



Metaphysics

E-ISSN: 2476-3276

Vol. 14, Issue 1, No. 33, Spring and Summer 2022

(Research Paper)

Philosophical Approaches in the Development of Bohr's Complementarity

Seyyed Hedayat Sajadi*

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

Abstract

Complementarity is the central component of the so-called Copenhagen interpretation of quantum mechanics, which Niels Bohr first presented at the Como and Solvay Conferences in 1927. The content of Bohr's speech was published in an article entitled "the quantum postulate and recent development of Atomic Theory" in 1928. The purpose of this study is to formulate Bohr's philosophical approaches by content analysis of his paper (1928) related to complementarity. The research method is based on the conceptual analysis of the content and text of this paper (1928) from which conceptual inferences can be deduced, and based on them, philosophical approaches are tried to be formulated. Finally, the four philosophical approaches including Unificationism, empiricism (positivistic and metaphysical), anti-causality and indeterministic, as well as anti-realism can be formulated. In addition, for more accurate inferences, we need to refer to the following works of Bohr, or in other words, "Bohr from Bohr's point of view".

Keywords: Complementarity, Niels Bohr, Philosophical Approaches, Copenhagen Interpretation

* Corresponding Author

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)



: [HTTPS://DOI.ORG/10.22108/MPH.2022.132396.1381](https://doi.org/10.22108/MPH.2022.132396.1381)



: [20.1001.1.20088086.1401.14.33.8.3](https://doi.org/10.22108/MPH.2022.132396.1381)



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی
پرتال جامع علوم انسانی



متافیزیک

سال چهاردهم شماره اول (پیاپی ۳۳)، بهار و تابستان ۱۴۰۱، ص ۱۰۹ - ۱۲۴

تاریخ وصول: ۱۴۰۱/۱/۳۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۴

(مقاله پژوهشی)

مکملیت بور و رهیافت‌های فلسفی در شکل‌گیری آن

سید هدایت سجادی*: استادیار فلسفه علم و فناوری، گروه آموزش فیزیک، مرکز شهیدبهشتی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.

hedayatsajadi@gmail.com

چکیده

مکملیت یکی از اجزای اساسی تعبیر موسوم به کپنهاگی مکانیک کوانتومی است که نیلز بور برای نخستین بار در کنفرانس کومو و سپس در کنفرانس پنجم سولوی در ۱۹۲۷ ارائه داد و متن آن نیز در مقاله‌ای با عنوان *اصل موضوع کوانتومی و تحولات اخیر نظریه اتمی* در ۱۹۲۸ منتشر شد. هدف از این پژوهش صورت‌بندی رهیافت‌های فلسفی بور، از خلال بررسی متن این اثر مربوط به مکملیت است. روش پژوهش براساس تحلیل مفهومی محتوا و متن این مقاله (۱۹۲۸) است که آموزه‌هایی مفهومی از آن استنباط می‌شود و براساس این آموزه‌های مفهومی، سعی می‌شود رهیافت‌هایی فلسفی صورت‌بندی شود. درنهایت، نتیجه می‌شود چهار رهیافت فلسفی وحدت‌گرایی، تجربه‌گرایی (از نوع پوزیتیویستی و متافیزیکی)، ضدعلیت‌گرایی و موجبیت‌گریزی، و نیز ضدواقع‌گرایی قابل صورت‌بندی هستند؛ ضمن اینکه برای استنتاج دقیق‌تر، نیاز است به آثار بعدی بور، یا به تعبیر دیگر «بور از نگاه بور» مراجعه شود.

واژگان کلیدی: مکملیت، نیلز بور، رهیافت‌های فلسفی، تعبیر کپنهاگی.

* نویسنده مسئول



This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)



[10.22108/MPH.2022.132396.1381](https://doi.org/10.22108/MPH.2022.132396.1381)



[20.1001.1.20088086.1401.14.33.8.3](https://doi.org/10.22108/MPH.2022.132396.1381)

۱. مقدمه

نیلز بور از بنیان‌گذاران نظریه کوانتوم و از رهبران فکری تعبیر موسوم به کپنهاگی است که در سیر شکل‌گیری و تثبیت مکانیک کوانتومی نقشی کلیدی داشت. پس از آنکه پلانک مفهوم کوانتا را در سال ۱۹۰۰م. مطرح کرد و در حل برخی مسائل از جمله تابش جسم سیاه، اثر فوتوالکتریک و طیف گسسته به کار رفت، بور در سال ۱۹۱۳ برای حل معضلات مدل اتمی رادرفورد، مدلی نیمه‌کلاسیک-نیمه‌کوانتوم ارائه داد و نظریه کوانتوم قدیمی را شکل داد که همراه با اصل هم‌خوانی، دو مؤلفه عمده این نظریه تا سال ۱۹۲۴م. بودند. پس از ارائه فرمالیسم‌های مکانیک کوانتومی ماتریسی، موجی، و تبدیل دیراک یوردان- در دوره زمانی ۱۹۲۵ تا ۱۹۲۷ به تدریج نیاز به تعبیر این فرمالیسم و موجودات ریاضی آنها پدید آمد و در این راستا تلاش‌هایی صورت گرفت که اوج آن در کنفرانس پنجم سولوی در ۱۹۲۷ بود که در آن مشاجراتی میان دو نحله فکری با مبانی فلسفی متفاوت، یکی به‌رهبری بور و هایزنبرگ و دیگری به‌رهبری اینشتین شکل گرفت که در نهایت دیدگاه‌های بور و هم‌فکرانش تفوق نسبی یافت و به تدریج پس از ۱۹۲۷ تعبیر موسوم به کپنهاگی، به نام زادگاه و مکان انستیتوی بور، تثبیت شد و مکانیک کوانتومی استاندارد شکل گرفت.

دیدگاه رایج دلالت بر اثرپذیری مبانی تعبیر کپنهاگی و بنیان‌گذاران آن از جمله بور، از آموزه‌های فلسفی خاصی دارد (گلشنی، ۱۳۹۴) و پژوهش‌های متعددی نیز در این زمینه صورت گرفته است. ماکس یامر (Jammer, 1989) به اثرپذیری بور از فیلسوفانی همچون کیرکگارد و ویلیام جیمز به‌ویژه از خلال هوفدینگ اشاره کرده است. در این میان، یکی از اجزای اساسی تعبیر کپنهاگی مکانیک کوانتومی در

کنار روابط عدم قطعیت، مکملیت است (Cushing, 1998). به زبان ساده، مکملیت، ایده‌ای است که طبق آن توصیف یگانه از یک پدیده اتمی امکان ندارد؛ اما توصیف‌های مکمل مانع‌الجمع (مثلاً، توصیف علی و توصیف زمانی-مکانی) برای سیستم‌های اتمی وجود دارد و هریک در شرایطی صادق است. بور گاهی مکملیت را درباره خواص فیزیکی سیستم‌های فیزیکی (مثلاً دو کمیت مکان و اندازه حرکت سیستم‌های کوانتومی) به کار برده است (گلشنی، ۱۳۹۴). به‌طور خاص، پژوهش‌هایی درباره نسبت میان آموزه‌های فلسفی و مکملیت انجام شده است. برخی از این پژوهش‌ها نه تنها به مبانی و چهارچوب فلسفی مکملیت پرداخته است (Folse, 1985; Folse, 1986; Shimony, 1985; Fay, 1991; Shomar, 2008; Cuffaro, 2010; Dorato, 2016; Camilleri, 2017)، بلکه حتی در مواردی آموزه‌های فلسفی در پرتو مکملیت هم تفسیر شده است؛ از جمله در پژوهش کفارو (Cuffaro, 2018) آموزه ایدئالیسم استعلایی کانت در پرتو مکملیت فهمیده می‌شود. در حوزه اثرگذاری فلسفه بر بور و اصل مکملیت، فولز (Folse, 1985) به‌زعم خود نشان می‌دهد که برخلاف دیدگاه رایج، اگر توصیف واقعیت فیزیکی از خلال چهارچوب مکملیت فهمیده شود، کامل بودن مکانیک کوانتومی، و فهم واقع‌گرایانه کارکرد نظریه علمی حفظ می‌شود. این دو نتیجه فولز، برخلاف آن چیزی است که به‌مثابه آموزه‌های مشترک تعبیر کپنهاگی تلقی می‌شوند. برخی فلاسفه فیزیک، این نتایج فولز را نقد کرده‌اند (Shimony, 1985) و نشان داده شد که پذیرش واقع‌گراخواندن بور تا اندازه زیادی محل مناقشه است. فولز (Folse, 1986) در مقاله‌ای دیگر به دفاع از واقع‌گرایی بور می‌پردازد و بر مطالب کتاب خود نور بیشتری می‌اندازد. در واقع، به‌نظر فولز، بور

می‌روند. وی می‌خواهد نشان دهد که «تعبیر مکملیت بور از مکانیک کوانتومی، که اشیای اتمی را به‌مثابه ایدئال‌سازی‌هایی تلقی می‌کند و طرد اصل علیت را در دامنه فیزیک اتمی مجاز می‌کند، نه تنها کاملاً سازگار، بلکه در واقع به‌صورت طبیعی از چهارچوب معرفت‌شناختی وسیع‌تر کانت برمی‌آید» (Cuffaro, 2010: 309). وی ضمن اشاره به مشکلات تفسیری در برخورد با کانت و بور، در این مقاله بر ابعاد کانتی دیدگاه‌های بور متمرکز می‌شود. «فهم جنبه‌های کانتی اندیشه بور با اهمیت تلقی می‌شود؛ زیرا هرچند فلسفه‌های بور و کانت در نهایت از هم واگرا می‌شوند، (...) در یک چهارچوب معرفت‌شناختی مشترک شریک هستند» (Cuffaro, 2010: 310). کفارو، از این هم فراتر می‌رود و صریحاً از اثرگذاری آموزه‌های کانت بر بور سخن می‌راند و نشان می‌دهد که «چگونه ایده‌های کانتی از طریق دوستی نزدیکش با هِرالد هوفدینگ بر بور اثر گذاشته است» (Cuffaro, 2010: 310). همچنین، دوراتو (Dorato, 2016) در مقاله‌ای با عنوان *کل‌گرایی نسبی بور و برهم‌کنش کلاسیک-کوانتوم*، ضمن بررسی و نقد راهبردهای اصلی و یا محتمل بور درباره دفع این اتهام که تعبیر وی تفاوت واضحی میان دامنه کلاسیک و کوانتومی نمی‌گذارد، به‌طور خاص استدلال‌های اصلی بور برای حمایت از ضروری بودن یک چهارچوب کلاسیک برای ارجاع به پدیده‌های کوانتومی را دوباره ارزیابی می‌کند و به این نتیجه نیز می‌رسد که بور یک فیلسوف تجدیدنظرطلب^۱ نیست؛ بلکه یک فیلسوف توصیفی^۲ به‌مفهوم استراوسونی^۱ آن است. کریستین کامیلری (Camilleri, 2017) با اذعان به ابهام در نوشته‌های بور و تأیید بسیاری از

در ظاهر ضدواقع‌گرا به نظر می‌رسد؛ اما وی واقع‌گرا است. وی مبتنی بر تعریف مفهوم واقع‌گرایی، در پی نشان‌دادن صحت ادعای خود است. فولز در مقاله خود ادعا می‌کند که «تعبیر "ارتدوکسی" فیزیک کوانتوم که به بور نسبت داده می‌شود و معمولاً به‌مثابه کنارزدن واقع‌گرایی تلقی می‌شود، قبلاً در کتاب خود (۱۹۸۵) به چالش کشیده‌ام» (Folse, 1986: 96)؛ اما وی در مقاله‌اش به‌طور خاص در پاسخ به نقد شیمونی (Shimony, 1985) استدلال می‌کند که مکملیت بور نیازمند دیدگاه واقع‌گرایانه به هویت‌های علی است. «به‌علاوه، ضدواقع‌گرا نامیدن بور در نظریه‌ها، گمراه‌کننده است؛ زیرا بر نظریه تناظر صدق مبتنی است که به‌نظر بور، نظریه کوانتوم ما را وادار به رد آن می‌کند» (Folse, 1986: 96). به نظر می‌رسد واقع‌گرا یا ضدواقع‌گرا بودن بور، همچنان امری مناقشه‌آمیز است. کسانی هم در پی حل این منازعه، راه میانه‌ای را برگزیده‌اند که نشان دهند وی از جنبه‌هایی واقع‌گرا و از جنبه‌هایی ضدواقع‌گرا بوده است. توفیق شومر (Shomar, 2008) در مقاله‌ای با عنوان *بور به عنوان یک واقع‌گرای پدیدارشناختی*، می‌خواهد نشان دهد که بور «در سطح نظری ابزارانگار و در سطح مدل‌ها واقع‌گرا است» (Shomar, 2008: 321). در واقع، وی در این مقاله در پی ارائه راه‌حلی میانه برای حل مناقشه میان واقع‌گرا نامیدن بور از جانب فولز (Folse, 1985) و ابزارانگار نامیدن وی از جانب فی (Fay, 1991) است. با این وصف، به نظر می‌رسد این مناقشات در باب فلسفه بور هنوز پابرجا است. کفارو (Cuffaro, 2010) در مقاله‌ای با عنوان *چهارچوب کانتی اصل مکملیت اذعان می‌کند هرچند دیگران هم به شباهت و نزدیکی میان آموزه‌های کانت و اندیشه‌های بور قائل‌اند، این قرابت‌ها از یک شباهت سطحی فراتر*

¹ revisionist

² descriptivist

تفکیک می‌کردند. این پژوهش نشان می‌دهد که دست‌کم یکی از بنیان‌تعبیر کپنهاگی مکانیک کوانتومی، در آثار فیزیکی‌اش چگونه با فلسفه در تعامل بوده است. دوم اینکه پژوهش‌هایی از این دست، پرتو نوری بر نسبت میان فیزیک و فلسفه می‌اندازد که تبعاتی هم برای شناخت ماهیت فیزیک و نیز فلسفه می‌تواند داشته باشد و در خط سیر آتی این دو شاخه، معرفت‌بشری هم می‌تواند نقش ایفا کند؛ همان‌گونه که فی و فولز (Fay & Folse, 2017) در توصیف مجموعه‌مقالاتی که دربارهٔ بور گردآوری کرده‌اند، ادعا می‌کنند که تعبیر بور از مکانیک کوانتومی هنوز پس از نزدیک به یک قرن، برای موضوعات فیزیکی قرن بیست‌ویکم می‌تواند روشنگر باشد و بخش دوم کتاب را هم به مقالاتی در این زمینه اختصاص داده است. همچنین، در ساحت آموزش، نشان‌دادن جایگاه فلسفه در آثار فیزیکی و نیز در ذهن فیزیکدانان می‌تواند در تلطیف جو پوزیتیویستی حاکم بر آموزش فیزیک بسیار حائز اهمیت باشد.

روش پژوهش در این مقاله، تحلیل فلسفی و مفهومی آثار فیزیکی مهم بور دربارهٔ مکملیت و به‌شیوهٔ متن (فیزیک) محور، در محدودهٔ زمانی شکل‌گیری تعبیر کپنهاگی در سال ۱۹۲۷ است و به این منظور، بیشتر بر تحلیل مفهومی و فلسفی یک منبع دست‌اول دربارهٔ مکملیت، یعنی مقالهٔ (Bohr, 1928) منتشرشدهٔ بور در سال ۱۹۲۸ متمرکز خواهد شد که مربوط به متن سخنرانی بور در کنفرانس‌های کومو و سولوی در سال ۱۹۲۷ است؛ از این رو، نخست به تحلیل مفهومی مقاله (Bohr, 1928) و استنباط برخی اصول و آموزه‌ها از آن و سپس در بخش بعدی به استلزامات فلسفی برآمده از اثر، و در نهایت به نتیجه‌گیری و صورت‌بندی رهیافت‌های فلسفی وی پرداخته می‌شود.

پژوهشگران پیش از خود در این باره، به این پرسش می‌پردازد که چرا بور را هنوز مبهم تلقی می‌کنیم. وی استدلال می‌کند این تصور ابهام‌آمیز بودن بور همچنان پابرجا است؛ به سبب اینکه دل‌مشغولی وی چندان تعبیر معرفت‌شناسی فرمالیسم مکانیک کوانتومی نبود؛ بلکه بیشتر پرسش‌های معرفت‌شناسی دربارهٔ چگونگی دست‌یابی به دانش تجربی دربارهٔ اشیای کوانتومی به وسیلهٔ آزمایش^۱ است؛ از این رو، عقیدهٔ^۲ بور دربارهٔ مفاهیم کلاسیک به مثابهٔ فلسفهٔ آزمایش یا تجربه^۳ بهتر فهمیده می‌شود.

در این پژوهش‌ها، مناقشات و موضوعات فلسفی مربوط به واقع‌گرایی^۴/ابزارانگاری، کل‌گرایی^۵، تجربه‌گرایی^۶، و موجبیت‌گرایی^۷ مورد توجه قرار گرفته است. ضمن در نظر گرفتن این مناقشات فلسفی، هدف از این مقاله بررسی و صورت‌بندی رهیافت‌های فلسفی بور در خلال شکل‌گیری تعبیر کپنهاگی مکانیک کوانتومی است و به این پرسش می‌پردازد که چه رهیافت‌های فلسفی را می‌توان در مکملیت بور به مثابهٔ یکی از اجزای تعبیر کپنهاگی صورت‌بندی کرد.

اهمیت این پژوهش دست‌کم از دو جهت است: نخست، ادعا می‌شود تعبیر کپنهاگی، که بور از رهبران فکری آن تلقی می‌شود، متأثر از آموزه‌های پوزیتیویسم منطقی است که مهم‌ترین ویژگی این جریان فکری، رویکرد متافیزیک‌ستیزانهٔ آن است. پوزیتیویست‌های منطقی در پی طرد متافیزیک و فلسفه نه تنها از عرصهٔ علم تجربی، بلکه معرفت بشری بودند. برای این منظور، معیار معناداری/بی‌معنایی گزاره‌ها را وضع کردند و با اصل تحقیق‌پذیری خود، این گزاره‌ها را به‌زعم خود از هم

¹ experiment

² Doctrine

³ philosophy of experiment

۲. مکملیت بور: تحلیلی مفهومی

بور در ۱۶ سپتامبر ۱۹۲۷ در کنفرانس کومو به صورت عمومی برای نخستین بار مکملیت را به مثابه یک دیدگاه فلسفی نوین (Camilleri, 2009: 109) در فیزیک ارائه کرد. ارائه بور در کنفرانس‌های کومو و سولوی در مقاله‌ای با عنوان *اصل موضوع کوانتومی و تحولات اخیر نظریه کوانتوم* در ۱۹۲۸ منتشر شد. در این قسمت به نکاتی اشاره می‌شود که با تحلیل مفهومی این مقاله می‌توان استنباط کرد:

نخست، بور در ابتدای مقاله آموزه‌ای با عنوان *اصل موضوع کوانتومی* ارائه می‌دهد و در عنوان مقاله هم آن را می‌آورد. او در این اصل موضوع کوانتومی «به هر فرایند اتمی یک گسستگی^۱ اساسی و بیشتر فردیتی^۲ را نسبت می‌دهد که برای نظریه کلاسیک امری کاملاً غریب است و با کوانتوم کنش پلانک نمادگذاری می‌شود» (Bohr, 1928: 566). بور در این سمینار با شروع از این اصل موضوع کوانتومی به صورت بندی مکملیت می‌رسد. مبنای این اصل موضوع برای بور، مفهوم کوانتومی پلانک است و در آن گسستگی و فردیت را به مثابه مفاهیمی بیگانه با نظریه کلاسیک مسلم گرفته است. همچنین، از این اصل، آموزه‌های دیگری همچون محدودیت در کاربردپذیری مفاهیم کلاسیک و ماهیت مشاهده کوانتومی را استنباط می‌کند. در این اصل، به وضوح، فاصله گرفتن از نظریه کلاسیک دیده می‌شود. محدودیت در کاربردپذیری مفاهیم کلاسیک در حوزه پدیدارهای اتمی، یکی از مقدمات مفهومی بور در رسیدن به مکملیت بود. این آموزه در اصل موضوع کوانتومی نمایان است و بور با آن مقاله خود را آغاز می‌کند (Bohr, 1928: 566).

دوم، بور در مقدمات دست‌یابی به مفهوم مکملیت، به ماهیت مشاهده پدیدارهای اتمی و تمایز آن با مشاهده در نظریه کلاسیک و فضای معمولی می‌پردازد. بور مفهوم مشاهده معمولی را که مبنای اندازه‌گیری و مشاهده در نظریه کلاسیک است، به چالش کشیده است و به عنصر اختلال در حین مشاهده پدیدارهای اتمی اشاره کرده است. وی در سخنرانی کومو، طبق اصل موضوع کوانتومی استنباط می‌کند که هر مشاهده‌ای درباب پدیده‌های اتمی مستلزم برهم‌کنش غیرقابل چشم‌پوشی یک عامل مشاهده است؛ از این رو، «نسبت دادن واقعیت مستقل در مفهوم معمول آن به پدیدار فیزیکی و عامل مشاهده را نفی می‌کند» (Bohr, 1928: 566). بور با ارجاع به رویکرد اینشتین در نظریه نسبیت، مبنای استنباط خود را این گونه بیان می‌کند: اصل موضوعه کوانتومی، مستلزم چشم‌پوشی از مختصه‌های فضا-زمانی علی^۳ فرایندهای اتمی است (Bohr, 1928). در واقع، توصیف معمول ما از پدیده‌های فیزیکی کاملاً مبتنی بر این ایده است که پدیده‌های مربوطه ممکن است بدون ایجاد اختلالی قابل ملاحظه در آنها، مشاهده شوند. برای مثال، این امر به وضوح در نظریه نسبیت ظاهر می‌شود که برای روشن شدن موضوع در نظریه‌های کلاسیک بسیار ثمربخش بوده است. همان‌طور که اینشتین تأکید می‌کرد، هر مشاهده یا اندازه‌گیری در نهایت مبتنی بر هم‌زمانی دو رویداد مستقل در یک نقطه فضا-زمان است. این انطباق تحت‌تأثیر تغییر در مختصه‌های فضا-زمانی ناظران مختلف قرار نمی‌گیرد. همچنین، بور (Bohr, 1928) ادعان می‌کند که مشاهده به موضوع مشاهده نیز بستگی دارد؛ اما در نهایت، مشاهده را به ادراک حسی^۴

³ causal space-time co-ordination

⁴ sense perception

¹ Discontinuity

² Individuality

مشاهده‌گرها تقلیل‌پذیر می‌داند. در اینجا باتوجه‌به اینکه بور فرایند مشاهده و اندازه‌گیری را همچون یک کل سه‌جزئی جدانشدنی (ابزار اندازه‌گیری، ناظر مشاهده‌گر، و موضوع مشاهده) تلقی می‌کند و هر سه را در فرایند مشاهده و خلق واقعیت دخیل می‌داند، در این حوزه از مفهوم واقعیت، دست‌کم با رویکرد واقع‌گرایی خام^۱، فاصله می‌گیرد که به صورت مستقل از مشاهده مفروض گرفته می‌شود. درعین‌حال، به‌زعم بور (Bohr, 1928) به‌سبب همین اختلال غیرقابل‌چشم‌پوشی در نظریه کوانتومی، و همچنین امکان مشاهده براساس برهم‌کنشی مشخص با عوامل اندازه‌گیری (و نه موضوع مشاهده)، هم‌زمان نمی‌توان به تعریف واضح یک حالت و مشاهده پرداخت.

سوم، بور باتوجه‌به محدودیت در کاربردپذیری مفاهیم کلاسیک، ماهیت مشاهده کوانتومی، و امکان‌ناپذیری توأمان تعریف و مشاهده، از اصل موضوع کوانتومی جدا بودن مؤلفه‌های فضا-زمانی و علی از هم را استنباط می‌کند؛ به‌این‌مفهوم که نمی‌توان توأمان توصیف علی و توصیف فضا-زمانی از پدیدارهای کوانتومی ارائه کرد. درواقع، این اساس ساختار تعریف مکملیت از نظر بور را در سخنرانی کنگره کومو تشکیل می‌دهد؛ هرچند به‌زعم ماکس یامر، بور در این کنفرانس تعریفی از مکملیت ارائه نداد (Jammer, 1989: 369). شایان ذکر است که در سخنرانی کومو در ۱۹۲۷، مراد بور از «توصیف علی»، «اصل پایستگی انرژی و اندازه حرکت» بود و همچنین، وی عبارت «توصیف فضایی-زمانی» را برای ارجاع به «مکان الکترون در فضا در یک زمان مشخص» به کار می‌برد.^۲ گلشنی (۱۳۹۴) حرف بور در کنگره کومو را این‌گونه خلاصه می‌کند: «از یک

طرف، تعریف حالت یک سیستم فیزیکی مستلزم حذف تمام اختلالات خارجی است (زیرا برای یک سیستم باز هیچ حالتی را نمی‌توان تعریف کرد) و البته در این صورت هر مشاهده‌ای غیرممکن است و زمان و مکان معنای معمولی‌شان را از دست می‌دهند. از طرف دیگر، برای آنکه مشاهده امکان‌پذیر باشد، باید تفاعلی با عوامل مناسب اندازه‌گیری (غیرمتعلق به سیستم) صورت بگیرد و در این حالت یک تعریف روشن از سیستم میسر نیست و جایی برای علیت به معنای معمولی آن وجود ندارد؛ بنابراین، باید توصیف زمانی-مکانی و صدق علیت را جنبه‌های مکمل و مانع‌الجمع به حساب آورد» (گلشنی، ۱۳۹۴: ۶۲). باید توجه داشت که در فرایند اندازه‌گیری و مشاهده کوانتومی اختلال قابل‌ملاحظه‌ای^۳ وجود دارد. در فیزیک کلاسیک نیز هر مشاهده‌ای اختلال ایجاد می‌کند؛ اما تفاوت در این است که در نظریه کلاسیک اختلال به‌نحو علی‌الاصول و به‌صورت مجانبی به‌سوی ناچیز شدن و به‌سمت صفر میل می‌کند و از آن صرف‌نظر می‌شود؛ اما در مکانیک کوانتومی به‌دلیل اصل عدم قطعیت نمی‌توان اختلال ناشی از اندازه‌گیری و مشاهده را نادیده انگاشت. درواقع، ممکن است این موضوع استقلال اصل مکملیت از اصل عدم قطعیت را با چالش مواجه کند؛ اما به نظر می‌رسد بور (Bohr, 1928) روابط عدم قطعیت هایزنبرگ را به‌مثابه تأییدی بر مکملیت خود تلقی می‌کرد.^۴ همچنین، به‌نظر بور «ماهیت نظریه کوانتوم ما را ناگزیر می‌کند که مؤلفه فضا-زمانی و مدعای علیت^۵ را که با هم نظریه‌های کلاسیک را توصیف می‌کنند، به‌مثابه مکمل^۳ اما با جنبه‌های توصیفی مانع‌الجمع^۴ مورد ملاحظه قرار دهیم که ایدئال‌سازی

^۲ appreciably

^۳ Complementary

^۴ Exclusive features of description

^۱ Naïve realism

عدم قطعیت هایزنبرگ را که بیانگر بیشترین میزان دقت در اندازه‌گیری هم‌زمان مؤلفه‌های فضا-زمان و مؤلفه‌های اندازه حرکت-انرژی یک ذره بود، «به‌مثابه» یک بیان نمادین ساده برای ماهیت مکمل توصیف فضا-زمانی و مدعاهای علیت مورد ملاحظه قرار می‌داد» (Bohr, 1928: 571). همچنین بور (Bohr, 1928) پذیرفته بود عدم قطعیت^۱ بر همهٔ مشاهدات کمیت‌های اتمی اثر می‌گذارد. به‌نظر بور «اساس این ملاحظات اجتناب‌ناپذیری اصل موضوع کوانتومی در تخمین نتایج ممکن اندازه‌گیری است» (Bohr, 1928: 572). به‌نظر بور، در خلال این اندازه‌گیری‌ها دانش ما به‌طور متقابل برای توصیف هم‌زمان کمیت‌های مکمل کاهش می‌یابد. این موضوع «گسستی بنیادین از توصیف کلاسیک طبیعت است» (Bohr, 1928: 575). بور همچنین بر این آموزه هایزنبرگ صحه گذاشته بود که با مقایسهٔ عدم قطعیت موجود در فرایندهای میکروسکوپی و عدم قطعیت ذاتی مندرج در هر مشاهده‌ای که به‌وسیلهٔ اندازه‌گیری‌های ناکامل در توصیفات معمولی صورت می‌گیرد، مماثلتی^۹ به دست آمده است (Bohr, 1928: 567). همین تمایل در بور می‌توانسته است وی را مجاز کند تا در مراحل بعدی مکملیت را به حوزه‌های دیگر گسترش دهد.

پنجم، یکی دیگر از آموزه‌هایی که بور آن را به چالش می‌کشد، تصویرپذیری رخداد‌های اتمی و جایگزینی انتزاعیات است که او در تحلیل مکانیک موجی شرودینگر به آن می‌پردازد. بور در تحلیل دیدگاه موجی شرودینگر دربارهٔ مسئلهٔ برهم‌کنش بیان می‌کند که «تصویرپذیری^۲ به‌وسیلهٔ تصویرهای فضا-زمانی معمولی توجیه‌پذیر نیست. درواقع، همهٔ دانش ما دربارهٔ ویژگی‌های درونی اتم‌ها از تجربه

مشاهده و تعریف را به‌ترتیب به نمایش می‌گذارند» (Bohr, 1928: 567). به نظر می‌رسد از نگاه بور، یک توصیف فضا-زمانی علی ارتباط تنگاتنگی با سازوکار «مشاهده» دارد. مطابق اصل کوانتومی، مشاهده همواره در سیستم، اختلال قابل‌ملاحظه‌ای را ایجاد می‌کند؛ یعنی سیستم را باز می‌کند؛ به‌این مفهوم که در معرض عوامل بیرونی قرار می‌گیرد. این در حالی است که پیش‌بینی‌پذیری برای سیستم‌های بسته می‌تواند رخ دهد؛ از این رو، توصیف فضا-زمانی با توصیف علی که دربردارندهٔ مفهوم پیش‌بینی‌پذیری است، با هم مکمل و مانع‌الجمع محسوب می‌شوند و توصیف یکی، از توصیف دیگری ممانعت به عمل می‌آورد. شایان ذکر است که بور در زمینهٔ توصیفات فضا-زمانی باز هم در مشابَهت با نظریهٔ اینشتین در حوزهٔ فضا-زمان به استنتاج دست می‌زند (Bohr, 1928: 567).

چهارم، بور این دیدگاه خود را محصول بحث‌های صورت‌گرفته در حوزهٔ ماهیت نور و ساختار نهایی ماده می‌دانست (Bohr, 1928: 567). «با وجود اطلاعات بسیار کمی که دربارهٔ منشأ پیدایش این ایده در ذهن بور وجود دارد، ...، یک چیز قطعی به نظر می‌رسد: مفهوم مکملیت از نظر بور، از پذیرش نهایی دوگانگی موج-ذره توسط وی نشئت گرفته است» (Jammer, 1989: 361). به‌نظر بور، این وضعیت دربارهٔ نور، «به‌طور واضح عدم‌امکان توصیف هم‌زمان فضا-زمانی و علی پدیدهٔ نور را نشان می‌دهد» (Bohr, 1928: 567). در این میان، نسبت مکملیت و عدم قطعیت هم شایان توجه است. بور نه تنها عدم قطعیت را در اندازه‌گیری‌ها و آزمایش‌های صورت‌گرفته و در فرایند مشاهده حاکم می‌دید، بلکه همچنین روابط عدم قطعیت را به‌مثابهٔ بیانی نمادین برای مکملیت تلقی می‌کرد. بور رابطهٔ

¹ Uncertainty

² Visualization

بور آمده است، برخی عناصر مفهومی مورد توجه بوده است؛ از جمله فاصله گرفتن از نظریه کلاسیک و ارائه تعبیری متفاوت از رابطه کلاسیک-کوانتوم^{۱۲}، محدودیت در کاربردپذیری مفاهیم کوانتومی در نظریه کلاسیک، فرایند مشاهده و ارائه تعبیر جدیدی از ماهیت مشاهده در نظریه کوانتوم^{۱۳}، تلقی اندازه‌گیری و مشاهده به مثابه فرایندی سه‌جزئی، امکان‌ناپذیری توأمان تعریف و مشاهده، قابل جمع نبودن مؤلفه‌های فضایی-زمانی و علی، و اجتناب‌ناپذیری طرد توصیف فضازمانی علی، طرد تصویرپذیری رخداد‌های اتمی و جایگزینی انتزاعیات، مانع‌الجمع بودن برخی توصیفات. این آموزه‌ها را می‌توان در چند دسته کلی و مهم گردآوری کرد:

نخست، رابطه کلاسیک-کوانتوم: در موضوع مکملیت رابطه کلاسیک-کوانتوم بیشتر بر رابطه میان مفاهیم کلاسیک و مفاهیم کوانتومی، یا به تعبیر بهتر رابطه میان زبان کوانتوم و زبان کلاسیک، متمرکز می‌شود. بور از طرفی مفاهیم کلاسیک را برای توصیف کوانتومی ضروری می‌دانست و از طرف دیگر، کاربرد مفاهیم کلاسیک در حوزه کوانتوم (در برخی وضعیت‌ها) به تناقض در فهم منجر شده بود؛ از این رو، برای حل معضل ناشی از آنها به اصل مکملیت پناه می‌برد که از توصیف هم‌زمان برخی مفاهیم فیزیکی ممانعت به عمل می‌آورد؛ اما او مفاهیم کلاسیک را طرد نمی‌کند. در واقع، با ارائه مکملیت، محدودیت در کاربردپذیری مفاهیم کلاسیک در نظریه کوانتوم مطرح می‌شود. به نظر می‌رسد این تلاش بور برای سازگار کردن و کارا کردن زبان کلاسیک در نظریه مکانیک کوانتومی جدید است. بور با این کار (تلاش در جهت سازگار کردن دو نظریه و دو زبان)، به احیای رابطه پیوستگی میان دو

درباره تابش آنها و یا برهم‌کنش برخوردها به دست می‌آید و در نتیجه تعبیر امور تجربی در نهایت به انتزاعیات^۱ تابش در فضای آزاد، و ذرات مادی آزاد بستگی دارد؛ از این رو، کل دیدگاه فضازمان درباره پدیدارهای فیزیکی و همچنین تعریف انرژی-اندازه حرکت کاملاً به این انتزاعیات بستگی دارند» (Bohr, 1928: 580).

ششم، بور (۱۹۲۸) با بررسی تابع موج شرودینگر، ادعان می‌کند بازنمایی مناسب حالت‌های ساکن^۲ اتم، تعریفی دقیق از انرژی سیستم را با استفاده از رابطه کوانتومی عمومی^{۱۰} مجاز می‌شمارد و در این مورد مشخص به نظر بور «در تعبیر مشاهدات، طرد بنیادین توصیف فضازمانی اجتناب‌ناپذیر است» (Bohr, 1928: 581). یعنی در واقع اجتناب‌ناپذیری طرد توصیف فضازمانی علی را در پی دارد. ریشه این امر به امکان‌ناپذیر بودن هم‌زمان تعریف و مشاهده، در پرتو مکملیت، در حوزه پدیدارهای کوانتومی برمی‌گردد. «در واقع، کاربرد سازگار مفهوم حالت‌های ساکن ارائه هر توصیفی را در ارتباط با رفتار ذرات جدا از هم طرد می‌کند» (Bohr, 1928: 581).

۳. مکملیت بور و رهیافت‌های فلسفی

در بخش پیشین با نگاهی نزدیک به ساختار مقاله بور (Bohr, 1928) به تحلیل مفهومی آن پرداخته شد و با روش تحلیل مفهومی این منبع دست‌اول، آموزه‌هایی مفهومی و فلسفی از خلال کارهای بور استنباط شد. با توجه به این آموزه‌ها در ادامه به قابلیت صورت‌بندی رهیافت‌های فلسفی^{۱۱} و اثرگذاری آنها در فرایند شکل‌گیری مکانیک کوانتومی پرداخته می‌شود. در بحث مکملیت طبق آنچه در مقاله ۱۹۲۸

¹ Abstractions

² stationary states

بسیار کوچک‌تر از سرعت نور، تمایز میان مختصه‌های فضایی و زمانی واضح است، در نظریه کوانتوم نیز امکان توصیف فضایی-زمانی و علی معمول ما کاملاً مبتنی بر کوچک‌انگاشتن کوانتوم کنش است یا به تعبیر دیگر، همانند نظریه نسبیت در حد کلاسیک (سرعت‌های بسیار کمتر از سرعت نور)، اگر کوانتوم کنش به سمت صفر میل کند، می‌توان توصیف فضایی-زمانی و علی مشابه نظریه کلاسیک داشت. از طرف دیگر، این رابطه میان متناظرهای کلاسیک و کوانتومی است؛ از این رو، می‌توان به وحدت‌گرایی مماثلت‌گرایانه نیز قائل شد. اگرچه قائل شدن به این دو گونه وحدت‌گرایی ممکن است از حیث هستی‌شناختی چالش‌هایی برای بور فراهم کند، با اندیشه‌های بور ناسازگار نیست؛ زیرا بور وجه هستی‌شناختی را نادیده می‌گیرد.

دوم، ماهیت مشاهده و اندازه‌گیری: چند نکته

اساسی در این زمینه وجود دارد: الف) بور فرایند مشاهده و اندازه‌گیری در نظریه کوانتوم را شامل سه جزء، موضوع مشاهده، ابزار مشاهده یا اندازه‌گیری و ناظر مشاهده‌گر تلقی می‌کند و هر سه را به صورت یک کل غیرقابل انفکاک مورد ملاحظه قرار می‌دهد؛ ب) در فرایند اندازه‌گیری و مشاهده کوانتومی اختلال قابل ملاحظه‌ای^۱ وجود دارد که به سبب ماهیت کوانتومی و اصل عدم قطعیت، همانند فیزیک کلاسیک نمی‌توان آن اختلال را به نحو علی‌الاصول نادیده گرفت و از آن صرف نظر کرد؛ از این رو، در نظریه کوانتوم ارائه یک تعریف واضح و مشاهده بدون اختلال با هم ممکن نیست. شایان ذکر است که اگرچه بور، مکملیت را بر این مبنا عدم امکان یک تعریف واضح و مشاهده بدون اختلال پایه‌ریزی

نظریه یا به تعبیر بهتر ممانعت از گسست دو نظریه از همدیگر می‌پردازد. این تلاش بور می‌تواند در چهارچوب رهیافت وحدت‌گرایی بور قابل تصور باشد که در پی رفع ابهام برخاسته از این رابطه کلاسیک-کوانتوم در حوزه زبان و تمایل به حفظ پیوند میان دو نظریه کلاسیک و کوانتوم بوده است. وحدت‌گرایی^۴ را به مثابه یک رهیافت فلسفی می‌توان در این سه دسته خلاصه کرد: نخست، وحدت‌گرایی به مفهوم تقلیل‌گرایی (هستی‌شناختی و روش‌شناختی) 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 باشند. دوم، وحدت‌گرایی به مفهوم کل‌گرایی که قابلیت گردهم‌آوردن اجزا و عناصر هرچند متفاوت تحت یک نوع، قاعده و یا ساختار واحد، به گونه‌ای که با هم ساختار یک کل را تشکیل دهند. این ساختار دارای پیوند و ارتباط درونی اجزا 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 اطلاق‌شدنی باشند. با توجه به تمایل به حفظ رابطه پیوستگی زبانی میان دو نظریه، به نظر می‌رسد وحدت‌گرایی تقلیل‌گرایانه و مماثلت‌گرایانه قابل صورت‌بندی باشد؛ بسته به اینکه یکی را تعمیم دیگری تلقی کند و یا اینکه از شباهت میان دو زبان و دو دامنه کلاسیک و کوانتوم بهره بگیرد. با این وصف، با توجه به آنچه بور (Bohr, 1928) درباره رابطه کلاسیک-کوانتوم به آن استناد می‌کند، وحدت‌گرایی تقلیل‌گرایانه قابل استنباط است؛ زیرا وی به رابطه‌ای تقلیل‌گرایانه میان نظریه کوانتومی و نظریه کلاسیک قائل است و به صراحت اشاره می‌کند که دقیقاً همانند نظریه نسبیت که در سرعت‌های

^۱ appreciably

می‌کند، از روابط عدم قطعیت هایزنبرگ نیز، دست‌کم در مقاله مربوط به سخنرانی کومو (Bohr, 1928)، نه تنها به مثابه تأییدی بر دیدگاه خود، بلکه به مثابه صورت‌بندی نمادین مکملیت تلقی می‌کند.

باتوجه به دیدگاه بور درباره فرایند مشاهده نمی‌توان موضوع مشاهده را از ابزار مشاهده و اندازه‌گیری و مشاهده‌گر تفکیک کرد و باید آنها را به صورت یک کل در نظر گرفت. تفکیک‌ناپذیری این اجزای فرایند مشاهده، هم می‌تواند پیامدهای معرفت‌شناختی داشته باشد و هم ممکن است از برخی زمینه‌های فلسفی و معرفت‌شناختی برخاسته باشد. موضوع مشاهده موضوعی است که می‌تواند با سایر شاخه‌های دانش، از جمله فلسفه، معرفت‌شناسی، روان‌شناسی و فیزیولوژی مرتبط باشد. به‌طور کلی، رهیافت تجربه‌گرایی را می‌توان رهیافتی تلقی کرد که طبق آن تجربه در فرایند اکتشاف معرفت، داوری معرفت و یا شکل‌گیری واقعیت نقش اساسی ایفا می‌کند که دو مورد اول (مربوط به مقام اکتشاف و داوری) معرفت‌شناختی و مورد سوم (شکل‌گیری واقعیت) هستی‌شناختی (متافیزیکی) است. باتوجه به این نکات می‌توان تجربه‌گرایی را این‌گونه تقسیم‌بندی کرد: ۱) تجربه‌گرایی پایه (نوع اول): این نوع از تجربه‌گرایی به نقش و اهمیت تجربه در فرایند کشف علمی می‌پردازد. دانشمندان پس از قرن شانزدهم این نوع از تجربه‌گرایی را به‌عنوان زمینه و روش فعالیت علمی خود پذیرفته‌اند. استقراریان می‌توانند در این حوزه قرار گیرند. فرایند اکتشاف دربردارنده روش شناخت و منبع شناخت است؛ ۲) تجربه‌گرایی توجیه‌مدار (نوع دوم): نقش تجربه در این نوع از تجربه‌گرایی به فرایند توجیه، آزمون و داوری معرفت برمی‌گردد. تجربه‌گرایی پوپر را می‌توان در زمره این نوع دوم قرار داد. فرایند توجیه

و داوری به وثاقت و حجیت معرفت اعم از وثاقت روش و یا منبع شناخت می‌پردازد؛ ۳) تجربه‌گرایی پوزیتیویستی (نوع سوم): در این نوع از تجربه‌گرایی نقش تجربه به‌عنوان معیار معناداری گزاره‌ها و روشی برای تحقیق و آزمون آنها مطرح می‌شود. پوزیتیویست‌های حلقه وین می‌توانند در این شاخه قرار گیرند. تز اصلی پوزیتیویست‌های منطقی اصل تحقیق‌پذیری بود. هرچند این اصل صورت‌بندی‌های متعددی به خود گرفت، مطلب اصلی آن این بود که هرآنچه قابل تحقیق و آزمون‌پذیر با روش تجربی باشد و یا متعلق به منطق و ریاضیات باشد، معنادار و در نتیجه معرفت‌بخش است؛ در غیر این صورت، بی‌معنا و قابل‌طرده است. پوزیتیویست‌های منطقی میراث‌دار دو نحله پوزیتیویسم و منطق‌گرایی بودند؛ ۴) تجربه‌گرایی عملیات‌گرا (نوع چهارم) که معنی و مفهوم اصطلاحات و مفاهیم را باتوجه به روش اندازه‌گیری و مشاهده آنها تعریف می‌کنند. رهیافت عملیات‌گرایی بریچمن^{۱۵} می‌تواند از این نوع تلقی شود؛ ۵) تجربه‌گرایی متافیزیکی (نوع پنجم): در این نوع از تجربه‌گرایی تجربه در شکل‌گیری واقعیت سهیم است. تجربه‌گرایی متافیزیکی، می‌تواند این‌گونه تعبیر شود که آنچه در علم، واقعیت تلقی می‌شود، کاملاً محصول تجربه و مشاهده است و یا اینکه دست‌کم تجربه نیز در شکل‌گیری آن دخیل بوده است. در بیان قوی تجربه‌گرایی متافیزیکی، واقعیت چیزی ورای برساخته تجربه و مشاهده نیست که در ذهن شکل می‌گیرد. در این تعبیر، هستی قابل‌شناخت و واقعی همان است که به تجربه درمی‌آید. تجربه‌گرایی بارکلی را می‌توان در زمره این نوع از تجربه‌گرایی متافیزیکی قرار داد. به‌نظر بارکلی، تنها اشیایی که ما می‌دانیم وجود دارند همان‌ها است که تجربه می‌کنیم. همه آنچه ما درباره اشیا بشناسیم،

وصف، نشانه محکمی وجود ندارد که این رهیافت وحدت‌گرایانه کل‌گرایانه اثری بر نگرش بور درباره مشاهده داشته است. هرچند اگر بتوان نشان داد که در اتخاذ رهیافت بور به فرایند مشاهده کوانتومی، اثرپذیری از سایر شاخه‌های دیگر دانش از جمله روان‌شناسی و فلسفه وجود داشته است، این موضوع می‌تواند بر مبنای رهیافت وحدت‌گرایانه به معرفت بشری تلقی شود.

سوم، توصیف در چهارچوب مکملیت و مفهوم

واقعیت: نگاه کل‌گرایانه بور به فرایند مشاهده و اندازه‌گیری، پیامدهایی برای مفهوم واقعیت در فیزیک کوانتوم دارد. طبق این دیدگاه، واقعیت فیزیکی مشاهده‌شده با واقعیت پیش از اندازه‌گیری یکی نیست. واقعیت موردنظر بور محصول فرایند مشاهده است و حاصل تعامل موضوع مشاهده، ابزار مشاهده‌تی و ناظر مشاهده‌گر است. باتوجه به اینکه یکی از مفروضات اساسی واقع‌گرایی خام، باور به وجود یک واقعیت مستقل از مشاهده است که قابل‌شناخت نیز هست، در اینجا بور از واقع‌گرایی خام کاملاً فاصله می‌گیرد؛ زیرا در دیدگاه بور (Bohr, 1928) دست‌کم شناخت واقعیت مستقل از مشاهده ممکن و معنادار نیست. همچنین، مفهوم واقعیت در تجربه‌گرایی متافیزیکی، با مفهوم واقعیت در واقع‌گرایی خام تفاوت بنیادین دارد. بور نیز در ارائه مکملیت اساساً به همان تصویر برآمده از روش و سازوکار مشاهده اکتفا می‌کند و واقعیت فیزیکی به‌زعم وی را به نمایش^{۱۷} می‌گذارد. این به‌مفهوم فاصله‌گرفتن بور از واقع‌گرایی در زمان ارائه مکملیت در ۱۹۲۷ است.

به‌طور خلاصه، می‌توان در تقابل با واقع‌گرایی در

صرفاً تصوراتی است که از آنها داریم. پدیدارهایی که ما تجربه می‌کنیم، همان اشیا هستند و پدیدارها احساسات و یا ادراکات یک موجود متفکرند؛ اما در بیان ضعیف تجربه‌گرایی متافیزیکی، تجربه دست‌کم در شکل‌گیری هستی و واقعیت علمی نقش اساسی داشته است. مفهوم «فونمن» کانت را می‌توان در این زمره تلقی کرد. به‌نظر کانت، تمام شناسایی ما با تجربه آغاز می‌شود؛ هرچند نمی‌توان نتیجه گرفت که از تجربه برمی‌خیزد؛ بلکه ذهن در شکل‌گیری آن نقش دارد.^{۱۶}

باتوجه به تقسیم‌بندی‌های تجربه‌گرایی، صرف‌نظر از تجربه‌گرایی پایه (نوع اول) و تجربه‌گرایی توجیه‌مدار (نوع دوم) که در میان دانشمندان علوم تجربی پس از قرن هفدهم امری معمول بوده است، از موضوع مشاهده و ماهیت آن از نظر بور، تجربه‌گرایی متافیزیکی قابل‌صورت‌بندی است؛ مبنای استدلال از این قرار است که در دیدگاه بور (Bohr, 1928)، آنچه در نهایت واقعیت فیزیکی را شکل می‌دهد، حاصل برهم‌کنش مشاهده‌گر، موضوع مشاهده و ابزار اندازه‌گیری و مشاهده است. به‌تعبیر دیگر، مشاهده در شکل‌گیری و خلق واقعیت فیزیکی دخیل است؛ از این‌رو، باتوجه به تعبیری که برای تجربه‌گرایی متافیزیکی بیان شد، می‌توان ادعا کرد که دیدگاه بور می‌تواند به تجربه‌گرایی متافیزیکی از نوع قوی آن منجر شود. شایان ذکر است که در واقع‌گرایی متافیزیکی، واقعیت فیزیکی یک محصول روش‌شناسی طبیعت‌گرایانه است که با وجه هستی‌شناختی واقع‌گرایی متفاوت است.

از طرف دیگر، از کلیت فرایند مشاهده در نظر بور گونه‌ای رهیافت کل‌گرایانه (وحدت‌گرایانه) قابل‌صورت‌بندی است که بنا به آن اجزا و مؤلفه‌های مشاهده در یک کل تجزیه‌ناپذیر قرار می‌گیرند. با این

می‌تواند بر این دلالت داشته باشد که هرگز نمی‌توان کل یک واقعیت را فهمید؛ همواره بخشی از واقعیت متناسب با ابزار انتخاب‌شده برای ما پدیدار می‌شود. این به آن مفهوم است که واقعیت فی‌نفسه طبق مکملیت بور قابل‌شناخت نیست. این همان طرد آموزه واقع‌گرایی خام است.

چهارم، توصیفات مکمل و علیت: باتوجه به اصل مکملیت توصیف علی طرد نمی‌شود؛ بلکه توصیف فضایی‌زمانی هم‌زمان با توصیف علی طرد می‌شود. درواقع، مکملیت از توصیف علی و توصیف فضا‌زمانی به‌صورت هم‌زمان ممانعت به عمل می‌آورد. شایان ذکر است که در موضوع مکملیت، بور علیت را با قوانین بقای اندازه حرکت و انرژی مترادف گرفته است و با علیت متافیزیکی و موجیبت معرفت‌شناختی سروکار ندارد. هرچند در نگاه نخست به موضوع مکملیت بور توصیف علی و علیت را طرد نکرده است، بلکه آنها را مسکوت گذاشته است، درعین حال توصیف علی را در برخی وضعیت‌ها (مثلاً یک شیء جای‌گزیده در فضا و زمان) طرد کرده است. یعنی درواقع علیت و کاربرد آن را محدود کرده است. این علیت‌گریزی بور بیشتر از آنکه نشان‌دهنده رهیافت ضدموجیبتی بور باشد، نشان‌دهنده رهیافت ضدواقع‌گرایانه او است. به‌طور خلاصه، رهیافت‌های ضدموجیبتی را می‌توان این‌گونه برشمرد: (۱) ضدموجیبت‌گرایی معرفت‌شناختی: بنا به این دیدگاه قابلیت پیش‌بینی آینده در علم و در جهان وجود ندارد. این موضوع ممکن است به‌سبب جهل ما و یا به‌سبب ویژگی ذاتی جهان باشد؛ (۲) ضدموجیبت‌گرایی متافیزیکی: بنا به این دیدگاه رابطه علیت و یا اصل علیت در جهان برقرار نیست؛ به‌این‌مفهوم که معلول نتیجه وجودی و ضروری علت نیست. در موضوع مکملیت، درواقع، بی‌توجهی به

حوزه علم، چند نحله را قرار دارد: (۱) ایدئالیسم^۱: بنا به ایدئالیسم، هویت‌های علم، واقعیتی مستقل از ذهن ندارند (وجه متافیزیکی ایدئالیسم)؛ (۲) پدیدارگرایی^۲: در علم باید به نتایج تجربی و مشاهدات تجربی اکتفا کرد (وجه معرفت‌شناختی و هنجارین)؛ همچنین، عالم واقع چیزی جز مشاهدات و پدیدارها نیست (وجه متافیزیکی)؛ (۳) ابزارگرایی^۳: نظریه‌ها صرفاً ابزاری برای دادن پیش‌بینی نتایج هستند (وجه معرفت‌شناختی) و هویت‌های موجود در علم، چیزی جز ابزاری برای توصیف مشاهده نیستند (وجه متافیزیکی)؛ (۴) پراگماتیسم^۴: در علم ملاک صدق و حقیقت، نتیجه و عمل است (وجه معرفت‌شناختی) و واقعیتی برای تطابق فعالیت علمی با آن وجود ندارد (وجه متافیزیکی) باتوجه به تعبیری که بور از ماهیت مشاهده و اندازه‌گیری دارد، مفهوم سنتی واقعیت (کلاسیک) معنی خود را از دست می‌دهد. در دیدگاه بور از چند جهت دیگر مفهوم واقعیت دستخوش تغییر می‌شود: نخست، با طرد تصویرپذیری رخدادهای جهان: به‌نظر بور، تصویرپذیری رخدادهای اتمی توجیه‌پذیر نیست. این موضوع دلالت بر این دارد که جهان واقعی دربردارنده رخدادهای اتمی قابل شناخت و قابل توصیف نیست. این آموزه می‌تواند نمایانگر یک رهیافت ضدواقع‌گرایانه معرفت‌شناختی باشد؛ زیرا بر اساس واقع‌گرایی معرفت‌شناختی جهان با دانش ما قابل شناخت است. دوم، با طرد توصیف هم‌زمان فضایی‌زمانی و علی. باتوجه به مکملیت، توصیف هم‌زمان فضایی‌زمانی و علی که از ویژگی‌های توصیف کلاسیک است، طرد می‌شود. این موضوع

¹ idealism

² phenomenalism

³ instrumentalism

⁴ pragmatism

علیت به مفهوم نادیده‌انگاشتن علیت متافیزیکی موجود است. در واقع، در این حوزه، بیشتر از آنکه علیت‌ستیزی وجود داشته باشد، علیت‌گریزی است؛ زیرا از طرفی علیت به قانون بقای اندازه حرکت و انرژی تقلیل می‌یابد و همچنین در مکملیت برای توصیف هم‌زمان فضایی-زمانی و توصیف علی ممانعت ایجاد می‌شود. یعنی در واقع بور از حیث متافیزیکی، علیت‌گریز است و به موجبیت معرفت‌شناختی در قالب قوانین بقا اکتفا می‌کند.

۴. نتیجه‌گیری

با تحلیل مفهومی مکملیت، آموزه‌هایی مفهومی استنباط شد که مبتنی بر آنها برخی رهیافت‌های فلسفی بور در شکل‌گیری مکملیت قابل‌صورت‌بندی هستند که به‌قرار زیرند:

نخست، رهیافت تجربه‌گرایانه. صرف‌نظر از تجربه‌گرایی نوع اول و دوم که لازمه کار علمی هر فیزیک‌دانی است، دست‌کم دو نوع دیگر از تجربه‌گرایی در بررسی آموزه‌های استنباطی از مقاله مربوط به مکملیت بور قابل‌صورت‌بندی است: تجربه‌گرایی پوزیتیویستی و تجربه‌گرایی متافیزیکی. رهیافت تجربه‌گرایی پوزیتیویستی بور در کنار نهادن واقعیت فی‌نفسه می‌تواند نمایان شود؛ به سبب اینکه این واقعیت فی‌نفسه (نومن به تعبیر کانت) در دسترس تجربه و مشاهده نیست. با این وصف، با توجه به اینکه صریحا از بی‌معنایی سخن نرانده است، به صورت قطعی نمی‌توان رهیافت وی را متعلق به پوزیتیویسم منطقی دانست. همچنین، رهیافت تجربه‌گرایانه متافیزیکی برای بور در موضوع مکملیت قابل صورت‌بندی است؛ بر این مبنا که بور از نقش مشاهده و قابلیت آن در خلق واقعیت صحبت می‌کند.

دوم، رهیافت وحدت‌گرایانه. در موضوع مکملیت،

بور از طرفی تناقض در فهم را هنگام به‌کارگیری مفاهیم کلاسیک در نظریه کوانتوم می‌بیند و از طرف دیگر، در جهت سازگار کردن دو نظریه و دو زبان تلاش می‌کند. تلاش وی در این راستا، به محدودیت در کاربردپذیری مفاهیم کلاسیک در نظریه کوانتوم منتهی می‌شود. به این منظور، به احیای رابطه پیوستگی میان دو نظریه یا به تعبیر بهتر ممانعت از گسست دو نظریه از همدیگر می‌پردازد. این تلاش بور می‌تواند در چهارچوب رهیافت وحدت‌گرایی بور قابل‌تصور باشد که در پی رفع ابهام برخاسته از این رابطه کلاسیک-کوانتوم در حوزه زبان و تمایل به حفظ پیوند میان دو نظریه کلاسیک و کوانتوم بوده است. این راهبرد بور می‌تواند ریشه در باور به اجتناب‌ناپذیری زبان کلاسیک برای نظریه کوانتوم باشد. با این وصف، مبتنی بر تنها این اثر فیزیکی، سخت است مدعی شد که کدام‌یک از انواع وحدت‌گرایی برای وی قابل‌صورت‌بندی است، به سبب اینکه مبتنی بر تفسیرهایی انگیزه‌شناختی و روان‌شناختی است.

سوم، رهیافت ضدعلیتی، اما موجبیت‌گرایانه: مبتنی بر رویکرد بور به مکملیت، می‌توان استنباط کرد که بور علیت‌ستیز است و موجبیت‌گریز؛ اما نه موجبیت‌ستیز (ضدموجبیتی). این مدعا از اینجا برمی‌خیزد که در موضوع مکملیت، بور علیت را با قوانین بقای اندازه حرکت و انرژی مترادف گرفته است. در مکملیت، نه تنها با علیت متافیزیکی، بلکه با موجبیت معرفت‌شناختی نیز سروکار ندارد و در اصل مکملیت توصیف علی طرد نمی‌شود، بلکه توصیف فضایی-زمانی هم‌زمان با توصیف علی طرد می‌شود. در واقع، مکملیت از توصیف علی و توصیف فضازمانی به صورت هم‌زمان ممانعت به عمل می‌آورد. هرچند در نگاه نخست به موضوع مکملیت

نگاه خود بور^{۱۸} باشد.

تقدیر و تشکر

سپاس از استاد گران‌قدرم جناب دکتر مهدی گلشنی که رهنمودهایش بسیار راهگشا بوده است.

منابع

پاپکین، ریچارد و استرول، آروم (۱۳۷۷). کلیات فلسفه. ترجمه سیدجلال‌الدین مجتوبی. انتشارات حکمت، چاپ چهاردهم.

عبدالله‌نژاد، محمدرضا (۱۳۸۸). «نگاهی بر متافیزیک توصیفی استراوسن». پژوهش‌های فلسفی، سال ۵۲ (پیاپی ۲۱۰)، ۹۳-۱۱۷.

سجادی، سیدهدایت؛ گلشنی، مهدی و کرباسی‌زاده، امیراحسان (۱۳۹۱). «رهیافت وحدت‌گرایانه و مکانیک کوانتومی استاندارد»، *دوفصلنامه فلسفه علم*، ۲ (۳)، ۴۷-۶۸.

سجادی، سیدهدایت (۱۳۹۱). *نقش رهیافت‌های متافیزیکی و معرفت‌شناختی در شکل‌گیری مکانیک کوانتومی استاندارد*. رساله دکتری فلسفه علم و فناوری، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی.

----- (۱۴۰۰). «رهیافت‌های فلسفی هایزنبرگ در شکل‌گیری مکانیک کوانتومی با تعبیر کپنهاگی». *فصلنامه پژوهش‌های فلسفی دانشگاه تبریز*، ۱۵، ۳۷، ۱۰۰-۱۳۰.

گلشنی، مهدی (۱۳۹۴). *تحلیلی از دیدگاه‌های فلسفی فیزیک‌دانان معاصر*، چاپ ششم. انتشارات پژوهشگاه علوم انسانی.

Bohr, N. (1928). the quantum postulate and recent development of Atomic Theory. in *BCW (1985)*, 6, 565-588.

----- (1935). Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be

بور توصیف علی و علیت را طرد نکرده است، بلکه آنها را مسکوت گذاشته است، درعین‌حال، توصیف علی را در برخی وضعیت‌ها (مثلاً یک شیء جای‌گزیده در فضا و زمان) طرد کرده است. یعنی درواقع علیت و کاربرد آن را محدود کرده است. این علیت‌گریزی بور بیشتر از آنکه نشان‌دهنده رهیافت ضدموجبتی بور باشد، نشان‌دهنده رهیافت ضدواقع‌گرایانه وی است.

چهارم، رهیافت ضدواقع‌گرایانه. در موضوع مکملیت و باتوجه‌به تعبیر وی از مشاهده، از مفهوم واقعیت به مفهوم کلاسیک آن در رئالیسم گذر می‌کند و واقعیت اساساً محصول و مخلوق مشاهده می‌شود. این واقعیت‌ستیزی (ضدواقع‌گرایی) در مکملیت از دو جهت است: طرد تصویرپذیری رخداد‌های جهان و نیز طرد توصیف هم‌زمان فضایی‌زمانی و علی. با طرد تصویرپذیری رخدادها، بور از واقع‌گرایی خام دور می‌شود؛ زیرا بازنمایی واقعیت مستقل از مشاهده یکی از مفروضات اساسی این نوع از واقع‌گرایی است. همچنین، با طرد توصیف هم‌زمان فضایی‌زمانی و علی، ارائه یک تصویر واحد از واقعیت را مجاز نمی‌داند؛ زیرا ارائه دو تصویر احیاناً متقابل از واقعیت واحد، از منظر یک واقع‌گرای خام قابل‌پذیرش نیست. یعنی از هر دو حیث، از واقع‌گرایی دور می‌شود.

درنهایت، چهار رهیافت تجربه‌گرایی (به‌مفهوم پوزیتیویستی و متافیزیک‌گرایانه آن)، وحدت‌گرایی، علیت‌ستیزانه و موجبت‌گریز و ضدواقع‌گرایی، در تحلیل مفهومی اثر مربوط به مکملیت قابل صورت‌بندی است؛ با این وصف، پژوهش‌های دیگر برای تشخیص دقیق‌تر انواع زیرشاخه‌های این رهیافت‌های فلسفی چهارگانه و سازوکار اثرگذاری آنها لازم است که یکی از رویکردها می‌تواند بور از

- legacy. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Faye, J. & Folse, H. (Eds.) (2017) *Niels Bohr and the Philosophy of Physics: Twenty-First Century Perspectives* (1 ed., pp. 19-46) Bloomsbury Academic.
- Folse, J. Henry (1985). *The Philosophy of Niels Bohr: the framework of complementarity*. North-Holland Personal Library.
- (1986). Niels Bohr, complementarity, and realism. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 1, 96-104.
- Haack, S. (1979). Descriptive and Revisionary Metaphysics. *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition*, 35(4), 361-371, <http://www.jstor.org/stable/4319298>.
- 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 Institute of Physics.
- Jones, Todd, (2014). unification. *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, Edited by Stathis Psillos and Martin Curd, 2nd ed. Published by Routledge, London & New York.
- Loewer, Barry (2014). Determinism. *The Routledge Companion to Philosophy of Science*. Edited by Stathis Psillos and Martin Curd. 2nd ed. Published by Routledge. London & New York.
- Markie, P. and Folescu, M. (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/>.
- Mellor, D. H. (1995). *The Facts of Causation*. London: Routledge.
- Psillos, S. (2000). The present state of the scientific realism debate. *British Journal for the Philosophy of Science*, 51, 705-28.
- Psillos, Stathis (2007). *Philosophy of Science A-Z*. Edinburgh University Press.
- Ray, Christopher (2000). logical positivism. *Blackwell companions to philosophy: a companion to the philosophy of science*. ED. Newton-Smith. Blackwell publisher.
- Considered Complete?. *Phys. Rev*, 48, 696. ----- (1937). Causality and complementarity. in *BCW*, 1999, 10.
- (1948). on the notions of causality and complementarity. in *BCW* 1996, 7, 330-336.
- (1955). Science and the unity of knowledge. in *BCW*, 1999, 10.
- Bokulich, Alisa (2008). *reexamining the Quantum-Classical Relation: Beyond Reductionism and pluralism*. Cambridge University Press.
- Bridgeman (1927). *The Logic of Modern Physics*. Macmillan Company.
- Brown, Clifford A. (2006). *Peter Strawson*. London: Routledge
- Camilleri, Kristian (2009). *Heisenberg and the Interpretation of Quantum Mechanics: The Physicist as Philosopher*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Camilleri, K. (2017). Why do we find Bohr obscure? Reading Bohr as a philosopher of experiment. In Faye, J. & Folse, H. (Eds.) *Niels Bohr and the Philosophy of Physics: Twenty-First Century Perspectives* (first ed., pp. 19-46) Bloomsbury Academic.
- 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/>.
- Cuffaro, M. (2010). The Kantian framework of complementarity. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 41, 309-317.
- Cuffaro, Michael E. (2018). Causality and Complementarity in Kant, Hermann, and Bohr, http://philsci-archive.pitt.edu/14357/1/kant_bohr_herma_nn.pdf
- Cushing, J. T. (1998). *Philosophical Concepts in Physics: the historical relation between philosophy and scientific theories*. Cambridge university press.
- Devitt, Michael (2014). Realism/Anti-realism. *The Routledge Companion to Philosophy of Science*. Edited by Stathis Psillos and Martin Curd, 2nd ed. Published by Routledge. London & New York.
- Dorato, Mauro (2016). Bohr's Relational Holism and the classical-quantum Interaction. *arXiv:1608.00205 [quant-ph]*.
- Earman, J. (1986). *A Primer on Determinism*. Dordrecht: Reidel.
- Faye, J. (1991). *Niels Bohr: His heritage and*

Sober, Elliott (2014). *Empiricism. The Routledge Companion to Philosophy of Science*. Edited by Stathis Psillos and Martin Curd. 2th ed. published by Routledge. London & New York.

Strawson, P. F. (1992). *Analysis and Metaphysics: An Introduction to Philosophy*. Oxford: Oxford University Press.

pp: 243-251.

Shimony, Abner (1985). Review of Henry Folse, *The Philosophy of Niels Bohr: The Framework of Complementarity*. *Physics Today*, 38, 10, 108-109.

Shomar, Towfic (2008). Bohr as a Phenomenological Realist. *Journal of General Philosophy of Science*, 39, 321-349.

پی نوشت

^۱ استراوسن (Strawson) در برابر متافیزیک تجدیدنظرطلب از متافیزیک توصیفی سخن می‌راند که این متافیزیک خود را به کلی‌ترین جنبه‌های شاکله مفهومی ما یا به عبارت دیگر به کلی‌ترین جنبه‌های زبانی ما محدود کرده است و به توصیف کلی‌ترین ساختارهای مفهومی (مثل زمان، مکان، شیء، جزئی، شخص، جسم، شناخت و وجود) می‌پردازد (Strawson, 1992)؛ اما متافیزیک تجدیدنظرطلب به این اکتفا نمی‌کند و فراتر از آن به دنبال اصلاح یا تجدیدنظر در ساختارهای مفهومی است و می‌خواهد آموزه یا نظریه‌ای بهتر درباره جهان ارائه دهد (برای اطلاعات بیشتر در این زمینه ر.ک. به: Haack (1979), Brown (2006) و نیز عبدالله‌نژاد (۱۳۸۸).

^۲ درباره واقع‌گرایی/ضدواقع‌گرایی ر.ک. به: Devitt (2014), Psillos (2000).

^۳ درباره کل‌گرایی (Holism) ر.ک. به: Psillos (2007).

^۴ درباره تجربه‌گرایی ر.ک. به: Markie and Folescu (2021), Sober (2014).

^۵ درباره علیت و موجبیت ر.ک. به: Hofer (2016), Loewer (2014), Mellor (1995), Earman (1986).

^۶ در این زمینه می‌توانید ر.ک. به: Camilleri, 2009: 109.

^۷ در ادامه (بند چهارم از همین بخش دوم) بیشتر به نسبت میان روابط عدم قطعیت و مکملیت پرداخته می‌شود؛ با این وصف، برخی پژوهش‌ها حاکی از دیدگاه واگرای بور و هایزنبرگ در زمینه مکملیت است. از جمله نگاه کنید به: Camilleri (2009).

^۸ برای بور «علیت در فیزیک در واقع با پایستگی اندازه حرکت و انرژی مترادف بود» (Camilleri, 2009: 110).

^۹ مماثلت معادل واژه analogy است که «هماندانگاری» هم می‌تواند معادل مناسبی برای آن باشد.

^{۱۰} رابطه مورد نظر بور $E=hf$ (رابطه مشهور پلانک است) است که البته در مقاله با نماد نویسی دیگری آمده است.

^{۱۱} درباره رهیافت‌های فلسفی ر.ک. به: سجادی (۱۳۹۱) و سجادی (۱۴۰۰).

^{۱۲} در زمینه برخی دیدگاه‌ها درباره کلاسیک-کوانتوم ر.ک. به: Bokulich (2008).

^{۱۳} بور (Bohr, 1928)، مکملیت را بر مبنای عدم امکان یک تعریف واضح و مشاهده بدون اختلال پایه‌ریزی می‌کند و در قسمت‌های پیشین اشاره شد که وی از روابط عدم قطعیت هایزنبرگ به مثابه تأییدی بر دیدگاه خود بهره می‌گرفته است.

^{۱۴} برای تفصیل بیشتر درباره وحدت‌گرایی، ر.ک. به: سجادی و دیگران (۱۳۹۱) و نیز: Cat (2021), Jones (2014).

^{۱۵} بنا به دیدگاه عملیات‌گرایی بریچمن، مفهوم مترادف است با مجموعه‌ای از عملیات‌های متناظر (Bridgeman, 1927: 5).

^{۱۶} برای اطلاعات بیشتر در زمینه دیدگاه‌های فلسفی بارکلی و کانت ر.ک. به: ریچارد پاکین و آروم استرول (۱۳۷۷).

^{۱۷} به نظر می‌رسد در اینجا مفهوم نمایش (presentation) مناسب‌تر از بازنمایی (representation) باشد.

^{۱۸} در این زمینه ارجاع و پژوهش درباره برخی آثار بور از جمله Bohr (1935; 1937; 1948; 1955) می‌تواند راهگشا باشد.