فلسفه تحلیلی، شماره سی‌وهشت، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، ص۳۳-۵۶

ضرورت هستی‌شناختی و معرفت‌شناختیِ هستارهای موضعی در مکانیک کوانتومی[۱]

مریم انصاری بناب

دانش‌آموخته دکتری فلسفه علم، دانشکده حقوق، الهیات و علوم سیاسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

علیرضا منصوری[۲]

دانشیار گروه فلسفه علم و فناوری، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، تهران، ایران

چکیده

بل در برخی مقالات خود هستارهای موضعی را معرفی می‌کند و آن‌ها را غیر از مشاهده‌پذیرهای مکانیک کوانتومی در نظر می‌گیرد. در مقاله‌ی حاضر اهمیت و ضرورت وارد کردن هستارهای موضعی را در مکانیک کوانتومی نشان می‌دهیم. توضیح می‌دهیم نیاز به وجود هستارهای موضعی هم دلایل هستی‌شناختی و هم معرفت‌شناختی دارد. تابع موج که نمایش ریاضی حالت کوانتومی است یکی از عناصر مهم و کلیدی در نظریه کوانتومی است که جایگاه بخصوصی را در هستی‌شناسی این نظریه به خود اختصاص داده است. با توجه به اهمیت تابع موج که یک عنصر اساسی در نظریه کوانتومی است، بررسی خواهیم کرد که آیا تابع موج با معیارهایی که برای هستار بودن بیان می‌شود آیا می‌تواند هستار باشد یا نه و هم‌چنین توضیح می‌دهیم که چگونه درک شأن هستی‌شناختی تابع موج از منظر هستارها می‌تواند راهنمایی مناسبی برای انتخاب یا ارائه‌ی تعبیر یا نظریه‌ی مناسبی برای مکانیک کوانتم در بین نظریه‌های رقیب باشد.

کلیدواژه‌ها: هستار، مشاهده‌پذیر، موضعی، تابع موج.

---

۱. تاریخ وصول: ۱۳۹۹/۲/۲۳؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷

۲. پست الکترونیک (مسؤول مکاتبات): a_mansourius@yahoo.com

مقدمه

مطابق نگرش واقع‌گرایانه، در علم در جست‌وجوی نظریه‌های صادق و واقع‌نماییِ نظریه‌ها، یا ارائه‌ی توصیفی صادق برای ویژگی‌های ساختاری جهانی هستیم که در آن زندگی می‌کنیم. هر چند ممکن است این نظریه‌ها الهام‌بخش برخی کاربردهای ابزاری و عملی باشند، ولی هدف اصلی نظریه‌های علمی این کاربردها نیست، بلکه آن‌چه در خصوص نظریه‌های علمی هدف اصلی صدق، یا نزدیکی به صدق، و قدرت تبیینیِ آن‌ها و توانایی آن‌ها در حل مسائل و فهم جهان است. بنابراین اشتباه است اگر نظریه‌ها را صرفاً ابزاری مثلاً برای پیش‌بینی قلمداد کنیم. از نظر معرفت‌شناختی، پیش‌بینی‌های تجربی به کار آزمون نظریه‌ها می‌آیند و نمی‌توانند «توجیهی» برای صدقِ نظریه‌ها فراهم کنند؛[۱] زیرا در تاریخ علم با نظریه‌های نادرست بسیاری برخورد داشته‌ایم که پیش‌بینی‌های درستی ارائه می‌دادند.[۲] اهمیت و نقش تجربه و آزمون برای نظریه‌های علمی متضمن در نظر گرفتن دو نکته در خصوص نظریه‌های علمی، خصوصاً در فیزیک است: اول این‌که نظریه‌ها باید حاوی عناصری باشند که به واقعیت فیزیکی و تجربی ارجاع و دلالت داشته باشد تا نتایج تجربی بتواند به صورت مستقیم یا غیرمستقیم با تجربه برخورد کند؛ دوم این‌که وقتی یک نظریه از محکمه‌ی آزمون سربلند بیرون می‌آید، مادامی‌که به‌رغم تلاش برای نقد آن شواهدی علیه آن نداریم، می‌توانیم آن را به‌صورت موقت صادق یا تقریباً صادق بدانیم؛ به این معنی که حداقل برخی از عناصر موجود در ساختار نظریه را به صورت رئالیستی تفسیر کنیم. این دو نکته مقوم این اندیشه‌ی

---

۱. برای نقش نقادانه‌ی و غیرموجه‌گرایانه‌ی شواهد تجربی برای نظریه‌های علمی رک.

Popper, K., *The Logic of Scientific Discovery*, original published in German in 1934; first English translation in 1959, London and New York, Routledge, 2002; Miller, D., *Critical Rationalism*, Open Court, 1994.

۲. در این خصوص نک.

Laudan, L., "A Confutation of Conversgent Realism", Leplin, J., *Scientific Realism*, University of California Press, 1984.

رئالیستی است که نظریه‌های علمی (فیزیکی) توصیفی از «شناخت» یا «اطلاعات» ما از عالم ارائه نمی‌دهند، بلکه حدس‌هایی درباره‌ی واقعیتِ مستقل از ما و باورهای ما ارائه می‌کنند و مدعی دعاویِ واقع‌نما (و البته خطاپذیر) درباره‌ی واقعیتِ مستقل از ما هستند و به این معنا عینی‌اند.[۱]

نگرش رئالیستی به نظریه‌های علمی با ویژگی‌هایی که برشمردیم در برخی تفاسیر از مکانیک کوانتومی به چالش کشیده شده و گاه تفسیری ذهن‌گرایانه از ساختار آن ارائه شده می‌کند. همین امر هم موجب شد فیزیک‌دانانی مانند بل نسبت به این رویکرد غیررئالیستی در مکانیک کوانتومی انتقاد کنند و هم‌چنان بر هدف علم به مثابه‌ی فهم جهان تأکید کنند.[۲] در تعبیر کپنهاگی یا در تفسیر رایج و استانداردی که عمدتاً به فون‌نویمان و بور بازمی‌گردد، تفسیری از مکانیک کوانتومی ارائه می‌شود که گویا این نظریه، نظریه‌ای درباره‌ی نتایج «اندازه‌گیری» است، و منظور از اندازه‌گیری هم فرایندی است که توسط کسی یا چیزی صاحب آگاهی یا ذهن صورت می‌گیرد، نه نظریه‌ای درباره‌ی «واقعیت مستقل از ذهن»! اما این نگرش، چنان‌که بل هم تأکید دارد، سوای این‌که عدول از هدف رئالیستی علم است ما را گرفتار این مسئله مناقشه برانگیز می‌کند که تمایز ذهن و عین چیست؟ چیزی که در خود نظریه‌ی کوانتومی تکلیفش معلوم نیست. چنان‌که از آثار بل بر می‌آید، او معتقد است هم‌چنان باید به همان اهداف رئالیستی از علم در حوزه‌ی مکانیک کوانتومی پایبند بمانیم؛ نظریه‌های ما و از جمله نظریه‌ی کوانتوم نباید درباره‌ی آگاهی یا دانش ما از عالم باشد؛ این نظریه نباید درباره‌ی «اندازه‌گیری» یا درباره‌ی «مشاهده‌ی ما» باشد، بلکه باید درباره‌ی واقعیت و آن‌چه مستقل از ما وجود دارد باشد![۳] به نظر می‌رسد بل معتقد بود که نظریه‌ی کوانتومی رایج

1. Objective
2. Bell, J.S., "The Theory of Local Beables", Bell, J.S. *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, 2004, pp.216-217.
3. Ibid, p.41;

در شکل فعلیِ آن فاقد ظرفیت لازم برای چنین هدفی است؛ به همین دلیل تأکید داشت چنین نظریه‌ای به‌جای این‌که درباره‌ی «مشاهده‌پذیرها»[۱] باشد باید درباره «هستارها»[۲] باشد. بل اصطلاح «هستار» را تعمداً در تمایز با واژه‌ی «مشاهده‌پذیر» به‌کار می‌گیرد و بیان می‌کند که باید امکان این باشد که بگوییم «چه چیزی هست»[۳] تا این‌که «چه چیزی مشاهده می‌شود».[۴] به نظر او با شناخت هستارها شاید بتوان امیدوار به ارائه‌ی نظریه‌ای بود که ما را درگیر ابهامات ذهن و عین در نظریه نکند.

در بخش‌های بعدی مقاله تلاش می‌شود تا اهمیت هستی‌شناختی هستارها بیان شود و سپس توضیح می‌دهیم معرفی هستارها ناشی از ملاحظات معرفت‌شناختی نیز بوده است تا بتوانیم هستی‌شناسی تابع موج را که عنصری کلیدی در همه‌ی نظریه‌ها و تعابیر مکانیک کوانتومی است از این منظر بررسی کنیم و در نهایت این مسئله را مورد بررسی قرار می‌دهیم که چرا تابع موج گزینه‌ی مناسبی برای یک هستار موضعی نیست تا بتواند آن ملاحظات معرفت‌شناختی را تحقق بخشد.

اهمیت هستی‌شناختی هستارها

در سیر تحول نظریه‌ها همواره این پرسش مطرح بوده است که چه زمان باید مفاهیم جدیدی به نظریه اضافه کنیم یا مفاهیم قبلی را تغییر دهیم. در عین حال توجه به این نکته مهم است که در نظریه‌پردازی‌ها «مفاهیم»، فی‌نفسه، اهمیت اساسی ندارند، آن‌چه

پوپر نیز همین نگرش را درباره‌ی مکانیک کوانتومی داشت؛ برای بحث مفصل‌تر نک.

Popper, K., *Quantum Theory and the Schism in Physics*, New Jersey: Rowman and Littlefield, 1982.

خصوصاً مقاله‌ی خواندنی او در همین کتاب با عنوان «مکانیک کوانتوم: بدون مشاهده‌گر».

1. Obsevables
2. Beables
3. What is
4. What is observable

اهمیت دارد مسائل و نظریه‌هاست.[۱] هم‌چنین به‌کار بردن تعبیر «چارچوب‌های مفهومی» یا «سیستم‌های مفهومی» در خصوص «نظریه‌ها» توصیف دقیقی نیست، زیرا آن‌چه در نظریه‌ها اهمیت دارد «کلمات» و «مفاهیم» نیست؛ لزومی ندارد یک نظریه تنها با یک چارچوب مفهومی خاص صورت‌بندی شود؛ ممکن است بتوان آن با چارچوب‌های مفهومی مختلفی صورت‌بندی کرد. از طرفی وقتی دو نظریه از نظر ساختاری یکسان باشند،[۲] ولی چارچوب‌های مفهومی متفاوتی داشته باشند، آن دو نظریه را در واقع باید یکی در نظر گرفت. به همین دلیل، با وجود این‌که مکانیک موجی شرودینگر و مکانیک ماتریسی هایزنبرگ چارچوب‌های مفهومی متفاوتی را به‌کار می‌گیرند، ولی به دلیل هم‌ارزی ساختار ریاضیاتی آن‌ها، باید آن‌ها را یک نظریه تلقی کرد - همین‌طور است در خصوص صورت‌بندی‌های هامیلتونی و لاگرانژی از مکانیک کلاسیک.[۳]

مفاهیم اندیشه‌های را منتقل نمی‌کنند؛ واحد انتقال اندیشه، چنان‌که فرگه نیز بر آن تأکید داشت، گزاره است. مفاهیم، به مثابه‌ی برساخته‌های زبانی، نقش ابزاری برای نظریه‌ها دارند و در پرتو آن‌ها معنای خود را به دست می‌آورند. بنابراین هر چند نظریه‌ها به مثابه‌ی موجودات ساکن جهان ۳ برای صورت‌بندی زبانی به مفاهیم نیاز دارند، اما قابل تحویل به آن‌ها نیستند. درست است که مفاهیم ممکن است قدرت راهنمونی داشته باشند و از این طریق می‌توانند بر توسعه‌ی نظریه تأثیرگذار باشند، ولی اهمیت و اولویت اصلی با نظریه است، نه مفاهیم یا نظام‌های مفهومی. نظام‌های مفهومی در واقع برساخته‌های زبانی‌اند و یک نظریه را می‌توان با نظام‌های مفهومی متفاوتی بیان کرد که از حیث کارآمدی تفاوت دارند. یک نظام مفهومی ممکن است کارآمدی خود را برای بیان

---

۱. در خصوص نقش و اهمیت مفاهیم و نظریه‌ها رک.

Popper, K.R., *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*, Revised edition ed. Oxford University Press, 1979.

۲. در این‌جا منظور از ساختار، ساختار ریاضی نظریه به‌طور کلّی است و هدف ورود به مناقشه‌ی دو تلقی عمده در خصوص ساختار نظریه‌ها یعنی رویکرد نحوی و رویکرد سمانتیکی نیست.

3. Popper, *Quantum Theory and the Schism in Physics*, pp.42-46.

نظریه از دست بدهد و با نظام مفهومی جدیدی جایگزین شود. این اتفاق همواره در تاریخ تحول نظریه‌ها رخ داده است. یک نظام مفهومی یکی از چندین ابزار ممکن برای صورت‌بندی زبانی نظریه است؛ حتی اگر با یک زبان بهتر و ساده‌تر از یک زبان دیگر بتوان نظریه را صورتبندی کرد، در هر صورت، (مانند هر زبان) تا حدی مبهم باقی می‌ماند. و هر تلاشی برای تدقیق مفاهیم از هر طریقی در نهایت به تسلسل یا صرفاً دقت ظاهری می‌انجامد، زیرا تدقیق‌ها در نهایت با کمک تعاریفی بر حسب مفاهیمی دیگر صورت می‌گیرد که خودشان برای تدقیق نیازمند توضیحات بیشتراند.

هر نظریه فیزیکی که به‌صورت نسبتاً واضحی صورت‌بندی شده باشد دارای یک هستی‌شناسی است که بیانی از چیزهایی است که نظریه وجود آن‌ها را فرض می‌گیرد. ارائه‌ی مفاهیم جدید می‌تواند منجر به پیشنهاد هستی‌شناسی جدیدی برای نظریه نیز شود. برای نمونه می‌توان به معرفی مفهوم «انرژی» در مکانیک کلاسیک اشاره کرد که پس از مدتی چنان فراگیر شد که صورت‌بندی‌های متأخر از نظریه‌ی مکانیک کلاسیک (به تأسی از لاگرانژ) بیشتر حول مفهوم «انرژی» بود تا «نیرو». نمونه‌ی دیگر معرفی مفهوم «میدان» بودن که ابتدا در چارچوب نظری مکانیک‌گرایانه تفسیر می‌شد، ولی بعداً ذیل نظریه‌ی الکترومغناطیس دلالت هستی‌شناختی پیدا کرد، یا به عبارتی شأن و منزلت یک هستار را پیدا کرد. اما در خصوص ضرورت ارائه‌ی مفاهیم هستی‌شناختی جدید برای مکانیک کوانتومی بحث و مناقشه وجود داشت. کسانی مانند بور هر چند معتقد بودند چون تجارب روزمره‌ی ما کلاسیکی است در استفاده از مفاهیم کلاسیکی ناگزیریم، و با این‌که تأکید داشتند این مفاهیم در حوزه‌ی نظریه‌ی مکانیک کوانتومی کارآمد نیستند، در عین حال معتقد بودند نباید تلاش کنیم مفاهیم جدیدی برای حوزه‌ی مکانیک کوانتومی ارائه کنیم؛[1] مکانیک کوانتومی نظریه‌ای کامل است و باید آن را به همان شکل در همان حیطه‌ی کوانتومی به‌کار گرفت و زبان کلاسیکی را از زبان کوانتومی

1. Bohr, N., *Atomic Theory and the Description of Nature*, Cambridge, Cambridge University Press, 1934, p.6.

جدا دانست. به بیان بور:

«هر چه هم که پدیده‌های کوانتومی از حوزه‌ی توصیف فیزیک کلاسیک فراتر بروند، باید توضیح تمام شواهد تجربی بر حسب اصطلاحات کلاسیک باشد. دلیلش این است منظور ما از کلمه‌ی "آزمایش" وضعیتی است که در آن می‌توانیم به دیگران بگوییم چه کرده‌ایم و چه آموخته‌ایم و بنابراین باید توضیح تدارکات تجربی و نتایج مشاهدات را به زبان غیرمبهم، با استفاده از اصطلاحات فیزیک کلاسیک بیان کنیم».[۱]

هایزنبرگ نیز همین نگرش را دنبال می‌کرد و با یک فلسفه‌ی کانتی از آن دفاع می‌کرد. به اعتقاد او مفاهیم فیزیک کلاسیک نقشی شبیه ادراکات مقدم بر تجربه در فلسفه‌ی کانت را دارند؛ آن‌ها مبانی مقدم بر تجربه برای تمام تجاربی به حساب می‌آیند که با پدیده‌های اتمی سروکار دارند، زیرا آزمون نظریه‌ها در حوزه‌ی اتمی تنها با کمک مفاهیم کلاسیک میسر است. در عین حال این مفاهیم نمی‌توانند برخی پدیده‌های حوزه‌ی اتمی را توصیف کنند.[۲] در مقابل، کسی مانند اینشتین که همواره به دنبال وحدت نظری در کلّ فیزیک بود و معتقد بود فیزیک نباید دو توصیف هستی‌شناختی متفاوت از عالم به دست دهد، بر ضرورتِ ارائه‌ی مفاهیم و مقولات جدید تأکید داشت، البته به شرطی که به برداشت ما از واقعیت فیزیکی لطمه نزنند.[۳]

در همین راستا می‌توان تحلیل بل را گامی به جلو در جهت حل این معضل

---

۱. به نقل از: گلشنی، مهدی، تحلیلی از دیدگاه‌های فلسفی فیزیکدانان معاصر، تهران، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، ۱۳۸۵ش؛

Cropper, W., *The Quantum Physicists*, Oxford, Oxford University Press, 1970, p.76.

2. Heisenberg, W., "Planck's Quantum Theory and the Philosophical Problems of Atomic Physics", Brody & Capaldi *Science, Men, Method, Goals*, New York, Benjamin, 1968, p.52.

3. Holton, G. & Elkana, Y., *Albert Einstein: Historical and Cultural Perspectives*. Princeton: Princeton University Press, 1979, p.75;

گلشنی، تحلیلی از دیدگاه‌های فلسفی فیزیکدانان معاصر، صص۱۰۶-۱۰۹.

دانست. او معتقد بود که باید در هستی‌شناسی مکانیک کوانتومی هستومندهایی وارد کنیم که آن‌ها را «هستارهای نظریه»[1] می‌نامید.

پس بیان این‌که هستارهای نظریه چیست همان است که بگوییم نظریه وجود چه چیزهایی را مفروض می‌گیرد. به تعبیر مادلین[2] هستارهای نظریه عناصری از نظریه‌اند که واقعیت فیزیکی در نظر گرفته می‌شوند و دینامیک نظریه توصیف دقیق ریاضیاتی از تغییرات این هستارها در طول زمان است. در مکانیک کوانتومی یک مشاهده‌پذیر عملگری است که با یک کمیت فیزیکی مانند انرژی، اسپین یا مکان ... مطابقت می‌کند و می‌تواند اندازه‌گیری شود اما مفهوم مشاهده‌پذیر محدودتر از مفهوم هستار است. هستارهای نظریه با عناصری از واقعیت فیزیکی مطابقت دارند؛ چیزهایی که وجود دارند و وجود آن‌ها وابسته به «مشاهده» نیست و دارای تأثیر علّی‌اند. در واقع مشاهده و مشاهده‌شونده خودْ از «هستارها» ساخته شده‌اند. اما در مکانیک کوانتومی با مجموعه‌ای از مشاهده‌پذیرها سروکار داریم که عملگرهای متناظرشان با هم جابه‌جا ناپذیرند و لذا این مشاهده‌پذیرها به اصطلاح ناسازگارند[3]؛ به این معنی که نمی‌توان آن‌ها را هم‌زمان به‌طور دقیق اندازه‌گیری کرد و در یک زمان کمیتی را در آزمایشگاه به آن‌ها نسبت داد. به همین دلیل بل صراحتاً بیان می‌کند که این‌طور نیست که همه مشاهده‌پذیرها به‌توانند جایگاه هستار داشته باشند به‌خصوص مشاهده‌پذیرهایی که ویژه مقدار مشترک ندارند یا به عبارتی با هم جابه‌جا نمی‌شوند. زیرا از آن‌ها نمی‌توان برای تعیین مکان نشانگر استفاده کرد؛ در واقع اغلب این مشاهده‌پذیرها در هستی‌شناسی نظریه‌ها جایگاهی ندارند و آن‌چه اهمیت اساسی دارد این است که بتوانیم مکان اشیاء را

1. The beables of theory
2. Maudlin, T., "The Nature of the Quantum State", *Wave Function*, Oxford University Press, 2013.
3. Incompatible

که شامل مکان نشانگرهای آزمایشگاهی نیز می‌شود تعریف کنیم.[۱]

البته آن‌چه گفتیم توصیف واضح و روشنی از هستارها نیست و با مراجعه به نظرات خود بل هم ابهاماتی در این مورد باقی می‌ماند، ولی می‌توان با بررسی وسیع‌تر نظرات او تا حد امکان درک درستی از هستارها داشت. هم‌چنین چنان‌که گفتیم «مفاهیم» ابزاری در خدمت نظریه‌اند و معنای خود را از نظریه می‌گیرند؛ به این اعتبار به صرفِ این‌که بگوییم با مفاهیمی به نام «هستار» نیاز داریم، کفایت نمی‌کند و بنابراین بیش از هر چیز به «نظریه»ای در باب هستارها نیازمندیم[۲] تا بتوان وضعیت هستی‌شناختی آن‌ها را مشخص کرد. در واقع چنان‌که خواهیم دید این وضعیت هستی‌شناختی بسته به نظریه‌های مختلفی که ارائه می‌شود تغییر می‌کند.

هستارهای موضعی و رابطه علّی

همان‌طور که گفته شد هستارها به واقعیات فیزیکی دلالت دارند و ویژگی واقعیات فیزیکی این است که تأثیر علّی دارند. در یک تقسیم‌بندی وسیع هستارها به دو دسته تقسیم می‌شوند: هستارهای موضعی[۳] و هستارهای غیرموضعی[۴]. هستارهای موضعی آن‌هایی هستند که بتوان آن‌ها را به ناحیه فضا- زمانی محدودی اختصاص داد. به‌عنوان مثال هستارهای موضعی در نظریه‌ی ماکسول میدان الکتریکی و مغناطیسی در ناحیه معینی از فضا-زمانند. اما در عوض، مثلاً «انرژیِ کل» هستاری غیرموضعی است، چراکه نمی‌توان آن را به ناحیه محدودی از فضا زمان اختصاص داد. در واقع علت این

---

1. Bell, J.S., *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, 2004, p.174.

۲. خود بل نیز عنوان یکی از مقالاتش در این زمینه «نظریه‌ای در باب هستارهای موضعی» است.

Bell, J.S., "The Theory of Local Beables", *sixth GIFT seminar. geneva*, 1975; Idem, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, 2004.

3. Local beables

4. Nonlocal beables

تقسیم‌بندی به این خاطر است که هر نظریه‌ی فیزیکی باید شامل یک‌سری هستار «موضعی» باشد، چراکه تنها بر حسب هستارهای موضعی می‌توانیم تأثیر علّی به معنای «علیت موضعی»[1] را فرمول‌بندی کنیم.[2] دلیلش، همان‌طور که بل در مصاحبه‌ای تصریح کرد، این است که «موضعیت ایده‌ای است که می‌گوید آن‌چه شما انجام می‌دهید تأثیرش باید در حول و حوش شما باشد؛ هر تأثیری در فاصله دور ضعیف‌تر می‌شود و زمانِ رسیدن تأثیر آن محدود به سرعت نور است. در واقع، موضعیت متضمن این ایده است که تأثیر و تأثرات به‌طور پیوسته انتشار می‌یابند و جهشی در فاصله نداریم».[3]

در واقع به نظر می‌رسد که علیت در یک محدوده‌ی فضا-زمانی (علیت موضعی) نیازمند امتناع «کنش از راه دور»[4] است. خود اینشتین هم به طور ضمنی در مقاله‌ی EPR و هم در مواردی دیگر تصریح کرده بود که برای گریز از ناقص بودن مکانیک کوانتومی یا باید «جدایی‌پذیری» اشیاء یا «موضعیت» را کنار بگذاریم. به اعتقاد او کنار گذاشتن اصل موضعیت با نظریه‌ی نسبیت در تعارض بود زیرا مستلزم «کنش از راه دور» بود؛ کنار گذاشتن فرض «جدایی‌ناپذیری» هم از این جهت ممکن نبود که به اعتقاد او بدون فرض یک جدایی واضح بین اشیاء نمی‌توانیم قوانین فیزیک را به نحوی که تا به‌حال با آن آشنایی داشته‌ایم صورت‌بندی کنیم و آن‌ها را به آزمون بگذاریم.[5]

با عنایت به این‌که رابطه میان علت و معلول در رویدادها، تقارن زمانی ندارد، پس برای این‌که زنجیره علی به‌هم نخورد نیازمند این هستیم که هر ارتباطی بین آن‌ها با سرعتی کمتر از سرعت نور منتشر شود. همان‌طور که بل هم بیان کرده است: «برای

---

1. Local causality
2. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, 2004, p.53.
3. Charles. M, Robert. C, 1988.
4. Spooky action at a distance

۵. به نقل از: گلشنی، تحلیلی از دیدگاه‌های فلسفی فیزیکدانان معاصر؛

Einstein, A., In P.A. Schilpp, ed. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, Lasalle, III: Open Court, 1969, p.85; Born, M., *The Born-Einstein Letters*. London, Macmillan, 1971, p.170.

اجتناب از این‌که زنجیره علی در برخی چارچوب‌ها با گذشت زمان به عقب برنگردد (یعنی این‌که معلول زودتر از علت اتفاق نیفتد) نیازمند این هستیم که در هر چارچوب مرجعی رویدادها با سرعتی کمتر از سرعت نور اتفاق بیفتند».[۱] البته بل ادامه می‌دهد که این دیدگاه درباره‌ی علیت موضعی به اندازه کافی واضح و از نظر ریاضیاتی مشخص نیست و این‌جاست که برای فرمول‌بندی و بیان دقیق علیت موضعی از هستارها استفاده می‌کند و بیان می‌کند: «نظریه‌ای دارای علیت موضعی است که احتمالات نسبت داده شده به مقادیر هستارهای موضعی در ناحیه زمان‌گونه[۲] مستقل از مقادیری تخصیص داده شده به هستارهای موضعی در ناحیه فضاگونه[۳] باشند».[۴] فرمول‌بندی ریاضیِ بل از علیت موضعی بر حسب هستارها به شکل زیر است:

$$P(b_1|B_3, b_2) = P(b_1|B_3)$$

که در آن b_i مقدار یک هستار بخصوص در ناحیه فضا-زمانی i و B_i یک مشخصه ضروری از تمام هستارها در ناحیه مربوطه و p_s احتمالات منسوب شده توسط نظریه به رویداد b_i است. (اندیس i را می‌توان از ۱ تا ۳ تغییر داد) در این رابطه اندیس ۱ و ۳ مربوط به ناحیه فضاگونه و اندیس ۲ مربوط به ناحیه زمان‌گونه است.

با توجه به آن‌چه گفته شد در هستی‌شناسیِ نظریه‌های ما حتماً باید هستارهایی موجود باشند که موضعیت را، به بیانی که بل ارایه کرد، تضمین کنند، و بدون آن‌ها هستی‌شناسی نظریه چیزی کم دارد. اکنون با چنین تعاریفی از علیت موضعی و فرمول‌بندی آن بر اساس هستارها به بررسی بیشتر این موضوع می‌پردازیم که هستار چیست.

---

1. Bell, J.S., "La nouvelle cuisine" A. Sarlemijn and P. Kroes, ed. *Between Science and Technology*, Elsevier Science Publishers, 1990.

۲. ناحیه زمان‌گونه ناحیه‌ای است که در آن‌جا روابط علی و معلولی حاکم است و رویدادها با سرعتی کمتر از سرعت نور منتشر می‌شوند.

۳. ناحیه فضاگونه ناحیه‌ای است که در آن‌جا روابط علی و معلولی حاکم نیست.

4. Ibid, pp.232-248.

اهمیت معرفت‌شناختی هستارها

بل واژه‌ی هستار را در زمینه‌های مختلفی به‌کار می‌برد. در یک زمینه بل هستارها را مشابه کمیت‌های فیزیکی[1] (در مقابل کمیات غیرفیزیکی[2]) می‌داند که در نظریه کلاسیکی داشتیم. به‌عنوان مثال در نظریه الکترومغناطیس ماکسول میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی کمیت‌های فیزیکی و در نتیجه هستار هستند. در حالی‌که پتانسیل‌های الکتریکی و مغناطیسی غیرفیزیکی‌اند و در نتیجه هستار نیستند. به‌دلیل ناوردایِ پیمانه‌ای بودنِ این کمیت‌ها، پتانسیل‌های مختلف می‌توانند وضعیت‌های فیزیکیِ یکسانی را نمایش دهند؛ بنابراین با این‌که در تبدیلات کولنْ پتانسیلِ اسکالر با سرعتِ بی‌نهایت منتشر می‌شود مشکلی ایجاد نمی‌شود، زیرا بنا به فرضْ پتانسیلِ اسکالرْ واقعیت فیزیکی ندارد و تنها برای سهولت و به‌عنوان ابزار ریاضیاتی به کار می‌رود؛ پس پتانسیل اسکالر را نمی‌توان هستار به‌شمار آورد.

سپس او در زمینه دیگری پیشنهاد می‌دهد که هستارها را در چارچوب یک نظریه مفروض باید بتوان بر حسب عناصر کلاسیکی توصیف کرد چراکه «آن‌ها در جای مشخصی هستند». در این‌جا به نظر می‌رسد که او تحت تأثیر بور باشد اما صراحتاً اعلام می‌کند که «منظور از عناصر کلاسیکی نظریه‌های قرن نوزدهم نیست، بلکه تنها ارجاع به زبان آشنای سازوکارهای روزمره است که شامل فرایندهای آزمایشگاهی است و در آن‌جا خواصِ عینیِ هستارها به اشیاء منسوب می‌شود».[3] چنین هستارهایی باید لزوماً شامل چیزهایی باشد که قابل خوانش توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری باشد.

ذکر مثالی از بل می‌تواند به واضح‌تر شدن این توصیف کمک کند. بل تصریح می‌کند که مثلاً در نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی، صرفاً به این دلیل که حول مفهوم کلیدیِ «میدانِ کوانتومی» است، نباید انتظار داشت که هستار موضعیْ «میدان» باشد؛ یعنی

1. Physical quantities
2. Non- physical quantities
3. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, p.41.

چیزی که به‌طور پیوسته در فضا- زمان منتشر می‌شود. این‌طور نیست؛ چنان‌که گفتیم از نظر بل هستار موضعی حتماً باید در ارتباط با چیزی قابل خوانش توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری باشد؛ مثلاً بتوان با آن مکان اشیاء را که شامل موقعیت یا مکان نشانگر دستگاه اندازه‌گیری یا نقاط جوهر خروجی کامپیوتر است، تعیین کرد؛ این موضوع یک شرط اساسی برای انتخاب هستارهای موضعی است. با توجه به این امر، بل که ابتدا برای تعیین هستار موضعی در نظریه میدان‌های کوانتومی چگالی انرژی را در نظر گرفته بود، بعداً آن را کنار گذاشت و «چگالی تعداد فرمیون‌ها» را انتخاب کرد، زیرا به نظر او توزیع فرمیون‌ها احیاناً می‌تواند تعیین کننده‌ی موقعیت نشانگرها در دستگاه‌های اندازه‌گیری باشد.[۱]

مثالی دیگر از انتخاب هستار موضعی در نظریه GRW[۲] است. این نظریه در سطح ریاضیاتی محض و نه هستی‌شناسی تنها با تابع موج و تحول آن مشخص می‌شود. از آن‌جا که تابع موج یک شیء ریاضیاتی میدان‌مانندِ پیوسته است گمان می‌رود هر هستار موضعیِ مفروض در نظریه باید میدان مانند باشد، درحالی‌که انتخاب بل این‌گونه نبود؛ هستی‌شناسی کاملاً جدیدی را بنام «فلش»[۳] پیشنهاد کرد. جهش‌های GRW (که قسمتی از تابع موج‌اند، نه چیز دیگر) در فضای معمولی جایگزیده‌اند؛ یعنی هر کدام در نقطه فضا-زمانی خاصی مثل (x,t) متمرکز شده‌اند. بنابراین می‌توانیم این رویدادها[۴] را

1. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, p.174.

۲. نظریه‌ی GRW نظریه‌ای است که در سال ۱۹۸۶ توسط گیراردی، ریمینی و وبر برای حل مسئله‌ی اندازه‌گیری ارائه شد. مسئله‌ی اندازه‌گیری ناشی از این بود که معادله‌ی شرودینگر یک معادله‌ی خطی است که جواب‌های برهم‌نهی دارد، ولی در اندازه‌گیری ما با یک جواب متعین و مشخص مواجه می‌شویم. مکانیک کوانتومی معمولی توضیحی برای گذار از آن حالات برهمنهی به یک حالت مشخص (که اصطلاحاً تقلیل تابع موج نامیده می‌شود) نداشت و این نظریه با اصلاح معادله‌ی شرودینگر و تبدیل آن به یک معادله‌ی غیرخطی مدعی حلِ مسئله‌ی اندازه‌گیری است.

3. Flash
4. Events

به‌عنوان هستارهای اصلی و موضعی نظریه پیشنهاد دهیم. این رویدادها در نظریه همتاهای ریاضیاتیِ رویدادهای واقعی در جهان واقعی‌اند که در نقاط فضا و زمانی مشخصی قرار دارند. به عبارتی یک تکه از مادهٔ کهکشانی مجموعه‌ای از این رویدادهاست؛ این رویدادهایِ نقطه‌ایِ موضعی[1] «فلش» نامیده می‌شوند.[2]

با تأکید بر این نکته آغاز کردیم که هر نظریه‌ای باید شامل هستومندهایی باشد که وجود دارند و وجود آن‌ها مستقل از مشاهده است (هستارها)، ولی درعین‌حال با خوانش دستگاه اندازه‌گیری ارتباط دارند و بنابراین برخی از آن‌ها، نه لزوماً همه آن‌ها، باید موضعی باشند به این معنی که آن‌ها در ناحیه محدودی از فضا- زمان وجود دارند. در واقع با چنین فرضی است که زبان نظریه با داده گزارش داده‌های تجربی رابطه برقرار می‌کند. آن‌چه در آزمایشگاه به‌عنوان نتایج تجربی توصیف می‌شود بر حسب موقعیت‌های ماکروسکوپی اشیاء (نشانگرها) است؛ یا اگر نشانگری نباشد قطعاً دستگاه‌های اندازه‌گیری نتایج خود را در نهایت با یک موقعیت مشخص جوهر روی کاغذ (خروجی کامپیوتر) نشان می‌دهند. پس اگر نظریه‌ای رفتار نشانگرها و توزیع جوهر روی کاغذ را با دقت پیش‌بینی کند، این نظریه داده‌های گزارش شده تجربی را به درستی پیش‌بینی می‌کند. پس اهمیت مقیاس ماکروسکوپی در این است که هر چند می‌خواهیم درباره ساختار میکروسکوپی اشیاء بدانیم، ولی آزمون نظریه از طریق آگاهی از شواهد تجربی صورت می‌گیرد که همواره در نهایت چیزی جز واقعیت‌های مشاهده‌پذیر ماکروسکوپی نیست. بنابراین، یک نظریه باید بتواند توضیح درستی از شواهد ماکروسکوپی و نسبت آن با ساختار میکروسکوپی ارائه دهد. حتی اگر این توضیح برخی پیش‌فرض‌های ما درباره‌ی ساختار میکروسکوپی را نقض کند.[3]

با توجه به آن‌چه گفته شد، می‌توان نتیجه گرفت که معرفی «هستارها» توسط بل، و

1. Localized point events
2. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, p.205.
3. Maudlin, "The Nature of the Quantum State", *Wave Function.*

در نظر گرفتن قید «موضعی» برای آن‌ها (یعنی در یک کلام معرفی «هستارهای موضعی») در هستی‌شناسی نظریه‌ها، که مادلین (۲۰۱۳) آن را «هستی‌شناسی اولیه»[1] می‌نامد، تحت تأثیر ملاحظات معرفت‌شناختی بوده است - حتی اگر خودِ بل به آن تصریح نکرده باشد. این اندیشه بی‌شباهت با رویکرد روش‌شناختی پوپر در خصوص نظریه‌های علمی نیست که بر «آزمون‌پذیری تجربی» نظریه‌های علمی تأکید داشت. در واقع آن‌چه در این‌جا آزمون‌پذیری نظریه را تضمین می‌کند، وجود همین هستارهای موضعی در نظریه است که به‌مثابه‌ی پلی بین نظریه و آزمایش عمل می‌کند. در واقع نتایج آزمایشگاهی را می‌توان در قالب و برحسب هستارهای موضعی موجود در نظریه توضیح داد و اگر نظریه‌ای فاقد هستار موضعی باشد نمی‌توان بین تجربه آزمایشگاهی و نظریه ارتباط برقرار کرد. توضیح این‌که چگونه هستار به مثابه‌ی پلی بین نظریه و آزمایش عمل می‌کند را همان نظریه‌ای که هستار را معرفی می‌کند توضیح می‌دهد و از یک نظریه به نظریه‌ی دیگر متفاوت است.

در واقع هر نظریه فیزیکی باید شامل مجموعه‌ای از اطلاعات و داده‌های اولیه آزمایشگاهی باشد که به راحتی قابل مشاهده‌اند و بنابراین برای به آزمون گذاشتن مناسب‌اند. این داده‌ها را «مشاهده‌پذیرهای اولیه»[2] می‌نامیم. از آن‌جا که مشاهده‌پذیرهای اولیه باید شامل برخی واقعیت‌های فیزیکی باشند پس باید بتوان شرح یا توضیحی برای چگونگیِ مشاهده‌ی مشاهده‌پذیرهای اولیه به دست داد. انتخاب این‌که چه عنصری مشاهده‌پذیر اولیه محسوب می‌شود بخشی از فعالیت نظری در فرایند نظریه‌پردازی است که ممکن است در آن دچار اشتباه و خطا شد. برای کم شدن ریسک خطا بهتر است این مشاهده‌پذیرهای اولیه از میان مشاهده‌پذیرهایی انتخاب شود که با نظریه‌های رقیب مشترک است. مثلاً نیوتن در نظریه اش میان سرعت و فضا و زمان مطلق و سرعت و فضا و زمان نسبی تفاوت قائل می‌شود و می‌توان استنباط کرد که در

1. primitive ontology
2. Primary observables

نظر او دسته‌ی دوم که نسبی است در شمار مشاهده‌پذیرهای اولیه است. یا در ترمودینامیک، توزیع گرما در اشیاء ماکروسکوپی را می‌توان در زمره‌ی مشاهده‌پذیرهای اولیه دانست، زیرا همان‌طور که فوریه تأکید داشت این نوعی از واقعیت فیزیکی است که می‌تواند مستقیماً اندازه‌گیری شود. در واقع چنان‌که قبلاً هم تأکید کردیم، مفهوم مشاهده‌پذیرهای اولیه جلوه معرفت‌شناختی دارد، چراکه وقتی به کمیتی فیزیکی این عنوان اطلاق می شود که بدانیم چطور آن را به‌صورت آزمایشگاهی تعیین کنیم. البته باید توجه داشت که خود واقعیت‌های فیزیکی به مشاهده وابسته نیست، چراکه اعتقاد بر این است که مثلاً «حرکت نسبی» یا «توزیع گرما» در یک میله فلزی مستقل از این‌که مشاهده شوند یا نه، واقعیت دارند؛ آن‌ها جزئی از هستی‌شناسی نظریه‌اند.

به عبارتی، هر نظریه‌ی فیزیکی، دارای یک هستی‌شناسی مفروض است یعنی مجموعه‌ای از عناصری را که واقعیت فیزیکی در نظر گرفته می شوند، مشخص می‌کند. مشاهده‌پذیرهای اولیه باید در چارچوب این هستی‌شناسی تعیین شوند، در غیر این صورت ممکن است نظریه نتواند با داده‌ها و اطلاعات تجربی ارتباط برقرار کند. هم‌چنین مشاهده‌پذیرهای اولیه باید تابعی از زیرمجموعه «مناسبی» از هستی‌شناسی نظریه باشند، تا اگر قسمت‌هایی از هستی‌شناسی تغییر کرد یا رد شد، هم‌چنان بتوان همان نتایج آزمایشگاهی را به‌دست آورد. آن قسمت از هستی‌شناسی نظریه که مشاهده‌پذیرهای اولیه با توجه به آن‌ها انتخاب می‌شود همان «هستی‌شناسی اولیه» است.

مشاهده‌پذیرهای اولیه تابعی از هستی‌شناسی اولیه است، اگرچه ممکن است بین چیزهایی که در هر مقوله قرار می‌گیرند یک فاصله بزرگ باشد. مثلاً ممکن است مشاهده پذیرهای اولیه کمیت‌های ماکروسکوپی باشند در حالی‌که هستی‌شناسی اولیه هستومندهای میکروسکوپی باشند. از آن‌جا که هستی‌شناسی اولیه با توجه به مشاهده‌پذیرهای اولیه تعریف شده است، تقسیم کل هستی‌شناسی به اولیه و ثانویه قالب

معرفت‌شناختی دارد و تمایزی ماهوی و هستی‌شناسانه بین انواع متفاوتی از هستی‌شناسی محسوب نمی‌شود؛ دلیل این تمایز تنها این است که ما تشخیص دهیم با توجه به خود نظریه کدام قسمت از آن به‌صورت مستقیم مربوط به داده‌های آزمایشگاهی است، و کدام قسمت آن نظری.

هستارها لزوماً خودشان مشاهده‌پذیر نیستند، «مشاهده» به‌واسطه‌ی وجود هستارها ممکن می‌شود. یعنی نظریه به ما می‌گوید چگونه هستارها موجب می‌شوند ما چیزی را ببینیم. هستار چیزی است که بتواند مکان چیزی را در فضای معمولی (مانند مکان یک نشانگر) مشخص کند. واضح است که هر چیزی که نظریه به‌عنوان هستی‌شناسی اولیه فرض می‌گیرد قابل مشاهده مستقیم نیست و ممکن است گمانه‌زنی‌های زیادی در خصوص تعبیر آن وجود داشته باشد. مثلاً در ترمودینامیک، همان‌طور که فوریه بیان کرد، «توزیع گرما» در اشیاء معین جزء مشاهده‌پذیرهای اولیه است. ولی خودِ «توزیع گرما» قابل مشاهده‌ی مستقیم نیست؛ «توزیع گرما» به چه واقعیتی در هستی‌شناسی اشاره دارد؟ یک نظریه ترمودینامیکی ممکن است بر اساس یک نظریه‌ی متافیزیکی از گرما بگوید گرما ماده است (نظریه کالریک)، ولی نظریه‌ی متافیزیکی دیگر بگوید که گرما فقط حرکت مولکول‌ها است (نظریه جنبشی). در نظریه اول «کالریک» در شمار هستی‌شناسی اولیه است، درحالی‌که در دومی «حرکت میکروسکوپی مولکول‌ها» است که هستی‌شناسی اولیه به‌شمار می‌رود. ولی درعین‌حال، برای هر دو مورد از این توصیفات هستی‌شناختی (کالری و حرکت میکروسکوپی)، «توزیع گرما» مشاهده‌پذیر اولیه است و هر یک از آن نظریه‌های متافیزیکی نحوه‌ی ارتباط مشاهده‌پذیر اولیه را با هستی‌شناسی اولیه نظریه توضیح می‌دهد و به این اعتبار توضیحی قابل فهم از نظریه بیان می‌کند. نظریه زمانی قابل درک و قابل فهم است که مشخص باشد نظریه چه راه حلی برای چه مسائلی ارائه می‌کند و تا چه حد این راه‌حل‌ها از راه‌حل‌های نظریه‌ی رقیب بهتر است. به منظور ارزیابی تجربی این نظریه‌ها باید نحوه‌ی ارتباط هستی‌شناسی اولیه با

تجربه از طریق مشاهده‌پذیرهای اولیه مشخص باشد. بنابراین نقش و اهمیت هستارهای موضعیِ نظریه در فهم و آزمون‌پذیریِ نظریه مشخص می‌شود.

بل در بحث‌هایش درباره هستارهای موضعی[1] دقیقاً به همین دلیل چگالی تعداد فرمیون‌ها را به‌عنوان هستار موضعی معرفی می‌کند. توزیع دقیق فرمیون‌ها که مادلین آن را هستی‌شناسی اولیه می‌نامد مشاهده‌پذیر مستقیم نیست، حتی وجود فرمیون‌ها نیز مشاهده‌پذیر اولیه نیست زیرا تنها با نگاه کردن نمی‌توان گفت که این نشانگر از فرمیون‌ها تشکیل شده نه چیز دیگر. اما «توزیع فرمیون‌ها»، اگر وجود آن‌ها را فرض بگیریم، و با در نظر گرفتن نقشی که آن‌ها در تشکیل اشیاء قابل مشاهده بازی می‌کنند، برای بررسی نتایج تمام داده‌ها کافی است چراکه با در نظر گرفتن این فرض، مشاهده‌پذیرهای اولیه تماماً تابعی از توزیع فرمیون‌ها هستند. با عنایت به توضیحاتی که داده شد می‌توان گفت که ملاحظات معرفت‌شناختی بر انتخاب بل از هستارهای موضعی تأثیر داشته است حتی اگر صراحتاً به آن‌ها اشاره نکرده باشد.

با این توضیحات می‌توان ادعا کرد که هستی‌شناسی اولیه هر نظریه‌ای همان هستارهای موضعی نظریه است. از آن‌جا که هر نظریه‌ای شامل مشاهده‌پذیرهای اولیه است، این مشاهده‌پذیرها تابعی از هستی‌شناسی اولیه یا همان هستارهای موضعی‌اند. پس تمام نظریه‌ها باید در هستی‌شناسی خود دارای هستی‌شناسی اولیه یا هستار موضعی باشند، چراکه بدون آن‌ها تعبیر واقعیت‌های مشاهده‌پذیر دشوار است، یا این‌که چنان‌که بل می‌گوید مانند تعبیر ارتدوکس باید تعبیری ذهنی و وابسته به ناظر و مشاهده‌گر از آن ارایه کرد.[2] در حالی که بل نشان می‌دهد چگونه تعابیر بدیلی مانند نظریه‌ی بوهم-دوبروی یا GRW یا تقریر خود بل از نظریه‌ی اورت با ارائه‌ی هستارهای اولیه عینیت را حفظ می‌کنند. در تعبیر استاندارد تابع موج دانسیته‌ی یک امر عینی را به دست نمی‌دهد؛ دانسیته‌ی احتمالْ، آن‌هم تعبیر ذهنی از احتمال، را به دست می‌دهد: احتمال این‌که

1. Local Beables
2. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, p.160.

الکترون در مکان مشخصی باشد را نمی‌دهد، احتمال این را می‌دهد که اگر مکان الکترون «اندازه‌گیری» شود، در آن مکان «یافت شود»![1] یعنی این نظریه توصیفی نه درباره‌ی واقعیتِ مستقل از ما و اندازه‌گیری‌های ما، بلکه توصیفی درباره‌ی شناخت ما و باورهای و مشاهدات ما به دست می‌دهد. در حالی‌که این وضعیت عدول از رویکرد واقع‌گرایانه به علم است.

آیا تابع موج هستار موضعی است؟

تابع موج که نمایش ریاضی حالت کوانتومی است یکی از عناصر مهم و کلیدی در نظریه کوانتومی است که جایگاه بخصوصی را در هستی‌شناسی این نظریه به خود اختصاص داده است. در این‌که اساساً تابع موج را می‌توان هستار به‌شمار آورد یا خیر، بحث‌های فراوانی وجود دارد. جان بل صراحتاً تقلیل تابع موج[2] را هنگام اندازه‌گیری[3] غیر موضعی می‌داند، اما در ادامه بیان می‌کند که اگر تابع موج را هستار در نظر نگیریم و آن را صرفاً یک ابزار ریاضی برای صورت‌بندی همبستگی میان فرایندهای آزمایشگاهی و نتایج آزمایشگاهی تلقی کنیم، دیگر مسئله‌ای به وجود نمی‌آید. در واقع در این‌جا بل تابع موج را یک رابط ریاضیاتی میان دسته‌ای از هستارها با دسته دیگری از هستارها می‌داند. او در این‌جا تابع موج را مشابه پتانسیل کوانتومی یک عنصر غیرفیزیکی تفسیر می‌کند، زیرا همانند پتانسیل کوانتومی تحت تبدیلات پیمانه‌ای ناوردا است یا به عبارتی برای یک حالت فیزیکی کوانتومی نمایش‌های متفاوتی از تابع موج وجود دارد.

در ابتدا تأکید کردیم که تابع موج نمایش ریاضی آن چیزی است که «حالت کوانتومی» می‌نامیم؛ در واقع مادلین بر این تفکیک تأکید دارد زیرا بین خودِ «عنصر

1. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, p.228.
2. Collapse of wave function
3. measurement

فیزیکی و نمایش» ریاضی آن تفاوت قائل است.[1] می‌دانیم هر نظریه‌ای که نظریه کوانتومی خوانده شود یک عنصر فیزیکی به اسم «حالت کوانتومی»[2] در هستی‌شناسی خود دارد. مادلین نه تابع موج، بلکه خود «حالت کوانتومی» را هستار می‌داند. زیرا اولاً تابع موج هستار غیرموضعی است، ثانیاً نه در فضای معمولی سه‌بعدی بلکه در فضای پیکربندی[3] 3N بعدی منتشر می‌شود؛ حتی خود بل هم پرسش از فاز یا دامنه تابع موج در فضای معمولی را بی‌معنی می‌داند زیرا فاز یا دامنه تابع موج نمی‌تواند در فضای سه‌بعدی دارای واقعیت باشند.[4] پس از آن‌جا که تابع موج هستار موضعی نیست، هر نظریه‌ای که خود را تنها متعهد به وجود تابع موج کند، با این چالش مواجه می‌شود که توصیفی از جهان فیزیکی ارائه داده است که شامل هستار فیزیکی موضعی نیست.

با توجه به آن‌چه در مورد هستی‌شناسی تابع موج از منظر هستارها بیان کردیم مسئله‌ای وجود دارد که جای بحث و بررسی دارد. اگر حالت کوانتومی هستار باشد، پس نظریه باید آن را به‌عنوان «واقعیت فیزیکی» در نظر بگیرد. با توجه به این‌که تابع موج، که نمایش ریاضی حالت کوانتومی است، شرایط هستار بودن را ندارد، پس با شکافی بین حالت کوانتومی و تابع موج، که نمایش ریاضی آن است، مواجهیم. در واقع بین خود عنصر فیزیکی و نمایش ریاضی آن شکافی وجود دارد، چندان‌که می‌تواند منجر به این شک شود که این صورت‌بندی ریاضی شاید شکل صحیحی از نمایش عنصر فیزیکی نباشد؛ شاید شکل ریاضی تابع موج برای نمایش «حالت کوانتومی» صحیح نیست و این نمایش ریاضی چیزی کم دارد، بالأخص چیزی که بتواند آن را از فضای پیکربندی 3N بعدی به فضای معمولی ۳ بعدی ربط دهد.

البته اگر واقعیت فیزیکی را به فضای سه‌بعدی محدود نکنیم و بپذیریم که حالت

1. Maudlin, "The Nature of the Quantum State", *Wave Function*.
2. Quantum state
3. Configuration space
4. Bell, *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, pp.204-205.

کوانتومی در فضای پیکربندی 3N بعدی دارای واقعیت فیزیکی است، دیگر این مشکل را نخواهیم داشت، اما در این صورت باید رئالیسم تابع موج را به صورتی که آلبرت ادعا می‌کند بپذیریم. که در آن صورت با مشکلات فلسفیِ دیگری مانند «مسئله‌ی ادراک» مواجه می‌شویم.[1] زیرا وقتی بپذیریم حالت کوانتومی در فضای پیکربندی 3N بعدی دارای واقعیت فیزیکی باشد، در این صورت همان‌طور که آلبرت بیان می‌کند، فضای پیکربندیْ فضای بنیادی است و فضای سه بعدی اطراف ما که در آن زندگی می‌کنیم «توهم» است. در این صورت با سؤالاتی از این قبیل روبه‌رو می‌شویم که جایگاه اشیاء سه بعدی اطراف ما چون میز و صندلی و انسان‌ها و ... در این فضای 3N بعدی کجاست؟ و نمود یا تظاهر این اشیاء در این دنیای سه بعدی معمولی چگونه است و چرا ما واقعیت 3N بعدی را سه بعدی می‌بینیم؟

نتیجه

تفسیر رایج از مکانیک کوانتومی، یک تفسیر ذهنی است، به این معنا که وابسته به «اندازه‌گیری» و «مشاهده»ی ناظر است، این در حالی است که تلقی رئالیستی متضمن این است که نظریه‌ها توصیفی از واقعیتِ مستقل از ناظر و مشاهدات و اطلاعات او ارائه کنند. بنابراین آزمون نظریه در مکانیک کوانتومی از نظر رئالیستی تعبیر روشنی ندارد، زیرا رابطه‌ی نظریه با واقعیت روشن نیست؛ نظریه‌ی کوانتومی نظریه‌ای درباره‌ی نتایج اندازه‌گیریِ ناظر است، نه درباره‌ی واقعیت مستقل از ناظر. نظریه‌ی کوانتومی برای حصول عینیت و فهم نسبت نظریه با واقعیت نیازمند چیزی در هستی‌شناسی است که ارتباط نظریه با واقعیت فیزیکی را حفظ کند. برای امکان حفظ زنجیره‌ی علّی و پیوستگی

1. Albert, D.Z., "Elementary Quantum Metaphysics", *Bohmian Mechanics and Quantum Theory: An Appraisal. Dordrecht: Kluwer*, 1996; Idem, "Wave Function Realism", A.Ney, ed. *Wave Fuction*, Oxford University Press, 2013.

تأثیر و تأثرات و امکان صورت‌بندی قوانین علمی فرض «جدایی‌پذیری» ضرورت دارد. این نیازِ هستی‌شناختیْ موضعی بودن هستارها را ضروری می‌سازد. هستارها هم‌چنین تضمین کننده‌ی عینیت معرفت‌شناختی هستند و بدون آن‌ها نظریه کوانتومی به‌جای این‌که توصیف و تبیینی از واقعیت مستقل از ذهن ارائه کند، نظریه‌ای خواهد بود درباره‌ی «مشاهدات» و «اندازه‌گیری» ما. تابع موج یا حالت کوانتومی نمی‌توانند چنین نقشی را ایفا کنند، زیرا اولاً تابع موج صرفاً ابزاری ریاضی برای نمایش حالت کوانتومی است، و ثانیاً حالت کوانتومی هم با توجه به نمایشی که تابع موج روی فضای 3N بعدی ارائه می‌دهد روی تمام فضا تعریف می‌شود و ناموضعی است و سوای از آن، معنای واقعیت در فضای 3N بعدی، روشن نیست، زیرا ما آزمایش‌های خود را در فضای سه بعدی فیزیکی انجام می‌دهیم و تجارب ما در این فضای سه بعدی قابل فهم است. بنابراین نه تابع موج و نه حالت کوانتومی نمی‌توانند نقش «هستار موضعی» را برای مکانیک کوانتومی ایفا کنند. مطابق بازسازی بل از نظریه‌های رقیب بوهم-دوبروی و اورت و GRW، هر یک از این نظریه‌ها در هستی‌شناسی خود هستارهایی موضعی را معرفی می‌کنند ولی در هر حال هنوز توافقی بر سر این‌که واقعاً هستارهای موضعی چه هستند وجود ندارد، ما تنها می‌دانیم آن‌ها هر چه هستند باید چه نقشی را در نظریه ایفا کنند و باید موضعی باشند. در غیر این‌صورت مکانیک کوانتومی را نمی‌توان نظریه‌ای تمام‌عیار دانست، زیرا بدون این هستارهای اولیه، نظریه تنها دستورالعمل‌هایی برای محاسبات و پیش‌بینی ارائه می‌کند و انتظاری را که از یک نظریه می‌رود، یعنی توصیف و تبیین واقعیت (یا به‌طور کلی واقع‌نمایی) برآورده نمی‌سازد.

منابع

گلشنی، مهدی، تحلیلی از دیدگاه‌های فلسفی فیزیکدانان معاصر، تهران، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، ۱۳۸۵ش.

Albert, D.Z., "Elementary Quantum Metaphysics", *Bohmian Mechanics and Quantum Theory: An Appraisal, Dordrecht: Kluwer*, 1996.

Idem, "Wave Function Realism", A.Ney, ed. *Wave Fuction*, Oxford University Press, 2013.

Bell, J.S., "The Theory of Local Beables", *Sixth GIFT Seminar. Geneva*, 1975.

Idem, "La nouvelle cuisine" A. Sarlemijn and P. Kroes, ed. *Between Science and Technology*. Elsevier Science Publishers, 1990.

Idem, "Beables for Quantum Feld Theory", Bell, J.S. *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, 2004.

Idem, "Quantum Mechanics for Cosmologists", Bell, J.S. *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, 2004.

Idem, "Subject and object", Bell, J.S. *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, 2004.

Idem, "The Theory of Local Beables", Bell, J.S. *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, 2004.

Bohr, N., *Atomic Theory and the Description of Nature*, Cambridge, Cambridge University Press, 1934.

Born, M., *The Born-Einstein Letters*, London, Macmillan, 1971.

Cropper, W., The Quantum Physicists, Oxford, Oxford University Press, 1970.

Durham, I.T., *Bell's Theory of Beables and The Concept of Universe*, Springer Nature Switzerland, 2019.

Einstein, A., In P.A. Schilpp, ed. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*, Lasalle, III: Open Court, 1969.

Heisenberg, W., "Planck's Quantum Theory and the Philosophical Problems of Atomic Physics", Brody & Capaldi *Science, Men,*

Method, Goals. New York: Benjamin, 1968.
Holton, G. & Elkana, Y., *Albert Einstein: Historical and Cultural Perspectives*. Princeton, Princeton University Press, 1979.
Laudan, L., "A Confutation of Conversgent Realism". Leplin, J. *Scientific Realism*, University of California Press, 1984.
Maudlin, T., "The Nature of the Quantum State", *Wave Function*. Oxford University Press, 2013.
Maudlin, T., n.d. "Local Beables and the Foundation of Physic".
Miller, D., *Critical Rationalism*, Open Court, 1994.
Popper, K.R., *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*, Revised edition ed. Oxford University Press, 1979.
Idem, *Quantum Theory and the Schism in Physics*, New Jersey, Rowman and Littlefield, 1982.
Idem, *The Logic of Scientific Discovery*, original published in German in 1934; first English translation in 1959, London and New York, Routledge, 2002 [1934/1959].