوره دوم، ش ۱، ص ۵ـ۲۲.

ـــــ ، ۱۳۸۹، «بررسی سه چالش منطق کلاسیک در حوزه کوانتوم»، ***علامه***، سال دهم، ش ۲۸، ص ۱۳۳ـ۱۵۸.

پولکینگهورن، جان، ۱۳۸۹، ***نظریه کوانتوم***، ترجمهٔ ابوالفضل حقیری، تهران، بصیرت.

شیروانی، سها، ۱۳۹۲، ***بررسی شبکه‌های ارتومدولار و جبر بولی جزئی به‌مثابه پایه‌هایی برای منطق کوانتوم***، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، اصفهان، دانشگاه اصفهان.

صالحی، کریم، ۱۳۷۸، ***منطق مکانیک کوانتومی***، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.

علی‌پور، احمد، ۱۳۸۸، «منطق کوانتومی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، تهران، دانشگاه علامه طباطبائی.

گلشنی، مهدی، ۱۳۶۹، ***تحلیلی از دیدگاه‌های فلسفی فیزیک‌دانان معاصر***، تهران، امیرکبیر.

Belavkin, Viacheslav, 1992, ***Quantum Stochastic Calculus and Quantum Nonlinear Filtering***, Journal of Multivariate Analysis, V. 42 (2), p. 171-201.

Birkhoff, Garrett & John Von Neumann, 1936, ***The Logic of Quantum Mechanics***, The Annals of Mathematics, 2nd Ser, V. 37, No. 4, p. 823-843.

Dickson, Michael, 2001, ***Quantum Logic Is Alive ∧ (It Is True ∨ It Is False)***, Philosophy of Science, V. 68, Number S3.

Dummett, Michael, 1978, ***Truth and Other Enigmas***, USA, Harvard University Press.

Durr, Detlef & Stefan Teufel, 2009, ***Bohmian Mechanics, the Physics and Mathematics of Quantum Theory***, Germany, Springer.

Feyerabend, Paul, 1958, "Reichenbach's Interpretation of Quantum-Mechanics", ***Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition***, V. 9, No. 4, P. 49-59.

Feynman, Richard, 1965, ***the Character of Physical Law***, Massachusetts, the M.I.T. Press.

Griffiths, David, 1994, ***Introduction to Quantum Mechanics***, USA, Prentice Hall.

Holthoon, Frits Von & David Olson, 1987, ***Common Sense: An Introduction, in Common Sense, The Foundations for Social Science***, eds. Holthoon, Frits Von & Olson, David, USA: University Press of America.

Keast, Ronald, 2009, ***Dancing in the Dark: The "Waltz in Wonder" of Quantum Metaphysics***, USA, Ipublisher.

Pais, A, 1979, ***Einstein and the Quantum Theory***, Reviews of Modern Physics 51, p. 863–914.

Quine, Willard, 1951, ***Two Dogmas of Empiricism***, The Philosophical Review, V. 60, p. 20-43.

Rohrlich, Fritz, 1990, ***From Paradox to Reality: Our Basic Concepts of the Physical World***, USA, Cambridge.

Russell, John Robert, 2009, ***Divine Action and Quantum Mechanics: A Fresh Assessment, in: Philosophy, Science and Divine Action***, eds. Murphy, Nancey & Russel, Robert & Shults, LeRon, USA, Leiden.

Schlosshauer, Maximilian et al, 2013, ***a Snapshot of Foundational Attitudes toward Quantum Mechanics***, in Studies in History and Philosophy of Modern Physics, V. 44, p. 222-230.

Sommer, Christoph, 2013, ***Another Survey of Foundational Attitudes towards Quantum Mechanics***, arXiv:1303.2719, http://arxiv.org/abs/1303.2719.