اصل عدم قطعیت (۱)

رحمان فلاح

«اصل عدم قطعیت» از بحث انگیزترین اصول نظریه کوانتوم است که نخستین بار «ورنر هایزنبرگ» در دهه های آغازین قرن بیستم، آن رامدون ساخت. این اصل به دلیل مدلول فیزیکی آن، که نوعی نفی علیت و موجبیت در آن نهفته است، به اندازه فیزیکدان ها بلکه بیشتر، توجه فیلسوفان را نیز به خود جلب کرده است. مقاله حاضر، تاریخ تدوین این اصل وتحولات آن را از دیدگاهی فیزیکی بررسی می کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

قطعیت اصل علیت، که تا به امروز پایه و شالوده هر پژوهش علمی بوده، در طول تاریخ بشری و از زمانی که صلابت و استواری آن به اثبات رسیده، چندین بار محل تردید و تأمل واقع شده است. آیا این اصل، آن چنانکه تا به این روزگار پذیرفته شده، برای هر پدیده فیزیکی، حتی تا آخرین ویژگی هایش، بی هیچ استثنایی معتبر است، یا این که، چون رویدادهای جایگزین در دل اتم تطبیق شود، دیگر فقط در مجموع، ارزش و اعتباری آماری دارد؟ از جمله نظریه ها و تئوری هایی که بر اصل قطعیت علوم سایه افکنده، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ است. این اصل متضمن تأثیری ژرف در نگرش ما به جهان بود، حتی پس از بیش از چهل سال، تأثیرات آن از سوی فیلسوفان بسیاری کاملا مورد ارزیابی قرار نگرفته است و هنوز موضوع مناقشه فراوان است. اصل عدم قطعیت، مهر پایانی بود بر رؤیای لاپلاس مبنی بر وجود تئوری علمی و مدلی یکسره و جبرگرا از جهان. اگر حتی نتوانیم وضع کنونی جهان را به دقت اندازه گیری کنیم، به طریق اولی، قادر به پیش گویی دقیق رویدادهای آینده نخواهیم بود! هنوز می توان تصور کرد که مجموعه ای از قانون ها هست که برای موجودات ماوراء الطبیعی ای که می توانند بدون ایجاد اختلال و تغییر در وضع فعلی جهان، آن را مشاهده کنند، که چند و چون رویدادها را به طور کامل تعیین می کند. با این حال، مدل های اینچنینی از جهان، چندان

دردی از ما موجودات فانی و معمولی این دنیا دوا نمی کند. این رویکرد در دهه بیست، هایزنبرگ[۲]، ادوین شرودینگر[۳] و پل دیزک را بر آن داشت تا مکانیک را بازسازی کنند و براساس اصل عدم قطعیت، نظریه جدیدی به نام مکانیک کوانتوم تدوین نمایند.

ما از پژوهش های مکانیک کوانتومی نوین می دانیم که رخدادهای اتمی منفرد تعبیر علمی نمی پذیرند و صرفاً قوانین احتمال بر آنها حکمفرماست. این نتیجه که به صورت اصل مشهور عدم قطعیت[۴] هایزنبرگ بیان شده است، همانا اثبات این مطلب است که دومین برداشت. برداشت درست است و انگاره یک علیت اکید را باید رها کرد.

و اینک قوانین احتمال جایگاهی را که زمانی قانون علیت اشغال کرده بود، می گیرد. در واقع منطق نوین در برابر استلزام منطق معمولی، یک استلزام احتمال را قرار داده است. ساختار علمی جهان فیزیکی جای خود را به یک ساختار احتمالی داده است و فهم جهان فیزیکی منوط به ساخت و پرداخت یک نظریه احتمالات است.

پیش زمینه های تئوری عدم قطعیت

«موفقیت نظریه های علمی به ویژه نظریه گرانش نیوتن، مارکی دولاپلاس را در اوان قرن نوزدهم متقاعد ساخته بود که جهان به طور دربست از جبر علمی پیروی می کند. او معتقد بود که مجموعه ای از قانون های علمی وجود دارد که ما را قادر می سازد هر آنچه در آینده روی خواهد داد پیش بینی کنیم، تنها مشروط بر آن که از وضعیت و حالت جهان در لحظه معینی به طور کامل آگاه باشیم. مثلا اگر موقعیت و سرعت خورشید و سیارات را در فلان لحظه بدانیم، آنگاه می توانیم با استفاده از قوانین نیوتن وضعیت منظومه شمسی را در هر لحظه دیگری محاسبه کنیم. در این مورد جبریگری نسبتاً بدیهی به نظر می رسد. اما لاپلاس به این بسنده نکرد و گفت قانون های مشابهی وجود دارد که بر سایر پدیده ها از جمله رفتار بشر حاکمند.»[۵]

دکترین جبریگری علمی با مخالفت افراد زیادی روبرو شد که احساس می کردند این دیدگاه به آزادی خداوند در مداخله در امور جهان خدشه و خلل وارد می آورد. اما با این همه تا اوایل قرن حاضر، این دکترین فرض مورد قبول عامه اهل علم باقی می ماند. یکی از نخستین نشانه های سست بودن این باور، کارهای دانشمندان انگلیسی لرد ری لی و سرجیمز جنیز بود. محاسبات آنها نشان می داد که یک جسم داغ مثلا یک ستاره. باید به طور نامتناهی انرژی تابش کند. برطبق قانون های معتبر و رایج در آن زمان یک جسم داغ باید به طور یکسان در کلیه بسامدها از خود اشعه الکترو مغناطیس (مثل امواج رادیویی، نور مرئی، یا اشعه ایکس) بتاباند. برای

□ اصل عدم قطعیت، مهر پایانی بود بر رؤیای لاپلاس مبنی بر وجود تئوری علمی و مدلی یکسره و جبرگرا از جهان. اگر حتی نتوانیم وضع کنونی جهان را به دقت اندازه گیری کنیم، به طریق اولی، قادر به پیش گویی دقیق رویدادهای آینده نخواهیم بود!

□ دکترین جبریگری علمی با مخالفت افراد زیادی روبرو شد که احساس می کردند این دیدگاه به آزادی خداوند در مداخله در امور جهان خدشه و خلل وارد می آورد- اما با این همه تا اوایل قرن حاضر، این دکترین فرض مورد قبول عامه اهل علم باقی می ماند.

نمونه، یک جسم داغ باید همان مقدار انرژی درقالب امواج با بسامدهای دو سه میلیون میلیون موج درثانیه تابش می نماید.

و از آنجا که تعداد موج ها درثانیه نامحدود است، انرژی کل تابیده شده نامتناهی است.

برای اجتناب از این نتیجه آشکارا مضحک، دانشمند آلمانی ماکس پلانک.[۶] درسال ۱۹۰۰ اظهار داشت که نور، اشعه ایکس و دیگر امواج می توانند به میزان دلخواهی گسیل شوند. اما این عمل تنها دربسته های معینی به نام کوانتوم انجام می پذیرد. به علاوه، هر کوانتوم مقدار معینی انرژی داراست که هر چه بسامد موج بیشتر باشد، زیادتر است. بنابراین درفرکانس های بالا، گسیل یک کوانتوم منفرد، بیش از مقدار موجود، انرژی لازم دارد. از اینرو، تابش در بسامدهای بالا کاهش می یابد و بنابراین میزان انرژی ای که جسم از دست می دهد، مقداری معین و متناهی می شود.

فرضیه کوانتوم[۷] میزان تابش از اجسام داغ را به خوبی توضیح می داد اما نتایج و پیامدهای آن در رابطه با جبریگری تا سال ۱۹۲۶ از نظر پنهان مانده، درآن سال دانشمند آلمانی ورنر هایزنبرگ، اصل معروف خود را به نام اصل عدم قطعیت تدوین کرد. اندیشمندان ناموری چون ماکس پلانک، آلبرت انیشتین، لویی دوبروی[۸] و ادوین شرودینگر در پرورش این تئوری نقش داشته اند که در ذیل تأثیر هرکدام از اینها را به طور اجمال بیان می کنیم.

ماکس پلانک (۱۹۴۷-۱۸۵۸) فیزیکدان آلمانی، کارش را بر روی نظریه کوانتوم درحوالی سال ۱۹۰۰، هنگامی که مسائلی را درباب تشعشع مورد مطالعه قرارمی داد آغاز کرد. ازجمله این مسایل، یکی این بود که اگر جسمی تا درجه ای بالا حرارت ببیند، باریکه ای از نور از جسم گداخته تابیده می شود که رنگ آن با تغییر درجه حرارت دگرگون می شود. به تناسب افزایش درجه حرارت، این باریکه نخست سرخ، سپس نارنجی، بعد زرد و سرانجام سفید می شود.

مسأله ای که ذهن پلانک را به خود مشغول کرد، صورت بندی روابط بین مقدار انرژی تابش، گسیل شده، موج باریکه نور حاصل از جسم گداخته شده و درجه حرارت بود. پلانک به اینجا رسید که برای تحقیق درخصوص تابش جسم سیاه[۹] باید از طیف نما[۱۰] استفاده نماید. اما با کمال شگفتی دریافت که تابش انرژی به صورت جریانی متصل گسیل نشده، بلکه گسیل آن دربسته های کوچک جداگانه موسوم به کوانتوم است. سیلان انرژی تابش به گلوله هایی که از یک تلفن شلیک می شوند. بسیار بیشتر شبیه است تا به آبی که از یک شیلنگ به بیرون فوران می کند. رهنمون شدن به کوانتوم ها پلانک را قادر ساخت تا معادله ای را که در جست وجوی آن بود صورت بندی کند که به اصل پلانک[۱۱] معروف گشت: $E=hv$

انیشتین در نظریه نسبیتش، کار پلانک را به دیده قبول نگریست و تبیین نور بر حسب کوانتوم ها را، یکی از اصول موضوعه بنیادی نظریه اش قرار داد. نیز انیشتین با کشف اثر فتو الکترنیک[۱۲]، به رشد نظریه کوانتوم یاری رساند. در ۱۹۰۵ وی پی برد که نور مرکب از ذراتی به نام فوتون[۱۳] است. هنگامی که جریانی از فوتون ها گسیل شوند تا به یک صفحه فلزی برخورد کنند الکترون هایی که صفحه فلزی از آنها ساخته شده است تجزیه و آزاد می شوند. هر قدر گسیل فوتون ها قوی تر باشد، فوتون های بیشتری تجزیه و رها می شوند. اثر فتوالکتریک از

منظومه هایی از امواجند. مضافاً پی برد که طول موج الکترون ها را می توان بر حسب این فرمول سنجید:

فرمول طول موج الکترون ها =h/mv

در این فرمول (v) سرعت الکترون ها، (m) جرم الکترون ها و (h) همان ثابت پلانک را نشان می دهد.

اروین شرودینگر (۱۹۶۱-۱۸۸۷) فیزیکدان اتریشی، نظریه دوبروی را از آنچه بود، پیشتر برد و گفت که نه تنها الکترونها بلکه فوتون ها، اتم ها و تمام مولکول ها را می توان به منزله امواج ملحوظ کرد.

دراین لحظه هایزنبرگ وارد صحنه می شود. وی در جوانی به معادله هایی دست یافت که به فیزیکدان ها این قدرت را داد که کوانتوم های نور را با ذرات یا امواج محسوب کنند. استدلال او بر این پایه بود، که عملا هیچ تفاوتی نیست. زیرا دانشمندان درهر کجا که این دو تعبیر به کار آیند، با کمیت هایی عظیم سروکار دارند. پدیدشدن این تنگنا راجع به سرنوشت نور را می توان بدین گونه توضیح داد. برخی پدیده ها و آزمایش ها ایجاب می کنند که نور رأ مرکب از امواج بدانیم و پدیده ها و آزمایش های دیگر ایجاب می کنند که نور را مرکب از امواج به حساب آوریم. چندین آزمایش محتمل وجود دارند که می توان دراین تنگنا به آنها تمسک جست.

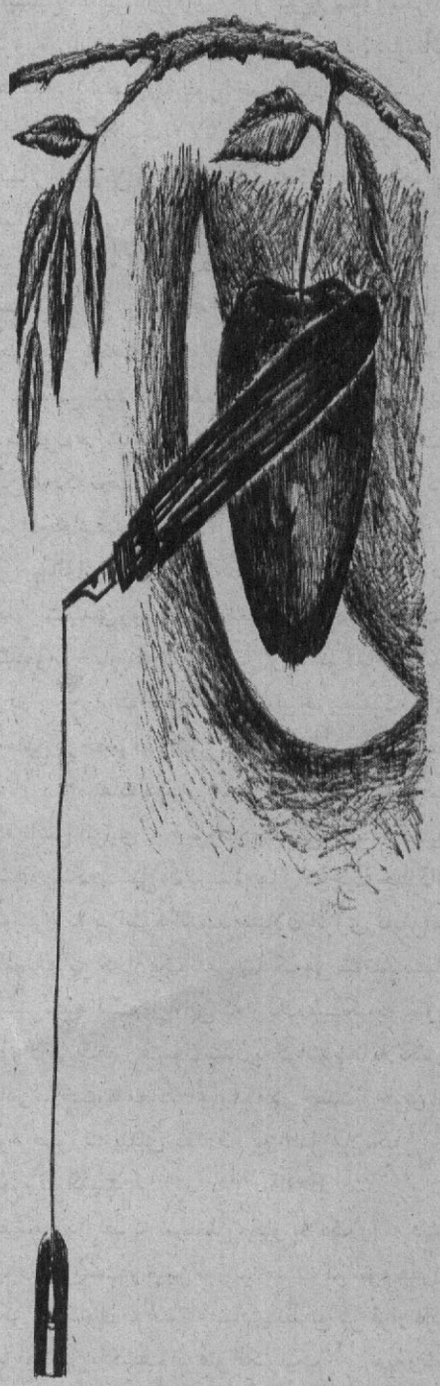
۱) می توان استدلال کرد که یا تعبیر ذره ای درست است، یا تعبیر موجی.

۲) می توان استدلال کرد که هم ذرات و هم امواج می توانند در ذیل یک مقوله جدید که به عنوان موج ذره [۱۵] اشاره می شود، بگنجد.

۳) می توان چون هایزنبرگ استدلال کرد که این تنگنا به ظاهر فقط درجایی به وجود می آید، که معادله هایی وجود دارند که به ما توانایی می دهند، به هردو رشته ازپدیده ها بپردازیم. [۱۶]

اگر پاسخ هایزنبرگ را بپذیریم آنگاه به مسأله علمی و فلسفی ای از این هم ژرفتر رهنمون می شویم وآن این که آیا این معادلات تدبیر و ترفندی موقتی و کاملا موفقیت آمیزند یا مشعر به چیزی نهایی در خصوص سرشت ماده یا شناخت ماده نسبت به ماده اند. درسال ۱۹۲۷، هایزنبرگ کوشش ورزید وضع و سرعت (سرعت و جهت) یک الکترون را محاسبه کند. دشواری که در محاسبه اوصاف یک الکترون وجود دارد این است که الکترون خردتر از یک موج نوری است. برای مشاهده یک الکترون به طور مستقیم فرضا باید از میکروسکوپی استفاده بکنیم از میکروسکوپ هایی که اکنون در اختیارداریم، بسیار قویتر باشد. لیکن هنگام استفاده از میکروسکوپ، ازیک چشمه نور هم استفاده خواهیم کرد.

□ برخی چون مارکی دو لاپلاس در قرن ۱۹ از موفقیت های علمی که بیشتر حاصل تلاش های علمای علوم طبیعی بود چنین نتیجه گرفته بودند که جهان ما به طور قطع از قوانین معین تبعیت می کند و معتقد بودند که کل عالم به طور حتم از جبر علمی پیروی می کند و تا آنجا در بسط این نظریه پیش رفتند که گفتند قانون های مشابهی وجود دارد که بر پایه پدیده ها از جمله رفتار حاکمند.



سوی انیشتین و سایر فیزیکدانان به گونه ای تعبیر شد که حاکی از این بود که از امواج ساخته نشده است.

لویی دوبروی (۱۹۸۷-۱۸۹۲) فیزیکدان فرانسوی به سردرگمی عمومی روبه گسترش در این خصوص که نور آیا مرکب از ذرات یاامواج است، رأی دیگری افزود. باید یادآوری کنیم که نظریه اتم که از سوی نیلس بور [۱۴] دانمارکی پیشنهاد شده بود، بیانگر این مطلب بود که ساختار اتم همانند منظومه شمسی کوچک شده ای است که هسته اتم نشان دهنده خورشید است و در پیرامون هسته، الکترون در گردش است که در هر عنصری یافت می شود و جرم و بار الکتریکی یکسانی دارد. بر حسب این تمثیل، این گونه پنداشته شده است که وقتی الکترون از یک سطح مدار انرژی به مدار پایین تر تنزل می کند، انرژی تابش گسیل می دارد. جهش الکترون های پیرامون از یک سطح فرضی به سطح دیگر، فیزیکدان ها را بدینجا رهنمون کرد که گمان برند الکترون ها به راستی و به هیچ روی ذرات نیستند.

با توجه به این مطلب، باید گفت دوبروی در ۱۹۲۵ اعلام کرد که الکترون ها ذرات نیستند، بلکه

ازپیش می دانیم که فوتون های نور (اثر فتوالکتریک انیشتین) در وضع الکترون‌ها اختلال ایجاد می کند. بنابراین، برای محاسبه وضع و سرعت یک الکترون با دومشکل مواجهیم: ماازنور معمولی نمی توانیم استفاده بکنیم زیرا الکترون ها طول موجی کوتاهتر از نور معمولی دارند و اصلا از هر نوری که استفاده کنیم در وضع الکترون ها اختلال ایجاد خواهدکرد. ناگزیر از پرتوهای گامای رادیوم مدد می گیریم که چون آنها هم بسامد بالا دارند و موج هایی (بسیارکوتاه) با طول موج هایی کوتاهتر از نوراند قهراً باعث اختلال خواهندبود. به این ترتیب، انجام یک آزمایش که با آن بتوانیم وضع و سرعت یک الکترون را محاسبه کنیم نامیسر است. وانگهی هر محاسبه ای که انجام دهیم به سبب اختلالی که ابزار محاسبه گر به وجود می آورند، تقریبی خواهدبود[۱۷] استدلال هایزنبرگ این است که نه تنها عملاً محاسبه کردن امکانپذیر نیست، بلکه نظراً هم انجام محاسبه به طور دقیق نامیسر است.

هایزنبرگ از این هم پیشتر رفت. سخن اولیه او این بود که به طور نظری تعیین دقیق وضع و سرعت یک الکترون نامیسر است. اینک استدلال می کند که با تعیین دقیق وضع یک الکترون ها تعیین کم و بیش دقیق، سرعت آن را مختل می کنیم. برای تعیین سرعت یک الکترون کم و بیش به طور دقیق، کاری می کنیم که تعیین وضع الکترون غیردقیق تر بشود. هر محاسبه ای د رمحاسبه دیگر تداخل می کند. بنابراین، دستیابی به محاسبه کم و پیش دقیق وضع و سرعت یک الکترون به طور همزمان، امکان پذیر نیست. برهان قاطع او در این محاسبه این است که درجه نامعین بودن سنجش ما برابر است با ثابت پلانک. فرمول زیر بیانگر رابطه عدم تعیین وضع و سرعت است: $\Delta p \Delta q \geq h/\Delta \pi$

توضیح مطلب، این است که هایزنبرگ مدعی شد برای این که وضعیت و سرعت بعدی ذره ای را پیش بینی کنیم، باید بتوانیم وضعیت و سرعت فعلی آن را به دقت اندازه بگیریم. بدیهی است برای اندازه گیری باید ذره ای را در پرتو نور موردمطالعه قرار دهیم. برخی از امواج نور به وسیله ذره مشخص می شود. اما دقت اندازه گیری وضعیت یک ذره بناگزیر از فاصله بین تاج های متوالی نور کمتر است. درنتیجه برای تعیین دقیق وضعیت یک ذره باید از نوری با طول موج کوتاه استفاده کرد. حال بنابرفرضیه کوانتوم پلانک، نمی توانیم هرقدر دلمان خواست مقدار نور را کم اختیار کنیم. دستکم باید یک کوانتوم نور مصرف کنیم. این کوانتوم، ذره رامتأثر خواهد ساخت و سرعت آن را به گونه ای پیش بینی ناپذیر تغییر خواهد داد. از این گذشته برای آن که وضعیت ذره را هرچه دقیق تر اندازه بگیریم.

□ انیشتین در نظریه نسبیتش، کار پلانک را به دیده قبول نگریست و تبیین نور بر حسب کوانتوم ها را، یکی از اصول موضوعه بنیادی نظریه اش قرار داد. نیز انیشتین با کشف اثر فتوالکترنیک، به رشد نظریه کوانتوم یاری رساند. در ۱۹۰۵ وی پی برد که نور مرکب از ذراتی به نام فوتون است. هنگامی که جریانی از فوتون ها گسیل شوند تا به یک صفحه فلزی برخورد کنند الکترون هایی که صفحه فلزی از آنها ساخته شده است تجزیه و آزاد می شوند.

باید از نوری با طول موج کوتاهتر استفاده کنیم و بنابراین، انرژی هر کوانتوم، بیشتر می شود، درنتیجه سرعت ذره بیشتر دستخوش تغییر می شود. بدیگر سخن، هرچه بکوشیم وضعیت ذره را دقیق تر اندازه گیری کنیم دقت اندازه گیری سرعت آن کمتر می شود و برعکس، هایزنبرگ نشان داد که عدم قطعیت در تعیین وضعیت ذره ضربدر عدم قطعیت در سرعت آن ضربدر جرم ذره هرگز نمی تواند از کمیت معینی که به نام ثابت پلانک معروف است، کمتر شود. نیز این حد به راه و روش اندازه گیری وضعیت و سرعت ذره بستگی ندارد و مستقل از نوع ذره است. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ درواقع خاصیت بنیادین و گریزناپذیر جهان است.

در پایان، باید گفت که برخی چون مارکی دولاپلاس در قرن ۱۹ از موفقیت های علمی که بیشتر حاصل تلاش های علمای علوم طبیعی بود چنین نتیجه گرفته بودند که جهان ما به طور قطع از قوانین معین تبعیت می کند و معتقد بودند که کل عالم به طور حتم از جبر علمی پیروی می کند و تا آنجا در بسط این نظریه پیش رفتند که گفتند قانون های مشابهی وجود دارد که برپایه پدیده ها ازجمله رفتار حاکمند. و با چنین اندیشه ای که تا قرن حاضر، فرض موردقبول اهل علم بود، نظر عدم قطعیت هایزنبرگ که مدعی حاکمیت قانون احتمال در جهان بود برفرض موردقبول، سایه افکند و قطعیت علوم را درمعرض تردید و نقد قرار داد!

و بدین دلیل شگفت آور نیست که اخلاق گرایانی که نگران مشکل وجوب علی هستند در سایه اصل عدم قطعیت آرامش می یابند.

پی نوشت:

۱- Principle of uncertainty

۲- Heisenberg

۳- Edwin schord inger

۴- اصل عدم قطعیت، بیانگر آن است که نمی توان دقیقاً از وضعیت و سرعت یک ذره در لحظه ای خاص اطمینان حاصل کرد، چه اگر هریک از این دو را دقیق تر بدانیم، دقت دیگری کمتر می شود.

۵- تاریخچه زمان، استیون و.هاوکینگ، ترجمه محمدرضا محجوب.

۶- Max plank

۷- Quantum theory

۸- Louis de Broglie

۹- Black-body radiation

(گسیل انرژی تابشی به وسیله جسم سیاه).

۱۰- spectros cope

۱۱- plank's constant

۱۲- The photo electric effect

۱۳- photon

۱۴- Niels Bohr

۱۵- wavicle

۱۶- رجوع شود به کتاب فلسفه علم، نیکلاس کاپالدی، ترجمه علی حقی، ص ۳۳۴.

۱۷- همان.