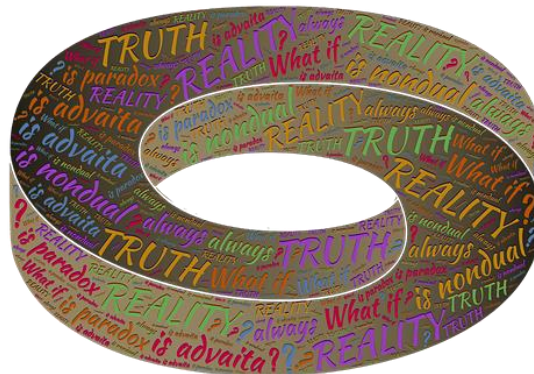


# مفهوم واقعیت

## در نظریه کوانتوم



The Concept of Reality in Quantum Theory

### فشرده

تلاش برای برطرف کردن تضادهای بروز نموده از اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم در فهم و توضیح پدیده‌هایی از طبیعت که تا آن زمان عمدتاً با قوانین قرن هفدهم بررسی می‌شدند در نهایت منتهی به ارائه دو نظریه‌ی کاملاً جدید با پتانسیل بسیار بالا به نام نظریه نسبیت و نظریه کوانتوم گردید. این نظریه‌ها نه تنها توانستند تضادهای موجود را برطرف کنند بلکه در طول تنها چند دهه سبب دست‌آوردهای علمی - صنعتی چنان عظیمی شدند که در کل تاریخ بشر بی‌نظیر است.

با این حال باید گفت که نظریه‌های مزبور با مسائل نظری، تعبیری و ساختاری حل نشده‌ای مواجه هستند که بعضاً حتی از جانب پایه‌گذارانشان نیز ذکر شده‌اند، از جمله از جانب آلبرت اینشتین، لویی دوبروی و اروین شرودینگر، به‌خصوص در مورد نظریه کوانتوم. تعبیر درست این نظریه و مفهوم‌های آن خواهان تعریف دقیق مفهوم "واقعیت" است. شناخت درست از مفهوم واقعیت اما خواهان همیاری علم فیزیک و فلسفه است.

در این مقاله می‌کوشم جنبه‌هایی از مسائل بنیادی حل نشده‌ی نظریه کوانتوم در رابطه با مفهوم واقعیت را به زبان ساده بیان کنم. توضیحات ارائه شده نشان می‌دهند که لازم است مفاهیم نظریه کوانتوم از جمله و به‌ویژه مفهوم واقعیت از جانب فلسفه هرچه بیشتر به چالش کشیده شود.

### پیش‌گفتار

#### واقعیت (علوم طبیعی)

واقعیت برای علوم طبیعی آن چیزی است که قابل ملاحظه و سنجش علمی (منطقی - تجربی) می‌باشد. به بیان دیگر، چیزی که منطقی، قابل تجربه و اندازه‌گیری نیست نمی‌تواند و نبایستی در بنای علوم طبیعی نقشی داشته باشد.

#### واقعیت (دنیای کلاسیک)

ما تا اوایل قرن بیستم پدیده‌های طبیعی را بیشتر با قوانینی از قرن هفدهم، مکانیک نیوتنی، بررسی می‌کردیم. نتایج حاصله از این راه با مشاهدات روزمره‌ی ما همخوانی داشتند و به همین خاطر آن‌ها را راحت‌ی و بدون دغدغه‌ی خاطر می‌پذیرفتیم و حتی عین واقعیت می‌پنداشتیم بی‌آن‌که به بنیاد آن‌ها پی‌برده باشیم. دنیایی که ما از این طریق از ابژکت‌ها، خواص و

کنش و واکنش‌های میان آن‌ها در شکل علت و معلولی برای خود ساختیم امروز نیز چون در گذشته به‌نظرمان مسلم و بدیهی می‌نماید. برای مثال، اکثر ما گمان می‌کنیم که می‌توانیم مکان اشیاء را برای هر زمان دلخواهی، چه در حالت به اصطلاح سکون و چه در حالت حرکت، بطور دقیق تعیین کنیم، بی‌آن‌که پیشاپیش مفاهیم بکارگرفته شده را بطور واضح و دقیق و در ارتباط باهم تعریف کرده باشیم. و یا ما باور کرده‌ایم که رنگ اجسام چیزی است واقعی که گویی عینیت دارد. آیا برآستی چنین است؟

بدیهیست وقتی مفاهیم بکارگرفته شده دقیق نباشند و یا براداشت‌ها ذهنی باشند، مانند رنگ اجسام، در این‌صورت نمی‌توانیم 'یافته‌های' خود را بی‌هیچ استدلالی مصداق واقعیت بدانیم. این نوع یافته‌ها در بهترین وجه ویژگی‌های سیستم‌های کلکتیو، دنیای کلاسیک، هستند.

### واقعیت (دنیای کوانتوم)

سیستم‌های کلکتیو از اتم‌ها و ذرات مادون اتم‌ها، تشکیل شده‌اند. در تلاش برای برطرف کردن تضادهای بروز نموده در فهم و توضیح پدیده‌های طبیعی معلوم شد که اتم‌ها و ذرات، قوانین خاص خود را دارند. در نتیجه طبیعی است که برای شناخت ویژگی‌های این‌گونه ایزکت‌ها از قوانینی که در حیطه همان ایزکت‌ها حاکم هستند بهره‌جوییم و یافته‌ها را در چهارچوب قوانین مربوطه مستدل نمائیم. امری که نیازمند شناخت دقیق از ذرات، عملکردشان و ارائه‌ی چهارچوب نظری (نظریه‌ی علمی) متکی بر داده‌های تجربی و منطق ریاضی می‌باشد. انتظار از نظریه‌ی ارائه شده آن است که احکامش قابل بازتولید و قوانینش توان پیش‌گویی را داشته باشد و روش‌هایش امکان کشف روابط تازه را بدهد.

در آغاز کار با ذرات، نظریه‌ی مدنظر بود که قادر به بیان و توضیح ساختار اتم‌ها، مسئله‌ی روز پژوهش‌گران باشد. با گذشت زمان این نظریه توسعه و تحت نام 'مکانیک کوانتومی' شهرت یافته است. موفقیت شایان توجه در این عرصه فیزیکدان‌ها را بر آن داشت تا بررسی کوانتومی را به بخش‌های دیگر مانند الکترودینامیک نیز توسعه دهند. حاصل این تلاش‌ها در نهایت به نظریه کوانتوم با توانی فوق‌العاده منجر گردید که قادر است جنب تشریح فعل و انفعالات پیچیده‌ی اتم‌ها، مادون اتم‌ها، به‌طور کلی دنیای میکروسکوپی، ویژگی‌های دنیای ماکروسکوپی (سیستم‌های کلکتیو) را نیز مستدل نماید. اکنون ما قادریم با یاری این نظریه کل ساختارهای شناخته شده در کیهان را از طریق تنها چند ذره (مدل استاندارد کوانتومی) توضیح دهیم. با این حال فرمالیسم ریاضی آن، چیزی را در باره‌ی اساس 'واقعیت' بیان نمی‌دارد و معلوم نیست دقیقاً چه اتفاقی در دنیای کوانتوم رخ می‌دهد. به احتمال، یکی از دلایل این وضعیت ناخوشایند در ناروشن بودن ماهیت تابع موج (wave function) است. فیزیکدان‌ها تابع موج را به دو شکل متفاوت تعبیر می‌کنند. عده‌ای تابع موج را چیزی غیرواقعی (متافیزیکی) ارزیابی می‌کنند (تعبیر کپنهاکی<sup>۲</sup>) و تنها اکتفا به نتایج قابل کسب توسط آن می‌دانند و تا آن‌جا پیش می‌روند که می‌گویند: Shut up and calculate! در مقابل عده‌ای دیگر از فیزیکدان‌ها تابع موج را ایزکتی واقعی (فیزیکی) تلقی می‌کنند. بحث بر سر این دو ارزیابی کاملاً متفاوت از مقوله‌ی تابع موج هنوز پس از یک قرن ادامه دارد.<sup>۳</sup>

فهم و بیان یافته‌ها از دنیای کوانتوم برای "ذهن" و زبان شکل‌گرفته‌ی ما در دنیای به اصطلاح کلاسیک بسیار دشوار است.<sup>۴</sup> برای مثال، فهم و بیان درهم‌تنیدگی کوانتومی<sup>۵</sup> (Quantum entanglement) برای ما امر ساده‌ای نیست. با این حال ما هیچ راهی نداریم جز آن‌که از طریق آزمایش (تجربه) و یاری جستن از منطق ریاضی از فعل و انفعالات دنیای کوانتوم اطلاع حاصل و آن‌ها را از هر طریقی که برایمان میسر است تشریح کنیم. به‌علت ناروشنی‌هایی که در زیر به آن‌ها پرداخته می‌شود توضیح و درک 'مفهوم واقعیت' در نظریه کوانتوم آسان نیست. این مطلب در دنیای کلاسیک، به‌خاطر امکان مشاهده و اندازه‌گیری نسبتاً ساده‌ی پدیده‌های ماکروسکوپی، به‌ظاهر آسان می‌نماید.

### جهانشمولی نظریه کوانتوم

تا زمان ارائه‌ی نظریه کوانتوم در دهه‌ی سوم قرن بیستم، بررسی‌های علمی عمدتاً متکی به قوانین کلاسیک (فیزیک نیوتنی) بودند. درست است که فیزیک کلاسیک بر اساس مدل و استدلال ریاضی بنا شده است، ولیکن این نظریه توان توضیح بنیادی‌ای را، به شکلی که ما در این‌جا منظور داریم، ندارد. برای مثال علم ترمودینامیک کلاسیک را در نظر می‌گیریم، این علم یک علم تجربی - توصیفی است و سبب تحولات بزرگ صنعتی (ماشین بخار) هم شده است. اما این تحولات تغییری در ارزیابی بیان شده نمی‌دهد. توضیح بنیادی قوانین ترمودینامیک کلاسیک نه در خود این علم بلکه در علم ترمودینامیک آماری (و نهایتاً در نظریه کوانتوم) ارائه می‌شود. بطور کلی باید گفت که تمامی قوانین دنیای کلاسیک ریشه در دنیای کوانتوم دارند. به بیان دیگر، دنیای میکروسکوپی زیربنای دنیای ماکروسکوپی است. یعنی، سیستم‌های فیزیکی در اندازه‌های کوچک و بزرگ تفاوت اساسی باهم ندارند. از این‌رو برای توضیح بنیادی این سیستم‌ها لازم است

آن‌ها را "کوانتیزه" کنیم و این نشان می‌دهد که نظریه کوانتوم یک نظریه جهانشمول است.

اکنون پس از گذشت نزدیک به یک قرن از بنیان‌گذاری نظریه کوانتوم ما شاهد توسعه همه‌جانبه‌ی این نظریه در بخش‌های مختلف علم فیزیک و دست‌آوردهای بی‌شمار آن در عرصه‌های گوناگون علمی و فنی، مانند شیمی کوانتومی، بیولوژی کوانتومی، کیهان کوانتومی و یا انرژی هسته‌ای، ساعت اتمی، اشعه لیزر، رایانه‌ها و غیره هستیم که جملگی نشان از توان و کاربرد بسیار بالا و وسیع نظریه کوانتوم دارند. ناگفته روشن است که این نظریه در زمان نسبتاً کوتاهی بسیار به شناخت بهتر ما از جهان هستی یاری رسانده است.

### نقطه ضعف ما

فهمیدن، یعنی ایجاد رابطه بین ناشناخته شده‌ها و شناخته شده‌ها، با این فرض که رابطه به‌نحو درست برقرار شده باشد. دقیقاً همین مطلب، یعنی نحوه‌ی ایجاد رابطه‌ی درست بین دنیای کوانتوم و دنیای کلاسیک، یکی از مشکلات اساسی و نقطه ضعف ماست، چرا که ما درک ناقصی از ایجاد رابطه‌ی درست بین دنیای کوانتوم و دنیای کلاسیک داریم و همین مسئله باعث شده است که نتوانیم مطالب شناخته شده‌ی کوانتومی را، صرف‌نظر از مشکلات "ذهنی" و زبانی، به‌نحو درست و قابل فهمی در دنیای کلاسیک تشریح و بیان کنیم. به این دلیل که در اینجا مسئله مهم ناهمدوسی کوانتومی<sup>۲</sup> (Quantum decoherence) مطرح است. ناهمدوسی کوانتومی می‌گوید، زمانی که یک سیستم بسته‌ی فیزیکی (برای مثال یک الکترون) با محیط اطراف خود وارد برهم‌کنش می‌شود، حالت هر دوی آن‌ها (الکترون و محیط) به‌شکل بازگشت‌ناپذیری تغییر می‌کند. ناهمدوسی کوانتومی بحث بسیار مهم و بنیادی است که به‌نوبه‌ی خود مسئله‌ی مهم دیگر، یعنی اندازمگیری را در پی دارد. از این‌رو لازم است به این دو مسئله‌ی بسیار مهم، بحث‌انگیز و نسبتاً دشوار در فرصت دیگری پرداخته شود.

### آیا 'نظریه کامل' وجود دارد؟

در اینجا لازم می‌دانم به این پرسش مهم که آیا اصولاً 'نظریه کامل' وجود دارد یا خیر با نقل قولی از کتاب 'علم اندیشیدن - ریشه‌ها و روش‌ها' پاسخ دهم که برای شناخت و بحث در باره‌ی موضوع 'نظریه کامل' ضروریست:

«گرچه سیستم‌های دقیق علمی، سیستم‌های آکسیوماتیک، سیستم‌های منطقی و ریاضی به‌صورت فرمال یا صوری ارائه می‌گردند و دربرگیرنده‌ی بیان‌های درست می‌باشند، لیکن همه‌ی بیان‌های آن‌ها قابل اثبات در سیستم‌های مزبور نیستند. مضافاً این‌که، صحت یک سیستم فرمال را نیز نمی‌توان در محدوده‌ی همان سیستم به اثبات رساند. ... فراروش‌های رشته‌های علمی، مانند علم ریاضی، علوم طبیعی، علم زبان و یا علم حقوق، معمولاً پرسش‌های خود آن رشته‌های علمی نیستند، بلکه پرسش‌هایی هستند فلسفی که به بخش‌های فلسفه‌ی ریاضی، فلسفه‌ی علوم طبیعی، فلسفه‌ی زبان و یا فلسفه‌ی علم حقوق مربوط می‌شوند. البته قضیه کورت گودل، معروف به قضیه ناتمامی (یا ناکاملی)، از این قاعده مستثنی است. چرا که این قضیه هم‌زمان مربوط به علم ریاضی و متاریاضی می‌شود و به‌عنوان حاصل منطق ریاضی، نکاتی را نیز به‌طور عام درباره‌ی ذات ریاضی بیان می‌کند. قضیه ناکاملی گودل در اصل، بیانگر این واقعیت است که اصولاً نظریه یا تئوری کاملی نمی‌تواند وجود داشته باشد.»<sup>۶</sup>

### مقاله‌ی انتقادی EPR<sup>۷</sup>

ابژکت‌های کوانتومی، بسته به نوع آزمایش، در اشکال مختلف ظاهر می‌شوند؛ در شکل ذره یا موج. این "دوگانگی" تعبیر یافته‌ها و تعریف مفهوم‌های کوانتومی را دشوار می‌کند، از جمله تعبیر و تعریف مفهوم واقعیت را. ناروشنی‌ها در مفهوم‌های مکانیک کوانتومی موجب ارائه مقاله‌ی انتقادآمیزی از جانب اینشتین، پودولسکی و رازن گردید. این مقاله بسیار مورد توجه فیزیکدان‌ها قرار گرفت و منجر به چندین دهه بحث میان طرفداران و مخالفان آن شد. مقاله به آزمایش فکری، اثر پارادکس (EPR) Einstein-Podolsky-Rosen مشهور است و در سال ۱۹۳۵ تحت عنوان "آیا توصیف مکانیک کوانتوم از واقعیت فیزیکی را می‌توان کامل دانست؟"<sup>۸</sup> Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? در نشریه معروف Physical Review منتشر شد. این مقاله از جمله توصیف مکانیک کوانتوم از واقعیت فیزیکی را کامل نمی‌داند. در واقع مقاله‌ی EPR بنیاد فلسفی مکانیک کوانتومی را به چالش می‌کشد و می‌کوشد نشان دهد که این نظریه ناقص بیانات فیزیکی و معرفت‌شناختی زیر است:

(۱) نظریه کامل:

"در یک نظریه کامل بایستی هر عنصری از واقعیت فیزیکی نمایش متناظری (برابری) در نظریه‌ی فیزیکی داشته باشد."<sup>۸</sup>



انرژی هیچ‌گونه تردیدی در این‌که فوتون، حامل انرژی، تمام وقت وجود دارد نمی‌گذارد. اما تا زمان اندازه‌گیری معلوم نیست که فوتون کجاست - ما می‌توانیم بگوئیم فوتون هم‌زمان در هر دو جا می‌باشد، تا لحظه‌ای که آن را مشاهده (اندازه‌گیری) نکرده‌ایم. فوتون مطمئناً "انجا"، "da", "there" است - اما پرسش این است که "انجا" کجاست؟ (در این‌جا نباید مرتکب این اشتباه شد که خیال کنیم مسئله مربوط به ناتوانی ما در تعیین مسیر فوتون می‌شود. برهم‌نهی واقعا واقعی و تجربی قابل اثبات است - این را می‌توان از طریق آئینه‌ی دومی که دو مسیر فوتون را دوباره بهم می‌رساند نشان داد).

ابژکت‌ها در نظریه کوانتوم توسط تابع موجی‌شان توصیف می‌شوند با این تعبیر که وقتی مشاهده (اندازه‌گیری) نمی‌شوند با یک احتمال (with a probability, mit einer Wahrscheinlichkeit) در جاهای مختلف هستند. اما در زمان اندازه‌گیری، تابع موج بی‌درنگ فرومی‌ریزد (collapsed, kollabiert) و احتمال حضور آن‌ها در محل اندازه‌گیری برابر با ۱ و در بقیه جاها مساوی با صفر می‌شود. فروپاشی تابع موج 'آنی' است، به این دلیل که وقتی ابژکتی اندازه‌گیری می‌شود نمی‌تواند مدت زمانی طول بکشد تا احتمال بودن آن در جای دیگر به صفر برسد و در محل اندازه‌گیری مساوی با ۱ بشود. البته فروپاشی 'غیرآنی' تابع موج را می‌شد پذیرفت اگر نظریه‌ای به نام نظریه نسبیت مطرح نبود. در نظریه نسبیت حداکثر سرعت، سرعت نور می‌باشد. نظریه کوانتوم فروپاشی تابع موج را 'آنی'، بی‌نهایت سریع، می‌پندارد. این پنداشت البته صریحا ناقض نظریه نسبیت نیست، به این دلیل که تابع موج در حال فروپاشی قادر به انتقال سیگنالی نمی‌باشد.<sup>۱۰</sup>

پرسش مهمی که در رابطه با آزمایش توضیح داده شده، و کلا هر آزمایش دیگری، بایستی مطرح کرد این است که بدانیم منظور از 'اندازه‌گیری' چیست؟ و آیا ابزار اندازه‌گیری در حین عمل سنجش کمیت ابژکت مورد نظر، به‌ویژه در دنیای کوانتوم، را تغییر می‌دهند یا خیر؟ و اگر تغییر می‌دهند، که می‌دهند، آیا اصولا راه‌گریزی برای برطرف کردن این معضل وجود دارد؟ این مطلبی است بسیار پیچیده و نیازمند بررسی و توضیح جداگانه.

### گزینه‌ی دوبروی - بوهم

مفهوم‌های ناروشن و تعبیرهای مختلف از مکانیک کوانتومی فیزیکدانانی را بر آن داشت تا آلترناتیوی ارائه دهند که عاری از مشکل تعبیر مفهوم‌ها باشد. یکی از این فیزیکدان‌ها دیوید بوهم David Bohm، فیزیکدان و فیلسوف آمریکایی (۱۹۹۲-۱۹۱۷)، بود که مستقل و بی‌اطلاع از کارهای سال ۱۹۲۷ لویی دوبروی، فیزیکدان فرانسوی (۱۹۷۸-۱۸۹۲)؛ نظریه موج خودران، (Pilot wave theory, Theorie der Führungswelle) در سال ۱۹۵۲ نظریه‌ای ارائه نمود که تحت نام مکانیک بوهمی (مکانیک دوبروی - بوهمی) معروف شده است.

بوهم مکانیک خود را یک نظریه علی، حتمی و غیرمحلّی (Pilot wave theory) از ذرات می‌داند. توسعه تابع موج در این مکانیک از طریق معادله شرودینگر و معادلات حرکتی مختصات مکان سیستم‌های کوانتومی مربوطه بررسی می‌شود. یعنی، در مکانیک بوهمی خواص موجی و ذره‌ای مکمل هم محسوب نشده و هر ذره در هر زمان، مکان تعریف شده‌ی خود را دارد چه در حالت مشاهده و چه در حالت عدم اندازه‌گیری. به این ترتیب در مکانیک دوبروی - بوهمی عبارات احتمالی همان معنا را دارند که از فیزیک آماری کلاسیک می‌شناسیم. البته ما می‌دانیم که در فیزیک کلاسیک شرایط اولیه‌ی سیستم‌ها دقیقا شناخته شده نیستند<sup>۱۱</sup>. در نتیجه نمی‌توان مشکلات مکانیک کوانتومی را در نظریه دوبروی - بوهم برطرف شده دانست. در واقع از نگاه معرفت‌شناسی نظریه دوبروی - بوهم تفسیری دترمینیستی از مکانیک کوانتومی است. در این صورت طبیعی است که این مکانیک مشکلات تعبیری مکانیک کوانتومی را نداشته باشد. مکانیک دوبروی - بوهمی منتقدان زیادی دارد و انتقادات از آن نیز بسیار گوناگون هستند. بیشترین انتقادات اما مربوط می‌شود به 'غیرمحلّی' بودن این نظریه که طبق آن، ابژکت‌ها می‌توانند در فاصله‌های دلخواه (برای مثال مبلیاردها کیلومتر) دور از هم و در عین حال توان تاثیرگذاری بر حرکت یکدیگر را دارا باشند.<sup>۱۲</sup>

تذکر: تفسیر مکانیک دوبروی - بوهمی تنها تفسیر از مکانیک کوانتومی نیست. تفسیرهای دیگری مانند نظریه‌ی 'دنیا‌های چندگانه' (many-world interpretation) نیز وجود دارند که از تشریح آن‌ها در این‌جا صرف‌نظر می‌شود.

### اصولا چرا گزینه‌ای دیگر؟

مکانیک کوانتومی و 'تفسیر احتمالی' آن از پدیده‌های فیزیکی به‌شکل عالی با نتایج تجربی همخوانی دارد. تلفیق این نظریه با نظریه نسبیت خاص به 'نظریه‌ی مکانیک کوانتومی نسبیتی (ذرات)' و 'نظریه کوانتومی نسبیتی (میدان‌ها)' انجامیده است. این نظریه‌ها در مجموع به‌عنوان 'نظریه اساسی برای توصیف طبیعت' شناخته می‌شوند و در عمل نیز صحت خود را نشان داده و ما را با جنبه‌های گوناگون اسرار طبیعت آشنا کرده‌اند. با این حال تفسیر مفهوم‌های مکانیک کوانتومی از جمله تفسیر 'مفهوم واقعیت' ناروشن هستند. ناروشنی در تفسیر مفهوم‌های مکانیک کوانتومی درک صحیح این نظریه را

دشوار نموده و سبب اظهار نظرهایی مانند 'هیچکس از ما آن را درست نمی‌فهمد' از جمله از جانب پایه‌گذاران آن مانند نیلز بوهر، ورنر هایزنبرگ و یا ریچارد فایمن شده است. ناروشنی‌ها در مفهوم‌های نظریه کوانتوم باعث شده است که فیزیکدان‌هایی آن را ناکامل ارزیابی و نیازمند تجدید نظر بدانند و یا حتی خواهان نظریه بنیادی‌تری شوند.

## EPR ، دوبروی - بوهم ، بل

تا اواخر دهه‌ی سوم قرن گذشته نظریه مکانیک کوانتومی به‌طور صوری (فرمال) تکمیل شده بود و انسان توانست با بهرمجویی از این نظریه در کوتاه‌ترین زمان به گسترده‌ترین و شگفت‌انگیزترین دست‌آوردهای علمی - فنی در تاریخ خود نایل آید. به این ترتیب مکانیک کوانتومی در عمل کارایی خود را به بهترین وجه نشان داده است. با این همه نکات انتقادی مقاله‌ی سال ۱۹۳۵ EPR حتی ده‌ها سال پس از انتشار آن مورد توجه فیزیکدان‌ها بود بی‌آنکه پاسخی مناسبی دریافت کند. در دهه‌ی شصت میلادی قرن گذشته بحث تعبیر مفهوم‌های مکانیک کوانتومی دوباره پی‌گیری می‌شود، عمدتاً از جانب گروهی از فیزیکدانان جوان. در سال ۱۹۶۴ جان استوارت بل John Stewart Bell، فیزیکدان ایرلند شمالی (۱۹۲۸-۱۹۹۰)، دو مقاله منتشر می‌کند که هر دو مورد توجه خاص قرار می‌گیرند. پیش از پرداختن به این دو مقاله لازم است دو مطلب ذکر شده در بالا، از مقاله‌ی EPR و مکانیک بوهم، را یادآوری کنم:

در مقاله‌ی EPR می‌خوانیم: "اگر بتوان اندازه‌ی یک کمیت فیزیکی را با قطعیت (یعنی با احتمال ۱) پیش‌گویی کرد، بدون آنکه سیستم را مختل نمود، در این صورت عنصری از واقعیت فیزیکی وجود دارد که با کمیت فیزیکی مزبور مطابقت می‌کند." این شرط استدلال EPR را با خواست 'محلی' بودن، (locality requirement) پیوند می‌دهد. یعنی، مقاله‌ی EPR امکان تاثیرگذاری با سرعت بی‌نهایت (آنی) را نمی‌پذیرد.<sup>۱۲</sup>

در مقابل بوهم مکانیک خود را 'غیرمحلی' می‌داند، یعنی امکان تاثیرگذاری آنی را می‌پذیرد. به این معنا که اندازه‌گیری روی یکی از دو ذره جفت در هم‌تنیده کوانتومی روی ذره‌ی دیگر تاثیر می‌گذارد حتی اگر این دو در فاصله‌های غیرقابل تصور دور از هم باشند.<sup>۱۳</sup>

حال نگاه کوتاهی داریم به دو مقاله‌ی جان بل<sup>۱۴</sup>. بل در مقاله‌ی اول نشان می‌دهد که "اثبات جان فون نویمان John von Neumann، ریاضی‌دان مجاری - آمریکایی (۱۹۵۷-۱۹۰۳)، در غیرممکن بودن 'متغیرهای پنهان' برای توضیح فیزیک کشف نشده در پشت مکانیک کوانتومی که می‌توانست مشکل تعبیر مفهوم‌ها را تا حدودی به شیوه معمول حل کند متکی به فرض‌های غیرقابل قبول است."<sup>۱۵</sup>

تذکر: "تئوری‌های متغیر پنهان پیشنهادی است برای ارائه توضیحات جبرگرایانه از پدیده‌های مکانیک کوانتومی، که از طریق معرفی موجودیت‌های فرضی غیرقابل رویت است."<sup>۱۶</sup>

مقاله‌ی دوم بل به خاطر آن که "امکان تایید تجربی (آزمایش) مکانیک کوانتومی در یک نقطه انتقادی را می‌داد معروفیت خاصی پیدا کرد"<sup>۱۷</sup> و به نام قضیه بل (Bell's Theorem, Bell'sche Ungleichung) شهرت یافته است. قضیه بل مربوط به یک سری اندازه‌گیری‌های در هم‌تنیده‌ی کوانتومی<sup>۱۸</sup> ذرات جفت (Quanten-Verschränkung, Quantum entanglement) می‌شود. این قضیه نظر EPR را رد می‌کند و درک دقیقی از 'غیرمحلی' (Nonlocality) بودن مکانیک کوانتومی ارائه می‌دهد. قضیه بل نشان می‌دهد که غیرممکن است یک نظریه 'محلی' داشت و هم‌زمان پیش‌بینی‌های خاصی از مکانیک کوانتومی را پذیرفت.

"گرچه گزاره‌های مکانیک کوانتومی در آزمایش‌هایی که بعدها انجام شد (برای اکثر شرکت کنندگان همان‌گونه انتظار داشتند) تایید شدند، اما به‌نظر می‌رسد همین بحث باعث شد که فیزیکدان‌های زیادی از عجیب و غریب بودن اساسی مکانیک کوانتومی آگاه شوند."<sup>۱۹</sup>

## سخن پایانی

تعبیرها و نقطه نظرهای ذکر شده نشان می‌دهند که فیزیک کوانتومی در حین برخورداری از توان کاربردی بسیار بالا در عرصه‌های گوناگون علمی - فنی از مفاهیم تعریف شده‌ی دقیقی، به‌ویژه مفهوم واقعیت، برخوردار نیست. در فیزیک کوانتومی بعکس فیزیک کلاسیک 'تابع موج' تعبیر واحدی ندارد و این یکی از مسائل مهم ناروشن در نظریه کوانتوم است. به این معنا که فیزیکدانانی آن را یک ابژکت واقعی و فیزیکدانان دیگری غیرواقعی می‌دانند. نتیجه: وقتی 'تابع موج' ابژکتی واقعی تلقی شود، مجاز است 'غیرمحلی' تغییر کند. در این صورت و برای مثال فروپاشی آن برای ناظرانی در 'جهت معکوس زمان' نمایان می‌شود (در این مطلب مفهوم هم‌زمانی در نظریه نسبیت خاص نقش بازی می‌کند<sup>۲۰</sup>). برعکس وقتی 'تابع موج' ابژکت واقعی تلقی نشود به‌معنای آن است که داریم دنیا را با چیزی توصیف می‌کنیم که در

دنیای واقعی هیچ معادلی ندارد. این وضعیت نیاز به به‌چالش کشیدن نظریات فیزیکدانان را از جانب فیلسوفان فیزیکدان را به‌خوبی نشان می‌دهد و آن را به یک مسئله‌ی حاد مهم علمی تبدیل کرده است.

## مراجع

1. Edson De Faria, Welington De Melo: Mathematical Aspects of Quantum Field Theory, Cambridge University Press, New York, 2010
2. Kurt Baumann, Roman U. Sexl: Die Deutungen der Quantentheorie, Springer Fachmedien, Wiesbadeb, 1984
3. H. Dieter Zeh: Physik ohne Realität: Tiefsinn oder Wahnsinn?, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012
4. Hassan Bolouri: Wahrnehmung und Erkenntnis  
۴. حسن بلوری: هشت جستار در باره‌ی فضا، زمان، ماده و مرزهای ادراک حسی، زنجان، نشر هزاره‌ی سوم، ۱۳۹۷
5. Anton Zeilinger: Einsteins Spuk, Teleportation und weitere Mysterien der Quantenphysik, Bertelsmann verlah, München, 3. Auflage 2007
6. Hassan Bolouri: The Science of Thinking  
۶. حسن بلوری: علم اندیشیدن - ریشه‌ها و روش‌ها، زنجان، هزاره‌ی سوم، ۱۳۹۴
7. A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen: Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? In: Physical Review, Band 47, 1935 (Online)
8. Wikipedia – The Free Encyclopedia  
۸. ویکی پدیا - دانشنامه‌ی آزاد: آزمایش فکری اینشتین، پودولسکی، روزن؛ تفسیرهای مکانیک کوانتومی
9. Franco Selleri: Die Debatte um die Quantentheorie, Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 2. Auflage, 1984
10. Martin Bäker: Quantenmechanik und Realität in: Science Blogs, Okt, 2012
11. Hassan Bolouri: Principle of Causality?  
۱۱. حسن بلوری: اصل علیت؟، منتشر شده در سایت‌های فارسی زبان، ماه ژانویه ۲۰۲۰
12. Oliver Passon: Bohmsche Mechanik, Harri Deutsch Verlag, Frankfurt/ Main, 2. Auflage, 2010
13. John Stewart Bell: Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanik, 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge 2004
14. Hassan Bolouri: The Concept of Space  
حسن بلوری: مفهوم فضا، منتشر شده در سایت‌های فارسی زبان، ماه جولای ۲۰۲۰

لینک تصویر ۱:

<https://pixabay.com/de/illustrations/paradoxon-wahrheit-realit%C3%A4t-2953474/>

لینک تصویر ۲:

<https://scienceblogs.de/hier-wohnen-drachen/2012/10/10/quantenmechanik-und-realitat/>