Zehn
Home Page: zehn.iict.ac.ir
the Research Institute for Islamic Culture and Thought ISSN: 1735-0743

An Ontological Approach to "Uncertainty Principle" Based on Sadraian Substantial Motion

Khadijeh Shakerin[✉1] | **Habibollah Razmi**[2] | **Hamid Reza Shakerin**[3]

1. Ph.D. Student of philosophy of phsics of Baqir al-Olum University, Qom, Iran. E-mail: kh.shakerin@gmail.com
2. Professor at "the Department of Physics" of Faculty of Basic Sciences in University of Qom, Qom, Iran. E-mail: razmi@qom.ac.ir
3. Full Professor at "the logic of understanding religion Department" in Research Institute for Islamic Culture and Thought (IICT). E-mail: Shakerinh@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 9 November 2024
Received in revised form 23 February 2025
Accepted 28 ebruary 2025
Published online 21 March 2025

Keywords:
Quantum Theory, Uncertainty Principle, Non-Localizability, Sadraian Wisdom, Substantial Motion.

ABSTRACT

Quantum theory has been one of the most important theories in modern physics for the past century, and has been highly successful in terms of empirical confirmations and predictions, especially in the microscopic world. Alongside these successes, quantum physics has been deeply troubled by the philosophical challenges posed by its principles and assumptions. Among the most important of these is the Heisenberg uncertainty principle, to which many studies and theories have been devoted to various interpretations or related philosophical foundations. The present paper, after briefly discussing the various interpretations known about the uncertainty principle, seeks an ontological explanation of this principle based on Sadraian substantial motion. To do this, we've taken advantage of the non-localizability of quantum objects, which can be a causal link between quantum uncertainty at the surface of natural objects, on the one side, and the inherent change that this motion causes at its fundamental level.

Cite this article: Shakerin, K; Razmi, H; Shakerin, HR (2025). An Ontological Approach to "Uncertainty Principle" Based on Sadraian Substantial Motion, *Zehn*, 26 (1), 5-30.
https://doi.org/10.22034/ZEHN.2025.2047830.2075

©The Author(s). **Publisher:** Research Institute for Islamic Culture and Thought
DOI: https://doi.org/10.22034/ZEHN.2025.2047830.2075

Extended Abstract

Introduction: The extreme supporters of the Copenhagen interpretation of standard quantum theory consider uncertainty principle to be an ontological and inherent aspect of nature, accepting it without proof. Consequently, they refer to it as an intrinsic "principle". According to this view, uncertainty is not related to the limitations of human knowledge and tools. Although the concept of uncertainty is also encountered in classical physics, the difference lies in the fact that there, uncertainty pertains to measurement errors or the meaning of standard deviation and errors in statistical systems, which are not inherent. The ontological perspective on uncertainty has two significant philosophical implications:

1. It asserts that chance governs nature and denies causality.
2. It opposes and questions the existence of an external world independent of the act of observation (realism). According to the Copenhagen interpretation, reality is created through the act of observation.

These philosophical implications have led some physicists to adopt an alternative view in response to the Copenhagen perspective in order to justify the origin of uncertainty. In this context, two fundamental questions arose in the minds of scientists:

1. Can uncertainty have a philosophical expression?
2. How can the philosophical challenges posed by the Copenhagen interpretation, such as the denial of realism, be resolved?

What this article seeks to explore in a different way is the search for a new solution to address the philosophical challenges of quantum theory. Essentially, are the philosophical discussions considered a threat, or do they open a new path for science towards transformation and evolution? Can a philosophical foundation be imagined that, on one hand, considers uncertainty within the context of existence and reality (ontological perspective), and on the other hand, is compatible with causality and realism?

The present paper, after briefly discussing the various

interpretations known about the uncertainty principle, seeks an ontological explanation of this principle based on Sadraian substantial motion. This has been done by considering the non-localizability of quantum objects, which can be a causal link between quantum uncertainty at the surface of natural objects, on the one side, and the inherent change that this motion causes at its fundamental level

Methods: This is a library based research by considering international research works as books and articles on the foundations of quantum theory from one side and Islamic philosophical (especially those corresponding to Sadraian philosophy) notes and writings about substantial motion from other side. By a comprehensive, comparative, and conceptual analysis, it has been attempted to find out the main aim under consideration in this research work.

Findings: It has been found that one can use a new different approach to reinterpret and support the so-called uncertainty principle in the standard quantum theory based on a fundamental ontological consideration using the deep view of Mulla Sadra philosophy on the substantial motion of objects. This has been achieved by considering the substantial motion as the origin of the non-localizability of quantum objects which itself can be considered as the origin of the intrinsic uncertainty known in quantum physics.

Conclusion: Heisenberg's uncertainty principle, as one of the most important principles of standard quantum theory, has been used by some philosophers, philosophers of science, and even physicists to challenge certain deep and accepted philosophical foundations in classical physics. Notably, some prominent figures such as Einstein and Bohm have attempted to demonstrate the incompleteness of standard quantum theory or to propose alternative theories. They sought to accept the uncertainty principle as merely a measurement error, or as a relationship of indeterminacy rather than an inherent principle of nature, or as a statistical deviation, in order to preserve philosophical principles such as realism and causality. Two general approaches have been adopted regarding the uncertainty principle:

1. Acceptance of this principle while avoiding philosophical

discussions or setting aside important principles such as realism and causality (the combination of these two views constitutes the prevailing and standard perspective);

2. A critical viewpoint towards it, seeking to provide a better and more complete interpretation (often epistemological) of the standard theory or even to discover alternative theories.

This article attempts to provide a fundamental explanation for quantum uncertainty from a different and ontological perspective, utilizing the concept of substantial motion in Sadra's philosophy, which is based on realism and causality. This explanation is grounded in the inherent change and motion resulting from the substantial motion of objects, which can align with the non-localizability characteristic of quantum objects. The concept of non-localizability of quantum objects introduces and justifies the natural duality of wave-particle behavior, as well as the simultaneous indeterminacy of incompatible quantities such as position and momentum (Heisenberg's uncertainty).

Apart from the specialized and specific discussion related to the content of this article, more generally, this research can be considered as an example of introducing richness of Sadra's philosophy for the foundation and reinterpretation of modern natural theories and phenomena.

ذهن
سایت نشریه: zehn.iict.ac.ir
انتشارات پژوهشگاه فرهنگ و اندیشه اسلامی
شاپای چاپی:۰۷۴۳-۱۷۳۵

نگاهی هستی‌شناسانه به «اصل عدم‌قطعیت» براساس حرکت جوهری صدرایی

خدیجه شاکرین[۱] | حبیب‌الله رزمی[۲] | حمیدرضا شاکرین[۳]

۱. دانشجوی دکتری فلسفه فیزیک، دانشگاه باقرالعلوم قم، ایران. kh.shakerin@gmail.com
۲. استاد تمام گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه قم، ایران. razmi@qom.ac.ir
۳. استاد تمام گروه علمی منطق فهم دین، پژوهشگاه فرهنگ و اندیشه اسلامی، قم، ایران. shakerinh@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۸/۱۹
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۱۲/۰۵
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۱۲/۱۰
تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۰۱/۰۱

واژگان کلیدی:
نظریه‌ی کوانتوم، اصل عدم‌قطعیت، غیرجایگزیدگی، حکمت صدرایی، حرکت جوهری.

چکیده

نظریه‌ی کوانتوم یکی از مهم‌ترین نظریات مطرح شده در فیزیک مدرن طی یک قرن گذشته بوده که به لحاظ تأییدات و پیش‌بینی‌های تجربی به‌خصوص در دنیای میکروسکوپی بسیار موفق عمل کرده است. در کنار این موفقیت‌ها با یکسری چالش‌های فلسفی ناشی از اصول و پیش فرض¬های خود درگیر بوده است. از مهم‌ترین این اصول، عدم قطعیت هایزنبرگ است که تا کنون پژوهش‌ها و نظریه‌پردازی‌های بسیاری راجع به تفسیرهای مختلف و یا مبانی فلسفی مربوط به آن اختصاص یافته‌اند. نوشتار حاضر، پس از بیان کوتاهی پیرامون تفسیرهای متفاوت از اصل عدم قطعیت، به دنبال توضیحی هستی‌شناسانه از این اصل هماهنگ با حرکت جوهری در فلسفه‌ی صدرایی می‌باشد. به نظر می‌رسد ویژگی غیرجایگزیدگی اشیاء کوانتومی می¬تواند به نحوی حلقه‌ی وصل بین عدم قطعیت کوانتومی در سطح رویین اجسام طبیعی، و تغییر ذاتی ناشی از این حرکت در سطح بنیادین آنها باشد.

استناد: شاکرین، خدیجه؛ رزمی، حبیب‌الله؛ شاکرین، حمیدرضا (۱۴۰۴). نگاهی هستی‌شناسانه به «اصل عدم‌قطعیت» براساس حرکت جوهری صدرایی، *ذهن*، ۲۶ (۱)، ۳۰-۵. https://doi.org/10.22034/ZEHN.2025.2047830.2075

©نویسندگان.

ناشر: پژوهشگاه فرهنگ و اندیشه اسلامی
DOI: https://doi.org/10.22034/ZEHN.2025.2047830.2075

مقدمه

از زمان ظهور فیزیک کوانتومی برپایه‌ی اصل عدم‌قطعیت، دانشمندان به‌دنبال یافتن توضیحی برای منشأ این اصل می‌باشند. هر شیء کوانتومی با تابع موجی توصیف می‌شود که مجذور اندازه‌ی آن، چگالی احتمال حضور ذره در ناحیه‌ی مفروض را بیان می‌کند. حال باید دید آیا صحبت از عدم‌قطعیت و احتمال بدین‌معنا است که نمی‌دانیم «واقعاً» چه اتفاقی می‌افتد؟ یا محدودیتی است بنیادی بر آنچه می‌توانیم بدانیم؟! که از ناپایداری ذاتی طبیت فیزیکی ناشی می‌شود.

ازهمین‌رو، اظهارنظرهای متفاوتی در مورد چگونگی تفسیر عدم‌قطعیت صورت پذیرفته، رویکردهای مختلفی در مواجهه با عدم‌قطعیت و پذیرش «اصل» بودن یا نبودن آن اتخاذ شده است. ولی رایج‌ترین آن‌ها، تفسیری است از ورنر هایزنبرگ (Werner Karl Heisenberg) و نیلز بور (Niels Henrik David Bohr) رئیس بنیاد فیزیک نظری کپنهاگ، که به احترام وی، به تعبیر کپنهاگی شهرت یافته و مورد قبول اکثر فیزیک‌دانان واقع شده است.

به‌عقیده‌ی بنیان‌گذاران مکتب کپنهاگی جهانی ورای جهان تجارب یا وجود ندارد و یا قابل دسترسی نیست. در نگاه آنان، نظریه‌ها چیزی جز ابزار محاسبه نیستند و تنها چیزهایی واقعی تلقی می‌شوند که نتیجه‌ی اندازه‌گیری یا مشاهده باشند (گلشنی، ۱۳۹۰، ص۴۲). عدم‌قطعیت در تعبیر کپنهاگی به‌خود طبیعت منتسب می‌شود و ویژگی عینی طبیعت است، نه یک محدودیت برای معرفت بشری (Werner Heisenberg, Physics and Philosophy, p. 46-57 & Physics and Beyond. P. 71-81).

مطابق این دیدگاه نظریه‌های علمی، بازنمودهای طبیعت تلقی می‌شوند هرچند این بازنمودها، محدود و ناکاملاًند. این محدودیت‌ها به ما کمک می‌کنند تا به‌یاد داشته باشیم که ساکنان قلمروی اتمی از نوعی هستند که با چیزهایی که در تجربه‌ی روزمره مشاهده می‌کنیم بسیار متفاوتند؛ ولی این بدان‌معنا نیست که آن‌ها از واقعیت کمتری برخوردارند. به‌جای این فرض که الکترون دارای مکان و سرعتی دقیق و معین باشد که برای ما ناشناخته است، باید گفت که الکترون، اساساً از آن نوع موجوداتی نیست که همواره دارای چنین خواصی باشد. عمل مشاهده، در اینجا عبارت است از بیرون کشیدن و برگزیدن یکی از امکان‌های فراوان از میان «توزیع احتمالاتی» موجود. از این دید، تأثیر مشاهده‌گر، برهم‌زدن یک مقدار دقیق قبلی - هرچند نامعلوم - نیست، بلکه عبارت است از به فعلیت واداشتن یکی از بالقوگی‌های متعدد موجود. فعالیت مشاهده‌گر، به‌صورت بخشی از سرگذشت و تاریخ رویداد اتمی درمی‌آید، ولی این یک تاریخ عینی است و حتی اتمی که به حال

خود رها شده و خودبه‌خود متلاشی می‌گردد؛ نیز از تاریخ خاص خود برخوردار است. طبق این تفسیر عدم‌قطعیت ویژگی جهان است. هایزنبرگ این را «بازگشت مفهوم بالقوگی» می‌نامد؛ البته نه بالقوگی به‌معنای ارسطویی یعنی «تلاش برای نیل به یک غایت در آینده»، بلکه به‌معنای دربردارندگی دامنه‌ای از امکان‌ها؛ بنابراین آینده صرفاً نامعلوم نیست، بلکه نامتعین است و راه‌های بدیل پیش‌بینی‌ناپذیری فراروی آن است. بالقوگی و تصادف اموری عینی‌اند نه صرفاً پدیده‌هایی ذهنی (ایان باربور، ۱۳۹۲، ص۳۹۱-۳۹۲).

روشن است که طرفداران افراطی مکتب کپنهاگی عدم‌قطعیت را مقوله‌ای هستی‌شناسانه و ذاتیِ طبیعت می‌دانند و آن را بدون اثبات می‌پذیرند. در نتیجه از آن به‌عنوان «اصل عدم‌قطعیت» تعبیر می‌کنند. طبق این دیدگاه، عدم‌قطعیت ارتباطی با محدودیت دانش و ابزار بشری ندارد. اگرچه در فیزیک کلاسیک نیز با مفهوم عدم‌قطعیت مواجه هستیم، اما تفاوت در این است که آنجا عدم‌قطعیت مربوط به‌خطای اندازه‌گیری یا به‌معنای انحراف‌معیار و خطا در سیستم‌های آماری است که آن خطا، ذاتی نیست.

نگاه هستی‌شناسانه به عدم‌قطعیت، دو پیامد مهم فلسفی در پی دارد:

۱) شانس را بر طبیعت حاکم می‌داند و علیت را انکار می‌کند.

۲) با وجود جهان خارجی مستقل از عمل مشاهده (رئالیسم) مخالفت می‌کند و آن را زیر سؤال می‌برد. مطابق تعبیر کپنهاگی، واقعیت با عمل مشاهده خلق می‌شود.

این پیامدهای فلسفی سبب شد برخی از فیزیک‌دانان در مقابل دیدگاه کپنهاگی به‌منظور توجیه عامل عدم‌قطعیت، نگاه دیگری اتخاذ کنند. در همین راستا، دو پرسش اساسی در ذهن دانشمندان شکل گرفت:

۱) آیا عدم‌قطعیت می‌تواند یک بیان فلسفی داشته باشد؟

۲) چالش‌های فلسفی ایجاد شده در مکتب کپنهاگی، همچون نفی رئالیسم، چگونه مرتفع می‌گردد؟

آنچه مقاله‌ی حاضر به‌شکل متفاوتی دنبال می‌کند، یافتن راه‌حل جدیدی جهت برطرف کردن چالش‌های فلسفی نظریه‌ی کوانتوم است. اساساً مباحث فلسفی صورت گرفته به‌عنوان تهدید تلقی می‌شود یا مسیر جدیدی به روی علم جهت تحول و تکامل می‌گشاید؟ آیا می‌توان یک بنای فلسفی تصور کرد که از طرفی عدم‌قطعیت را در متن هستی و واقعیت بداند (نگاه هستی‌شناختی)، و ازسوی‌دیگر با علیت و رئالیسم سازگار باشد؟

الف) پیشینه عدم‌قطعیت

در قرن بیستم انقلابی در فیزیک کلاسیک رخ داد که منجر به‌ظهور و تکامل دو نظریه‌ی مهم بنیادی شد: نخست نظریه‌ی نسبیت، و دوم نظریه‌ی کوانتوم.

صورت‌بندی ریاضی مکانیک کوانتومی در سال‌های ۱۹۲۵-۱۹۲۷م با تلاش هایزنبرگ، شرودینگر (Schrodinger)، دیراک (Dirac) و بورن (Born) پایه‌ریزی شد. هایزنبرگ نظریه‌ی کوانتوم را به‌شکل مکانیک ماتریسی، و پس از آن شرودینگر همین نظریه را در قالب مکانیک موجی ارائه کرد. البته دیری نگذشت که ثابت شد هر دو قالب در حقیقت یکسان است؛ گرچه مکانیک موجی ابزار مفیدتری می‌نمود (گاسیوروویچ، ۱۳۸۶، ص۱-۳۸).

در سال ۱۹۲۷م بور، هایزنبرگ و بورن برای آن تعبیری عرضه کردند که به تعبیر کپنهاگی (Copenhagen interpretation) موسوم گشت. نظریه‌ی کوانتوم برمبنای دو اصل بسیار کلیدی، یعنی اصل عدم‌قطعیت (Uncertainty Principle) و دوگانگی موج‌ـذره (Wave-Particle Duality) بنا شد؛ در ادامه به توضیح بیشتری پیرامون این مفاهیم خواهیم پرداخت.

در فیزیک کلاسیک نیوتونی، با داشتن شرایط اولیه و نیروهای وارد بر سیستم، رفتار دقیق بعدی سیستم فیزیکی (مسیر یکتا) مشخص می‌شد. در آنجا، «موقعیت» ابتدایی‌ترین و بنیادی‌ترین مشخصه‌ی سیستم فیزیکی به‌حساب می‌آمد؛ چراکه با تعیین موقعیت، سایر مشخصات فیزیکی نظیر سرعت قابل محاسبه بود. به‌همین‌دلیل مکانیک کلاسیک را کاملاً موجبیتی (Deterministic) می‌دانستند. با پیدایش فیزیک کوانتومی پرسش‌های مهمی به ذهن می‌رسد؛ ازجمله:

آیا در جهان فیزیکی با ابعاد ریز همچنان موجبیت برقرار می‌ماند؟

آیا مفاهیم کلاسیکی مانند مکان دقیق، تکانه‌ی دقیق و مسیر یکتای ذره در مقیاس میکروسکوپی (حوزه‌ی مکانیک کوانتومی) نیز دارای اعتبار است؟

آیا تحویل‌پذیری (Reductionism) در سیستم‌های کوانتومی برقرار می‌ماند؟

رویکرد فیزیک کوانتومی نسبت به‌وجود جهان خارج (مستقل از آزمایش و مشاهده) چگونه است؟

نتایج و مشاهدات فیزیک کوانتومی با مبانی فلسفی سازگاری دارد؟

برای یافتن پاسخ پرسش‌های بالا ابتدا لازم است با مفهوم جدید تابع موج در فیزیک کوانتومی آشنا شویم. در دنیای کوانتومی با سیستمی سروکار داریم که موجود است، کمیت فیزیکی دارد، آن را آزمایش می‌کنیم ولی موقعیت معین ندارد! در نتیجه عمل اندازه‌گیری بر روی سیستم‌های یکسان

میکروسکوپی، لزوماً به نتایج مشابه منجر نمی‌شود. با آزمایش‌های صورت گرفته می‌توان نتیجه گرفت که در محدوده‌ی مکانیک کوانتومی، اشیاء (ذرات) کوانتومی حالت دوگانه دارند: گاهی موجی و در مواردی ذره‌ای عمل می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که جمع این دو از نامشخص بودن حالت ذره (شیء) حکایت دارد. تمامی این حالات نامشخص با ابتکار و هوشمندی شرودینگر در موجودی به‌نام تابع موج نمود پیدا کرد. تابع موج حالت شیء کوانتومی[1] را توصیف می‌کند. اگرچه تابع موج یک موجود فیزیکی خالص نیست، اما سه ویژگی اساسی دارد:

۱. از مقوله‌ی موج کلاسیکی (مثلاً ارتعاش هماهنگ و سینوسی ذرات) نیست؛

۲. شیء کوانتومی را جایگزیده نمی‌کند؛ یعنی موقعیت آن را به‌طور مشخص تعیین نمی‌کند؛

۳. اندازه‌ی آن به‌توان دو، چگالی احتمال را به‌دست می‌دهد (اصل موضوعه‌ی بورن[2] (Born Postulate) در فیزیک کوانتومی).

لازم به تأکید است که رفتار موجی ذرات در دنیای کوانتـومی، همچون حرکت نوسانی مـوج کلاسیکی نیست؛ بلکه به‌معنای پیروی حالت سیستم از معادله موج شـرودینگر است. براساس این اصل، اندازه‌گیری هم‌زمان مکان و سرعت شیء کوانتومی با دقت دلخواه ممکن نیست.

رابطه‌ی عدم‌قطعیت در شکل مشهور خود بیان می‌دارد که اگر تکانه‌ی شیء کوانتومی در یک راستای خاص با عدم‌قطعیت Δp مشخص شود، آن‌گاه نمی‌توان به‌طور هم‌زمان مکان آن را با دقتی بیش از $\frac{\hbar}{2\Delta p}$ تعیین کرد؛ بنابراین همواره خواهیم داشت : $\Delta x\ \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$ اگر بخواهیم مکان این ذره را دقیقاً مشخص کنیم، لازم است تکانه‌ی نسبتاً بزرگی به آن بدهیم. درواقع

---

۱. از آنجا که در فیزیک کلاسیک با مکان دقیق سروکار داریم، صحبت از «ذره» می‌کنیم. اما در فیزیک کوانتومی تعیین مکان دقیق معنادار نیست، چراکه گاهی رفتار ذره‌ای و گاهی رفتار موجی مشاهده می‌شود؛ بنابراین به‌جای «ذره»، تعبیر «شیء کوانتومی» را به‌کار می‌بریم. این تعبیر در حقیقت به مفهوم اساسی «غیرجایگزیدگی» در فیزیک کوانتومی اشاره می‌کند.

۲. اصل موضوعه‌ی بورن یکی از اصول بنیادی در فیزیک کوانتومی است که ارتباط بین دنیای ریاضی این نظریه و آزمایش را برقرار می‌کند. به زبان ساده، این اصل به ما می‌گوید که چگونه می‌توانیم از اطلاعاتی که در معادلات فیزیک کوانتومی داریم، احتمال وقوع رویدادهای فیزیکی را محاسبه کنیم. اگرچه در علم فیزیک منظور از «اصل» گزاره‌ای است که بدون اثبات پذیرفته شده و پیش‌فرض قرار می‌گیرد، اما به‌جهت کاربرد روابط ریاضی در اصل موضوعه‌ی بورن از آن به قاعده‌ی بورن (Born Rule) نیز تعبیر می‌شود.

اندازه‌گیری موقعیت بدون مختل کردن سیستم (تغییر اندازه حرکت آن) ناممکن است. ازسوی‌دیگر، اگر سیستمی را با اندازه حرکت معلومی مشخص کنیم، طبق رابطه‌ی دوبروی ($p = \frac{h}{\lambda}$) با طول موجی در فضا گسترده خواهد شد که تعیین دقیق مکان را ناممکن می‌سازد؛ پس مفاهیم کلاسیکی مانند مکان دقیق، تکانه‌ی دقیق و مسیر یکتای ذره، در مقیاس میکروسکوپی جایگاهی نخواهند داشت.

تابع موج نمی‌تواند ذره‌ای را توصیف کند که در فضا کاملاً جایگزیده بوده و درعین‌حال اندازه حرکت دقیق و مشخصی داشته باشد؛ پس به‌طور خلاصه از آنجا که پدیده‌های کوانتومی را امواج توصیف می‌کنند، توانایی ما برای اندازه‌گیری هر دو متغیر مکمل (یا به‌عبارتی ناسازگار (Incompatible)) محدود می‌شود.

اگرچه اصل عدم‌قطعیت در شکل مشهور خود با کمیت‌های مکان و تکانه بیان می‌گردد، اما حقیقت آن است که این اصل در مورد هر دو متغیر مکمل فیزیکی دیگر نیز برقرار است؛ بنابراین طبق اصل عدم‌قطعیت، کمیت‌های ناسازگار به‌طور هم‌زمان، معین نیستند (عینیت ندارند). در نتیجه در نظریه‌ی کوانتوم به‌جای مقادیر دقیق و حتمی با احتمالات سروکار داریم.

ب) تعابیر عدم‌قطعیت

با ظهور مکانیک کوانتومی برپایه‌ی اصل عدم‌قطعیت، دو پرسش اساسی در ذهن دانشمندان شکل گرفت:

۱) آیا عدم‌قطعیت می‌تواند یک تبیین فلسفی داشته باشد؟

۲) چالش‌های فلسفی ایجاد شده در مکتب کپنهاگی، همچون نفی علیت و رئالیسم چگونه مرتفع می‌شود؟

به منظور پاسخ دادن به پرسش‌های اساسی ذکر شده، دو رویکرد کلی پیرامون مکانیک کوانتومی در بین فیزیک‌دانان شکل گرفت:

۱. تعبیر معرفت‌شناختی عدم‌قطعیت

رویکردهای انتقادی به مکتب کپنهاگی با نگاه معرفت‌شناسانه، چالش‌های فلسفی مترتب بر نظریه‌ی کوانتوم (تعارض با علیت و رئالیسم) را مرتفع می‌کنند و عدم‌قطعیت را ذاتی طبیعت نمی‌دانند. این دیدگاه‌ها در سه محور کلی خلاصه می‌شوند:

۱-۱. دیدگاه تجربی و مفهومی

شمار زیادی از فیزیک‌دانان عدم‌قطعیت را ناشی از محدودیتی اساسی به‌لحاظ تجربی می‌دانند. این محدودیت اساسی در روند مشاهده، عدم‌شناخت دقیق قلمروی درون‌اتمی را سبب می‌شود. این رویکرد دو روایت به شرح زیر دارد:

۱. روایتی که در مواضع اولیه‌ی بور و هایزنبرگ یافت شده است. فرض کنید بخواهیم یک الکترون را مشاهده کنیم، در این صورت باید آن را با یک باریکه‌ی نور بمباران کنیم. این عمل موجب می‌شود تا وضعیتی که درصدد مطالعه‌ی آن بودیم، مختل شود. این ایجاد اختلال در سیستم اجتناب‌ناپذیر است؛ زیرا دست‌کم باید تأثیر متقابلی بین «مشاهده‌گر» و شیء «مشاهده‌شده» صورت گیرد.

۲. روایتی که عدم‌قطعیت را به محدودیت‌های مفهومی نسبت می‌دهد. ما با انتخاب وضعیت‌های آزمایشی معین می‌کنیم که مثلاً یک الکترون کدام‌یک از شاکله‌های مفهومی (موج یا ذره، مکان دقیق یا سرعت دقیق) خود را بر ما آشکار سازد. ساختار جهان‌اتمی به‌نحوی است که ما باید از میان توصیف‌های علّی یا توصیف‌های فضا-زمانی یکی را برگزینیم؛ اما نمی‌توانیم هر دو را در آن واحد داشته باشیم. این تفسیر، روشن نمی‌سازد که خود اتم متعین است یا نامتعین (باربور، ۱۳۹۲، ص۳۹۰).

۱-۲. عدم‌قطعیت به‌مثابه جهل کنونی بشر

در این نگاه که اینشتین (Einstein)، پلانک (Planck) و بوهم (Bohm) از آن طرفداری می‌کردند، عدم‌قطعیت ناشی از نقص آگاهی فعلی ما درباره سیستم‌هایی است که از قوانین دقیق پیروی می‌کنند. نظریه‌ی فعلی کوانتوم سطح زیرین دارد و ناقص است. به‌عبارت‌دیگر، متغیرهای پنهانی (Hidden Variables) در سطح زیرین وجود دارند که سطح رویین را متأثر می‌سازند. در این نگاه سازوکارهای تفصیلی زیراتمی، اکیداً علّی و موجبیتی‌اند و روزی قوانین این مکانیزم‌ها کشف شده و پیش‌بینی دقیق ممکن خواهد شد.

این دیدگاه چندان مورد استقبال فیزیک‌دانان نیست. در نگاه ایشان تا زمانی فرارسد که کسی بتواند یک نظریه‌ی جایگزینِ آزمون‌پذیر پدید آورد، بهتر است نظریه‌ی احتمالاتی را که در دست داریم حفظ کرده و دیگر حسرت یقین‌های گذشته را نخوریم (باربور، ۱۳۹۲، ص۳۸۹-۳۹۰).

اینشتین ازجمله فیزیک‌دانانی است که مکانیک کوانتومی را نقد می‌کرد؛ چراکه او علیت و

رئالیسم را قبول داشت و حاکمیت شانس را بر طبیعت نمی‌پذیرفت. وی در سال ۱۹۳۵م مقاله‌ای با عنوان «آیا توصیف مکانیک کوانتومی از واقعیت فیزیکی را می‌توان کامل دانست؟» منتشر کرد. روشن است که اینشتین کوانتوم را غلط نمی‌دانست، بلکه آن را ناقص می‌انگاشت. ازسوی‌دیگر، این نظریه را «توصیف‌گر» پدیده‌ها می‌پنداشت؛ چراکه مفهوم توصیف در نسبت با توضیح عمق کمتری دارد. توضیح به‌معنای روشن ساختن حقیقت است.

تلاش‌های اینشتین با لحاظ پیش‌فرض رئالیسم و موضعیت، منجر به ارائه‌ی قضیه‌ی EPR شد. طبق این قضیه، مکانیک کوانتومی استاندارد از دو حالت خارج نیست: یا در توصیف واقعیت فیزیکی کامل است و البته در تناقض با نسبیت خاص (اصل موضعیت (Locality Principle))[1] قرار دارد؛ یا این‌که در توصیف واقعیت فیزیکی ناکامل است.

چند دهه پس از طرح قضیه‌ی EPR، بِل موفق به معرفی یک نامساوی (Bell's Inequality) شد که باعث نزدیک‌تر شدن موضوع به مرحله‌ی آزمایش و بررسی بیشتر گردید. این نامساوی براساس شرط موضعیت، وجود متغیرهای نهانی و موجبیت به‌دست می‌آید. می‌توان با قرار دادن داده‌های تجربی در این نامساوی، صحت آن را بررسی کرد؛ در یک طرف رئالیسم موضعی اینشتین و در سمت دیگر مکانیک کوانتومی استاندارد سنجیده می‌شوند. براساس آزمایش‌های صورت گرفته، در مواردی این نامساوی نقض گردید و نتایج جالبی حاصل شد: اولاً طبیعت در جاهایی غیرموضعی عمل می‌کند (البته رد موضعیت لزوماً به‌معنی اثرات با سرعتی فوق سرعت نور نیست)؛ ثانیاً جهان طبیعت با مکانیک کوانتومی در تعارض نیست. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت کوانتوم یک نظریه‌ی رئالیستی علی غیرموضعی است. این مطلب با قضیه‌ی بل (Bell's Theorem) عنوان شد (رزمی، ۱۳۹۰، ص۸۶-۸۹).

۳-۱. دیدگاه آماری

این دیدگاه معتقد است که به‌هنگام اندازه‌گیری در سطح میکروسکوپی با سیستم آماری اندرکنش داریم و همین اندرکنش سبب ایجاد خطا می‌شود. در آزمایش‌های تجربی کوانتومی با اشعه کار

۱. موضعیت در نسبیت خاص به این‌معنا است که اگر دو پدیده در مخروط نوری به‌شکل فضاگونه از همدیگر متمایز باشند، تأثیری روی یکدیگر نخواهند داشت مگر با سرعتی فوق سرعت نور. به‌بیان‌دیگر، علت‌ها و معلول‌های بلافصل آن‌ها در یک محل رخ می‌دهند و تأثیر آنی از دور وجود ندارد. نظریه‌ی نسبیت خاص یک نظریه‌ی رئالیستی موضعی است.

می‌کنیم. اشعه متشکل از تعداد بسیار بسیار زیادی از ذرات است و یک مجموعه‌ی آماری به‌شمار می‌رود. حتی اگر بتوانیم با تک‌ذره کار کنیم، چون حالات متعددی پیش رو داریم در نتیجه باز هم با سیستم آماری سروکار داریم. پس در هر صورت، خطای ایجاد شده مربوط به میانگین‌گیری روی اندازه‌ی کمیت‌ها و انحراف از معیار است. با نگاه آماری حتی می‌توان روابط عدم‌قطعیت را با محاسبات ریاضی به‌دست آورد و آن را از «اصل» بودن ساقط کرد. همچنین باید توجه داشت که در محاسبات آماری اگرچه همواره احتمال و انحراف از معیار و خطا ولو به مقدار جزئی وجود دارد، اما مقدار کمیت برای هر ذره به‌طور دقیق مشخص است. پس بر یک مجموعه‌ی آماری هم رئالیسم حاکم است، هم قطعیت. مجموعه آماری است؛ لذا خطای مربوط به تک‌تک ذرات صفر است اما به‌صورت میانگین عدم‌قطعیت و انحراف‌معیار وجود دارد.

برخی به‌جای اصل عدم‌قطعیت، عنوان «روابط عدم‌تعین» (Indeterminacy Relations) را به‌کار می‌برند (Ballentine, 1998, p. 223-225). این عنوان از تفاوت رویکردها ناشی می‌شود. تمام سخن در همین دو واژه‌ی «عدم‌قطعیت» و «عدم‌تعین» نهفته است. آنان اظهار می‌دارند که به‌جای عدم‌قطعیت، عدم‌تعین را به‌کار ببرید؛ همچنین به‌جای «اصل» از «روابط» استفاده کنید؛ چراکه این رابطه به‌طور کلی برای تمامی کمیت‌های به‌اصطلاح ناسازگار برقرار است. اندازه‌گیری دقیق و هم‌زمان کمیات ناسازگار ممکن نیست، زیرا اندازه‌گیری دقیق یکی سبب ایجاد خطا در مقدارِ دیگری می‌شود و برعکس.

بزرگانی که عنوان «روابط عدم‌تعین» را مطرح می‌کنند، درواقع اعتقاد دارند که ما نمی‌توانیم مقدار دقیق کمیت‌ها را تعیین کنیم، نه این‌که این کمیات واقعاً و ذاتاً نامتعین هستند؛ بلکه نوعاً ما با پرتو (یعنی سیستم آماری) کار می‌کنیم؛ پس همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد اگر «تعبیر آماری» از روابط عدم‌قطعیت و به‌عبارت صحیح‌تر عدم‌تعین را بپذیریم، نظریه‌ی کوانتوم با چالش بنیادین مواجه نخواهد بود.

۲. تعبیر هستی شناختی عدم‌قطعیت

همان‌طور که اشاره شد در تفسیر کپنهاگی، عدم‌قطعیت ذاتیِ طبیعت است و با پیشرفت علم و ابزارهای اندازه‌گیری هم قابل رفع نیست. در این دیدگاه واقعیت مشاهده‌گر آفریده است. از این تعبیر دو مفهوم برداشت می‌شود: انکار رئالیسم و نفی علیت.

طرفداران افراطی این تعبیر بر این باورند که واقعیت در پی مشاهده، به یک‌باره و بدون این‌که

علتی در کار باشد پدید می‌آید. همچنین هر سیستم واقعی (شیء کوانتومی)، به‌عنوان مثال یک الکترون، نمی‌تواند به‌عنوان یک موجود مستقل از مشاهده در نظر گرفته شود؛ چراکه تا قبل از مشاهده‌ی الکترون یا عمل اندازه‌گیری، هیچ اطلاعاتی پیرامون ویژگی‌های آن در دسترس نمی‌باشد (رزمی، ۱۴۰۰، ص۷۹-۸۱).

واضح است که در پدیدارشناسی حاصل از تفسیر کپنهاگی با نگاه حداکثری هایزنبرگ، ذات‌گرایی کاملاً نفی می‌شود. طبق این دیدگاه، فیزیک جدید با ریاضیات جدید طبیعت را توصیف نمی‌کند، بلکه بیانگر دانش مشاهده‌گر از طبیعت است.

ج) عدم‌قطعیت و غیرجایگزیدگی

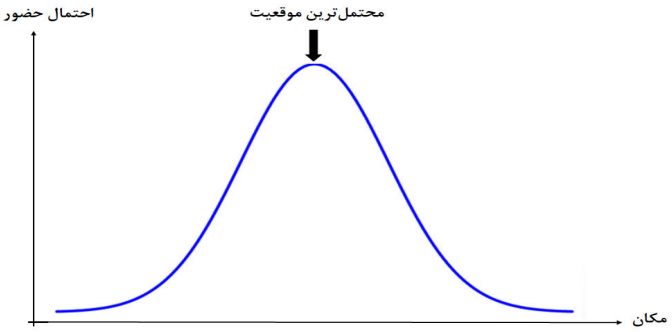
اشاره شد که یکی از دغدغه‌های اصلی فیزیک‌دانان یافتن جوابی برای این سؤال بود که شیء میکروسکوپی به‌صورت ذره‌ای یا موجی رفتار می‌کند. در همین راستا مفهوم دوگانگی موج-ذره مطرح گردید که قبلاً به آن پرداخته شد.

در اینجا می‌توان پرسید چرا فیزیک‌دانان به‌دنبال مفهوم موج یا ذره به‌معنای کلاسیکی آن در محدوده‌ی فیزیک کوانتومی هستند؟ به‌عبارت‌دیگر، شیء یا باید در فضا حالت نوسانی داشته باشد که به آن موج کلاسیکی می‌گویند؛ و یا با ابعاد معین در فضا جایگزیده باشد که آن را ذره می‌نامند! آیا نمی‌توان حالت دیگری را برای آن تصور نمود؟

در مقاله‌ی پیش رو پیشنهاد می‌شود رفتار شیء میکروسکوپی در مکانیک کوانتومی با تعبیر جدیدی توصیف شود و آن «عدم جایگزیدگی» است.[1] شیء کوانتومی ذاتاً جایگزیده نیست. به‌بیان دیگر، در فضا گسترش ذاتی دارد و دائماً در حال جولان و جریان است؛ برهمین اساس نمی‌توان کمیت‌های مربوط به آن را به‌شکل دقیق اندازه گرفت، بلکه صحبت از احتمال‌ها به وسط می‌آید. در نتیجه تابع موجی که رفتار شیء کوانتومی را توصیف می‌کند، ماهیتاً با موج کلاسیکی تفاوت دارد؛ چراکه بیانگر ارتعاش ذره نمی‌باشد. از آنجا که دامنه‌ی احتمال حضور شیء میکروسکوپی در نقاط مختلف فضا متفاوت است، چگالی احتمال حضور آن را می‌توان با مجذور اندازه‌ی تابع موج محاسبه کرد. لازم به تأکید است که این احتمال از مقوله‌ی احتمال ناشی از

۱. حتی می‌توان گفت شیء ماکروسکوپی هم جایگزیده نیست (چراکه طبق اصل انطباق و قضیه‌ی اهرنفست، فیزیک کوانتومی سطح زیرین فیزیک نیوتونی است)؛ اما طبق رابطه‌ی دوبروی غیرجایگزیدگی در فضای کلاسیک به‌قدری کوچک است که محسوس نمی‌باشد.

آماری بودن مسئله نمی‌باشد، بلکه به‌نوعی غیرجایگزیدگی ذاتی شیء کوانتومی را حکایت می‌کند. بنابراین، از آنجا که چگالی احتمال حضور هرگز برابر صفر نمی‌شود، گویی شیء میکروسکوپی در همه‌جا حضور دارد؛ اما حضور آن شدت و ضعف دارد (بسته به مقدار احتمال حضور).



به منظور توضیح بیشتر، به‌عنوان مثال تحولات ذره‌ی آزاد[1] را بررسی می‌کنیم. اگر فرض کنیم شرایط اولیه به‌گونه‌ای باشد که در زمان $t = 0$ این ذره دقیقاً جایگزیده باشد، آن‌گاه خواهیم دید که جابه‌جاگر x_i در زمان‌های متفاوت صفر نخواهد شد:

$$[x_i(t), x_i(0)] = \left[\frac{p_i(0)t}{m}, x_i(0)\right] = -\frac{i\hbar t}{m} \qquad (1\text{-}4)$$

با اعمال رابطه‌ی عدم‌قطعیت در این رابطه، به‌دست می‌آوریم:

$$< (\Delta x_i)^2 >_t < (\Delta x_i)^2 >_{t=0} \geq \frac{\hbar^2 t^2}{4m^2} \qquad (2\text{-}4)$$

این نامساوی اقتضا می‌کند که حتی اگر در t=0 ذره‌ی آزاد دقیقاً جایگزیده شود، موقعیت آن با گذشت زمان نامتعین‌تر می‌گردد. این نتیجه‌ای است که حتی از مطالعه‌ی رفتار تحول زمانی بسته موج ذره‌ی آزاد نیز به‌دست می‌آید. بنابراین با فرض این‌که این ذره‌ی آزاد در لحظه اولیه جایگزیده در یک محدوده معین مکانی باشد، اما بدون هرگونه اندرکنش خارجی در لحظات بعد مدام گسترده شده و غیرجایگزیدگی ذاتی خودش را به نمایش می‌گذارد (Sakurai, 1994, ch 2, p. 85). غیرجایگزیدگی (Nonlocalizability) در فیزیک کوانتومی به این مطلب اشاره دارد که اشیاء

---

۱. ذره‌ی آزاد تحت تأثیر هیچ‌گونه پتانسیل، میدان یا نیروی خارجی قرار ندارد.

کوانتومی قبل از اندازه‌گیری، مکان مشخص و دقیقی ندارند. مفهوم غیرجایگزیدگی، از «ناموضعیت» که با برهم‌کنش آنیِ ذرات کوانتومی درهم‌تنیده (Quantum Entanglment Particles)[1] ارتباط دارد، متمایز است. با توجه به توضیح اصل موضعیت که پیش‌تر به آن اشاره شد، روشن است که ناموضعیت زمانی معنا دارد که دو شیء موجود باشند و به‌صورت فضاگونه مجزا باشند؛ درحالی‌که غیرجایگزیدگی خاصیتی ذاتی است که حتی برای تک‌شیء برقرار است. اگرچه تاکنون عامل غیرجایگزیدگی ناشناخته مانده، اما خود می‌تواند منشأ ناموضعیت تلقی شود.

د) عدم‌قطعیت و حرکت جوهری

پیش‌تر اشاره شد که نظریه‌ی نوظهور کوانتوم توانست پاسخی برای مشاهداتِ حل نشده در فیزیک کلاسیک پیدا کند و افزون بر این، پیش‌بینی‌های علمی جدید و موفقیت‌آمیزی نیز ارائه دهد. اما در کنار این دستاوردهای تجربی، چالش‌های فلسفی جدیدی ایجاد کرد که فیزیک‌دانان در فیزیک کلاسیک با آن مواجه نبودند.[2] لذا در رویارویی با این نظریه، دو راه برای آنان وجود داشت:

۱) از باورهای عمیق فلسفی خود دست می‌کشیدند و نظریه‌ی کوانتوم را تمام و کمال و با تمامی جوانب آن می‌پذیرفتند؛ چنان‌که مکتب کپنهاگی با پذیرش این رویکرد، قائل به نفی علیت و رئالیسم شد.

۲) در پی تلاشی برای حل مشکلات فلسفی ایجاد شده برمی‌آمدند و نسبت به نظریه‌ی کوانتوم رویکردی انتقادی اتخاذ می‌کردند؛ زیرا مکانیک کوانتومی به‌لحاظ تجربی به‌خوبی پاسخ‌گو بود و نمی‌توانستند این نظریه را کنار بگذارند.

منتقدان با ناقص دانستن این نظریه‌ی جدید همچنان بر پذیرش رئالیسم اصرار ورزیده و توجیهاتی ارائه می‌دادند. پیش‌تر توضیح مختصری پیرامون این رویکرد کلی (معرفت‌شناسانه) در سه محور متفاوت بیان شد.

درجست‌وجوی راه‌حل جدیدی برای برطرف کردن چالش‌های فلسفی نظریه‌ی کوانتوم این

---

۱. وقتی دو ذره‌ی کوانتومی (یا بیشتر) درهم‌تنیده‌اند، به‌گونه‌ای باهم مرتبط هستند که حالت کوانتومی یکی از آن‌ها صرف‌نظر از فاصله‌ی بین آن‌ها، به‌طور مستقیم به حالت کوانتومی دیگری بستگی دارد. پس اگر روی یکی از این ذرات اندازه‌گیری صورت گیرد، بلافاصله و به‌طور آنی حالت ذره‌ی دیگر نیز مشخص می‌شود.

۲. اگرچه نمی‌توان ادعا کرد نظریه‌ی کوانتوم از ابتدای شکل‌گیری براساس نفی رئالیسم طراحی شده است، اما صحبت از احتمال‌ها و عدم‌قطعیت‌ها این پیامد فلسفی را به‌دنبال دارد.

پرسش برمی‌آید که اساساً مبانی فلسفی موجود تهدیدی برای این نظریه تلقی می‌شود یا می‌تواند مسیر جدیدی به روی علم جهت تحول و تکامل آن بگشاید؟ آیا می‌توان یک بنای فلسفی را تصور کرد که از طرفی عدم‌قطعیت را در متن هستی و واقعیت بپذیرد (نگاه هستی‌شناختی)، و ازسوی‌دیگر با رئالیسم و علیت سازگار باشد؟

به‌نظر می‌رسد حکمت متعالیه‌ی صدرایی ظرفیت آن را دارد که از طریق حرکت جوهری بین نگاه هستی‌شناسانه‌ی عدم‌قطعیت و بنیادهای کلان فلسفی همچون رئالیسم و علیت وفاق و همسازی برقرار کند. برای بررسی این مسئله لازم است ابتدا به برخی مفاهیم و پیش‌انگاره‌های فلسفی بحث نیم‌نگاهی انداخته، سپس رابطه‌ی حرکت جوهری و تقریر هستی‌شناسانه‌ی عدم‌قطعیت را بازکاویم.

۱. مفهوم جوهر

جوهر ماهیتی است که تحقق و قوام آن در موضوع نیست. به تعبیر رایج اهل علم منطق و فیلسوفان (الجوهر ماهیة اذا وجدت فی الخارج، وجدت لا فی موضوع مستغن عنها)؛ یعنی جوهر ماهیتی است که هرگاه در خارج تحقق پیدا کند وجودش قائم به چیزی که از آن بی‌نیاز باشد نیست. براساس این تعریف جوهر بر دوگونه است: (۱) قسمی که در هنگام وجود یافتن در هیچ موضوعی قرار نمی‌گیرد مانند هیولا یا ماده اولی؛ (۲) قسمی که هنگام تحقق یافتن در موضوعی قرار می‌گیرد که آن موضوع به این جوهر نیازمند است؛ مانند صورت که در ماده اولی تحقق می‌یابد و ماده برای فعلیت یافتنش به صورت نیازمند است. در مقابل جوهر، «عرض» قرار دارد که در تعریف آن گفته‌اند: (ماهیة اذا وجدت فی الخارج، وجدت فی موضوع مستغن عنها). یعنی عرض آن چیزی است که اگر در خارج تحقق پیدا کند در موضوعی یافت می‌شود که آن موضوع در وجود خود نیازمند این عرض نیست؛ مانند اوصافی چون شیرینی، سفیدی و... که بدون موضوع امکان تحقق ندارند، ولی موضوع‌شان بدون آن‌ها امکان تحقق دارد (طباطبایی، ۱۳۹۰، ص۱۵۳).

جواهر در دو بخش مادی و مجرد دسته‌بندی می‌شوند. نفس و عقل دو جوهر مجرد هستند. جواهر مادی عبارت‌اند از: هیولا، صورت، جسم. هیولا جوهری است که هیچ خاصیتی ندارد جز این‌که بالقوهٔ سایر اشیاست. به‌بیان دیگر، جوهری است که هیچ فعلیتی ندارد. صورت، جوهر بالفعلی است که از هیچ جهت بالقوه نیست و منشأ آثار و خواص شیء است. روشن است که از ترکیب هیولا و صورت جسمیه، جسم به‌وجود می‌آید (عبودیت، ۱۳۸۴، ص۱۸۰-۱۸۴).

۲. مفهوم جسم

چنان‌که از مطالب بالا روشن شد جسم مرکب از دو جوهر ماده و صورت است. جسم در فلسفه با دو عنوان جسم طبیعی و جسم تعلیمی معرفی می‌شود.

جسم طبیعی، جوهری است که در آن فرض ابعاد سه‌گانه یعنی طول و عرض و عمق امکان‌پذیر باشد؛ به‌گونه‌ای که این سه یکدیگر را قطع کنند و از تقاطع آنها سه زاویه‌ی قائمه به‌دست آید.

جسم تعلیمی کم متصلی است که پذیرای ابعاد سه‌گانه است و درنتیجه متعین است و بر جسم طبیعی عارض می‌شود (ابن‌سینا، ۱۳۹۲، ص۴۳-۴۵).

بنابراین هرجسمی یک جنبه‌ی نامتعین دارد که همان جسم طبیعی است؛ و یک جنبه‌ی معلوم و متعین که همان جسم تعلیمی است. این دو وجه درواقع از هم جدا نیستند و تنها از جهت عقلی تحلیل متفاوتی دارند. اجسام موجود در طبیعت همگی مانند موم واحدی هستند که قادر است اشکال مختلفی به‌خود بگیرد. پس جسم طبیعی در عالم جسمانی یکی بیشتر نیست؛ اما جسم تعلیمی متکثر است که تفاوت‌شان از حیث ابهام و تعین است (صدرالمتألهین، ۱۹۸۱م، ج۴، ص۱۰ـ۱۲).

درباره‌ی حقیقت جسم طبیعی دو دیدگاه وجود دارد:

۱) دیدگاه ذره‌گرا؛ جسم طبیعی را متشکل از مجموعه‌ای از ذرات تقسیم‌ناپذیر می‌داند.

۲) دیدگاه پیوسته‌گرا؛ این دیدگاه با نفی دیدگاه ذره‌گرا، معتقد است جسم طبیعی ساختاری پیوسته دارد. حال در این دیدگاه باید پرسید جسم طبیعی بسیط است یا مرکب؟ (حجتی، ۱۳۹۹، ص۸-۱۰).

از نگاه ملاصدرا جسم طبیعی حاصل ترکیب اتحادی ماده و صورت است. او جسم طبیعی را یک وجود ممتد در زمان و مکان می‌داند که امتداد در جهات سه گانه ذاتی آن است (صدرالمتألهین، ۱۹۸۱م، ج۵، ص ۲۸۳-۲۸۶).

۲. اصالت وجود، لازمه حرکت در جوهر

اصالت وجود یکی از پایه‌های اصلی حکمت متعالیه است. بر این اساس، وجود، حقیقت عینی هر موجودی است. شارحان توضیح داده‌اند که از مواجهه با هر شیء خارجی دو مفهوم حاصل آمده و از یکدیگر تفکیک می‌شوند:

۱) مفهوم وجود، یعنی اصل و تحقق هستی.

۲) مفهوم ماهیت، یعنی چیستی و چگونگی آن.

غالب فیلسوفان هر دو را اصل ندانسته، پس یکی از این دو حیث اصل است.

مراد از اصالت نیز آن است که کدام‌یک از این دو، واقعیت خارجی را تشکیل می‌دهد؟ (طباطبایی، ۱۳۹۰، ص۱۸) و به تعبیری آنچه متن واقعیت را تشکیل می‌دهد و حقیقتاً در خارج تحقق دارد (نصیری محلاتی، ۱۳۹۳، ص۲).

مفهوم اصالت وجود آن است که آنچه متن واقعیت را تشکیل می‌دهد و حقیقتاً در خارج تحقق می‌یابد، همان وجود است. اعتباری بودن ماهیت نیز به‌این‌معنا است که ماهیت، حد وجود و قالبی ذهنی است که از واقعیت خارجی و به‌تبع آن در ذهن منعکس می‌شود (مطهری، ۱۳۸۱، ص۲۱۰).

۳. حرکت جوهری

حرکت در بیان فلسفی عبارت است از: تغییر تدریجی یا خروج تدریجی شیء از قوه به فعل؛ به‌عبارت‌دیگر حرکت، نحوه‌ای از وجود است که شیء به‌واسطه‌ی آن به‌تدریج از حالت قوه خارج شده و به فعلیت می‌رسد. تدریجی بودن آن به این معنا است که اجزایی که برای آن وجود فرض می‌شود در یک زمان واحد باهم جمع نمی‌شوند، بلکه در طول زمان به‌تدریج به‌وجود می‌آیند (مصباح یزدی، ۱۳۸۸، ص۲۸۷).

پس هنگامی که گفته می‌شود جسمی دارای حرکت است به این معناست که ضرورتاً چیزی در آن به‌تدریج در حال عوض شدن است. آن چیزی از جسم که هنگام حرکت جسم پیوسته در حال عوض شدن است، «مسافت حرکت» نام دارد.

فیلسوفانِ پیش از صدرالمتألهین بر این باور بودند که فقط چهار مقوله‌ی عرضیِ کم، کیف، وضع و اَین می‌توانند مسافت حرکت واقع شوند. به عقیده‌ی آنان هرگز جسم نمی‌تواند در ذات و جوهر خود حرکت کند، زیرا قوام هر حرکتی به موضوع آن است؛ لذا ذات ثابتی داریم که صفات و حالات آن تدریجاً دگرگون می‌شود. اگر بگوییم خود ذات هم ثباتی ندارد و همان‌گونه که صفات و اعراض آن دگرگون می‌شوند جوهر آن هم تحول می‌یابد، دیگر چیزی در دست نداریم تا این دگرگونی را به آن نسبت دهیم. اما صدرالمتألهین با دلایل متقنی ثابت کرد که مبدأ حرکت جوهر جسمانی است (صدرالمتالهین، ۱۹۸۱م، ج۳، ص۳۹-۴۰) و اساساً اگر حرکت در جوهر جسم واقع نشود، حرکت در اعراض آن توجیه معقولی نمی‌تواند داشته باشد. بنابراین جوهر هم می‌تواند مسافت حرکت واقع شود. پس به‌طورکلی حرکت در اعراض، پرتو و جلوه‌ی حرکت در جوهر است

(شیروانی، ۱۳۸۷، ص۷۲).

معنای سخن فوق این است که ممکن است حرکتی در جسم پدید آید که به موجب آن، جوهر جسم، یعنی خود جسم، به‌تدریج و پیوسته عوض شود؛ به‌طوری‌که جسمی که در یک «آن» در حین حرکت می‌بینیم غیر از جسمی باشد که قبل یا بعد از این «آن» می‌بینیم. یعنی هرگاه در یکی از اعراض جسمی حرکتی مشاهده شود، آن جسم با همه‌ی متعلقاتش به‌تدریج در حال عوض شدن است و ممکن نیست در این حال خودش یا یکی از متعلقاتش ثابت باشد. بنابراین در هیچ جسمی در هیچ حالی ترکیبی از تغییر و ثبات وجود ندارد. به‌بیان دیگر، نمی‌توان پذیرفت که جنبه‌ای از شیء به‌تدریج تغییر کند و عوض شود و جنبه یا جنبه‌های دیگری از آن ثابت باقی بماند. ملاصدرا ثابت می‌کند هر جسمی در هر حالی حرکت جوهری دارد؛ بنابراین هیچ جسمی در هیچ حالی نه خودش و نه هیچ‌یک از صور و اعراضش بی‌حرکت نیستند؛ لذا همه چیز در جهان طبیعت لحظه‌به‌لحظه نو و تازه است (عبودیت، ۱۳۸۴، ص۲۳۷-۲۵۵).

از دیدگاه صدرا چون حرکت به‌معنای تجدد و بی‌قراری است، فاعل مباشر حرکت نیز باید متجدد و بی‌قرار باشد؛ زیرا صدور متجدد از ثابت، محال است. این فاعل مباشر همان جوهر صوری جسم یا طبیعت آن است که ذاتاً سیال و ناآرام می‌باشد. از آن‌جا که ملاصدرا اصالت را به‌وجود می‌دهد نه ماهیت، حقیقت و عامل وحدت شخصی موجود را «وجود» آن می‌داند؛ چراکه اگر این عامل «ماهیت» باشد ، با حرکت در جوهر وحدت شخصی جسم مخدوش می‌شود.

بنابر دیدگاه اصالت وجود، تنها وجود در عالم منشأ آثار است و مراتب مختلف هستی از ناحیه‌ی واجب‌الوجود (کمال مطلق و عین حقیقت هستی) افاضه می‌شود. بدین‌ترتیب هستی از ذات واجب‌الوجود (شدیدترین مرتبه‌ی وجود) تا ماده یا هیولا (پایین‌ترین و ضعیف‌ترین سطح ممکن وجود) تنزل یافته، یک نظام طولی مشکک از تجلیات و نمودهای واجب‌الوجود به‌منصه‌ی ظهور درمی‌آید. البته لازمه‌ی وجود داشتن و تحقق، ثبات و قرار است که از ویژگی‌های موجود مجرد به‌شمار می‌رود. در پایین‌ترین درجه از عوالم هستی (عالم ماده) موجوداتی هستند که درواقع در مرز عدم بوده و به علت ضعف وجودی ثبات و قرار ندارند و متغیر بالذات هستند. همین ثبات در تغیر، عامل ارتباط این سطح و مرتبه از وجود به یک علت ثابت و مجرد (عقل آخر) است. علتِ هستی‌بخش، ذاتی را افاضه می‌کند که افاضه‌ی آن ملازم با نوع خاصی از امتداد (امتداد قوه، فعل و زمان) و بلکه عین امتداد است. بنابراین هم جوهر مادی و هم جوهر صوری ذاتاً متغیر و ناآرام است و عالم طبیعت ذاتاً متجدد می‌باشد (حجتی، ۱۴۰۰، ص۱۷).

صدرالمتألهین ثابت کرد که حتی براساس اصول ارسطویی ماده و صورت نیز باید بپذیریم که جواهر عالم در حال حرکت دائم و مستمرند. یک لحظه ثبات و هم‌سانی در جواهر عالم وجود ندارد و اعراض (یعنی نُه مقوله‌ی دیگر) به‌تبع جوهرها در حرکت‌اند. از نظر ملاصدرا طبیعت مساوی است با حرکت، و حرکت مساوی است با حدوث و فنای مستمر و دائم و لاینقطع (مطهری، ۱۳۸۱، ص۱۷۱).

۵.تجلی حرکت جوهری در دنیای کوانتومی

براساس اصل عدم‌قطعیت، شیء کوانتومی وضعیت متعین (Definite) ندارد. این عدم‌تعین در مکان و سرعت جسم (شکل مشهور عدم‌قطعیت) وجود دارد. پس اشیاء کوانتومی باید غیرجایگزیده باشند، بدین‌معنا که تابع موج‌شان در عالم فراگیر باشد. اگرچه احتمال حضور شیء کوانتومی در مکان‌های مختلف یکسان نیست، اما در آنِ واحد در همه‌جای عالم احتمال حضور خواهد داشت.

درصورتی‌که غیرجایگزیدگی را ویژگی ذاتی شیء کوانتومی بدانیم، آن‌گاه عدم‌قطعیت به‌عنوان اصل اساسی و لازم، مقبول واقع می‌شود. اکنون سؤال اساسی این است که کدام حقیقت منجر به ظهور غیرجایگزیدگی در رفتار شیء کوانتومی می‌گردد؟ آیا صرفاً با نگاه فیزیکی می‌توان از این حقیقت پرده برداشت یا باید از مبانی و مفاهیم فلسفی بهره جست؟

چنان‌که براساس مبانی فلسفی و به‌لحاظ عقلی به این نتیجه برسیم که هیچ شیئی در عالم نمی‌تواند سکنای کامل داشته باشد و موجودیت در عالم طبیعت مساوی است با تغیر، آن‌گاه می‌توان ادعا کرد که هیچ شیئی در عالم جایگزیده‌ی محض نیست. به‌بیان دیگر، عدم تعین و غیرجایگزیدگی می‌تواند سازگار و هماهنگ با حرکت در جوهر که لحظه‌به‌لحظه منجر به تغییر در تمامی اعراض جسم می‌شود، تلقی شود. در این صورت چه‌بسا بتوان با ساخت مبانی هستی‌شناسانه، چالش‌های بنیادین مکانیک کوانتومی رایج را مرتفع کرد. اساساً چرا باید در جست‌وجوی فیزیکی با کمیت‌های متعین بود؟ بدین‌صورت بدون کنار گذاشتن صورت‌بندی رایج فیزیک کوانتومی، ممکن است تفسیر مقبول‌تری از آن ارائه کرد. مکانیک کوانتومی تاکنون کاملاً موفق بوده است؛ حتی مواردی که به‌نظر می‌آید چالش مکانیک کوانتومی شمرده شود، ظاهراً می‌تواند نقطه‌ی قوتی برای این نظریه باشد.

طبق این تعبیر، شیء نمی‌تواند از مابقی جهان مجزا باشد و در کل جهان گسترده است؛ اما اوج

حضور آن با بیشترین احتمال در مکانی است که مشاهده می‌شود. اگر حضور موجودی در طبیعت نمایان شود، یعنی سازوکاری بر آن حاکم باشد و تحولی داشته باشد، این حضور با کنش و واکنشی همراه می‌شود که منجر به عدم‌قطعیت می‌گردد؛ چراکه کنشِ صفر در حقیقت حکایت از نبودن دارد. به‌عبارت‌دیگر، بر جهان وحدتی حکمفرما است که در زمینه، پیوسته و مدام در حال دگرگونی است.

چه‌بسا در نگاه سطحی‌نگرانه بتوان مدعی جایگزیدگی شد، لیکن در نگرش دقیق و عمیق پذیرش آن چندان هموار نیست. اگر بپذیریم که جوهره‌ی جهان در تحرک دائمی است، سطحی‌ترین تجلی آن همان طبیعت است. این تحرک ممکن نیست صفر بشود، بلکه دامنه‌ی آن در سطح عالم کوچک و بزرگ می‌شود. این مفهوم در تلائم با عدم جایگزیدگی است و با نگاه کیفی، می‌تواند عدم‌قطعیت ذاتی را تبیین کند. در مکانیک کوانتومی، همین عدم‌قطعیت کمّی‌شده و اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین نیازی به توجیه عدم‌قطعیت براساس سه رویکرد مطرح ذکر شده با نگاه معرفت‌شناسانه نخواهد بود؛ چراکه ذاتی بودن عدم‌قطعیت با عنایت به حرکت جوهری صدرایی بدون خدشه به اصل علیت و رئالیسم مقبول واقع می‌شود.

با ملاحظه‌ی توضیحات ارائه شده، روشن می‌شود که این تبیین با اصل عدم‌قطعیت در تعبیر کپنهاگی (دیدگاه هستی‌شناسانه) توافق دارد و عدم‌قطعیت را حقیقتی برآمده از واقع می‌داند؛ درعین‌حال علیت و رئالیسم را انکار نکرده و حاکمیت شانس را بر طبیعت نمی‌پذیرد. طبق این دیدگاه، عدم‌قطعیت نه‌تنها برای سیستم آماری، بلکه برای تک‌ذره نیز موجه و ضروری است. لازم به یادآوری است که مسیری که در نوشتار پیش رو برای توجیه فلسفی مفهوم غیرجایگزیدگی و درنتیجه عدم‌قطعیت دنبال شد، بهره‌گیری از مفهوم حرکت جوهری است. پرواضح است که رویکرد فلسفی صدرایی می‌تواند افقی نو و متفاوت از رویکردهای پیش‌تر اشاره شده، برای ما در تبیین عدم‌قطعیت ترسیم نماید.

نتیجه

اصل عدم‌قطعیت هایزنبرگ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اصول نظریه‌ی کوانتوم استاندارد مستمسک برخی از فلاسفه، فیلسوفان علم، و حتی فیزیک‌دانان برای خدشه وارد کردن به برخی اصول و مبانی فلسفی عمیق و پذیرفته شده در فیزیک کلاسیک قرار گرفت. البته برخی از بزرگان مشهور همچون

اینشتین (Einstein & Podolsky & Rosen, 1935) و بوهم[1] سعی در اثبات ناکامل بودن نظریه‌ی استاندارد کوانتوم و یا ارائه‌ی نظریات جایگزین داشته‌اند. آنان کوشیدند اصل عدم‌قطعیت را در حد خطای اندازه‌گیری، یا یک رابطه‌ی عدم تعین نه یک اصل ذاتی طبیعت، یا یک انحراف از معیار آماری بپذیرند تا اصول فلسفی همچون رئالیسم و علیت را محفوظ نگاه دارند. به‌طور خلاصه چنین می‌توان گفت که در نگرش به اصل عدم‌قطعیت دو رویکرد کلی اتخاذ شده است:

۱) پذیرش این اصل با پرهیز از پرداختن به مباحث فلسفی، یا کنار گذاشتن اصول مهمی چون رئالیسم و علیت (جمع این دو نظر، دیدگاه غالب و استاندارد موجود است)؛

۲) داشتن دیدگاه انتقادی نسبت به آن و جست‌وجو جهت ارائه‌ی تفسیر بهتر و کامل‌تر (غالباً از نوع معرفت‌شناسانه) از نظریه‌ی استاندارد یا حتی کشف نظریات جایگزین.

در این مقاله سعی شده با نگاهی متفاوت و هستی‌شناسانه، با بهره‌گیری از مفهوم حرکت جوهری در حکمت صدرایی که رئالیسم و علیت اساس آن است، توضیحی بنیادین برای عدم‌قطعیت کوانتومی ارائه شود. این تبیین برمبنای تغییر و حرکت ذاتی ناشی از حرکت جوهری اجسام است که می‌تواند در تلائم با ویژگی غیرجایگزیدگی ذوات کوانتومی باشد. مفهوم غیرجایگزیدگی اشیاء کوانتومی حالت طبیعی دوگانگی موج-ذره و همچنین عدم‌تعین هم‌زمان کمیات ناسازگاری چون مکان و سرعت (عدم‌قطعیت هایزنبرگ) را معرفی و توجیه می‌کند. شایان ذکر است که مقصود از تغییر ذاتی، صرف یک حرکت سریع نسبی در فیزیک نمی‌باشد. این‌گونه نیست که مثلاً الکترون (به‌عنوان یک شیء کوانتومی) چنان سریع حرکت می‌کند که اندازه‌گیری مکان دقیقش را ناممکن می‌سازد! از آنجا که اندازه‌گیری سرعت در فیزیک به ناظر (چارچوب) بستگی دارد، با استفاده از ابزار ریاضی حتی می‌توان حرکت سریع شیء را در چارچوب دیگری با مقدار صفر اندازه گرفت. بنابراین تغییر ذاتی گویای تحول (Time Evolution) ذاتی شیء می‌باشد، نه صرف سرعت و حرکت فیزیکی. با توجه به توضیح مفهوم غیرجایگزیدگی با رویکرد هستی‌شناسانه، پیشنهاد می‌شود به‌جای تعبیر «عدم‌قطعیت» که چالش‌های فلسفی را در پی دارد، واژه‌ی «تحول» به‌کار

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

Bohm, David (1952). A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables II, *Phys. Rev*. 85 (180).

رود.

فارغ از بحث تخصصی و خاص مربوط به محتوای این مقاله و به‌طور کلی‌تر، شاید بتوان این پژوهش را به‌عنوان یک نمونه در معرفی و غنای بالای حکمت صدرایی برای بنیان‌سازی و بازخوانی نظریات و پدیده‌های مدرن طبیعی به‌حساب آورد.

منابع و مآخذ

۱. ابن‌سینا، حسین‌بن عبداله (۱۳۹۲). **اشارات و تنبیهات**، ترجمه حسن ملکشاهی، ج۱، چاپ هشتم، تهران: انتشارات سروش.

۲. باربور، ایان (۱۳۹۲). **دین و علم**، ترجمه پیروز فطورچی، تهران: سازمان انتشارات پژوهشگاه فرهنگ و اندیشه اسلامی.

۳. حجتی، فرید؛ منفرد، مهدی؛ رزمی، حبیب‌الله (۱۳۹۹). «بررسی تطبیقی «اتصال جسم طبیعی» در فلسفه اسلامی با مفهوم «میدان» در فیزیک جدید»، **آیین حکمت**، ۴۵.

۴. حجتی، فرید؛ منفرد، مهدی؛ رزمی، حبیب‌الله (۱۴۰۰). «بررسی تطبیقی تحول جسم طبیعی در فلسفه ملاصدرا با تحول مستمر «ذرات» کوانتومی»، **فصلنامه پژوهش‌های فلسفی کلامی**، ۲۳(۸۷)، ۳۱-۵۴.

۵. رزمی، حبیب‌الله (۱۳۹۰). **قضیه بل، رئالیسم (غیر)موضعی**، قم: انتشارات دانشگاه قم.

۶. رزمی، حبیب‌الله (۱۴۰۰). **درسنامه مباحث مکانیک کوانتومی در فیزیک و فلسفه**، تنظیم محمدعلی لطفی، قم: انتشارات دانشگاه باقرالعلوم علیه‌السلام.

۷. الشیرازی، سیدصدرالدین (صدرالمتالهین) (۱۹۸۱م). **الحکمة المتعالیة فی الاسفار العقلیة الاربعة**، ج ۳، الطبعه الثالثه، بیروت: دار احیاء التراث العربی.

۸. شیروانی، علی (۱۳۸۷). **شرح مصطلحات فلسفی بدایة الحکمة و نهایة الحکمة**؛ چاپ اول، قم: بوستان کتاب.

۹. طباطبایی، محمدحسین (۱۳۹۰). **نهایة الحکمة**، ج۱، قم: دفتر انتشارات اسلامی.

۱۰. عبودیت، عبدالرسول (۱۳۸۴). **درآمدی بر فلسفه اسلامی**، چاپ چهارم، قم: مرکز انتشارات مؤسسه آموزشی و پژوهشی امام خمینی.

۱۱. گاسیورووویچ، استفان (۱۳۸۶). **فیزیک کوانتومی**، ترجمه جمیل آریایی، محمدرضا مطلوب، چاپ سوم، مشهد: انتشارات نما.

۱۲. گلشنی، مهدی (۱۳۹۰). **تحلیلی از دیدگاه‌های فلسفی فیزیکدانان معاصر**، تهران: پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی.

۱۳. مصباح یزدی، محمدتقی (۱۳۸۸). **آموزش فلسفه**، ج ۲، چاپ هشتم، تهران: نشر بین‌الملل.

۱۴. مطهری، مرتضی (۱۳۸۱). **مجموعه آثار**، ج۵، چاپ هشتم، قم: انتشارات صدرا.
۱۵. نصیری محلاتی، احمد؛ کهنسال، علیرضا؛ مسعودی، جهانگیر (۱۳۹۷). «نگرشی تطبیقی بر اندیشه اصالت وجود و نظریه مکانیک کوانتومی»؛ **حکمت صدرایی**، سال ششم، شماره دوم.

Refrences

1. Ballentine, Leslie (1998). **Quantum Mechanics**, London: World scientific Publishing Company, Pte. Ltd.
2. Bohm, David (1952). A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables I, **Phys**. **Rev**. 85 (166).
3. Bohm, David (1952). A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of "Hidden" Variables II, **Phys**. **Rev**. 85 (180).
4. Einstein, A. Podolsky, B. Rosen, N. (1935). "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?", **Phys. Rev**. 47 (777).
5. Heisenberg, Werner (1969). **Physics and Beyond**, (Translated from the German by Arnold J. Pomerans). World Perspectives Volume Forty-two, Planned and Edited by Ruth Nanda Anshen Digital Editor: Antwan. epubLibre.
6. Heisenberg, Werner (1985). **Physics and Philosophy**, New York: Harper & Row.
7. Sakurai, J. J. and Napolitano, J. (1994). **Modern Quantum Mechanics**, (2nd Ed), Page 85, Addison Wesley.
8. Sakurai, J. J. and Napolitano, J. (1994). **Modern Quantum *Mechanics***, (2nd Ed), Page 85, Addison Wesley.