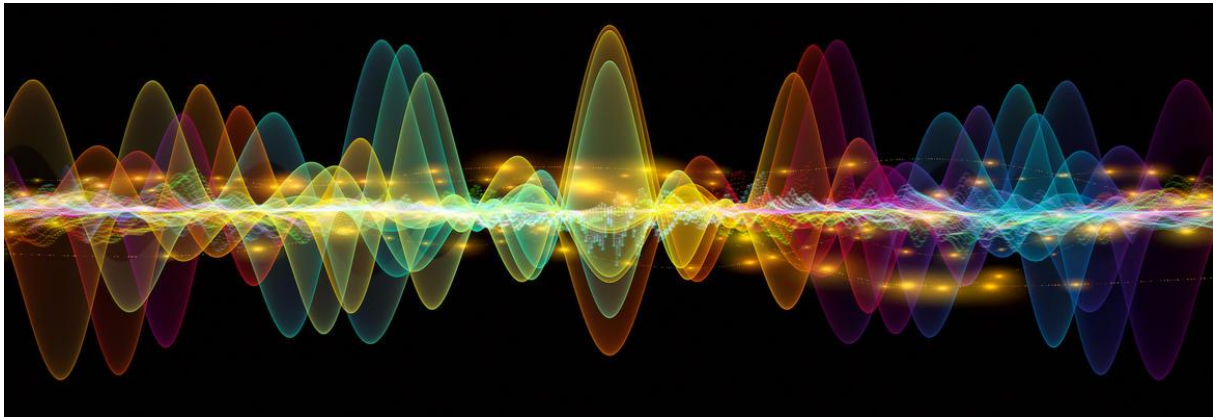


## چیستی قوانین طبیعی



The essence of the laws of nature

Reality is just a quantum wave function<sup>1</sup>

### فشرده

تاریخ علم نشان می‌دهد که دستیابی به قوانین طبیعی از طریق تجربه و آزمایش امکان‌پذیر است. پیش از کشف قوانین طبیعی اتفاق فلسفی خاصی نمی‌افتد. یعنی، تعبیر و تفسیرهای فلسفی قوانین طبیعی پس از دستیابی به آن قوانین مطرح می‌شوند. به همین خاطر یکی از مسائل مهم برای فلسفه بررسی و به چالش کشیدن چگونگی دستیابی به قوانین طبیعی است.

مسئله مهم دیگر چیستی قوانین طبیعی است که هم برای علم فیزیک و هم برای دانش فلسفه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. بی‌تردید پاسخ به چیستی قوانین طبیعی امر ساده‌ای نیست. به‌ویژه به این دلیل که از زمان ظهور نظریه کوانتوم در قرن بیستم نگاه علت و معلولی به امور، یعنی اصل علت که کانت آن را یک اصل وحدت‌بخش در تفکر در باره‌ی پدیده‌ها می‌دید<sup>۲</sup>، در بنیادی‌ترین کنش و واکنش‌های طبیعی مورد تردید است. همین مطلب پاسخ به چیستی قوانین طبیعی را دوچندان دشوار می‌کند. با این حال هیچ راهی جز تلاش برای یافتن پاسخ عینی و منطقی به پرسش چیستی قوانین طبیعی وجود ندارد. از جمله و به‌ویژه به این خاطر که مدعی هستیم که قوانین طبیعی توان انعکاس درست کنش و واکنش‌های جاری در طبیعت، یعنی حقیقت، را دارند. ما حتا در این ادعا تا آنجا پیش می‌رویم که معتبر بودن قوانین طبیعی را که عمدتاً از محدوده‌ی کیهانی خود کسب نموده‌ایم به کل گیتی گسترش می‌دهیم.

در رابطه با قوانین طبیعی مسائل و پرسش‌های مهم دیگری نیز مطرح هستند که لازم است به تک تک آنها پرداخته شود. از جمله این پرسش‌ها: اصولاً چرا قوانین طبیعی معتبر شناخته می‌شوند؟ قوانین طبیعی تا چه حد جهان‌شمول هستند؟ آیا قوانین طبیعی در طول زمان ثابت می‌مانند و یا تغییر می‌کنند؟

روشن است که هر نوع پاسخی به هر یک از این پرسش‌ها می‌باید از جانب فیلسوفان آشنا با علوم طبیعی، شیوه کار و نوع استدلال این علوم به چالش کشیده شود.

سعی می‌کنم مسائل نامبرده را در یک سلسله مقالات توضیح دهم. در مقاله حاضر می‌خواهم به مسئله 'چیستی قوانین طبیعی' بپردازم.

### پیشگفتار

هدف و محتوای علوم طبیعی را می‌توان در تلاش برای کشف قوانین طبیعت خلاصه کرد. ما توسط این قوانین به شیوه‌ی عملکرد طبیعت پی‌می‌بریم و با بهر‌مجویی از آنها علوم فنی را بنا می‌کنیم. اما لازم است آگاه باشیم که چنان دست‌آوردهائی بر مبنای یک فرض که سخت با پرسش چیستی قوانین طبیعی در رابطه است بنا شده است. این‌که ما در تلاش خود عملاً

فرض را بر آن گذاشته‌ایم که طبیعت قابل فهم است. انسان همواره در طول تاریخ، آگاهانه یا ناآگاهانه، قابل فهم بودن جهان (گیتی) را مفروض دانسته و بر پایه آن پرسش مطرح کرده است. برای مثال، افلاطون و ارسطو با این پرسش که طبیعت چگونه عمل می‌کند خواسته یا ناخواسته فرض را بر قابل فهم بودن طبیعت گذاشته‌اند. در غیر این صورت آنها چگونه می‌توانستند انتظار پاسخی از جانب طبیعت داشته باشند. آلبرت اینشتین در این باره یک قدم جلوتر رفته و می‌گوید: "در حقیقت غیر قابل فهم‌ترین چیز جهان آنست که ما آن را می‌فهمیم."<sup>۳</sup>

ما نیز در اینجا با فرض قابل فهم بودن جهان مطالب خود را بیان می‌داریم. فهم چیستی قوانین طبیعی با قابل فهم بودن جهان گره خورده است. بدون قبول این مهم بحث در باره‌ی چیستی قوانین طبیعی چه معنایی می‌تواند داشته باشد؟ دقیقاً به همین دلیل لازم است که فیلسوفان آشنا به علوم طبیعی هر چه بیشتر به این موضوع بسیار مهم پرداخته و پرسش‌ها و تردیدهای خود را در ارتباط با روش و یافته‌های علمی، به‌ویژه توسط نظریه کوانتوم، بیان دارند.

روشن است که قوانین طبیعی را نمی‌توان صرفاً از طریق فکر کردن بدست آورد. برای کشف آنها لازم است طبیعت را با طرح پرسش‌های حساب شده و سنجیده (آزمایش) در چارچوب یک نظریه به پاسخگویی (به واکنش) واداشت و از این طریق به نتایج عینی دست‌یافت. البته، هستند دانشمندان و فیلسوفانی که با این شیوه و نتایج حاصل از آن موافق نیستند، زیرا آنها بر این باورند که در پس قوانین طبیعی امری ضروری نهفته است که با روش ذکر شده نمی‌توان به آن دسترسی پیدا کرد. اما این دیدگاه به وضوح در تضاد با خود است و لازم می‌نماید که آنها به این پرسش پاسخ دهند: قوانین طبیعی چگونه می‌توانند همزمان ضروری و مشروط باشند؟

ناگفته روشن است که برای بررسی و پاسخ به پرسش چیستی قوانین طبیعی می‌باید پیش از همه آنها را در اختیار داشت. این که قوانین طبیعی چگونه بدست می‌آیند خود مسئله‌ایست مجزا، پیچیده و نیازمند مطالعه در مقاله‌ای جداگانه. ما در این مقاله از این نکته حرکت می‌کنیم که قوانین طبیعی را در اختیار داریم.

### استوار بر داده‌های عینی

قوانین طبیعی بیان از رویدادهای عینی، روابط میان آنها و ساختارهای ریز و درشت طبیعت و کل گیتی دارند. به عبارت دیگر، قوانین طبیعی بیان روابط کمی فرموله شده میان رویدادهای مشاهده (یا حدس زده) شده در طبیعت هستند. بی‌شک پدیده‌ی حیات نیز در همین راستا قرار دارد و فرگشت (تکامل) در آن نقش تعیین کننده بازی می‌کند. حیات با قوانین علم زیست‌شناسی (قوانین فیزیک سیستم‌های زنده) که در نهایت ریشه در علم فیزیک دارند توضیح‌پذیر است.

قوانین طبیعی به زبان فرمال (به زبان ریاضی) بیان می‌شوند (در شکل معادلات)، اما در اینجا نیز همچون در مورد مسئله‌ی فهم جهان، فرض ما بر آنست که اصولاً زبانی به نام زبان ریاضی وجود دارد<sup>۴</sup> و قادر است واقعیت‌های طبیعی را در یک سلسله روابط منطقی "به‌تصویر" کشد! با آگاهی به این امر که زبان ریاضی قواعد خاص خود را دارد و بر اساس گزاره‌ها بنا شده است.<sup>۵</sup> اما گزاره‌های ریاضی لزوماً نباید برگرفته از طبیعت (علم فیزیک) باشند. در نتیجه عبارات ریاضی الزاماً به معنای بیان واقعیت‌های عینی نمی‌باشند. در مقابل قوانین طبیعی فقط متکی بر داده‌های عینی و روابط میان آنها برگرفته از طبیعت هستند و این یکی از ویژگی‌های مهم قوانین طبیعی است. بطور خلاصه می‌توان گفت که عناصر تعیین کننده‌ی قوانین طبیعی در نهایت انرژی و کنش و واکنش‌های میان بخش‌های گوناگون آن می‌باشند. این دو عنصر حرف اول و آخر را می‌زنند.

### غیر قابل مذاکره و دور زدن

قوانین وضع شده از جانب انسان را می‌توان هر زمان تغییر داد و یا باطل نمود، اما قوانین طبیعی را هرگز. قوانین طبیعی خودمدار و خودگردان هستند. به این معنا که نه با آنها می‌توان به مذاکره و چانه‌زنی نشست و نه می‌توان آنها را دور زد و یا انکار نمود. یعنی، قوانین طبیعی را می‌باید همان‌گونه که هستند پذیرفت.

برای مثال پدیده یا به عبارتی قانون نور و سرعت آن را در نظر می‌گیریم. هیچ عقل سالمی حضور نور در طبیعت را نه انکار می‌کند و نه می‌تواند آن را نادیده بگیرد. در عین حال هیچ‌کس هم امکان دستکاری در سرعت آن را ندارد، یعنی نمی‌توان سرعت آن را سریع‌تر و یا کندتر کرد. مثال ساده دیگر: گرما همواره از جسم گرم‌تر به طرف جسم سردتر جاری می‌شود و نه بعکس. هرگز در طبیعت دیده نشده است که گرما از جسم سردتر به طرف جسم گرم‌تر جاری شود. در اینجا نیز طبیعت اجازه مذاکره و چانه‌زنی در شیوه‌ی عملکرد خود را نمی‌دهد.

مشابه این نوع ویژگی‌ها (خودمختاری قوانین طبیعی) را می‌توان در بخش‌های گوناگون طبیعت ملاحظه کرد. در واقع همه‌ی قوانین طبیعی بر این امر تاکید دارند: من گزارنده‌ی (مفسر) آنچه در طبیعت می‌گذرد هستم. بی‌آن‌که قابل مذاکره و

دورزدن باشم. من را می‌باید همان‌گونه که هستم بپذیرید! و این یکی دیگر از ویژگی‌های مهم قوانین طبیعی است. به این ترتیب روشن است که ما خود به عنوان بخشی از طبیعت عملاً به‌هیچ‌شکلی توان تغییر و دستکاری در عملکرد و قوانین آن را نداریم. در نتیجه ناچار به قبول و گردن نهادن به خواست طبیعت می‌باشیم. یعنی، ما محکوم هستیم قوانین طبیعی را (منظور قوانین بنیادی طبیعی است) به شکلی که هستند بپذیریم. تنها کار بزرگی که می‌توانیم انجام دهیم این است که تلاش کنیم به روش علمی زبان طبیعت را آن‌گونه که هست بفهمیم. به قول ماکس بورن که می‌گوید: "به آن کس که می‌خواهد هنر پیش‌گویی علمی را بیاموزد توصیه می‌کنم که اعتماد به فکر مجرب نکند بلکه زبان رمزی طبیعت را از اسناد طبیعت، یعنی از واقعیت‌های تجربی، بخواند."<sup>۶</sup> در عین حال لازم است توجه داشته باشیم که قوانین طبیعی از جانب ما انسان‌ها کشف و فرمولبندی می‌شوند و ما بی‌شک محدودیت‌های خود را داریم از جمله در علوم فنی. برای مثال در اندازه‌گیری کمیت‌ها، مانند اندازه‌ی ثابت‌های طبیعی<sup>۷</sup> که اکنون "تنها" با دقتی نزدیک به  $10^{-16}$  تعیین شده‌اند.

بی‌تردید قوانین طبیعی ارائه شده از جانب ما نمی‌توانند به دلایل مختلف آئینه تمام‌نمای طبیعت باشند. از جمله و به‌ویژه به این دلیل که ما اصولاً امکان آن را نداریم شرایط اولیه لازم برای بررسی‌ها را بطور دقیق به‌شناسیم (اصل عدم قطعیت، همدوسی و ناهمدوسی<sup>۸</sup>). در نتیجه ما جهان (گیتی) را نه به شکلی که واقعاً هست بلکه به صورت تقریبی و در شکل ایده‌آل درمی‌یابیم. با این همه دقت کنونی در قوانین طبیعی ما تا حدی بالاست که در بسیاری از بخش‌های علمی و فنی بخوبی عمل می‌کنند و پاسخگوی نیازهای ما می‌باشد.

## کارآمدی بالا

یکی از اولین قانون‌های کشف شده در طبیعت اصل فرما (Fermat's principle) می‌باشد. اصل فرما می‌گوید:

مسیر پیموده شده بین دو نقطه توسط نور مسیریست که نور در کوتاه‌ترین زمان طی می‌کند.

این مثال به‌عنوان یک قانون طبیعی بخوبی نوع عملکرد طبیعت و کارآمدی (efficient) بالای آن را نشان می‌دهد. بدیهیست که قوانین طبیعی می‌باید این ویژگی بی‌همتای عملکرد طبیعت را در خود نهفته (مستتر) داشته باشند.

کمیت‌های مطرح در مثال اصل فرما عبارتند از: نور (انرژی)، زمان، فضا (فاصله‌ی میان دو نقطه) و کمیتی به نام اثر (effect).

اثر، کمیتیست که از حاصل‌ضرب انرژی و زمان بدست می‌آید. اندازه‌ی این کمیت رابطه مستقیم با اندازه‌ی انرژی و زمان دارد. یعنی، هرچه اندازه‌ی انرژی یا زمان و یا هر دو این کمیت‌ها کوچکتر باشند به‌همان اندازه نیز مقدار اثر کوچکتر خواهد بود و بعکس. اندازه‌ی انرژی نور بستگی به بسامد (فرکانس) نور دارد. حال اگر ما در مثال اصل فرما نور را با انرژی ثابت، یعنی با فرکانس ثابت در نظر بگیریم، اندازه اثر متناسب با کمتر شدن زمان کوچکتر می‌شود. سؤال: اندازه اثر چه زمانی به کوچکترین حد خود می‌رسد؟ پاسخ: وقتی که نور فاصله‌ی میان دو نقطه را در کمترین زمان طی کند. و اما زمان در چه حالتی می‌تواند کمترین مقدار را داشته باشد؟ بی‌شک وقتی که نور فاصله‌ی دو نقطه را در کوتاه‌ترین مسیر ممکن طی کند - که در یک ماده همگن به شکل خط مستقیم می‌باشد. تجربه و آزمایش‌ها دقیقاً همین حالت را تأیید می‌کنند.

اصل فرما نوع عملکرد طبیعت را که با حداقل اثر، یعنی با کارآمدی بالا و به شایسته‌ترین وجه ممکن عمل می‌کند، نشان می‌دهد. این شیوه‌ی عملکرد طبیعت در علوم طبیعی با اصلی معروف به اصل عمل (principle of action) بررسی می‌شود. ما با یاری این اصل به بسیاری از قوانین طبیعی (معادلات حرکت) دست یافته‌ایم. معادلات (قوانین) بدست آمده از این طریق، یعنی به طرز نظری، با نتایج حاصل از آزمایش‌ها مطابقت دارند. این نتایج گویای آنند که طبیعت کار خود را به صورت بسیار مؤثری انجام می‌دهد. عملکرد این چینی طبیعت یکی دیگر از ویژگی‌های بارز آن است که در ساختار قوانین طبیعی، با بهره‌جویی از اصل عمل، در نظر گرفته شده است.

ویژگی‌های تاکنون ذکر شده از چستی قوانین طبیعی تا اوایل قرن بیستم شناخته شده بودند. از آن زمان به این طرف جنبه‌های مهم بنیادی دیگری از قوانین طبیعی در ارتباط با دو نظریه‌ی بزرگ از قرن بیستم، یعنی نظریه نسبیت و نظریه کوانتوم، ظاهر شدند که در زیر به آنها می‌پردازیم.

## قطعیتی در کار نیست

گفتیم که دقت کنونی در قوانین طبیعی ما چنان بالاست که در بسیاری از بخش‌های علمی و فنی بخوبی عمل می‌کند و پاسخگوی نیازهای ما می‌باشد. از جمله و به‌ویژه در دنیای (فیزیک) کلاسیک. در اینجا تصور می‌شود که می‌توان هر کمیت فیزیکی (برای مثال مکان و سرعت شی‌ای) را بطور دقیق (حداقل از نظر تئوری) اندازه‌گیری کرد. این گفته در مورد یک کمیت کوانتومی برای مثال مکان (البته تنها تا حد انرژی نقطه صفر<sup>۹</sup> Zero-point energy) نیز صادق است.

در دنیای کلاسیک اندازه‌گیری همزمان و "دقیق" دو کمیت کلاسیکی نیز همواره امکان‌پذیر تصور می‌شود. اما یک چنین چیزی، یعنی اندازه‌گیری همزمان و دقیق جفت‌های مشخصی از خواص فیزیکی برای مثال مکان و سرعت (یا تکانه)، در دنیای کوانتومی غیرممکن است. در اینجا اندازه‌گیری دقیق یک کمیت برای مثال مکان یک ذره مترادف با کاهش دقت در کمیت دیگر آن، یعنی سرعت ذره است.

غیرممکن بودن اندازه‌گیری همزمان و دقیق جفت‌های مشخص کوانتومی نه به دلیل ناتوانی در اندازه‌گیری دقیق آنها بلکه به‌خاطر طبیعت خود سیستم‌های کوانتومی مانند الکترون است. در اینجا ما با ویژگی خاص دیگری از چپستی قوانین طبیعی مواجه هستیم که به‌هیچ شکلی قابل انکار و چشم‌پوشی نیستند. این وضعیت در فیزیک کوانتومی اصل عدم قطعیت<sup>۱۱،۱۲</sup> (Uncertainty principle) نامیده می‌شود: "در مکانیک کوانتوم، یک ذره به وسیله بسته موج شرح داده می‌شود. اگر اندازه‌گیری مکان ذره مد نظر باشد، طبق معادلات، ذره می‌تواند در هر مکانی که دامنه موج صفر نیست، وجود داشته باشد و این به معنی عدم قطعیت مکان ذره است. برای به دست آوردن مکان دقیق ذره، این بسته موج باید تا حد ممکن «فشرد» شود، که یعنی، ذره باید از تعداد زیادی موج سینوسی که به یکدیگر اضافه شده‌اند (بر روی هم جمع شده‌اند) ساخته شود. از طرف دیگر، تکانه ذره متناسب با طول موج یکی از این امواج سینوسی است، اما می‌تواند هر کدام از آن‌ها باشد. بنابراین هر چقدر که مکان ذره - به واسطه جمع شدن تعداد بیشتری موج - با دقت بیشتری اندازه‌گیری شود، تکانه با دقت کمتری معین می‌شود (و بر عکس). تنها ذره‌ای که مکان دقیق دارد، ذره متمرکز در یک نقطه است، که چنین موجی طول موج نامعین دارد (و بنابراین تکانه نامعین دارد). از طرف دیگر تنها موجی که طول موج معین دارد، نوسان منظم تناوبی بی‌پایان در فضا است که هیچ مکان معینی ندارد. در نتیجه در مکانیک کوانتومی، حالتی نمی‌تواند وجود داشته باشد که ذره را با مکان و تکانه معین شرح دهد."<sup>۱۲</sup> خلاصه این‌که اصل عدم قطعیت<sup>۱۱</sup> می‌گوید: غیرممکن است برای مثال مکان و تکانه (سرعت) یک ذره را همزمان با دقت دلخواه اندازه گرفت. یعنی، طبیعت در بنیادی‌ترین سطح نامعین بودن ذات خود را به نمایش می‌گذارد. اصل عدم قطعیت نگاه علت و معلولی به پدیده‌ها، یعنی اصل علیت، را بشدت زیر سؤال برده است. همزمان اصل عدم قطعیت سبب پرسش‌های دشوار فلسفی (در سطح کوانتومی) گردیده است که بی‌شک چپستی قوانین طبیعی را نیز دربرمی‌گیرند.

## معلول و علت

در آغاز مقاله اشاره‌ای داشتیم به این‌که از زمان ظهور نظریه کوانتوم در قرن بیستم نگاه علت و معلولی به امور در بنیادی‌ترین کنش و واکنش‌های طبیعی مورد تردید است. در نتیجه تا روشن شدن نهایی این مسئله، ویژگی چپستی قوانین طبیعی متأثر از آن نیز ناروشن است. در زیر به نکاتی در این‌باره که تا حدودی قابل دفاع هستند می‌پردازیم.

در مقاله‌ای که بتاريخ ۲۰۱۹/۵/۱ نوشته‌ام<sup>۱۳</sup> از جمله چنین آمده است:

"... تصور غالب بر این است که 'علت و معلول' یکی از ویژگی‌های اساسی جهان است. به این معنا که علت همواره پیش از معلول اتفاق می‌افتد - علت پیش شرط معلول است - و نه بعکس. تصور بر این است که آنچه در آینده اتفاق خواهد افتاد نمی‌تواند بر آنچه در گذشته رخ داده است تأثیری داشته باشد.

این تصور بیان از عدم تقارن میان دو مفهوم علت و معلول دارد. یعنی، معلول نمی‌تواند پیش از علت اتفاق بیفتد. آیا برآستی چنین است؟ اگر چنین است آیا دایره‌ی اعتبار آن جهانشمول است و یا محدود؟

پژوهش‌های علمی نشان می‌دهند که اعتبار 'عدم تقارن علیت' محدود است و نه جهانشمول؛ محدود به دنیای غیرنسبیتی و غیرکوانتومی.<sup>۱۴</sup> در این محدوده شکست تقارن علیت وجود دارد که معلول را پی‌آمد علت می‌کند. عدم تقارن علیت از اوایل قرن بیستم از دو سو مورد سؤال قرار گرفت و محدودیت‌هایی به آن تحمیل شد، از سوی: ۱- نظریه نسبیت و ۲- نظریه کوانتوم.

۱. در نظریه نسبیت حداکثر سرعت انتقال در طبیعت سرعت نور با حدود سیصد هزار کیلومتر در ثانیه می‌باشد. محدودیت در سرعت انتقال پی‌آمدهای بسیار شایان توجهی را به همراه دارد.<sup>۱۵</sup> از جمله این‌که فضا زمان ساختاری ۴بعدی پیوستار متشکل از ۳بعد فضا و ۱بعد زمان پیدا می‌کند. به‌خاطر پیوستگی فضا زمان در نظریه نسبیت می‌توان آن را به ۴ حوزه‌ی مختلف تقسیم نمود (تصویر ۲). آینده؛ گذشته و بخش‌هایی که فضاگونه (spacelike, raumartig) نامیده

می‌شوند. آینده: جایگاه اثرگذاری اتفاق؛ گذشته: جایگاه علت‌های اتفاق؛ بخش‌های فضاگونه، جدا از دو بخش نامبرده و فارغ از رابطه‌ی علت و معلولی.



تصویر ۲: ترسیمی از یک مخروط نوری<sup>۱۴</sup>

نظریه نسبیت عام بیان از کنش و واکنش میان جرم (ماده) و فضا-زمان و ساختار گیتی در ابعاد بزرگ دارد. برای مثال "تراکم بسیار بالای ماده در بخش‌هایی از کیهان باعث شکل‌گیری فرم‌ها و حالت‌های نامتعارف ماده مانند سیاهچاله‌ها می‌شود."<sup>۱۷</sup> گرانش در این نظریه به عنوان خواص هندسی فضا-زمان چهاربعدی تعبیر می‌شود. رابطه‌ی نظریه نسبیت عام با نظریه کوانتوم هنوز پس از گذشت یک قرن روشن نشده است. یعنی، ما نتوانستیم در این زمان نسبتاً طولانی به یک نظریه واحد به نام نظریه گرانش کوانتومی دست‌یابیم که احتمالاً می‌تواند برای موضوع اصل علیت روشن‌کننده باشد.

۲. در دنیای کوانتومی و کیهانی در هم‌تنیده و کوانتومی<sup>۱۸</sup> میان علت و معلول 'تقارن' حاکم است. در این حالت‌ها معلول می‌تواند پیش و یا پس علت اتفاق بیافتد. یعنی، علت پی‌آمد معلول و بعکس معلول پی‌آمد علت باشد: به معنای هم‌ارزی 'علت و معلول' و 'معلول و علت'.

فیزیکدان‌ها در نقاط مختلف جهان (اتریش، دانشگاه وین ۲۰۱۵ و کانادا، دانشگاه واترلو ۲۰۱۷) موفق شدند در آزمایش‌های پیچیده‌ی کوانتومی شرایطی را به‌وجود آورند که در آن‌ها دیگر رابطه‌ی علت و معلولی میان اتفاق‌ها قابل تشخیص نبود.<sup>۱۱۳</sup>

نظریه کوانتوم صحت اصل علیت<sup>۱۹</sup>، رابطه میان علت و معلول با کارآمدی فوق‌العاده در دنیای کلاسیک، را در بنیادی‌ترین بخش طبیعت، یعنی دنیای کوانتومی، زیر سؤال برده است. ما در اینجا با مسائل و پرسش‌های بسیار دشواری مواجه هستیم که در حال حاضر پاسخ قانع‌کننده‌ای برای آنها نداریم. برای مثال می‌خواهیم بدانیم که غیرعلیتی بودن رویدادهای طبیعی چه معنایی دارد، رابطه میان آنها چگونه است و به چه شکلی قابل تشریح است؟ وضعیت غیرعلیتی چه تاثیری بر کاراکتر قوانین طبیعی دارد؟

شاید زمانی بتوان به این نوع پرسش‌ها پاسخ داد. برای مثال از طریق دستیابی به یک نظریه واحد از نظریه نسبیت و نظریه کوانتوم. صرف‌نظر از مسائل و مشکلات نظری در بنای یک چنان نظریه‌ای که به احتمال برطرف خواهند شد پرسش اساسی این است که آیا اصولاً امکان راست‌آزمایی (آزمایش) آن وجود خواهد داشت؟ برای پاسخ به این پرسش نگاهی می‌افکنیم به کمیت‌های مورد نظر در نظریه گرانش کوانتومی.

کمیت‌های نظریه گرانش کوانتومی را می‌توان با در نظر گرفتن ثابت‌های طبیعی‌ای<sup>۷</sup> دو نظریه نسبیت و کوانتوم و مقایسه آنها باهم مشخص نمود. این کمیت‌ها به کمیت‌های پلانک معروف هستند، مانند طول پلانک حدود  $10^{-35}$  متر، یعنی نزدیک به  $10^{20}$  برابر کوچکتر از قطر ذره پروتون؛ زمان پلانک حدود  $10^{-44}$  ثانیه؛ جرم پلانک حدود  $10^{18}$  گیگا الکترون ولت و دمای پلانک حدود  $10^{32}$  کلوین. برای راست‌آزمایی ساختارهایی در ابعاد پلانک نیاز به انرژی‌هایی داریم که در محدوده‌ی بیگ بنگ حاکم بود و این امکان وجود ندارد. مگر این‌که چاره‌ای دیگر بیاندیشیم. از این‌رو پاسخ همه جانبه به چستی قوانین طبیعی بسیار دشوار به نظر می‌آید.

1. <https://iai.tv/articles/reality-is-just-a-quantum-wave-function-auid-2024>
2. Emanuel Kant, Kritik der reinen Vernunft, 1781
3. Albert Einstein in: Deborah Frapp, Jon Frapp dan Michael Frapp, Speaking of Science, Newnes, 2000
4. <https://www.br.de/mediathek/video/alpha-centauri-astro-physik-was-sind-naturgesetze-av:5bd0c6701145970018ec8a69>
5. Hassan Bolouri, The nonidentity of truth and provability
 

۵. حسن بلوری، 'نااینهمانی راستی و اثبات‌پذیری'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه ژانویه سال ۲۰۲۲
6. Max Born, Experiment und Theorie in der Physik, Physik Verlag, Mosbach/Baden, 1969, S. 37-38; Experiment and Theory in Physics, King's College in Newcastle-upon-Tyne, 1943
7. Hassan Bolouri, The natural constants and epistemology
 

۷. حسن بلوری، 'ثابت‌های طبیعی و شناخت‌شناسی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه فوریه سال ۲۰۲۱
8. Hassan Bolouri, The Concept of Coherence and Decoherence
 

۸. حسن بلوری، 'مفهوم هم‌دوسی و ناهم‌دوسی'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه دسامبر سال ۲۰۲۰
9. [https://en.wikipedia.org/wiki/Zero-point\\_energy](https://en.wikipedia.org/wiki/Zero-point_energy)
10. Werner Heisenberg, Physikalische Prinzipien der Quantentheorie, BI, Mannheim, 1958
11. Werner Heisenberg, Atomphysik und Kausalgesetz, in: Das Naturbild der heutigen Physik, Rowohlt Verlag, Hamburg, 1979
12. [https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%B5%D9%84\\_%D8%B9%D8%AF%D9%85\\_%D9%82%D8%B7%D8%B9%DB%8C%D8%AA](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D8%A7%D8%B5%D9%84_%D8%B9%D8%AF%D9%85_%D9%82%D8%B7%D8%B9%DB%8C%D8%AA)
13. Hassan Bolouri, Causal Asymmetry
 

۱۳ حسن بلوری، 'معلول و علت'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه می سال ۲۰۱۹
14. J. Thompson, A. J. Garner, J. R. Mahoney, J.P. Crutchfield, V. Vedral, M. Gu, Causal Asymmetry in a Quantum World, Physical Review X **8**, 031013 (2018)
15. A. Einstein, Zur Elektrodynamik bewegter Körper, Ann. d. Physik, **17** (1905)
16. <https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtkegel>
17. Hassan Bolouri, White hole, Wormhole, Black hole
 

۱۷ حسن بلوری، 'مفهوم ماده در تراکم‌های بسیار بالا'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه اوت سال ۲۰۲۰
18. C. Kiefer, Der Quantenkosmos, S. Fischer Verlag, Frankfurt a. M., 2008
19. Hassan Bolouri, Principle of Causality
 

۱۹ حسن بلوری، 'اصل علیت؟'، منتشر شده در سایت‌های فارسی‌زبان، ماه ژانویه سال ۲۰۲۰