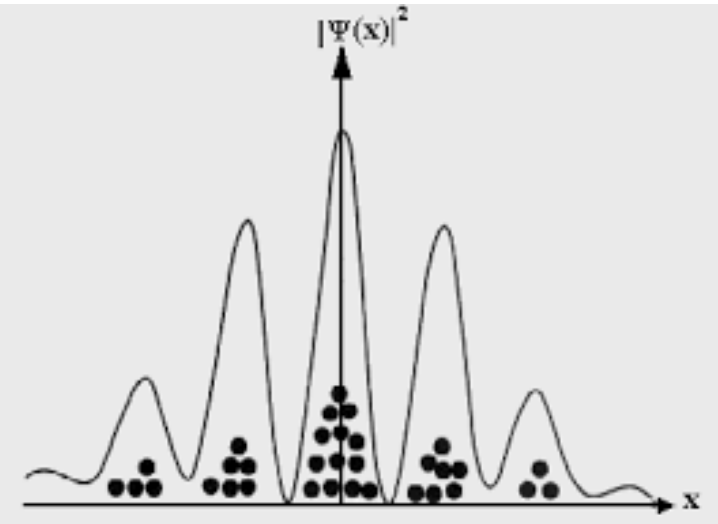
دکتر حسن بلوری برلین، ۲۰۲۳/۰۲/۱۷

سِرشتِ احتمالی ـ آماریِ قوانینِ طبیعی



The Probabilistic- statistical nature of natural laws[۱]

فشرده

در مقاله‌ی 'معنای مفهوم در قوانین طبیعی'[۲] گفتیم که قوانین طبیعی بر اساس داده‌های عینی و مفهوم‌های مشخصی در چارچوب یک نظریه بنا می‌شوند. اما نبود مفاهیم دقیق، بنای یک نظریه‌ی بنیادی برای توصیف پروسه‌های جاری در کیهان را پیچیده و دشوار کرده است. تلاش‌ها در این جهت تاکنون منجر به ارائه‌ی دو نظریه بزرگ، یعنی فیزیک کلاسیک و فیزیک کوانتوم، شده که یکی دنیای ماکروسکوپی با قوانین دترمینیستی و دیگری دینای میکروسکوپی با قوانین احتمالی را توصیف می‌کند. به این معنا که در اولی وابستگیِ آشکاری میان حالتِ حال و آینده‌ی یک فرایند طبیعی در شکلِ علت و معلول وجود دارد در حالیکه در دومی اصولن یک چنین وابستگی غیرقابل تصور است. بی‌شک این وضعیت از یک سو ریشه در تجربیات و نگاه کاربردی ما به قوانین طبیعی و از سوی دیگر در سرشت مفهوم‌ها دارد. به این معنا که اکثر مفهوم‌ها در نظریه کلاسیک و تمام آنها در نظریه کوانتوم تعریف دقیقی ندارند. از اینرو قوانین طبیعی در اصل بر اساس میانگینی از نتایج اندازه‌گیری‌ها برمفهوم‌ها، همراه با درجه‌ی مشخصی از نامعلومی بنا شده‌اند. به بیان دیگر، قوانین طبیعی دارای سرشت احتمالی ـ آماری هستند. این ویژگیِ ناشی از طبیعت کیهان، کیهان کوانتومی[۳و۴]، است.

در این مقاله می‌کوشم با توجه به 'تعریفِ مفهومِ علمی' و "توضیحِ سرشتِ مفهومِ علمی'، که در مقاله‌ی[۲] بدان‌ها پرداخته‌ام سرشت احتمالی ـ آماری قوانین طبیعی را مستدل نمایم.

یادآوری

۱. در مقاله‌ی 'چیستی قوانین طبیعی'[۵]، به موضوعاتی مانند: لزوم داده‌های عینی، فقدان قطعیت، معلول و علت پرداختیم،

۲. در مقاله‌ی 'روش دستیابی به قوانین طبیعی'[۶]، مفهوم‌های ضروری، ایده‌الی و تقریبی بودن قوانین، نظریه ذرات و میدان‌ها (بدون و با کنش و واکنش) را شرح و

۳. در مقاله‌ی 'آیا قوانین طبیعی جهانشمول هستند؟'[۷]، قابل مشاهده نبودن و تردید در جهانشمول بودن قوانین طبیعی را توضیح دادیم.

۴. در مقاله‌ی 'آیا قوانین طبیعی تغییر می‌کنند؟'[۸]، به مسئله‌ی پایداری قوانین طبیعی و رابطه‌ی آنها با ثابت‌های طبیعی، به‌ویژه با 'ثابت زومرفلد' یا 'ثابت ساختارهای ریز' پرداختیم.

۵. در مقاله‌ی 'قوانین طبیعی و انبساط کیهان'[۹]، رابطه‌ی قوانین طبیعی با انبساط کیهان را با مفهوم انتقال به سرخ توضیح دادیم.

۶. در مقاله‌ی 'معنای مفهوم در قوانین طبیعی'[۲]، مفهوم علمی و سرشت مفهوم علمی را همراه با مثالی از مکانیک نیوتن بیان داشتیم.

سرشت احتمالی ـ آماری قوانین طبیعی (بخش کلاسیک)

تغییرات یک سیستم فیزیکی در زمان در فیزیک کلاسیک، آنگونه که تا آغاز قرن بیستم مطرح و باور عموم بود، توسط کمیت‌هائی با اندازه‌ی مشخص بیان می‌شدند. همزمان تصور بر این بود که این کمیت‌ها حالت دینامیکی سیستم مربوطه را در هر لحظه به‌طور دقیق تعیین می‌کنند. به بیان دیگر، باور بر این بود که تغییرات یک سیستم فیزیکی در زمان کاملن تعیین شده است، چنانچه حالت آن برای یک زمان اولیه شناخته شده باشد. مثال ساده‌ی آن معادله‌ی دیفرنسیالی ذکر شده در قانون دوم نیوتن (توضیح داده شده در مقاله‌ی 'معنای مفهوم در قوانین طبیعی'[۲]) در زمان t_1 می‌باشد.[۲]

در آن مقاله گفتیم که نیوتن نظریه مکانیک خود را بر اساس (پیش‌فرض‌ها) فضا و زمان مطلق بنا می‌کند و برای قانون دوم کمیتی به نام ***اندازه‌ی حرکت*** $\vec{p} = m\vec{v}$ (m جرم جسم، $\vec{v}$ سرعت و $\vec{p}$ تکانه) را در نظر می‌گیرد. نیوتن تغییرات این کمیت در زمان t را برابر با نیروی $\vec{F}$ وارد شده بر آن جسم می‌داند.، یعنی: $\vec{F} = d\vec{p} / dt$. در ادامه توضیح دادیم که "حلِ معادله‌ی دیفرنسیالی $\vec{F} = d\vec{p} / dt$ ، به‌معنای تعیین انتگرال آن، نشان می‌دهد که تغییر *اندازه‌ی* حرکت در فاصله‌ی زمانی $t_2 - t_1$ برابر با انتگرال زمانی نیرو، یعنی $\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$ است. انتگرال‌هائی از این نوع، یعنی دارای محدوده‌ی (مرز) مشخص مانند از زمان t_1 تا زمان t_2 ، انتگرال‌های معین نامیده می‌شوند. در غیراین‌صورت، یعنی وقتی محدوده‌ی انتگرال‌ها مشخص نباشد مانند $\int \vec{F} dt$ انتگرال‌های نامعین نامیده می‌شوند. ما در اینجا انتگرال‌های معین مانند $\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$ را مدنظر داریم.

ظاهرن در فیزیک کلاسیک امکان اندازه‌گیری دقیق کمیت‌ها وجود دارد و تکرار آن همواره به نتیجه‌ی یکسانی می‌انجامد. یک چنین تصوری از کمیت‌ها معنایی جز آن ندارد که اندازه‌ی آنها پیشاپیش، یعنی پیش از اندازه‌گیری مشخص و تعریف شده می‌باشند. در نتیجه تصور می‌شود که می‌توان کمیت‌های فیزیکی مانند زمان، مکان، سرعت، تکانه و ... را به‌طور دقیق شناخت. آیا واقعن چنین است؟ آیا واقعن می‌توان برای مثال اندازه‌ی زمان‌های t_1 و t_2 در انتگرال ذکر شده را با قطعیت تعیین کرد؟ آیا می‌توان مکان شیٔ‌ای را دقیقن دانست؟ آیا واقعن مسیر حرکت یک جسم دقیقن قابل تعیین است؟ اگر پاسخ همه‌ی این پرسش‌ها منفی باشد که هست، در این‌صورت لازم است به چرایی شکل‌گیری یک چنین تصور نادرستی پاسخ قانع کننده‌ای دهیم. و همچنین به این پرسش نیز پاسخ دهیم که قوانین بنا شده بر اساس چنان کمیت‌هایی چه معنایی دارند؟

باور به امکان اندازه‌گیری دقیق کمیت‌ها از جمله و به‌ویژه ریشه در پیوسته انگاشتن کمیت‌ها دارد. زیرا در این حالت است که گمان می‌کنیم اندازه‌گیری بی‌نهایت دقیق کمیت‌ها، در صورت برخورداری از ابزار لازم، امکان‌پذیر است. اما گذشت زمان به روشنی ناکارامدی، ناتوانی و ضعف‌های این دیدگاه در حل و توضیح پدیده‌های گوناگون، به‌ویژه در مسائل مربوط به دنیای میکروسکوپی، را نشان داد. یعنی، روشن شد که توصیف این نوع مسائل در چارچوب تفکر فیزیک کلاسیک ناممکن است و نیاز به اصولی کاملن جدید دارد.[۱۰]

اما اصولن چرا یک چنین دیدگاهی، یعنی پیوسته انگاشتن کمیت‌ها، در فیزیک کلاسیک شکل‌گرفته و به امری کاملن عادی بدل گشته است؟ پاسخ به این پرسش را می‌توان در تجربه‌ی روزمره‌ی ما، تاثیر بزرگ نظریه مکانیک (نیوتن)، نظریه میدان کلاسیک الکترومغناطیسم (فارادی و مکسول)، نظریه کلاسیک نسبیت (اینشتین) و نظریه ترمودینامیک آماری کلاسیک (بولتسمن) جستجو کرد.

در همین رابطه:

"مسئله‌ی مسیر، یا حتا مسیری با عدم قطعیت، پیش‌فرض می‌گیرد که یک پیوستارِ فضازمانِ قابلِ تایید تجربی وجود دارد. متاسفانه دنیای فیزیکی، پیوسطه نیست بلکه کوانتیزه شده است. رویکردِ فضازمانی تنها در چارچوب فیزیک کلاسیک و نسبیتی توجیه می‌شود، زیرا در آنجا ممکن است فرض شود که اشیای فیزیکی را می‌توان به‌طورِ پیوسطه مشاهده کرد. با این حال، به لطفِ فرضیه‌های کوانتومی، اجسامِ کوانتومی نیز وجود دارند که اصولن به‌طورِ موقت غیرقابل مشاهده هستند. بنابراین فیزیکدان‌ها می‌باید محتاط باشند، وقتی به مدل‌های فضازمانیِ ابژکت‌های کوانتومی ارجاع داده می‌شود. برای من سؤالِ مسیر یک نوترون در آزمایشِ دو شکاف یک سؤال ساختگی است."[۲۱]

(نقل قول[۲۱] از همکارم آقای پروفسور دکتر گبهارد فون اُوپن (Gebhard von Oppen) از دانشگاه فنی برلین (TU-Berlin) در یک بحث به تاریخ ۲۰۲۲/۱۰/۲۲). آیا نبود امکان اندازه‌گیری دقیق مفهوم‌ها برای مثال مفهوم زمان t معنایش جز اینست که نمی‌توان مفهوم تکانه در قانون دوم نیوتن را به‌طور دقیق محاسبه کرد؟ و یا مسیر طی شده‌ی جسم m را دقیقن دانست؟ در این‌صورت می‌پرسیم:

وقتی مفهوم‌هایی مانند مکان، زمان، نیرو، تکانه و ... دقیقن قابل شناخت نیستند، قوانین بنا شده بر پایه‌ی آنها چه معنایی و چه سرشتی دارند و در چه محدوده‌ای قابل اعتماد واستفاده هستند؟

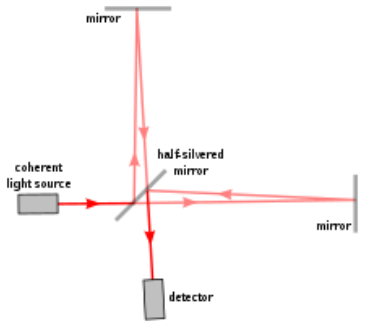
در فیزیک کلاسیک اکثر مفهوم‌ها به‌طرز تقریبی، در اصل بر اساس میانگینی از نتایج اندازه‌گیری‌ها برمفهوم‌ها (در شکل آماری) همراه با درجه‌ی مشخصی از نامعلومی، تعیین می‌شوند. این اندازه‌ها از چنان دقت بالایی برخوردارند که برای رفع نیازها و بنای قوانین کلاسیک برای بررسی مسائل گوناگون در حیطه‌ی مربوطه رضایت‌بخش هستند. در واقع نارسائی فیزیک کلاسیک به‌طور عام و الکترودینامیک کلاسیک به‌طور خاص خود را در سطح کوانتومی، یعنی در اندازه‌های اتمی و مادون اتمی، نشان می‌دهد.

مطلب دیگر مربوط به پایداری اتم‌ها می‌شود: طبق نظریه الکترودینامیک کلاسیک اصولن نمی‌بایستی اتم‌ها وجود می‌داشتند. به این دلیل که این نظریه می‌گوید: ذرات باردار الکترون‌ها در مدار اتم می‌بایستی در حین چرخش دور هسته‌ی اتم انرژی خود را از دست بدهند و در نهایت به هسته‌ی اتم سقوط کنند. در واقع این گفته معنایی جز آن ندارد که در این‌صورت هیچ اتمی نمی‌تواند پایدار باشد. بنابراین، طبق نظریه کلاسیک نمی‌بایستی هیچ یک از ساختارهای طبیعی که می‌شناسیم وجود می‌داشتند. اما ما می‌دانیم که چنین چیزی صحت ندارد و اتم‌ها و ساختارهای گوناگونی در طبیعت وجود دارند. وجود این ساختارهای بنا شده از اتم‌ها در گیتی گواه بر بی‌پایه و نادرست بودن نظریه الکترودینامیک کلاسیک حداقل در این مورد خاص است. در واقع ما در اینجا به‌روشنی تضاد بزرگ میان نظریه فیزیک کلاسیک (الکترودینامیک کلاسیک) و واقعیت را شاهدیم. از اینرو راهی جز تطبیق آن با واقعیت‌ها نداریم. شواهد نشان دادند که توسعه‌ی علم در راستای حیطه‌ی اتم‌ها و مادون‌اتم‌ها به‌معنای بنای نظریه جدیدی است به نام نظریه کوانتوم با شرایط و قوانین خاص خود. پیش از ادامه‌ی این مطلب می‌خواهیم در اینجا کوتاه به مسئله‌ی اِتر (ether) که دانشمندان قرن‌ها به وجود آن باور داشتند اشاره کنیم. آنگونه که معلوم شد کسب اطمینان از صحت و یا عدم صحت چنین باوری بسیار برای توسعه‌ی نظریه کلاسیک و شناخت درست از مفهوم‌های اساسی آن، به‌ویژه مفهوم فضا و زمان، دارای اهمیت بود:

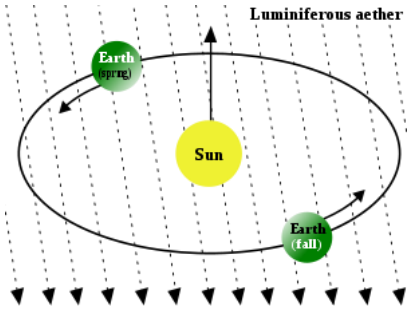
نتیجه‌ی یک آزمایش تاریخ‌ساز در باره‌ی اِتر نه تنها دور از انتظار بود بلکه همزمان اساس نظریه‌ی نیوتن، یعنی فضا و زمان مطلق، را با تمام نیرو زیر سؤال برد و خواهان بازنگری و تجدیدنظر اساسی در نظریه کلاسیک موجود گردید.

آزمایش مزبور (شاید معروف‌ترین آزمایش فیزیک) به نام آزمایش مایکلسون ـ مورلی در سال ۱۸۸۷ با بهره‌گیری از یک تداخل سنج دقیق (تصویر ۲) نشان داد که اِتر وجود ندارد و پیش‌فرض‌های فیزیک نیوتنی، یعنی فضا و زمان مطلق، نمی‌توانند صحت داشته باشند. آلبرت آ. مایکلسون (Albert Abraham Michelson) فیزیکدان (۱۹۳۱ـ۱۸۵۲) و ادوارد و. مورلی (Edward Williams Morley) شیمیدان (۱۹۲۳ـ۱۸۳۸) هر دو دانشمند آمریکا بودند. آزمایش تاریخی این دو باور و پنداشت فیزیک کلاسیک در مورد لزوم اِتر برای انتشار امواج الکترومغناطیسی را رد نمود (تصویر ۳):

"این آزمایش راه را برای پذیرش نظریه نسبیت خاص که اینشتین در سال ۱۹۰۵ ارائه داد، هموار کرد. آزمایش مایکلسون ـ مورلی را معمولن نخستین شاهد قوی برای رد نظریه‌ی اِتر می‌دانند. این آزمایش نشان داد که سرعت نور در جهات مختلف، تحت تاثیر حرکت زمین نیست. این نتیجه، از نظر تجربی دلیل قاطعی بود علیه موجودیت اِتر (یا اتیر) که وجودش برای انتشار امواج الکترومغناطیسی لازم شمرده می‌شد."[۱۱]



تصویر ۲: نمایی از تداخل سنج[۱۱]



تصویر ۳: نمایش تصویری از مفهوم "باد اتر"[۱۲]

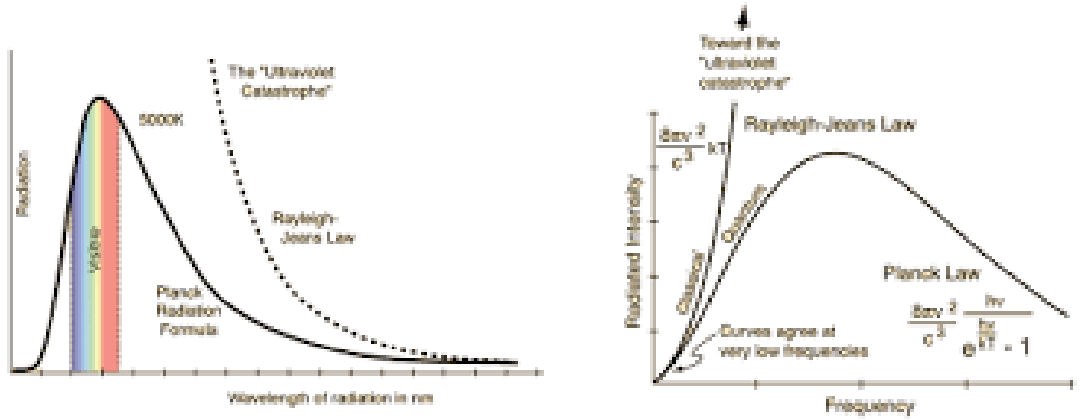
پارادوکس میان باور به وجود اِتر، لزوم آن برای انتشار امواج الکترومغناطیسی و نفی تجربی (آزمایشی) آن نیازمند توضیح علمی بود که با تحلیل انتقادی اینشتین از مفهوم‌های فضا و زمان و کنارگذاشتن مفهوم زمان مطلق بر طرف گردید.

سرشت احتمالی ـ آماری قوانین طبیعی (بخش کوانتومی)

از اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم پرسش‌ها و مسائلی در علم فیزیک بروز نمودند که پاسخ به آنها خواهان بررسی و شناخت دقیق از ساختارهای میکروسکوپیِ ماده و برهمکنشیِ ذرات با یکدیگر و میدانِ الکترومغناطیسی بود. یعنی، تحقیق روی دو دسته از ابژکت‌های فیزیک کلاسیک و برهمکنشی بین آنها که تا آن زمان شناسایی شده بودند: ماده و پرتو.

برای مثال لازم بود توضیح داده شود که چرا طیف نور گسسته است و یا چرا اصولن اتم‌ها پایدار هستند. فیزیک کلاسیک توان پاسخ به این پرسش‌ها را نداشت. هچنین مدل اتمی بور ـ زومرفلد قابل توضیح در فیزیک کلاسیک نبود. حل، تعبیر و تفسیر مسائلی از این نوع نیاز به اصول و قوانینی کاملن متفاوت از اصول و قوانین نظریه کلاسیک داشت.

مهمترین اصل و قانونی که در آن زمان در این عرصه کشف شد، قانون تابش پلانک (تصویرهای ۴و۵) بود. پلانک این قانون را در بررسی‌های نظری خود از توزیع طیف تابش الکترومغناطیسی در تعادل حرارتی با ماده (جسم سیاه) کشف نمود. طبق تعریف، جسم سیاه به جسمی گفته می‌شود که تمامی پرتوهای وارده را جذب می‌کند و تابش آن تنها تابع دمای جسم سیاه است.



تصویر۴و۵: قانون پلانک و کوانتوم؛ یک جسم سیاه تمام عیار در تعادل ترمودینامیکی همه‌ی نوری را که به آن می‌تابد جذب می‌کند و تابش آن، طبق قانون پلانک، تنها تابع دما T می‌باشد[۱۳]

ماکس پلانک، فیزیکدان آلمانی (۱۹۴۷ـ۱۸۵۸)، کاشف قانون تابش (۱۹۰۰) در همان سالِ انتشار کشف خود متذکر می‌شود که اشتقاق قانون تابش در چارچوب فیزیک کلاسیک ممکن نیست:

"توزیع شدت طیفی پرتو ساطع شده از یک جسم سیاه عبارتیست اساسی که می‌باید با روش‌های ترمودینامیک آماری از قوانین کلی برهمکنشی ماده و پرتو اشتقاق‌پذیر باشد. اما رابطه‌ای که از نظریه کلاسیک بدست می‌آید در تضاد فاحش با تجربه است."[۱۴]

اصول و قوانین جدید، گام به گام در آزمایش‌های متعدد و در طول بیش از دو دهه کشف شدند. از حدود سال ۱۹۲۵ بنای یک نظریه‌ی جدید به نام نظریه مکانیک کوانتوم که توان پاسخ به مسائل و تضادهای آشکار شده را داشت آغاز گردید. البته باید اذعان کرد که تعبیر و تفسیرهای فیزیکی و فلسفی نتایج بدست آمده از این نظریه از همان آغاز مناقشه برانگیز بود و هنوز هم کاملن منتفی نشده است.[۱۵]

شنناخت دقیق و درست از ساختار ماده در آغاز از طریق بررسی پرتوهای تولید شده از تخلیه گازهای کمیاب، یعنی پرتوهای کاتدی و کانالی، کسب گردید. و به‌درستی به‌عنوان پرتوهایی از ذرات باردار الکتریکی و کم و بیش سریع، تعبیر و تفسیر شدند. برای مثال الکترون (تامسون ۱۸۹۷ ,J. J. Thomson) به‌عنوان یک ذره از تابش کاتدی شناخته شد. و رفتار این ذره در میدان الکترومغناطیسی به‌شکل تجربی بررسی و یک نظریه کامل برهمکنشی بین الکترون‌ها و امواج الکترومغناطیسی ارائه گردید (نظریه الکترون لورنتس H. A. Lorentz). به تدریج اتم‌ها و مولکول‌ها نیز که مدت زمان طولانی تنها به‌صورت یک فرضیه‌ی کاری مطرح بودند به‌عنوان واقعیتی غیرقابل انکار پذیرفته شدند.[۱۰]

با کشف رادیواکتیویته فصل جدیدی در علم فیزیک گشوده شد که امکان بررسی ساختار و خواص هسته‌ی اتم‌ها را می‌داد. در این رابطه در مقاله‌ی 'مفهوم ماده در فلسفه و علم'[۱۶] می‌خوانیم:

"با کشف مواد رادیوآکتیو توسط آنری بکرل (Henri Becquerel، فیزیک‌دان فرانسوی، ۱۹۰۸ـ۱۸۵۲) در سال ۱۸۹۶ و تحقیقات ماریا کِوری (Marie Curi، فیزیک و شیمی‌دان لهستانی ـ فرانسوی برنده دو جایزه نوبل، ۱۹۳۴ـ۱۸۶۷) و

ارنست رادرفورد (Ernest Rutherford، فیزیکدان نیوزلندی ـ اسکاتلندی ۱۹۳۷ـ۱۸۷۱) و بسیاری دیگر امکان تبدیل عناصر شیمیائی به یکدیگر با یاری اشعه‌ی مواد رادیوآکتیو آشکار گردید. یکی از این اشعه‌های مواد رادیوآکتیو متشکل از ذراتی است به نام ذره آلفا. ذرات آلفا با انرژی بسیار بالا از مادّه‌ی رادیوآکتیو به بیرون پرتاب می‌شود. انرژی ذره‌ی آلفا در مقایسه با انرژی‌های مطرح تا آن زمان یک میلیون مرتبه بیشتر بود. فیزیک‌دان‌ها با بکارگیری این انرژی به پژوهش در باره‌ی ساختار عناصر شیمیائی پرداخته و دریافتند که اتم‌ها از یک هسته با شعاع حدود $۱۰^{-۱۳}$ سانتیمتر و بارِ الکتریکی مثبت و الکترون‌هائی در مدار آن در شعاعی حدود $۱۰^{-۸}$ سانتیمتر و با همان میزان بارِ الکتریکی اینبار اما با علامت منفی در حرکت دَوَرانی سریع هستند تشکیل شده‌اند. همترازی بارالکتریکی هسته و الکترون‌ها در مجموع اتم را نسبت به بیرون خنثی نشان می‌دهد. مقایسه شعاع هسته‌ی اتم با شعاع اتم نشان می‌دهد که شعاع هسته‌ی اتم حدود صدهزار مرتبه کوچکتر از شعاع اتم است. معنای این سخن آن است که اتم عمدتا از "فضای خالی" تشکیل شده است. برای مثال، چنانچه "فضای خالی" اتم‌ها نبودند حجم کل کره زمین کمتر از یک سانتیمترمکعب بود. در فعل‌وانفعالاتِ میان عناصر شیمیائی، الکترون‌های مدار اتم‌ها تعیین کننده هستند. شکل‌گیری مولکول‌ها، بلورها و یا ارگانیسم‌ها از طریق ترکیب الکترون‌های مدار اتم‌ها ممکن می‌گردد. اما تغییر خواص شیمیائی خودِ اتم‌ها تنها از طریق تغییر هسته‌ی آن‌ها امکان‌پذیر است. با امکان تغییر هسته‌ی اتم‌ها اکنون آرزوی دیرینه‌ی کیمیاگران صورت عملی پیدا کرده است. برای مثال، می‌توان با تغییر هسته‌ی اتم آهن یا اتم مس آن‌ها را به طلا تبدیل کرد. اگر این کار صورت نمی‌گیرد تنها به‌خاطر به صرفه نبودن چنان کاری است (نیاز به ابزار پُرهزینه و بخصوص انرژی بسیار بالا، حدود یک میلیون برابر انرژی لازم در فعل و انفعالات میان عناصر شیمیائی)." [۱۶]

برای بررسی و شناخت دقیق از ساختار اتم‌ها و اجزاءِ تشکیل دهنده‌ی آنها نیاز به انرژی‌های بسیار بالا، به‌مراتب بالاتر از انرژی ذکر شده در ذره‌ی آلفا، می‌باشد. ارزیابی نتایج آزمایش‌های مربوط به ساختار اتم‌ها عمدتن از طریق روش تحلیلی طیفی عملی است. در واقع بخش عمده‌ی بررسی‌ها و ارزیابی‌ها در تعامل بین ماده و پرتو (اشعه) در حوزه‌ی میکروسکوپی به روش تحلیلی طیفی است، یعنی در مسائلی مانند جذب و انتشار نور (absorption , emission) و یا پراکندگی (scattering).

پراکندگی یک پدیده‌ی فیزیکی است که برای پرتوها، مانند نور، صدا و یا ذرات متحرک رخ می‌دهد. زمانی که این امواج یا ذرات متحرک از میان ذرات ماده‌ای که در حال عبور از آنها هستند می‌گذرند واداشته (مجبور) می‌شوند مسیر حرکت خود را تغییر دهند.

برای مثال یک نظریه کامل برهمکنشی بین الکترون‌ها و امواج الکترومغناطیسی نظریه‌ایست به نام نظریه الکترون لورنتس. این نظریه امکان پیش‌بینی پدیده‌های فیزیکی مانند جذب، انتشار و پراکندگی پرتو را می‌دهد. مقایسه‌ی این پیش‌بینی‌ها با نتایج تجربی (آزمایشی) به‌وضوح تضاد با نظریه کلاسیک را نشان می‌دهند.[۱۲]

گفتیم که بررسی‌های ترمودینامیکی ماکس پلانک نشان دادند که تابش یک جسم سیاه فقط تابع دمای آن است. و توزیع شدت طیفی آن می‌باید با روش‌های ترمودینامیک آماری از قوانین کلی برهمکنشی ماده و پرتو اشتقاق‌پذیر باشد. اما در اینجا نیز، مانند نظریه الکترون لورنتس، نتیجه‌ای (رابطه‌ای) که از نظریه کلاسیک بدست می‌آید در تضاد با تجربه است.

ماکس پلانک با رها کردن قانون کلاسیک و ارائه‌ی قانونی کاملن جدید و غیرمتعارف برای آن زمان موفق می‌شود (۱۹۰۰) تضاد بین تجربه (آزمایش) و نظریه کلاسیک را برطرف کند. راه حل ارائه شده از جانب پلانک، شخصیتی که طرفدار علیت بود[۱۵]، در آغاز تنها حالت یک فرضیه را داشت:

"تبادل انرژی بین ماده و پرتو نه به‌شکل پیوسته بلکه ناپیوسته و در واحدها یا کوانتومای انرژی، گسسته و غیرقابل تقسیم (مانند بسته‌های کوچک فوتون‌ها، ح. ب.) می‌باشد. او نشان داد که کوانتومای انرژی می‌باید متناسب با فرکانس (بسامد) پرتو ν باشد ($E_\nu \sim \nu$) و توانست با تعیین ضریب مناسبی، معروف به ضریب پلانک h با ابعاد یک اثر (انرژی ضربدر زمان یا تکانه ضربدر طول)، به بیانی طیفی (قانون توزیع) دست یابد که منطبق با توزیع آزمایشی بود: $E_\nu = \mathrm{h}\,\nu$. قانون توزیع پلانک یک قانون ماکروسکوپی است که از فرضیه‌ی او با روش‌های آماری به‌دست آمده است."[۱۲]

کمیت‌های فیزیکیِ در شکل بسته‌های بسیار کوچکِ کامل و ناپیوسته وجود دارند که شکلِ خاصی از ماده را تشکیل می‌دهند، مانند ذرات فوتون و یا الکترون که نه حالت ذره‌ی کلاسیک و نه موج کلاسیک را دارند. این نوع ذرات دارای حالت دوگانه‌ی ذره ـ موج هستند. نام *نظریه کوانتوم* از جمله برخواسته از این شکل و حالت ماده است. گذر از دنیای کوانتومی به دنیای کلاسیک ناگهانی (آنی) می‌باشد. اروین شرودینگر، فیزیکدان اتریشی (۱۹۶۱ـ۱۸۸۷)، این تغییر ناگهانی را جالبترین نکته‌ی کل نظریه مکانیک کوانتومی می‌داند، **لحظه‌ی گریز از واقع‌گرایی ساده لوحانه**.[۱۷]

قوانین فیزیک کوانتوم در بسیاری موارد متفاوت از آنی است که از زندگی روزمره و فیزیک کلاسیک می‌شناسیم. مشخصه‌ی بارز قوانین این نظریه حالت احتمالی آنهاست. پیشتر گفتیم، در فیزیک کلاسیک باور بر این است که می‌توان برای مثال مکان و سرعت یک جسم را برای هر لحظه دقیقن شناخت و با در اختیار داشتن این کمیت‌ها می‌توان پیش‌بینی

کرد که جسم مربوطه در آینده کجا خواهد بود و یا در گذشته کجا بوده است. اما در نظریه کوانتوم چنین نیست. در اینجا امکان پیش‌بینی دقیق (همزمان) برای مثال مکان و زمان یک ذره را نداریم. تنها امکان، بیان احتمالی چنان کمیت‌ها می‌باشد. اینکه آیا یک ذره واقعن در زمان و مکان معینی مشاهده خواهد شد یا نه، به‌طور تصادفی مشخص می‌شود. حرکت اجسام کوانتومی از قوانین احتمالاتی پیروی می‌کند. در اینباره در مقاله‌ی 'مفهوم اندازه‌گیری در نظریه کوانتوم'[۱۸] می‌خوانیم:

"اندازه‌گیریِ اجسام کوانتومی به‌خاطرِ تاثیرپذیریشان از کوچکترین تاثیراتِ سیستمِ اندازه‌گیری از یک طرف و تاثیرگذاری همان اجسام بر سیستمِ اندازه‌گیری از طرف دیگر (به‌خاطر ظرافت و حساسیتی که می‌باید داشته باشند) منجر به تغییراتی در هر دو سیستم می‌گردد. به این معنا که کنش و واکنش میان آن دو سبب درهم‌تنیدگی و تغییراتِ بازگشت‌ناپذیرِ حالتِ هر دو سیستم می‌شود. به‌همین علت ما قادر نیستیم یک جسمِ کوانتومی را آنگونه که واقعاً هست ملاحظه کنیم."[۱۸]

این نقل قول بیان از مشخصه‌ی بارز دیگری از قوانین نظریه کوانتوم دارد که می‌گوید: در اصل دقت در اندازه‌گیری‌ها محدود است (اصل عدم قطعیت). به‌عنوان مثال، به‌دلیل برخورداری ذرات کوانتومی از خصلت دوگانه‌ی ذره و موج، هرچه مکان یک ذره با دقت بیشتری تعیین شود، همانقدر نیز تعیین سرعت آن نادقیق‌تر خواهد بود و بعکس.

در سال ۱۹۲۶ ماکس بُرن، فیزیکدان آلمانی (۱۹۷۰-۱۸۸۲)، برای ایجاد نوعی سازش میان خصلت دوگانه‌ی موجی - ذره‌ای ابژکت‌های کوانتومی "به تفسیر احتمالی به‌معنای تفسیر آماری نظریه کوانتوم (تفسیر کپنهاگی) می‌پردازد. بُرن برای این منظور از مفهوم موج احتمال (probability wawe, Ψ - Function) بهره می‌جوید. مفهوم موج احتمال که ساختار آن توسط شرایط مرزیِ تنظیمِ تست (به‌عنوان مثال، شکاف دوتایی) و اجسام کوانتومی (نوع ذره، انرژی و غیره) تعیین می‌شود فاقد معنای واقعی است. اما می‌توان به مربع دامنه‌ی موج احتمال، یعنی $|\Psi(x)|^2$ ، یک معنای واقعی نسبت داد. اینکه اندازه‌ی $|\Psi(x)|^2$ در بخشی (عنصری) از فضا متناسب است با احتمال w برای شناسایی یک ذره در این بخش از فضا. مکان‌هایی که ابژکت‌های کوانتومی در آنها شناسایی می‌شود، برای مثال در تست دوشکاف در صفحه‌ی نمایش‌گر، قابل پیش‌بینی نیستند. یعنی، مسیر حرکت ابژکت‌های کوانتومی از قوانین احتمال پیروی می‌کند. با این حال، اگر ابژکت‌های کوانتومیِ مشابه (مجموعه) زیادی با انرژی یکسان مشاهده شوند، به‌عنوان مثال توزیع فرکانس فوتون‌ها (یا الکترون‌ها، ح. ب.) در شکاف دوتایی، همان مسیر توزیع شدت (intensity distribution) محاسبه شده‌ی کلاسیک موج نور (الکترون) در شکاف دوتایی را دنبال می‌کند ."[۱۹] (این بیان در آغاز مقاله به‌صورت یک نمودار[۱] ارائه شده است.)

به بیان ساده، "احتمالِ یافتنِ ذره در یک "نقطه"ی معین متناسب است با مربع قدرِ مطلقِ تابع موج ذره در آن "نقطه": $|\Psi(\boldsymbol{r},t)|^2$. بُرن اندازه‌ی $|\Psi(\boldsymbol{r},t)|^2$ را به‌عنوان چگالی فضایی برای احتمال مشاهده‌ی ابژکت کوانتومی در مکان $\mathbf{r}$ و زمان $\mathbf{t}$ تفسیر می‌کند. یعنی، نه محل دقیق ذره بلکه چگالی احتمال آن، $|\Psi(\boldsymbol{r},t)|^2$ ، قابل پیش‌بینی است."[۲۰] ($\mathbf{r}$) فضای سه بُعدی). در واقع ماکس بُرن برای پیشبرد انگاره‌ی خود (معروف به قاعده یا قانون بُرن) در راستای ایجاد امکان پیش‌بینیِ احتمال مشاهده‌ی یک ذره‌ی کوانتومی در مکان $\mathbf{r}$ و زمان $\mathbf{t}$، از مفهوم موج به‌عنوان یک ساختار ریاضی انتزاعی و نه یک مفهوم واقعی بهره می‌جوید.

در نتیجه وقتی تنها امکان شناسایی ابژکت‌های کوانتومی، اتم‌ها و ذرات مادون اتم‌ها به‌عنوان اجزاء تشکیل دهنده‌ی ساختارها در کیهان، به‌شکل احتمال است طبیعتن مفهوم‌ها و قوانین برهمکنشی میان آنها نیز شکل احتمال دارد. به این ترتیب، ما با کیهانی سر و کار داریم که اساس آن را ذرات کوانتومی، اصل عدم قطعیت، مفهوم‌ها و قوانینی با سرشت احتمالی - آماری تشکیل می‌دهند.

نتیجه: در ابتدای مقاله اشاره‌ای داشتیم به اینکه پروسه‌های جاری در کیهان توسط دو نظریه بزرگ، یعنی فیزیک کلاسیک و فیزیک کوانتوم، توصیف می‌شوند. اما توضیحات مقاله نشان می‌دهد که فیزیک کوانتوم با اصول و قوانین احتمالی - آماری یک نظریه بنیادیست و فیزیک کلاسیک با اصول و قوانین دترمینیستی ریشه در نظریه کوانتوم دارد. اعتبار نظریه کوانتوم تاکنون در هر آزمایشی تایید شده است. اصول و قوانین این نظریه جهانشمول هستند. همه‌ی فیزیکدانان در مورد کاربرد فرمالیسم نظری کوانتوم اتفاق نظر دارند. ولیکن به‌خاطر آنکه این نظریه در بیان ریاضی خود مبتنی بر ابژکت‌های انتزاعی مانند توابع موج است، تفسیری شهودی از آن ممکن نیست. یعنی، پرسش‌های انتولوژیِ (ontology) نظریه کوانتوم را نمی‌توان با روش‌های تجربی و نظریِ فیزیک پاسخ داد. از اینرو فیزیکدانانی معتقدند که نظریه کوانتوم در اصل توصیفی انتزاعی بیش نیست. با این حال باید پذیرفت که نظریه کوانتوم تنها نظریه‌ایست که توان توصیف پدیده‌های دنیای میکروسکوپی، اتم‌ها و ذرات مادون اتم‌ها، را دارد. این نظریه در سطح بنیادی یک نظریه میدان کوانتومی است که ذرات در آن فقط برای یک زمان کوتاه حضور دارند. علت این امر اصل عدم قطعیت بین انرژی و زمان است.

مراجع

1. https://www.leifiphysik.de/quantenphysik/quantenobjekt-elektron/grundwissen/statistische-deutung

2. Hassan Bolouri, The concepts in natural laws and their meaning

۲. حسن بلوری، 'معنای مفهوم در قوانین طبیعی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه ژانویه سال ۲۰۲۳

3. Claus Kiefer, Der Quantenkosmos, S. Fischer Verlag, Frankfurt a. M., 2. Auflage, 2008

4. Hassan Bolouri, Quantum cosmos: The origin of the universe

۳. حسن بلوری، 'کیهانِ کوانتومی: منشاء هستی'، در آینده‌ی نزدیک در سایت‌های فارسی‌زبان منتشر می‌شود

5. Hassan Bolouri, The essence of the laws of nature

۵. حسن بلوری، 'چیستی قوانین طبیعی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه مارچ سال ۲۰۲۲

6. Hassan Bolouri, Method to obtain the laws of nature

۶. حسن بلوری. 'روش دستیابی به قوانین طبیعی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۲

7. Hassan Bolouri, Are the natural laws universal?

۷. حسن بلوری، 'آیا قوانین طبیعی جهانشمول هستند؟'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه ژوئن سال ۲۰۲۲

8. Hassan Bolouri, Are the laws of nature changing?

۸. حسن بلوری، 'آیا قوانین طبیعی تغییر می‌کنند؟'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه اوت سال ۲۰۲۲

9. Hassan Bolouri, Natural laws and expansion of the universe

۹. حسن بلوری، 'قوانین طبیعی و انبساط کیهان'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه سپتامبر سال ۲۰۲۲

10. Albert Messiah, Quantenmechanik Band 1, Walter de Gruter Verlag, Berlin, 1976, S.15, 18, 19

11. https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A2%D8%B2%D9%85%D8%A7%DB%8C%D8%B4_%D9%85%D8%A7%DB%8C%DA%A9%D9%84%D8%B3%D9%88%D9%86-%D9%85%D9%88%D8%B1%D9%84%DB%8C

12. https://en.wikipedia.org/wiki/Michelson%E2%80%93Morley_experiment

13. https://www.google.com/search?q=planck+law&sxsrf=ALiCzsbDoKhzL3ieMz-EM558eWytHvtVKw:1667460820200&tbm=isch&source=iu&ictx=1&vet=1&fir=gro8D159

14. Max Planck, Zur Theorie des Gesetzes der Energieverteilung im Normalspectrum, In: Physikalische Blätter, Band 4, 1948, S. 146-151 or In: Die Ableitung der Strahlungsgesetze, Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften 206, Harri Deutsch, Fankfurt am Main, 1997

15. Franco Selleri, Die Debatte um die Quantentheorie, Vieweg&Sohn, Braunschweig, 2. Auflage, 1984, S.9,

16. Hassan Bolouri, The Concept of matter in Philosophy and Science

۱۶. حسن بلوری، 'مفهوم ماده در فلسفه و علم'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۲۰

17. Erwin Schrödinger, Die gegenwärtige Situation der Quantenmechanik, In: Naturwissenschaften 23, 1935

18. Hassan Bolouri, The concept of measurement in QT

۱۸. حسن بلوری، 'مفهوم اندازه‌گیری در نظریه کوانتوم'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه ژانویه سال ۲۰۲۱

19. Max Born, Zur statistischen Deutung der Quantentheorie, Dokumente der Naturwissenschaft, Abteilung Physik, Band 1, Ernst Battenberg Verlag, Stuttgart, 1962

20. https://de.wikipedia.org/wiki/Bornsche_Wahrscheinlichkeitsinterpretation

21. Gebhard von Oppen:

۲۱. نقل قول زیر از همکارم آقای پروفسور دکتر گبهارد فون اُوپن (Gebhard von Oppen) از دانشگاه فنی برلین (TU - Berlin) در یک بحث علمی (ایمیل ۲۰۲۲/۱۰/۲۲) می‌باشد:

„Die Frage nach dem Weg oder auch nur nach einem Weg mit Unbestimmtheiten setzt voraus, dass es ein experimental verifizierbares Raumzeitkontinuum gibt. Leider ist die physikalische Welt aber nicht kontinuierlich, sondern gequantelt. Nur im Rahmen der klassischen und relativistischen Physik ist die raumzeitliche Betrachtungsweise gerechtfertigt, weil dort angenommen werden darf, dass die Objekte der Physik kontinuierlich beobachtet werden können. Dank der Quantenpostulate gibt es aber auch Quantenobjekte, die zeitweilig prinzipiell unbeobachtbar sind. Deshalb sollten die Physiker zumindest skeptisch werden, wenn auf raumzeitliche Modelle von Quantenobjekten bezug genommen wird. Für mich ist die Frage nach dem Weg eines Neutrons im Doppelspaltexperiment eine Scheinfrage.“

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx