The Quarterly Journal of
PHILOSOPHICAL INVESTIGATIONS
University of Tabriz

Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021

Heisenberg's Philosophical Approaches in the Development of Quantum Mechanics with the Copenhagen Interpretation

Seyyed Hedayat Sajadi

Assistant Professor of Philosophy of Science and Technology, Department of Physics Education, Farhangian University, Tehran, Iran.

hedayatsajadi@gmail.com

Abstract

Heisenberg is one of the founders of quantum mechanics, and one of the pioneers and intellectual leaders of the Copenhagen interpretation of quantum mechanics. He proposed in two seminal papers in 1925 and 1927, the fundamentals of matrix mechanics (1925) as the first formalism of quantum mechanics, and then the uncertainty relations (1927) as one of the essential components of the Copenhagen interpretation. The purpose of this paper is to formulate Heisenberg's philosophical approaches during the formation of quantum mechanics and its Copenhagen interpretation. The main question of the paper is whether philosophical approaches can be formulated in the development of quantum mechanics through Heisenberg's works? To answer this question, two seminal papers by Heisenberg (1925 and 1927) are examined. The research method of the paper is based on the content analysis of the text (physics) of Heisenberg's papers. The findings of this study show that three crucial principles - observability, correspondence, and analogy-can be formulated from Heisenberg's 1925 paper, which has played a key role in the formation of the fundamentals of matrix mechanics. Moreover, from his 1927 paper, some issues are addressed including interpretation, understanding and classical-quantum relation, the role of experience and measurement, the subject of causality, as well as reality. Finally, it is concluded that through these works of Heisenberg, four philosophical approaches can be formulated including empiricism, Unificationism, indeterminism, and anti-causality, as well as anti-realism, which themselves include other sub-approaches.

Keywords: Heisenberg, Quantum Mechanics, Copenhagen Interpretation, philosophical Approaches.

Type of Article: **Original Research**
Received date: **2021.11.29** Accepted date: **2021.12.30**
DOI: **10.22034/jpiut.2021.49200.3067**
Journal ISSN (print): **2251-7960 ISSN (online): 2423-4419**
Journal Homepage: **www. philosophy. tabrizu. ac. ir**

interaction between sciences and philosophy

Historically, the development of Standard Quantum Mechanics (SQM) has undergone some steps: first, the formation of the concept of quanta and its application that initiated in 1900 by Plank's hypothesis. Second, the older quantum theory, which began with introducing Bohr's atomic model. third, the formation of quantum mechanics formalisms, which began with Heisenberg's Matrix Mechanics in 1925 and Schrodinger's wave mechanics in 1926, and was accomplished by Dirac-Jordan Transformation theory in 1927. Forth. Introduction of Copenhagen interpretation of Quantum Mechanics, that relatively conquered in 5th Solvay Conference in 1927 and established gradually after 1927. (See, e.g., Jammer, 1989; Sajadi, 2012). The years between 1925-1927 is the era of the development of Quantum Mechanics with Copenhagen Interpretation (SQM), and Heisenberg (1901-1974) along with Bohr is the pivotal figure in this era.

Heisenberg is one of the founders of quantum mechanics, and also the pioneers and intellectual leaders of the Copenhagen interpretation of quantum mechanics. He proposed in two important papers in 1925 and 1927, the fundamentals of matrix mechanics (1925) as the first formalism of quantum mechanics, and then the uncertainty relations (1927) as one of the essential components of the Copenhagen interpretation.

The purpose of this paper is to formulate Heisenberg's philosophical approaches during the formation of quantum mechanics and its Copenhagen interpretation. The main question of the paper is whether philosophical approaches can be formulated in the development of quantum mechanics through Heisenberg's works? To answer this question, two crucial and important papers by Heisenberg (1925 and 1927) were examined. The research method of the paper is based on the content analysis of the text (physics) of Heisenberg's Papers.

This study is important because it shows the effect of philosophical approaches on physics, and it has some entailments against anti-philosophical and anti-metaphysical programs of logical positivism as well. Moreover, changing attitudes about the relationship between physics and philosophy is necessary for both physics educators and researchers, especially in Iran.

interaction between sciences and philosophy

The findings of this study show that three crucial principles - observability, correspondence, and analogy- can be formulated from Heisenberg's 1925 paper, which has played a key role in the formation of the fundamentals of matrix mechanics. Moreover, from Heisenberg's 1927 paper, some issues are addressed including interpretation, understanding and classical-quantum relation, the role of experience and measurement, the subject of causality, as well as reality.

Finally, From the textual analysis of Heisenberg's papers on the formation of matrix mechanics and uncertainty relations, it is concluded that four philosophical approaches can be formulated including empiricism, Unificationism, indeterminism and anti-causality, as well as anti-realism, which themselves include other sub-approaches.

First, the empiricist approach: In the formation of standard quantum mechanics, the empirical approach of logical positivism, metaphysical idealism, operationalism, and the pragmatist approach can be formulated. The mere reliance on the principle of observability in the 1925 paper illustrates Heisenberg's positivist approach, but because of the lack of meaning/meaninglessness thesis in the paper (1925) for rejecting the unobservables, it cannot be considered logical positivism. Instead, his emphasis on efficiency/inefficiency based on providing a clear basis for establishing new theories can be considered as a pragmatic approach. His influence from the logical positivism approach is inferred in the 1927 paper; where it explicitly has spoken of meaning/meaninglessness and has expressed his antimetaphysical approach especially deals with the meaninglessness of the hidden world containing causal relations. Berkeley's idealistic empiricism can be inferred in Heisenberg's work; where he points to the influential role of observation in creating reality in the 1927 paper. Operationalism can also be formulated in the 1927 paper according to his concern with the role of measurement in defining physical concepts.

Second. The Unificationist Approach: Following this approach, it can be inferred that the analogical unificationist approach has dominated Heisenberg's mind. The argument is based on several aspects: According to the principle of correspondence and the principle of analogy formulated in the 1925 paper, both emphasize the relative similarity between the

interaction between sciences and philosophy

concepts and rules of the two domains- Qunatm and Classic. This kind of unification can also be formulated according to Heisenberg's picture of the classical-quantum relationship in his 1927 paper and the inclusion of quantum theory over the classical theory.

Third. The indeterministic and anti-causality approach: Heisenberg's indeterminism and his anti-causality approach are inferred in his interpretation of quantum mechanics, especially in his 1927 paper. He considers the hidden world containing causal relations to be meaningless and reduces causality to predictability and determinism. That is, it has abandoned the ontological aspect of causation and is confined with its epistemological aspect. Therefore, the ontological aspect of Heisenberg's anti-causal approach is obvious. On the other hand, he rejected the causal approach relying on two premises: lack of comprehensive knowledge about the current state of the system and also stating the results about the future state of the system in the form of statistics and probability. Thus, both the indeterminism and the anti-causal approach in Heisenberg's work on the formation of quantum mechanics can be formulated.

Fourth. Antirealism approach: This approach can be formulated through Heisenberg's work in several ways: to begin with, in his 1927 paper there is no sign of belief in an independent and recognizable reality that is out of reach of experience. In addition, based on the rejection of the unobservables in the 1925 paper and the belief in the idea of creating reality based on the observation in the 1927 paper, he rejected naive realism and moved towards ontological idealism of the kind of Berkeley's idealism.

References

- Cushing, James T. (1994) *Quantum Mechanics: historical contingency and the Copenhagen Hegemony*, The University of Chicago Press, Chicago& London.
- Heisenberg, W. (1925) "Quantum-theoretical re-interpretation of kinematic and mechanical relations", in B. Van Waerden (ed.) (1967) *Sources of Quantum Mechanic*. New York: Dover Publication, 261-276.
- Jammer, Max (1989) *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, 2nd ed., Tomash Publisher & American Institue of Physics.
- Sajadi, S. H. (2012) The Role of Metaphysical and Epistemological Approaches in the Development of Standard Quantum Mechanics, (Doctoral thesis under Supervision: Dr. Golshani, Institue for Humanities and Cultural Studies, Tehran, {In persian}.

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 100-130

مجله علمی *پژوهش‌های فلسفی* دانشگاه تبریز
سال ۱۵/ شماره ۳۷/ زمستان ۱۴۰۰

رهیافت‌های فلسفی هایزنبرگ
در شکل‌گیری مکانیک کوانتومی با تعبیر کپنهاگی

سید هدایت سجادی

استادیار فلسفه علم و فناوری، گروه آموزش فیزیک، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.
hedayatsajadi@gmail.com

interaction between sciences and philosophy

چکیده

هدف از این مقاله صورت‌بندی رهیافت‌های فلسفی هایزنبرگ در خلال شکل‌گیری مکانیک کوانتومی با تعبیرکپنهاگی است. پرسش اصلی مقاله این است که آیا می‌توان رهیافت‌هایی فلسفی را در فرآیند شکل‌گیری مکانیک‌کوانتومی در آثار هایزنبرگ صورت‌بندی نمود؟ برای پاسخ به این پرسش، دو مقاله کلیدی و مهم هایزنبرگ(۱۹۲۵و ۱۹۲۷) بررسی می‌شوند. روش پژوهش در این مقاله براساس تحلیل محتوای متن مقالات هایزنبرگ است که در واقع به جای فیزیکدان‌محوری از روش متن(فیزیک) محوری بهره گرفته شده است. پس از تحلیل و بررسی مقالات، برخی اصول و آموزه‌های مفهومی استنباط و از خلال آن‌ها رهیافت‌هایی فلسفی صورت‌بندی شده‌اند. یافته‌های این پژوهش نشان می دهد که از مقاله ۱۹۲۵ هایزنبرگ سه اصل اساسی مشاهده‌پذیری، همخوانی و مماثلت نقش کلیدی در شکل‌گیری بنیان‌های مکانیک ماتریسی دارند و همچنین آموزه‌هایی از قبیل فهم و رابطه کلاسیک–کوانتوم، نقش تجربه و اندازه‌گیری، موضوع علیت و واقعیت در مقاله ۱۹۲۷ وی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در نهایت این پژوهش نشان می‌دهد که از خلال این آثار هایزنبرگ، چهار رهیافت کلی تجربه‌گرایی، وحدت‌گرایی، ضدعلیتی و ضدموجیتی و نیز ضدواقع‌گرایانه قابل صورت‌بندی است.

کلیدواژه‌ها: هایزنبرگ، مکانیک کوانتومی، تعبیر کپنهاگی، رهیافت‌های فلسفی.

نوع مقاله: **پژوهشی**
تاریخ دریافت: **۱۴۰۰/۹/۸** تاریخ پذیرش: **۱۴۰۰/۱۰/۹**

۱. مقدمه

مکانیک کوانتومی استاندارد در چند مرحله اساسی شکل گرفته است: دوره نخست، شکل‌گیری مفهوم کوانتا و بکارگیری آن در حل برخی مسائل، که با فرضیه کوانتای پلانک در ۱۹۰۰م. آغاز می‌شود. دوره دوم، شکل گیری نظریه‌کوانتوم قدیمی(Old Quantm Theory) است که شروع آن را با مدل اتمی بور به مثابه مدلی کلاسیک–کوانتومی می‌توان درنظر گرفت. دوره سوم، شکل‌گیری فرمالیسم‌های مکانیک کوانتومی است که با فرمالیسم مکانیک ماتریسی هایزنبرگ (و با همکاری بورن و یوردان) آغاز می‌شود و دوره چهارم، نیز ارائه تعبیر کپنهاگی مکانیک کوانتومی است که در کنگره پنجم سولوی تفوق نسبی یافت و به تدریج در سال‌های پس از ۱۹۲۷ تثبیت شد. سال‌های ۱۹۲۵ تا ۱۹۲۷ را می‌توان دوره شکل‌گیری مکانیک کوانتومی و تعبیر موسوم به کپنهاگی نام نهاد که یکی از دانشمندان بسیار اثرگذار در این مرحله، ورنر هایزنبرگ(۱۹۷۴–۱۹۰۱) است. هایزنبرگ، فیزیکدان آلمانی و از بنیانگذاران فیزیک نوین است که در گوتینگن با ماکس بورن کار می‌کرد و سپس در کپنهاگ نیز همکار نیلز بور بود.

هدف از این مقاله بررسی و صورت‌بندی رهیافت‌های فلسفی هایزنبرگ از خلال آثار وی در شکل‌گیری مکانیک کوانتومی با تعبیر کپنهاگی است که نام مکانیک کوانتومی استاندارد نیز بر آن نهاده شده است. محدوده زمانی این پژوهش به سال‌های ۱۹۲۵ تا ۱۹۲۷ برمی‌گردد که در آن دو کار عمده هایزنبرگ، یعنی فرمالیسم مکانیک ماتریسی(۱۹۲۵) و روابط عدم قطعیت(۱۹۲۷) ارائه شده‌اند. پرسش اساسی در این پژوهش این است که چه رهیافت‌های فلسفی را می‌توان از خلال این دو اثر عمده هایزنبرگ استنباط نمود؟

اهمیت این پژوهش لااقل از دو جهت است: نخست، ادعا می‌شود تعبیر کپنهاگی متأثر از آموزه‌های پوزیتیویست‌های منطقی است که ویژگی بارز آن‌ها، رویکرد متافیزیک‌ستیزانه براساس معیار معناداری/بی‌معنایی و اصل تحقیق‌پذیری است و در پی طرد متافیزیک نه تنها از عرصه علم‌تجربی، بلکه معرفت بشری بودند. هایزنبرگ نیز یکی از رهبران فکری این جریان ورود پوزیتیویسم به مکانیک کوانتومی است. این پژوهش نشان می‌دهد که حداقل یکی از بانیان تعبیر کپنهاگی مکانیک کوانتومی، در آثار فیزیکی خود چگونه با فلسفه در تعامل بوده است و دوم اینکه، نسبت میان علم تجربی و فلسفه و نحوه تعامل میان آن‌ها، هنوز مبهم است و در این راستا این پژوهش می‌تواند تا حدی پرتو نوری بر نسبت میان فیزیکدانان، فیزیک و فلسفه بیاندازد.

ضرورت این پژوهش نیز بدانجا برمی‌گردد که تعبیر کپنهاگی مکانیک‌کوانتومی(استاندارد)، که در سال ۱۹۲۷ تفوق نسبی یافت، در حوزه آموزش و پژوهش به تدریج تثبیت شد. این رویکرد امروزه در حوزه‌های آموزشی و پژوهشی، به ویژه در ایران، با توجه به زمان و نحوه ورود و مواجه

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 100-130

ایرانیان با علم، هنوز مسلط است(گلشنی، ۲۰۲۱) و کماکان آموزش فیزیک بر چارچوبی پوزیتیویستی و ضدمتافیزیکی استوار است. معمولا اساتید دانشگاه و معلمان فیزیک نیز در مواجه با پرسش‌های فلسفی از راهبرد سکوت یا فرار از پاسخ استفاده می‌کنند. نشان دادن جایگاه فلسفه درآثار فیریکی و نیز در ذهن فیزیکدانان می‌تواند در تلطیف این جو پوزیتیویستی بسیار حائز اهمیت باشد؛ به ویژه که هایزنبرگ همراه با بور، دو تن از رهبران فکری این تعبیر از مکانیک کوانتومی بودند، که در برابر انتقادات اینشتین پیروز میدان مناقشات شدند.

روش پژوهش در این مقاله، تحلیل فلسفی و مفهومی متن دو اثر فیزیکی مهم هایزنبرگ– (Heisenberg, 1925) در مورد شکل‌گیری مکانیک‌ماتریسی و (Heisenberg, 1927) در زمینه اصل عدم قطعیت– در محدوده زمانی شکل‌گیری مکانیک کوانتومی است که با روش متن(فیزیک)–محور انجام شده است. از این رو در بخش بعد، عمدتاً این دو مقاله هایزنبرگ بررسی می‌شوند و در بخش‌های بعدی به صورت‌بندی آموزه‌ها، اصول و سپس رهیافت‌های فلسفی وی پرداخته خواهدشد.

۲. تحلیلی مفهومی بر آثار هایزنبرگ

در این بخش مقاله‌های ۱۹۲۵ (مربوط به شکل‌گیری مکانیک ماتریسی) و ۱۹۲۷ (مربوط به روابط عدم‌قطعیت) هایزنبرگ مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

۲-۱. مقاله ۱۹۲۵ و شکل‌گیری مکانیک ماتریسی

مقاله ۱۹۲۵ هایزنبرگ دارای یک مقدمه و سه بخش است. هایزنبرگ در ابتدا، روش‌شناسی خود را معرفی می‌کند و در بخش‌های دیگر با توجه به این روش‌شناسی گام برمی‌دارد. به نظر می‌رسد با توجه به تحلیل محتوا و ساختار مقاله بتوان لااقل سه آموزه مهم دخیل در روش و ساختار مقاله را اینگونه برشمرد: **اصل مشاهده‌پذیری**(Observability principle)، **اصل همخوانی**(Correspondence principle) **و اصل مماثلت**(Analogy principle).

اصل مشاهده‌پذیری: هایزنبرگ در مقدمه مقاله‌اش آورده است:

> «مقاله حاضر به دنبال بنیاد نهادن اساسی برای نظریه مکانیک کوانتومی است که منحصراً بر مبنای روابط میان کمیت‌های علی‌الاصول مشاهده‌پذیر بنا نهاده شود» (Heisenberg, 1925: 261)

وی در پی بنیان نهادن یک مکانیک‌کوانتومی مبتنی بر روابط میان «صرفاً مشاهده‌پذیرها» است و مکانیک کوانتومی مبتنی بر مشاهده‌ناپذیرها را فاقد مبنای فیزیکی روشن می‌داند. می‌توان

interaction between sciences and philosophy

این تقریر هایزنبرگ را «اصل مشاهده‌پذیری» وی در بنیاد نهادن مکانیک‌کوانتومی نامید. کامیلری نیز این وضعیت را متعهد شدن هایزنبرگ به «اصل مشاهده‌پذیری» می‌نامد، که بنا بر آن، «صرفاً کمیت‌هایی که علی‌الاصول مشاهده‌پذیرند، باید در فیزیک وارد شوند»(Camilleri,2009:17). به نظر می‌رسد این استراتژی اثری قاطع در شکل‌گیری مکانیک‌کوانتومی داشته است. ویژگی روش هایزنبرگ در بنیاد نهادن مکانیک‌کوانتومی آن بود که

> «توصیف بور از حرکت را در قالب فیزیک کلاسیک کاملاً کنار زد و توصیفی را در قالب اصطلاحاتی جایگزین نمود که هایزنبرگ آن‌ها را مقادیر مشاهده‌پذیر نامید»(Jammer, 1989: 209).

این کمیت‌های مشاهده‌پذیر، که هایزنبرگ با آن‌ها بنیان اسلوب نوینی از مکانیک کوانتومی- مکانیک ماتریسی- را گذاشت، فرکانس و شدت نور جذبی و گسیلی بود. فرمالیسم مکانیک-کوانتومی با انتخاب این استراتژی شکل خاص خود را می‌گیرد. این اصل به عنوان یک اصل راهنما و همچنین یک اصل بازدارنده (از بدیل‌های دیگر) عمل می‌کند؛ به این مفهوم که برخی کمیات برگزیده می‌شوند و برخی دیگر از کمیات کنار زده می‌شوند. داریگل نقش محدودتری از آنچه هایزنبرگ خود ادعا می‌کند، برای اصل مشاهده‌پذیری قائل است. به نظر داریگل:

> «نقش اصل مشاهده‌پذیری به حذف برخی استراتژی‌های بدیل (شبیه ارجاع به نوسانگرهای مجازی) محدود شده است که ممکن بود ابزارهای تصویرپذیر(Visual apparatus) بیشتری را در نظریه کلاسیک نگه دارد»(Darrigol, 1992: 276)

هایزنبرگ قواعد فرمولی مورد استفاده در نظریه‌کوانتومی آن دوره را برای محاسبه کمیت‌های مشاهده‌پذیری همچون انرژی اتم هیدرون ناکارآمد می‌دانست و ابتنای آن بر کمیت‌های علی الاصول مشاهده‌ناپذیر همچون مکان و دوره تناوب الکترون را مورد انتقاد قرار داد(Heisenberg, 1925: 261). به نظر هایزنبرگ به سبب اتکای بر مشاهده‌ناپذیرها «این قواعد فاقد مبنای فیزیکی روشنی هستند، مگر اینکه کسی امیدوار باشد این مفاهیم تاکنون مشاهده‌ناپذیر در آینده وارد حوزه اندازه‌گیری‌های تجربی شوند»(Ibid). هایزنبرگ این امیدواری را به شرطی موجه می‌دانست که آن قوانین سازگاری درونی داشته باشند و همچنین بر دامنه مشخصی از مسائل مکانیک کوانتومی قابل اطلاق باشند. اما هایزنبرگ کاربرد قوانین نظریه کوانتوم [قدیمی] را در حوزه اتمی و در حل برخی از مسائل مکانیک کوانتومی، عملی نمی‌دانست(Ibid). در واقع هایزنبرگ تصمیم می‌گیرد این اصل مشاهده‌پذیری را برای رفع برخی مشکلات فیزیک

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 100-130

در آن دوره برگزیند. این پرسش می‌تواند مطرح شود که هایزنبرگ چرا این استراتژی را پیش می‌گیرد؟ با توجه به آنچه که در مقدمه مقاله آورده است پاسخ هایزنبرگ به این پرسش می‌تواند این باشد که نظریه کوانتومی پیشین، که مبتنی بر مشاهده‌ناپذیرها است، ناکارآمد بود؛ اما هایزنبرگ در این مقاله اشاره‌ای به بی‌معنایی مشاهده‌ناپذیرها ندارد. هایزنبرگ در پایان مقاله بیان می‌کند:

> «اینکه آیا روش تعیین داده‌های نظریه کوانتومی با بکارگیری روابط میان مشاهده-پذیرها، می‌تواند علی‌الاصول رضایت‌بخش باشد، همانند آنچه که در اینجا پیشنهاد شد؛ و یا اینکه این روش در نهایت یک رهیافت بسیار نامناسب به مسئله فیزیکی ساخت یک مکانیک کوانتومی نظری است،... صرفاً با تحقیق ریاضیاتی قویتر درباره روشی که در اینجا به صورت بسیار سطحی (Superficially) بکار گرفته شده است، تصمیم‌گیری خواهد شد»(Ibid: 276).

در واقع در اینجا هایزنبرگ با رویکردی ریاضیات–محور و انتزاعی به نظریه مکانیک‌کوانتومی، کارآمدی روش اتکا بر مشاهده‌پذیرها را منوط به تحقیق ریاضیاتی تلقی می‌کند؛ چیزی که بعدها با همکاری بورن و یوردان تحقق یافت.

به طور خلاصه، اصل مشاهده‌پذیری مهم‌ترین اصلی است که هایزنبرگ به زعم خود در بنیاد نهادن نظریه جدید مکانیک‌کوانتومی از آن بهره می‌گیرد و صریحاً بدان اشاره می‌کند و همچنین به بازسازی فرمول‌های مکانیک‌کلاسیک با توجه به مشاهده‌پذیرها برخاسته است.

اصل همخوانی: به مفهوم عام و رایج در کتاب‌های درسی فیزیک، اصل همخوانی به این مفهوم است که اگر یک نظریه جدید فیزیکی را در شرایطی خاص بکار بریم که در آن نظریه‌ای با عمومیت کمتر صادق است، نظریه جدید به نظریه متناظر کلاسیکی کاملا جاافتاده پیشین تبدیل خواهد شد. این اصل را بور در ۱۹۲۳ ارائه نمود و بنا به آن رفتار سیستم‌های کوانتمی در شرایط مناسب با رفتار پیش‌بینی شده توسط فیزیک کلاسیک مطابقت داشت(گلشنی، ۲۰۱۵). در مقاله (1925)، هایزنبرگ طرد برخی اصطلاحات زبان کلاسیک و ادعای گسست نظریه جدید از نظریه کلاسیک را مطرح نموده است. این پیشنهاد ممکن است این پیامد را به دنبال داشته باشد که هایزنبرگ در نظریه جدید خود اصل همخوانی را کنار نهاده است؛ اما وی اصل همخوانی را نه تنها صریحاً به چالش نکشیده است، بلکه در مقاله ۱۹۲۵ استراتژی خود را در بنیان نهادن مکانیک کوانتومی «ساخت یک فرمالیسم مکانیک–کوانتومی [می‌داند] که تا حد ممکن در همخوانی(Corresponding) با مکانیک کلاسیک باشد»(Heisenberg, 1925). در واقع

interaction between sciences and philosophy

هایزنبرگ رهیافت گذر از نظریه کوانتوم به کلاسیک را در برخی از موارد که در ارتباط با مشاهده-ناپذیرهاست کنار نهاده است؛ ولی این به مفهوم کنار نهادن اصل همخوانی نیست. شاید به این سبب است که ادعا می‌شود هایزنبرگ این مفهوم رایج اصل همخوانی در نظریه کوانتوم قدیمی را نمی‌پذیرد. به تعبیر بهتر شاید بتوان ادعا نمود اصل همخوانی را در حوزه مشاهده‌ناپذیرها نفی می‌کند و الا در برخی موارد در این مقاله به عنوان یک استراتژی از آن بهره می‌گیرد.

> «اگر ما یک رابطه نظریه کوانتومی را در همخوانی با معادله ۱۴ و ۱۵ [در متن مقاله هایزنبرگ] و همراه کمیت‌های صرفاً مشاهده‌پذیر جستجو کنیم، آن وحدتی(Uniqueness) که از بین رفته بود به صورت خودکار دوباره برمی-گردد»(Ibid: 268).

در این نقل قول از هایزنبرگ، هم به همخوانی و هم به مشاهده‌پذیرها توجه شده است. همچنین او در این مقاله صریحاً از اصل همخوانی نیز به عنوان یک دیدگاه(Point of view) در مقاله‌اش استفاده کرده است و خود به آن اذعان می‌کند(Ibid). به طور کلی ناکارآمدی مشاهده‌ناپذیرها و طرد آن‌ها به عنوان مبانی نظریه جدید، این نتیجه را برای هایزنبرگ در برداشت که لزومی ندارد از همه جهات نظریه کلاسیک و نظریه کوانتوم ارتباط خود را حفظ کنند. در این میان اصل همخوانی که در نظریه کوانتوم قدیم به مثابه مبنایی برای پیوستگی دو نظریه کلاسیک و کوانتوم ایفای نقش نموده بود، اهمیت خود را از دست داد. هر چند در مقاله هایزنبرگ در برخی موارد بکار گرفته می‌شود اما آن جایگاه پیشین را ندارد؛ زیرا برای او لزومی نداشت که ارتباط پیوسته کلاسیک–کوانتوم حفظ شود و این دو نظریه از هم گسسته تلقی می‌شدند. مبنای این گسستگی می‌تواند بر زمینه‌هایی معرفت‌شناختی و متافیزیکی استوار باشد.

هایزنبرگ بعدها از اصطلاح ‘نظریه بسته’ برای دو نظریه کلاسیک و کوانتوم بهره گرفت که این اصطلاح ویژگی‌هایی داشت که نگرش‌های فلسفی هایزنبرگ را در ارتباط با رابطه کلاسیک–کوانتوم در خود جای داده است. بر طبق اصطلاح نظریه بسته هر کدام از این دو نظریه برای دامنه مشخصی از پدیدارها صادق هستند. دیدگاه رایج این است که ‘تنها مشاهده‌پذیرها’ در شکل‌گیری مکانیک‌کوانتومی نقش داشته‌اند؛ اما برخی از فیلسوفان علم متاخر از جمله داریگل (Darrigol,1992: 273-275)و بوکولیچ(Bokulich, 2008: 30) بر این باورند که تاکید بر ‘تنها مشاهده‌پذیرها’ نقش خیلی مهمی در کشف مکانیک کوانتومی ایفا ننموده است. اصل همخوانی هم نقش مهمی در شکل‌گیری نظریه مکانیک هایزنبرگ ایفا نموده است. به نظر داریگل:

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 100-130

«اگر کسی هنوز مایل باشد، صرفاً عامل واحدی را که نقش بیشتری از سایر موارد برای مکانیک‌کوانتومی هایزنبرگ داشته، معرفی کند تنها گزینه معقول اصل همخوانی است»(Darrigol, 1992: 276).

به نظر بوکولیچ، هایزنبرگ از روح اصل همخوانی بور بهره گرفته است(Bokulich,2008:90). به طور کلی در نظریه کوانتوم قدیمی، اصل همخوانی به این مفهوم بود که نظریه کلاسیک حالت حدی نظریه کوانتوم است. به نظر می‌رسد که هایزنبرگ اصل همخوانی را طرد نمی‌کند، بلکه مفهوم و کاربرد دیگری برای آن ارائه داده است. به نظر ماکس یامر نوآوری رهیافت هایزنبرگ، «در روشی بود که وی اصل همخوانی بور را بکار برد»(Jammer, 1989: 211). همچنین به نظر کاسیدی «هایزنبرگ با بکارگیری همخوانی برای استنتاج نتایج کمّی(quantitative) برای کاربردهای دیگر، آن را تدقیق نمود»(Cassidy, 1991: 187). نتیجه‌ای که هایزنبرگ در ۱۹۲۴ بدان دست یافته بود.

اصل مماثلت: هایزنبرگ در مقاله خود صریحاً اعلام می‌کند استراتژی وی این است که

«یک مکانیک کوانتومی، در مماثلت با مکانیک کلاسیک، بنیاد نهاده شود، که در آن صرفاً روابط میان کمیت‌های مشاهده‌پذیر وجود داشته باشد»(Heisenberg, 1925: 262).

هایزنبرگ در عمده مقاله‌اش از مماثلت، به مفهوم شباهت صوری میان روابط نظریه کلاسیک و نظریه کوانتم، بهره برده است و تقریباً تمام روابطی را که در این مقاله بدست می‌آورد در مقایسه و در مشابهت با نظریه کلاسیک بدست می‌آورد. در واقع بازتعبیر روابط کلاسیک و ترجمه روابط کلاسیک به کوانتومی، استراتژی هایزنبرگ بود و این بازتعبیر و ترجمه نمادین براساس مماثلت با کلاسیک صورت می‌گرفت؛ به این مفهوم که هایزنبرگ سعی می‌کرد روابط کوانتومی را بر مبنای اصلاح با مشاهده‌پذیرها بدست آورد.

داریگل که نقش اصل مشاهده‌پذیری را به چالش می‌کشد و به جای آن بر اهمیت اصل همخوانی تاکید می‌کند دلیل می‌آورد"که ریشه ترجمه نمادین مکانیک کلاسیک در زمینه کلی این اصل [همخوانی] است، که اصطلاحاً مماثلت صوری میان قوانین نظریه کوانتوم و قوانین نظریه کلاسیک [در آن] وجود دارد. بیان دقیق این مماثلت، آنگونه که هایزنبرگ صورت‌بندی نموده است، باید به جنبه دقیق‌تری از همان اصل برگردد: در همخوانی میان طیف نظریه کوانتوم و هماهنگ‌های یک حرکت کلاسیک»(Darrigol, 1992: 276-277). به نظر داریگل اصل همخوانی در مکانیک ماتریسی ادغام شده است(Ibid, 1997: 559)؛ هر چند داریگل بر مبنای

interaction between sciences and philosophy

مماثلت میان روابط کلاسیک و کوانتومی به این نتیجه رسیده است که اصل همخوانی نقش اساسی ایفا نموده است، اما به نظر می‌رسد این دو با هم متفاوت باشند؛ از این رو، از اصل جداگانه‌ای تحت عنوان اصل مماثلت می‌توان نام برد. هایزنبرگ که بر اساس مماثلت به روابط میان کلاسیک–کوانتوم در این مقاله می‌نگرد، نظریه کوانتوم را در مواردی با نظریه کلاسیک متفاوت می‌داند: از جمله کمیت‌های مشاهده‌ناپذیر، تصویرپذیری رخدادها و ...؛ هایزنبرگ در این مقاله می‌گوید:

«تعبیر هندسی این روابط فاز در نظریه کوانتوم در مماثلت با متناظر کلاسیک آن‌ها در حال حاضر تقریباً امکان‌ناپذیر است»(Heisenberg, 1925: 265)

این تفاوت‌های مفهومی دو نظریه، به هایزنبرگ اجازه نمی‌دهد اصل همخوانی را به مفهوم تقلیل‌گرایانه آن بپذیرد. او حتی ضروری نمی‌بیند که پیش‌بینی‌های دو نظریه، الزاماً مجانب وار باشند. شاید صرفاً بتوان از اصل همخوانی مماثلت‌گرایانه در این میان سخن راند که بر مبنای آن، دو نظریه می‌توانند مشابه باشند. می‌توان در مماثلت به مثابه یک روش، استدلال مبتنی بر مشابهت و مقایسه را گنجاند. در استدلال مبتنی بر مشابهت، با توجه موارد مشترک نتایج اخذ می‌شوند؛ در حالیکه در استدلال مبتنی بر مقایسه، با توجه نقاط افتراق، وجه ممیزه‌ها در جهت رجحان بکار گرفته می‌شوند. برنامه هایزنبرگ و سیر استدلالات او بر اساس مماثلت(به مفهوم مشابهت و مقایسه) پیش می‌رود. هایزنبرگ بیشتر از آنکه اصل همخوانی به مفهوم رایج آن در نظریه کوانتوم قدیمی را بپذیرد، در شکل دادن مکانیک‌کوانتومی، بر مماثلت میان نظریه کلاسیک و مکانیک کلاسیک تاکید می‌کند.

۲-۲. مقاله ۱۹۲۷ و روابط عدم قطعیت

مقاله ۱۹۲۷ هایزنبرگ(Heisenberg, 1927)، که در آن روابط عدم‌قطعیت معرفی شده است، حاوی برخی عناصر مفهومی و فلسفی است که در شکل‌دهی به ساختار مقاله اثرگذارند. این عناصر از این قرارند: مفهوم «تعبیر» و «فهمیدن»، رابطه کلاسیک–کوانتوم، عملیات‌گرایی، آمار و احتمال کلاسیک و کوانتومی، علیّت و موجبیت‌گرایی، منابع توجیه و .....؛ برخی از مهم‌ترین نکاتی که از این مقاله قابل استنباط هستند و با روابط عدم‌قطعیت مرتبط هستند، از این قرارند:

نخست، به نظر هایزنبرگ «تعبیر» مکانیک‌کوانتومی تلاشی برای «فهمیدن» و «قابل‌فهم نمودن» مکانیک‌کوانتومی است. همچنین تعبیر مکانیک‌کوانتومی و اصل عدم‌قطعیت در مقاله هایزنبرگ با هم گره خورده‌اند؛ به گونه‌ای که عدم‌قطعیت یکی از عناصر تعبیر کپنهاگی مکانیک-کوانتومی تلقی می‌شود(Cushing, 1994). شایان ذکر است که خود اصطلاح «تعبیر»، تعبیر بردار است. در اولین گام برای بیان رابطه عدم‌قطعیت، هایزنبرگ مقاله را با تشریح اصطلاح

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 100-130

«فهمیدن» آغاز می‌کند و به تحلیل مفهوم «فهمیدن» و معیارهای آن، به عنوان جزئی اساسی از «تعبیر فیزیکی» می‌پردازد. با این کار هایزنبرگ یک رابطه فیزیکی را با یک موضوع شناختی و معرفتی پیوند می‌دهد. همانگونه که در معرفت‌شناسی موضوع، محدوده‌ها و معیارهای شناخت مورد بحث قرار می‌گیرند، در فرآیند «فهمیدن» نیز پرسش‌ها در باب فهم، محدوده‌ها و محدودیت‌ها و معیارهای آن مطرح است. از این رو فرآیند فهم در فیزیک و موضوع تعبیر فیزیکی با معرفت‌شناسی و فلسفه پیوند می‌خورند.

> «ما باور داریم که محتوی فیزیکی یک نظریه را می‌فهمیم(Understand)، هنگامی که بتوانیم نتایج تجربی کیفی(Qualitative Experimental Consequences) آن را در همه موارد ساده بفهمیم و ضمناً، هنگامی که کاربرد نظریه را بررسی می‌کنیم، حاوی هیچ تناقض درونی نباشد»(Heisenberg,1927: 62).

هایزنبرگ در اینجا دو معیار برای فهم محتوی فیزیکی ارائه می‌دهد: نخست، درک نتایج تجربی کیفی(در برابر کمّی) در همه موارد ساده و دوم، عدم تناقض درونی در حین کاربرد نظریه. هایزنبرگ اذعان می‌کند که:

> «تعبیر فیزیکی مکانیک‌کوانتومی هنوز پر از ناسازگاری‌های(Discrepancy) درونی است که خود را در مناقشات مربوط به پیوستگی در برابر گسستگی و ذره در برابر موج نشان می‌دهد. پیش از این با توجه به این شرایط، می‌توانست نتیجه شود که هیچ تعبیر مکانیک کوانتومی ممکن نیست که از مفاهیم حرکت‌شناسی(Kinematic) و مکانیک مرسوم(Ordinary) استفاده نکند. اما مکانیک کوانتومی دقیقاً از تلاش برای گسست از همه مفاهیم حرکت‌شناسی رایج و جایگزینی آن‌ها با روابط میان اعداد تعیین‌پذیر تجربی(Exprimently Determinable Numbers) و ملموس(Concrete) شکل گرفت»(Ibid).

فهم محتوای تجربی نظریه مکانیک‌کوانتومی، اساس تعبیر فیزیکی فرمالیسم آن است. در این میان تناقض‌زدائی از نظریه و تاکید بر درک نتایج تجربی آن، اساس فهم فیزیکی و تعبیر آن را شکل می‌دهد. با توجه به معیارهای هایزنبرگ برای فهم فیزیکی و تعبیر نظریه، ارتباط مقوله فهم با تجربه و منطق درونی نظریه فراهم می‌شود. هایزنبرگ برای روشن شدن بحث خود در این زمینه از مثال فضا–زمان و نظریه نسبیت خاص اینشتین استفاده می‌کند(Ibid). در این مثال دو نکته

interaction between sciences and philosophy

حائز اهمیت نهفته است: نخست، ارتباط سازگار تصویرپذیری نتایج تجربی با مفهوم فضا؛ و دوم، توجه به دو معیار «منطق» و «مشاهده» برای توجیه در بحث عدم کاربرد مفاهیم معمول فضا بر فواصل کیهانی. هایزنبرگ تناقضات درونی مکانیک‌کوانتومی را در آن دوره با مفاهیم حرکت‌شناسی و مکانیکی، که از مکانیک کلاسیک به ارث رسیده بودند، مرتبط می‌دانست.

دوم. در فرآیند تعبیر و فهم مکانیک‌کوانتومی رابطه کلاسیک–کوانتوم اهمیت دارد. در موضوع اصل همخوانی این رابطه مورد توجه قرار گرفت، اما در حوزه تعبیر و فهم مکانیک‌کوانتومی می‌تواند به گونه دیگری مطرح شود. عمدتاً اینگونه تصور می‌شود که فیزیک کلاسیک با فهم عامه سازگاری بیشتری دارد و اصطلاحات آن هم محسوس‌ترند. در مقابل، نظریه کوانتوم از درجه انتزاع بیشتری برخوردار است.

> «حرکت‌شناسی و مکانیک کوانتومی تفاوت‌های بسیار زیادی با نظریه رایج(Ordinary Theory) از خود نشان می‌دهند. با این وجود، کاربردپذیری(Applicability) مفاهیم حرکت‌شناسی و مکانیک کلاسیک، نه با قوانین اندیشه ما قابل توجیه‌اند(Justify) و نه با تجربه. مبنای این نتیجه‌گیری رابطه(۱) $p_1q_1 \approx h$، است. به سبب اینکه اندازه حرکت، مکان، انرژی و غیره مفاهیمی به دقت تعریف شده هستند، پس نیازی نیست گفته شود که معادله (۱) حاوی نتایج صرفاً کیفی است. به علاوه اگر ما بتوانیم از نظر کیفی، به نتایج تجربی نظریه در همه موارد ساده بیندیشیم، ما دیگر ناگزیر نخواهیم بود به مکانیک-کوانتومی به مثابه امری غیرفیزیکی و انتزاعی نظر کنیم. البته ما مایل هستیم که در صورت امکان قادر باشیم قوانین کمّی مکانیک کوانتومی را از مبانی فیزیکی– یعنی، اساساً، از رابطه(۱)– استنتاج نماییم»(Heisenberg, 1927: 82).

یکی از استراتژی‌ها برای فهم این نظریه انتزاعی می‌تواند برقرار نمودن ارتباط مفاهیم کوانتومی با مفاهیم کلاسیک باشد. این موضوع ممکن است بتواند قابلیت اندیشیدن کیفی به نتایج نظریه کوانتوم را بدهد. بنابراین در این حوزه پرسش این است که آیا می‌توان مکانیک‌کوانتومی را بر اساس فیزیک کلاسیک و با اصطلاحات آن قابل فهم نمود. در اینجا کاربردپذیری مفاهیم کلاسیک و تعبیر مفاهیم کوانتومی بر اساس مفاهیم کلاسیک و رابطه آن‌ها با همدیگر می‌تواند کلیدی برای تعبیر نظریه باشد. هایزنبرگ خود بخشی از مقاله (بخش ۳) را به گذر از مکانیک دنیای ریزمقیاس(میکروسکوپی) به مکانیک دنیای بزرگ‌مقیاس(ماکروسکوپی) اختصاص می‌دهد. هایزنبرگ پس از ارائه یک مثال در باب حرکت یک ذره و تشریح وضعیت مکان، سرعت و نمودار

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 100-130

مکان-زمان آن با توجه به دو نظریه مبتنی بر گسستگی و پیوستگی اذعان می‌کند که در اینجا این پرسش برمی‌خیزد:

> «آیا از یک تحلیل دقیق‌تر مفاهیم حرکت‌شناسی و مکانیکی، زدودن تمام تناقضاتی که تاکنون در تعابیر فیزیکی مکانیک‌کوانتومی مشخص شده‌اند و رسیدن به یک فهم فیزیکی از فرمول‌های مکانیک‌کوانتومی، امکان‌پذیر می‌شود»(Ibid: 63)

هایزنبرگ ریشه آن تناقضات را در موضوع گسستگی/پیوستگی و دوگانگی موج/ذره و در حین کاربرد مفاهیم حرکت‌شناسی و مکانیکی می‌دانست. هایزنبرگ روی تحلیل دقیق‌تر مفاهیم حرکت-شناسی و مکانیکی انگشت گذاشته است، اما این دقت در نهایت مشمول محدودیت‌های اصل عدم‌قطعیت است. هایزنبرگ در بخش نخست مقاله‌اش به تحلیل مفاهیم کلاسیک مکان، مسیر، سرعت و انرژی می‌پردازد. او نتایج این بخش را در این جملات خلاصه و جمع‌بندی می‌کند:

> «همه مفاهیمی که می‌توانند در نظریه کلاسیک برای توصیف یک سیستم مکانیکی مورد استفاده قرار گیرند، به همان صورت می‌توانند در مماثلت با مفاهیم کلاسیک، دقیقاً برای فرآیندهای اتمی تعریف شوند. آزمایش‌هایی که اینگونه تعاریف را فراهم می‌سازند، خودشان از یک عدم‌تعین رنج می‌برند که کاملاً به وسیله روش‌های مشاهدتی(Observational Procedure) بکار رفته وارد می‌شوند؛ هنگامی که می‌خواهیم به صورت همزمان دو کمیت مزدوج کانونی را تعیین کنیم. مقدار این عدم‌تعین از رابطه(۱) بدست می‌آید»(Ibid: 68).

به سبب این محدودیت‌ها دامنه کاربردپذیری مفاهیم هم محدود می‌شود. همچنین برخی از جملات مقاله هایزنبرگ می‌تواند اینگونه تعبیر شوند که هایزنبرگ قائل به شمول نظریه کوانتوم بر همه آزمایش‌ها و نتیجتاً جهانشمولی این نظریه است. به عنوان مثال هایزنبرگ می‌گوید:

> «می‌توان وضعیت(State of Affairs) را به این صورت بهتر بیان کرد: به دلیل اینکه همه آزمایش‌ها مشمول قوانین مکانیک‌کوانتومی و از این رو معادله(۱) می‌شوند، نتیجه می‌شود که مکانیک‌کوانتومی رد نهایی(Final Failure) علیّت را تثبیت می‌کند»(Ibid: 83).

به نظر می‌رسد به زعم هایزنبرگ باید دنیای ماکروسکوپی مشمول قوانین مکانیک کوانتومی باشد و مفاهیم کلاسیک هم در مکانیک کوانتومی کاربرد داشته باشند و همچنین سعی شده است در پرتو مکانیک کوانتومی فهمیده شوند. وی با توجه به تحلیل مفاهیم حرکت‌شناسی و مکانیک

interaction between science and philosophy

در بخش‌های پیشین خاطر نشان می‌سازد که «فهم فیزیکی فرآیندهای ماکروسکوپی از منظر مکانیک کوانتومی هم باید ممکن باشد»(Ibid: 72)

به نظر می‌رسد هایزنبرگ در زمینه رابطه کلاسیک و کوانتوم، به شکاف و گسستگی میان آن دو نظریه قائل است. این شکاف و گسستگی ریشه در دو گانگی مشاهدتی/نظری، اندازه‌گیری، عدم قطعیت، وجود آمار و احتمال و ... دارد. تلاش برای رفع این گسستگی منجر به تناقض در فهم می‌شود. به نظر می‌رسد هایزنبرگ اصل همخوانی را که در نظریه کوانتوم قدیم نمودی از پیوستگی نظریه کلاسیک و نظریه کوانتوم بود، کنار نمی‌گذارد، بلکه آن را به صورت دیگری بکار می‌برد. به عنوان مثال، هایزنبرگ در فرآیند کنار زدن مفاهیم کلاسیک و جایگزینی آن‌ها با کمیت‌های مشاهده‌پذیر و تعیین‌پذیر می‌گوید: اگر این فعالیت با موفقیت پیش رود، انگاره ریاضیاتی مکانیک کوانتومی نیازمند بازبینی نیست. همچنین بازبینی در هندسه فضا–زمان در فواصل کوچک غیرضروری است، چنانچه بتوان با انتخاب جرم‌های به اندازه کافی بزرگ، یا حتی هنگامی که فواصل و زمان‌های به اندازه دلخواه کوچک وارد مسئله شوند، قوانین مکانیک‌کوانتومی را تا اندازه دلخواه می‌توان به موارد کلاسیک نزدیک(Approximate) کرد. اما به نظر می‌رسد آن بازبینی مفاهیم حرکت‌شناسی و مکانیکی که ضروری است، مستقیماً از معادلات اساسی مکانیک کوانتومی پیروی می‌کند(Ibid: 62).

سوم. رهیافت هایزنبرگ در توسل به مشاهده و اندازه‌گیری در تعریف اصطلاحات، در این مقاله بسیار با اهمیت است. هایزنبرگ در بخش دوم مقاله به تحلیل مفاهیم کلاسیک همچون مکان، مسیر، سرعت و انرژی می‌پردازد. به نظر هایزنبرگ برای داشتن فهم روشن از این اصطلاحات و مفاهیم، لزوماً باید به آزمایش و تجربه متوسل شویم.

> «اگر فرد بخواهد درباره آنچه که از کلماتی همچون موضع یک شیء (Position of the Object) مثلاً یک الکترون، فهم روشنی داشته باشد، باید آزمایش‌های معینی را مشخص نماید که به کمک آن‌ها بتواند روشی برای اندازه‌گیری ‘مکان الکترون’ طرح‌ریزی کند؛ در غیر اینصورت این اصطلاح هیچ معنایی(Meaning) ندارد. اینگونه آزمایش‌ها علی‌الاصول اجازه می‌دهد ‘مکان الکترون’ با دقت دلخواه تعیین شود»(Ibid: 64).

در این جملات هایزنبرگ چند نکته اساسی وجود دارد: نخست، توجه به فهم اصطلاح و مفهوم فیزیکی؛ دوم، نسبت میان فهم و طرح آزمایش تجربی؛ سوم، نسبت میان معنای یک اصطلاح و روش اندازه‌گیری تجربی آن. صورت‌بندی دیگری برای نکته سوم هایزنبرگ این است که معنای

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 100-130

یک کمیت فیزیکی منوط به امکان طرح یک روش اندازه‌گیری تجربی برای آن است. هایزنبرگ در ادامه، مسیر الکترون را با توجه به مکان تعریف می‌کند.

> «از اصطلاح مسیر، مجموعه‌ای از نقاط در فضا (در یک دستگاه مرجع مفروض) را می‌فهمیم که الکترون یکی پس از دیگری آن‌ها را به عنوان 'مکان‌هایی' به خود می‌گیرد»(Ibid: 65)

برای هایزنبرگ فهمیدن مکان یک ذره در یک لحظه زمانی مشخص مشکل چندانی ندارد، اما اصطلاح رایج اربیتال(Orbit) 1s اتم هیدروژن با توجه به آن دیدگاه مفروض بی-معنا(Nonsense) است. هایزنبرگ با توجه به شرایط انجام آزمایش، نتیجه می‌گیرد که «هیچ معنی قابل تعریفی برای اصطلاح مسیر وجود ندارد». او همچنین می‌گوید که:

> «این نتیجه از قبل بدون استفاده از دانش نظریه‌های اخیر، به سادگی از امکانات تجربی(Experimental Possibilities) قابل استنتاج بود»(Ibid: 65).

نکته شایان توجه دیگر در ارتباط با مشاهده‌پذیری و تعریف مفاهیم این است که در برخی از جملات مقاله هایزنبرگ وجهی هستی‌شناختی مبتنی بر ارتباط مشاهده با مفهوم وجود دارد. به گفته هایزنبرگ:

> «من بر این باورم که می‌توان به صورتی ثمربخش منشاء مدار(Orbit) کلاسیک را بدین شیوه صورت‌بندی نمود: مدار صرفاً هنگامی به وجود می‌آید (Come into Being) که ما آن را مشاهده کنیم»(Ibid: 73).

هایزنبرگ در رهیافت خود به تعریف کمیت‌ها، نظریه کوانتوم را با نسبیت خاص مورد مقایسه قرار می‌دهد و بر روی 'همزمانی' متمرکز می‌شود. هایزنبزگ دو وضعیت مواجه با 'همزمانی' در نسبیت خاص و تعریف 'مکان الکترون' و 'سرعت' آن در نظریه کوانتوم را مشابه می‌داند. هایزنبرگ امکان مکانیک‌کوانتومی را منوط به رابطه عدم‌قطعیت(۱) می‌داند و آن رابطه را ضامن امکان معادله مربوط به روابط عدم‌قطعیت می‌داند بدون اینکه ضرورتی برای تغییر معنای فیزیکی کمیت‌های p و q در کار باشد(Ibid: 68).

چهارم. یکی دیگر از موضوعات مرتبط با اصل عدم‌قطعیت، موضوع علیت است. به نظر می‌رسد هایزنبرگ از دو جهت علیت را طرد می‌کند: نخست، با اتکا به روابط عدم‌قطعیت و اینکه نمی‌توان وضعیت کنونی سیستم را کاملاً شناخت و دوم، با ورود عنصر آمار و احتمال در محاسبه نتایج. مورد

interaction between sciences and philosophy

نخست، ناتوانی در شناخت کامل وضعیت اولیه سیستم و مورد دوم، به عدم شناخت دقیق و قطعی وضعیت نهایی سیستم مربوط است. هایزنبرگ در مقاله‌اش می‌نویسد:

> «ما نپذیرفته‌ایم که نظریه کوانتوم –در تقابل با نظریه کلاسیک– یک نظریه اساساً آماری است، به این مفهوم که صرفاً نتایج آماری از داده‌های اولیه دقیق قابل استنتاج هستند. برای مثال، آزمایش‌های مشهور گایگر و بوته مستقیماً بر علیه اینچنین فرضی صحبت می‌کنند. به علاوه، در همه مواردی که در نظریه کلاسیک روابطی میان کمیت‌های دقیقاً قابل اندازه‌گیری وجود دارد، روابط دقیق متناظر(Corresponding) (قوانین بقای انرژی و اندازه حرکت) در نظریه کوانتوم نگه داشته می‌شود. اما آنچه که در فرمول‌بندی دقیق قانون علیّت – هنگامی که حال را به دقت می‌دانیم آینده را می‌توانیم پیش‌بینی کنیم– برخطاست، نتیجه نیست بلکه مقدمات است. حتی علی‌الاصول نمی‌توانیم وضعیت کنونی را به تفصیل بدانیم. به همین دلیل هر چیز مشاهده شده گزینشی است از تعداد بی‌شماری از امکانات(Plenitude of Possibilities) و محدودیتی است بر آنچه که در آینده ممکن رخ دهد. به سبب اینکه ویژگی آماری نظریه کوانتوم پیوند وثیقی با عدم دقت(Inexactness) همه ادراکات(Perception) دارد، ممکن است فرد را به این فرض(Presumption) رهنمون کند که در پس این جهان آماری مفروض(Perceived Statistical World)، هنوز جهانی 'واقعی' مخفی است که علیّت در آن برقرار است. اما اینگونه نظرورزی‌ها برای ما، به بیانی دقیق‌تر، بی‌ثمر(Fruitless) و بی‌معنی(Senseless) هستند. فیزیک باید صرفاً وابستگی(Correlation) میان مشاهدات را توصیف کند. می‌توان وضعیت (State of Affairs) را به این صورت بهتر بیان کرد: به دلیل اینکه همه آزمایش‌ها مشمول قوانین مکانیک‌کوانتومی و از این رو معادله (۱) می‌شوند، نتیجه می‌شود که مکانیک کوانتومی رد نهایی علیّت را تثبیت می‌کند»(Ibid: 83).

از این جملات هایزنبرگ نکات بسیاری قابل استنباط است که روایت‌گر بخشی از نگرش‌های فلسفی هایزنبرگ هستند. به نظر هایزنبرگ، نظریه کوانتوم اگر چه نظریه‌ای آماری است، اما همه اجزای آن نظریه، آماری نیست. همچنین هایزنبرگ در این جملات علیت را به صورت واضح طرد کرده است. بیانی که هایزنبرگ از قانون علیت دارد با پیش‌بینی‌پذیری معادل است؛ زیرا آنچه که هایزنبرگ به عنوان قانون علیت فرض می‌کند این است که اگر حال را به دقت بدانیم، آینده قابل پیش‌بینی می‌شود. اگر چه هایزنبرگ این صورت‌بندی را برای علیت پذیرفته است اما علیت را در

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 100-130

مکانیک کوانتومی و در طبیعت طرد می‌کند. زیرا از یک طرف به نظر هایزنبرگ مطابق آنچه که در بالا آمده است نمی‌توان علی‌الاصول زمان حال را به تفصیل شناخت و از طرف دیگر او ایده متغیرهای نهان و جهان نهان در پس رویدادها را رد می‌کند که در آن علیت برقرار باشد. هایزنبرگ ایده جهان‌های نهان را ایده ای بی‌ثمر و بی‌معنا می‌داند. دلیل این بی معنا انگاشتن به زعم هایزنبرگ این است که باید فیزیک صرفاً رابطه میان کمیات مشاهده‌پذیر باشد.

هر چند هایزنبرگ تمایل دارد صرفاً به مشاهده‌پذیرها اکتفا کند، با این وصف پس از اینکه با رهیافتی ریاضیاتی به نظریه دیراک-یوردان می‌نگرد(Ibid: 69-70) این نکته را نتیجه می‌گیرد که:

> «یک آزمایش معین هرگز نمی‌تواند اطلاعات دقیقی درباره همه کمیت‌های نظریه کوانتوم ارائه دهد. بلکه بیشتر، کمیت‌های فیزیکی را در دو دسته ‘مشخص’(Known) و ‘نامشخص’(Unknown) ... به روش مختص به آزمایش مورد بحث، تفکیک می‌کند. ... هنگامی که دو آزمایش تقسیمات ‘مشخص’ و ‘نامشخص’ را بکار می‌برند، آنگاه نتایج آن‌ها صرفاً می‌توانند به صورت آماری بیان شوند»(Ibid: 70).

هایزنبرگ حالت‌ها را مجموعه‌ای از امکانات برمی‌شمرد. لازم به ذکر است که پیش از این، بورن تعبیر آماری را ارائه کرده بود و استفاده از آمار و احتمال به طور کلی امری بدیع در فیزیک نبود. اما هایزنبرگ بر پیوند میان آمار و عدم قطعیت تاکید کرده است. نظر هایزنبرگ در مورد زمینه ورود عنصر آمار و احتمال به حوزه نظریه کوانتوم این است:

> «اندازه‌گیری‌های سنجیده‌تر(Contemplated) مکان برای تعداد زیادی اتم در حالت 1s قابل انجام است... از این رو برای حالتی از اتم-برای مثال، حالت 1s- یک تابع احتمال برای موضع الکترون وجود دارد که با مقدار میانگین برای اربیتال کلاسیک، که بر روی همه حالت‌ها(فازها) میانگین‌گیری شده، متناظر است و می‌تواند از طریق اندازه‌گیری با دقت دلخواه تعیین شود»(Ibid: 65-66).

هایزنبرگ در ادامه به جنبه آماری نظریه کوانتوم، درباره توزیع احتمالاتی مکان الکترون‌ها، در حالت معینی همچون 1s می‌پردازد و آن را یکی از تفاوت‌ها با مکانیک کلاسیک تلقی می‌کند. آمار در نظریه کلاسیک بیشتر به سبب اطلاعات ناکافی در باره حالت اتم وارد می‌شود، اما در مکانیک کوانتومی در یک حالت ساکن اتم، فازها علی‌الاصول نامتعین‌اند، به گونه‌ای که آن‌ها را به عنوان نتیجه مستقیم معادلات مربوط به عدم‌قطعیت زمان-انرژی می‌توان دید(Ibid: 66).

interaction between sciences and philosophy

پنجم. نسبت میان مفهوم واقعیت و اصل عدم‌قطعیت هایزنبرگ یکی دیگر از موارد مهم در این مقاله است. هایزنبرگ در متن مقاله ایده متغیرهای نهان و وجود یک جهان نهان در پس رویدادها را نفی می‌کند و حتی آن را بی‌معنا تلقی می‌کند(Ibid: 83). از این رو هایزنبرگ ضرورتی ندیده است که به یک واقعیت موجود و قابل شناسایی در هستی باور داشته باشد. این به مفهوم نفی واقع‌گرایی خام است که با رویکرد پوزیتیویستی آن را اتخاذ نموده است؛ زیرا آن واقعیت را بی‌معنا تلقی می‌کند. این موضوع به مسئله تفکیک میان نومن و فنومن کانت دامن می‌زند؛ با این تفاوت که کانت نومن را نفی نمی‌کند، اما هایزنبرگ آن را نامفهوم و غیرمفید می‌داند. شواهد دیگری وجود دارد مبنی بر اینکه هایزنبرگ یک مفهوم فیزیکی –مثلاً مدار– را محصول مشاهده تلقی می‌کند(Ibid: 73). شکل‌گیری واقعیت بر اساس مشاهده و تجربه، که ناشی از رهیافتی پوزیتیویستی است، در کار هایزنبرگ شایان توجه است. با این وصف به نظر می‌رسد هایزنبرگ در متن مقاله به گونه‌ای از واقعیت باور دارد. این واقعیت در نزد هایزنبرگ، آن چیزی است که در پس فرمول‌های ریاضیاتی فیزیک وجود دارد. عبارت 'در واقعیت' به همان اندازه موجه است که در هر توصیف ریاضیاتی از فرآیندهای فیزیکی هست. به محض اینکه پذیرفته شود همه کمیت‌های نظریه کوانتوم در واقعیت(in Reality) ماتریس هستند، قوانین کمّی بدون مشکل از پی آن می‌آیند(Ibid: 82).

۳. آثار هایزنبرگ و صورت‌بندی رهیافت‌های فلسفی

در بخش پیشین با نگاهی نزدیکتر به متن و ساختار آثار هایزنبرگ و به روش تحلیل متن–محور به بررسی آثار وی پرداخته شد و اصول و آموزه‌هایی مفهومی از خلال کارهای وی استنباط گردید. در این بخش با توجه به این یافته‌ها به صورت‌بندی رهیافت‌های فلسفی[1] که از استلزامات این اصول و آموزه‌ها است پرداخته می‌شود.

۱-۳. استلزامات فلسفی اصول سه‌گانه در شکل گیری مکانیک ماتریسی

با توجه به آنچه از تحلیل فلسفی مقاله ۱۹۲۵ هایزنبرگ استنباط گردید سه اصل مهم در شکل-گیری نظریه قابل استنباط هستند: اصل مشاهده‌پذیری، اصل همخوانی و اصل مماثلت. همچنین برخی آموزه‌های فلسفی و مفهومی از بطن این مقاله بیرون کشیده شدند. شواهد و مطالعاتی وجود دارد که این سه اصل در شکل گیری نظریه مکانیک ماتریسی اثرگذار بوده‌اند؛ هر چند تعیین وزن هر یک از این سه اصل بسیار دشوار است. برخی از فیلسوفان فیزیک که در این زمینه تحقیق نموده‌اند بر نقش اصل مشاهده‌پذیری و اصل همخوانی انگشت گذاشته‌اند؛ اما در تعیین وزن و

interaction between science and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 100-130

میزان اثرگذاری آن دو در شکل‌گیری نظریه اختلاف‌نظر دارند. اینک به تفکیک به هر سه اصل پرداخته و رهیافت‌های قابل‌صورتبندی از آن‌ها مورد بحث قرار می‌گیرند.

نخست، استلزامات فلسفی اصل مشاهده‌پذیری: چند ویژگی اساسی درباب چگونگی تعامل با مشاهده‌پذیرها، از مقاله ۱۹۲۵ می‌توان برشمرد: الف) مکانیک جدید باید بر اساس مشاهده‌پذیرها بنا شود. ب) مشاهده ناپذیرها باید طرد شوند. ج) نظریه مبتنی بر مشاهده‌ناپذیرها فاقد مبنای فیزیکی روشن است.

اهتمام به مشاهده‌پذیرها صریحاً از یک مبنای تجربه‌گرایانه[۲] برمی‌خیزد. تجربه‌گرایی را می‌توان در چند نوع دسته‌بندی نمود. نوع اول تجربه‌گرایی به نقش و اهمیت تجربه در فرآیند کشف علمی می‌پردازد. دانشمندان پس از قرن شانزدهم این نوع از تجربه‌گرایی را به عنوان زمینه و روش فعالیت علمی خود پذیرفته بودند. استقراگرایان می‌توانند در این حوزه قرار گیرند. نوع دوم تجربه-گرایی را می‌توان توجیه‌مدار نامید که نقش تجربه در آن به فرآیند توجیه، آزمون و داوری معرفت برمی‌گردد. تجربه‌گرایی پوپر را می‌توان در زمره این نوع دوم قرار داد. نوع سوم از تجربه-گرایی،تجربه‌گرایی پوزیتیویستی است که در آن نقش تجربه به عنوان اثبات صدق گزاره‌ها و تحقیق و آزمون آن‌ها مطرح می‌شود و شاخه‌های دیگر آن هم به معناداری/بی‌معنایی گزاره‌ها می‌پردازند و در معیار آن‌ها، روشی برای تحقیق و آزمون مطرح می‌شود. پوزیتیویست‌های حلقه وین می‌توانند در این شاخه قرار گیرند.

با توجه به تفکیک اولیه میان برخی از انواع تجربه‌گرایی از یک طرف و نیز اصل مشاهده‌پذیری در مقاله هایزنبرگ، می‌توان ادعا نمود که رویکرد هایزنبرگ از نوع تجربه‌گرایی پوزیتیویستی است. از این حیث که اصالت را صرفاً به مشاهده‌پذیرها می‌دهد و با توجه به تاکید وی بر طرد مشاهده-ناپذیرها، پوزیتیویست بودن او در آن زمان را نمی‌توان نادیده گرفت[۳]؛ این در حالی است که تجربه‌گرایی نوع اول و دوم، الزاماً و منحصراً بر مشاهده‌پذیرها تکیه ندارند. اما آیا می‌توان گفت از نوع پوزیتیویسم منطقی[۴] است؟ تز اصلی پوزیتیویست‌های منطقی اصل تحقیق‌پذیری بود. هرچند این اصل صورتبندی‌های متعددی به خود گرفت، اما موضوع اصلی آن، این بود که هر آنچه قابل‌تحقیق و آزمون‌پذیر با روش تجربی باشد و یا متعلق به منطق و ریاضیات باشد، معنادار و در نتیجه معرفت‌بخش است؛ در غیر اینصورت، بی‌معنا و قابل طرد است. نکته حائز اهمیت در این زمینه این است که هایزنبرگ به بی معنایی مشاهده‌ناپذیرها در این مقاله صریحاً اشاره نکرده است؛ بلکه صرفاً نظریه مبتنی بر آن‌ها را فاقد مبنای روشن فیزیکی می‌داند. از این رو مشکل است نتیجه گرفت که در این مقاله، تجربه‌گرایی او از نوع پوزیتیویسم منطقی بوده است. زیرا مشخصه بارز پوزیتیویست‌های منطقی، ارائه معیار معناداری/بی‌معنایی گزاره‌هاست. اما در عین‌حال می‌توان ادعا

interaction between science and philosophy

نمود بر کارآمدی تاکید نموده است؛ زیرا از فقدان مبنای روشن برای نظریه مبتنی بر مشاهده‌ناپذیرها سخن می‌راند که این تاکید بر مبنای روش و کارآمدی می‌تواند رویکرد عمل‌گرایانه(پراگماتیک) وی را نمایان سازد؛ اگر چه می‌تواند یک پراگماتیسم[5] فلسفی هم نباشد، به این مفهوم که از آموزه‌های فلسفی مکتب پراگماتیسم متأثر نشده باشد. همچنین ممکن است این گزینش مشاهده‌پذیرها به سبب اجتناب‌ناپذیری در حل مسائل فیزیکی باشد. به طورخلاصه، به نظر می‌رسد چند عامل با هم اثرگذار بوده‌اند: عامل اول، ناکارآمدی نظریه‌های مبتنی بر مشاهده‌ناپذیرها، که خود در این مقاله به آن اشاره می‌کند. دوم، ورود اندیشه‌های پوزیتیویستی به عرصه فیزیک که در کار برخی از فیزیکدانان همچون اینشتین در آن اوایل وجود داشت و هایزنبرگ خود به آن در مقاله‌ای دیگر اشاره می‌کند. سوم، اجتناب‌ناپذیری استفاده از این رویکرد. تعیین وزن این عوامل در این میان اهمیت دارد. به نظر می‌رسد در گام اول، ناکارآمدی نظریه، هایزنبرگ را، همچون یک فیزیکدان، برای یک تغییر نظر و چرخش مهیا کرده است و سپس به عنوان یک راه موجه به ‹صرفاً مشاهده‌پذیرها› متوسل می‌شود. این روش در میان فیزیکدانان بزرگ هم که برای هایزنبرگ مهم تلقی می‌شدند، رایج بوده است؛ از جمله اینشتین، که خود هایزنبرگ به تاثیرپذیری از رهیافت پوزیتیویستی ماخی وی اذعان می‌کند.

دوم، استلزامات فلسفی اصل همخوانی: در مقاله هایزنبرگ، همخوانی دیده می‌شود؛ در این حوزه فرمول‌های کلاسیک با حذف مشاهده‌ناپذیرها و جایگزینی آن‌ها با مشاهده‌پذیرها شکل می‌گیرند. رابطه عکس آن هم ممکن است درست باشد؛ به این مفهوم که فرمول‌های کوانتومی با جایگزین نمودن متناظرهای مشاهده‌ناپذیر در آن‌ها به فرمول‌های کلاسیک برگردند. در اینصورت این همخوانی در پیوند میان کلاسیک–کوانتوم را می‌توان اصل همخوانی مبادله‌ای نامید که با جایگزینی مفاهیم مشاهده‌پذیر و مشاهده ناپذیر بتوانند به یکدیگر تحویل یابند که در اینجا مبتنی است بر گونه‌ای حذف‌گرایی. در این زمینه رابطه کلاسیک–کوانتوم برای هایزنبرگ به دوگانگی مشاهده‌پذیر/مشاهده‌ناپذیر و نسبت میان آن‌ها دامن می‌زند و این رابطه کلاسیک–کوانتوم برای هایزنبرگ می‌تواند مبتنی بر رابطه مشاهده‌پذیرها و مشاهده‌ناپذیرها و بازتاب ریاضیاتی این رابطه باشد. در این حوزه گونه‌ای پیوستگی و نیز گسستگی وجود دارد. وجود گسستگی در این حوزه می‌تواند متأثر از رهیافت تجربه‌گرایانه باشد که در دوگانگی مشاهده‌پذیر/مشاهده‌ناپذیر هم نمایان است. از پیوستگی نسبی در این رابطه ممکن است بتوان رهیافت وحدت‌گرایانه‌ای[6] دید که فیزیکدان–هایزنبرگ–را رها نکرده است. مفهوم وحدت‌گرایی را می‌توان این گونه خلاصه نمود: نخست، وحدت‌گرایی به مفهوم تقلیل‌گرایی که به مفهوم یافتن ویژگی‌های بنیادین مشترک و تقلیل به آن‌ها است، به گونه‌ای که عناصر متفاوت تجلی و نمودی از آن واقعیت واحد و بنیادین

interaction between sciences and philosophy

باشند. دوم، وحدت‌گرایی به مفهوم کل‌گرایی، که قابلیت گردهم آوردن اجزاء و عناصر هرچند متفاوت تحت یک نوع، قاعده و یا ساختار واحد است، به گونه‌ای که با هم ساختار یک کل را تشکیل دهند. این ساختار دارای پیوند و ارتباط درونی اجزاء با همدیگر است. سوم، وحدت‌گرایی به مفهوم مماثلت‌گرایی است که در آن، به سبب داشتن وجه (وجوه) شباهت، برخی ویژگی‌های عناصر متفاوت از یکی به دیگری قابل اطلاق باشند.

با توجه به این مقدمات نمی‌توان از وحدت‌گرایی تقلیل‌گرا و نیز کل‌گرا برای هایزنبرگ در این مقاله سخن راند؛ زیرا وی اصل همخوانی به تعبیر تقلیل‌گرایانه یا مجانب‌گرایانه، یعنی به مفهوم بوری آن، را بکار نمی‌برد، همچنین معادلات کلاسیک وکوانتوم را در یک کل گردهم نمی‌آورد. اما می‌توان رهیافت وحدت‌گرایی مماثلت‌گرا را صورت‌بندی نمود؛ همانگونه که خود اذعان می‌کند با همخوانی و با تاکید بر شباهت میان روابط کلاسیک–کوانتوم، در یک رابطه نظریه کوانتوم همراه کمیت‌های صرفاً مشاهده‌پذیر، می‌توان آن وحدتی را که از بین رفته بود به صورت خودکار دوباره برگرداند.

سوم، استلزامات فلسفی اصل مماثلت: هایزنبرگ در مقاله خود صریحاً استراتژی خود را پی‌افکندن یک مکانیک‌کوانتومی در مماثلت با مکانیک‌کلاسیک اعلام می‌کند که در آن صرفاً کمیت‌های مشاهده‌پذیر و رابطه میان آن‌ها وجود دارد. ویژگی این استراتژی این است که: الف)فرمول‌های مکانیک‌کوانتومی در مشابهت و در مقایسه با مکانیک کلاسیک ساخته شده‌اند که با حذف مشاهده‌ناپذیرها و جایگزینی مفاهیم مشاهده‌پذیر تغییر یافته‌اند. ب) اصل مماثلت همچون یک اصل راهنما در این پروژه سهیم بوده است. این اصل مماثلت می‌تواند بیانگر وحدت میان دو حوزه یا دو نظریه کلاسیک و کوانتوم باشد؛ به تعبیر دیگر مبتنی بر رهیافت وحدت‌گرایی مماثلت-گرایانه است، به سبب اینکه بنا به آن، به سبب داشتن وجه(وجوه) شباهت، برخی ویژگی‌های عناصر متفاوت از یکی(در اینجا ساختار فرمول‌های کلاسیک) به دیگری(ساختار کوانتومی) قابل اطلاق هستند.

۲-۳. استلزامات فلسفی آموزه‌های برآمده از مقاله روابط عدم قطعیت

با نگاهی نزدیکتر به ساختار مقاله هایزنبرگ(۱۹۲۷) و با توجه به تحلیل مفهومی آن مقاله به جمع‌بندی برخی از آموزه‌های قابل استنباط از آن مقاله خواهم پرداخت که به نظر می‌رسد رهیافت-هایی فلسفی از آن‌ها قابل صورت‌بندی است. این موضوعات را می‌توان در چند مقوله مهم دسته-بندی نمود:

interaction between sciences and philosophy

نخست، مقوله تعبیر، فهم و رابطه کلاسیک–کوانتوم: برطبق آنچه که از تحلیل مفهومی و ساختاری مقاله هایزنبرگ برمی‌آید می‌توان یافته‌ها را بدین‌صورت دسته‌بندی نمود: (الف) تعبیر مکانیک‌کوانتومی تلاشی برای فهم آن نظریه است و معیارهای فهمیدن آن رفع تناقضات درونی و درک نتایج تجربی آن است. (ب)یک استراتژی برای فهم مکانیک کوانتومی آن است که بر اساس مفاهیم کلاسیک این امر صورت گیرد. به سبب اینکه نظریه کوانتوم از درجه‌ای از انتزاع برخوردار است که با فهم معمول ناسازگار است. به این منظور برای فهم آن به مفاهیم و زبان کلاسیک می‌توان توسل جست که با فهم عامه سازگاری بیشتری دارد. (ج) در موضوع رابطه کلاسیک–کوانتوم بر کاربردپذیری مفاهیم کلاسیک در نظریه کوانتوم و تعریف مفاهیم کوانتومی بر اساس مفاهیم کلاسیک تاکید شده است. اما محدودیت در کاربردپذیری مفاهیم کلاسیک در حوزه کوانتومی وجود دارد. ریشه این تناقضات کاربردپذیری محدود مفاهیم کلاسیک در نظریه کوانتوم است. فرآیند فهمیدن و تعبیر، مستلزم رفع این تناقض‌ها است. مبنای این محدودیت، اصل عدم‌قطعیت و رابطه $p_1q_1\approx h$ است. (د) همه مفاهیم کلاسیک، در نظریه کوانتوم قابل بازتعریف هستند و زبان کلاسیک می‌تواند در زبان کوانتومی بکار برده شود، هر چند معنی و مفهوم اصطلاحات تغییر می‌کند. یک اصل راهنمای مهم در این ترجمه زبانی، مماثلت است. (ه) به سبب ارتباط این موضوع با مقوله فهم که موضوعی معرفت‌شناختی است جنبه‌های متافیزیکی رابطه کلاسیک–کوانتوم در این مقاله کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ بلکه عمدتاً بر حول رابطه زبان کلاسیک و کوانتومی متمرکز است.

با توجه به این نکاتی که ارائه گردید به نظر هایزنبرگ مفاهیم کلاسیک و کوانتومی، هر چند مشترک اسمی باشند، اما معنای متفاوتی را حمل می‌کنند. این موضوع به اصل قیاس‌ناپذیری که در فلسفه علم–از جمله در کوهن– بدان پرداخته شده است دامن می‌زند. برای هایزنبرگ بکار بردن زبان و اصطلاحات کلاسیک مجاز است؛ اما آن اصطلاحات کاربردپذیری محدود دارند و معنی آن‌ها تغییر نموده است و مشمول اصل عدم قطعیت هستند که در این حوزه کارکرد محدود کننده دارد.

نکته دیگری که هایزنبرگ در مقاله به آن اشاره می‌کند شمول نظریه کوانتوم بر آزمایش‌های کلاسیک است؛ به نظر می‌رسد در نظر هایزنبرگ اگر چه نظریه کلاسیک قابل تعمیم به نظریه کوانتوم نیست؛ اما نظریه کوانتوم می‌تواند نظریه کلاسیک را پوشش دهد. با توجه به این موضوع، نظریه کوانتوم می‌تواند عمومی‌تر یا کلی‌تر از نظریه کلاسیک باشد اما ممکن است تعمیم نظریه کلاسیک نباشد. در این‌صورت این دو بر طبق چه اصلی با هم مرتبط می‌شوند؟ اصل همخوانی برای هایزنبرگ نمی‌تواند این نقش را ایفا کند؛ به دلیل اینکه معنی دو زبان کلاسیک–کوانتوم

interaction between sciences and philosophy

متفاوت است و این دو زبان نیازمند ترجمه به همدیگرند. یک اصل راهنمای مهم در این ترجمه زبانی، مماثلت است. اما مماثلت رابطه میان دو کلی نیست؛ بلکه ارتباط میان دو جزئی است. اینکه هایزنبرگ از یک طرف، نظریه کلاسیک را مشمول قوانین نظریه کوانتوم می‌داند و در طرف دیگر،کاربرد زبان کلاسیک را در نظریه کوانتوم محدود می‌کند، علی‌الظاهر متناقض به نظر می‌رسد؛ اما هایزنبرگ هنوز ارتباط دو نظریه کلاسیک و کوانتوم را قطع نکرده است، بلکه از همان اصطلاحات، اگرچه با معنایی دیگر، استفاده کرده است. با توجه به اینکه اصل عدم‌قطعیت به صورت غیرمستقیم از تعریف برخی اصطلاحات ممانعت بعمل می‌آورد، هایزنبرگ صرفاً کاربردپذیری آن‌ها را بر مبنای اصل عدم‌قطعیت محدود نموده است.

هرچند دشوار است در این حوزه رهیافتی فلسفی یافت؛ اما تلقی جهانشمول بودن نظریه کوانتوم و اعمال آن بر کلاسیک می‌تواند نشانه گونه‌ای وحدت‌گرایی باشد. از طرف دیگر عدم گسستگی کامل کلاسیک–کوانتوم هم می‌تواند در این زمینه موید باشد؛ به این مفهوم که صرفاً رشته‌هایی از طناب پیوند میان دو نظریه گسسته باشند نه کل پیوند. در این تصویر از رابطه کلاسیک–کوانتوم یک وحدت قابل تصور است که می‌تواند بر مبنای رهیافت وحدت‌گرایی مماثلت‌گرایانه باشد.

دوم، نقش مشاهده، تجربه و اندازه‌گیری درتعبیر مکانیک‌کوانتومی: در این زمینه برخی نکات قابل استنباط از مقاله از این جمله‌اند: (الف)درک نتایج تجربی نظریه از معیارهای فهم فیزیکی است. (ب) برای تعریف مفاهیم و اصطلاحات فیزیکی باید روش تعیین تجربی آن‌ها ارائه گردد؛ در غیر اینصورت بی‌معنا تلقی می‌شوند. (ج) تجربه، در کنار قوانین اندیشه، یکی از منابع توجیه در کاربردپذیری مفاهیم و اصطلاحات است.

از نکته نخست اینگونه برمی‌آید که برقراری نسبت میان فهم و درک نتایج تجربی نظریه، بر اهمیت نقش تجربه در فرآیند شناخت و فهم دلالت دارد که می‌تواند بر مبنای رهیافتی تجربه‌گرایانه باشد؛ هر چند نقش تجربه و آزمایش در شناخت و فهم، یکی از اصول پذیرفته شده برای هر فیزیکدان در خلال پژوهش است. نکته(ج) نیز به نقش تجربه در فرآیند توجیه پرداخته است. این موضوع هم در معرفت‌شناسی تجربی امری معمول است؛ اما آنچه که این دو مطلب را متمایز می‌کند، تاکید بر تجربه به عنوان تنها عامل است. هایزنبرگ در فرآیند فهم و تعبیر و همچنین توجیه، بر تجربه و قوانین اندیشه که خود را در منطق نشان می‌دهند، تاکید می‌کند و این دو، یعنی توجه به منطق و صرفاً تجربه، از ویژگی‌های پوزیتیویسم منطقی تلقی می‌شوند.

نکته دوم که تعریف مفاهیم و کمیت‌های فیزیکی را منوط به ارائه روش تعیین تجربی و روش اندازه‌گیری تلقی می‌کند اهمیت بیشتری دارد. این آموزه نقش موثری در شکل‌گیری ساختار مقاله دارد؛ زیرا نه تنها هایزنبرگ خود صریحاً در این مقاله به آن اشاره می‌کند، بلکه برای هر یک از

interaction between sciences and philosophy

کمیت‌ها، روش اندازه‌گیری ارائه می‌دهد. همچنین هایزنبرگ در مقاله ۱۹۲۷ آورده است که اگر روشی برای اندازه‌گیری هر کمیتی نتواند ارائه دهد آن کمیت را بی‌معنا تلقی می‌کند. این آموزه که معنای یک کمیت فیزیکی منوط به امکان طرح یک روش اندازه‌گیری تجربی برای آن است، قرائتی از عملیات‌گرایی است که به عملیات گرایی بریجمن مشهور است. به نظر بریجمن مفهوم مترادف است با مجموعه ای از عملیات‌های متناظر(Bridgeman, 1927: 5) در واقع نوع دیگری(نوع چهارم) از تجربه‌گرایی–تجربه گرایی عملیات‌گرایانه– است.

با توجه به اشاره صریح هایزنبرگ به معناداری و بی‌معنایی در مقاله، می‌توان وی را متأثر از رهیافت پوزیتیویسم منطقی هم تلقی نمود؛ هر چند واحد معناداری آن‌ها بیشتر گزاره بوده است. هایزنبرگ فیزیک را صرفاً حاوی رابطه میان مشاهده‌پذیرها تلقی می‌کند و کمیت‌هایی خارج از این حوزه را طرد می‌کند. این رهیافت وی از نوع پوزیتیویستم منطقی است. هایزنبرگ در مقاله ۱۹۲۵ نیز به این موضوع پرداخته بود،اما صریحاً از بی‌معنایی سخن نگفته بود.

سوم، در باب علیّت: در این حوزه برخی نکات قابل استنباط این موارد هستند: الف) صورت‌بندی که برای قانون علیت[۷] دارد این است که با شناخت وضعیت کنونی سیستم، می‌توان آینده آن را پیش‌بینی نمود. در اینجا علیت با پیش‌بینی‌پذیری که موضوعی معرفت‌شناختی است هم‌ارز دانسته می‌شود. ب)هایزنبرگ این تز علیّت را طرد می‌کند؛ براین اساس که هم نمی‌توان وضعیت کنونی سیستم را شناخت و هم نتایج درباره وضعیت آینده در قالب آمار و احتمال بیان می‌شوند. ج) هایزنبرگ ایده جهان‌های نهان در پس رخدادها را بی‌معنی تلقی می‌کند؛ به همین سبب وجه هستی‌شناختی علیّت را طرد می‌کند.

بنا به این نکات، هایزنبرگ اصل علیت را که بنا به آن، معلول نتیجه ضروری و وجودی علت در جهان است را به پیش‌بینی‌پذیری که موجبیت معرفت‌شناختی است تقلیل می‌دهد. این نگاه وی ناشی از بی معناانگاری جهان نهان حاوی روابط علّی است،که رویکرد پوزیتیویستی و تاثیرپذیری وی از پوزیتیویسم منطقی را کاملاً نمایان می‌کند. با توجه به راهبرد بی‌معناانگاری واقعیت نهان پس رخدادها و طرد علیّت ،رویکرد ضدعلیتی و ضد موجبیتی(معرفت شناختی و متافیزیکی) وی به صراحت دیده می‌شود.

چهارم، در باب واقعیت: برخی نکات در این زمینه از این قرارند: الف) در این مقاله نشانه‌ای از وجود باور به یک واقعیت مستقل و قابل‌شناخت که دور از دسترس تجربه باشد وجود ندارد. ب) از برخی جملات اینگونه برمی‌آید که مشاهده واقعیت را خلق می‌کند. ج) هایزنبرگ در مقاله باور به گونه‌ای از واقعیت در پس فرمول‌های ریاضیاتی را موجه می‌داند. د) هایزنبرگ حالت‌ها را مجموعه‌ای از امکانات و بالقوه‌گی‌ها تلقی می‌نمود.

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 100-130

با توجه به مجموعه این نکات و اتخاذ رویکردهای تجربه‌گرایانه، به ویژه از نوع پوزیتیویستم منطقی آن، می‌توان دریافت که هایزنبرگ رئالیسم خام را به صراحت طرد می‌کند. به زبان کانتی، ضمن تفکیک میان نومن و فنومن، هایزنبرگ نومن(واقعیت فی‌نفسه)را بی‌معنا، غیرمفید و طردکردنی می‌داند. از سوی دیگر باور هایزنبرگ به واقعیت پس‌زمینه فرمول‌های ریاضیاتی، وی را به اندیشه‌های افلاطونی–فیثاغورسی نزدیک می‌کند که اصالت را در جهان به اعداد و ریاضیات می‌دادند. همچنین آموزه تصور جهان به مثابه مجموعه ای از امکانات، به ایده قوه‌های ارسطویی نزدیک می‌شود. نقش اثرگذار مشاهده در خلق واقعیت (مثلاً در مورد مدار کلاسیک) در مقاله، وی را به افکار برکلی و تجربه‌گرایی ایدئالیستی او نزدیک می‌کند. به وضوح دیده می‌شود که گونه‌هایی از رویکرد ضدواقع‌گرایانه وی نمایان است. به طور خلاصه، در تقابل با واقع‌گرایی[۸] در حوزه علم، چند نحله معرفی می‌شوند تا تصویری بهتر از رهیافت‌های فلسفی هایزنبرگ ارائه شود: نخست، ایدئالیسم(idealism) که بنا به آن، هویت‌های علم، واقعیتی مستقل از ذهن ندارند.(وجه متافیزیکی ایدئالیسم). این رویکرد نزد هایزنبرگ به سبب باور وی به خلق واقعیت توسط مشاهده دیده می‌شود که وی را به ایدئالیسم هستی‌شناختی و تجربه‌گرایانه بارکلی متمایل می‌کند. به زعم بارکلی، تجربه در شکل‌گیری واقعیت سهیم است که می‌تواند در زمره تجربه‌گرایی متافیزیکی تلقی شود. دومین نحله، پدیدارگرایی(Phenomenalism) است که بنابه آن در علم باید به نتایج تجربی و مشاهدات تجربی اکتفا نمود. (وجه معرفت‌شناختی و هنجارین)؛ همچنین عالم واقع چیزی جز مشاهدات و پدیدارها نیست(وجه متافیزیکی). با توجه به این تعریف، هایزنبرگ را می‌توان پدیدارگرا هم نامید، زیرا وی واقعیت را چیزی فراتر از یافته‌های تجربه و مشاهده نمی‌داند. همچنین به وضوح نحله سوم، یعنی ابزارگرایی(Instrumentalism) در مقاله هایزنبرگ دیده می‌شود. بنا به این دیدگاه، نظریه‌ها صرفاً ابزاری برای دادن پیش‌بینی نتایج هستند (وجه معرفت‌شناختی) و هویت‌های موجود در علم، چیزی جز ابزاری برای توصیف مشاهده نیستند(وجه متافیزیکی). هایزنبرگ ریاضیات نظریه را به مثابه ابزاری می‌دید که محاسبات و پیش‌بینی‌هایی را ارائه می‌دهد و در عین حال، این ریاضیات، همان توصیف واقعیت جهان است و چیزی فراتر از آن وجود نداشت.

٤. نتیجه‌گیری

interaction between sciences and philosophy

از تحلیل متن مقالات هایزنبرگ و با استنباط برخی اصول و آموزه‌های مفهومی، لااقل چهار رهیافت فلسفی را که در شکل‌گیری مکانیک ماتریسی و روابط عدم قطعیت نقش داشته‌اند می‌توان صورت‌بندی نمود که خود شامل زیر رهیافت‌هایی دیگر هستند.

نخست، رهیافت تجربه‌گرایانه: در شکل‌گیری مکانیک‌کوانتومی استاندارد در محدوده این پژوهش رهیافت تجربه‌گرایانه پوزیتیویسم منطقی، ایدئالیسم متافیزیکی مبتنی بر تجربه، عملیات-گرایی و نیز رهیافت پراگماتیستی قابل صورت‌بندی است. اتکای صرف به اصل مشاهده‌پذیری در مقاله ۱۹۲۵ رویکرد پوزیتیویستی وی را نمایان می‌سازد اما با توجه به عدم توسل وی در این مقاله به بی معناانگاری در طرد مشاهده‌ناپذیرها، نمی‌توان آن را ازجنس پوزیتیویسم منطقی قلمداد نمود. در عوض، تاکید وی بر کارآمدی/ ناکارآمدی بر اساس ارائه یک مبنای روشن برای بنیاد نهادن نظریه‌ای نو را می‌توان رویکرد پراگماتیستی تلقی نمود. تاثیرپذیری وی از رویکرد پوزیتیویسم منطقی، از وجهی دیگر در مقاله ۱۹۲۷ به وضوح دیده می‌شود؛ آنجا که صریحاً از معناداری/بی معنایی سخن می‌راند و با رویکردی متافیزیک‌ستیزانه، به بی‌معنایی جهان نهان حاوی روابط علی می‌پردازد. تجربه‌گرایی از نوع ایدئالیسم بارکلی را می‌توان در کار هایزنبرگ دید؛ آنجا که به نقش تاثیرگذار مشاهده در خلق واقعیت در مقاله ۱۹۲۷ اشاره می‌کند. عملیات‌گرایی نیز در مقاله ۱۹۲۷ با توجه به اهتمام وی به روش اندازه‌گیری در تعریف مفاهیم قابل صورت‌بندی است.

دوم. رهیافت وحدت‌گرایانه: در ذیل این رهیافت می‌توان دریافت که رهیافت وحدت‌گرایانه مماثلت‌گرا بر ذهن هایزنبرگ حاکم بوده است. مبنای استدلال از چند جهت است: بنابه اصل همخوانی و نیز اصل مماثلت صورت‌بندی شده در مقاله ۱۹۲۵، در هر دو بر شباهت نسبی میان مفاهیم و روابط دو حوزه تاکید شده است. همچنین با توجه به تصویری که هایزنبرگ از رابطه کلاسیک–کوانتوم در مقاله ۱۹۲۷ و شمول نظریه کوانتوم بر کلاسیک ارائه می‌دهد این نوع از وحدت‌گرایی قابل صورت‌بندی است.

سوم. رهیافت ضدموجبیت‌گرا و ضدعلیتی: رویکرد ضدعلیتی و ضدموجبیتی هایزنبرگ در تعبیر مکانیک کوانتومی از جانب هایزنبرگ به ویژه در مقاله ۱۹۲۷ وی به وضوح دیده می‌شود. وی جهان نهان حاوی روابط علی را بی‌معنا تلقی می‌کند و اساسا علیت را به پیش‌بینی‌پذیری و موجبیت تقلیل می‌دهد. یعنی وجه هستی‌شناختی را کنار گذاشته است و به وجه معرفت‌شناختی آن بسنده می‌کند. از این حیث رهیافت ضدعلیتی هایزنبرگ به مفهوم هستی‌شناختی آن نمایان است. از طرف دیگر وی رهیافت موجبیتی را نیز از دو جهت طرد می‌کند: عدم شناخت کامل وضعیت کنونی سیستم و نیز بیان نتایج درباره وضعیت آینده در قالب آمار و احتمال. بنابراین هم رهیافت ضدعلیتی و هم ضدموجبیتی در کار هایزنبرگ در شکل‌گیری مکانیک‌کوانتومی قابل صورت‌بندی است.

interaction between sciences and philosophy

Philosophical Investigations
Vol. 15/ Issue: 37/ Winter 2021/ PP. 100-130

چهارم. رهیافت ضدواقع‌گرایانه: این رهیافت از خلال آثار هایزنبرگ از چند جهت قابل صورت‌بندی است: از این حیث که در در مقاله ۱۹۲۷ نشانه‌ای از وجود باور به یک واقعیت مستقل و قابل شناخت که دور از دسترس تجربه باشد وجود ندارد. همچنین بر اساس طرد مشاهده‌ناپذیرها در مقاله ۱۹۲۵ و نیز باور به ایده خلق واقعیت براساس مشاهده در مقاله ۱۹۲۷، وی رئالیسم خام را طرد و به سمت ایدئالیسمی هستی‌شناختی از جنس ایدئالیسم بارکلی رفته است.

پی‌نوشت‌ها

۱. برای تفصیل بیشتر درباره رهیافت‌های فلسفی معرفی شده در این پژوهش، می‌توانید ر.ک. سجادی(۲۰۱۲) (پایان‌نامه دکتری)

۲. در مورد تجربه‌گرایی ر.ک. Markie and Folescu (2021), Sober (2014)

۳. البته پژوهش‌هایی (e.g. Wolff, 2014) هم انجام شده‌اند که بنا به آن‌ها در واقع نمی‌توان از اصل مشاهده‌پذیری هایزنبرگ تعبیری پوزیتیویستی داشت.

۴. در مورد پوزیتیویست‌های‌منطقی ر.ک. Ray(2000)

۵. بنا به پراگماتیسم، در علم ملاک صدق و حقیقت، نتیجه و عمل است(وجه معرفت‌شناختی) و واقعیتی برای تطابق فعالیت علمی با آن وجود ندارد (وجه متافیزیکی)

۶. برای تفصیل بیشتر درباره وحدت‌گرایی، ر.ک. سجادی و دیگران(مقاله)(۲۰۱۲)، Cat(2021) Jones(2014)

۷. در مورد علیت و موجبیت ر.ک. Hoefer(2016), Loewer(2014)

۸. در باب واقعگرایی/ضدواقعگرایی ر.ک. Devitt(2014) , Psillos(2000)

References

- Bokulich, Alisa (2008) *Reexamining the Quantum-Classical Relation: Beyond Reductionism and pluralism*, Cambridge University Press.
- Bridgeman (1927), The Logic of Modern Physics, Macmillan Company.
- Cassidy, David C. (1992) *Uncertainty: the life and science of Werner Heisenberg*, New York: W. H. Freeman, and Company.
- Camilleri, Kristian (2009) *Heisenberg and the Interpretation of Quantum Mechanics: The Physicist as Philosopher*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Cat, Jordi (2021) "The Unity of Science", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2021 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/scientific-unity/
- Cushing James T. (1994) *Quantum Mechanics: historical contingency and the Copenhagen Hegemony*, Chicago & London: The University of Chicago Press.
- Darrigol (1992) *From c-Numbers to q-Numbers: the classical analogy in the history of quantum theory*, Berkeley: University of California Press.

interaction between sciences and philosophy

- Darrigol (1997) "classical Concepts in Bohr's Atomic Theory (1913-1915)", *Physics: Revisita internazionale di storia della scienza*, 34: 545-67.
- Devitt, Michael (2014) "Realism/Anti-realism", *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, Edit. Stathis Psillos and Martin Curd, 2nd ed. London & NewYork: Routledge.
- Golshani, Mehdi (2015) *Physics and Philosophy: A Critique of Contemporary Physicists Philosophy of Physics*, 6th. Tehran: Institue for Humanities and Cultural Studies.{In persian}.
- Golshani, Mehdi (2021) *Jostarhaie Dar fizik-e- Moaaser (Essays in Contemporary Physics)*, Tehran: Nashr-e Elm. {In persian}
- Heisenberg, W. (1925) "Quantum-theoretical re-interpretation of kinematic and mechanical relations", in B. Van Waerden(ed.)(1967) *Sources of Quantum Mechanic*. New York: Dover Publication, 261-276.
- Heisenberg (1927) "The Physical Content of Quantum Kinematics and Mechanics", in Wheeler & Zurek (1983), *Quantum Theory and Measurement*, NewJersey: Princeton University Press, 62-84.
- Hoefer, Carl (2016) "Causal Determinism", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = https://plato.stanford.edu/archives/spr2016/entries/determinism-causal/.
- Jammer, Max (1989) *The Conceptual Development of Quantum Mechanics,* 2nd ed., Tomash Publisher & American Institue of Physics.
- Jones, Todd (2014) "Unification", *The Routledge Companion to Philosophy of Science,* Edit. Stathis Psillos and Martin Curd, 2nd ed. London & New York: Routledge.
- Loewer, Barry (2014) "Determinism", *The Routledge Companion to Philosophy of Science,* Edit. Stathis Psillos and Martin Curd, 2nd ed. London & New York: Routledge.
- Markie, Peter; M. Folescu (2021) "Rationalism vs. Empiricism", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2021 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/rationalism-empiricism/>.
- Psillos, S. (2000) "The present state of the scientific realism debate". *British Journal for the Philosophy of Science*, 51: 705–28.
- Ray, Christopher (2000) "logical positivism", *Blackwell Companions to Philosophy: a companion to the philosophy of science*, ed. Newton-Smith. Blackwell publisher. 243-251.
- Sajadi, S. H.; Golshani, M.; Karbasizadeh, A. (2012) "Unificationist Approach and Standard Quantum Mechanics". *Philosophy of Science*, 2(3): 47-68. {In persian}
- Sajadi, S. H. (2012) *The Role of Metaphysical and Epistemological Approaches in the Development of Standard Quantum Mechanics*, (Doctoral thesis under

interaction between science and philosophy

Supervision: Dr. Golshani, Institue for Humanities and Cultural Studies, Tehran.{In persian}

- Sober, Elliott (2014) "Empiricism", *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, Edit. Stathis Psillos and Martin Curd, 2th ed. London & New York: Routledge.
- Wolff, Johanna (2014) "Heisenberg's Observability Principle", *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics,* Vol. 45: 19-26.

interaction between sciences and philosophy