

رهیافت وحدت‌گرایانه و مکانیک کوانتوم استاندارد

سیده‌هدایت سجادی*

مهدی گلشنی**، امیراحسان کرباسی‌زاده***

چکیده

هدف از این پژوهش صورت‌بندی رهیافت وحدت‌گرایانه در سیر تحول مکانیک کوانتوم استاندارد در خلال سال‌های ۱۹۱۳-۱۹۲۷، با تمرکز بر دو فیزیک‌دان بنیان‌گذار این نظریه، بور و هایزنبرگ، است. به این منظور پس از ارائه تقریری از رهیافت وحدت‌گرایانه و برشمردن انواع آن، به صورت‌بندی این رهیافت در سیر تحول مکانیک کوانتوم استاندارد که مشتمل بر ریشه‌ها، روش‌ها، و محتوای فیزیکی و پیامدهای آن در این دوره است می‌پردازیم.

کلیدواژه‌ها: وحدت‌گرایی، بور، هایزنبرگ، مکانیک کوانتوم استاندارد (کپنهاگی).

۱. مقدمه

یکی از موضوعات مورد علاقه فلاسفه فیزیک، بررسی نسبت میان ایده‌های فلسفی و نظریه‌های فیزیکی است. از این میان، نظریه مکانیک کوانتوم توجه بیش‌تری را به خود معطوف کرده است. مکانیک کوانتوم یکی از نظریه‌های بزرگ فیزیک است که شکل‌گیری آن در قرن بیستم تحولی بزرگ در عرصه علم و تکنولوژی به‌دنبال داشت. در پی ناکارآمدی فیزیک کلاسیک در حل برخی مسائل تجربی، از جمله توضیح تابش جسم سیاه، به‌تدریج نگرشی نو در فیزیک پدید آمد که با پیش‌کشیدن مفهوم کوانتا از جانب پلانک در ۱۹۰۰

* دانشجوی دکتری فلسفه علم و فناوری، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی (نویسنده مسئول)
hedayatsajadi@gmail.com

** استاد فیزیک و رئیس گروه فلسفه علم، دانشگاه صنعتی شریف

*** استادیار گروه مطالعات علم، مؤسسه پژوهشی حکمت و فلسفه ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۱۵

آغاز شد. تحلیل مبانی و پیامدهای نظریه فیزیک کوانتوم و اندیشه‌های فلسفی فیزیک‌دانان امری رایج میان فلاسفه فیزیک، و کلیدی برای فهم اثرگذاری متقابل مکانیک کوانتوم و اندیشه‌های فلسفی است. مکانیک کوانتوم استاندارد، یا به تعبیر دیگر مکانیک کوانتوم با تعبیر کپنهاگی، در ۱۹۲۷ رسمیت یافت و از لحظه تولد آن در ۱۹۰۰ تا ۱۹۲۷ مراحل را پشت سر نهاده است. فیزیک‌دانانی چون پلانک (M. Planck)، آینشتاین (A. Einstein)، زومرفلد، بور (N. Bohr)، هایزنبرگ (W. Heisenberg)، شرودینگر (A. Schrodinger)، بورن (M. Born)، پاولی (W. Pauli)، و دیراک (P. Dirac) در این تحول سهم بودند. بور و هایزنبرگ از مهم‌ترین بنیان‌گذاران نظریه مکانیک کوانتوم محسوب می‌شوند که تحلیل‌های فلسفی فراوانی، از جانب مورخان و فلاسفه فیزیک، پیرامون اندیشه‌های آنان صورت گرفته است.^۱ همچنین نوشته‌های متنوعی پیرامون مباحثی همچون واقع‌گرا/ضد واقع‌گرا خواندن آن‌ها، یا دادن عنوان «پوزیتیویست» به آن‌ها وجود دارد. نگرش غالب این است که آن‌ها پوزیتیویست و یا ابزارانگار بودند؛^۲ اما در طرف مقابل برخی فلاسفه فیزیک متأخر، این موضوع را به چالش کشیده‌اند.^۳ در واقع، تحلیل اندیشه‌های فلسفی فیزیک‌دانان، کلیدی برای فهم رابطه فیزیک کوانتوم و فلسفه، به طور کلی، و متافیزیک، به خصوص، تلقی می‌شود. اگرچه در باب رئالیست / آنتی رئالیست و یا پوزیتیویست خواندن بور و هایزنبرگ پژوهش‌هایی صورت گرفته است، اما در باب رهیافت وحدت‌گرایی این دو فیزیک‌دان و نقش این رهیافت در شکل‌گیری نظریه کوانتوم، پژوهش‌های منسجم چندانی وجود ندارد. یکی از افرادی که به این موضوع پرداخته است مک‌کینون (MacKinnon) است؛ وی در نوشته‌اش نه در پی نقد دیدگاه بور درباره وحدت علوم، بلکه در پی وضوح‌بخشی بیش‌تر به آن است (MacKinnon, 1980: 224)، و به نظر می‌رسد نسبت آن را با دیدگاه وحدت علوم حلقه وین روشن می‌سازد. مک‌کینون پس از توضیحاتی در باب مدل اتمی بور، مکملیت در تعبیر کپنهاگی و بسط متعاقب فیزیک، نظر بور در باب وحدت علوم را به زعم خود روشن‌تر می‌کند.

به طور کلی وحدت‌گرایی به مفهوم تمایل به ارائه تصویر یا تبیینی واحد از رویدادها و پدیدارهاست. ریشه وحدت‌گرایی را می‌توان عواملی چون تمایلات فطری و غریزی بشر، عوامل دینی، عوامل تاریخی و فرهنگی، و عوامل فلسفی دانست. هرچند به مرور زمان شکل این مسئله تغییر یافته است، اما این مسئله همواره یکی از مسائل مهم متافیزیک و فلسفه بوده است. از این رو، بحث کردن از تصویر وحدت‌گرایانه از سیر فیزیک به مثابه

بحث کردن از عاملی فلسفی در این مسیر است؛ اگرچه امروزه وحدت‌گرایی امری معمول و پذیرفته شده به نظر می‌رسد، ظاهراً این امر در دوره شکل‌گیری نظریه کوانتوم در اوایل قرن بیستم چنین مقبول و معمول نبوده است. برای نمونه می‌توان به دلایل رد مدل هاس^۴ (Haas) از زبان ماکس یامر پرداخت. برخی آزمایش‌های تجربی این مدل را تأیید کرده بودند و بور هم در مقاله «در باب ساختار اتم‌ها و مولکول‌ها» به هاس اشاره می‌کند^۵ (Bohr, 1913: 6)، اما این مدل پذیرفته نشد و از جانب منتقدان به چالش و حتی به تمسخر گرفته شد. یکی از انتقادات صورت گرفته به وی در آن دوران شایان توجه است:

تلفیق هاس از دو موضوع کاملاً نامرتبط همچون نظریه کوانتوم، که تا آن هنگام به مثابه نظریه گرمایی مورد ملاحظه قرار می‌گرفت، و طیف‌نگاری، که شاخه‌ای از اپتیک بود، خام‌انگارانه (naive) بود و نباید جدی گرفته می‌شد (Jammer, 1989: 31).

آنچه در این انتقاد شایان توجه است ذهنیت مخالف با تلفیق علوم و رهیافت ضد وحدت‌گرایانه مخالفان است که بازتاب‌دهنده بخشی از نگرش‌های حاکم بر ذهن فیزیک‌دانان، در اوایل قرن بیستم، در زمینه وحدت علوم است.

در پژوهش حاضر با تکیه بر برخی اصول مورد پذیرش بور و هایزنبرگ و با توجه به شواهد تاریخی و تحلیل مفهومی و فلسفی آن‌ها به صورت‌بندی رهیافت وحدت‌گرایانه در خلال شکل‌گیری مکانیک کوانتوم استاندارد (از حوالی ۱۹۱۳ تا ۱۹۲۷) پرداخته می‌شود. پس از شرح رهیافت وحدت‌گرایانه، به تحلیل مفهومی و فلسفی کارهای عمده بور و هایزنبرگ در فرایند شکل‌گیری نظریه کوانتوم می‌پردازیم و در نهایت با توجه به معیارهای وحدت‌گرایی به صورت‌بندی رهیافت وحدت‌گرایانه، با توجه به کارهای آنان، می‌پردازیم.

۲. رهیافت وحدت‌گرایانه

اگرچه اصطلاح وحدت‌گرایی، در اوایل قرن بیستم با ظهور پوزیتیویست‌های منطقی معنای دیگری در ادبیات فلسفه علم یافت، اما وحدت‌گرایی (unification) نه تنها در کل تاریخ علم، بلکه در کل تاریخ شناخت همواره به مثابه هدف اصلی تحقیقات علمی و فکری مطرح بوده است. از نظر تاریخی، یکی از پیش‌گامان نظریه وحدت‌گرایی تالس^۶ است. به نظر تالس طبیعت از یک عنصر اساسی، یعنی آب، تشکیل شده است. تالس ساختار بنیادین هستی را به یک عنصر واحد فرومی‌کاست و امور هستی‌شناختی را با آن تبیین می‌کرد. نظریه صور (forms) افلاطون هم از جنبه معرفت‌شناختی رابطه شناخت و باور را تبیین

می‌کرد و هم از جنبهٔ متافیزیکی بخشی از هستی متشکل از صور تلقی می‌شد. در دوران مدرن هم نمونه‌هایی از رهیافت وحدت‌گرایانه در علم، و به‌ویژه فیزیک، دیده می‌شود. نظریهٔ الکترومغناطیس ماکسول از نظر هستی‌شناختی، وحدت‌بخش نیروهای الکتریکی و مغناطیسی است و از نظر معرفت‌شناختی، دانش‌ها و نظریه‌های مربوط به مغناطیس و الکتریسیته را به هم پیوند می‌دهد. به‌علاوه، در این نظریه نور هم یک تابش الکترومغناطیسی تلقی می‌شود؛ این به معنای وحدت نورشناخت و الکترومغناطیس است. در فیزیک قرن بیستم، همواره برای ساختن نظریه‌ها و مفاهیم وحدت‌بخش تلاش شده است. برای نمونه می‌توان به نظریهٔ میدان‌های واحد و نظریهٔ الکتروضعیف اشاره کرد.

از نظر فلسفی، تلاش دانشمندان برای تبیین خود تلاشی برای وحدت‌بخشی است. در فرایند تبیین علمی، با گردهم‌آوردن بسیاری از شاخه‌ها و نظریه‌های متفاوت علمی عملاً در فرایند وحدت‌بخشی شرکت می‌کنیم. از این‌رو، تبیین و وحدت‌گرایی ارتباط تنگاتنگی با هم دارند. در اوایل قرن بیستم، برخی اندیشمندان همچون حلقهٔ وینی‌ها برای شکل‌دهی به یک علم واحد (unified science) تلاش کردند. لازم به ذکر است دانش بشری در اوایل نوعی وحدت داشت، اما به تدریج شاخه‌های متعدّدش از هم جدا شدند. تلاش پوزیتیویست‌های منطقی کوششی برای بازگرداندن وحدت به دانش بشری، از خلال علم، بود.

با تأمل در مواردی که به آن‌ها وحدت‌گرایی اطلاق می‌شود قابل درک است که مفهوم و معنای وحدت‌گرایی و انواع آن در سطوح مختلف مطرح‌اند. اینک این پرسش مطرح می‌شود که وحدت‌گرایی چیست و انواع آن کدام‌اند؟ تاد جونز (T. Jones) از کسانی است که به این پرسش پاسخ می‌دهد. تاد جونز وحدت‌گرایی را از سه جنبهٔ متافیزیکی، معرفت‌شناختی، و هنجارین (normative) بررسی می‌کند (Jones, 2008: 492)؛ و برای هر کدام از این جنبه‌ها، بر اساس معیارهای وحدت‌گرایی، از دو نوع وحدت‌گرایی صحبت می‌کند؛ جونز می‌گوید:

در نظر من باید از شناخت دو خانواده از وحدت‌گرایی آغاز کنیم: یکی از آن‌ها را می‌توان وحدت‌گرایی نوع ثانوی و شباهت (subtype and similarity)، یا وحدت‌گرایی SS (SS unification) نامید؛ دیگری می‌تواند وحدت‌گرایی باهم‌بودن و هماهنگی (conjunction and coordination) یا وحدت‌گرایی SS (CC unification) نامیده شود (ibid: 490).

وحدت‌گرایی SS نشان می‌دهد چیزهایی که متفاوت به نظر می‌رسند در واقع در برخی ابعاد شبیه و مشترک‌اند. در وحدت‌گرایی CC هم موضوعات متفاوت (اگرچه ممکن است

شبيه باشند و يا نباشند) به شيوه‌هایی با يك ديگر مرتبط می‌شوند. به نظر جونز «درون اين خانواده‌ها، انواع و درجات شباهت و يا انواع و درجات ارتباط متفاوت‌اند» (ibid). مثلاً وحدت‌گرایی CC، با توجه به اين درجات، قابل تفكيك به دو بيان ضعيف و قوی است. هنگامی که از اصطلاحی با عنوان «رشته‌کوه زاگرس» يا «جنگ‌های صدساله» نام برده می‌شود با بيان ضعيف CC مواجه‌ایم. اين نوع ضعيف وحدت‌گرایی CC، هنگامی حاصل می‌شود که «ما مجموعه‌ای از چیزها را که در زمان يا مکان، پشت سر هم قرار گرفته‌اند تحت يك اصطلاح واحد گرد هم بیاوریم» (ibid).

از طرف ديگر، اگر بخش‌هایی (items) را گرد هم آوریم که به صورت عکس متقابلاً در يك ديگر اثر بگذارند و در يك سیستم کارکردی يك پارچه، برای توليد برخی اثرها با هم کار کنند ما با وحدت‌گرایی CC نوع خیلی قوی سروکار داریم (ibid).

خانواده ديگر وحدت‌گرایی، خانواده SS، نشان می‌دهد «گروهی از هويت‌ها يا ویژگی‌های به ظاهر متفاوت به يك نوع کلی مشترك تعلق دارند» (ibid). جونز اصلی‌ترین و مورد حداکثری نوع وحدت در اين خانواده را هم‌سان‌سازی تحویلی (reductive identification) می‌شمارد. کار ماکسول مبنی بر اين که نور واقعاً يك تابش الکترومغناطیسی است بهترین مثال برای اين نوع وحدت، با ساده‌سازی هستی‌شناختی، از طریق اين هماني (identity) است. از طرف ديگر، در نوع ضعيف وحدت‌گرایی SS «چیزهای متفاوت همگی اعضای مقوله گسترده‌تری از اشيا هستند که در برخی ویژگی‌ها مشترك‌اند» (ibid). مثلاً توزیع‌نمایی انرژی در اتم و يا توزیع‌نمایی سطح درآمد‌ها در کشورهای توسعه‌یافته، مثالی برای اين نوع حداقلی (minimal) از وحدت‌گرایی SS است. حتی به نوع ضعيف‌تری از SS هم اشاره شده است مبنی بر اين که:

اشياي متفاوت اعضای طبقه هم‌سان گسترده‌تری هستند، نه بدان سبب که ضرورتاً هر عضو، مجموعه مشتركی از ویژگی‌ها با ساير اعضا دارد، بلکه به اين علت که هر عضو از طریق برخی شباهت‌ها به يك نمونه اولیه (prototype) اصلی مرتبط است (ibid: 491).

مثلاً طبقه ماهی‌ها به نظر می‌رسد چیزهایی را به صورت حداقلی وحدت می‌بخشد. با روش‌های ديگر نیز می‌توان به وحدت‌گرایی نوع SS پرداخت. برای مثال اصطلاح «مهره‌دار» حیواناتی را، که ویژگی درونی ستون فقرات را دارند، وحدت می‌بخشد، اما در طرف مقابل اصطلاحاتی همچون «ژن» مبتنی بر اشتراك ویژگی‌های درونی نیست، بلکه يك ژن مشخص را برای اطلاق بر توليد تأثیرات مشخص در ارگانيسم‌های در حال رشد

تعریف می‌کنند که مبتنی بر مشترک‌بودن ویژگی‌های بیرونی است. اصطلاح ژن بیش‌تر مبتنی بر شباهت کارکردهای بیرونی سیستم است نه شباهت‌های درونی آن. جونز به نوع دیگری از شباهت اشاره می‌کند که بیش‌تر مبتنی بر «داشتن ساختار کل‌گرایانه مشترک (shared holistic structure) است تا داشتن جنبه‌های درونی مشترک» (ibid). همچنین ممکن است اشیا، مشابه تلقی شوند «نه به این علت که آن‌ها در خصوصیات مشترکی سهیم‌اند، بلکه به این علت که آن‌ها مقادیر یا سهمی از یک خصوصیت را دارند» (ibid). درواقع، با توجه به تعبیرها و معیارهای متفاوتی که برای شباهت قرار داده می‌شود به انواع متعددی از وحدت‌گرایی می‌توان دست یافت.

از نظر جونز وحدت‌گرایی متافیزیکی، وحدت‌گرایی معرفتی، و وحدت‌گرایی هنجارین خود مشمول تقسیم‌بندی وحدت‌گرایی نوع SS و CC هستند. اگر وحدت‌گرایی متافیزیکی یافتن راه‌هایی برای اندیشیدن درباره وجود اشیایی در جهان به‌صورتی واحد است، وحدت‌گرایی معرفتی گردهم آوردن (bringing together) روش‌های متفاوت برای تحقیق و استدلال درباره جهان است، و وحدت‌گرایی هنجارین هم‌گردهم‌آوردن اهداف و غایت‌های متنوع تحقیق است (ibid: 492).

وحدت‌بخشی معرفتی SS می‌خواهد نشان دهد که ابزارهای تحقیقاتی متفاوت واقعاً به‌نحوی کاملاً مشابه‌اند. وحدت‌بخشی معرفت‌شناختی CC می‌خواهد نشان دهد که تحقیقات متفاوت، در جهت تولید انواع مشخصی از اطلاعات به‌خوبی با هم کار می‌کنند. همچنین وحدت‌گرایی هنجارین SS می‌خواهد نشان دهد که فعالیت‌های علمی متفاوت واقعاً اهداف مشابهی دارند، درحالی که وحدت‌بخشی هنجارین CC می‌خواهد نشان دهد که اهداف علمی متفاوت می‌توانند به‌طرزی عالی مکمل (complementary) هم‌دیگر باشند (ibid).

آنچه در این جا اهمیت دارد یافتن معیارها و ملاک‌هایی برای یک سیستم معرفت‌شناختی و یا متافیزیکی وحدت‌یافته است؛ به این معنا که مجموعه‌ای از نظریه‌ها و آرای متفاوت، یا مجموعه‌ای از اجزای متفاوت، تحت چه معیارهایی به‌مثابه یک مجموعه واحد نگریسته می‌شوند. به بیان دیگر، با چه معیارهایی بر گونه‌ای رهیافت عنوان وحدت‌گرایانه اطلاق می‌شود؟ به‌نظر می‌رسد این معیارها در دیدگاه جونز خود را به صورت‌های SS و CC نمایان می‌سازند؛ شباهت در نوعیت، و هماهنگی و ارتباط در یک کل.

فرض کنید مجموعه‌ای از عناصر متفاوت با عنوان «مهره‌دار» گردهم آورده شوند. این عناصر متفاوت حول یک وجه مشترک گرد هم می‌آیند و یک کل بزرگ‌تر را تشکیل

می‌دهند. می‌توان گفت تمایل به ایجاد یک وحدت در رابطه میان این عناصر وجود داشته است و به تعبیر دیگر با رهیافتی وحدت‌انگارانه به این فرایند اقدام شده است. همچنین مجموعه‌ای واحد از عناصر متفاوت در این فرایند شکل گرفته است. معیار اصلی این وحدت داشتن یک «وجه شبهه» است. در حالت کلی، ممکن است عناصر متفاوت به این عنصر مشترک تقلیل داده شوند، یا حول آن گرد آورده شوند. اگر عناصر و اجزای متفاوتی را بتوان به عنصر واحدی تقلیل داد، با گونه‌ای از وحدت مواجه می‌شویم که می‌توان آن را وحدت‌گرایی تقلیل‌گرایانه نامید. در این حوزه، وحدت‌گرایی به مفهوم تقلیل‌گرایی است. اگر این عناصر متعلق به ساختار واقعیت و هستی مورد مطالعه باشند با وحدت‌گرایی هستی‌شناختی مواجه می‌شویم. مثال بارز آن در طبیعت قدیم، نگرش تالس به واقعیت زیربنایی هستی است، که آن را آب می‌دانست. در فیزیک جدید، وحدت نیروها در طبیعت نمونه بارزی برای این وحدت‌گرایی است. نیروهای متفاوت را هم‌جنس نیروی واحدی تلقی کردن، گونه‌ای نگاه وحدت‌گرایانه هستی‌شناختی به طبیعت است. مثال دیگر آن، تقلیل واقعیت هستی به یک ذره بنیادین و یا یک میدان واحد است. حال اگر این عناصر سازنده اجزای شناختی و معرفتی ما در باب واقعیت باشند مثلاً نظریه‌ها، اصول، مدل‌ها، و سایر اجزای معرفتی ما را تشکیل دهند و در جهت توصیف و تبیین واحد تلاش کنند، وحدت‌گرایی معرفت‌شناختی است که در حوزه علوم، اصول، و نظریه‌های متفاوت قابل تقلیل به یک علم، یک اصل، و یا یک نظریه واحد است. پروژه پوزیتیویست‌های منطقی می‌تواند در این قالب گنجانده شود.^۷ به‌علاوه در وحدت تقلیل‌گرایانه، تمثیل‌گرایی و استفاده از مماثلت‌ها در علم به‌مثابه یافتن اصلی مشابه میان اجزای متفاوت است که مستلزم وحدتی میان آن‌هاست.

در حالت دوم اگر بتوانیم از گردهم‌آوردن مجموعه‌ای از عناصر متفاوت و یا مشابه در یک مجموعه یا سیستم واحد صحبت کنیم، به گونه‌ای که این عناصر گوناگون با هم در ارتباط باشند و به‌صورتی هماهنگ در جهت تحقق امری در یک کل سهیم باشند، آن‌ها در گونه‌ای از یک وحدت قرار دارند که می‌توان آن را وحدت کل‌گرایانه نامید. اگر اجزا و عناصر این مجموعه از جنس دانش و معرفت باشند، وحدت‌گرایی کل‌گرایانه معرفت‌شناختی است. نمونه بارز آن، دیدگاه کل‌گرایانه کواین است که همه شاخه‌های دانش بشری را در یک کل واحد گردهم می‌آورد و ارتباطی درونی میان آن‌ها قائل است.^۸ (Quine and Ullian, 1978)، اما اگر اجزای این مجموعه از جنس هستی و واقعیت

ساختاری آن باشند، وحدت کل‌گرایانه هستی‌شناختی است؛ هر سیستم فیزیکی که مانند یک کل عمل کند در یک وحدت کل‌گرایانه هستی‌شناختی قرار دارد.

به طور کلی، رهیافت وحدت‌گرایانه را می‌توان لااقل از دو وجه بررسی کرد: وحدت‌گرایی معرفت‌شناختی و وحدت‌گرایی متافیزیکی. مدعای وحدت‌گرایی معرفت‌شناختی وحدت‌یافتگی در شناخت و معرفت بشر به عالم واقع و توصیف آن است. وحدت‌گرایی متافیزیکی بیان‌گر وحدت هستی‌شناختی ماهیت هستی، قوانین، واقعیت‌ها، و عناصر سازنده آن است. وحدت‌گرایی معرفت‌شناختی را می‌توان در سه سطح ملاحظه کرد: در سطح کل معرفت بشری، در سطح علوم تجربی، و در سطح نظریه‌های فیزیک. وحدت‌گرایی در سطح کل معرفت بشری به این معناست که همه آنچه را می‌توان شناخت از اصول و قواعد واحدی پیروی می‌کنند؛ این‌گونه وحدت‌گرایی می‌تواند به سبب تقلیل همه دانش‌ها به یک علم واحد باشد، همانند آنچه تقلیل‌گرایی پوزیتیویست‌های منطقی و حلقه وین می‌گوید. همچنین می‌تواند به سبب نداشتن مرز مشخص و قاطعی میان علوم باشد، همانند آنچه در کل‌گرایی کواپن وجود دارد. وحدت‌گرایی در نوع اول، طولی و در نوع دوم عرضی است. در واقع می‌توان گفت، تقلیل‌گرایی، وحدت‌گرایی، و کل‌گرایی ارتباط تنگاتنگی با هم دارند. در ضمن، این وحدت‌گرایی معرفت‌شناختی می‌تواند هنجارین یا توصیفی باشد. در بیان هنجارین آن، می‌توان گفت باید توصیفی واحد از معرفت بشری، علوم تجربی، یا نظریه‌های فیزیک ارائه داد. در سطح توصیفی، می‌توان گفت آنچه شناخته می‌شود، در هر سه سطح، دارای ویژگی وحدت‌یافتگی است. وحدت‌گرایی در حوزه علوم تجربی به وحدت علوم تجربی، قوانین و اصول یک‌سان آن‌ها، مماثلت میان آن‌ها، مشروعیت تبیین یکی برای دیگری، و دست‌یابی به دانشی به وسعت دامنه علوم تجربی (فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، و ...) است، اما اگر وحدت‌گرایی به نظریه‌های فیزیک محدود شود، هر شاخه از فیزیک (مثلاً ترمودینامیک) صرفاً می‌تواند از وحدت در اصول، قواعد، مدل‌ها، مماثلت‌ها، تبیین‌ها، و توصیفات یک‌سان با دیگر حوزه‌های فیزیک (همچون نظریه کوانتوم) برخوردار باشد.

لازم به ذکر است که، گونه‌های هستی‌شناختی می‌توانند به صورت توصیفی، یا هنجارین ملاحظه شوند. برای مثال، تلاش و جست‌وجو در چهارچوب یافتن ذرات بنیادین و نظریه نیروها و میدان واحد، مبتنی بر رهیافت وحدت‌گرایانه هستی‌شناختی، هم می‌تواند توصیفی و هم می‌تواند هنجارین تلقی شود. بنابراین، وحدت‌گرایی را می‌توان از جهاتی به

وحدت‌گرایی معرفت‌شناختی و متافیزیکی تفکیک کرد. این وحدت‌گرایی هم می‌تواند دربردارنده کل‌گرایی و هم تقلیل‌گرایی باشد. وحدت‌گرایی معرفت‌شناختی و متافیزیکی خود می‌تواند به هنجارین و توصیفی تفکیک‌پذیر باشد؛ ضمن این‌که این دو گونه از وحدت‌گرایی (متافیزیکی و معرفت‌شناختی) ارتباط وثیقی با هم دارند. به‌علاوه، وحدت‌گرایی معرفت‌شناختی در سه سطح کل معرفت بشری، علوم تجربی، و در سطح نظریه‌های فیزیک قابل طرح است؛ به این معنا که ممکن است به اطلاق وحدت صرفاً بر نظریه فیزیک، یا در سطحی بالاتر برای علوم تجربی، یا به وحدت در کل معرفت بشری قائل شد. همچنین وحدت‌گرایی هستی‌شناختی، به کل‌گرایی در ساختار هستی، تقلیل‌گرایی در نیروها و ذرات و عناصر سازنده هستی، و هم‌سانی روابط و اصول و قوانین در همه بخش‌های هستی (بزرگ مقیاس و کوچک مقیاس) دلالت دارد.

درنهایت، مفهوم وحدت‌گرایی را می‌توان این‌گونه خلاصه کرد:

- نخست، وحدت‌گرایی به معنای تقلیل‌گرایی (هستی‌شناختی، روش‌شناختی): یافتن ویژگی‌های بنیادین مشترک و تقلیل به آن‌ها، به‌گونه‌ای که عناصر متفاوت تجلی و نمودی از آن واقعیت واحد و بنیادین باشند.

- دوم، وحدت‌گرایی به معنای کل‌گرایی: قابلیت گردهم‌آوردن اجزا و عناصر هرچند متفاوت تحت یک نوع، قاعده، یا ساختار واحد به‌گونه‌ای 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: که در آن به‌سبب داشتن وجه (وجوه) شباهت، برخی ویژگی‌های عناصر متفاوت از یکی به دیگری قابل اطلاق‌اند.

۳. رهیافت وحدت‌انگارانه و بنیان‌گذاران نظریه مکانیک کوانتوم

آیا در مسیر شکل‌گیری مکانیک کوانتوم می‌توان رهیافت‌های فیزیک‌دانانی همچون بور و هایزنبرگ را در قالب رهیافت‌های وحدت‌گرایانه به‌تصویر کشید؟ پاسخ این پرسش از یک طرف، به دیدگاه‌های فیزیک‌دانان و از طرف دیگر، به معیارهای آنچه وحدت‌گرایی نامیده می‌شود بستگی دارد. چند شاخص اساسی را به‌مثابه معیارهای رهیافت وحدت‌گرایانه می‌توان تلقی کرد: نخست، تمایل به تقلیل و تحویل (وحدت‌گرایی به‌مثابه تقلیل‌گرایی)؛ دوم، شباهت‌یابی (وحدت‌گرایی به‌مثابه تمثیل‌گرایی)؛ سوم، اجتماع، گردهم‌آوردن، و هماهنگی (وحدت‌گرایی به‌مثابه کل‌گرایی). این معیارها می‌توانند از لحاظ معرفت‌شناسی و

متافیزیکی ملاحظه شوند و به حوزه‌های متفاوت قابل اطلاق‌اند. به‌نظر می‌رسد برخی رهیافت‌های بور و هایزنبرگ، به‌عنوان دو شخصیت کلیدی بنیان‌گذار نظریه، خصایص و معیارهای وحدت‌گرایی را برآورده سازند. در ادامه، سعی می‌کنیم به صورت‌بندی آن رهیافت بپردازیم. شایان توجه است که تمایز نهادن میان دیدگاه‌های روش‌شناختی و دیدگاه‌ها در باب جایگاه محصول نهایی آن روش‌شناسی اهمیت دارد؛ از این‌رو با توجه به این تمایز، میان رهیافت‌ها در روش رسیدن بور و هایزنبرگ به اصول و روابط فیزیکی و محتوای این اصول و روابط تفکیک صورت می‌گیرد. می‌توان به این تمایزگذاری‌ها، پیامدهای نظریه، روابط، و اصول فیزیکی را هم افزود. به‌طور خلاصه تمایز رهیافت‌ها از لحاظ روش‌شناسی، محتوای فیزیکی، و پیامدهای نظریه فیزیکی مهم تلقی می‌شود.

۱.۳ بور

مک‌کینون از جمله فلاسفه علم است که به مطالعه دیدگاه بور و نسبت آن با وحدت‌گرایی پرداخته است. در پس‌زمینه ذهن مک‌کینون ایده وحدت علوم، مطرح‌شده از سوی حلقه وین، وجود دارد، اما وی دیدگاه بور را از دو جهت بنیادین با آن‌ها متفاوت می‌داند:

نخست، بور اصرار می‌ورزد که فیزیک‌دانان و به طریق اولی فلاسفه هیچ‌یک نمی‌توانند یک وحدت را تحمیل کنند ... و نکته دوم درباره روش رسیدن به وحدت علوم است (MacKinnon, 1980: 235).

وی، برای استنباط نظر بور درباره وحدت علوم، ایده‌هایش را در قالب سه نکته کلیدی و به زبان فلسفی بیان می‌کند: «این سه نکته عبارت‌اند از: مفاهیم کلاسیک، عینیت، و پیشرفت شناخت علمی» (ibid: 236)، اما اینک از منظری دیگر به این موضوع پرداخته می‌شود. از لحاظ تاریخی در سیر شکل‌گیری مکانیک کوانتوم تا ۱۹۲۷ بور لااقل در سه زمینه مهم نقش اساسی داشت: مدل اتمی، اصل تطابق، و مکملیت.

بور در ۱۹۱۳ در مقاله تاریخی خود «در باب ساختار اتم‌ها و مولکول‌ها»^۹ مدل اتمی خود را ارائه داد. الگویی که بور ارائه داد مبتنی بر مفروضاتی است که در بخش پایانی مقاله‌اش^{۱۰}، این‌گونه خلاصه کرده است: ۱. انرژی تابشی برخلاف آنچه در الکترودینامیک کلاسیک فرض شده است پیوسته گسیل (یا جذب) نمی‌شود، بلکه صرفاً در خلال گذر سیستم‌ها از حالتی به حالت‌های متفاوت دیگر گسیل می‌شود؛ ۲. حالت تعادل دینامیکی سیستم‌ها در حالت‌های مانا (stationary) با قوانین مکانیک معمولی اداره می‌شود، اما این

قوانین برای گذر سیستم‌ها بین حالت‌های متفاوت به‌کار گرفته نمی‌شود؛ ۳. تابش گسیل شده هنگام گذر سیستم بین دو حالت مانا همگن (homogenous) است و رابطه میان مقدار فرکانس ν و مقدار کل انرژی گسیل شده E به صورت $E=h\nu$ است که در آن h ثابت پلانک است؛ ۴. حالت‌های مانای متفاوت یک سیستم ساده، شامل الکترونی که به دور یک هسته مثبت می‌چرخد، با این شرط تعیین می‌شود که نسبت بین انرژی کل، که در خلال شکل‌گیری پیکربندی گسیل شده، و فرکانس چرخش (revolution) الکترون مضرب صحیحی (entire) از h است. این فرض که مدار الکترون مستدیر است هم‌ارز است با این فرض که اندازه حرکت زاویه‌ای الکترون حول هسته با مضرب صحیحی از h داده می‌شود؛ ۵. حالت پایدار (permanent) هر سیستم اتمی ... با این شرط تعیین می‌شود که اندازه حرکت زاویه‌ای هر الکترون حول مرکز مدارش با h برابر است (Bohr, 1913: 874-875).

از ویژگی‌های مهم مدل اتمی بور این است که مفاهیم جدید کوانتومی در کنار مفاهیم کلاسیک برای توصیف اتم به‌کار رفته‌اند. از میان مفروضاتی که بور به‌کار گرفته است مفروضات مربوط به گذر بین حالت‌ها کوانتومی و مفروضاتی که حالت‌های مانا را توصیف می‌کنند مبتنی بر مکانیک کلاسیک‌اند. از این‌رو، مدل بور نیمه‌کلاسیک - نیمه‌کوانتومی است. در این دوره استفاده بور از مفاهیم کوانتومی به‌مثابه استفاده از یک نظریه دیگر نیست، بلکه صرفاً استفاده از مفاهیم جدید است که با مفاهیم کلاسیک سازگارند. از نظر ساختاری بر طبق این الگو، یک اتم دارای تعدادی حالات ایستاده است و اگر از یک حالت ایستاده به حالت ایستاده دیگری برود، تشعشع صورت می‌گیرد. به‌نظر می‌رسد، به‌کارگیری این مفاهیم در ساختار اتم مبتنی بر برخی اصول روش‌شناختی و معرفت‌شناختی خاص است. از نظر روش‌شناختی، روش بور مبتنی بر تلفیق مفاهیم کلاسیک و کوانتومی بود. دیدگاه‌هایی در باب چگونگی رسیدن بور به این مدل اتمی مطرح شده‌اند. برخی از این دیدگاه‌ها در مورد منابع الهام‌بخش این مدل است که چگونگی دست‌یابی به ساختار و محتوای مدل را از منظر دیگر توضیح می‌دهد. دیدگاه کیرکگور درباره مراحل زندگی و دیدگاه‌های روان‌شناختی ویلیام جیمز از جمله این مواردند (گلشنی، ۱۳۸۰: ۸۶-۸۸). در دیدگاه کیرکگور سه مرحله در زندگی وجود دارد: مرحله زیبایی‌شناختی، مرحله اخلاقی، و مرحله دینی. تحول از هر مرحله به مرحله دیگر به صورت پیوسته نیست و جهش‌وار صورت می‌گیرد. قائلان به این دیدگاه بر این باورند که، بور با تأثیرپذیرفتن از کیرکگور ایده جهش را وارد مدل اتمی کرد.^{۱۱} این تأثیرپذیری می‌تواند مبتنی بر تشابه و مماثلت میان آموزه‌های

فلسفی و واقعیت‌های فیزیکی باشد. در دیدگاه دوم، برخی بر این باورند که بور ایده‌ی طرح حالت‌های ایستاده و جهش میان آن‌ها را از این آموزه‌ی ویلیام جیمز گرفته است که سیر اندیشه‌ی همانند زندگی یک پرنده از پروازها و توقف‌های متناوب تشکیل شده است. این دو دیدگاه نشان می‌دهند که در رهیافت بور میان ماهیت زندگی، واقعیت‌های فیزیکی، و نیز آموزه‌های فلسفی و فیزیکی وجوه شباهت و مماثلت وجود دارد. همچنین بور در مقاله‌ی ۱۹۱۳ در چند مورد از مماثلت بهره می‌گیرد (Bohr, 1913: 12, 17, 18). بهره‌گرفتن از مماثلت به مفهوم قائل‌بودن به مبنای مشترکی برای فهم و استنتاج از دو پدیده‌ی متفاوت است. این امر مستلزم گونه‌ای رهیافت وحدت‌گرایانه است که آن را می‌توان مماثلت‌گرایانه نامید. بهره‌گیری بور از مماثلت میان آموزه‌های فلسفی و فیزیکی می‌تواند مبتنی بر این فرض باشد که در شناخت طبیعت و هویت‌های فیزیکی و همچنین هویت‌های ذهنی و روانی می‌توان از اصول و قواعد یک‌سان پیروی کرد یا ممکن است منشأ آن مشابه‌انگاشتن ساختار هستی‌شناختی هویت‌های فیزیکی و هویت‌های روانی و ذهنی باشد. در حالت اول، رهیافت معرفت‌شناختی در حوزه‌ی کل شناخت بشری و در حالت دوم، رهیافت وحدت‌گرایانه متافیزیکی (هستی‌شناختی) مطرح است.

اگرچه در مدل اتمی بور نسبت میان دو دسته از مفاهیم مطرح می‌شود، اما در اصل تطابق می‌توان به نسبت میان دو نظریه هم پرداخت. مبنای مفهومی اصل تطابق مبتنی بر این فرض است که نظریه‌ی کوانتوم یا لااقل فرمالیسم آن در حالت حدی به مکانیک کلاسیک تقلیل می‌یابد. پلانک این ایده را در اوایل ۱۹۰۶ مطرح کرد؛ هنگامی که او نشان داد وقتی $h \rightarrow 0$ نتایج نظریه‌ی کوانتوم به سمت نتایج نظریه‌ی کلاسیک گرایش پیدا می‌کنند؛ در واقع، هنگامی که h به سمت صفر میل می‌کند فرمول تابش پلانک به فرمول کلاسیک رایلی - جینز تبدیل می‌شود. همچنین اگر فرکانس ν به سمت صفر میل کند، همان نتایج به دست می‌آیند. بور این ایده را در هنگام ابداع اصل تطابق برگزید.

اصل تطابق از هنگام ارائه‌ی آن در ۱۹۱۳ تا مراحل بعدی مشمول تغییرات و تعدیلاتی شد. با توجه به قانون فرکانس بور، میل کردن فرکانس به سمت صفر به این نتیجه منجر می‌شد که اختلاف انرژی بسیار کوچک شود و در نتیجه فرم انرژی تقریباً پیوسته شود؛ نتیجه‌ای که با فیزیک کلاسیک سازگار است. اگر این استدلال با توجه به عدد کوانتومی بیان شود، هنگامی که Δn در مقایسه با مقادیر n بسیار کوچک باشد، با توجه به شرط‌های کوانتومی، نظریه‌ی کوانتوم به فیزیک کلاسیک نزدیک می‌شود.^{۱۲} بور این استدلال را، در اوایل

۱۹۱۳، به صورت فرایندی موقتی (ad hoc) در مواجهه با طیف هیدروژن به کار برد. به نظر ماکس یامر، نخستین فرمول‌بندی واضح بور از اصل تطابق در ۱۹۱۸ ارائه شد (Jammer, 1989: 111). با این حال، وی هنوز آن را اصل تطابق نمی‌نامید، بلکه آن را به‌مثابه یک مماثلت صوری (formal analogy) میان نظریه کوانتوم و نظریه کلاسیک مورد ملاحظه قرار می‌داد. همچنین در آن‌جا وی این تطابق را به یک اصل تعمیم داد و آن را اصلاح کرد. بر طبق این اصل، در حالت‌های حدی فیزیک کوانتوم می‌تواند به فیزیک کلاسیک تقلیل داده شود. همچنین این اصل کمک می‌کند تا در حل مسائل فیزیک کوانتوم، از مفاهیم و اصطلاحات زبان کلاسیک بهره گرفته شود. به طور کلی، این اصل هم قابلیت تقلیل نظریه کوانتوم به نظریه کلاسیک را فراهم کرد و هم اصلی راهنما در به‌کارگیری اصطلاحات زبان کلاسیک در نظریه کوانتوم و رابطه فیزیک کلاسیک با کوانتوم بود. اگر هم نتوان مرز قاطعی میان نظریه فیزیک کلاسیک و نظریه کوانتوم ترسیم کرد، این‌ها دو نظریه و یا دو حوزه متفاوت‌اند. به نظر می‌رسد هرگونه نگرش به رابطه میان این دو نظریه مستلزم رهیافتی فلسفی باشد. بوکولیچ (Bokulich) به دو دیدگاه کلی در باب رابطه فیزیک کلاسیک و مکانیک کوانتوم اشاره می‌کند: دیدگاه تقلیل‌گرایانه و دیدگاه تکثرگرایانه. وی در کتاب خود از این دو دیدگاه فراتر می‌رود و رابطه‌ای ظریف‌تر با عنوان درون‌ساختارگرایی (interstructuralism) برای آن‌ها پیشنهاد می‌دهد (Bokulich, 2008: 171). در هر صورت، قابلیت تقلیل نظریه کوانتوم به نظریه کلاسیک و همچنین قابلیت استفاده از مفاهیم کلاسیک در نظریه کوانتوم، بر این مبنا استوار است که یک رهیافت وحدت‌گرایانه میان دو نظریه می‌توان اتخاذ کرد. این نوع از رهیافت وحدت‌انگارانه را می‌توان رهیافت تقلیل‌گرایانه در حوزه نظریه‌های فیزیک تلقی کرد. بور از اصل تطابق برای تقلیل برخی مفاهیم کوانتومی به کلاسیک و همچنین استفاده از اصطلاحات کلاسیک در نظریه کوانتوم، بهره برده است (رهیافت وحدت‌گرایی تقلیل‌گرایانه). این تمایل به ارتباط میان دو نظریه و بهره‌گیری از اصطلاحات نظریه کلاسیک برای فهم نظریه کوانتوم، می‌تواند بر مبنای وحدت هستی‌شناختی میان دو حوزه کوچک‌مقیاس و بزرگ‌مقیاس و یا بر مبنای وحدت معرفت‌شناختی آن‌ها باشد.

مورد سوم از نگرش بور، که به نظر می‌رسد با رهیافت وحدت‌گرایانه مرتبط باشد، رویکرد بور به مکملیت است. مکملیت چهارچوبی کلی برای فهم مکانیک کوانتومی است که بور در ۱۹۲۷ ارائه داد. اگرچه معنا و مفهوم مکملیت مورد نزاع بوده است، اما آن نقش

عمده‌ای در تعبیر مکانیک کوانتومی داشته است. طرف‌داران این چهارچوب فکری از آن به‌عنوان اصل مکملیت یاد می‌کنند. نخست بور این اصل را در کنگره کومو (۱۹۲۷) ارائه داد.

در آن‌جا او مسئله را به این صورت مطرح کرد که امکان ندارد بتوانیم توأم یک توصیف علی و یک توصیف زمانی - مکانی از یک سیستم بدهیم و درواقع این دو توصیف مکمل و مانع‌الجمع هستند. برای دادن هریک از این دو توصیف به تدارکات تجربی متفاوتی نیاز داریم (گلشنی، ۱۳۸۰: ۶۵).

مکملیت بعدها تعابیر و معانی متعددی یافت و نخستین کسی که تعریف دقیقی از آن ارائه کرد نه بور، بلکه پاولی بود. وایتس‌زکر (Weizsacker) تمایز میان دو دیدگاه واگرای بور و پاولی را تمایز میان «مکملیت موازی» (parallel complementarity) و «مکملیت دوری» (circular complementarity) نامید (Jammer, 1989: 369). در مکملیت موازی با دو مفهوم مکمل مانع‌الجمع (همچون مکان و اندازه حرکت) سروکار داریم و در مکملیت دوری با دو توصیف مکمل مانع‌الجمع (همچون توصیف زمانی - مکانی و توصیف علی). اگرچه مکملیت برای توصیف برخی پدیده‌ها، همچون توصیف هم‌زمان اندازه حرکت و مکان محدودیت ایجاد می‌کند و چهارچوبی برای فهم مکانیک کوانتوم است، اما بور آن را قابل اطلاق بر حوزه‌های دیگر می‌دانست. به نظر می‌رسد برای مقصود این نوشتار بیش از مفهوم مکملیت، نگرش‌ها به پیامدها و کاربردهای مکملیت اهمیت داشته باشد. «بور خود کوشید که قلمرو کاربرد مکملیت را از حوزه محدود اولیه‌اش به سایر بخش‌های دانش انسانی تعمیم دهد» (گلشنی، ۱۳۸۰: ۶۹). تعمیم اصلی در فیزیک به سایر حوزه‌های دانش، یا حتی قائل شدن به یک چهارچوب فکری کلی برای نظریه‌های فیزیک، به‌صراحت نشان‌دهنده پای‌بندی به یک رهیافت وحدت‌گرایانه در مورد علوم و دانش بشری است. از طرف دیگر، برخی ریشه‌ها و منابع الهام برای آموزه مکملیت بور مطرح شده‌اند؛ ازجمله اندیشه‌های کیرکگور، هوفدینگ، ویلیام جیمز، و داستان فلسفی مولر (همان: ۸۸-۹۲). بور «بسته به مخاطب، مماثلتی میان روابط مکملیت در سایر حوزه‌ها ترسیم می‌کرد» (MacKinnon, 1980: 235). این مدعا می‌تواند تصویری از یک رهیافت وحدت‌گرایانه معرفت‌شناختی در حوزه کل معرفت باشد زیرا بور نه تنها اصول و قواعد حاکم بر فیزیک را به بخش‌های دیگر تسری می‌داد، بلکه قواعد و اصول حاکم بر سایر حوزه‌های دانش را قابل اطلاق به فیزیک می‌دانست. درواقع به نظر می‌رسد که، این رهیافت وحدت‌گرایانه بور که در حوزه کل دانش قابل طرح است هم در ریشه‌ها و هم در کاربرد مکملیت وجود دارد.

این رویکرد بور منحصر به مکملیت نیست. در رویکرد وی به اندازه‌گیری و تفکیک‌ناپذیری مشاهده‌گر، ابزار اندازه‌گیری، و سیستم مورد مشاهده نیز تأثیر وی از دیدگاه‌های فلسفی و روان‌شناختی دیده می‌شود (گلشنی، ۱۳۸۰: ۹۳). ضمن این‌که این نگرش بور خود مبتنی بر کل‌انگاری و باور به گونه‌ای وحدت میان این سه جزء است که در زمرهٔ رهیافت وحدت‌گرایی کل‌گرایانه، یا به تعبیر جونز رهیافت وحدت‌گرایی CC می‌تواند قرار گیرد زیرا بور ابزار اندازه‌گیری، مشاهده‌گر، و موضوع مشاهده را در یک کل غیر قابل تفکیک و متأثر از هم‌دیگر تصور می‌کرد.

۲.۳ هاینبرگ

هاینبرگ از جمله فیزیک‌دانان بنیان‌گذار مکانیک کوانتوم است. ابداع مکانیک ماتریسی و ارائهٔ روابط عدم قطعیت از کارهای عمدهٔ وی در مسیر شکل‌گیری مکانیک کوانتوم، با تعبیر کپنهاگی، است. هاینبرگ (۱۹۲۵) در مقالهٔ تاریخی‌اش با عنوان «بازتعبیر روابط سینماتیکی و مکانیکی نظریهٔ کوانتوم»^{۱۳} روش نو و نخستین فرمول‌بندی مکانیک کوانتومی، یعنی مکانیک ماتریسی، را ارائه کرد. هاینبرگ در ابتدای مقاله می‌گوید:

این مقاله به دنبال بنیان‌نهادن مبنایی برای مکانیک کوانتومی نظری است که منحصرراً بر مبنای روابط میان کمیات علی‌الاصول مشاهده‌پذیر بنیاد نهاده شده است (Heisenberg, 1967: 261 [1925]).

ویژگی روش وی آن بود که «توصیف بور از حرکت را در قالب فیزیک کلاسیک کاملاً کنار زد و توصیفی را در قالب اصطلاحاتی که هاینبرگ آن‌ها را مقادیر مشاهده‌پذیر نامید جانشین آن کرد» (Jammer, 1989: 209). در فرایند شکل‌گیری مکانیک ماتریسی، هاینبرگ دو نوآوری مهم داشت و بدون این دو شکل‌گیری مکانیک جدید، لااقل در آن زمان، نمی‌توانست رخ دهد: کنارنهادن زبان و اصطلاحات کلاسیک در حل مسائل کوانتومی و ایجاد زبانی نو با اصطلاحاتی از مشاهده‌پذیرها. مورد اول را می‌توان به معنای کنارزدن اصل تطابق به معنایی که بور مطرح کرد و مورد دوم به معنای برگرفتن اصل مشاهده‌پذیری است. در این دوره به نظر می‌رسد شکل‌گیری مکانیک کوانتوم جدید مستلزم تغییری در اصطلاحات زبانی بود. همچنین به تدریج، موضوع‌هایی همچون زبان توصیف پدیدارهای کوانتومی و محدودهٔ به‌کارگیری مفاهیم کلاسیک و کوانتومی اهمیت یافت. به نظر می‌رسد در این فرایند هاینبرگ اصل تطابق را کنار نگذاشت، بلکه یک

بازخوانی از آن ارائه کرد. «نوآوری بنیادین دوم بور در رهیافت هایزنبرگ در روشی بود که وی اصل تطابق بور را به کار برد» (ibid: 211). هایزنبرگ در ۱۹۲۴ در پی تدقیق اصل تطابق بود و در نوشته‌ها و نامه‌نگاری‌هایش به این نکته اشاره می‌کرد. در واقع «هایزنبرگ با به‌کارگیری تطابق برای استنتاج نتایج کمی (quantitative) برای کاربردهای دیگر آن را تدقیق کرد» (Cassidy, 1992: 187). جنبهٔ اساسی در این‌جا ارتباط منطقی مناسب با نظریهٔ کلاسیک بود. هایزنبرگ در فکر وجود برخی قوانین ناشناختهٔ کوانتومی مربوط به نوسان‌گرهای مجازی بود که مماثلتی با نظریهٔ کلاسیک داشته باشند (ibid: 188). این رهیافت هایزنبرگ به روش‌شناسی وی برای ابداع مکانیک کوانتوم برمی‌گردد. در واقع از منظر روش‌شناختی، اتکا بر مشاهده‌پذیرها و پای‌بندی وی به اصل مشاهده‌پذیری و تدقیق اصل تطابق از نکات مهم در رویکرد هایزنبرگ بودند. با این حال، مدعای قائل‌شدن نقش اساسی برای اصل مشاهده‌پذیری، و یا «صرفاً مشاهده‌پذیرها» مخالفانی^۴ هم دارد. در این‌جا نه مفهوم مشاهده‌پذیری، بلکه منبع توجیه آن اهمیت روش‌شناختی دارد؛ می‌توان اثبات کرد که هایزنبرگ این ایده را از نظریهٔ نسبیّت آینشتاین و مفهوم معناداری در آن نظریه الهام گرفته است. در رویکرد هایزنبرگ در تعریف مفاهیم کلاسیک در حوزهٔ اتمی، باز هم از روش آینشتاین در مواجهه با مفهوم «هم‌زمانی» کمک می‌گیرد. به تعبیر هایزنبرگ «از این لحاظ طبیعی است که نظریهٔ کوانتوم با نسبیّت خاص مقایسه شود» (Heisenberg, 1983: 68 [1927]). در این مورد هایزنبرگ یک مماثلت و یک وحدت روش‌شناختی میان دو نظریهٔ متفاوت را به رسمیت می‌شناسد. با توجه به تقسیم‌بندی ارائه‌شده برای وحدت‌گرایی، می‌توان رهیافت هایزنبرگ را از لحاظ روش‌شناختی، در قالب وحدت‌گرایی مماثلت‌گرایانهٔ معرفت‌شناختی در حوزهٔ فیزیک تلقی کرد. ممکن است بتوان برگرفتن اصل مشاهده‌پذیری به‌مثابهٔ یک اصل فلسفی، روش‌شناختی، و پوزیتیویستی را نشان از تعامل دو حوزهٔ فیزیک و فلسفه در نزد هایزنبرگ دانست و این موضوع این مطلب را می‌رساند که دانش‌ها کاملاً از هم گسیخته و مستقل نیستند، اما به‌نظر می‌رسد هایزنبرگ این‌گونه به این موضوع نمی‌اندیشید.

اگرچه هایزنبرگ در پی طرد اصل تطابق نبود بلکه در پی تدقیق آن بود، اما وی به دو نظریهٔ کلاسیک و کوانتوم به‌مثابهٔ دو حوزهٔ مستقل از هم می‌نگریست. هایزنبرگ در رهیافت خود به ساختار نظریه، از اصطلاح «نظریهٔ بسته» (close theory) برای این دو استفاده کرده است. او «نخست مفهوم یک نظریهٔ بسته در مورد نظریهٔ کوانتوم را در ۱۹۲۷ معرفی می‌کند»

(Bokulich, 2008: 31). در نظر هایزنبرگ یک نظریه بسته دارای سه ویژگی است: پوشش دادن دامنه‌ای محدود و مشخص از پدیدارها، ارائه یک توصیف کاملاً صحیح در این دامنه، و نهایی بودن (finality) این توصیف (ibid: 32). با توجه به این ویژگی‌ها یک نظریه بسته نمی‌تواند در معرض تحول بنیادین قرار گیرد و راه بر نقد و بازبینی آن بسته است. از این رو، نظریه بسته به مثابه نظریه نهایی در دامنه مختص به خود نگریسته می‌شود که «در دامنه‌اش کاملاً درست (accurate) است و برای همه زمان‌ها صحیح (correct) است» (Bokulich, 2004: 378). این ویژگی‌ها وحدت میان دو نظریه را ایجاب نمی‌کند، بلکه دو نظریه را به مثابه دو کل مستقل تلقی می‌کند. از این رو، بوکولیچ این رهیافت هایزنبرگ را در قبال نظریه‌ها به مثابه رهیافتی کل‌گرایانه توصیف می‌کند.

نظریه‌های بسته هایزنبرگ نوعی از کل‌گرایی را نشان می‌دهند. عناصری که ارتباطی درونی با هم دارند و در برابر تغییرات یا اصلاحات اندک مقاومت نشان می‌دهند (Bokulich, 2008: 34).

هایزنبرگ این گونه کل‌انگاری نظریه‌ها را همانند نقش و نگارهای مساجد مسلمانان تصور می‌کرد که تغییر در جزئی از آن بدون تغییر در کل نمی‌توانست صورت گیرد.

در این جا به یاد تزیینات طاق‌های یک مسجد عربی می‌افتیم که در آن تقارنات بسیار زیادی همگی به یک‌باره تحقق پیدا می‌کنند به گونه‌ای که تغییر یک برگ منفرد بدون برهم‌زدنی مهم در ارتباطات کل ممکن نیست (Heisenberg, [1958] 1974: 28).

به نظر می‌رسد مفهوم نظریه بسته هایزنبرگ که بوکولیچ از آن به مثابه سنگ بنای فلسفه علم هایزنبرگ یاد می‌کند (Bokulich, 2008: 30)، از یک طرف، در حوزه ارتباط نظریه کلاسیک و نظریه کوانتوم مستلزم تکثرگرایی است و از طرف دیگر، هرکدام از این نظریه‌ها را به مثابه یک کل می‌انگارد. در واقع از اصطلاح نظریه بسته هایزنبرگ در رویکرد به نظریه مکانیک کوانتوم و فیزیک کلاسیک این گونه برمی‌آید که هایزنبرگ ساختار این نظریه‌ها را همچون یک کل تلقی کرده است که اجزا و عناصر آن، در ارتباط با هم و در یک همکاری و هماهنگی درون یک کل واحد گرد هم آمده‌اند. این توصیف از این نظریه‌ها، به مفهوم اتخاذ یک رهیافت وحدت‌انگارانه کل‌گرایانه به ساختار نظریه‌های فیزیک است، و آن را می‌توان رهیافتی معرفت‌شناختی در حوزه نظریه‌های فیزیک دانست. با توجه به این که در مفهوم نظریه بسته، هایزنبرگ به دامنه متفاوت و مشخصی از پدیدارها و هویت‌های فیزیکی قائل است که با آن نظریه بسته قابل توصیف است این رهیافت وحدت‌انگارانه کل‌گرایانه

می‌تواند مبنای هستی‌شناختی هم داشته باشد. شایان ذکر است که هایزنبرگ در مقاله ۱۹۲۷ خود به‌گونه‌ای کل‌گرایی اشاره می‌کند.

در باب گشتالت (gestalt) ساختار (construction) شیء هر فرض بیش‌تری غیر ضروری است؛ می‌توان کلمه «گشتالت» را به طرز کاملاً مفیدی (most usefully)، برای نسبت‌دادن کلیت به این برهم‌کنش‌ها به‌کار برد (Heisenberg, [1927] 1983: 64).

این نکته هایزنبرگ پس از بیان روش تابع هامیلتونی برای رفتار سیستم‌های کوانتومی مطرح می‌شود که پس از مشخص‌شدن جرم شیء و برهم‌کنش آن با میدان و یا اشیای دیگر به‌کار می‌رود.

هایزنبرگ در باب مفاهیم کلاسیکی همچون مکان، سرعت، انرژی، و مسیر نظر خود را این‌گونه خلاصه می‌کند:

همه مفاهیمی که می‌توانند در نظریه کلاسیک برای توصیف سیستم مکانیکی مورد استفاده قرار گیرند، نیز می‌توانند دقیقاً برای فرایندهای اتمی در مماثلت با مفاهیم کلاسیک تعریف شوند (ibid: 68).

اما تعریف این مفاهیم مشمول محدودیت‌های اصل عدم قطعیت خواهد شد. در ۱۹۲۷ هایزنبرگ با استفاده از نظریه تبدیل دیراک - یوردان روابطی را در باب اندازه حرکت و مختصات به‌دست آورد که تفسیر وی از آن‌ها این بود که ممکن نیست بتوان هم‌زمان اندازه حرکت و مختصات یک سیستم کوانتومی را با دقت دل‌خواه اندازه گرفت؛ «هرچه دقت در تعیین مکان بیش‌تر باشد دقت در تعیین اندازه حرکت کم‌تر است، و برعکس»^{۱۵} (ibid: 64). هایزنبرگ، برای آموذن این روابط، آزمایش فکری میکروسکوپ گامما^{۱۶} را پیشنهاد کرد؛ آزمایش فکری هایزنبرگ برای تعیین مکان الکترون، نقش روش‌شناختی مشابهی با تعریف عملیاتی آینشتاین از هم‌زمانی رخدادهای جدایی‌پذیر فضایی دارد. او با رویکردی عملیات‌گرایانه این آزمایش را طراحی کرد. در مقاله فوق‌هایزنبرگ معناداری مفاهیم را منوط به قابلیت اندازه‌گیری آن‌ها کرد (ibid). هایزنبرگ با تشخیص این‌که برخی مفاهیم کلاسیک همچون مکان و سرعت در میکروفیزیک به همان مفهوم مطرح در ماکروفیزیک به‌کار گرفته نمی‌شوند این وضعیت مکانیک کوانتومی را با نظریه نسبیت مقایسه کرد. اصل عدم قطعیت در ابتدا در قالب روابط فیزیکی (عدم قطعیت)، به‌منابۀ نوعی محدودیت روی قابلیت‌های اندازه‌گیری متغیرهای دینامیکی سیستم‌های منفرد میکروفیزیکی تلقی شد، اما به‌زودی پیامدهای معرفت‌شناختی فراوان آن تشخیص داده شد

و تعابیر متعددی نیز از آن ارائه شد. پیامدهای این اصل به حوزه‌های دیگر دانش بشری از جمله معرفت‌شناسی و متافیزیک کشیده شد. در حوزه معرفت‌شناسی روی مسئله منابع، روش‌ها، و قابلیت‌های شناخت بشری و در حوزه متافیزیک روی مسائل مهم آن، مسئله جبر و اختیار، موجبیت، و علیت اثرگذار بود. این رویکرد به اصل عدم قطعیت ناشی از رهیافت وحدت‌گرایانه به شناخت و مجموعه دانش بشری بود، که می‌توان در ذیل وحدت‌گرایی مماثلت‌گرایانه از آن نام برد. مهم این است که، آیا هاینبرگ در این دوره با این رویکرد موافق بوده است. از طرف دیگر، تعابیر دیگری برای اصل عدم قطعیت مطرح شده است که برخی از آن‌ها ریشه معرفت‌شناختی و هستی‌شناختی دارند. تعبیر اصل عدم قطعیت به مثابه جهل ما به حالت کوانتومی، یا تعبیر اختلالی آن ناشی از دستگاه‌های اندازه‌گیری، و یا تعریف‌نشدن هم‌زمان آن‌ها و عدم قابلیت اندازه‌گیری ذاتی در طبیعت، همگی نشان از اثرگذاری آموزه‌های فلسفی بر این تعابیر فیزیکی دارد و ضمناً نشان‌دهنده وحدت در اصول حاکم بر فیزیک و فلسفه است.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به معیارهایی که برای وحدت‌گرایی برشمرده شد رهیافت بور و هاینبرگ و کارهای عمده آنان در ۱۹۱۳-۱۹۲۷ بررسی شد. از بررسی مواردی آثار فیزیکی این دو فیزیک‌دان بنیان‌گذار مکانیک کوانتوم، مشخص شد که می‌توان گونه‌ای رهیافت وحدت‌گرایانه از خلال کارهای علمی آنان صورت‌بندی کرد. ذکر دو نکته در این بررسی حائز اهمیت است: نخست در این پژوهش باید میان صورت‌بندی یک رهیافت و اثرگذاری آن بر فیزیک‌دان و یا تعهد فیزیک‌دان به آن تمایز قائل شد. صورت‌بندی رهیافت، به مفهوم اثرگذاری آن رهیافت بر فیزیک‌دان و یا تعهد فیزیک‌دان به آن نیست؛ اگرچه آن را هم نفی نمی‌کند؛ دوم میان روش‌ها، ریشه‌ها، محتوای فیزیکی، و پیامدهای آثار فیزیکی باید تمایز قائل شد.

با در نظر گرفتن تمایز دوم در بررسی کارهای عمده بور، از جمله مدل اتمی بور، اصل تطابق و مکملیت، این نتیجه به دست آمد که در روش و ساختار مدل اتمی بور، می‌توان رهیافت وحدت‌گرایانه مماثلت‌گرا و تقلیل‌گرا را صورت‌بندی کرد و در بررسی ریشه‌ها و پیامدهای مکملیت هم رهیافت وحدت‌گرایی مماثلت‌گرایانه وجود دارد. همچنین در بررسی کارهای عمده هاینبرگ، از جمله مکانیک ماتریسی و روابط عدم قطعیت، می‌توان

رهیافت وحدت‌گرایی کل‌گرایانه و نیز وحدت‌گرایی مماثلت‌گرایانه را صورت‌بندی کرد. به سبب نقش اساسی این دو فیزیک‌دان در شکل‌گیری مکانیک کوانتوم استاندارد، اتخاذ هرگونه رهیافت فلسفی از سوی آن‌ها و یا صورت‌بندی هرگونه رهیافت پیرامون آثار آن‌ها، به منزله حضور آن رهیافت‌ها در مسیر شکل‌گیری مکانیک کوانتوم استاندارد است. از این رو می‌توان ادعا کرد که در سیر شکل‌گیری مکانیک کوانتوم استاندارد، رهیافت وحدت‌گرایی اعم از تقلیل‌گرایانه، مماثلت‌گرایانه، و کل‌گرایانه قابل صورت‌بندی است. رهیافت وحدت‌گرایانه پیرامون آثار فیزیکی بور و هایزنبرگ هم‌سان نیست، و بین آن‌ها مشابهت‌ها و تمایزهایی وجود دارد. تحلیل این تشابهات و تمایزات می‌تواند پرتو بیش‌تری بر موضوع اولویت فیزیک بر فلسفه یا فلسفه بر فیزیک نزد این فیزیک‌دانان بتاباند. همچنین به نظر می‌رسد اگر بتوان نشان داد که این گونه‌های رهیافت وحدت‌گرایانه بر بور و هایزنبرگ اثرگذار بوده‌اند، آن‌گاه برای برخی ریشه‌ها و منابع الهام کارهای فیزیکی آنان می‌توان تبیین دیگری ارائه داد. برای نمونه، علت بهره‌گیری بور از آموزه‌های روان‌شناختی و فلسفی در شکل‌دهی مکملیت و همچنین تعمیم آن به حوزه‌های دیگر دانش با رهیافت وحدت‌گرایانه قابل توضیح خواهد شد؛ اگرچه ممکن است این آموزه‌های روان‌شناختی و فلسفی به مثابه الهام روش‌شناختی ارزش معرفتی نداشته باشند، اما مبنای بهره‌بردن از مشابهت میان این آموزه‌ها از یک طرف، و آموزه‌های فیزیک از طرف دیگر، می‌تواند مبتنی بر رهیافتی وحدت‌گرایانه باشد، یعنی حوزه‌های فلسفه، روان‌شناسی، و فیزیک به مثابه شاخه‌های معرفت بشری، می‌توانند با هم‌دیگر تعامل داشته باشند و آموزه‌هایی مشترک داشته باشند. در این صورت، رهیافت وحدت‌گرایی می‌تواند به مثابه ابزاری روش‌شناختی برای الهام‌های روش‌شناختی، ارزشی معرفتی داشته باشد. لاقلاً برخی نوشته‌ها و سخن‌رانی‌های بور (عمدتاً پس از ۱۹۲۷) نمایان‌گر تمایل و باور بور به وحدت در معرفت بشری بود.

پی‌نوشت

1. → Jammer, 1974; Jammer, 1989; Cushing, 1994; Cushing, 1998.
 2. → Jammer, 1974; Jammer, 1989; Cassidy, 1992.
 3. → Folse, 1985; Folse, 1986; Bokulich, 2008; Camilleri, 2009.
۴. مدل هاس مدلی برای اتم هیدروژن است که در ۱۹۱۰ ارائه شد و بر مفروضات مدل تامسون مبتنی بود. این مدل برای نخستین بار محاسبه ثابت ریدبرگ را بر حسب بار پایه الکترون، جرم

آن، و ثابت پلانک امکان‌پذیر کرد هرچند عامل عددی نادرستی در آن وجود داشت. در این مدل به مفاهیم کوانتومی رایج در آن دوره و همچنین نتایج طیف‌نگاری توجه شده بود (Jammer, 1989: 30-32).

5. *Philosophical Magazine*, July 1913, pp. 1-25.

6. Thales [Miletus, 624-546 BC]

7. Cat, Jordi (2007). *The Unity of Science*, SEP.

۸. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه می‌توان به کتاب کواین (*the Web of Belief*)، که در فارسی به شبکه باور ترجمه شده است، مراجعه کرد.

9. 'On the Constitution of Atoms and Molecules', *Philosophical Magazine*, July 1913, pp. 1-25.

10. *Philosophical Magazine*, November 1913, pp. 858-875.

11. → Jammer, 1989.

12. $h \rightarrow 0, v \rightarrow 0, \Delta n \rightarrow 0$.

13. 'Quantum-theoretical reinterpretation of kinematic and mechanical relations'

14. Darrigol, 1992; Bokulich, 2008.

۱۵. گلشنی، ۱۳۸۰: ۱۵۸.

۱۶. یک آزمایش فکری که هایزنبرگ پیشنهاد کرد تا اصل عدم قطعیت را واریسی کند. در این آزمایش کوشش می‌شود با استفاده از میکروسکوپی که با اشعه گاما کار می‌کند مکان یک ذره دقیقاً اندازه‌گیری شود. در این صورت ملاحظه می‌شود که سرعت آن به میزانی نامعین تغییر می‌کند (→ گلشنی، ۱۳۸۰: ۲۶۱).

منابع

گلشنی، مهدی (۱۳۸۰). *تحلیلی از دیدگاه‌های فلسفی فیزیک‌دانان معاصر*. تهران: نشر و پژوهش فرزانه روز.

Bohr, Niels (1913). 'On the Constitution of Atoms and Molecules', in *Philosophical Magazine*, [Available at: Niels Bohr Collected Works, General Editor: L. Rosnfeld, Vol. 2, Work On Atomic Physics (1912-1917), Ulrich Hoyer (ed.), North-Holland Company, 1981].

Bokulich, Alisa (2004). 'Open or Closed? Dirac, Heisenberg, and the Relation Between Classical and Quantum Mechanics', in *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, No. 35.

Bokulich, Alisa (2008). *Rreexamining the Quantum-Classical Relation, Beyond Reductionism and Pluralism*, Cambridge: Cambridge University Press.

Cassidy, David C. (1992). *Uncertainty, The life and Science of Werner Heisenberg*, New York: W. H. Freeman and Company.

- Heisenberg, W. ([1958] 1974). 'Plank's Discovery and the Philosophical Problems of Atomic Theory', in *Across The Frontiers*, New York: Harper & Row.
- Heisenberg, W. ([1928] 1967). 'Quantum-Theoretical Re-Interpretation of Kinematic and Mechanical Relations', in *Sources of Quantum Mechanics*, B. Van Waerden (ed.), New York: Dover. Translation of 'Über Quantentheoretische Umdeutung Kinmatischer und Mechanischer Beziehungen', *Zeitschrift für Physik*, No. 33.
- Heisenberg, W. ([1927] 1983). 'The Physical Content of Quantum Kinematics and Mechanics', in *Wheeler & Zurek, Quantum Theory and Mesurment*, New Jersey: Princeton University Press.
- Jammer, Max (1989). *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, Los Angeles & Calif: Tomash Poblisher & American Institue of Physics.
- Jones, Todd (2008). 'Unification', in *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, Stathis Pillos & Martin Curd (eds.), London & New York: Routledge.
- MacKinnon, Edward (1980). 'Niels Bohr on the Unity of Science', in *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 2, Chicago: The University of Chicago.
- Quine, W. V. and J. S. Ullian (1978). *The Web of Belief*, New York: McGraw-Hill.

منابع دیگر

- Camilleri, Kristian (2009). *Heisenberg and the Interpretation of Quantum Mechanics, The Physicist as Philosopher*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Cushing, James T. (1998). *Philosophical Concepts in Physics, The Historical Realation Between Philosophy and Scientific Theoris*, Cambridge: Cambridge university press.
- Cushing, James T. (1994). *Quantum Mechanics: Historical Contingency and the Copenhagen Hegemony*, Chicago & London: The University of Chicago Press.
- Cat, Jordi (2007). *The Unity of Science, Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Available at: <http://plato.stanford.edu/entries/scientific-unity/#UniRedLogEmp>.
- Darrigol, O. (1992). *From c-Numbers to q-Numbers, The Classical Analogy in the History of Quantum Theory*, Berkeley: University of California Press.
- Folse, Henry (1985). *The Philosophy of Niels Bohr, The Framework of Complemetarity*, Vol. 4, North Holland: Personal Liberarity.
- Folse, Henry (1986). 'Nielse Bohr, Complementarity, and Realism', in *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, Vol. 1, Michigan: PSA.
- Jammer, Max (1974). *The Philosophy of Quantum Merchanics, The Interpretations of QM in Historical Perspective*, New York: John Wiley and Sons.