

## تلقى واقع گرایانه از مکانیک کوانتومی

سعید معصومی\*

### چکیده

در این مقاله با بررسی موضوعی که در آنها به نظر می رسد مکانیک کوانتومی با آموزه واقع گرایی در تعارض باشد، نشان خواهیم داد که با اتخاذ موضع واقع گرایانه ای که اکنون بیشتر فلاسفه علم در مورد مفهوم واقع گرایی علمی دارند می توان تلقی واقع گرایانه از مکانیک کوانتومی داشت. با توجه به ادبیات علمی و فلسفی در مورد مکانیک کوانتومی می توان سه نوع واقع گرایی علمی را از هم باز شناسی کرد و بر اساس این تمایز نشان داده خواهد شد که آنچه به عنوان تعارض میان واقع گرایی و مکانیک کوانتومی شناخته می شود بر اساس تعاریف دوم و سوم واقع گرایی است. کلمات کلیدی: واقع گرایی علمی، مکانیک کوانتومی، نظریه های علمی، مشاهده پذیر، مقدار.

### ۱. مقدمه

در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، فیزیک کلاسیک با دو اشکال مهم روبرو شد که یکی کشف اتر و دیگری تابش جسم سیاه بود. تلاش برای حل مشکل اول منجر به ظهور نظریه نسبیت خاص گردید و مشکل دوم نهایتاً با نظریه مکانیک کوانتومی پاسخ داده شد. هم نظریه نسبیت و هم مکانیک کوانتومی مفروضات بنیادین فیزیک کلاسیک را با چالش جدی مواجه ساختند. مفاهیم زمان و مکان (فضا) در نسبیت تعاریف تازه ای یافتند. زمان و مکان دیگر اموری مستقل و مجزا در نظر گرفته نمی شدند. با این حال، اگر چه نظریه نسبیت در مفاهیم زمان و مکان تجدید نظر نمود، ولی دیگر مفاهیم و مبانی اساسی فیزیک

---

\* استادیار پژوهشکده مطالعات بنیادین علم و فناوری دانشگاه شهید بهشتی، s\_masoumi@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۲

کلاسیک را؛ یعنی موجبیت، واقعیت اشیای فیزیکی و استقلال مقادیر کمیات قابل اندازه‌گیری اشیای فیزیکی را همچنان پذیرفت. به این جهت می‌توان گفت فیزیک کلاسیک با نظریه نسبیت تلائم بیشتری داشت تا مکانیک کوانتومی.

در واقع مکانیک کوانتومی منجر به بازبینی در تمام این مفاهیم شد. به عبارت دیگر، مکانیک کوانتومی انقلابی بنیادین در مفروضات فیزیک کلاسیک به وجود آورد که مجادلات و منازعات فلسفی مهمی از آن ناشی شده است و کماکان ادامه دارد. یکی از آموزه‌های فلسفی مهم که ادعا شده است که مکانیک کوانتومی با آن دچار مشکل است آموزه واقع‌گرایی است.

ادعای محوری این مقاله این است که حداقل سه نوع یا سه قرائت از آموزه واقع‌گرایی علمی وجود دارد و مکانیک کوانتومی تنها با دو نوع از این آموزه‌سازگار است (یا می‌تواند باشد چون در تعریف دوم سازگاری بستگی دارد به اینکه مکانیک کوانتومی بتواند عناصر واقعیت را نشان دهد) و قرائت دیگر واقع‌گرایی با مکانیک کوانتومی به طور کلی سازگار است، البته به استثنای تعبیر خاصی از مکانیک کوانتومی که عمل خلق هویات را به شعور نسبت می‌دهد.

با توجه به این قرائت اول یا تعریف اول از واقع‌گرایی علمی (که البته خود اقسام مختلفی دارد)، که به نظر می‌رسد اکنون تلقی غالب فلاسفه علم از واقع‌گرایی علمی این نوع از واقع‌گرایی علمی است<sup>۱</sup>، رویکرد‌های واقع‌گرایانه و ضد واقع‌گرایانه به مکانیک کوانتومی خواهیم داشت. به عبارت دیگر، بر اساس این قرائت، ضد واقع‌گرایانه دانستن مکانیک کوانتومی معنا ندارد (البته همانطور که ذکر شد به استثنای تعبیری از آن که شعور را در واقعیت بخشیدن به کمیات دخیل می‌داند که به نظر نمی‌رسد این تعبیر چندان موجهی باشد) بلکه این موضع فلسفی در مورد مکانیک کوانتومی است که واقع‌گرایانه یا ضدواقع‌گرایانه تلقی می‌شود و از این منظر، تمایزی میان مکانیک کوانتومی و مکانیک نیوتنی وجود ندارد؛ یعنی، هم می‌توان نسبت به مکانیک کوانتومی ضد واقع‌گرا بود و هم نسبت به مکانیک نیوتنی و همچنین می‌توان نسبت به هر دو نظریه واقع‌گرا بود.

در ابتدا لازم است که پرسشی اساسی را در مورد این سه تعریف پاسخ دهیم: چرا این سه نوع تعریف به عنوان تعاریف واقع‌گرایی در نظر گرفته شده‌اند؟ در پاسخ باید گفت، در واقع این سه نوع تعریف از واقع‌گرایی علمی، بر اساس ادبیات فلسفی به طور کلی و

ادبیات فلسفی و علمی مکانیک کوانتومی به طور اخص، بیان شده اند که هنگام تعریف هر یک از آنها خاستگاه هر یک از تعاریف بیان خواهد شد.

در بخش نخست مقاله، دو نوع از مفهوم واقع گرایی توضیح داده می شود. سپس در بخش دوم به طور مختصر مفروضات اساسی فیزیک کلاسیک بیان می شود و سازگاری فیزیک کلاسیک با آموزه واقع گرایی روشن می گردد. در بخش سوم صورت بندی و تعبیر در مکانیک کوانتومی مختصراً توضیح داده می شود و نهایتاً در بخش چهارم به مشکلات واقع گرایی با مکانیک کوانتومی بالاخص تعبیر استاندارد آن پرداخته و نظرات برخی از بزرگان و بنیانگذاران مکانیک کوانتومی در این ارتباط مورد بررسی قرار می گیرد. بخش پنجم هم نتیجه گیری بحث خواهد بود.

## ۲. واقع گرایی علمی

به طور کلی می توان گفت واقع گرایی دیدگاهی است که در آن اعتقاد بر این است که هویات این جهان مستقل از ما وجود داشته و کسب معرفت از آنها امکان پذیر است. در همین رابطه استیون فرنچ (Steven French) می گوید: «اینکه چگونه می توان واقع گرایی علمی را مشخص کرد، خود محل مناقشه است و بنابراین همین مطلب در مورد آنچیزی برقرار است که به عنوان شکل ارزشمند ضد واقع گرایانه تلقی می شود. اما اگر بخواهیم به طور کلی سخن بگوییم واقع گرایی علمی می پذیرد که واقعیتی مستقل از ذهن آنجا در خارج وجود دارد که ما می توانیم از چنین واقعیتی آگاهی داشته باشیم و اینکه علم بهترین شکل چنین آگاهی ای را فراهم می آورد» (French, 2014: 1)

واقع گرایی علمی نوع اول را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

**تعریف ۱:** واقع گرایی علمی اذعان به این امر است که هویات مندرج در نظریات علمی مستقل از ذهن وجود داشته و گزاره های بیان کننده نظریه ها صادق و کذب پذیرند و نیز نظریه های علمی بالغ و موفق تقریباً صادق هستند.

واقع گرایی علم نوع دوم را به صورت زیر تعریف می کنیم:

**تعریف ۲:** نظریه ای را واقع گرایانه می نامیم که گزاره های آن قابل صدق و کذب هستند و در آن هر عنصری از واقعیت فیزیکی، که مستقل از ذهن است، همتایی در نظریه فیزیکی دارد. هنگامی که بتوانیم بدون هر گونه اخلال در سیستمی، با قطعیت، (یعنی با

احتمال برابر با واحد) مقدار یک کمیت فیزیکی را پیش بینی کنیم در آن صورت عنصری از واقعیت فیزیکی متناظر با این کمیت فیزیکی وجود دارد.

اگر شرط زیر را به این تعریف اضافه کنیم نظریه علاوه بر واقع‌گرایانه بودن از نوع دوم، موجبیتی هم خواهد بود:

اگر عنصری از واقعیت فیزیکی، همتایی در نظریه فیزیکی داشته باشد، آنگاه می‌توان، در شرایطی، با قطعیت (یعنی، احتمال برابر ۱) مقدار آن کمیت را پیش بینی کرد.

و واقع‌گرایی علمی نوع سوم را نیز به طریق زیر بیان می‌کنیم:

تعریف ۳. نظریه ای واقع‌گرایانه است که در آن شروط زیر برقرار باشد:

۱- گزاره‌های نظریه‌های علمی را باید به صورت لفظی (literal) در نظر گرفت به عبارت دیگر این گزاره‌ها قابل صدق و کذب اند.

۲- تمام مشاهده‌پذیرهایی که برای نظریه‌های علمی تعریف شده‌اند، مستقل از ذهن هستند و دارای مقادیر معین در تمام زمان‌ها هستند.

۳- اگر نظریه‌های علمی دارای کمیتی (مقدار یک مشاهده‌پذیر) باشد، آنگاه آن نظریه‌ها این کمیت را مستقل از هر زمینه‌ای از اندازه‌گیری واجد است.

یعنی مستقل از اینکه چطور مقدار آن نهایتاً اندازه‌گیری می‌شود.

این نوع از واقع‌گرایی قسم دیگری هم دارد و آن اینکه به جای گزاره (۳) از گزاره (۳') که به قرار زیر است استفاده کنیم:

۳'- با تغییر تنظیم قطعه‌ای از ابزاری در دور دست نمی‌توان مقدار دقیق مشاهده‌پذیری مشخص را به مقدار دقیق دیگری تبدیل کرد.<sup>۱</sup>

تفاوت (۳) و (۳') این است که اولی را می‌توان ملهم از قضیه کوچن-اشپکر دانست و بعدی را ملهم از قضیه بل. یک مساله مهم در اینجا سنجش نسبت میان این تعاریف است. برای قرارگیری در موقعیت بهتر برای مقایسه دو نظریه باید ابتدا قدری در مورد این دو نوع واقع‌گرایی و الزامات آنها توضیحاتی ارائه کنیم.

## ۱.۲ نوع اول از واقع‌گرایی

در تعریف اول از واقع‌گرایی علمی سه جنبه اساسی مد نظر است که در ادبیات فلسفه علمی معاصر آنها را به ترتیب با عناوین ۱- جنبه مابعدالطبیعی (metaphysical) ۲- جنبه معناشناختی (semantical) و ۳- جنبه معرفت‌شناختی (epistemological) واقع‌گرایی می‌

شناسند. سیلوس (Psillos) در کتاب خود با عنوان «واقع گرایی علمی: چگونه علم در پی حقیقت می رود» (Scientific Realism: How Science tracks truth) این سه جنبه را به صورت زیر بیان می کند:

« ۱- نظرگاه متافیزیکی مبین آن است که جهان دارای ساختار معین و طبیعی مستقل از ذهن است.

۲- دیدگاه معناشناختی نظریه های علمی را در شکل ظاهری آن، به عنوان توصیفاتی که در حیطه مورد نظر، یعنی حوزه مشاهده پذیرها (observables) و مشاهده ناپذیرها (non-observables) دارای ارزش صدق هستند، در نظر می گیرد. بنابراین نظریه های علمی قابل صدق و کذب اند.

احکام نظری (theoretical assertions) به اظهاراتی در مورد رفتار مشاهده پذیرها، قابل تحویل نیستند، همچنین آنها صرفاً ابزاری برای برقراری ارتباط میان مشاهده پذیرها نمی باشند. عبارت نظری که در نظریه ها یافت می شوند دارای مرجع واقعی عرفی هستند. بنابراین اگر نظریه های علمی صادق باشند، هویت مشاهده ناپذیری که آنها در نظر می گیرند (فرض می کنند)، جهان را اشغال کرده اند.

۳- موضع معرفتی، نظریه های علمی بالغ و موفق در پیش بینی را، دارای تأیید خوب و به طور تقریبی در مورد جهان صادق می داند، بنابراین هویت مفروض این نظریه ها یا هویتاتی که خیلی شبیه به آنها هستند، واقعاً در طبیعت وجود دارد» (Psillos, 1999: xvii). لازم به ذکر است این گونه نیست که تمام مدافعان آموزه واقع گرایی علمی با تلقی نخست، به هر سه مولفه واقع گرایی علمی اعتقاد و باور داشته باشند، بلکه ممکن است، برخی صرفاً به یک یا دو مولفه آن معتقد بوده و مابقی را رد کنند. به عنوان مثال، می توان صرفاً به مولفه اول واقع گرایی علمی باور داشت و دو مولفه بعدی را انکار نمود. در این صورت مدافع این موضع واقع گرای شی ای (entity realist) نامیده می شود. توجه به نکته فوق دارای اهمیت است؛ زیرا برخی از فیلسوفان و دانشمندانی که آنها را ضد واقع گرا می نامند، در حقیقت صرفاً بعضی از مولفه های واقع گرایی را انکار می کنند. به همین دلیل آنها را تنها از جهاتی می توان ضد واقع گرا نامید، ولی از جهات دیگر واقع گرا هستند.

البته به نظر می رسد ادعان به مولفه اول واقع گرایی علمی؛ یعنی فرض وجود اشیای مستقل از ذهن یا چیزی که به لحاظ هستی شناختی شأن شیء را دارا باشد، مانند ساختاری

که برای برخی فیلسوفان از جهت هستی‌شناسی مبنایی تر از شیء است، برای واقع‌گرا دانستن شخص ضروری است.

کارل پوپر (Karl Popper) واقع‌گرایی را به صورت زیر تعریف می‌کند:

«موضوع محوری در اینجا واقع‌گرایی است. یعنی اذعان به واقعیت جهان فیزیکی که ما در آن زندگی می‌کنیم، این واقعیت که این جهان مستقل از ما وجود دارد و بر اساس بهترین فرضیه‌های ما پیش از اینکه زندگی وجود داشته باشد موجود بوده و اینکه می‌دانیم جهان فیزیکی علیرغم گذشت مدت زمان بسیار از نابودی ما موجود خواهد بود» (Popper, 1982: 2).

ملاحظه می‌کنید که پوپر در عبارات فوق واقع‌گرایی را صرفاً بر اساس مولفه هستی‌شناختی آن تعریف نموده است. با این حال ما در این مقاله وقتی از لفظ واقع‌گرایی نوع اول بدون پسوند استفاده می‌کنیم، منظورمان اذعان به هر سه مولفه آن است.

تعریف دیگری از واقع‌گرایی علمی وجود دارد که متعلق به ون فراسن (van Fraassen) است و معتقد است که صدق نقش مهمی در مفهوم واقع‌گرایی علمی بازی می‌کند، همچنین هر ارائه‌ای از این آموزه فلسفی، باید روشن‌کننده معنای پذیرش (acceptance) نظریه علمی باشد (van Fraassen, 1980: 8).

بر این اساس، تعریف وی از واقع‌گرایی علمی، بیانگر آن است که هدف علم ارائه داستانی لفظاً صادق از جهان است (این بخش از تعریف نمایانگر نقش صدق است)، همچنین معنای پذیرش یک نظریه علمی باور به صدق آن نظریه است (قسمت اخیر معنای پذیرش را در واقع‌گرایی علمی روشن می‌سازد). تعریف واقع‌گرایی علمی که ون فراسن در کتاب تصویر علمی (Scientific Image) آورده به صورت زیر است: «هدف علم در نظریه‌های خود ارائه تصویری است لفظاً صادق از آنچه جهان مانند آن است، و پذیرش نظریه علمی، شامل این باور است که آن [داستان] صادق است.» (ibid.).

ملاحظه می‌کنید که با تعریف ون فراسن واقع‌گرایی صرفاً مربوط است به باور فردی که به یک نظریه علمی باور دارد؛ یعنی نظریه به خودی خود، نه واقع‌گرایانه است و نه ضد واقع‌گرایانه؛ به عبارت دیگر، با این تعریف، نظریه‌های واقع‌گرایانه و ضد واقع‌گرایانه نخواهیم داشت، بلکه صرفاً این افراد هستند که واقع‌گرا یا ضد واقع‌گرا هستند. در این صورت فردی می‌تواند به نظریه مکانیک کوانتومی و تعبیر استاندارد آن باور داشته باشد (که

صادق است) و بنابراین واقع گرا باشد. بنابراین، این تعریف هم در زمره تعاریف نوع اول واقع گرایی قرار می گیرد.

با توجه به تعریف نوع اول از واقع گرایی علمی دو نکته واجد اهمیت است:

نکته اول در مورد عبارات نظری است. با توجه به این تعریف، ملاحظه می گردد که در آن به وجود مرجع عرفی (putatively referring) برای عبارات نظری یا به اصطلاح (البته نادرست) عبارات مشاهده ناپذیر تصریح شده است. توضیح اینکه به طور کلی دو نوع از مفاهیم و یا عبارات وجود دارد: نخست عبارات غیرنظری و دوم عبارات نظری. عبارات غیرنظری عباراتی هستند راجع به اشیا یا که قابل مشاهده هستند. مانند درخت و لیوان و اسب. دسته دیگری از عبارات یا مفاهیم وجود دارند که در مورد اشیا یا هوایاتی هستند که قابل مشاهده نیستند؛ مانند الکترون و پروتن و نوترون. البته در اینکه آیا این تقسیم بندی، تقسیم بندی قاطع و کاملاً مشخص و قابل قبولی است یا نه اختلافات و نزاع های فراوانی میان فیلسوفان علم وجود داشته است، ولی به نظر می رسد که وجود مرز قاطع میان این دو دسته از مفاهیم چندان قابل دفاع نباشد. با این حال، می توان در حوزه هایی پذیرفت که اشیا یا مفاهیم پذیر و یا مشاهده ناپذیرند. مثلاً لیوان یک امر مشاهده پذیر است و الکترون مشاهده ناپذیر. البته ممکن است برخی مولکول ها وجود داشته باشند که در حالت مرزی قرار داشته باشند و نتوان آنها را دقیقاً به یکی از این دو دسته متعلق دانست، ولی این بدان معنی نیست که مشاهده پذیر بودن هیچ هویتی را نمی توان معین کرد.

پرسش اصلی در اینجا این است: چه چیزی باعث می شود تا ما به وجود مرجع واقعی برای عبارات یا مفاهیم نظری باور داشته باشیم، اگر نتوانیم علی الاصول آنها را مشاهده کنیم. این پرسش به این جهت مهم است که تجربه گرایان تنها به وجود هویات مشاهده پذیر تعهد معرفتی دارند و صرفاً گزاره های علمی ای را که در مورد آنها هستند صادق می دانند. وجود مرجع واقعی برای عبارات نظری از مواضع مهم مورد مناقشه واقع گرایان نوع اول و ضد واقع گرایان نوع اول است. ضد واقع گرایان نوع اول به وجود مرجع واقعی برای عبارات نظری قائل نیستند، بلکه بنا بر مشرب فلسفی خود، آنها را قابل تحویل به جملات مشاهده‌تی یا ابزار مناسبی جهت تلخیص داده ها یا ساخته و پرداخته جامعه علمی و یا واجد کفایت تجربی می دانند. اما واقع گرایان به وجود واقعی و مستقل از ذهن برای عبارات نظری قایلند (البته باید توجه داشت که قبول مرجع واقعی یا رد آن به جنبه

مابعدالطبیعی واقع‌گرایی علمی مربوط می‌شود). در این مورد هر سه نوع از واقع‌گرایی اشتراک دارند و به وجود مستقل از ذهن هویات فوق‌اذعان دارند.

نکته دوم موضوع صدق است. باید توجه داشت که مفهوم صدق هم جنبه معناشناختی دارد و هم جنبه معرفت‌شناختی. جنبه معناشناختی آن مربوط می‌شود به مؤلفه دوم از واقع‌گرایی علمی؛ یعنی اینکه گزاره‌های علمی دارای ارزش صدق و کذب هستند، بنا بر این گزاره‌هایی اخباری‌اند که یا صادق‌اند و یا کاذب و جنبه معرفت‌شناختی آن هم مربوط می‌شود به مؤلفه سوم واقع‌گرایی علمی؛ یعنی این مطلب که نظریه‌های علمی بالغ و موفق به طور تقریبی صادق هستند.

نکته مهم در مورد تعریف صدق این است که در تعریف نوع اول از واقع‌گرایی پاسخ به این پرسش که آیا گزاره‌ای معین صادق است یا نه با نظریه‌های علمی معین می‌شود. به عبارت دیگر، ما گزاره‌های علمی را صادق یا به طور تقریبی صادق می‌دانیم و این فرض، در واقع به این معنی است که صدق را نظریه‌های علمی معین می‌کنند. ولی در تعاریف دوم و سوم نظریه‌هایی که شروط تعاریف را برآورده نکنند واقع‌گرایانه نیستند؛ یعنی واقعیت مستقل از ذهن را نشان نمی‌دهند و بنابراین مطابق با واقعیت مستقل از ذهن هم نخواهند بود؛ یعنی، صادق نخواهند بود. این تمایز مهم تعریف نوع اول و تعاریف نوع دوم و سوم است.

## ۲.۲ نوع دوم از واقع‌گرایی علمی

این نوع از واقع‌گرایی را با مقاله EPR و موضع نویسندگان مقاله در مورد واقعیت، توضیح می‌دهیم. انیشتین (Einstein) به علت خصلت احتمالاتی مکانیک کوانتومی نظر مساعدی به این نظریه نداشت. از این رو در حاشیه پنجمین کنفرانس سولوی که در ۱۹۲۷ برگزار شد، با ارائه تعدادی آزمایشی ذهنی، در پی اثبات قابل‌نقض بودن روابط عدم قطعیت هایزنبرگ بود، البته وی موفق به این امر نشد، این مباحثات در کنگره ششم سولوی در ۱۹۳۰ هم ادامه یافت. این بار هم انیشتین کامیاب نشد و بور در دفاع از مکانیک کوانتومی و تعبیر استاندارد آن موفق بود، با وجود این، انیشتین باز هم قانع نشد، اما بعدها راهبرد خود را از یافتن تناقض در مکانیک کوانتومی به نشان دادن ناقص بودن آن تغییر داد و در این راستا در ۱۹۳۴ مقاله معروف EPR را همراه با دو تن دیگر؛ یعنی پودولسکی (Podolsky) و روزن (Rosen) نوشت (گلشنی، ۱۳۸۵، ص ۱۷۸ و ۱۷۹).



در این مقاله نویسندگان «گاهی از کامل بودن نظریه سخن می گویند و گاهی از کامل بودن توصیف حاصل از نظریه در مورد واقعیت فیزیکی، یاد می کنند. [در واقع می توان گفت: آنها اولی را به عنوان کوتاه نوشتی برای دومی بکار می برند.» (Hughes, 1989: 158) همچنین آنها معتقدند که هر معنایی که به عبارت «کامل» بدهیم باید دارای این شرط لازم باشد که «هر عنصری از واقعیت فیزیکی باید همتایی در نظریه فیزیکی داشته باشد» (EPR, 1934). فرض مقاله این است که نظریه فیزیکی باید باز نمایی واقعیت فیزیکی باشد و مفاهیم فیزیکی ای که نظریه با آنها کار می کند به گونه ای لحاظ می شوند که متناظر با واقعیت عینی هستند (Hughes, 1989, p. 158).

رابطه ای که آنها بین واقعیت فیزیکی و بازنمایی ریاضی نظریه ارائه می دهند، به صورت زیر است:

در مدلی که از ریاضیات نظریه بدست می آید، تنها برخی عناصر، خصوصیات واقعیت فیزیکی را نشان می دهند (ibid). به عبارت دیگر، برخی مفاهیم موجود در نظریه نمایاننده عنصری از واقعیت فیزیکی نیستند. اکنون پرسش اساسی این است: در چه صورتی مفهومی در نظریه بازنمایی عنصری از واقعیت فیزیکی است؟ پاسخ نویسندگان مقاله همان چیزی است که از آن با عنوان معیار واقعیت EPR یاد می شود: «اگر بدون هر گونه اخلال در سیستمی، بتوانیم با قطعیت، (یعنی با احتمال برابر با واحد) مقدار یک کمیت فیزیکی را پیش بینی کنیم در آن صورت عنصری از واقعیت فیزیکی متناظر با این کمیت فیزیکی وجود دارد» (EPR, 1934).

آنها در این مقاله از دو مقدمه استفاده می کنند. ابتدا اینکه اگر مکانیک کوانتومی کامل باشد در آن صورت کمیات ناسازگار<sup>۳</sup> نمی توانند دارای مقادیر واقعی همزمان باشند و دیگری اینکه اگر مکانیک کوانتومی کامل باشد در آن صورت کمیات ناسازگار علی الخصوص مکان و اندازه حرکت، دارای مقادیر واقعی همزمان هستند (Fine, 2013).

ملاحظه می شود که این دو مقدمه آشکارا ناسازگارند. بنابراین از این مقدمات نتیجه می شود که مکانیک کوانتومی ناکامل است. البته هر دوی این مقدمات باید توجیه شوند که نویسندگان مقاله این کار را انجام می دهند. ولی توجیه مقدمه دوم که اصل کاری است که در مقاله ERP صورت گرفته مناقشه انگیز شده و مدافعان مکتب کپنهاگی آن را نمی پذیرند (ibid).

باید توجه داشت که اگر ما موضع افرادی چون بور را که ضد موضع نویسندگان مقاله EPR است اتخاذ کنیم، به نظر می‌رسد با مقدمه اول مشکل چندانی نداشته باشیم. چون حتی اگر معیاری را که به عنوان شرط لازم برای کامل بودن در مقاله آمده بپذیریم، به سادگی می‌توانیم فرض کنیم هر مفهومی که در نظریه وجود ندارد، عنصری از واقعیت نیست و از طرف دیگر صورت بندی مکانیک کوانتومی نشان می‌دهد که مشاهده پذیرهای ناسازگار دارای مقادیر همزمان نیستند. نکته اینجا است که دو گزاره زیر از تعریف دوم واقع‌گرایی حاصل می‌شود و نویسندگان مقاله معتقد هستند که می‌توان مقدم گزاره (ب) را محقق کرد.

(الف) اگر مکانیک کوانتومی کامل باشد، آنگاه مشاهده پذیرهای ناسازگار که نمی‌توانند به طور همزمان خوش تعریف باشند، به طور هم‌زمان وجود ندارند.

(ب) اگر بتوانیم مقدار مشاهده پذیرهای ناسازگار را با احتمال ۱ و بدون هر گونه اختلالی، به طور همزمان، پیش بینی کنیم، آنگاه واقعیت همزمان دارند ولی مکانیک کوانتومی نمی‌تواند به طور همزمان وجود آنها را بپذیرد، پس نظریه ای که نمی‌تواند به عنصری از واقعیت را در خود جای دهد کامل نیست.

می‌توان گزاره‌های (الف) و (ب) بر اساس تعریف دو از واقع‌گرایی بدست آورد. برای روشن شدن استدلال تعریف دوم از واقع‌گرایی را به صورت مقدمات یک استدلال می‌نویسیم.

مقدمه (۱) اگر بدون هر گونه اختلالی در یک سیستم، بتوانیم با قطعیت (احتمال برابر ۱) مقدار کمیت فیزیکی  $f_A$  را پیش بینی کنیم، آنگاه عنصری چون A از واقعیت متناظر این کمیت وجود دارد.

مقدمه (۲) اگر A عنصری از واقعیت فیزیکی باشد که مستقل از ذهن است، آنگاه باید همتایی چون  $f_A$  در نظریه فیزیکی داشته باشد.

مقدمه (۳) در نظریه واقع‌گرایانه گزاره‌های نظریه قابل صدق و کذب هستند.<sup>۱</sup>  
مقدمه (۱) را معمولاً «معیار واقعیت EPR» می‌نامند (Fine, 2013) که اگر برقرار باشد می‌توانیم مطمئن شویم که عنصری از واقعیت دارای متناظری در نظریه است. مقدمه (۲) شرط کامل بودن نظریه را می‌دهد. در واقع، به راحتی می‌توان ملاحظه نمود که مقدمات (۱) و (۲) گزاره‌های (الف) و (ب) را نتیجه می‌دهند.

در تعریف دوم از واقع‌گرایی علمی دو نکته زیر حائز اهمیت است:

۱) کامل بودن ارتباط نزدیکی با صدق دارد. در واقع، می توان گفت نظریه کامل، نظریه ای است که صادق باشد به این معنی که در نظریه ای که کامل است جهان ممکن که نظریه توصیف می کند با جهان واقعی و بالفعل مطابقت دارد و هر عنصر از جهان واقعی همتایی در نظریه دارد.

۲) نکته بعدی در مورد وجود عبارات نظری است. عبارات نظری عضو مجموعه ای از عبارات در نظریه فیزیکی است که از آن با عنوان «همتای عنصر واقعیت در نظریه» یاد می شود. عنصری از واقعیت که متناظر عبارات نظری است همان مرجع عبارات نظری خواهد بود.

### ۳.۲ واقع گرایی نوع سوم

این واقع گرایی بر اساس مفهوم متغیرهای نهان بیان شده است. در بیان این تعریف، مفهومی از واقع گرایی علمی در نظر گرفته شده است که مراد فیلسوفان و دانشمندان از آموزه واقع گرایی علمی است که در بیان دو قضیه مهم عدم امکان متغیرهای نهان (no go theorems) در مکانیک کوانتومی آمده است.<sup>۵</sup>

خصلت احتمالاتی پیش بینی های مکانیک کوانتومی، بر خلاف موجبیتی بودن مکانیک کلاسیک و برخی مشکلات مفهومی، برخی از دانشمندان را بر آن داشت وجود متغیرهایی را در نظر بگیرند که با فرض آنها بتوان پیش بینی های دقیق انجام داد. اگر چنین امری ممکن باشد، احتمالات در مکانیک کوانتومی همچون احتمالات در مکانیک آماری (statistical mechanics) کلاسیک ناشی از جهل (ignorance) خواهد بود و احتمالات عینی منتفی خواهد شد.

از جمله دانشمندانی که راهبرد فوق را دنبال می کردند آلبرت انیشتین بود. «انیشتین اظهار می داشت مکانیک کوانتومی تقریباً وضعیتی مشابه با مکانیک آماری در چارچوب مکانیک کلاسیک، خواهد یافت» (Sheldon, 2006).

متغیرهای یاد شده را متغیرهای نهان (hidden variable) می نامند. به طور کلی دو رده از نظریه های متغیر نهان وجود دارد: نظریه های متغیر نهان غیر زمینه ای (non-contextual) و نظریه های متغیر نهان زمینه ای (contextual). در نظریه های غیر زمینه ای، حالت کامل یک سیستم، مقدار یک مشاهده پذیر یا کمیت فیزیکی را، که متناظر است با مقدار ویژه عملگری هرمیتی در فضای هیلبرت، که با روشی مقبول برای اندازه گیری آن حاصل می

شود، معین می‌کند بدون توجه به اینکه چه مشاهده پذیرها بی به طور هم زمان اندازه گیری می‌شوند یا اینکه حالت کلی سیستم و ابزار اندازه گیری چه چیزی می‌تواند باشد (Shimony, 2009). در نظریه های زمینه ای مقدار بدست آمده برای یک کمیت فیزیکی به اینکه چه کمیتی با هم اندازه گیری می‌شوند و اینکه حالت کامل ابزار اندازه گیری چیست بستگی دارد. مثال نوع نخست نظریه ها، نظریه های متغیر نهان کوچن-اشپکر است و مثال دوم نظریه بوهمی است (ibid).

اما قضایایی در مکانیک کوانتومی به اثبات رسیده که نشان می‌داد اگر مکانیک کوانتومی صادق باشد به نظر می‌سد که ارائه نظریه متغیرهای نهان امکان پذیر نباشد. اولین گونه از قضایای عدم امکان را فون نویمان در ۱۹۳۲ در کتاب خود که اساس ریاضی مکانیک کوانتومی را بنا نهاد، یعنی «مبانی ریاضیاتی مکانیک کوانتومی» ارائه کرد وی ادعا کرد که به طور ریاضیاتی اثبات کرده که نمی‌توان پارامترهای نهانی تعریف کرد که ملاحظات آماری آنسامبل همگن (homogeneous ensemble) صرفاً متوسطی از تمام حالات واقعی ای باشد که این آنسامبل از آنها ترکیب یافته باشند (Von Neumann, 1932: 324). اما جان بل (Bell) نشان داد که «اثبات صوری فون نویمان نتیجه غیر صوری او را توجیه نمی‌کند» (Bell, 1966).

اما قضیه کوچن-اشپکر با مفروضات دیگری آغاز می‌کند. این قضیه، تناقضی میان دو گزاره، که ظاهراً برای واقع‌گرایان و معتقدان به نظریه متغیرهای نهان قابل قبولند، و مکانیک کوانتومی برقرار می‌کند. بنابراین به لحاظ منطقی یکی از این دو باید انکار شود تا تناقض از میان برود. اولین گزاره به صورت زیر است:

«(VD)<sup>۶</sup> تمام مشاهده پذیرهایی که برای سیستمی از مکانیک کوانتومی تعریف شده اند، دارای مقادیر معین در تمام زمان‌ها هستند.» (Held, 2006)

این گزاره ای است که به نظر می‌رسد قائلان به وجود متغیرهای نهان باید آن را بپذیرند. گزاره دومی که در قضیه کوچن-اشپکر از آن استفاده شده به این قرار است:

«(NC)<sup>۷</sup> اگر سیستم مکانیک کوانتومی دارای خاصیتی (مقدار یک مشاهده پذیر) باشد، آنگاه آن سیستم این خاصیت را مستقل از هر زمینه ای از اندازه گیری واجد است. یعنی مستقل از اینکه چطور آن مقدار نهایتاً اندازه گیری می‌شود.» (ibid)

این گزاره نیز در بادی نظر، چنین می‌نماید که دارای محتوای واقع‌گرایانه قابل قبولی در مورد اندازه گیری فیزیکی باشد، که از خواص اساسی علم است. به این آموزه، آموزه

استقلال زمینه ای می گویند. ملاحظه می شود که در تعریف سوم ارائه شده عیناً از این دو گزاره استفاده کرده ایم.

قضیه کوچن-اشپکر تناقضی میان مکانیک کوانتومی و  $VD+NC$  برقرار می کند. پس قبول مکانیک کوانتومی ما را به انکار یکی از دو گزاره؛ یعنی  $NC$  یا  $VD$  وادار می سازد. به نظر می رسد که ارائه تعبیر واقع گرایانه از مکانیک کوانتومی مبتنی بر دوگزاره فوق، با توجه به این قضیه با چالش جدی مواجه است. بنابراین برای حل تناقض و حفظ واقع گرایی باید تعریف سوم را به نحوی تغییر داد و قرائتی جدید از آموزه واقع گرایی ارائه کرد؛ مثلاً  $VD$  را برای واقع گرایی شرط لازم ندانیم.

قضیه معروف بعدی عدم امکان، قضیه بل است که «نامی است بر مجموعه ای از نتایج که همگی نشان دهنده عدم امکان ارائه تعبیری واقع گرایانه و موضعی برای مکانیک کوانتومی هستند» (Shimony, 2009). در این قضیه با فرض مکانیک کوانتومی، وجود متغیرهای نهان، موضعیت و واقع گرایی به نامساوی هایی می رسیم که در تجربه این نامساوی ها نقض شده اند، بنابراین تجربه ارائه بیانی از مکانیک کوانتومی را که متعهد به این سه فرض باشد، رد می کند. در مقاله ۱۹۶۴ بل، واقع گرایی، با اضافه کردن حالتی کامل (Complete State) به حالت کوانتومی بیان می شود (Bell, 1964). این حالت نتایج اندازه گیری را در سیستم معین می کند (Shimony, 2009) و موضعیت (locality) شرطی است که روی سیستم های مرکب گذاشته می شود که دارای اجزائی هستند که به طور فضایی از هم جدا هستند. (ibid)

در ارائه این تعریف هر دوی این قضایا مد نظر بوده اند و به این دلیل دو قسم از این تعریف را ارائه کردیم که یکی ملهم از قضیه کوچن-اشپکر است و دیگری ملهم از قضیه بل است. اما به دلیل اینکه وجه ممیزه مهم این تعریف شرط دوم آن است که در هر دو قسم این تعریف وجود دارد این اقسام ذیل تعریف سوم قرار گرفته اند.

### ۳. مقایسه میان تعاریف واقع گرایی

با ملاحظه موارد فوق ملاحظه می شود که کامل بودن را می توان معادل صادق بودن دانست و تقریباً صادق را هم با تقریباً کامل بودن مرادف گرفت که ربط مولفه معرفت شناختی تعریف اول را با مفهوم کامل بودن نشان می دهد. همچنین شروط دوم و سوم (که خود دو قسم داشت) از تعریف سوم به نوعی نمایاننده مفهوم صدق است.

در عین حال، مقدمه دوم تعریف دوم (در تعریفی از آن که به صورت مقدمات استدلال بیان شد، بخش (۱-۲))، به نوعی مبین مولفه متافیزیکی تعریف اول است و باز شرط دوم از تعریف سوم را می‌توان مرتبط با این دو دانست.

مقدمه سوم تعریف دوم و شرط اول از تعریف سوم هم آشکارا متناظر مولفه معناشناختی تعریف اول است.

اما با این حال این سه تعریف موارد افتراق مهمی دارند. از جمله موارد زیر:

۱- همان‌طور که گفته شد صدق در تعریف اول از واقع‌گرایی با نظریه‌های علمی معین می‌شود ولی در تعاریف دوم و سوم برای واقع‌گرا بودن شرایطی وجود دارد که یک نظریه باید برآورده کند؛ به عبارت دیگر، شرایطی وجود دارد تا بتوان نظریه‌های را صادق یا تقریباً صادق دانست.

۲- بنا بر تعریف اول نظریه به خودی خود، واقع‌گرایانه یا ضد واقع‌گرایانه نیست بلکه این موضع فلسفی در مورد نظریه است که واقع‌گرایانه یا ضد واقع‌گرایانه است. اما بنا بر تعریف دوم و سوم نظریه می‌تواند واقع‌گرایانه باشد یا ضد واقع‌گرایانه و همان‌طور که در ادامه خواهیم دید مکانیک نیوتنی نظریه‌ای واقع‌گرایانه است در صورتی که مکانیک کوانتومی نظریه‌ای ضد واقع‌گرایانه است.

۳- بر اساس تعریف اول به لحاظ واقع‌گرایانه بودن یا نبودن هیچ تفاوتی میان تعبیر<sup>۱</sup> مختلف نظریه وجود ندارد (به استثنای تعبیری که در آن شعور آدمی را در واقعیت بخشی به هیوات عالم دخیل می‌دانند که چندان تعبیر موجهی نیستند)، ولی در نگاه دوم و سوم تعبیر مختلف می‌توانند واقع‌گرایانه و ضد واقع‌گرایانه شوند.

۴- در دیدگاه اول و دوم لزومی ندارد که کمیات فیزیکی همواره و در تمام زمانها دارای مقدار باشند در حالیکه این امر در نگاه سوم لازمه واقع‌گرایانه بودن خود نظریه است.

برای روشن شدن تمایز سه تعریف، که بر چستی نظریه علمی و تعبیر آن متکی است، باید کمی این مفاهیم را توضیح دهیم.

#### ۴. صورت بندی و تعبیر

پرسش اساسی این بخش این است که صورت بندی و تعبیر چیست؟ پاسخ به این پرسش نیازمند آن است که ابتدا روشن کنیم که نظریه علمی چیست؟ در فلسفه علم معاصر، سه دیدگاه در این مورد وجود دارد، ۱- دیدگاه نحوی، ۲- دیدگاه معنا شناختی و ۳- دیدگاه عملگرایانه (Grønfeldt Winther, 2015) که رویکرد سوم اخیرا در ادبیات فلسفی ظهور پیدا کرده است.

در رویکرد نحوی که به لحاظ تاریخی مقدم بر رویکرد معناشناختی است و اکنون جریان مغلوب است (و به آن دیدگاه متداول نیز می گویند نامی که پاتنم (Putnam) به آن داد) نظریه ای چون T، مجموعه ای از گزاره ها (قضایا) در یک زبان ویژه است. مجموعه عبارات این زبان به دو بخش؛ یعنی دو زیر مجموعه از عبارات تقسیم می گردد:

۱- مجموعه عبارات مشاهده‌تی و ۲- مجموعه عبارات نظری. اهمیت تجربی هر نظریه (empirical import) در نتایج مشاهده‌تی آن است و مجموعه مشاهده‌تی نظریه، واجد معنای تجربی یا شناختی (cognitive) نظریه است.

در این رهیافت، مجموعه گزاره های نظریه از مجموعه اصول موضوع استخراج می گردد. به بیان دقیق تر، نظریه T مجموعه ای از گزاره ها در یک زبان، چون L است که تحت استلزام منطقی بسته باشد (Enderton, 2001: 155) و زیر مجموعه ای از نظریه T که بتوان از آن، با استلزام منطقی، کل نظریه را (تمام گزاره های آن را) استخراج کرد، اصول موضوع (axioms) آن نظریه است. عبارات نظری با «قواعد تناظر» (correspondence rules) تعبیر مشاهده‌تی جزئی (partial) می یابند که به این ترتیب واژگان (vocabulary) نظری به واژگان مشاهده‌تی مربوط می شود. (معصومی، ۱۳۹۴).

رویکرد نحوی اشکالات مهمی داشت از جمله اینکه بازسازی نظریه بر اساس آن بسیار غیر عملی بود و تمایز مشاهده‌تی و غیر مشاهده‌تی چندان خوش تعریف نیست، توضیحی که این دیدگاه در مورد مدلهای و نقش آنها در علم می دهد رضایت بخش نیست و... از این رو دیدگاه دوم در مورد نظریه های علمی مطرح گردید؛ یعنی دیدگاه معناشناختی که اکنون رویکرد غالب است. در این دیدگاه، سوپیز (Suppes) با الهام از تعریفی که تارسکی در ۱۹۳۵ از مفهوم مدل ارائه کرد، دیدگاهی نوین در فلسفه علم را پایه گذاری کرد. البته به همراه افرادی دیگری همچون بث (Beth) و ساپی (Suppe). سوپیز متذکر می گردد که می توان همان مفهومی را که تارسکی برای مدل عنوان کرد، برای مدل ها در علم نیز بکار برد (همان).

با بیان نقل قول‌های متعددی از علوم که به منظور نشان دادن اهمیت مدل‌ها و فراوانی استفاده آنها در علم است، تا تأییدی باشد بر رویکرد مأخوذ خود. در رویکردی که وی پایه ریزی کرد، نظریه‌های علمی با رده‌ای از مدل‌ها برابرند، این قرائت ون فراسن است (van Fraassen, 1991: 7) و یا بارده‌ای از مدل‌ها ارائه می‌گردند که قرائت متعلق به داکوستا (da Costa) و فرنچ (French) است. در تعریف رویکرد نظریه‌مدلی (model – theoretic) نظریه‌ها داکوستا و فرنچ عنوان می‌کنند که: نظریه‌ها «به صورت توصیفی از مجموعه‌ای از مدل‌ها به معنی ساختارهای رابطه‌ای ارائه می‌گردند که در آن تمام گزاره‌ها در یک صورت بندی زبانی ویژه از نظریه، خواص صادقی در مورد این ساختار بیان می‌کنند، وقتی که ساختار به عنوان تعبیری یا «تحقق‌ممکنی» (possible realization) از نظریه عمل می‌کند (Suppes, 1957). در این صورت ما اعلام می‌کنیم که اصل موضوع سازی یک نظریه به کار بردن این روش‌های نظریه‌مدلی است» (da Costa, French, 2003, p.25). در این مقاله تحلیل ما بر اساس دو دیدگاه اول خواهد بود.<sup>۹</sup>

صورت بندی ریاضی و تعبیر این ساختار را می‌توان اجزای اساسی نظریه فیزیکی در رویکرد نحوی دانست. اینکه تعبیر چیست و علی‌الخصوص معنای تعبیر مکانیک کوانتومی را چگونه می‌توان معین نمود امری مناقشه‌انگیز است (Jammer, 1974: 9). باید توجه داشت که نمی‌توان بدون هیچ‌گونه اشاره‌ای در مورد جهان فیزیکی، ساختار ریاضی نظریه را معرفی نمود. بنابراین به نظر می‌رسد ما ناچار به استفاده از یک تعبیر حداقلی در معرفی نظریه هستیم (Isham, 2001: 79-80). با این حال، در دیدگاه نحوی، تمام تعبیر مختلف از نظریه که صورت بندی یکسانی دارند دارای کفایت تجربی یکسان هستند در غیر این صورت ما با دو نظریه مواجهیم. در این نگاه، وظیفه تعبیر بر عهده «قواعد تناظر» است. این قواعد یک وظیفه دیگر هم دارند و آن تحویل (reduction) است مانند کاری که این قواعد در ارتباط دادن میان دمایی که بر اساس دماسنج قرائت می‌شود با متوسط انرژی جنبشی ذرات در مکانیک آماری انجام می‌دهند (Grønfeldt Winther, 2015).

اما در دیدگاه معناشناختی، تعبیر خود مدلی از نظریه است و در واقع تعبیر مختلف، مدل‌های مختلف نظریه‌اند. ون فراسن، که یکی از مدافعان دیدگاه معناشناختی است، تعبیر را بسیار مشابه معرفی متغیرهای نهان می‌داند؛ به عبارت دیگر، تنها تفاوت این دو، در نظر وی، این است که متغیرهای نهان ممکن است به یک رشته نتایج تجربی غیر از نتایج تجربی حاصل از نظریه بیانجامد که در این صورت دیگر نمی‌توان آن را تعبیر نظریه دانست<sup>۱۰</sup> (Van Fraassen, 1991: 243).



در واقع، ون فراسن تعبیر را برابر آنچیزی می داند که نظریه در مورد جهان می گوید؛ یعنی جهان ممکن را که نظریه تمام اجزای آن را توصیف می کند (چه مشاهده پذیر چه مشاهده ناپذیر) می توان تعبیر نظریه نامید؛ یعنی مدلی که جهان را به طور کامل بازنمایی می کند.

پرسش اصلی در اینجا این است: سه تعریف فوق از واقع گرایی علمی، چه نسبتی با دو دیدگاه نحوی و معناشناختی دارند؟ آیا نمی توان در دیدگاه نحوی به نوع اول از واقع گرایی علمی قائل شد، پاسخ این است که به نظر می رسد، در بیشتر موارد مشکلی وجود نداشته باشد مگر در مواردی همچون تعبیری که فون نویمان برای مشکل اندازه گیری<sup>۱۱</sup> در مکانیک کوانتومی عنوان می کرد و در آن شعور را دخیل می کرد. البته این تعبیر چندان دقیق نیست و اگر بخواهیم بیان دقیقی از تعبیر فون نویمان بدهیم باید از قاعده تعبیر فون نویمان استفاده کنیم (در ادامه بیان شده است). در این صورت به نظر نمی رسد که تلقی مبتنی بر دیدگاه نحوی از مکانیک کوانتومی با تعریف نوع اول واقع گرایی علمی تعارض داشته باشد؛ یعنی می توان یک نظریه را از منظر نحوی به صورت واقع گرایانه یا ضد واقع گرایانه تلقی کرد.

به همین نحو دیدگاه معناشناختی با تعریف اول از واقع گرایی علمی کاملاً سازگار است. بر اساس دیدگاه معناشناختی هم می توان نظریه را واقع گرایانه یا ضد واقع گرایانه دانست.

اما در مورد واقع گرایی های نوع دوم و سوم وضع کاملاً متفاوت است. در این دو تعریف، چه موضع نحوی در مورد نظریه های علمی اتخاذ شود چه موضع معناشناختی، صرفاً آن تعبیری از نظریه قابل قبول می شوند که شروط این تعبیر را برآورده کنند. به این ترتیب ما تعبیر واقع گرایانه و تعبیر ضد واقع گرایانه از علم خواهیم داشت. این مطلب وقتی روشن تر می شود که توجه کنیم در واقع، تعریف دوم برگرفته از نوعی تعبیر است که به آن واقع گرایی اینشتین می گویند (ibid: 241).

باید توجه داشت که تفاوتی بین رویکرد نحوی و رویکرد معناشناختی در اینجا وجود دارد و آن این است که اگر در در رویکرد معناشناختی، مدلی از مدل های نظریه شروط این دو تعریف را برآورده نسازد، نظریه ما با واقع گرایی علمی دچار مشکل خواهد شد، چون نظریه یا رده ای از مدلها است یا با آن نشان داده می شود که در هر صورت وجود مدلی که شروط واقع گرایانه را برآورده نمی سازد ما را دچار مشکل می سازد. اما در رویکرد نحوی،

اگر قواعد تناظر با شروط دو تریف واقع‌گرایی تعارضی نداشته باشند، امکان اینکه تعبیری واقع‌گرایانه از نظریه داشته باشیم وجود دارد در عین حال امکان وجود تعابیر ضد واقع‌گرایانه هم هست؛ یعنی این دو تعبیر به طور هم‌زمان می‌تواند برای یک نظریه علمی برقرار باشد.

نکته مهمی که در اینجا وجود دارد و به پرسش اصلی مقاله مربوط است این است که چرا به نظر می‌رسد که مکانیک کوانتومی و واقع‌گرایی دچار تعارض هستند و به عنوان مثال، چرا این مسأله در مورد مکانیک نیوتنی چندان مطرح نمی‌شود. بررسی نسبت فیزیک کلاسیک (به ویژه مکانیک نیوتنی) و مکانیک کوانتومی با سه نوع واقع‌گرایی علمی روشن خواهد کرد که اصولاً چرا در مورد واقع‌گرایی علمی، معمولاً، در مورد مکانیک کوانتومی نگرانی وجود دارد. برای اینکار ابتدا باید قدری در مورد فیزیک کلاسیک و مکانیک کوانتومی توضیحاتی ارائه دهیم.

## ۵. فیزیک کلاسیک

در تعبیر غالب فیزیک کلاسیک (مکانیک نیوتنی و الکترومغناطیس ماکسول)، شیء مادی دارای خواصی است که متعلق به خود است و مستقل از ناظر یا ابزار اندازه‌گیری است. در واقع چون در فیزیک کلاسیک زمان و مکان مطلق در نظر گرفته می‌شوند، هر شیء مادی دارای مکان، زمان، و سرعت مطلق است که این خواص نسبت به چارچوب مرجع جهانی (که چارچوبی مرجح است)، اندازه‌گیری می‌شوند. این چارچوب را در قرن نوزدهم چارچوب مرجع اتر (ether) می‌نامیدند.

مفهوم کمیت و خاصیت فیزیکی سیستم، با مفهوم فضایی چون  $S$  از حالات سیستم ارائه می‌شود که در هر زمان مفروض عضوی از  $S$  به این سیستم اسناد داده می‌شود. (Isham, 2001: 69) درک این مفهوم موجب اتخاذ موضع فلسفی مناسب در مورد نظریه‌های فیزیکی می‌گردد. باید توجه داشت که مفهوم حالت هم در فیزیک کلاسیک و هم در مکانیک کوانتومی بسیار مهم است. در فیزیک کلاسیک فرض بر این است که شرایط زیر برآورده می‌شود:

« $S_1$  - تعیین حالت در هر زمان، برای مشخص کردن مقادیر تمام کمیات فیزیکی متعلق به آن سیستم در آن زمان کفایت می‌کند.

$s_2$  - حالت در هر زمان ،  $t_2$  به طور یکتا، با هر حالت در زمان پیشین معین می شود. اصل علیت این است که چگونه موجبیت اکید راه خود را در فیزیک باز می کند» (ibid: 69-70).

در اینجا شرط سوم هم وجود دارد که آیشام به آن اشاره نکرده و آن این است که  $s_3$  - کمیات فیزیکی، در تمام زمانها، دارای مقدار معین هستند.

این شرط اخیر همان شرطی است که در واقع گرای نوع سوم جزو شروط واقع گرایی نظریه های علمی بود، به این ترتیب، فیزیک کلاسیک کاملاً با این نوع از واقع گرایی، همانند دو نوع دیگر از واقع گرایی، سازگار است.

اما علاوه بر شروط فوق حالت نقش دیگری هم دارد. در واقع، «برای انواع بسیاری از سیستم ها (به عنوان مثال، ذرات نقطه ای نیوتنی، میدان الکترو مغناطیسی کلاسیک) حالت  $s$  در زمانی چون  $t_1$  نه تنها حالت را در زمان بعدی  $t_2 > t_1$  معلوم می سازد بلکه حالت را در هر زمان پیشین چون  $t_0 < t_1$  هم معین می کند؛ یعنی، این حالت که به  $s$  در بازه زمانی  $t_0 - t_1$  تحول می یابد» (ibid: 70).

شرط اول فوق به علاوه شرط سوم این امر را محقق می کند که هر کمیت فیزیکی مقداری دارد که با حالت معین می شود (به این ترتیب، شرط واقع گرایی نوع سوم را برآورده می کند). «استلزام ریاضیاتی شرط اول این است که به ازای هر کمیت فیزیکی چون  $A$  در یک سیستم (به عنوان مثال سرعت این ذرات، مکان یکی از آنها، انرژی کل) تابعی چون  $\square : S \rightarrow f_A$  متناظر است به طوریکه مقداری است که  $A$  دارد اگر حالت  $s$  باشد.

شرط دوم مستلزم وجود خانواده ای دو پارامتری از نگاشت های دینامیکی چون  $S \rightarrow S : T_{t_2 t_1}$  است به طوریکه اگر حالت سیستم در زمان  $t_1$  ،  $s \in S$  باشد، آنگاه حالت در زمانی (بعدی) چون  $t_2$  ،  $T_{t_2 t_1}(s)$  خواهد بود. نگاشت  $T_{t_2 t_1}$  آشکارا شرایط زیر را برآورده می کند:

$$T_{t_2 t_1} = id \quad t \in \square \quad \text{به ازای هر } t \text{ که} \quad -1$$

$$(ibid: 70) \quad T_{t_3 t_2} T_{t_2 t_1} = T_{t_3 t_1} \quad \text{اگر } t_1 \leq t_2 \leq t_3 \text{ آنگاه} \quad -2$$

در اینجا سوال مهمی مطرح می شود که در مکانیک نیوتنی و در مکانیک کوانتومی پاسخ های متفاوتی به آن داده می شود:

«اگر در زمان  $t = t_1$  کمیت فیزیکی  $A$  دارای مقدار  $a$  باشد، مقدار آن در زمان بعدی  $t = t_2$  چه خواهد بود؟ این پرسش را تنها هنگامی می‌توان پاسخ داد که حالتی که در آن  $A$  دارای مقدار  $a$  است یکتا باشد؛ یعنی،  $f_A^{-1}(\{a\}) = \{s\}$ . در این حالت مقدار  $A$  در زمان  $t_2$  دقیقاً  $f_A(T_{t_2 t_1}(s))$  است. در حالت کلی زیر مجموعه  $f_A^{-1}(\{a\})$  از  $S$  بیش از یک عنصر دارد در این حالت چیزی بیش از این نمی‌توان گفت» (ibid: 70-71). حالت اول حالتی است که در فیزیک کلاسیک با آن مواجه هستیم و حالت بعدی آن چیزی است که در مکانیک کوانتومی رخ می‌دهد.

همچنین باید تاکید کنیم که در فیزیک کلاسیک فرض بر این است که عمل اندازه‌گیری تداخلی در کمیت اندازه‌گیری شده ایجاد نمی‌کند. (و یا علی‌الاصول تداخلی ایجاد نمی‌کند و تداخلات ایجاد شده ناشی از فرآیند اندازه‌گیری، قابل تقلیل است و میزان آنها را می‌توان محاسبه نمود). و این یعنی، اندازه‌گیری تنها آن چیزی را که در واقعیت است (با تقریب بسیار خوبی) به ما می‌نمایاند.

به علاوه، در فیزیک کلاسیک اشیای بزرگ از اشیای مادی خرد تشکیل شده‌اند که رفتار آنها را می‌توان کاملاً بر اساس رفتار اشیای مادی خرد معین کرد؛ به عبارت دیگر، دیدگاه اتمیستی و تحویل‌گرایانه بر آن حاکم است. یعنی کل بر اساس اجزا، به طور کامل معین می‌گردد.<sup>۱۲</sup>

مطالب فوق را می‌توان این گونه خلاصه کرد: «پیوستگی و علیت و امکان بیان تغییر به وسیله حرکت در زمان و فضا» (جینز، ۱۳۸۱، ص ۱۵۰) عناصر اصلی فلسفه ماده‌گرایانه و موجییتی بود که سازنده مبانی تعبیر رایج از فیزیک کلاسیک است. ملاحظه خواهیم کرد که تمام این مفروضات در مکانیک کوانتومی با چالش مواجه خواهد شد. بنابراین روشن است که فیزیک کلاسیک با تلقی عموم ما از دنیای اطراف در تلائم و سازگاری است.

اکنون ببینیم که نسبت پرسش اصلی مقاله با فیزیک کلاسیک چیست؟ در مورد نوع اول از واقع‌گرایی علمی، به سادگی ملاحظه می‌شود که می‌توان در مورد فیزیک کلاسیک موضعی واقع‌گرایانه گرفت یا اینکه موضعی ضد واقع‌گرایانه گرفت؛ به این معنی که اگر هویات فیزیک کلاسیک را مستقل از ذهن بدانیم، فیزیک کلاسیک را تقریباً صادق بدانیم و گزاره‌های فیزیک کلاسیک را صادق و کذب‌پذیر تلقی کنیم، نسبت به فیزیک کلاسیک واقع‌گرای علمی، از نوع اول، هستیم اما اگر هر یک از این مولفه‌ها را نپذیریم، به نوعی ضد واقع‌گرایی، از نوع اول، پابندیم.

اما در مورد نوع دوم و سوم واقع گرایی، ملاحظه می شود که شروط  $S_1$  و  $S_2$  به همراه توضیحاتی که در آغاز این بخش داده شد، تمام شرایط این تعاریف را برآورده می سازد؛ یعنی مقادیر کمیت های فیزیکی، که مستقل از ذهن هستند، با معین بودن حالت سیستم مشخص هستند و مقادیر یکتایی دارند و مقادیر این کمیات در زمانهای بعدی هم به طور یکتا مشخص است. بنابراین بر اساس این تعریف فیزیک کلاسیک نظریه ای (یا به تعبیر دقیق تر واجد نظریه هایی) است که واقع گرایانه است. البته فرض اساسی هم این است که هر عنصر واقعیت همتایی در نظریه دارد؛ زیرا با توجه به اینکه اصولاً پیش بینی ها در فیزیک کلاسیک موجبتی است؛ یعنی با احتمال یک است، موردی پیدا نمی شود که به توان مشاهده پذیر هایی را با قطعیت پیش بینی کرد ولی نظریه نتواند امکان وجود آنها را به طور هم زمان منتفی بداند؛ حالتی که بنا به ادعای نویسندگان مقاله EPR در مورد مکانیک کوانتومی پیش می آید.

## ۶. مکانیک کوانتومی

### ۶-۱. مقدمه

در صورت بندی مکانیک کوانتومی دو مقصود مهم همواره مد نظر است: «۱- تعیین مجموعه مقادیر ممکن کمیت فیزیکی (مشاهده پذیر) که مقادیر آن حقیقی است، ۲- بدست آوردن احتمال نتایج اندازه گیری کمیت فیزیکی.» (Redhead, 1984: 4)

در راستای تحقق اهداف فوق دو مفهوم اساسی مورد نیاز است: ۱- مفهوم حالت (state) و دیگری مفهوم مشاهده پذیر (observable) است. حالت یک سیستم در واقع معین کننده احتمالات حاصل از اندازه گیری است و می توان آن را بسته ای از توابع احتمال دانست. حالت در مکانیک کوانتومی با بردار های یک فضای هیلبرت (hilbert space)، نشان داده می شود و مشاهده پذیرها با عملگرهای هرمیتی (hermitian operators) مشخص می شوند که روی فضای هیلبرتی تعریف شده اند که اعضای آن نمایاننده بردارهای حالت سیستم هستند. پس متناظر با هر سیستم کوانتومی فضای هیلبرتی تعریف می شود که مشاهده پذیرهای سیستم، عملگرهای این فضای هیلبرت است و بردارهای فضای هیلبرت، حالات سیستم را معین می کند.<sup>۱۳</sup>

## ۶-۲. مکانیک کوانتومی و واقع‌گرایی

در اینجا به بررسی نسبت مکانیک کوانتومی و پرسش اصلی این مقاله می‌پردازیم؛ یعنی اینکه چه نسبتی بین تعاریفی که از واقعیت دادیم و مکانیک کوانتومی برقرار است؟ به نظر می‌رسد چالش اساسی مکانیک کوانتومی با تعریف دوم و علی‌الخصوص تعریف سوم از واقع‌گرایی علمی باشد؛ از این رو، ما مواردی را در مکانیک کوانتومی، که به نظر می‌رسد واقع‌گرایی علمی با تعریف دوم و سوم با آنها ناسازگار است، عنوان می‌کنیم و در هر مورد نسبت آن را با سه تعریفی که از واقع‌گرایی علمی دادیم عنوان می‌کنیم.

این موارد شامل ۱- وجود مشاهده پذیرهای ناسازگار، ۲- مسأله اندازه‌گیری و ۳- قضایای عدم امکان (یعنی قضایای Bell و کوچن اشپکر) است. مورد سوم در تعریف واقع‌گرایی نوع سوم بررسی شد. بنابراین موارد (۱) و (۲) را در اینجا بررسی می‌کنیم.

## ۶-۲-۱. وجود مشاهده پذیرهای ناسازگار

با استفاده از قوانین حاکم بر عملگرها در فضای هیلبرت می‌توان نشان داد، هر گاه  $\Omega, \Lambda$  دو عملگر هرمیتی بوده و دارای خاصیت زیر باشند:

$$[\Omega, \Lambda] = i\Gamma$$

(در اینجا  $[\Omega, \Lambda] = \Omega\Lambda - \Lambda\Omega$  است که به آن جابجا گر (commutator) می‌گویند)

رابطه زیر برقرار است:

$$(\Delta\Omega)^2(\Delta\Lambda)^2 \geq \frac{1}{4} \langle \psi | [\hat{\Omega}, \hat{\Lambda}]_+ | \psi \rangle^2 + \frac{1}{4} \langle \psi | \Gamma | \psi \rangle^2 \quad (*)$$

معروف‌ترین مشاهده پذیرهای ناسازگار مشاهده پذیرهای مکان و اندازه حرکت هستند. البته اندازه حرکت باید با مولفه مکانی، که با آن مقایسه می‌شود، هم جهت باشد. اگر  $\Omega$  و  $\Lambda$  به ترتیب  $X$  و  $P$  باشند در آن صورت داریم:

$$[X, P] = ih$$

که در این صورت رابطه عدم قطعیت به صورت زیر در می‌آید:

$$(\Delta X)(\Delta P) \geq \frac{h}{2}$$

این اولین رابطه عدم قطعیتی است که هایزنبرگ آن را در سال ۱۹۲۷ با استفاده از نظریه تبدیل دیراک-یوردن (Dirac- Jordan Transformation Theory) بدست آورد (گلشنی، ۱۳۸۵، ص ۲۳۳).

باید توجه داشت که اگر در روابط عدم قطعیت یکی از دو کمیت  $\Delta X$  و یا  $\Delta P$  برابر صفر شوند (که به این معنی است که مقدار کمیتی که عدم قطعیت آن صفر شده به طور دقیق و با احتمال برابر ۱ بدست آمده است) عدم قطعیت کمیت دیگر برای ارضای نامساوی باید برابر بی نهایت باشد؛ یعنی مقداری به کمیت دیگر نمی توان اسناد کرد و به طور دقیق تر باید گفت کمیت دوم خوش تعریف نیست.

دو نتیجه مهم از این رابطه استنباط می شود. یکی طرد موجهیت (determinism) (که مربوط به بحث ما نیست) و دیگری عدم امکان اسناد واقعیت فیزیکی همزمان، بر اساس تعریف سوم از واقع گرایی علمی، به کمیاتی است که دارای عملگرهای ناسازگار هستند. همین طور اگر طریقی پیدا کنیم که با احتمال ۱ مقادیر مشاهده پذیر های ناسازگار را پیش بینی کنیم، چون در مکانیک کوانتومی این دو مشاهده پذیر به طور همزمان قابل تعریف نیستند، بر اساس واقع گرایی نوع دوم هم مکانیک کوانتومی واقع گرایانه نیست.

بنابراین، به نظر می رسد که واقع گرایی های نوع دوم و سوم، با وجود مشاهده پذیر های ناسازگار در مکانیک کوانتومی در تعارض باشد. به این معنی که این کمیات را نمی توان عنصری از واقعیت دانست یا این کمیات در هر زمانی دارای مقدار نیستند. زیرا مشاهده پذیر های ناسازگار، به طور هم زمان خوش تعریف نیستند و اگر یکی از آنها در نظریه خوش تعریف باشد دیگری تعریف شده نیست و این یعنی اگر فرض کنیم هر دو عنصری از واقعیت باشند، هر دو به طور هم زمان، در نظریه تعریف شده نیستند و این معیار واقعیت؛ یعنی مقدمه (۱) تعریف دوم را نقض می کند. اما اگر فرض کنیم که هر آنچه مکانیک کوانتومی می گوید عنصری از واقعیت است، نوع دوم واقع گرایی با وجود مشاهده پذیرهای ناسازگار در تعارض قرار نمی گیرد، ولی باز نوع سوم واقع گرایی در این مسأله؛ یعنی وجود مشاهده پذیرهای ناسازگار با مکانیک کوانتومی در تعارض خواهد بود.

اما به سادگی می توان دید واقع گرایی از نوع اول، با وجود مشاهده پذیرهای همزمان ناسازگار نیست؛ زیرا می توان این مشاهده پذیرها را اولاً مستقل از ذهن دانست؛ ثانیاً احکام مکانیک کوانتومی در مورد آنها را تقریباً صادق دانست؛ یعنی اینکه مکانیک کوانتومی می گوید اگر «عدم قطعیت یکی از دو کمیت فیزیکی ناسازگار صفر شده و به طور دقیق و با احتمال برابر ۱ بدست آمده است کمیت دیگر دارای عدم قطعیت بی نهایت است و مقداری خوش تعریف ندارد» صادق یا تقریباً صادق است؛ و ثالثاً گزاره هایی که این احکام را بیان می کنند قابل صدق و کذب هستند. بنابراین نظریه به خودی خود نه واقع گرایانه

است نه ضد واقع‌گرایانه، بلکه این موضع فلسفی نسبت به نظریه است که واقع‌گرایانه یا ضد واقع‌گرایانه می‌شود.

ممکن است گفته شود هیچ ناسازگاری‌ای در مورد تعاریف دوم و سوم وجود ندارد؛ زیرا مکانیک کوانتومی تنها آنچه را ما می‌توانیم بدانیم می‌گوید ولی در واقعیت اینها همواره دارای مقادیر معین هستند و به این ترتیب، تناقضی وجود ندارد. اما مشکل اینجا است قضایای عدم امکان، که پیش از این به آنها اشاره کردیم، امکان چنین امری را رد می‌کنند.

### ۶-۲-۲. مشکل اندازه‌گیری

تحول دینامیکی برای آزمایش اشترن-گرلاخ را می‌توان بر اساس مکانیک کوانتومی با معادله شرودینگر و تابع موج زیر بیان کرد.

$$\psi_0 \equiv (\alpha\psi_+ + \beta\psi_-)\phi_0 \xrightarrow{t \rightarrow +\infty} \psi_{out} = \alpha\psi_+\phi_{up} + \beta\psi_-\phi_{down}$$

اما بر اساس صورت بندی مکانیک کوانتومی و کاهش تابع حالت که فون نویمان آن را به طور مفصل در کتاب بنیان‌های ریاضی مکانیک کوانتومی<sup>۱۴</sup> توضیح داده، تابع حالت مربوط به دستگاه با کاهش حالت تابع سیستم مرکب بدست می‌آید و به صورت  $\psi = \alpha\psi_+ + \beta\psi_-$  خواهد بود، همچنین تابع حالت الکترون برابر  $\phi = \alpha\phi_{up} + \beta\phi_{down}$  می‌شود. بنابراین، در هر دوی این موارد ما با تابعی به شکل  $\alpha\psi_1 + \beta\psi_2$  (یا شکل کلی‌تر آن  $\sum c_i\psi_i$ ) مواجهیم که به آن حالت ترکیبی (Superposition) می‌گویند که ترکیبی از بردارهای ویژه عملگری است که اندازه‌گیری می‌شود. اما واقعاً اینکه حالت دستگاه در  $\alpha\phi_{up} + \beta\phi_{down}$  است، به چه معناست؟

همه می‌دانیم که با مراجعه به دستگاه همواره حالتی معین را مشاهده خواهیم نمود. یعنی دستگاه یا اسپین را بالا نشان می‌دهد یا پایین. اما مکانیک کوانتومی می‌گوید قبل از مشاهده دستگاه نه اسپین پایین را نشان می‌دهد نه بالا را و این عمل مشاهده است که منجر به تقلیل تابع موج می‌شود و اسپین یا بالا می‌گردد یا پایین. یعنی عمل مشاهده هم وضعیت دستگاه را معین می‌کند و هم اسپین الکترون را.

پس مشاهده ما، دو خصوصیت از دو شیء را معین می‌کند، و به نظر می‌رسد که فرض وضعیت حالت ترکیبی برای دستگاه و همچنین برای اسپین الکترون در واقعیت بر خلاف شهود ما است که در دنیای اشیایی با ابعادی بسیار بزرگ‌تر از ابعاد اتم شکل گرفته



است. بنابراین به نظر می‌رسد که این مشاهده است که هم خصوصیت مورد نظر را واقعیت می‌بخشد و هم آن را برای ما مشخص می‌سازد.

اگر در مکانیک کوانتومی عمل مشاهده را به صورتی تعبیر کنیم که ناظر در واقعیت بخشیدن به اشیای کوانتومی نقش داشته باشد در این صورت آشکارا این نوع تعبیر از مکانیک کوانتومی با هر سه نوع تعریف از واقع گرایی در تعارض است. اما می‌توان انواع تعبیری واقع‌گرایانه از مکانیک کوانتومی داشت از جمله قرائتی از تعبیر کپنهاگی ارائه کرد که با واقع گرایی نوع اول سازگار باشد.<sup>۱۵</sup>

برای روشن شدن مطلب، مواضع بور و هایزنبرگ را در تعریف اندازه‌گیری در نظر بگیرید. این مواضع مشخص‌کننده جهت‌گیری‌های آنها است. تعریفی که بور از اندازه‌گیری ارائه می‌دهد به نوعی متافیزیکی است و تعریفی که هایزنبرگ از اندازه‌گیری بیان می‌کند، کاملاً پوزیتیویستی است. تعریف بور از اندازه‌گیری به صورت زیر است:

«اگر کمیتی چون  $Q$  در سیستم  $S$  و در زمان  $t$  اندازه‌گیری شود، آنگاه  $Q$  دارای مقدار ویژه ای در  $S$  و در زمان  $t$  است» (Krips, 2007).

در صورتی که هایزنبرگ تعریف زیر را ارائه می‌دهد:

«بی معنی خواهد بود که به  $Q$  مقداری چون  $q$  برای سیستم  $S$  و در زمان  $t$  اسناد کنیم، مگر آنکه  $Q$  اندازه‌گیری شود و مقدار  $q$  را در  $t$  داشته باشد» (ibid).

می‌توان گفت، در نظر هایزنبرگ کمیتی چون  $Q$  صرفاً وقتی با معنا است که بتوان آن را اندازه‌گیری کرد یعنی وی تعریف‌پذیری (definability) را بر اساس قابلیت امکان اندازه‌گیری (measurability) بنیان می‌نهد و اولی را به دومی تحویل می‌کند. یعنی برای او تمام مفاهیمی که در فیزیک کلاسیک برای توصیف سیستم‌های مکانیکی به کار می‌روند، می‌توانند به طور همانند برای فرآیند اتمی نیز به طور دقیق تعریف گردند... چون تعریف مفهوم به معنای توصیف روشی است برای اندازه‌گیری کمیتی که مفهوم یاد شده به آن ارجاع می‌دهد» (Jammer, 1974: 68).

به نظر می‌رسد که بیان هایزنبرگ نشان‌دهنده این باشد که در این تلقی، اسناد واقعیت به اشیا در حالتی که اندازه‌گیری صورت نیافته باشد، معنی محصلی ندارد و به این معنی کمیات اتمی به اندازه‌گیری بستگی دارند. اگر اندازه‌گیری را به ناظر و به طور مشخص ذهن انسانی وابسته کنیم آشکار است که مولفه متافیزیکی نوع اول از تعریف واقع‌گرایی

دچار مشکل می‌شود و نوع دوم و سوم از واقع‌گرایی علمی هم آشکارا با این تلقی در تعارض است.

در نگرش فوق، روابط عدم قطعیت صرفاً برای اندازه‌گیری همزمان کمیات (مشاهده پذیرهای) ناسازگار محدودیت ایجاد می‌کنند ولی هر یک از این کمیات به تنهایی به طور دقیق قابل اندازه‌گیری هستند. پس اگر کمیات فیزیکی را بر اساس روابط عدم قطعیت تعریف کنیم، مشکلی وجود نخواهد داشت (ibid). به عبارت دیگر، هرگاه ما مکان الکترونی را به طور دقیق تعریف کنیم (یعنی اندازه‌گیری کنیم) دیگر نمی‌توانیم برای این الکترون اندازه حرکت خوش تعریف داشته باشیم. در اینجا می‌توان گفت الکترون اندازه حرکت ندارد و این نظری است که فون نویمان نیز به نوعی به آن معتقد است. لازم به ذکر است که در اینجا به دلیل اینکه عمل اندازه‌گیری در مشخص شدن (و به تعبیری واقعیت یافتن) کمیات فیزیکی دخالت می‌کند، ما به نوعی، در اسناد واقعیت فیزیکی به این کمیات با مشکل مواجه می‌شویم، ولی به طور مفهومی صرف اینکه دو کمیت ناسازگار باشند نظریه را با واقع‌گرایی نوع اول در تعارض قرار نمی‌دهد (همانطور که در زیر بخش پیشین گفته شد).

اما بر خلاف هایزنبرگ، بور این نوع تحویل تعریف پذیری به قابلیت امکان اندازه‌گیری را غیر قابل قبول می‌داند. در واقع برای بور بر خلاف نظر فیلسوفانی نظیر کوهن (Kuhn) و فایرآبند (Feyerabend) مفاهیم در نظریه‌های متوالی قابل قیاس اند (Commensurable) و معنای آنها تغییر نمی‌کند (Faye, 2007) می‌توان گفت بور به نوعی رابطه‌گرایی نهان (hidden relationalism) معتقد بود و این به معنی کلاسیک و نیوتنی آن مد نظر وی بوده است (Krips, 2007)؛ یعنی در حوزه اتمی روابط میان اشیای اتمی که بور قائل به وجود آنها بود طوری است که منجر به برقراری روابط عدم قطعیت می‌شود که می‌توان آنها را مبین مکملیت (complementation) میان خواص سینماتیک (Kinematic) مثل مکان و زمان و خواص دینامیک (dynamic) مثل انرژی و اندازه حرکت دانست. باید توجه داشت که بور معتقد به تعریف عملیاتی (operationally) مفاهیم کلاسیک نبود و همچنین هرگز از تحویل تابع موج یا تقلیل بسته موج سخنی نگفت چون وی اساساً تابع موج را به عنوان امری واقعی در نظر نمی‌گرفت بلکه صورت بندی مکانیک کوانتومی را صرفاً نمایشی نمادین لحاظ می‌کرد (Faye, 2007).

بور معتقد بود که تعریف سالم یا به عبارت دیگر، تعریف خوش تعریف (well - define) از کمیات ناسازگار با روابط عدم قطعیت محدود می شود و «عدم قطعیت متقابلی که همواره مقادیر این کمیات را تحت تأثیر قرار می دهد اساساً نتیجه ای است از دقت متقابلی که همواره مقادیر این کمیات را تحت تأثیر قرار می دهد. اساساً نتیجه ای از دقت محدودی است که با آن تغییرات در انرژی و اندازه حرکت می توانند تعریف شوند (نه اینکه اندازه گیری شوند)» (Jammer, 1974: 69).

بور قائل به واقعی بودن، تقلیل تابع موج نبود. این اصلی است که فون نویمان آن را ابداع کرد برای بیرون آمدن از تناقضی که حاصل قاعده تعبیری وی و وجود حالات ترکیبی در فرآیند اندازه گیری است. اما ببینیم که تقلیل تابع موج چه مشکلی در واقع گرایایی ایجاد می کند. برای این منظور مثال زیر را در نظر بگیرید.

ذره منفرد آزادی را که در یک بعد حرکت می کند به عنوان سیستم در نظر بگیرید. اکنون برای آن مشاهده پذیر انرژی را در نظر بگیرید. از حل معادله شرودینگر، برای ذره آزاد، جوابهای حالت سیستم  $|\psi_+\rangle = |E, +\rangle = |p = (2mE)^{1/2}\rangle$  و  $|\psi_-\rangle = |E, -\rangle = |p = -(2mE)^{1/2}\rangle$  (Shankar, 194: 151-152) به دست می آید. جواب اول به این معنی است که ذره ما با اندازه حرکت  $p$  به سمت راست در حرکت است و جواب دوم به این معنی است که ذره ما با همان اندازه حرکت  $p$  به سمت چپ در حرکت است. تا اینجا هیچ مشکلی نداریم و وضعیت در مکانیک کلاسیک هم وجود دارد پس اگر حالت ذره یکی از این دو حالت باشد تعارضی با شهود و تجربه معمول ما ندارد و مشابه وضعیت کلاسیک است.

اما با خاصیت خطی بودن جوابها می توان نشان داد که اگر  $|\psi_+\rangle$  و  $|\psi_-\rangle$  جوابهای معادله شرودینگر یک سیستم باشند در آن صورت ترکیب خطی آنها هم جواب معادله خواهد بود. یعنی وضعیتهایی با حالت زیر هم به عنوان جواب قابل قبول سیستم وجود دارد که کاملاً با وضعیت کلاسیک و شهود و تجربه معمول ما متفاوت است.

$\alpha, \beta \neq 0$  ;

$$|\psi\rangle = \alpha |E, +\rangle + \beta |E, -\rangle = \alpha |p = (2mE)^{1/2}\rangle + \beta |p = -(2mE)^{1/2}\rangle$$

اگر حالت سیستم به صورت فوق باشد در واقع ما عبارت درستی برای بیان آن نداریم و به مسامحه می توان گفت ذره با اندازه حرکت  $p = (2mE)^{1/2}$  به سمت راست و چپ در حرکت است. اما مسأله اینجا است که ما در اندازه گیری، حالت ذره را در حالت ترکیبی

فوق به دست نمی آوریم، بلکه همواره یا ذره را در حال حرکت به سمت راست با اندازه حرکت  $p$  می یابیم یا در حال حرکت به سمت چپ با اندازه حرکت  $p$ . در این حالت پرسش اصلی این است که عمل مشاهده و اندازه گیری چگونه حالت ذره را معین می کند؟ تعبیر استاندارد<sup>۱۶</sup> این پرسش را بر اساس قاعده تعبیر فون نویمان پاسخ می دهد. قاعده تعبیر فون نویمان می گوید که مشاهده پذیری چون  $B$  مقداری چون  $b$  اسناد می شود اگر و تنها اگر سیستم اندازه گیری شده در حالت ویژه ای از مشاهده پذیر فوق قرار داشته باشد (Van Fraassen, 1991: 274).

بر اساس این تعبیر، در پایان فرآیند اندازه گیری گذاری غیرعلی (acausal) از حالت ترکیبی به یکی از حالات ویژه مشاهده پذیر رخ می دهد. لازم به ذکر است که بنا بر تعبیر یاد شده این انتقال غیرعلی کاملاً تصادفی است. مثلاً اگر تابع حالت سیستمی را با  $\sum c_i \psi_i$  نشان دهیم در آن صورت احتمال اینکه به حالت ویژه  $\psi_k$  تقلیل یابد، برابر  $|c_k|^2$  است و این احتمال عینی (objective) است، نه ذهنی (subjective) و ناشی از جهل. مسأله مهم این است که عمل مشاهده یا اندازه گیری چگونه منجر به چنین گذاری می شود و چه نوع تفاوتی میان برهمکنش اندازه گیری و دیگر برهم کنش ها وجود دارد که این عمل را قادر به تقلیل می کند.

بروز مشکل فوق به علت خصوصیت خطی دینامیک حاکم بر مکانیک کوانتومی و قاعده تعبیر فون نویمان است: « از آنجایی که دینامیک مکانیک کوانتومی که با معادله مستقل از زمان شرودینگر در مورد حرکت توصیف می شود خطی است، فوراً از این مطلب، اصل تعبیر رسمی نتیجه می شود که می گوید پس از اندازه گیری میان دو سیستم مکانیک کوانتومی که یکی را می توان اندازه گیری ای که یک سیستم روی سیستم دیگر انجام می دهد، تعبیر کرد، حالت سیستم مرکب، حالت ویژه ای از مشاهده پذیری که در برهمکنش اندازه گیری شده نیست و حالت ویژه مشاهده پذیر نمایشگر هم که به عنوان نشانگر عمل می کند، نیست. بنابراین بر اساس تعبیر رسمی مشاهده پذیر اندازه گیری شده و قرائتی که از نشانگر حاصل شده بعد از برهمکنش مناسب که قرائت های نشانگر را با مقادیر مشاهده پذیرهای اندازه گیری شده در تضایف قرار داده، دارای مقادیر معین نیستند. این مشکل اندازه گیری مکانیک کوانتومی است» (Bub, 1997: 2)

با توجه به قاعده فون نویمان، شما صرفاً وقتی می توانید قرائتی از مشاهده پذیری معین، داشته باشید که بردار حالت مشاهده پذیر یکی از بردارهای ویژه آن باشد. اما

همانطور که گفته شده خصوصیت خطی معادله شرودینگر منجر می شود به بروز حالت های ترکیبی که بردار ویژه ای از مشاهده پذیر نیستند. در چنین حالتی بر اساس قاعده تعبیر فون نویمان مشاهده پذیر دارای مقدار نیست، پس اگر چنین است ما در عمل چگونه برای کمیات مقدار مشاهده می کنیم؟ برای حل این تناقض است که فون نویمان قاعده تصویر را معرفی می کند. اما به نظر می رسد راه حل وی که با اضافه کردن اصلی است که صرفاً برای رفع تناقض است راه حلی خلق الساعه (ad hoc) است و اگر ناظر را در این عمل دخیل کنیم با آموزه واقع گرایی در تعارض قرار می گیرد، از این رو، بسیاری از تعبیر که رویکرد واقع گرایانه دارند این اصل را رد می کنند.

## ۷. نتیجه گیری

اما ببینیم که پرسش اصلی مقاله در اینجا چگونه پاسخ می یابد. در مورد واقع گرایی نوع اول به نظر می رسد که اگر ما اندازه گیری را به ذهن انسانی نسبت ندهیم، هر سه مولفه واقع گرایی می توانند با مکانیک کوانتومی در تلائم باشند حتی با وجود مسأله اندازه گیری می توان نسبت به مکانیک کوانتومی واقع گرای نوع اول بود. یعنی می توان (۱) هویت نظریه را مستقل از ذهن دانست، (۲) خود نظریه را تقریباً صادق دانست و (۳) گزاره های نظریه را قابل صدق و کذب تلقی کرد. در واقع در تعبیر کپنهاگی هم دیدگاه واقع گرایانه از نوع اول داشت<sup>۱۷</sup>.

اما مطلب در مورد واقع گرایی های نوع دوم و سوم متفاوت است. در مورد واقع گرایی نوع دوم اگر عنصری در واقعیت (یعنی کمیتی باشد که بدون اختلال در سیستمک با احتمال ۱ پیش بینی شود) وجود داشته باشد که ما در نظریه دخیل نکرده باشیم نظریه تصویر صادق یا تقریباً صادقی از جهان نداده ایم. باید توجه داشت با اینکه مفهوم تقریباً صادق دارای مشکلاتی است اما با فرض اینکه ما مفهوم قابل قبولی از تقریباً صادق ارائه دهیم، اگر نظریه ای برای تعدادی از عناصر واقعیت نتواند همتأهای ارائه دهد به طوری که مفهوم صدق تقریبی را نتوان بر آن اعمال کرد، این نظریه واقع گرایانه نخواهد بود. تفاوت آن با تعریف اول این است که ما در تعریف اول از پیش نظریه را صادق یا تقریباً صادق می دانیم و بنابراین نظریه همواره این معیار را برآورده می کند. پس به این ترتیب، اگر کسانی ادعا کنند که مکانیک کوانتومی قادر نیست به تعداد قابل توجهی از عناصر واقعیت همتا نسبت دهد آنان مکانیک کوانتومی را واقع گرایانه نخواهند نامید. اما تعریف سوم بیشترین تعارض را با

مکانیک کوانتومی دارد و آشکار است که چون ما نمی‌توانیم همواره و در همه زمان‌ها به تمام کمیات آن مقدار نسبت دهیم، بر اساس این تعریف، مکانیک کوانتومی غیر واقع‌گرایانه خواهد بود.

از مجموع مطالبی که عنوان شد می‌توان بر اساس قرائت قاطبه فلاسفه علم از واقع‌گرایی، نسبت به مکانیک کوانتومی، حتی با تعبیر کپنهاگی، موضع واقع‌گرایانه داشت.

### پی‌نوشت‌ها

- ۱- به عنوان مثال به (Ladyman, 2000: 158)، (Psillos, 1999: xvii) و (Boyd, Gasper, 1991: 1991) و یا مدخل استنفورد در مورد واقع‌گرایی مراجعه کنید.
- ۲- این تعریف از (Readhead, 1989: 82) ملهم شده است.
- ۳- در ادامه مقاله، تعریف کمیات ناسازگار در مکانیک کوانتومی ارائه خواهد شد.
- ۴- اگر مقدمه زیر را به این تعریف اضافه کنیم نظریه موجبیتی هم خواهد بود: مقدمه ۴) اگر عنصری از واقعیت فیزیکی چون  $A$ ، همتایی چون  $f_A$  در نظریه فیزیکی داشته باشد، آنگاه می‌توان، در شرایطی، با قطعیت (یعنی، احتمال برابر ۱) مقدار آن کمیت را پیش‌بینی کرد.
- ۵- یعنی قضایایی در اثبات عدم امکان وجود متغیرهای نهان برای مکانیک کوانتومی است.
- ۶- مخفف value definiteness است.
- ۷- مخفف non contextually است.
- ۸- در بخش (۳) مفهوم تعبیر روشن خواهد شد.
- ۹- برخی این دو دیدگاه را رضایت بخش ندانسته‌اند و رویکرد سومی معرفی کرده‌اند به نام دیدگاه عملگرایانه. به طور کلی، در دیدگاه عملگرایانه یک رشته فرضها در مورد نظریه علمی وجود دارد که به نظر می‌رسد در آنها دیدگاه‌های نحوی و معناشناختی اشتراک دارند: با تقریب زیاد می‌توان گفت نظریه باید: صریح، ریاضیاتی، مجرد، نظام‌مند، به آسانی فردی شونده (individualizable)، متمایز از داده‌ها و آزمایش‌ها و به میزان بالایی تبیین‌کننده و پیش‌بینی‌کننده باشد (Grønfeldt Winther, 2015). در این نگاه ساختار نظریه‌های علمی متفاوت از دو نگاه پیشین، دارای انواع برنهادها است از جمله اینکه محدودیت دارد و نمی‌تواند مبنای استواری برای آن نوع عمل پیش‌بینی‌کنندگی و تبیین‌کنندگی باشد که مدافعان دیدگاه نحوی و دیدگاه معناشناختی از آن انتظار دارند. در این رویکرد علم تکثر‌گرایانه است هم در مولفه‌های درونی (جنبه‌های ریاضیاتی، استعاره‌ها، تشابه‌ها، ...) و

هم درموفه های بیرونی ( مکانیکی بودن، تاریخی بودن، مدل های ریاضی و...) و نیز جنبه های غیر صوری دارد و... (ibid)

۱۰ - در اینجا ما با نظریه ای جدید مواجهیم.

۱۱ - در ادامه مشکل اندازه گیری توضیح داده می شود.

۱۲- شومر (Schommer) دو خصوصیت را برای مکانیک نیوتنی (که در واقع قسمت اصلی فیزیک کلاسیک است و سایر بخش های فیزیک کلاسیک با توجه به مبانی آن تبیین می شوند) اساسی می داند:

«۱- عناصر جهان که در فضای مطلق و زمان مطلق در حرکتند، کوچک، جامد، و اشیای تباهی ناپذیر اند که همواره دارای جرم و شکل ثابت هستند. ...

۲) مکانیک نیوتنی رابطه تنگاتنگی با موجبیت دقیق دارد؛ یعنی مسیر آینده شیء در حال حرکت را (مثلاً یک سیاره را) می توان به طور کامل پیش بینی و گذشته آن را کاملاً آشکار کرد، مشروط بر اینکه حالت کنونی آن با تمام جزئیات معلوم باشد.

از دیدگاه نیوتن، تصویر واقعیت با تصور زیر ارائه می گردد: در آغاز، خدا اشیای مادی را آفرید؛ آنها و معادلات حرکت را آفرید. سپس، کل جهان در حرکت قرار گرفت و آن حرکت از آن هنگام ادامه داشته است، مثل یک ماشین، معادلات حرکت بر آن حاکم بوده است» (Schommers, 1989: 3). در اینجا شرط (۲) متناظر است با  $S_2$  است که فوقاً به آن اشاره کردیم.

۱۳- ( برای ملاحظه بحث جامع و به لحاظ ریاضی دقیق به مکانیک کوانتومی در فضای هیلبرت ( Quantum Mechanics in Hilbert Space ) نوشته Eduard Prugovercki مراجعه کنید).

#### 14 - Mathematical Foundations of Quantum Mechanics

۱۵ - همچنین باید توجه داشت که صرف وجود حالت ترکیبی، به خودی خود با واقع گرایی در تعارض قرار نمی گیرد، بلکه وارد کردن اصل تقلیل تابع موج، که نوعی اصل تعبیری است، ما را با نوعی واقع گرایی دچار مشکل می کند.

۱۶ - این تعبیر را می توان همان تعبیر کپنهاگی که ذکر کردیم دانست البته باید توجه داشت که تعبیر کپنهاگی تعبیری واحد و کاملاً منسجمی نیست، ولی می توان مشترکاتی برای آن در نظر گرفت که آن را از دیگر تعبیر جدا می کند.

۱۷- تعبیر بور تاییدی برای این مطلب است و صرف در نظر گرفتن قاعده تعبیر فون نویمان برای واقع گرایی نوع اول مشکلی ایجاد نمی کند. البته باید توجه داشت بر اساس نقل قولی که از هایزنبرگ ذکر شد اگر عمل اندازه گیری را به ناظر و ذهن انسانی اسناد کنیم و مقدار یافتن را مقوم واقعیت مستقل بدانیم، این تلقی با واقع گرایی نوع اول و البته واقع

گرایی نوع دوم و سوم دچار مشکل می‌شوند. این مطلب در مورد نظری که فون نویمان در مورد تقلیل تابع موج داشت و آن را به شعور اسناد می‌داد نیز برقرار است. ولی به نظر نمی‌رسد اینها تعابیر صورت بندی شده و دقیقی باشند.

## منابع

- جینز، جیمز هاپود، «فیزیک و فلسفه، انتشارات علمی و فرهنگی»، ترجمه علی قلی بیانی، تهران: انتشارات علمی فرهنگی، ۱۳۸۱.
- شانکار، رامامورتی، «اصول مکانیک کوانتومی»، ترجمه حسین صالحی، تهران: دانش نگار، ۱۳۸۷.
- گلشنی، مهدی، «تحلیلی از دیدگاه‌های فلسفی فیزیکدانان معاصر»، تهران: پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، ۱۳۸۵.
- معصومی، سعید، «چیستی نظریه های علمی: رویکردهای نحوی و معناشناختی»، فلسفه علم، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، سال پنجم، شماره اول، ۱۳۹۴.
- Bell, J.S. (1964) "On the Einstein-Podolsky-Rosen paradox," *Physics*, 1: 195–200.
- Bell, J.S. (1966) "On the problem of hidden variables in quantum mechanics," *Reviews of Modern Physics*, 38: 447–452.
- Bub, J. (1997) *Interpreting the Quantum world*, (Cambridge: Cambridge University Press).
- Boyd, R. Gasper, P. and Trout, J. D. (eds.) (1991) *The Philosophy of Science*, Cambridge, MA : The MIT Press.
- d'Espagnat, B. (ed.) (1976) *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, 2nd edn. (Reading, Mass.: Benjamin).
- Einstein, A, Podolsky, B. and Rosen N. (1935) *Phys. Rev.* 47.
- Faye, J. (2008) *Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics*, <http://plato.stanford.edu/entries/qm-copenhagen/>.
- Fine, A. (2009) *The Einstein-Podolsky-Rosen Argument in Quantum Theory*, <http://plato.stanford.edu/entries/qt-epr/>.
- French, S. (2014) *The Structure of the World Metaphysics and Representation*, (Oxford: Oxford University Press).
- Goldstein, S. (2006) *Bohmian Mechanics*, <http://plato.stanford.edu/entries/qm-bohm/>.
- Held, C. (2006) *The Kochen-Specker Theorem*, <http://plato.stanford.edu/entries/kochen-specker/>.
- Hughes, R. I. G. (1989), *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press).
- Isham, C. (2001) *Lectures on Quantum Theory Mathematical and Structural Foundations*, (Imperial College, London).
- Jammer, M. (1974) *The Philosophy of Quantum Mechanics*, (New York :John Wiley & Sons).



- Krips, H. (2007) Measurement in Quantum Theory, <http://plato.stanford.edu/entries/qt-measurement/>
- Ladyman, James (2002). *UNDERSTANDING PHILOSOPHY OF SCIENCE*, London and New York: Routledge.
- Popper, K. (1982) Quantum Theory and Schism in Physics, (London: Unwin Hyman Ltd).
- Prugovecki, E. (1981) Quantum Mechanics in Hilbert Space, (New York and London: Academic Press).
- Psillos, S. (1999) Scientific Realism : How Science Tracks Truth,( London and New York: Routledge).
- Redhead, M. (1987) *Incompleteness, Non-Locality, and Realism*, (Oxford: Oxford University Press).
- Schommers, M. (ed.) (1989) Quantum Theory and Picture of Reality, (Berlin Heidelberg: Springer-Verlag).
- Shimony, A. (2009) Bell's Theorem <http://plato.stanford.edu/entries/bell-theorem/>.
- Van Fraassen, B.C. (1980) Scientific Image, (Oxford: Oxford University Press).
- (1991) Quantum Mechanics: an Empiricist View, (Oxford: Oxford University Press).
- von Neumann, J. (1955), *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* (German edn. 1932) (Princeton: Princeton University Press).