متافیزیک (مجله علمی ـ پژوهشی)
دانشکده ادبیات و علوم انسانی - دانشگاه اصفهان
دورهٔ جدید، سال سوم، شماره ۹ و ۱۰، بهار و تابستان ۱۳۹۰، ص ۱۱۲-۸۹

اشیاء کوانتومی: تعبیر سیگما برای مسألهٔ اندازه‌گیری در مکانیک کوانتوم

علیرضا منصوری*، دکتر مهدی گلشنی، دکتر امیراحسان کرباسی‌زاده*****

چکیده

در این مقاله تعبیر بدیلی تحت عنوان سیگما، برای بردار حالت مکانیک کوانتوم پیشنهاد می‌شود که با در نظر گرفتن اجزاء زمانی برای اشیاء (چهاربعدگرایی)، مدلی برای حل مسألهٔ اندازه‌گیری عرضه می‌کند. در این نوشتار، ظرفیت و قدرت تبیینی این مدل برای حل سه مسألهٔ اندازه‌گیری، یعنی مسألهٔ نتیجه، مسألهٔ آمار و مسألهٔ اثر مورد بررسی قرار خواهد گرفت و به‌اجمال استدلال می‌شود که تعبیر سیگما حداقل به همان اندازهٔ تعابیر دیگر معقول است.

واژه‌های کلیدی

مسألهٔ اندازه‌گیری، تعبیر مکانیک کوانتوم، چهاربعدگرایی، واقعیت نامتعین، مشاهده‌پذیر نامتعین، هستی‌شناسی صدرایی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* مربی فلسفه علم پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی mansouri@ihcs.ac.ir
** استاد فیزیک دانشگاه صنعتی شریف golshani@sharif.edu
*** استادیار فلسفه علم مؤسسهٔ حکمت و فلسفهٔ ایران karbasizadeh@irip.ir

تاریخ وصول: تاریخ پذیرش:

مقدمه

مسألهٔ اندازه‌گیری یکی از چالش‌های نظریهٔ کوانتوم از ابتدای ظهور آن بوده و تعابیر و مدل‌های متعددی برای حل آن ارائه شده است. مثلاً این مسأله را از دید آلبرت به این شکل می‌توان نشان داد: «دینامیک کوانتومی و فرض تقلیل در تقابل آشکار با یکدیگر قرار دارند ... به نظر می‌رسد فرض تقلیل، وقتی که اندازه‌گیری صورت می‌گیرد، درست باشد در حالی که دینامیک به طرز عجیبی در مورد آنچه هنگام اندازه‌گیری رخ می‌دهد، غلط است و باز با وجود این به نظر می‌رسد زمانی که اندازه‌گیری نمی‌کنیم، همین دینامیک، توصیف درستی از آنچه رخ می‌دهد، ارائه می‌دهد.» (Albert, 1992: 79) مادلین نیز در مقالهٔ انتقادی خود تحت عنوان «سه مسألهٔ اندازه‌گیری»، از رهگذر تحلیل تنشی که در مصالحهٔ بین اصول دینامیک و قاعدهٔ بورن وجود دارد، به تفکیک مسألهٔ اندازه‌گیری به سه مسألهٔ مجزا (مسألهٔ نتیجه، مسألهٔ آماری و مسألهٔ اثر) و بیان این انتقاد می‌پردازد که بسیاری از طرح‌های ارائه شده برای مسألهٔ اندازه‌گیری، برخی ملاحظات لازم را در نظر نمی‌گیرند (Maudlin, 1995:708).

توضیح مختصر این سه مسأله به شرح زیر است:

مسألهٔ نتیجه. مسألهٔ نتیجه درباره این است که در مکانیک کوانتوم ما با حالاتی مواجهیم که برهمنهی نام دارند. این حالت ها که ترکیبی خطی از حالت‌های دیگر هستند، خود یک حالت مستقل و خالص به‌شمار می‌روند و با حالت‌هایی که ماهیتاً مستقل نیستند بلکه مخلوطی از حالات دیگر هستند (یعنی حالات مخلوط (Mixed state))، تفاوت دارند. مسأله اینجاست که پس از عمل اندازه‌گیری سیستم مورد نظر یکی از حالات موجود در ترکیب خطی را اختیار می‌کند و منجر به یک نتیجهٔ معین از مقادیر ممکن برای کمیت مشاهده‌پذیر می‌شود. مسألهٔ نتیجه در واقع همان چیزی است که در آزمایش فکری گربهٔ شرودینگر طرح می‌شود و عجیب اینجاست که علی رغم صراحتی که در این آزمایش در بیان این مسأله وجود دارد، حجم عظیمی از تلاش‌های صورت گرفته در مبانی نظری مکانیک کوانتوم، خصوصاً در مورد مسألهٔ اندازه‌گیری، از مسألهٔ نتیجه غفلت کرده است.

مسألهٔ آمار. مسألهٔ آمار، این است که نتایجی که نظریه پیشنهاد می‌کند، بر اساس قاعدهٔ بورن، احتمالی‌اند. یعنی وضعیت‌های اندازه‌گیری که با توابع موج اولیهٔ یکسان توصیف می‌شوند، منجر به نتایج متفاوتی می‌شوند و احتمال حصول هر نتیجه با قاعدهٔ بورن داده می‌شود. مسأله اینجاست که اگر تابع موج به صورتی تعینی(deterministic) تحول یابد، دو سیستمی که با توابع موج یکسان شروع می‌کنند قاعدتاً به توابع موج یکسانی نیز منتهی می‌شوند و اگر تابع موج کامل باشد، در این صورت توابع موج یکسان باید از هر جهت یکسان باشند. این در حالی است که به‌خاطر قاعدهٔ بورن، توابع موج یکسان ممکن است منجر به نتایج یکسانی نشوند.

مسألهٔ اثر. این مسأله ناشی از این است که در فرآیند اندازه‌گیری، تقلیل نقش سومی را به عهده دارد و آن این است که باعث می‌شود حالت سیستم عوض شود و تحول آیندهٔ سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ یعنی حالت سیستم کوانتومی بعد از اندازه‌گیری باید ویژه حالت متناظر با نتیجهٔ اندازه‌گیری شده باشد. انگیزهٔ اساسی برای این وضعیت این است که اندازه‌گیری‌ها قابل تکرارند، بنابراین بعد از انجام اندازه‌گیری، سیستم در حالتی خالص قرار می‌گیرد به گونه‌ای که اندازه‌گیری که بلافاصله پس از آن صورت بگیرد، با قطعیت منجر به همان نتیجه می‌شود. مثلاً اگر الکترونی با اسپین در جهت مثبت x داشته باشیم و این الکترون

وارد دستگاهی شود که مؤلفهٔ z اسپین را اندازه‌گیری می‌کند، در این صورت الکترون خروجی دارای اسپین z مثبت یا منفی است. حال فرض کنید اگر نتیجهٔ اندازه‌گیری اوّل «بالا» باشد (یعنی مثبت باشد)، نتیجهٔ اندازه‌گیری بلافاصله بعد از آن نیز حتماً و قطعاً، «بالا» خواهد بود؛ به این امر، مسألهٔ اثر (Problem of effect) می‌گویند. در مورد قید «بلافاصله» مهم این است که زمان اندازه‌گیری بعدی به گونه ای باشد که در تحول شرودینگری، حالت تغییر نکند. با این توضیحات هر طرحی که برای حل مسألهٔ اندازه‌گیری ارائه شود، باید بتواند از عهدهٔ حلّ این سه مسأله برآید. معضلات مربوط به مکانیک کوانتوم بسیاری از نظریه‌پردازان را به این نتیجه رسانده که برای برطرف کردن این معضلات و ابهامات، نیازمند مقولات مفهومی مناسب و جدیدی هستیم. در این مقاله برآنیم تا همین مسیر را طی کنیم و با ارائهٔ یک طرح و تعبیر جدید، توضیح مناسبی برای اندازه‌گیری در مکانیک کوانتوم ارائه کنیم که دچار معضلات مذکور نباشد. این طرح مبتنی بر تصویر جدیدی از مشاهده و اندازه‌گیری است که نخست به شرح آن می‌پردازیم.

مفهوم مشاهده و اندازه‌گیری در تصویر جدید

تلقی معمول راجع به اشیاء این است که آنها را سه بعدی در نظر بگیریم. به این معنا که اشیاء به تمامی در هر «آن» حضور و قرار داشته باشند. بنابراین هر شیء، در هر لحظه ویژگی‌های فیزیکی ثابتی دارد که در صورت اندازه‌گیری مقادیر آن مشخص می‌شود. در این تصویر، سیستم نمی‌تواند در یک لحظه هم در حالت A و هم در حالت B باشد زیرا A چیزی غیر از B است و مشاهدهٔ یک سیستم فیزیکی در یک لحظه، در حین تحول، همواره مقدار متعینی را از کمیت مربوطه به‌دست خواهد داد. بر اساس چنین تصویر و پیش-فرض‌هایی، اگر نظریه‌ای برای توصیف واقعیت فیزیکی سیستم داشته باشیم که حالاتی را به سیستم نسبت دهد که یک برهم‌نهی از حالات A و B باشد، در تعبیر اینکه سیستم چگونه می‌تواند در چنین حالتی قرار داشته باشد دچار مشکل خواهیم شد. در این‌صورت یا باید بگوییم این نظریه کامل نیست، به این معنی که پارامترها و متغیرهای دیگری نیاز است تا مشخص کند سیستم واقعاً و دقیقاً در کدام‌یک از حالات A یا B است یا اینکه نظریه غلط است.

اما می‌توان با پیشنهاد تعبیر بدیل دیگری برای تحول و مشاهدهٔ سیستم‌ها راه برون‌شد دیگری نیز در نظر گرفت که در عین حال با آن حالات برهم‌نهی نیز سازگار باشد. در واقع، به نظر می‌رسد مکانیک کوانتوم برای توضیح و تبیین مسائل تعبیری خود نیازمند مقولات مفهومی جدید است. در این مقاله با تکیه بر استنتاج بر اساس بهترین تبیین (Inference to the best explanation)، استدلال خواهیم کرد که مکانیک کوانتوم برای توضیح مسألهٔ اندازه‌گیری، نیازمند یک هستی‌شناسی چهاربعدی برای اشیاء است. بر اساس این نوع هستی‌شناسی، اشیاء به‌صورت زمانی در عالَم وجود و قرار دارند. یعنی همان طور که از نظر فضایی دارای پیوستار هستند و در فضا امتداد دارند، دارای امتداد و پیوستاری شامل اجزاء زمانی نیز هستند[۱].

در تعبیر جدید فرض ما این است که سیستم‌های فیزیکی منطبق بر زمانند

و لذا مثل زمان دارای واقعیتی پیوستاری[۲] و سیال[۳] خواهند بود. به عبارت دیگر آنها دارای اجزای زمانی هستند. بر اساس تصویر سیال از موجودات و اشیاء، نتیجهٔ مشاهدهٔ یک مشاهده‌پذیرِ معین از سیستم در این

لحظه، غیر از نتیجه‌ای خواهد بود که در لحظه‌ای قبل یا بعد از آن به دست خواهیم آورد زیرا مشاهده‌پذیری که اکنون در حال مشاهدهٔ آنیم، به یک معنا غیر از مشاهده‌پذیری است که لحظه‌ای پیش می‌دیدیم یا لحظه‌ای بعد خواهیم دید؛ یعنی ما (به عنوان ناظر)، در هر لحظه و آن در حال دیدن مشاهده‌پذیری نو و جدید هستیم. به تعبیر دیگر، مشاهده‌پذیر قبلی معدوم یا زائل می‌شود و مشاهده‌پذیری دیگر به جای آن موجود می‌شود و این نو شدن، آنْ به آنْ، به صورتی پیوسته جریان دارد تا مستلزم این نباشد که در آناتی که در پی هم می‌آیند مشاهده‌پذیرهای آنی و متوالیِ متکثری داشته باشیم. بلکه آنها به یکدیگر پیوسته و متصلند به نحوی که در خارج، بیش از یک واقعیت پیوستهٔ متصل یافت نمی‌شود؛ اما واقعیتی که کل آن در هیچ لحظه‌ای از زمانْ موجود و قابل رؤیت نیست، کل آن فقط در کل مدت زمان عمر آن موجود است. برای درک شهودی مطلب، سناریوی زیر را در نظر بگیرید:

ناظری را در نظر بگیرید که ساکن دنیایی دو بعدی مثل یک صفحه است و همهٔ موجودات این جهان، دوبعدی هستند. حال فرض کنید که به این ناظر، یک منشور سه بعدی را نشان دهند. همان طور که شکل زیر نشان می‌دهد، این ناظر فقط دو بعد را درک می‌کند و از بعد سوم ادراکی ندارد یعنی از نظر فیزیکی وضعیتی دارد که نمی‌تواند بعد دیگر را درک کند و از آنچه خارج از صفحهٔ وی وجود دارد بی‌خبر است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

اکنون منشوری سیاه‌رنگ با قاعده‌ای مثلثی شکل در نظر بگیرید و فرض کنید همه جای این منشور، کاملاً یک‌رنگ و یکنواخت و خالص باشد. اگر این رنگْ مشخصهٔ منشور باشد، می‌توانیم بگوییم که منشور در یک حالت یکنواخت و خالص قرار دارد. ناظر چگونه این منشور را مشاهده می‌کند؟ روشن است تا زمانی که منشور با صفحه برخورد نکرده است یعنی تا زمانی که وارد جهانِ ناظر نشده است، از نظر ناظر وجود ندارد. اما با برخورد منشور با صفحهٔ ناظر یا به تعبیری با ورود منشور به جهانِ ناظر، وی مقطعی از این منشور

یعنی مثلثی سیاه را که حاصل برخورد منشور با صفحه است، مشاهده می‌کند تا زمانی که منشور از صفحه عبور کند و از آن خارج شود که در این حال، مثلثِ مشاهده شدهٔ ناظر نیز معدوم می‌شود. در واقع، ناظر در صفحه، تنها برش‌های دو بعدی از منشور را می‌بیند.

اما از دید ناظری که بعد سوم را نیز درک می‌کند، طبعاً منشور دیده می‌شود. او همچنین می‌تواند هم وضعیت ناظر را درک کند و هم بفهمد که ناظرْ منشور را چگونه می‌بیند. ناظرِ در صفحه تصور می‌کند که در لحظه‌ای از زمان، مثلثی به وجود آمده و بعد از مدتی هم نابود شده است و در این بازهٔ زمانی، مشاهدهٔ ناظر در صفحه تنها مثلث را نشان می‌داده است در صورتی که از دید ناظری که بعد سوم را درک می‌کند، نه مثلثی به وجود آمده و نه مثلثی نابود شده است. مثلثی هم که ناظر در صفحه مشاهده می‌کند، در واقع مقطعی «فرضی» از منشور در صفحه‌ای است که ناظر در آن است. ضمناً ناظر در صفحه، به دلیل تک‌رنگ بودن یا خالص بودن رنگ منشور، گمان می‌برد و خیال می‌کند که این مثلث در بازه‌ای زمانی ثابت بوده است و همان مثلثی که در لحظه‌ای از زمان به‌وجود آمده، طی این مدت ثابت بوده و تغییری نکرده است؛ در صورتی‌که از نظر ناظری که سه بعد را درک می‌کند، چنین فرضی باطل است و ناظر در صفحه در هیچ دو آنی یک مثلث را ندیده است بلکه در هر «آن»، مثلثی غیر از مثلثی که پیش از آن «آن» دیده و غیر از مثلثی که پس از آن «آن» دیده است، می‌بیند. پس ناظرِ در صفحه، در هر «آن» در حال دیدن مثلثی نو بوده است ولی چون این مثلث‌ها از هر جهت شبیه هم بوده‌اند، ناظرِ در صفحه تصور کرده است که یک مثلث را در طول این مدت دیده است.

در مقام مقایسه، هر دو ناظر توصیف درستی از مشاهدات خود ارائه داده‌اند ولی توصیف ناظرِ آگاه به بعد سوم، از آنجا که بعد سوم را نیز لحاظ می‌کند، نسبت به توصیف ناظرِ در صفحه کامل‌تر است. اما آیا ناظر اول (یعنی ناظر در صفحه) اصلاً نمی‌تواند به تصویر ناظر دوم (ناظرِ آگاه به بعد سوم) برسد؟ مسلماً می‌تواند. او با تخیل و نظریه‌پردازی می‌تواند فرض کند که «واقعیت»، چیزی غیر از آن است که وی «مشاهده می‌کند». در واقع در مقام «مشاهده» نمی‌تواند به تصویر ناظر دوم برسد ولی در مقام «نظریه‌پردازی»، خصوصاً با انتزاع ریاضی، چنین امکانی برای وی وجود دارد.

حال اگر در بحث اندازه‌گیری بپذیریم که سیستم مورد نظر ما اجزای زمانی‌ای دارد که روی هم پیوستاری سیال را ایجاد می‌کند، از آنجا که تجارب ذهنی ناظر در «آن» روی می‌دهد، در این صورت وضعیت ناظر نسبت به این پیوستار زمان، شبیه وضعیت ناظر اول (یعنی ناظرِ در صفحه)، در شکل فوق است نسبت به بعد سوم. همانطور که ناظرِ اول هیچ‌گاه خودِ منشور را که سه بعدی است نمی‌بیند بلکه فقط مقطعی فرضی از آن را که دو بعدی است و در صفحه واقع است می‌بیند، ناظر ما هم هیچ‌گاه کل یک سیستم سیال را که منطبق بر پیوستار زمان است، نمی‌بیند بلکه در هر اندازه‌گیری و مشاهده فقط مقطعی فرضی از آن را که در صفحهٔ اوست می‌بیند و مثل ناظر در صفحه در طول مدت زمان مذکور، بی آنکه خود بداند، دائماً در حال دیدن مثلثی جدید است نه اینکه یک مثلث واحد را ببیند. ناظر ما نیز نسبت به هر جسمی همین حال را دارد؛ یعنی در واقع دائماً در حال دیدن سیستمی نو است هر چند تصور می‌کند و به نظرش می‌رسد که در طول مدت زمانی که به سیستم می‌نگرد و آن را اندازه می‌گیرد، یک سیستم را می‌بیند. پس آنچه ناظر می‌بیند پیوسته در حال عوض شدن است و هر لحظه سیستمی نو در برابر وی است اما وی قادر نیست که تحول و نو

شدن سیستم را درک کند و بالأخره مثلث‌هایی را که ناظر می‌بیند از هم بریده و جدا جدا نیستند بلکه همهٔ آنها مقاطع فرضی یک سیستم پیوسته‌اند. مقادیر متعینی که (هنگام مشاهدهٔ سیستم) دیده می‌شوند، بریده و جدای از هم نیستند و چنان نیست که ناظر در هر لحظه مقداری از مشاهده‌پذیر را، کاملاً مستقل از آنچه قبلاً می‌دیده است یا خواهد دید، ببیند بلکه همهٔ اینها مقاطع فرضی یک سیستم زمانیِ پیوسته‌اند که آن را «سیستم سیال» می‌نامیم.

بنابراین در تصویر سیال از سیستم، سیستم و همهٔ خواصش، همه با هم در حال تحول هستند ولی چون تحول سیستم، بر خلاف تحول خواص آن محسوس نیست، ناظر گمان می‌کند که سیستم (یا سایر خواص سیستم) ثابت است و فقط خواصش یا یک خاصیت خاص آن به‌تدریج عوض می‌شود در حالی‌که هر دو با هم (همه با هم) در حال تحولند. در هر «آن»، سیستم همراه با همهٔ خواص و مشاهده‌پذیرهایش موجود است. پس از این «آن»، همه معدوم می‌شوند و همزمان سیستم و مشاهده‌پذیرهایش مجدداً نو می‌شود؛ اما این واقعیت‌های در حال نو شدن، مجموعاً و روی هم یک سیستم پیوستهٔ زمانی یعنی سیستم سیال را به وجود می‌آورند و در میان واقعیت‌های نو شونده گسستی و انفصالی نیست. همچنین هر مشاهده‌پذیری که در هر «آن» اندازه‌گیری می‌کنیم و می‌بینیم، با مشاهده‌پذیرهایی که قبل و بعد از آن «آن»، می‌بینیم، طیفی (پیوستاری) را به وجود می‌آورند که سیال است، مشاهده‌پذیر سیال.

حال ببینیم بر اساس این تصویر، چه تعبیری می‌توان برای بردار حالت کوانتومی ارائه کرد.

تعبیر بردار حالت کوانتومی

اگر حالت کوانتومی یا تابع موج سیستم را سیال در نظر نگیریم، در تعبیر حالات برهم‌نهی دچار مشکل خواهیم شد زیرا معنای اینکه الکترونی که در هر «آن» قرار است در مکان معین باشد در عین حال در چندین مکان باشد روشن نیست، مگر اینکه تعبیر خود را عوض کنیم و مثلاً مانند تعبیر چند جهانی بگوییم نسخه‌هایی از الکترون در جهان‌های مختلف در مکان‌های مختلف است و تابع حالت توصیفی از الکترون در مجموعهٔ این جهان‌هاست. البته این تنها تعبیر ممکن نیست و در واقع تعبیری که در اینجا برای بردار حالت کوانتومی ارائه می‌کنیم، مبتنی بر تصویری از مشاهده و تحول سیستم است که در بخش قبل توضیح دادیم و آن را تعبیر سیگما می‌نامیم.[٤] مطابق تصویر سیگما، توصیف تابع موج را توصیفی نه از یک موجود مستمر بلکه توصیفی از یک موجود سیال می‌دانیم، سیستمی که حاصل وجود جمعی یا برهم‌نهیِ هر یک از آن مقاطع نوشونده است[٥]. در تصویری که اشیاء و موجودات سیال باشند، سیستم فیزیکی مورد نظر در «آن» یافت نمی‌شود بلکه مقاطع فرضی آن در «آن»، یافت می‌شوند و به علاوه، هر مقطع فرضی هم فقط در یک «آن» یافت می‌شود و ممکن نیست یک مقطع فرضی از سیستم، در بیش از یک «آن» یافت شود.

به این ترتیب در تعبیر سیگما می‌توان تعبیری برای حالت سیستم حتی قبل از اندازه‌گیری ارائه داد و علاوه بر این تابع، موج را به یک معنا می‌توان توصیفی برای یک سیستم منفرد در نظر گرفت ولی در اینجا احتمالی بودن، معنای دیگر پیدا می‌کند. چون این تابع موج توصیف کنندهٔ این سیستم منفرد، به مثابهٔ یک سیستم سیال است، به این اعتبار احتمال حصول نتایج متعین در اندازه‌گیری، با توزیع آماریِ حالات بالقوهٔ این ذره که روی هم به سیستم سیال ذره وجود (جمعی) می‌بخشند، در ارتباط است. در این تصویر، سیستم در طول مدت عمر خود یا در طول مدتی که تحت بررسی

ماست، همواره در حال نو شدن است و این نو شدن‌ها نیز در هر «آن» با مقادیر نو و جدیدی برای مشاهده‌پذیر صورت می‌گیرد ولی در کل مدت عمر سیستم یا کل مدت بررسی، توزیع خاصی بر این مقادیر حاکم است که بر اساس آن می‌توان احتمالی را به حصول هر یک از این مقادیر نسبت داد[۶].

در تعبیر فون نویمان، «حالت» تعبیری واقع‌گرایانه ندارد و صرفاً یک برساختهٔ نظری است اما در تعبیر سیگما، مثل اورت، «حالت» حکایت از امر واقع دارد؛ یعنی سیستم واقعاً در چنین حالتی قرار دارد و این تفسیر واقع‌گرایانه از حالت کوانتومی منجر به پذیرش این نتیجه می‌شود که حالاتِ برهم‌نهی و عدم تعینِ مضمر در آن تا جایی که قلمرو عالم ماده و فیزیک است وجود داشته باشد. به این ترتیب، هر چند در تعبیر سیگما اینکه الکترون در یک ویژه حالت باشد به معنی این است که اندازه‌گیری آن، نتایج متعینی را برای ناظر به دست می‌دهد اما از اینکه سیستم در حالت برهم‌نهی باشد نتیجه نمی‌شود که اندازه‌گیری آن منجر به نتایج متعین نشود. در واقع می‌توان گفت در این تعبیر، اساساً سیستم همواره در یک حالت برهم‌نهی است ولی گاهی (یعنی مواقعی که در تصویر رایج و معمولی می‌گوییم سیستم در یک ویژه حالت خالص است)، جملات برهم‌نهی همگی یکسان هستند. لذا حتی وقتی نیز که سیستم در یک حالت خالص است، باید آن را این طور تعبیر کرد که سیستم مدام در حال نو شدن در حالت‌های متعددی است که از قضا این حالت‌ها با هم مشابه هستند. پس اگر حالت سیستم یک برهم‌نهی از حالات متناظر با رنگ سیاه و رنگ سفید بود، آن را نباید بر اساس «احتمال» سیاه یا سفید «بودن» تعبیر کرد بلکه باید به احتمال سیاه یا سفید «شدن» تعبیر کرد؛ یعنی سیستم در هر «آن» در حال «شدن» است. البته در زمان نو شدن، سیستم «کمیات» مشاهده‌پذیر را داراست ولی این کمیت «مقدار» متعین و متمایز ندارد. به این ترتیب کلیهٔ سیستم‌ها و حالات آنها، همهٔ سیستم‌های فیزیکی حتی هنگامی که ثابت و بی‌حرکت به نظر می‌رسند، در حال تحول و نوشدن هستند[۷]. این نو شدن‌های مدام، ناقضِ این‌همانی یک سیستم فیزیکی نیست زیرا در تعبیر سیگما، واقعیت و اصالت برهم‌نهی‌ها ضامن و مقوم هویت فرازمانی سیستم‌هاست.

مسألهٔ نتیجه

اما این پرسش پیش می‌آید که اگر این حالاتِ برهم‌نهی است که اصالت دارد، پس چگونه ما همواره یک تجربهٔ متعین داریم؟ این مسأله به «مسألهٔ نتیجه» در مسألهٔ اندازه‌گیری شهرت دارد.

بر اساس تصویری که در بالا ارائه شد، رابطهٔ خواص فضایی منشور و مثلث‌هایی که ناظر در صفحه درک می‌کرد، یک رابطهٔ توارثی است. اَشکال دو بعدی ویژگی‌های خود را از اشکال سه‌بعدی به ارث می‌برند. در واقع، این اشیاء دو بعدی همان شیء سه‌بعدی (منشور) هستند که از منظری خاص مشاهده می‌شوند. تأثیر این منظر نیز صرفاً یک ویژگی ذهنی ناظر در صفحه نیست. بلکه یک ویژگی عینی است و ناشی از نسبتی خاص و واقعی است که ناظر، با اشیاء اطراف خود، در یک اَبر فضایِ با بعدی بالاتر (سه بعدی) دارد و فیزیک‌دانِ ساکن این صفحه، بر اساس قدرت تبیین‌کنندگی فرض این بعد بالاترِ اشیاء، می‌تواند به عینیت و واقعیت آن دست یابد. وی می‌تواند این حدس و فرضیه را طرح کند که مثلثی که تجربه می‌کند، در واقع مقطع یک شیء سه بعدی است و با توجه به ملاحظات دیگر نظری، این شیء سه بعدی باید به شکل منشوری باشد که در شکل نشان داده شده است.

به همین طریق، بر اساس تصویر ارائه شده در تعبیر سیگما نیز عدم تعین حالات کوانتومی نه تنها منافاتی با تعین تجارب ناظر ندارند بلکه منشأ تعین آنها نیز هستند؛ یعنی تعینی که ناظر درک می‌کند، برش‌هایی از یک واقعیتِ برهم‌نهی و سیال است که از دید ناظرِ فرا زمانی به‌نحو نامتمایز در کنار هم هستند. در تعبیر سیگما، ناظر به دلیل محدودیت ادراکی خود (یعنی اینکه جز در «آن» نمی‌تواند تجربهٔ ادراکی داشته باشد)، وقتی حالت توصیف‌کنندهٔ سیستم به صورت یک برهم‌نهی است، جز یک نتیجهٔ متعین را نمی‌تواند ببیند. به تعبیر دیگر چون ناظر از بعدی پایین‌تر به سیستم می‌نگرد و واقعیتِ در حالتِ برهم‌نهیِ سیستم را تنها در یک «آن» یا تنها در یک نقطه قطع می‌کند، لذا با وجود اینکه سیستم در حالتِ برهم‌نهی است، وی یک نتیجهٔ متعین را می‌بیند، به همان دلیل که هر ناظرِ آگاهی، پیوستار زمان را تنها در هر «آن» و در هر لحظه تنها در یک مقطع تجربه می‌کند و ما نمی‌توانیم کل مدت زمان عمر یک موجود یا حتی بازه‌ای از آن را در یک «آن» مشاهده کنیم[۸].

اگر از منظر تعبیر سیگما بخواهیم به نظریه‌های متغیر-های اضافی (نهان) نگاه کنیم، در این تعابیر فرض این است که تجارب ما توصیف «کاملی» از واقعیت به ما می‌دهند از جمله اینکه واقعیتْ کاملاً متعین است. از طرفی چون در نظریهٔ کوانتوم با حالت‌های برهم‌نهی مواجهیم که متضمن عدم تعین است، پس لاجرم باید بپذیریم که نظریهٔ کوانتوم ناقص است چرا که نمی‌تواند نمایشی از واقعیت متعین (یعنی واقعیتی که بر اساس تجربهٔ حسی خود به آن رسیده‌ایم و آن را متعین یافته-ایم) به‌دست دهد و لاجرم پارامتری باید آن را کامل کند. اما برخلاف نظریه‌های متغیرهای اضافی (نهان)، در تعبیر سیگما، تجارب ما توصیف کاملی از واقعیت به ما نمی‌دهند و تجربهٔ متعین، ناشی از عدم توانایی ما در ادراک و تجربهٔ واقعیتِ برهم‌نهی و نامتعین است لذا این تعیّن، حاصل تجربهٔ ذهنی ماست[۹]؛ ولی هر چند تجربهٔ ذهنی ما یک تجربهٔ متعین است و نمی‌توانیم تجربهٔ ادراکی از حالت‌های بر هم‌نهی داشته باشیم[۱۰]، با وجود این می‌توانیم با نظریه‌پردازی و با انتزاعی ریاضی به آن حالت‌های نامتعین برسیم؛ همان‌طور که با نظریه-پردازی و نه مشاهده و تجربهٔ بصری مستقیم، به حرکت زمین به دور خورشید پی بردیم[۱۱].

با در نظر گرفتن این ملاحظات می‌توان گفت حالت برهم‌نهی، وجودِ جمعیِ حالات تشکیل دهندهٔ آن یا همان اجزاء برهم‌نهی است و از خودْ دارای اصالت است. این حالات، در برهم‌نهی واقعیتی بالقوه دارند ولی همان‌طور که گفته شد، نه به این معنا که آن حالاتْ در خارج از برهم‌نهی موجود نیستند و واقعیت ندارند.[۱۲] آنها حقیقتاً موجودند اما نه به نحو مستقل و متمایز و جدا از هم[۱۳]. حالت برهم‌نهیِ گربهٔ زنده و گربهٔ مردهٔ شرودینگر، وجود جمعیِ حالت گربهٔ زنده و حالت گربهٔ مرده است. حالت برهمنهی گربه، توصیف-کنندهٔ گربهٔ شرودینگر از منظری فرا زمانی و به منزلهٔ یک سیستم سیال است (که ما نه با مشاهده، بلکه با انتزاع ریاضی به آن دست یافتیم) و از این منظر، حالت گربه به صورت بالقوه هم مرده است و هم زنده. نه به این معنا که گربه هم‌اکنون زنده (مرده) نیست و می‌تواند زنده (مرده) شود. بلکه به این معنا که واقعیت گربه که سیال است، زمانی به‌صورت زنده (مرده) یافت می‌شود که با اندازه‌گیری و مشاهدهٔ ناظر، پیوستار واقعیت سیال گربه در مقطعی بریده و قطع شود[۱۴و۱۵].

البته باید توجه داشت که این سخن بدان معنی نیست که در مدل سیگما اندازه‌گیری نقش ویژه دارد، زیرا حصول نتیجهٔ متعین توسط ناظر به‌واسطهٔ نقش ویژهٔ

اندازه‌گیری نیست، بلکه وضعیت و نسبت متافیزیکیِ خاص ناظر با سیستم است که باعث می‌شود حالت ناظر وابسته به حالت سیستمِ تحت اندازه‌گیری باشد و به تنهایی و مستقل از آن معنایی نداشته باشد؛ یعنی به این بستگی دارد که ناظر در چه صفحه‌ای سیستم سیال را قطع می‌کند. این نسبی بودن نیز امر بی‌سابقه‌ای نیست چنانکه در تعبیر کپنهاگی و اورت نیز به نحوی با آن مواجهیم[۱۶]، با این تفاوت که در مدل سیگما توضیحی برای آن وجود دارد. همچنین اینکه در تعبیر سیگما، تعین حالت یک زیرسیستم مستقل از بقیهٔ سیستمِ مرکب نیست و به عبارتی منشأ تعین، یک کلّ نامتعین و ممتد است، حاکی از تقدم وجودی کل بر اجزاء است[۱۷].

واقعیت متعین و واقعیت برهم‌نهی

با توجه به آنچه گفته شد، در تعبیر سیگما سیستم‌های فیزیکی دو نوع «واقعیت» دارند: یکی واقعیتی برهم‌نهی و دیگری واقعیتی متعین. آنچه کشف می‌کنیم، جنبهٔ متعین سیستم است که به‌صورت واقعیت متعین در فرآیند اندازه‌گیری توسط ذهن حاصل می‌شود و آنچه در طبیعت بدون دخالت ذهن عمل می‌کند، واقعیت و وجود برهم‌نهی است. مثلاً اسپین مثبت یا منفی در هر «آن»، هر یک واقعیتِ متعینِ اسپین در یک جهت خاص است نه واقعیت برهم‌نهیِ اسپین. به این معنا اسپین دارای نحوه‌ای از وجود است که متعین است. در مقابل، واقعیت برهم‌نهیِ (جمعیِ) هر چیزی علاوه بر اینکه واجد مقدار متعین آن است، واجد مقادیر دیگری نیز هست ولی به نحو بالقوه و نامتمایز. پس اسپین الکترون، نحوهٔ وجود دیگری نیز دارد و آن واقعیت برهم‌نهی یا جمعی اسپین است که هم واجد مقدار متعین مثبت و هم واجد مقدار متعین منفی است ولی بالإجمال و به‌نحو نامتمایز و البته به‌صورت سیال.

با توجه به آنچه گفته شد، در پاسخ به این پرسش اساسی که تعبیر حالت برهم‌نهی چیست و این حالت چه نوع واقعیتی را مشخص می‌کند، می‌توان گفت حالت برهم‌نهی، خودْ دارای اصالت و وحدت و بساطت است و نباید پنداشت که حالت برهم‌نهی یک سیستم، مخلوطی واقعی از حالات خالص است[۱۸] زیرا در این صورت به این معنی است که برهم نهی، مجموع واقعیات متکثرِ به هم ضمیمه شده است. در حالی که اینگونه نیست و برهم‌نهیْ واقعیتی است که در عین اصالت و بساطت، حالات مختلف دیگری را به‌صورت بالقوه یا بالإجمال، غیر از آنچه در اندازه‌گیری به صورت متعین برای ناظر کشف شده است، داراست. بنابراین اولاً واقعیتِ برهم‌نهی‌ها مستلزم کثرت و تعدد نیست تا این مشکل پیش آید که چگونه واقعیت سیستمی می‌تواند در آن واحد همهٔ آن حالات متکثر و متعدد مانعه‌الجمع را اختیار کند. به تعبیری می‌توان گفت یک حالت برهم‌نهی به نحوی اجمالی واقعیت دارد و موجود است.

ثانیاً حالات برهم‌نهی، توصیف کامل‌تری است از واقعیت سیستمْ نسبت به واقعیت نتایج متعینِ حاصل از مشاهدات و اندازه‌گیری‌های ما که به صورت یک واقعیت ذهنی برای ما جلوه می‌کند. یعنی توصیف این حالات برهم‌نهی از سیستم کوانتومی، توصیفی است از مرتبهٔ بالاتر[۱۹] یا با در نظر گرفتن ابعادی بالاتر نسبت به توصیفی که نتیجهٔ مشاهدات متعین ماست. بنابراین، واقعیت و وجودِ برهم‌نهی و نامتمایز (یا مسامحتاً نامتعینِ) سیستم را باید اصل و مبدأ تعیّن و تشخصِ کمیتِ مشاهده‌پذیری مثل مکان برای سیستم کوانتومی یا وجود متعین سیستم تعبیر کرد نه نافی آن؛ یعنی

وجود واقعیت برهم‌نهی اگر با ابعاد پایین‌تر در نظر گرفته شود، به صورت متعین و خاص و متمایز برای ما ظاهر می‌شود[۲۰] ولی اگر از بعدی بالاتر آن را در نظر بگیریم، «برهم‌نهی»، برهم‌نهی است!

حالت‌های برهم‌نهی از این جهت که برای یک مشاهده‌پذیر و کمیت خاص در نظر گرفته می‌شود، در پایه‌های خاصی از فضا نوشته می‌شود مثلاً فضای اسپین. این حالات یک برهم‌نهی از حالت‌های خالصی هستند که با مقادیر خاصی از مشاهده‌پذیرِ مربوطه متناظرند. به این اعتبار، حالت برهم‌نهی به‌عنوان مبدأ حالت خالص و خودِ حالت خالص، هر دو یک سنخ حقیقت هستند و به همین اعتبار، نمایش هر دوی آنها هم در یک فضا صورت می‌پذیرد. به این اعتبار، ضمن اینکه برهم‌نهی وجود واقعی و نه مجازی (و نه صرفاً ریاضی و ابزاری) دارد، ما با دو سنخ حقیقت مباین و مغایر مواجه نیستیم که پذیرش یکی مستلزم نفی دیگری باشد بلکه یکی (حالت برهم‌نهی) واقعیتی از مرتبه یا بعد بالاتر است نسبت به دیگری.

این عقیده که حالت‌های برهم‌نهی در عالم وجود ندارند، ناشی از این پیش‌فرض است که سیستم‌ها تنها به صورت متعین و خاص می‌توانند تحقق یابند در حالیکه دلیل الزام‌آوری برای این امر وجود ندارد. می‌توان سیستم‌ها را به صورت موجوداتی چهاربعدی در نظر گرفت که هر چند از منظر چهار بعدی نامتعین هستند، اما از منظر سه بعدی متعین به نظر می‌رسند. این وجود به این معنا نیست که کل حالت برهم‌نهی در هر آنی از مدت زمان عمر سیستم موجود است. یعنی به این معنا نیست که تصور شود سیستم در حالت برهم‌نهی در این «آن» موجود است. این «آن» به حکم اینکه زمانْ یک پیوستار سیال است، معدوم می‌شود ولی سیستم که هنوز در یک حالت برهم‌نهی است[۲۱]، معدوم نمی‌شود و در «آنِ» دیگری هم باز کل سیستم در یک حالت برهم‌نهی همچنان موجود است. آن «آن» نیز معدوم می‌شود ولی سیستم مذکور که در یک حالت برهم‌نهی است معدوم نمی‌شود و باز خودش در آنات دیگر با یک حالت برهم‌نهی موجود است و هکذا. این تصویر درست نیست زیرا واقعیتی که در حالت برهم‌نهی است، کلّش در هیچ لحظه‌ای از زمانْ موجود و قابل رؤیت نیست بلکه کل آن واقعیتی که در حالت برهم‌نهی است، فقط در کلّ مدت زمان عمر سیستمْ واقعیت و تحقق می‌یابد، به طوری که در هر «آن»، که مقطعی فرضی از زمان است، فقط مقطعی فرضی از آن موجود است، غیر از مقطع فرضیِ دیگری که در آنِ دیگری موجود است. پس مقدار متعینی که برای هر کمیت مشاهده‌پذیر در «آنِ» خاصی می‌بینیم، فقط مقطعی فرضی از پیوستار سیال مشاهده‌پذیرِ متناظر با حالت برهم‌نهی است. پس چون کل پیوستار مشاهده‌پذیرِ متناظر با حالت برهم‌نهی در هر «آن» تحقق نمی‌یابد (چون امر سیالی است که منطبق بر زمان است) لذا اصلاً ممکن نیست که ناظر کلّ پیوستار مشاهده‌پذیر را در یک «آن» ببیند بلکه کل آن را فقط در کلّ مدت زمان عمرش می‌بیند[۲۲]. ولی بنا بر تحلیلی که گذشت، ندیدن آن به معنای عدم واقعیت و وجود آن نیست بلکه نحوهٔ وجود و واقعیت آن متفاوت است[۲۳]. به عبارت دیگر ناظر در بیان و در گزارش از تجربهٔ خود صادق است و درست می‌گوید اما در تفسیر این تجربه دچار اشتباه است یعنی در اینکه این تجربهٔ متعین را واقعیت نهایی و غایی سیستم می‌داند اشتباه می‌کند. سیستم از دید یک ناظر فرا زمانی یا بر اساس توصیف مکانیک کوانتوم، در یک حالت متعین قرار ندارد بلکه در یک برهم‌نهی از حالات است.

مسألهٔ آمار

مسألهٔ آمار این است که نتایجی که نظریه پیشنهاد می‌کند، بر اساس قاعدهٔ بورن، احتمالی‌اند. یعنی وضعیت‌های اندازه‌گیری که با توابع موج اولیهٔ یکسان توصیف می‌شوند، منجر به نتایج متفاوتی می‌شوند و احتمال حصول هر نتیجه با قاعدهٔ بورن داده می‌شود. مسأله اینجاست که اگر تابع موج به صورتی تعینی تحول یابد، در این صورت دو سیستمی که با توابع موج یکسان شروع می‌کنند، قاعدتاً به توابع موج یکسانی نیز منتهی می‌شوند و اگر تابع موج کامل باشد، در این صورت توابع موج یکسان باید از هر جهت یکسان باشند. این در حالی است که بر اساس قاعدهٔ بورن، توابع موج یکسان ممکن است منجر به نتایج مشاهدتی یکسانی نشوند.

برای بیان توضیح تعبیر سیگما برای مسألهٔ آمار، همان تصویر منشور و صفحه و ناظر در صفحه را در نظر بگیرید. این بار فرض کنید منشور مورد نظر هم رنگ سفید و هم رنگ سیاه دارد و این رنگ‌ها به‌صورت کاتوره‌ای در منشور پخش شده‌اند، به طوری که هر مقطع از منشور را ببُریم، یا سفید است یا سیاه و هیچ مقطعی هم سیاه و هم سفید نیست. با اینکه این رنگ‌ها به‌صورت کاتوره‌ای در منشور قرار دارند ولی در عین حال می‌دانیم که در مجموع می‌توان گفت نصف طول این منشور، سفید و نصف طول آن سیاه است ولی این سیاه و سفیدها لزوماً در کنار هم نیستند بلکه در طول منشور توزیع شده‌اند ولی از نظر دانسیته، نصف آن سفید و نصف آن سیاه است. بنابراین اگر به‌صورت تصادفی یک مقطع عرضی از آن را ببُریم، با احتمال ۱/۲ سفید و با احتمال ۱/۲ سیاه به دست خواهیم آورد. اما ناظر در صفحه چه می‌بیند؟ ناظر در صفحه که از بعد سوم اطلاعی ندارد، مثلثی را می‌بیند که به‌صورت کاتوره‌ای سفید و سیاه می‌شود. اگر این منشور بارها و بارها از صفحهٔ وی عبور کند، وی در نهایت می‌تواند به این نتیجه برسد که هر چند این مثلث از لحظهٔ خلق تا نابودیش به‌صورت کاتوره‌ای سفید و سیاه می‌شود ولی در کل، نصف دورهٔ عمرش سفید و نصف دورهٔ عمرش سیاه است. یعنی وی می‌تواند به هر یک از رویدادهای سفید شدن و سیاه شدن، احتمال ۱/۲ نسبت دهد.

اما در واقع از دید ناظری که بعد سوم را می‌بیند، مثلثی وجود ندارد بلکه مثلث‌هایی هستند که مقاطع منشوری هستند که با توزیع خاصی سفید و سیاه رنگ شده است و ناظر در صفحه خیال می‌کند که یک مثلث است که مرتب سفید و سیاه می‌شود. همچنین از دید ناظری که بعد سوم را می‌بیند، منشور در کل نه سیاه است و نه سفید و تنها بعد از برش یک مقطع از منشور می‌توان گفت آن مقطع سفید یا سیاه است. لذا این ذهن ناظرِ در صفحه است که رنگ مشخص و متعین سیاه و سفید را به‌طور شانسی ولی بر اساس احتمالاتی که مبتنی بر توزیع خاصی است تجربه می‌کند. تحول تابع موج سیستم سیال (یا به تعبیر اورت، تحول تابع موج کلی و جهانی) علّی و تعینی است ولی از جهت ذهنی (یا به تعبیر سیگما از دید ناظری که در صفحه است) احتمالی و شانسی است[۲۴].

البته در اینجا در مقام تعریف و محاسبهٔ احتمالات آماری، رویداد نو شدن ذره در حالات مختلف را مثل تعبیر آماری (Ballentine, 1970: 361) به‌صورت «آنسامبلی» تعریف می‌کنیم زیرا انتساب احتمالات به هر رویداد نو به شکل منفرد، با مشکلات مفهومی روبه‌روست (Albert, 2000: 63). همانطور که آلبرت در مورد مکانیک آماری توضیح می‌دهد، مشکل اینجاست که آن نوع اطلاعاتی که واقعاً در مورد

سیستم‌های فیزیکی می‌توان داشت، یعنی آنچه می‌توانیم اندازه‌گیری کنیم، با پیوستاری از بی‌نهایت مجموعه شرایط ریز و جزئیِ سیستم سازگار است. از این نتیجه می‌شود که کل ریزشرایط ممکن هر سیستم نیوتنی به صورت یک پیوستار است و دقت اندازه‌گیری‌های ما هم بی‌نهایت است. اما در این صورت تنها راه برای انتساب احتمال‌های یکسان به همهٔ آن شرایط در همهٔ زمان‌های مورد بحث این است که به هر کدام احتمال صفر نسبت دهیم و این کار البته چیزی در این مورد نمی‌گوید که چطور پیش‌بینی می‌کنیم.[۲۵]

پاشیدگی عقربهٔ دستگاه در تعبیر سیگما بیانگر توزیع نتایج ممکن اندازه‌گیری است و تا جایی که به مشاهدات مربوط می‌شود، تفاوتی بین این تعبیر و تعبیر آماری وجود ندارد: از نظر مشاهدتی تفاوتی نمی‌کند که بگوییم یک سیستم سیال داریم که «نو شدن»های مداوم و با توزیعی خاص دارد یا اینکه بگوییم سیستم‌های مختلفی داریم که به طور یکسان تهیه شده‌اند و وقتی اندازه‌گیری می‌کنیم مکانشان دارای توزیع خاصی است. تفاوت این دو در وضعیت متافیزیکی آنهاست.

در تعبیر آماری بردار حالت نمی‌تواند توصیف‌کنندهٔ یک سیستم فیزیکی منفرد باشد. البته بالنتین درست می‌گوید که بی‌معنی است اگر بگوییم عقربهٔ یک دستگاه ماکروسکوپی مکان متعین ندارد (Ballentine, 1970:371). اما این «معنا نداشتن» در یک چهارچوب متافیزیکی خاص است و ممکن است در چهارچوب متافیزیکی مناسب این حرف معنا داشته باشد. در چهارچوب تعبیر سیگما درست است که برخلاف تعبیر آماری، این پاشیدگیْ خاصیتِ سیستم منفرد است ولی این سیستم منفرد به صورت سیال در نظر گرفته می‌شود. یعنی این‌طور نیست که سیستم در هر «آن» به صورت متمایز همهٔ آن امکان‌ها را داشته باشد و همهٔ آن مکان‌های ممکن را در یک «آن» و به صورت «متمایز» اشغال کند بلکه آنها را به صورت بالقوه و نامتمایز اشغال می‌کند و این مشاهدهٔ ناظر است که در یک «آن» مکان متعین و متمایزی را از نظر ذهنی برای او ایجاد می‌کند.

اورت نیز بین تحول حالات ذهنی و تحول حالات فیزیکی تفاوت می‌گذارد و در حالی که دومی را تعینی می‌داند، اولی را احتمالی می‌شمارد. در تعبیر سیگما اگر توزیع نو شدن ذره در زمان t_0، $|\psi(t_0)|^2$ باشد در زمان t این توزیع $|\psi(t)|^2$ خواهد بود که با معادلهٔ شرودینگر داده می‌شود. نو شدنِ سیستم در هر آن بر اساس یک توزیع آماری است و لذا می‌توان به صورت آنسامبلی به آن احتمالاتی را نسبت داد اما تحول کلیت سیستم بر اساس معادلهٔ شرودینگر تعینی است.[۲۶]

در مدل سیگما تحول حالت فیزیکی شیء سیال کوانتومی خطی است اما توضیح خواهیم داد که برای تکمیل این نظریه نیاز به یک معادلهٔ کمکی نیز هست. بدون این معادله، یا بر اساس ساده‌ترین دینامیکی که می‌توان برای آن در نظر گرفت، نو شدن‌های سیستم در تعبیر سیگما شبیه تحول دینامیکی روایت بل از مدل اورت می‌شود. این نو شدن‌های کاتوره‌ایِ اجزاءِ زمانیِ سیستمِ سیال باعث می‌شود که حالت ذهنی ناظر به صورت کاتوره‌ای جهش کند، بدون بستگی به اینکه آخرین حالت ذهنی چه بوده است. اما احتمال اینکه جهش به حالت خاصی صورت بگیرد، همواره بر اساس قاعدهٔ بورن قابل محاسبه است[۲۷].

تعبیر سیگما با تعبیر احتمال نیز مشکل خاصی ندارد زیرا احتمال در اینجا کاملاً عینی است و به رویدادهای فیزیکی ارجاع دارد. این رویدادهای فیزیکیِ نو شدن که بر اساس توزیع خاص و مطابق دینامیک مشخصی

رخ می‌دهد، موجب می‌شود که در نهایت حافظهٔ ذهن ناظر، نشان دهندهٔ آمار کوانتومی باشد و این آمار و احتمالات نتیجهٔ رویدادهای تصادفی نو شدن باشد.

در تعبیر سیگما تحول سیستمِ سیال هم علّی و هم احتمالی یا کاتوره‌ای است. این تحول از دید ناظرِ در صفحه کاتوره-ای است ولی این احتمالی و کاتوره‌ای بودن، ذاتیِ طبیعت نیست بلکه منشأ آن توزیع آماری خاص ذره در نو شدن است. ممکن است ناظر بر اساس مشاهدات خود، احتمال را ذاتیِ طبیعت بداند ولی این نتیجه‌گیری عجولانه است چون وی بر اساس فقدان آگاهی‌اش به وجود واقعی برهم-نهی‌ها و عدم توجه به سیال بودن سیستم به این ارزیابی رسیده است. این عدم تعین به معنی شانسی بودن طبیعت نیست بلکه به معنای حاکم بودن توزیع خاصی در نحوهٔ نو شدن موجودات و اشیاء است که می‌توان برای خودِ این توزیع به دنبال تبیین بود. این نزدیک به تعبیری است که بوهم دارد: «... یک نظم نهان داریم که منشأ نظم مشاهده شده در سطح معمولی است.» (گلشنی، ۱۳۸۵: ۲۱۶) ناظری که همهٔ ابعاد را نمی‌بیند (ناظرِ در صفحهٔ مثال ما) تنها تعین را می‌بیند و در این سطح می‌تواند آنچه را می‌بیند توصیف کند ولی نمی‌تواند فهم و توضیح کاملی از آن ارائه دهد. به تعبیر بوهمی «این سطح را می‌توان با توسل به خودش توصیف کرد ولی نمی‌توان آن را به این وسیله فهمید یا توضیح داد. ... در سطح رویین، اشیاء و حوادث منفصل و منزوی در فضا و زمانند اما آنها در سطح زیرین یک کل می‌سازند و در هر جزئی، کل نمایان است.» (گلشنی، ۱۳۸۵: ۲۱۶) در تعبیر سیگما هر چند از دید ناظر معمولی، آمار مکانیک کوانتوم تحویل‌ناپذیر به‌نظر می‌رسد[۲۸] ولی جستجو برای یافتن متغیرهای نهانی برای رویدادهای منفرد مجاز است (Ballentine 1970:380) ، با این تفاوت که آن رویدادهای منفرد در اینجا نو شدن‌های سیستم در حالات مختلف است. خودِ بوهم نیز در آثار متأخر خود، این کاتوره‌ای بودن را قابل حذف نمی‌دانست (Bohm & Hiley, 1993:40,41, 327)، نه به این معنی که علیتی در کار نیست بلکه به دلیل فقدان آگاهی ما نسبت به منشأ توزیع‌های حاکم. تعبیری که نتایج آماری را مثل مکانیک آماری معمولی نتیجهٔ جهل ما می‌داند و تحت عنوان تعبیر جهلی از بردار حالت کوانتومی شناخته می‌شود، با وجود خواصِ اصیلِ حالات برهم‌نهی در مکانیک کوانتوم و نتایج مشاهدتیِ حاصل از آن سازگار نیست (Auletta 2000: 107-115). در تعبیر سیگما نیز از دید ناظر در صفحه، نمی‌توان تعبیر جهلی از احتمال ارائه داد چون احتمالْ به واسطهٔ آن توزیع آماریِ خاص جزو سیستم سیال است و نو شدن مدام سیستم در آنات بر اساس آن توزیع صورت می‌گیرد. اما باز این سخن، یعنی تحویل‌ناپذیر بودن آمار به این معنا نیست که طبیعت شانسی است چون می‌توان این پرسش را مطرح کرد ه چرا چنین توزیعی بر این نو شدن‌ها حاکم است. یعنی می‌توان این پرسش را مطرح کرد که چه توجیه مستقلی، جدای از توفیق نظریهٔ کوانتوم، می‌توان برای حاکم بودن این توزیع ارائه کرد؟ ولی این مسأله، تنها مسألهٔ سیگما نیست زیرا مدل بوهم و اورت نیز چنین فرضی را دارند و باید برای آن فرض آماری توضیحی ارائه کنند (Barrett 1999:81). این توضیح می‌تواند متکی به وجود برخی متغیرهای نهانی باشد که منشأ این توزیع و به تبع، احتمال نو شدن‌ها هستند.

مسألهٔ اثر

راه حل سیگما برای مسألهٔ اثر چیست؟ لازم به ذکر است که بالنتین سخن دیراک (Dirac 1958:36) را در مورد چنین قیدی که ما در اینجا آن را به تبع مادلین، مسألهٔ اثر می‌نامیم، زیر سؤال می‌برد. به اعتقاد وی اینکه انتظار داشته باشیم اندازه‌گیری دوم همان نتیجهٔ

اندازه‌گیری اول را بدهد، حداکثر در مورد آن دسته از اندازه‌گیری‌ها صادق است که کمیت مورد اندازه‌گیری را تغییر ندهند و لذا اهمیت دادن به چنین اصلی که چنین کاربرد محدودی دارد، در مبانی نظریهٔ کوانتوم چندان مناسب نیست. ضمن اینکه این اصل مبتنی بر یک فرض نادرست نیز هست و آن اینکه اندازه‌گیری و تهیهٔ حالت یکی هستند. مثلاً وقتی یک فیلتر را در مسیر فوتون قرار می‌دهیم، فوتون‌های خروجی پلاریزه شده هستند. این یک فرآیندِ تهیهٔ حالت است و اگر همین فوتون‌ها را از فیلتری با همان مشخصات عبور دهیم، اتفاقی برای حالت فوتون نخواهد افتاد. هیچ‌یک از دو فرآیند فوق اندازه‌گیری محسوب نمی‌شوند. برای اندازه‌گیری پلاریزاسیونِ فوتون باید آن را آشکارسازی کرد و دید که آیا قبلاً از فیلتر عبور کرده است یا نه و چون آشکارساز در این کار فوتون را جذب می‌کند، اصلاً هیچ اندازه‌گیری دومی ممکن نیست (Ballentine 1970:369).

اما به نظر نمی‌رسد این برهان نتیجه‌بخش باشد. فرض کنید اسپین در راستای x الکترونی را که در حالت اسپین y مثبت است اندازه‌گیری کنیم. بر اساس نظریهٔ کوانتوم، این اندازه‌گیری کمیت اندازه‌گیری شده را تغییر می‌دهد. در تعبیر استاندارد، قبل از اندازه‌گیری الکترون دارای اسپین x نیست اما تکرار فوری اندازه‌گیری، قطعاً مقدار سابق را خواهد داد. جذب ذره در یک نوع از تدارکات آزمایشگاهی، فرع قضیه و اتفاقی است و می‌توان روش‌هایی را در نظر گرفت که منجر به این وضعیت نشوند و بر همین اساس نیز پیش‌بینی‌های نظریهٔ استاندارد برای نتیجهٔ اندازه‌گیری تغییر نمی‌کند. همواره یک دسته تدارکات آزمایشگاهی یا اندازه‌گیری مربوط به اپراتورهای تصویر می‌توان در نظر گرفت که با تکرار بلافاصلهٔ اندازه‌گیری قطعاً همان نتایج را به دست خواهد داد. همواره همبستگی‌هایی بین نتایج متوالی وجود دارد[۲۹].

با وجود این انتقادات قیدِ فوق یکی از شرایطی است که در ارزیابی مدل‌های اندازه‌گیری لحاظ می‌شود. مثلاً بل از همین زاویه به تعبیر اورت انتقاد دارد. وی بر ناپیوستگی نتایج در اورت اشاره می‌کند و می‌گوید که در اورت تنها قیدِ $\int|\psi|^2$ است در حالی که به نظر بل، تعبیر اورت باید مثل مدل بوهم بتواند دینامیکی عرضه کند که قابل اعتماد باشد و در تکرار اندازه‌گیری نتایج گذشته را حفظ کند (Barrett 1999:80, 124-126); (Bell 1987:133). در نظریهٔ اورت، نتایج حاصل شده از اندازه‌گیری‌ها به‌صورت «نوعی» با آمار مکانیک کوانتوم مطابقت دارد و ارتباطی بین نتیجهٔ خاص حال با نتیجهٔ خاص گذشته وجود ندارد. (Bell 1987: 135-6) در نتیجه هر چند به‌صورت نوعی (Typically) نتایج به دست آمده با نظریهٔ استاندارد هماهنگ و سازگار است ولی نتایج ذهنیِ مربوط به حافظهٔ ناظر غیرقابل اعتماد است (Barrett 1999:185). بل این را از نقاط ضعف اورت می‌شمرد و معتقد بود که تعبیر اورت باید مثل مدل بوهم بتواند دینامیکی عرضه کند که قابل اعتماد باشد. به‌طور کلی هر نظریه غیر تقلیلی به شرطی می‌تواند راه حلی برای مسألهٔ اثر ارائه کند که دینامیک متغیرهای اضافی بتواند اطلاعات ذره را به نحوی به آینده منتقل کند. این امر خصوصاً برای نظریه‌ای که دینامیکی کاتوره‌ای دارد، دشوارتر است و لذا تصادفی نیست که نظریهٔ بوهم به عنوان موفق‌ترین نظریهٔ متغیر-های اضافی یا نهان، دینامیکی تعینی دارد. در نظریهٔ بوهم، تابع موج اصلاً تقلیل پیدا نمی‌کند و نتیجهٔ اندازه‌گیری اول بر اساس متغیرهای اضافی یعنی همان مکان‌های ذره، تعیین می‌شود، اما دینامیک آن متغیرها طوری در نظر گرفته شده است که اطلاعات آن به

سمت آینده انتقال می‌یابد و به این ترتیب، ذره‌ای که اندازه‌گیری اول آن در اسپین z مثبت یافت شده است، مطمئناً در اندازه‌گیری دوم هم در همین وضعیت یافت می‌شود (Maudlin, 1995:14).

در مجموع وضعیت تعبیر سیگما در این مورد بسیار شبیه تقریر بل از تعبیر اورت است. در تعبیر سیگما درست است که سیستم در هر «آن» در حال نو شدن است ولی این نو شدن می‌تواند به این شکل باشد که حالت سیستم هر چند نو شده است ولی مشابه قبلی باشد و لذا از نظر مشاهده تجربی و از نظر ناظر، گویی همان مقدار قبلی به دست آمده است. در حالی که به‌طور کلی و نوعی با آمار نظریهٔ استاندارد توافق دارد، تضمینی نیست که نتیجهٔ ذهنیِ خاصِ کنونی ربطی به نتیجهٔ ذهنی خاص بعدی داشته باشد. اما این برای حل مسألهٔ اثر کافی به نظر نمی‌رسد. به نظر می‌رسد تمام تعابیری که ذهنی باشند، حتی تفسیر جدیدی که از خود تعبیر فون نویمان ارائه کردیم که تقلیل را ذهنی می‌داند، دچار چنین مشکلی هستند. همان طور که نظریه‌های اورت‌گونه به قاعده‌ای کمکی نیاز دارند که بتواند حالات مختلف در زمان‌های مختلف را به هم ربط دهد (Barrett 1999:197-198). بدون چنین قاعده‌ای، مدل سیگما نیز ناقص خواهد بود. برای توصیف چگونگی تحول اجزاء زمانیِ متعینِ شیء کوانتومی، به یک دینامیک کمکی نیاز داریم تا اندازه‌گیری‌های ما قابل اعتماد باشد.

همانطور که برت در مورد تعبیر چند ذهنی توضیح می‌دهد (Barrett, 1999:197)، آلبرت و لاور هم دینامیک ذهنی مشخصی ارائه نمی‌کنند. با این حال، این امر را مشکلی چندان جدی نمی‌دانند. آلبرت می‌گوید «... آنچه تا اینجا گفته شد ... معادل با یک مجموعه قوانین کلی برای تحول حالات ذهنی نیست؛ اما چنین قوانینی قابل ارایه است، و می‌توان طوری آنها را در نظر گرفت که همهٔ قیودی را که تا اینجا از آنها صحبت کردیم، تحقق بخشند.» (Albert,1992:129) به اعتقاد ما تعبیر سیگما، در خصوص مسألهٔ اثر در وضعیتی مشابه قرار دارد.

نتیجه

هر نظریهٔ عقلانی، چه علمی یا فلسفی و متافیزیکی، تا زمانی معقول است که مسائل معینی را حل کند. هدف مشخص ما نیز این بود که نشان دهیم تعبیر سیگما، حداقل به‌اندازهٔ مدل‌های دیگر توانایی تبیینی برای حل مسألهٔ اندازه‌گیری را دارد. برای رسیدن به چنین هدفی، توانایی این مدل را در حل سه مسألهٔ اندازه‌گیری یعنی مسألهٔ نتیجه، مسألهٔ آمار و مسألهٔ اثر، به تفکیک بررسی کردیم. علاوه بر این، بر اساس این تعبیر نظریهٔ کوانتوم یکی دیگر از محدودیت‌های تجارب ادراکی ما را در تجربهٔ واقعیت‌های برهم‌نهی نشان می‌دهد و از این حیث قابل تأمل و توجه است.[۳۰]

مدل عرضه شده در اینجا یعنی مدل سیگما، گامی در این جهت بود که نشان دهیم اگر بخواهیم نسبت به مکانیک کوانتوم رئالیست باشیم، یعنی بپذیریم هویات و حالات موجود در آن واقعیتی در عالم خارج دارند، لاجرم باید مقولات مفهومی جدیدی عرضه کنیم. اما این تغییر صرفاً با اظهارات جدا از هم، از نوع آنچه طرفداران تعبیر استاندارد نظریهٔ کوانتوم برای رفع و رجوع مشکلات مفهومی ارائه می‌کنند، نه به درستی نقدپذیر است و نه کمکی به فهم ما از عالم می‌کند. تعبیر سیگما با اصالت بخشیدن به برهم‌نهی‌ها و با در نظر گرفتن ملاحظات مذکور، چنین مسیری را دنبال می‌کند و به تعبیر بوهم، در تدارک ارائهٔ تصویر یا «نظم جدید»ی برای دنیای اطراف ماست (Bohm 1980:175).

مدل سیگما مزایایی نسبت به برخی تعابیر دیگر از مکانیک کوانتوم مثل تعبیر اورت دارد. اول اینکه برخلاف روایت نظریهٔ حداقلی از اورت، مدل سیگما این شهود ما را محترم می‌شمارد که حالات ذهنی، به‌صورت برهم‌نهی نیستند. با وجود این مثل نظریهٔ اورت این ایدهٔ اساسی را حفظ می‌کند که تحول زمانیِ سیستم‌های فیزیکی، کاملاً تعینی و بر اساس یک دینامیک خطی است. در این نظریه نیازی به فرض تقلیل فیزیکی نیست. به این دلیل بر «فیزیکی» تأکید داریم که در هستی‌شناسی نظریهٔ سیگما، مثل نظریهٔ چندجهانی، وجود هویات غیرفیزیکی یعنی ذهن ناظر فرض می‌شود که حالات آن با حالت کلی سیستم کوانتومی سیال تعیین نمی‌شود و نسبت متافیزیکی این موجود غیرفیزیکی با قسمت فیزیکی است که منجر به نتایج متعین کلاسیک می‌شود. نظریهٔ سیگما همچنین به طریقی طبیعی نشان می‌دهد که چگونه در پایان فرآیند اندازه‌گیری، فقط یک ناظر فیزیکی و یک سیستم فیزیکی داریم ولی به معنایی دیگر، امکان‌های بالقوهٔ زیادی داریم که می‌توانند به نتایج تجربی متفاوت از هم منتهی شوند.

در نظریهٔ چند جهانی قبل از اینکه بخواهیم تعین را توضیح دهیم، باید بگوییم که چرا جهان در آن پایهٔ خاص منشعب و تقسیم می‌شود. لذا با مسأله‌ای تحت عنوان مسألهٔ پایهٔ ارجح مواجهیم. اما در مدل سیگما به دلیل اینکه شیء یا سیستم به همراه همهٔ مشاهده‌پذیرهایش ذاتاً و به‌طور مدام در حال «تجدید هویت» است، چنین مسأله‌ای وجود ندارد؛ از نظر فیزیکی و واقعی، پایهٔ ارجحی وجود ندارد و اگر تابع موج را در پایه‌ای خاص می‌نویسیم، صرفاً به این دلیل است که آن پایه، در حال حاضر برای ناظر اهمیت دارد، نه اینکه اهمیتی «ذاتی» داشته باشد.

تعبیر سیگما نسبت به تعبیر چند ذهنی این حسن را دارد که در تعبیر سیگما نیازی نیست برای ناظر پیوستاری از اذهان بیشمار در نظر بگیریم که باز در معنای خود این فرض دچار مشکل شویم! زیرا معلوم نیست داشتن چند ذهن یعنی چه و چگونه این اذهان در عین اینکه از آنِ یک فردند ولی ارتباطی با هم ندارند. در نظام سیگما، ناظر یک ذهن بیشتر ندارد ولی ذهن این ناظر با پیوستاری از بی‌نهایت نو شدن از سیستم مواجه است و در هر اندازه‌گیری (به دلایلی که قبلاً گفتیم) یک نتیجهٔ متعین را ثبت می‌کند ولی همهٔ نتایج دیگر پتانسیل وقوع دارند و اگر ناظری فرا زمانی وجود می‌داشت، ناظر فرا زمانی همه را به صورت برهم‌نهی و جمعی می‌دید. همچنین به دلیل واقعی انگاشتن و اصالت حالات برهم‌نهی، مدل سیگما مشکلی با مسألهٔ این همانیِ شخصی ندارد.

با وجود این، هنوز چهاربعدی دانستن اشیاء فیزیکی که مبنای مدل سیگما است، ممکن است تعجب‌برانگیز باشد. این احساس، در مورد مسألهٔ اندازه‌گیری، در چگونگی ارتباط حالات ذهنی با حالات فیزیکی به شکل مشخص‌تری خود را عیان می‌سازد. در مدل سیگما، نوع ارتباطی را که ذهن ناظر با حالات فیزیکی دارد نمی‌توان از نوع ابتناء[۳۱] (supervenience) به معنای معمول آن به حساب آورد.[۳۲] زیرا در این نظریه، ذهن ناظر در ارتباط با مجموعه‌ای از بی‌نهایت جزء در حال نو شدن قرار می‌گیرد که می‌تواند منجر به باورهای کاملاً متفاوت و متعارضی در مورد نتیجهٔ اندازه‌گیری شود که حالت ذهنی ناظر نمی‌تواند همهٔ آنها را در یک «آن» تجربه کند. هر چند ممکن است تناظر و ارتباط حالت ذهنی ناظر با مجموعه‌ای پیوسته از بی‌نهایت جزء در حال نو شدن، به عنوان اجزاء زمانی سیستم سیال، در نظر اول خلاف شهود معمول

به‌نظر برسد، با وجود این عجیب‌تر از در نظر گرفتن مجموعه‌ای پیوسته از بی‌نهایت ذهن در تعبیر چند ذهنی برای یک ناظر نیست.

در پایان با توجه به آنچه گفته شد، بر این آموزهٔ کلی تأکید می‌شود که علم و فلسفه، همواره در گفتگو با یکدیگرند. این گفتگو دو طرفه است. بدون توجه به علم نمی‌توان مدل‌های فلسفی خوبی ارائه کرد. از طرف دیگر، هر چند علم به‌صورت مستمر شهودهای ما را اصلاح می‌کند و آنچه را که عرف عام تلقی می‌شود تغییر می‌دهد اما از طرف دیگر، رد و پذیرش نظریه‌های علمی و همچنین صورتبندی مسائل جدید، علاوه بر شواهد تجربی به پیش‌فرض‌های فلسفی بستگی دارد که یکی از نقش‌های آن چگونگی تفسیر همان شواهد تجربی است. به همین دلیل نمی‌توان گفت مسألهٔ اندازه‌گیری یک مسألهٔ صرفاً فلسفی است که ارتباطی با فیزیک ندارد. هر مدل الزاماتی را به‌همراه خود دارد که ممکن است به فیزیکی جدید منجر شود. اگر کسی نظریهٔ متغیرهای نهان را بپذیرد، این برنامهٔ پژوهشی فیزیکی برای وی ایجاد می‌شود که این متغیرها چه هستند و چه قوانینی بر آنها حاکم است. در نظریهٔ بوهم این متغیرهای اضافی مکان ذرات است و قوانین حاکم بر آنها، معادلات بوهم است. در مدل سیگما نیز باید به دنبال متغیرها و قوانینی بود که چگونگی این نوشدن‌ها و توزیع حاکم بر آنها را توضیح می‌دهند.

علی رغم دفاعی که از طرح فوق صورت گرفت، با توجه به سابقهٔ سترگ و پرمناقشهٔ مسألهٔ اندازه‌گیری، تأکید می‌کنیم که به‌هیچ وجه مدعیِ ادعای بلندپروازانهٔ حل مسألهٔ اندازه‌گیری نیستیم؛ طرح فوق عمدتاً با هدف تلاشی نظری و گمان‌ورزانه و فعالانه برای «درک» مسألهٔ اندازه‌گیری و آشنایی با «پیچ و خم‌های نظریه‌پردازی» در مورد آن ارائه شد. معتقدیم همان طور که دیدگاه‌های فلسفی می‌تواند در نظریه‌پردازی‌های علمی تأثیرگذار باشد، نظریه‌پردازی‌های علمی نیز در تعریف مسائل جدید فلسفی و تلاش برای پاسخ به آنها مؤثرند. بسیاری از مسائل کلاسیک فلسفه، به‌خصوص مسائل مربوط به ماده، در همکاری و مساعی مشترک عالمان فیزیک و فلسفه مثل دکارت، لایبنیتس، کانت، نیوتن و ... مورد بحث قرار گرفته است و نظریه-پردازی‌های فلسفی زمینه را برای فعالیت بسیاری از دانشمندان علوم تجربی و نظریه‌پردازان فیزیک مثل فارادی، ماکسول، اینشتین، دوبروی و شرودینگر هموار کرده است. همان‌طور که قبلاً گفتیم، نظریه‌های متافیزیکی چهارچوب‌های مفهومی و تعبیری را برای نظریه‌ها فراهم می‌کنند که فهم عالم طبیعت بر اساس آنها امکان پذیر است و هر چند این تعابیر معمولاً منحصر به فرد نیستند ولی سخن اخیر به این معنا نیست که همهٔ این چهارچوب‌های متافیزیکی رقیب در یک تراز از مقبولیت قرار دارند بلکه بر اساس اینکه تا چه اندازه قابل فهم و مطابق شهود عام ما هستند و به چه میزان ظرفیت‌های جدیدی برای توسعهٔ نظریه در اختیار ما قرار می‌دهند و با توجه به کلیت نظام معرفتی ما (یعنی اینکه آیا در تقابل با دیگر نظریه‌های فیزیکی یا متافیزیکی ما که مسائلی دیگر را حل می‌کنند، هستند یا خیر) قابل مقایسه و ارزیابی‌اند.

یکی از جنبه‌های جالب این نظریه‌پردازی‌ها، مشخصهٔ گمان‌ورزانهٔ آنهاست که در عین اینکه از سر تمایل برای فهم عالم ارائه شده است، بطور مداوم هم مورد بحث و نقادی‌های همکاران و رقبای این طیف است و هم به یافته‌های تجربی التفات دارد. به این اعتبار به خوبی می‌توان این رویکرد و این نوع نظریه‌پردازی‌ها را با آنچه پوزیتیویست‌ها سعی در تبلیغ آن دارند مقایسه

کرد: یعنی اینکه ما حتی علی‌الاصول قادر به درک ساختار عالم نیستیم یا اینکه شناخت طبیعت باید در انحصار متخصصان و در هاله‌ای از تعابیر فنی و ریاضی باقی بماند یا اینکه علم چیزی جز ابزار نیست و از هر مسألهٔ جالب فلسفی و نظری خالی است. این آموزه‌های پوزیتیویستی که از قضا در برخی موارد نسبی‌گرایان نیز گاه به دلیل اتخاذ رویکردهای زبانی+ با آن همنوا هستند، برای رشد علم مفید نیست.

پی‌نوشت‌ها

۱- شکل‌گیری اندیشهٔ اولیهٔ این مقاله تحت تأثیر هستی‌شناسیِ نظام فلسفی صدرا بود، که در این میان خصوصاً از تقریر عبدالرسول عبودیت (a ۱۳۸۵) استفاده شد. یکی از نتایج حرکت جوهری صدرا برای هستی‌شناسی این است که *اشیاء* چهاربعدی‌اند یعنی یک امتداد زمانی دارند. صدرا در سفر اوّل، مرحلهٔ هفتم، فصل ۳۳، قسمت گفتگو و فراگیری چنین می‌گوید:

«... در میان حقایق وجودی، هویتی هست که به ذات خود از هم امتیاز دارد و دارای شؤون متجدد و متفاوت است که این تفاوت از تقدم و تأخری ذاتی نشأت می‌گیرد، مثل زمان. ... صورت طبیعی هویتی جوهری است اما زمان عرضی است و حق این است که هویت جوهری باید ذاتاً دارای صفات فوق باشد، نه زمان. چرا که زمان نزد آنان عرض است و وجودش تابع وجود چیزی است که بدان مقدار می‌یابد، پس زمان مقدار طبیعتِ متجددِ به‌ذات خود است، از آن رو که نو شونده است؛ چنانکه جسم تعلیمی (هندسی) مقدار این طبیعت است از آن جهت که پذیرندهٔ ابعاد سه‌گانه است. پس طبیعت دارای دو امتداد است که یکی تدریجی و زمانی است و در وهم به قبل و بعد زمانی تقسیم می‌شود و دیگری دفعیِ مکانی است و به قبل و بعد مکانی تقسیم‌پذیر است.» (با اندکی دخل و تصرف از ترجمهٔ محمد خواجوی با مشخصات زیر استفاده شده است:

صدرالدین شیرازی (۱۳۸٤): *اسفار*، ترجمهٔ محمد خواجوی، انتشارات مولی، چاپ سوم، صص ۱۰۸ – ۱۰۷.

البته چهاربعدگراییِ متافیزیکیِ «اشیاء» را *نباید* با چهاربعدی در نظر گرفتن «رویدادها» چنانکه در نسبیت خاص با آن مواجهیم، یکی دانست. نسبیت خاص را می‌توان چنانکه مرسوم و رایج است، با تلقی سه‌بعدی از اشیاء تفسیر کرد. همچنین لازم به توضیح است که اندیشهٔ اولیه این مقاله با استفاده از تلاش‌های متأخر در زمینهٔ هستی‌شناسی چهاربعدگرایانه و کاربرد آن در فیزیک، خصوصاً در زمینهٔ جعل اصطلاحات، تکمیل گردید. در این میان خصوصاً مقالهٔ بالاشف، Balashov (1999) که در باب کاربرد چهاربعدگرایی در نسبیت خاص است، مورد توجه قرار گرفت.

۲- ویژگی اصلی پیوستار این است که مثل خط، سطح و حجم ذاتاً قابل انقسام فرضی است. به این معنا زمان را نیز می‌توان نوعی پیوستار دانست که با در نظر گرفتن هر «آن» از آن، جزئی وجود دارد که نسبت به آنْ «آنِ» مفروض، *گذشته* است و جزئی وجود دارد که نسبت به آن «آن»، *آینده* است.

۳- در یک تقسیم‌بندی خود این پیوستار می‌تواند *پایدار* یا *سیال* باشد. پیوستار پایدار، پیوستاری است که اجزاd فرضی آن با هم موجودند؛ مثل خط یا سطح یا حجم. در مقابل، پیوستار سیال پیوستاری است که هیچ دو جزء فرضی آن *با* هم موجود نیستند، مثل زمان.

٤- وجه تسمیهٔ این مدل به «سیگما» اینست که اولاً حرف Σ تداعی‌کنندهٔ *علامت* جمع است و در این تعبیر، *وجود* جمعی اصالت دارد. به‌علاوه، این حرفْ ابتدای نام صدراست که این تعبیر، تحت تأثیر نظریهٔ متافیزیکی وی شکل گرفته است.

۵- این وضعیت در مورد اشیای ماکروسکوپی نیز صادق است، یعنی آنها هم واقعیتی سیال دارند و سیالیت آنها به تبع سیالیت اجزای آنهاست و از این جهت، تعبیر سیگما، مثل تعبیر اورت (Everett 1973: 87-8)، توصیف واحدی از اشیای میکرو و ماکرو ارائه می‌کند.

۶- پس بر اساس این تفسیر، احتمال و شانسْ ذاتیِ عالم نیست بلکه در اینجا نیز مثل رویکرد آماری بالنتین، جستجو برای یافتن متغیرهای نهانی برای رویدادهای منفرد *مجاز است*، با این تفاوت که آن رویدادهای منفرد در اینجا نو شدن‌های سیستم در حالات مختلف با توزیعی مشخص است. *البته هنوز این امر نیازمند تبیین است که چرا چنین توزیعی بر نو شدن‌ها حاکم است؟ آیا متغیرهای نهانی موجودند که منشأ به‌وجود آمدن چنین توزیع آماری هستند؟*

۷- این جنبش دائم و حرکت همگانی در مدل بوهم نیز مورد تأکید است. بوهم و هایلی تأکید کرده‌اند که میدان‌های کوانتومی را نباید به صورت هویاتی در نظر گرفت که می‌توانند حرکت کنند و می‌توانند حرکت نکنند؛ بلکه آنها را باید *ذاتاً* در حال حرکت دانست. به کلیت چنین حرکتی «جنبش همگانی» (holomovement) اطلاق می‌شود. رک به: Bohm & Hiley, 1993:355, Pylkkanen, 2007:25.

۸- اگر با تعبیر اورت مقایسه کنیم خواهیم دید که در تعبیر اورت، همهٔ مؤلفه‌های برهم‌نهی به طور *همزمان* وجودِ بالفعل دارند (Everett 1957: 318 & Barrett 1999:68) ولی در تعبیر سیگما اینطور نیست. آنها به‌طور همزمان *وجود بالقوه* به معنای نامتمایز و بالإجمال دارند و این امر ناشی از این است که در تعبیر اورت، حالت برهم‌نهی نمایش یک سیستم مستمر است ولی تعبیر سیگما حالت برهم‌نهی را به‌صورت سیال تعبیر می‌کند.

۹- به اعتقاد فون نویمان، تا آنجا که به فرمالیسم مربوط است از نظر *فیزیکی* به تقلیل نیازی نیست و ما با حالات برهم‌نهی مواجهیم لذا وی در نهایت تقلیل را *ذهنی* در نظر می‌گیرد. اما اگر تعینی در سطح ذهنی حاصل شود، به نظر می‌رسد باید متناظر با تعین و تشخصی در سطح فیزیکی باشد. فون نویمان برای حل این مشکل بر اعتباری و دلخواهانه بودن *که مرز بین سیستم مشاهده شده و ناظر* است، تأکید می‌کند (von Neumann 1955:421) اما توضیحی در مورد اینکه این تقلیل «چرا» و «چگونه» رخ می‌دهد ارائه نمی‌کند ولی تعبیر سیگما با ارائهٔ یک ساز و کار متافیزیکی، سعی در ایضاح و تبیین حصول نتایج متعین دارد.

۱۰- لذا رابطهٔ حالات ذهنی ما با حالات فیزیکی، از نوع ابتناء نیست. این وضعیت در مورد مدل‌های بوهم، فون نویمان و اورت نیز همین‌گونه است.

۱۱- در اینجا با وضعیتی شبیه آموزهٔ دوئم-کواین مواجهیم. مشاهدات ما نتیجهٔ متعینی را برای هر اندازه‌گیری نشان می‌دهند در حالی که در مکانیک کوانتوم با حالات برهم‌نهی مواجهیم. انواع راه‌حل‌ها برای رفع این تعارض وجود دارد. می‌توانیم توصیف مکانیک کوانتوم را توصیف کاملی از واقعیت ندانیم یعنی آن حالات برهم‌نهی را بیانگر (کلّ) «واقعیت» ندانیم، یا اینکه تعبیر خود را از مشاهدات عوض کنیم و توصیف تجارب خود را از واقعیت کامل ندانیم.

۱۲- هایزنبرگ (1958:53) در آثار متأخر خود از ایدهٔ *قوهٔ* ارسطویی استفاده کرد و آن را به احتمال ربط داد. بر اساس توضیح وی، به محض برهم‌کنش شیء با دستگاه اندازه‌گیری، گذاری از حالات «ممکن» به حالات «بالفعل» رخ می‌دهد و ربطی هم به ذهن ناظر ندارد. شیمونی نیز، وجود بالقوه را به عنوان *نحوه‌ای وجود* برای سیستم‌های فیزیکی در نظر می‌گیرد (1993:179). با وجود این، هیچ یک از تلقی‌های هایزنبرگ یا شیمونی از «واقعیات بالقوه» در زمینهٔ بحث *اجزاء زمانیِ یک واقعیت نامتعین* نیست.

۱۳- اجزاء هر پیوستاری *فرضی و بالقوه‌اند* و تا هنگامی که مقاطع و انقسامات فرضی و بالقوه‌اند، اجزاء پیوستار اصلی نیز که به منزلهٔ کل تلقی می‌شوند فرضی و بالقوه‌اند نه حقیقی و بالفعل. اینکه می‌گوییم اجزاء هر امتدادی بالقوه‌اند، نه به این معناست که آنها در جهان خارج در امتداد مذکور موجود نیستند بلکه به این معناست که این اجزا به نحو منفصل و جدای از هم، در خارج در امتداد مذکور یافت نمی‌شوند. هیلبرت در مقالهٔ معروف خود تحت عنوان «*دربارهٔ بی‌نهایت*» تأکید می‌کند «... در هیچ جا در واقعیت، ما پیوستار همگنی که به ما اجازه دهد تقسیم متوالی را انجام دهیم و بی‌نهایت را در جزئی کوچک تحقق و واقعیت بخشیم وجود ندارد. تقسیم‌پذیریِ إلی غیر النهایه برای یک پیوستار، عملیاتی است صرفاً *ذهنی* ... .» در این مورد رک:

Hilbert, D. "On the Infinite", in Benacerraf P. & Putnam H. (1964/1987), *Philosophy of Mathematics*, Cambridge University Press, Pp. 183-201.

پس وقتی از اجزای پیوستار سخن می‌گوییم، این اجزاء به‌صورت بالقوه در نظر گرفته می‌شوند. اما نکتهٔ ظریف اینجاست که «بالقوه بودن اجزاء هر پیوستار» نه به این معناست که آنها در *خارج* از پیوستار مذکور موجود *نیستند* و واقعیت *ندارند* بلکه به این معناست که این اجزاء *به نحو منفصل و جدا و متمایز از هم*، در خارج و در واقعیت، در پیوستار مذکور یافت *نمی‌شوند*. پس لفظ «بالقوه»، در اینجا به معنای «بالإجمال»، در مقابل «بالتفصیل» است؛ نه به معنای چیزی که هم‌اکنون موجود *نیست* و می‌تواند موجود شود. به این معناست که می‌توان گفت هر پیوستاری، وجودِ جمعی یا یک برهم‌نهی از اجزاء خود است.

۱۴- پس تعبیر کپنهاگی «به یک معنا» درست می‌گوید که *بعد از* اندازه‌گیری، یک مقدار متعین برای مشاهده‌پذیر داریم اما مهم ای انست که «معنای» این حرف را توضیح دهد و معنای این حرف تنها در یک چارچوب متافیزیکی مشخص قابل ارزیابی است نه با نفی متافیزیک و نظریه‌پردازی‌های هستی‌شناسانه. از طرفی طرح آن ادعا در چارچوب یک دیدگاه پوزیتیویستی یا ایده‌آلیستی قابل دفاع نخواهد بود، چون ما را دچار مشکلات مربوط به عدم کفایت این دیدگاه‌ها خواهد کرد.

۱۵- مفهوم *واقعیت کوانتومی نامتعین*، در پروژهٔ دیگری که توسط بوش و همکارانش (1996) دنبال می‌شود، برای توضیح مسألهٔ اندازه‌گیری و عدم تعین، به همراه فرمالیسم ریاضی آن ارائه شده است. ولی چون در این رهیافت جایی برای نقش ذهن وجود ندارد، نیازمند این است که معادلات دینامیکی معمول کوانتوم استاندارد تغییر داده شود (شبیه آنچه در GRW اتفاق می‌افتد). در این خصوص رک: Busch & Jaeger (2011).

۱۶- بور نسبت به معیار واقعیت فیزیکی برهان EPR انتقاد داشت و آن را نمی‌پسندید چون مبتنی بر این فرض بود که *بدون توجه به آرایش تجربی، می‌توان از حالت یک سیستم فیزیکی صحبت کرد*. به نظر وی برای توضیح بی‌ابهام پدیده‌های کوانتومی باید *تمام* تدارکات تجربی را مشخص کرد و از آنجا که پدیدهٔ تحت مطالعه و آزمایشگر یک واحد و کلّ تجزیه ناپذیر می‌سازند، پس برای توصیف اشیاء اتمی باید تمام جهات ذی ربط تدارکات تجربی را لحاظ کرد. در تعبیر اورت نیز تأکید می‌شود که حالت ناظر *وابسته* به حالت سیستمِ تحت اندازه‌گیری است و *به تنهایی و مستقل* از آن معنایی ندارد.

۱۷- این کل‌گرایی در نظریهٔ بوهم یعنی اینکه نه تنها ارتباط اجزاء بلکه خود *وجودشان* نشأت گرفته از قانون حاکم بر کلّ است (Bohm, 1971:viii)، از طریق وابستگی پتانسیلِ کوانتومی به حالت کلّ سیستم توضیح داده می‌شود (گلشنی، ۱۳۸۵: ۲۱۲).

۱۸- این مطلب همان خلطی است که تعابیری مثل همدوسی‌زدایی می‌کنند و مورد اعتراض کسانی است که معتقدند همدوسی‌زدایی حل مسألهٔ اندازه‌گیری نیست.

۱۹- تعبیر «بالاتر» در اینجا، واجد معنایی ارزشی *نیست* بلکه *متافیزیکی* است.

۲۰- بسیاری از تعابیر ارائه شده نشان می‌دهد که ما، برای فهم برهم‌نهی‌ها و فرآیند اندازه‌گیری در مکانیک کوانتوم، به هر حال مجبور به توسیع در هستی شناسی هستیم. در تعابیر اورت‌گونه این توسیعْ با اضافه‌کردن جهان‌ها یا اذهان اضافی جلوه می‌کند و در نظریهٔ بوهم، با در نظر گرفتن متغیرهایی اضافی و پتانسیلی که خواص عجیبی دارد. در تعبیر سیگما نیز با در نظر گرفتن بعدی اضافه به برهم‌نهی‌ها اصالت داده می‌شود. در واقع به نظر می‌رسد همهٔ آن ویژگی‌های عجیبی که در مکانیک کوانتوم ناشی از این حالات برهم‌نهی است، در مدل بوهم با نفی حالات برهم‌نهی، بر عهدهٔ موجودی به نام پتانسیل کوانتومی است که منشأ آن در حال حاضر ناشناخته است اما نقش تبیین‌کنندگی دارد (Riggs, 2009:127).

۲۱- از آنجا که معادلهٔ شرودینگر خطی است، ذره در «آنِ» بعدی نیز در حالت برهم‌نهی خواهد ماند.

۲۲- همچنین این مطلب از این جهت اهمیت دارد که در حالی که توضیح مقبولی برای «مشاهده‌ناپذیری» *انشعاب‌ها* در تعبیر اورت یا «مشاهده‌ناپذیری» جهان‌های دیگر با اندازه‌گیری و مشاهدهٔ ناظرِ موجود در یک جهان ارائه نشده است (Barrett, 1999: 158-9)، در نظام سیگما «مشاهده‌ناپذیری» همهٔ حالات یا نتایج در یک «آن» قابل توضیح است: دلیل آن این است که موجودات عالَم همگی منطبق بر پیوستار زمان هستند و از آنجا که ماهیتی سیال دارند، کل واقعیتِ آنها به‌تمامی به صورت بالفعل در یک «آن» نمی‌تواند وجود داشته باشد، بلکه کل آن در کل طول عمر سیستم یا در یک بازهٔ زمانیِ به اندازهٔ کافی طولانی قابل مشاهده است.

۲۳- مقایسه با تعبیر حداقلی وضعیت را روشن‌تر می‌کند. بنا به تعبیر حداقلی از اورت زمانی که سیستم در حالت برهم‌نهی باشد، گزارش ناظر از حصول نتیجهٔ متعین یک گزارش *غلط* است زیرا در واقع امر چنین حالت متعینی وجود ندارد (Barrett, 1999:96). اما بر اساس تعبیر سیگما، ناظر «اشتباه می‌کند»، ولی اشتباهش در این *نیست* که فکر می‌کند تجربهٔ متعینی دارد (زیرا *واقعاً* تجربهٔ متعینی *دارد*) بلکه اشتباهش در این است که فکر می‌کند کل سیستمِ مورد اندازه‌گیری *واقعاً* در هر «آن» به تمامی و به صورت متعین وجود دارد و آنچه او مشاهده می‌کند *کل واقعیت* سیستم است. بنابراین در تعبیر سیگما نتایج متعین در واقع، تظاهرات ذهنی ناظر است وگرنه تا قبل از آن، یعنی تا جایی‌که با حالات فیزیکی و نه ذهنی سر و کار داریم، مقدارِ هر کمیتِ سیستم به صورت برهم‌نهی و غیر متمایز وجود دارد و در هر «آن» هم وجودِ متعین دارد.

۲٤- اورت هم هر چند این را به تجربهٔ ذهنی ناظر نسبت می‌دهد ولی توضیح وی برای اینکه چرا وی چنین تجربهٔ ذهنی دارد مبهم است. در متافیزیک سیگما، توضیح قابل فهمی برای این تصویر وجود دارد. در تعبیر سیگما، احتمال و تعین در کنار یکدیگرند. در اینجا نیز شبیه تعبیر اورت، مکانیک موجی (معادلهٔ شرودینگر)، بدون اینکه در *ذات* خود اظهارات احتمالی داشته باشد، در سطح ذهنی منجر به تظاهرات احتمالی برای ناظر می‌شود، به طوری که فرکانس نسبیِ نتیجهٔ متعینِ به دست آمده برای ناظرها مربعِ ضرایبِ جملاتِ برهم‌نهی است Eeverett, 1973:78, Barrett. 1999:79-81

۲۵- همچنین این نوشدن‌ها (چون در هر "آن" روی می‌دهند) فوق‌نوری صورت می‌گیرند اما بر میانگین مجموعه‌ای و آنسامبلیِ آنها (یعنی بر آنچه ما می‌توانیم اندازه‌گیری کنیم) نسبیت حاکم است. این همان چیزی است که بوهم نیز به بیانی دیگر گفته است. اینکه "حرکات نامنظم در سطح زیر کوانتومی فوق نوری هستند، اما حرکات متوسط ذرات که در انتشار علائم ذیربط هستند، از نظریهٔ نسبیت تبعیت می‌کنند." (گلشنی ۱۳۸۵: ۲۲۱)

۲٦- تفاوت سیگما با اورت این است که در تعبیر سیگما، کل سیستم به تمامی در یک «آن» وجود بالفعل ندارد بلکه کلّ آن در طول مدت زمان عمر الکترون یافت می‌شود و توزیع این نو شدن‌ها و فعلیت یافتن‌ها هم $|\psi|^2$ است.

۲۷- بل این وضعیت را به خوبی در قالب شباهت و تفاوت بین بوهم و اورت بیان کرده است. به بیان بل، در واقع مدل بوهمْ اورتِ بدون مسیر است. بل بر این ناپیوستگی در اورت اشاره می‌کند و می‌گوید که در اورت تنها قید $|\psi|^2$ است Barrett 1999:187 & Bell, 1987:133.

۲۸- تعبیر آماری بالنتین نیز چنین است (Auletta, 2000:106).

۲۹- در مورد این استدلال مدیون مادلین هستیم.

۳۰- یکی از مشخصه‌های نظریه‌هایِ کلانِ فیزیکی یا فلسفی اینست علاوه بر اینکه توانایی شناختی ما را نسبت به دنیای اطرافمان بالا می‌برند، در عین حال محدودیت‌های ما را نیز به‌طریقی نشان دهند. نظریهٔ نسبیت محدودیت ما را نسبت به کسب اطلاعات خارج از مخروط نور نشان می‌دهد، گودل محدودیت نظام‌های اصل موضوعی را مشخص می‌کند. نظریهٔ معرفت کانت سعی داشت *حدود* توانایی شناخت عقلانی را بیان کند و ویتگنشتاین نیز تلاش می‌کرد *محدودهٔ* معناداری زبان را مشخص کند. همهٔ این نظریه‌ها،

فارغ از درست یا غلط بودنشان، به نحوی سعی در بیان محدودیت‌های حاکم بر ما را دارند.

۳۱- وقتی مجموعه‌ای از خواص A مبتنی بر مجموعهٔ دیگری از خواص، مثلاً B، است که هر دو شیئی که از نظر خواص A باهم تفاوت دارند، لاجرم از نظر خواص B نیز اختلاف داشته باشند. به عبارتی، اختلاف در A، بدونِ اختلاف در B ممکن نباشد؛ در مورد بحث ما، اختلاف در حالات ذهنی، بدون اختلاف در حالات فیزیکی ممکن نباشد.

۳۲- وضعیت مدل سیگما در مورد «ابتناء» منحصر به فرد نیست. تعبیر استاندارد فون‌نویمان و مدل بوهم در این مورد وضعیت مشابهی دارند. رک به (Becker 2004:127 & Plkkanen 2007:192).

منابع

- اینشتین، آلبرت (۱۳۷۸) **نسبیت و مفهوم نسبیت**، ترجمهٔ محمدرضا خواجه‌پور، تهران: خوارزمی، چاپ دوم.
- عبودیت، عبدالرسول (۱۳۸۵a) **درآمدی بر فلسفهٔ اسلامی**، تهران: پژوهشگاه امام خمینی.
- عبودیت، عبدالرسول (۱۳۸۵b) **درآمدی بر نظام حکمت صدرایی**، جلد اول، تهران: سمت، پژوهشکدهٔ امام خمینی.
- گلشنی، مهدی (۱۳۸۵/۱۳۶۹) **تحلیلی از دیدگاه‌های فلسفی فیزیکدانان معاصر**، تهران: پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، چاپ چهارم.
- مطهری، مرتضی (۱۳۸۶) **مجموعه آثار**، جلد ۱۱، تهران: صدرا، چاپ سوم.

-Albert, D., (1992), *Quantum* Mechanics and Experience, Cambridge, MA: Harvard University.

- -------- (2000), *Time and Chance*, Harvard University Press.

-Albert, D., and Loewer, B. (1988) *'Interpreting the Many Worlds Interpretation'*, Synthese **77**, 195-213.

-Auletta, Gennaro (2000), *Foundations and Interpretation of Quantum Mechanics:* In the Light of a Critical-Historical Analysis of the Problems and of a Synthesis of the Results, Singapore, World Scientific.

-Balashov, Y. (1999), "Relativistic Object", *Nous*, Vol 33, No. 4, 644-662.

-Ballentine, L. (1970), "The Statistical Interpretation of Quantum Mechanics", Rev. Mod. *Phys*, 42, 358–381.

-Barrett, J., (1999), *The Quantum Mechanics of Minds and Worlds,* Oxford: Oxford University Press.

-Becker, Lon (2004). "That von Neumann Did Not Believe in a Physical Collapse", *British Journal for the Philosophy of Science* 55 (1):121-135.

-Bell, J. (1990), "Against Measurement", *Physics World*, August 1990.

-Bell, J. S., (1987), *Speakable and Unspeakable in Quantum Theory*, Cambridge: Cambridge University Press.

-Bohm, D. (1952), "A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables. I", *Phys*. Rev. 85, 166–179

-Bohm, D. (1971), *Causality and Chance in Modern Physics*, University of Pennsylvania Press.

-Bohm, D., (1980), *Wholeness and the Implicate Order*, New York: Routledge.

-Bohm, D., and Hiley, B. J., (1993), *The Undivided Universe: An Ontological Interpretation of Quantum Theory*, London: Routledge & Kegan Paul.

-Bohr, N.(1934), *Atomic Theory and the description of Nature*, (Cambridge: Cambridge University Press).

-Bohr, N., (1935), "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?", *Physical Review*, 48: 696-702.
-Busch P., Jaeger, G. (2011), "Unsharp Quantum Reality", in http://arxiv.org/abs/ 1005.0604v2.
-Busch, P., Lahti, P.,Mittelstaedt, P. (1996), *The Quantum Theory of Measurement*, 2nd. ed., Springer, Berlin.
-Dirac, P. A. M. (1958), *The Principles of Quantum Mechanics (Fourth Edition)*, Oxford University Press.
-Everett, H., 1957, "'Relative State' Formulation of Quantum Mechanics", in Wheeler, J. A., and W. H. Zurek (eds.), 1983, Quantum Theory and Measurement, *Princeton*: Princeton University Press
-Everett, H., 1973, "The Theory of the Universal Wave Function", in DeWitt, B. S., and N. Graham (eds.), 1973, The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics, *Princeton*: Princeton University Press. 3–140.
-Heisenberg, W. (1958), *Physics and Philosophy (Harper and Row*, New York.
-Hilbert, D. "On the infinite", in Benacerraf P. & Putnam H. (1964/1987), *Philosophy of Mathematics,* Cambridge University Press.
-Maudlin, Tim (1995), "Three Measurement Problems", *Topoi*, Vol. 14. No. 1, pp.7-15
-Popper, K. (1958) *Metaphysics and Criticizability*, in Miller, D. (1983), A Pocket Popper, pp. 209-220, Fontana Press.
-Pylkkanen, P. (2007), *Mind, Matter, and the Implicat Order*, Springer.
-Riggs, P. J. (2009), *Causal Theory of Quantum*, Springer.
-Shimony, A. (1993), *Search for a Naturalistic World View*, Vols. I and II, Cambridge University Press, Cambridge.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی