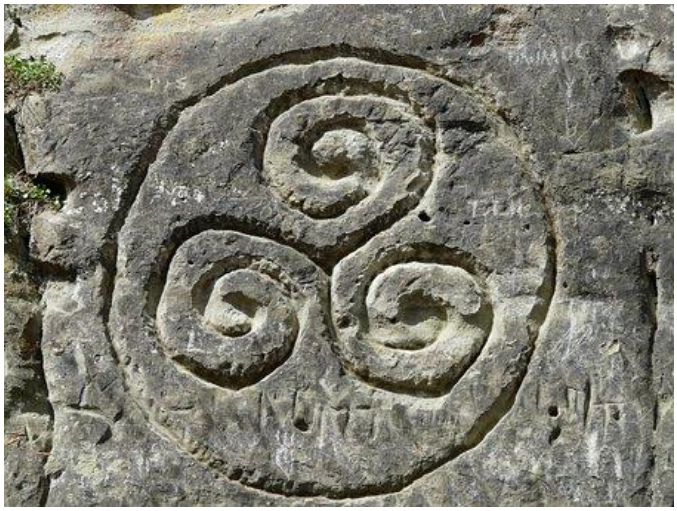
دکتر حسن بلوری برلین، ۲۰۲۳/۰۱/۲۹

معنای مفهوم در قوانین طبیعی



The concepts in natural laws and their meaning[1]

فشرده

قوانین طبیعی بر اساس داده‌های عینی و مفهوم‌های مشخصی در چارچوب یک نظریه بنا می‌شوند. در حال حاضر دو نظریه بزرگ، یعنی فیزیک کلاسیک و فیزیک کوانتوم، برای توصیف پروسه‌های جاری در کیهان وجود دارند. اما اینکه چرا دو نظریه برای یک کیهان داریم، مسئله‌ایست که به تاریخ علم، درک و تعبیر از مفهوم‌ها و کسری دانش ما برمی‌گردد. برای مثال مفهوم انرژی و یا تکانه در نظریه کلاسیک پیوسته و در نظریه کوانتوم گسسته درک و تعبیر می‌شود. این دوگانگی 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[۲و۳]، است.

نبود مفاهیم دقیق، بنای یک نظریه‌ی فراگیر بنیادیِ را پیچیده و دشوار کرده است. تلاش‌ها در این جهت تاکنون منجر به ارائه‌ی دو نظریه بزرگِ ذکر شده گشته که یکی دنیای ماکروسکوپی با قوانین دترمینیستی و دیگری دینای میکروسکوپی با قوانین احتمالی را توصیف می‌کند. به این معنا که در اولی وابستگی آشکاری میان حالتِ حال و آینده‌ی یک فرایند طبیعی در شکلِ علت و معلولی وجود دارد در حالیکه در دومی اصولن یک چنین وابستگی غیرقابل تصور است.

در این مقاله می‌خواهم پس از پیشگفتاری کوتاه به تعریفِ *مفهومِ علمی*، توضیح سرشت *مفهوم علمی* بپردازم و در ادامه با شرح مثال قانونون دوم نیوتن لزوم توسعه‌ی نظریه فیزیک کلاسیک و بنای نظریه کوانتوم در قرن بیستم را نشان دهم.

یادآوری

۱. در مقاله‌ی 'چیستی قوانین طبیعی'[۴]، به موضوعاتی مانند: لزوم داده‌های عینی، فقدان قطعیت، معلول و علت پرداختیم،

۲. در مقاله‌ی 'روش دستیابی به قوانین طبیعی'[۵]، 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؟'[۶]، قابل مشاهده نبودن و تردید در جهانشمول بودن قوانین طبیعی را توضیح دادیم.

۴. در مقاله‌ی 'آیا قوانین طبیعی تغییر می‌کنند؟'[۷]، 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'[۸]، رابطه‌ی قوانین طبیعی با انبساط کیهان را با مفهوم انتقال به سرخ توضیح دادیم.

پیشگفتار

گفتیم که قوانین طبیعی با یاری داده‌های عینی و مفهوم‌های مشخصی در چارچوب یک نظریه بنا می‌شوند. هدف از برپایی این قوانین درکِ و فهم رفتارهای قانونمندِ پروسه‌های طبیعی و واقعیت‌ها در محدوده‌ی اعتبار قوانین مربوطه است. برای این منظور نیاز به ابزارهای مناسب برای آزمایش و اندازه‌گیری دقیق جهت کسب داده‌های عینی و همچنین اطمینان از صحت یافته‌ها می‌باشد. نیاز به ابزار و آزمایش ناشی از توان ناکافی حواس پنچگانه‌ی ما در حس و درک پروسه‌های طبیعی در بیشترین موارد است. ریچارد فاینمن، فیزیکدان معروف آمریکایی (۱۹۸۸-۱۹۱۸) در این‌باره می‌گوید:

"تجربیات روزمره‌ی ما به چیزهایی اشاره دارد که در آن تعداد زیادی ذرات یا حرکت‌های فوق‌العاده آهسته یا هر شرایط خاص دیگری دخیل است و تنها بخش کوچکی را نشان می‌دهد. تجربه‌ی مستقیم تنها کسری از پدیده‌های طبیعی را آشکار می‌کند. فقط از طریق اندازه‌گیری‌های دقیق و آزمایش‌های دقیق است که می‌توانیم افق‌های خود را گسترش دهیم. اما پس از آن چیزی غیرمنتظره را می‌بینیم، بسیار دور از آنچه حدس می‌زدیم و بسیار متفاوت از هر چیزی که می‌توانستیم تصورش را داشته باشیم."[۹]

در همین رابطه لازم است به یک مسئله‌ی مهم دیگر نیز توجه داشته باشیم که در کتاب 'هشت جستار'[۱۰] در بخش 'مرزهای ادراک حسی در کسب شناخت بی‌واسطه' به آن پرداخته‌ام. در آنجا می‌خوانیم:

"ما هر نوع پدیده‌ای را از راه حس‌های پنجگانه و دستگاه ادراک خود درمی‌یابیم. ارزیابی ما از پدیده‌ها زمانی به واقعیت نزدیک است که از ساختار، عملکرد، توان و محدودیت‌های ابزار شناخت، تصوری درست داشته باشیم و آنها را همواره در مشاهدات خود منظور بداریم. در غیراین‌صورت امکان برداشت نادرست از پدیده‌ها کم نخواهد بود. برای مثال امانوئل کانت، فیلسوف بزرگ آلمانی، زمان و مکان را مفهوم‌هائی آپریوری می‌انگاشت، چراکه وی صرف‌نظر از سطح دانش زمان او، پیوند بی‌واسطه‌ی دستگاه ادراک با طبیعت را از نظر دور می‌داشت. در نگاه برایشی به حق نقش سوژه‌ی تشخیص دهنده، حاصل از تکامل، خود در ارزیابی‌ها درنظرگرفته می‌شود. ... ما اطلاعات را از طریق سیستم اعصاب دریافت می کنیم. انفورماسیون زمانی برای ما قابل درک است که ساختاری مادی داشته باشد، یعنی از انرژی و ماده تشکیل شده باشد؛ ساختارهائی که در ابعاد بسیار کوچک از انبوهی از ذرات ... تشکیل شده‌اند."[۱۰]

تعریفِ مفهومِ علمی

مقوله‌ی مفهوم در واژه‌شناسی معنای 'آنچه مورد فهم واقع شده است' را دارد. در فلسفه و به‌عنوان مثال برای ارسطو مفهوم معرف برداشت‌های حسی است.

گفتیم، لازم است نقش سوژه‌ی تشخیص دهنده در تعریف مفهوم‌ها در نظرگرفته شود. به این معنا که آگاه باشیم دستگاه ادراک ما (مغز آدمی) فقط یک دریافت کننده، یک سیستم غیرفعال (passive) نیست. بلکه درست برعکس، این سیستم در ارتباط با محیط مدام در حال تحول و توسعه است و در تشخیص و تعریف مفهوم‌ها نقش تعیین کننده دارد.

مقوله‌ی مفهوم معمولن در شکلِ مفهوم جزئی و کلی و یا سنتی (عرفی) و کارشناسی (علمی، تخصصی) تعریف می‌شود.[۱۱] ما در اینجا تنها مفهومِ علمی (تخصصی) را مدنظر داریم. پیش از ارائه‌ی تعریف مفهومِ علمی لازم است به این هوشتار آلبرت اینشتین توجه کنیم که در باره‌ی مفهوم و دستگاه‌های مفهومی می‌نویسد:

"مفهوم‌ها و دستگاه‌های مفهومی تنها زمانی محق‌اند که بیان جامعی از رویدادها باشند؛ مشروعیت دیگری برای آنها وجود ندارد. بدین خاطر معتقدم یکی از بدترین کار فیلسوفان آن بوده که مفهوم‌هائی اساسی از علوم طبیعی را که به لحاظ تجربی قابل کنترل هستند به جایگاهی غیرقابل دسترسی (آپریوری) رسانده‌اند."[۱۲]

تعریف مفهومِ علمی: مفهومِ علمی یا تخصصی بر اساس انتخاب یک گروه یا یک دسته از ابژکت‌ها که از لحاظ خاصی به یک نوع رفتار می‌کنند و با یک مشخصه تعیین می‌شوند، تعریف می‌شود. این تعریف امکان تفکیک مفهوم‌ها از یکدیگر را توسط مشخصه‌های تعیین شده می‌دهد. با این همه لازم است میان مشخصه‌های گوناگون که برای تعریف مفهوم‌ها تعیین می‌شوند و مشخصه‌هائی که برای کلاسه‌ای از گروه‌ها وجود دارند تفکیک قائل شد. به این دلیل که مشخصه‌های کلاسه‌ای از گروه‌ها برای تعریف مفهومِ علمی ضروی نیستند.

برای مثال مفهومِ پستانداران را در نظرمی‌گیریم. پستانداران را می‌توان از مابقی جانوران مانند پرندگان تفکیک کرد و گفت پستانداران جانورانی هستند که توسط مادرانشان شیر داده می‌شوند. البته ما می‌دانیم که پستانداران در کنار این ویژگی یک سری ویژگی‌های دیگر مانند خونگرم بودن را نیز دارند. اما این‌ها تنها شامل پستانداران نمی‌شوند بلکه در جانوران

دیگر مانند پرندگان نیز مشاهده می‌شود. بی‌تردید از این نوع مفهوم‌ها نیز می‌توان برای تفکیک پستانداران از سایر جانوران استفاده نمود. ولیکن برای تعریف مفهوم پستانداران ضروری نیستند.[۱۳]

سِرشتِ مفهومِ علمی

ارسطو (۳۲۲-۳۸۴ پ. م.) و مفهومِ حرکت: ارسطو معتقد بود هر چیزی که حرکت می‌کند حرکت آن یا ذاتیست یا توسط نیروی بیرونی و یا با اراده‌ی آزاد او اتفاق می‌افتد. برای مثال افتادن (سقوط) سنگ، بالا رفتن (صعود) دود و یا حرکت یک ارابه توسط نیروی بیرونی. او همچنین معتقد بود که اجسام با سرعت ثابت سقوط می‌کنند. این نظر ارسطو تا قرن هفدهم، یعنی نزدیک به ۲۰ قرن، معتبر شناخته می‌شد.

گالیله: (۱۶۴۲-۱۵۶۴) نظر ارسطو را در باره‌ی معنا و مفهومِ حرکت و تصور او از سقوط اجسام با سرعت ثابت نادرست دانسته و آن را به شکل تجربی (آزمایشی) نیز نشان داده. در این‌باره در مقاله‌ی 'قلهٔ اندیشیدن علمی'[۱۴] می‌خوانیم:

"گالیله: بطور تجربی (آزمایشی) نشان داده که نظر ارسطو صحت ندارد و اجسام نه با سرعت ثابت بلکه با شتاب ثابت سقوط می‌کنند. او اندازه‌ی این شتاب را ۹٫۸ متر در مربعِ ثانیه می‌سنجد. این اندازه شتاب به‌معنای آن است که در هر ثانیه ۹٫۸ متر به سرعتِ سقوطِ اجسام افزوده می‌شود. این بیان را می‌توان این‌گونه فرمولبندی ریاضی نمود: $h = ½ g . t^2$ (h ارتفاع، g شتاب و t زمان)."[۱۴]

نیوتن (۱۷۲۶-۱۶۴۲) و مفهومِ حرکت: نیوتن حرکت را در چارچوب یک نظریه‌ی علمی معروف به مکانیک کلاسیک تعریف می‌کند. این نظریه بر اساس پیش‌فرض‌هائی بنا شده است که در اصل حقیقت ندارند: فضای مطلق و زمان مطلق با باور به امکان اندازه‌گیری دقیق کمیت‌های طبیعی. البته این گفته به‌هیچ‌وجه از ارزش و اهمیت کار نیوتن نمی‌کاهد. چراکه در آن زمان (قرن هفدهم) تجربه و دانش بشر در بهترین حالت در همان سطحی بود که نیوتن در کتاب خود ارائه نمود. در واقع مکانیک نیوتنی اولین نظریه‌ی علم فیزیک برمبنای پیش‌فرض‌ها، داده‌های تجربی و منطق ریاضی پس از حدود ۲۱قرن تاریخ علم هندسه‌ی اقلیدسی، یعنی بیش از ۳قرن پیش، کار بزرگ و شگرفی در تاریخ بشر و علم محسوب می‌شود. نیوتن کتاب معروف خود تحت عنوان 'اصول ریاضی فلسفه طبیعی'[۱۵] را در سه بخش عمده ارائه می‌دهد که در دو بخش اول به‌طور مفصل از حرکت اجسام و در بخش سوم در باره‌ی سیستم جهانی (from world system) بحث می‌کند. در واقع نیوتن در کتاب خود با توضیح حرکت ذره (نقطه‌ای) اساس مکانیک کلاسیک را بنا می‌نهد.

نیوتن در کتاب مزبور در بخشِ 'در باره‌ی حرکت اجسام' در پاراگرافِ اول که محتوای آن با نظر گالیله در باره‌ی مفهوم حرکت هم‌خوانی دارد، می‌نویسد:

"قضیه: جسمی که متناسب با سرعت خود مقاومتی متحمل می‌شود بخشی از حرکت (نیرو، انرژی؛ ح. ب.) خود را متناسب با مسافت طی شده از دست می‌دهد."[۱۵]

ارائه‌ی اولین و جامع‌ترین نظریه‌ی علم فیزیک تا آن زمان از جانب نیوتن نه تنها راه را برای پیشرفت‌های علمی و فنی گشود بلکه فلسفه را نیز بشدت تحت تاثیر قرار داد و فیلسوفان بزرگی را به چرخه‌ی خود کشاند. برای مثال امانوئل کانت (۱۸۰۴-۱۷۲۴) در کتاب 'نقد خِرَد ناب' در باره‌ی فضا و زمان می‌نویسد:

"فضا یک تصور ضروری، آپریوری (پیشاتجربی)، زیربنای همه‌ی نماهای بیرونی است. هرگز نمی‌توان تصوری از نبودِ فضا داشت، اما می‌توان تصور کرد که فضا تهی از اشیاء باشد. زمان یک مقوله‌ی تجربی نیست که بنحوی از تجربه مشتق شود. زمان، آپریوری داده شده است. ما می‌توانیم به‌گوئیم: این را تجربه به ما می‌آموزد، اما نه آن‌که چنین می‌بایستی باشد."[۱۶]

در همین رابطه اینشتین در نامه‌ای به دوست دیرینه‌ی خود ماکس بورن در باره‌ی نظریه‌ی آپریوری کانت می‌نویسد:

"من دارم کم کم تاثیر عظیم تلقین‌آمیزی که از این آدم ـ کانت ـ برخاسته درک می‌کنم. به‌محض تایید آپریوری آرای ساختگی او، اسیر می‌شوی."[۱۷]

مفهوم‌های مکانیک نیوتنی (به‌طور کلی فیزیک کلاسیک) چیزی را به ما القا می‌کنند که اصولن به آن شکل و صورت وجود ندارند. برای مثال مسیر محاسبه شده‌ی حرکت یک جسم را با مسیر طی شده‌ی واقعی یکی می‌داند. مشابه این وضع را ما در مورد اندازه‌ی کمیت‌های انرژی، تکانه، مکان، زمان، شتاب و ...، شاهدیم. به این معنا که باورمان شده که قادریم این کمیت‌ها را به‌طور دقیق اندازه‌گیری کنیم. آیا براستی این چنین است؟ به دلایلی که در زیر توضیح داده خواهد شد پاسخ این گونه پرسش‌ها منفی است. با این همه وضع موجود مانع از پیش‌روی نظریه‌ی نیوتن در بخش‌های مختلف علمی ـ فنی

مانند مکانیک، آکوستیک، اُپتیک، الکترومغناطیسم، ترمودینامیک و برای مثال ماشین بخار نشد. در عین حال موفقیت‌های رو به افزون این نظریه در طول زمان به‌ویژه در بخش کاربردی سبب یک نوع پنداشت و باور غیرواقع‌بینانه و فزونه‌گوئی (اغراق) در توان آن، هم در علم و هم در فلسفه، گردید. این وضع تا اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، یعنی تا زمان نمایان شدن ضعف‌ها و ناتوانی نظریه نیوتن در توضیح پدیده‌های مشاهده شده مانند 'سرعت انتشار محدود و یا 'پایداری اتم‌ها' ادامه داشت.

پیش از ادامه‌ی مطلب نگاهی داریم به قانون دوم نیوتن به‌عنوان یک مثال از قوانین مکانیک کلاسیک (به‌طور کلی از فیزیک کلاسیک). به این معنا که می‌خواهیم با شیوه‌ی بنای این قانون توسط مفهوم‌های مشخصی در چارچوب نظریه مکانیک کلاسیک آشنا شویم. و در ادامه با شناخت از سرشتِ آماری مفهوم‌های بکارگرفته، آماری بودن قانون دوم نیوتن را (به‌عنوان یک نمونه از قوانین طبیعی) دریابیم.

قانون دوم نیوتن

قانون دوم نیوتن بیان از یک رابطه‌ی خاص میان '**اندازه‌ی حرکت**' و نیرو دارد. تعریف ساده‌ای که معمولن در ابتدای آشنایی با مکانیک نیوتن از این قانون ارائه می‌شود عبارت است از:

نیروی (نیروهای) $\vec{F}$ وارد شده بر یک جسم برابر است با حاصل‌ضربِ جرم جسم m در شتابِ آن $\vec{a}$ ، یعنی $\vec{F} = m\vec{a}$. در اینجا جرم جسم m یک ضریب ثابت، در یک سیستم لَختی (inertial system)، تصور شده است. در این‌صورت شتابِ جرم جسم m نسبت مستقیم با نیروی وارد شده بر آن دارد. یعنی، هرچه نیرو بیشتر باشد به‌همان میزان نیز شتاب بیشتر است و بعکس.

این بیان ساده از قانون دوم نیوتن که در بسیاری موارد از آن بهره جسته می‌شود و کارساز نیز می‌باشد فقط در یک حالت ویژه می‌تواند درست باشد و آن وقتیست که جرم جسم متاثر از حرکت نباشد، یعنی اندازه‌ی آن در حین حرکت ثابت بماند و یا تغییر آن قابل چشم‌پوشی باشد. اما اینکه آیا اصولن جرم جسم m در حین حرکت ثابت می‌ماند یا خیر، پرسشی است که تا اوایل قرن بیستم نه مطرح بود و نه قابل توجه محسوب می‌شد. در سال ۱۹۰۵ اینشتین نشان داد که اندازه‌ی جرم جسم m در حین حرکت ثابت نمی‌ماند بلکه متناسب با سرعت جسم افزایش می‌یابد. ولیکن چرا و معنای آن چیست؟

در اینجا مطلب در باره‌ی قانون دوم نیوتن را پیگیری می‌کنیم. نیوتن برای بنای قانون دوم کمیتی به نام ***اندازه‌ی حرکت*** $m\vec{v}$ (m جرم جسم و $\vec{v}$ سرعت آن) را در نظر می‌گیرد و تغییرات این کمیت در زمان t را برابر با نیروی $\vec{F}$ وارد شده بر آن جسم می‌داند. به عبارت دیگر، نیرو برای نیوتن برابر است با مشتق *اندازه‌ی حرکت* $m\vec{v}$ یا تکانه $\vec{p} = m\vec{v}$ نسبت به زمان t ، یعنی $\vec{F} \sim d(m\vec{v}) / dt$ و یا $\vec{F} \sim d\vec{p} / dt$ (علامت $\rightarrow$ بالای مفهوم‌های نیرو، سرعت و شتاب نشان از برداری، جهت‌دار، و همسو بودن این کمیت‌ها و علامت $\sim$ از تناسب دو کمیت $\vec{F}$ و $d\vec{p} / dt$ دارد. نیرو برای نیوتن علت شتاب است و شتاب معیاری از نیروی عامل.)

قابل توجه است که این تعریف امکان توضیح علت شتاب‌های (نیروهای) گوناگون، برای مثال شتاب بر اثر حضور اجسامی با بارالکتریکی یا اجسامِ مغناطیسی و ...، را نیز می‌دهد. در واقع ایده‌ی بزرگ نیوتن در تعریف نیرو با بهره‌جوئی از مفهوم *اندازه‌ی* حرکت سوای امکان توضیح فرایندهای حرکتی مختلف بر اثر منابع مختلف، امکان بنای یک نظریه دینامیک واحد که در زمینه‌های گوناگون فیزیک کارائی دارد را نیز می‌دهد.[۱۸]

به‌طور خلاصه: در قانون دوم نیوتن بحث بر سر مشتقِ *اندازه‌ی* حرکت نسبت به زمان است. در اینجا سخنی از جرم جسم و ثابت بودن یا نبودن آن در میان نیست. آنچه در واقع مورد نظر نیوتن است مشتقِ *اندازه‌ی* حرکت $m\vec{v}$ یا تکانه $\vec{p}$ نسبت به زمان در شکل تناسب دیفرنسیالیِ ذکر شده می‌باشد. در صورتی‌که ضریب این تناسب برابر با ۱ در نظرگرفته شود می‌توان آن را به شکل معادله‌ی دیفرنسیالی $\vec{F} = d\vec{p} / dt$ نوشت. این معادله تنها زمانی همسان معادله‌ی ذکر شده در بالا، یعنی $\vec{F} = m\vec{a}$ ، است که جرم جسم m در طول حرکت ثابت باشد. "ثابت بودن جرم یک فرضِ اساسیِ ضمنی مکانیک کلاسیک می‌باشد. با این همه در مکانیک کلاسیک هم مواردی وجود دارند که جرم جسم m در آنها را نمی‌توان یک کمیت ثابت تلقی کرد، برای مثال در حرکت یک موشک. در این نوع موارد لازم است به‌جای معادله‌ی $\vec{F} = m\vec{a}$ از بیان نیوتن $\vec{F} \sim d\vec{p} / dt$ یا $\vec{F} = d\vec{p} / dt$ استفاده کنیم. در اینجا نوع بیان نیوتن صحت خود را به اثبات می‌رساند."[۱۸]

حلِ معادله‌ی دیفرنسیالی $\vec{F} = d\vec{p} / dt$ ، یعنی تعیین انتگرال آن، نشان می‌دهد که تغییر *اندازه‌ی* حرکت در فاصله‌ی زمانی $t_2 - t_1$ مساوی با انتگرال زمانی نیرو، یعنی $\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$ ، است.

توسعه در دو راستا

آزمایش‌های دقیق و بررسی‌های مبانی نظری مکانیک کلاسیک (مکانیک تحلیلی کلاسیک) در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم نشان دادند که قوانین این نظریه نمی‌توانند به شکل نامحدود معتبر باشند و لازم است در موارد خاصی توسعه یابند.[۱۸] شواهد بدست آمده، توسعه‌ی مکانیک کلاسیک را در دو جهت ضروری می‌نمودند: ۱. در راستای اجرام کیهانی و سرعت‌های بالا (مکانیکِ سمایی celestial mechanics و مکانیکِ نسبیت relativity mechanics) و ۲. در راستای ابژکت‌های کوچک در سطح اتم‌ها و مادون اتم‌ها (quantum mechanics و quantum field theory). نظریه‌های ارائه شده در این رابطه به نظریه نسبیت (نظریه نسبیت خاص و نظریه نسبیت عام)[۱۹] و نظریه کوانتوم[۲۰] معروف هستند.

به دلیل پیش‌فرض‌های غیرواقعی در بنای نظریه مکانیک کلاسیک، یعنی مفهوم فضای مطلق، مفهوم زمان مطلق و باور به امکان اندازه‌گیری دقیق کمیت‌ها، اصولن این نظریه چارچوب مناسبی برای بیان پدیده‌های طبیعی به‌معنای واقعی‌شان نیست. با این‌همه در صورت چشم‌پوشیِ (آگاهانه و یا ناآگانه) از دقتِ عمل در اندازه‌گیری کمیت‌ها از سطح خاصی به بالا (از سطح مافوق اتم‌ها) تا آن اندازه که برای پیشبرد مسائل ضروری و کافیست می‌توان با یاری مکانیک کلاسیک پدیده‌های بیشماری را توضیح داد. از این روش راه‌گشا و کارساز نه تنها در مکانیک کلاسیک بلکه به‌طور کلی در فیزیک کلاسیک برای توضیح پدیده‌های طبیعی در بخش‌های مختلف علمی و علوم فنی به‌طور گسترده استفاده می‌شود. در واقع آنچه را که ما از دنیای کلاسیک می‌شناسیم بیشتر حاصل از بکارگیری این روش است.

روش ذکر شده اما به‌هیچ‌وجه در فیزیک کوانتوم، یعنی در سطح اتم‌ها و مادون اتم‌ها، کارایی ندارد. نظریه کوانتوم عرصه‌ی کمیت‌های بنیادیست. در اینجا نیاز به اندازه‌گیری هرچه دقیق‌تر کمیت‌ها می‌باشد. موضوع اندازه‌گیری در دنیای کوانتوم، صرف نظر از پیچیدگی و دشواری‌های فنی و بیان ریاضی آن، خود یکی از مسائل مهم و در عین حال مورد مناقشه در فیزیک و فلسفه است.[۲۰و۲۱] در مقاله‌ی 'مفهوم اندازه‌گیری در نظریه کوانتوم'[۲۲] در این‌باره می‌خوانیم:

"اندازه‌گیری را می‌توان از نظر مفهومی به دو بخش یا سطح تقسیم نمود: مفهومِ کلاسیکیِ اندازه‌گیری و مفهومِ کوانتومیِ اندازه‌گیری. مهم‌ترین فرقِ این دو از هم به نقشِ مفهومِ احتمال در آن‌ها برمی‌گردد. در مفهومِ کلاسیکی تصور ما براین است که ارزشِ اندازه‌گیری (Messwert, measured value) پیش از اندازه‌گیری تعریف شده است، امکان اندازه‌گیری دقیق وجود دارد و تکرار آن همواره به نتیجه‌ی یکسانی می‌انجامد (البته با ملاحظه‌ی دو خطای به اصطلاح قابل چشم‌پوشیِ سنجشگر و سیستمِ اندازه‌گیری). یعنی، برای این حالت 'مفهومِ احتمال' معنا و نقش تعیین کننده ندارد. اما درست عکس این حالت را ما در اندازه‌گیری‌های کوانتومی شاهد هستیم. به این معنا که در اینجا همواره صحبت از احتمال است. یعنی، مفهوم احتمال در دنیای کوانتوم تعیین کننده و جزو ذات آن محسوب می‌شود.... برای بیان و توضیح پدیده‌های کوانتومی نیاز به مفهوم‌های خاصی، مانند مفهوم ناهمدوسی[۲۱] است. ... با مفهوم‌های صرفاً کلاسیک نمی‌توان پدیده‌های کوانتومی ... را درک و بیان کرد. ... البته ممکن است ما فکر کنیم مشکلی با مفهوم اندازه‌گیری نداریم و قرن‌هاست که با آن آشنا هستیم. اما لزوماً چنین نیست. ... اشتباهی که فیزیکدانان نامداری نیز مرتکب شدند. اصلاح این اشتباه که با بنیادی‌ترین مسائل و مفهوم‌های فیزیک و معرفت‌شناسی رابطه‌ی مستقیم دارد از نیمه‌ی دوم قرن بیستم آغاز شده است."[۲۲]

مطلب مهم دیگر در رابطه با مفهوم اندازه گیری در نظریه کوانتوم مربوط می‌شود به کنش و واکنش میان ابزار اندازه‌گیری و شئ مورد بررسی. تاثیر ابزارِ اندازه‌گیری بر حالتِ شئ مورد بررسی در دنیای کلاسیک را می‌توان ناچیز شمرد ولیکن نه در محدوده‌ی اتم‌ها و ذرات مادون اتم‌ها (در دنیای کوانتوم). چراکه در اینجا تاثیرِ ابزارِ اندازه‌گیری بر ذرات قابلِ اغماض نمی‌باشد. اندازه‌گیریِ اجسام کوانتومی به خاطرِ تاثیرپذیریشان از کوچکترین تاثیراتِ سیستمِ اندازه‌گیری از یک طرف و تاثیرگذاری همان اجسام بر سیستمِ اندازه‌گیری از طرف دیگر (به خاطر 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 ذره‌ی کوانتومی را آنگونه که واقعاً هست ملاحظه کنیم! البته در این‌باره میانِ فیزیکدان‌ها و فیلسوفانِ فیزیکدان اختلاف نظر وجود دارد که بیشتر شامل مسئله و مفهوم اندازه‌گیری می‌شود.[۲۲]

تلاش برای اندازه‌گیری هرچه دقیق‌تر سیستم‌های (ذرات) کوانتومی امریست لازم. اما می‌باید آگاه بود که هرچه این سیستم‌ها کوچکتر باشند به‌همان میزان نیز اندازه‌گیری کمیت‌ها دشوارتر و نتایج نامشخص‌تر است. در این عرصه نیاز به ابزارهای (دستگاه‌های) اندازه‌گیری پیچیده، قوی و پرهزینه می‌باشد. برای مثال می‌توان تصور کرد که سنجش دقیقِ بزرگیِ هسته‌ی اتم‌ها در محدوده‌ای به مراتب کوچکتر از سطح خود اتم‌ها (حدود $۱۰^{-۱۰}$متر)، مانند اندازه‌گیری قطر هسته‌ی اتمِ هلیوم برابر با $۱۰^{-۱۵}$متر،[۲۳] تا چه میزان دشوار است. یعنی، اندازه‌گیری کمیتی برابر با صفر ممیز چهارده صفر و سپس عدد یک (۰،۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱) که بی‌تردید همراه با درجه‌ی مشخصی از نامعلومی می‌باشد.

مراجع

1. https://pixabay.com/de/images/search/bedeutung/

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

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

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

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

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

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

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

6. Hassan Bolouri, Are the natural laws universal?

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

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

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

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

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

9. Richard P. Feynman, Vom Wesen physikalischer Gesetze, Piper Verlag, München, 1990, S.157

10. Hassan Bolouri,

۱۰. حسن بلوری هشت جستار در باره‌ی 'فضا، زمان، ماده و مرزهای ادراک حسی'، نشر هزاره‌ی سوم، زنجان ۱۳۹۷، ص ۱۷۱

11. https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%81%D9%87%D9%88%D9%85

12. Albert Einsrein, Grundzüge der Relativitätstheorie, 7. Auflage, Akademie Verlag, Berlin, 1969, S. 6

13. Robert Rompe, Hans-Jürgen Treder, Zur Grundlegung der Theoretischen Physik, Beiträge von H. v. Helmholtz und H. Hertz, WTB band 284, Akademie-Verlag. Berlin, 1984, S. 19

14. Hassan Bolouri, Peak of Scientific thinking

۱۴. حسن بلوری. 'قلهٔ اندیشیدنِ عِلمی' منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه سپتامبر سال ۲۰۲۱

15. Isaac Newton, Mathematische Prinzipien der Naturlehre, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1963, S. 230

16. Immanuel Kant, Kritik der reinen Vernunft, Verlag Philipp Reclam jun., Leipzig, 1979, S. 96, 103

17. A. Einstein - M. Born, Briefwechsel 1916-195, Edition Erbrich, Frankfurt, 1982

18. A. Budo', Theoretische Mechanik, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1978, S. 33, 35

19. Hassan Bolouri, The Concept of Space

۱۹. حسن بلوری، 'مفهوم فضا' منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه ژوئیه سال ۲۰۲۰

20. Hassan Bolouri, Quantum and Philosophy

۲۰. حسن بلوری، 'کوانتوم و فلسفه'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۱۹

21. Hassan Bolouri, The Concept of Coherence and Decoherence

۲۱. حسن بلوری، 'مفهوم همدوسی و ناهمدوسی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه دتسامبر سال ۲۰۲۰

22. Hassan Bolouri, The concept of measurement in QT

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

23. Emilio Segre, Nuclei and Particles, W. A. Benjamin, New York, Amsterdam, 1965, S. 198

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx