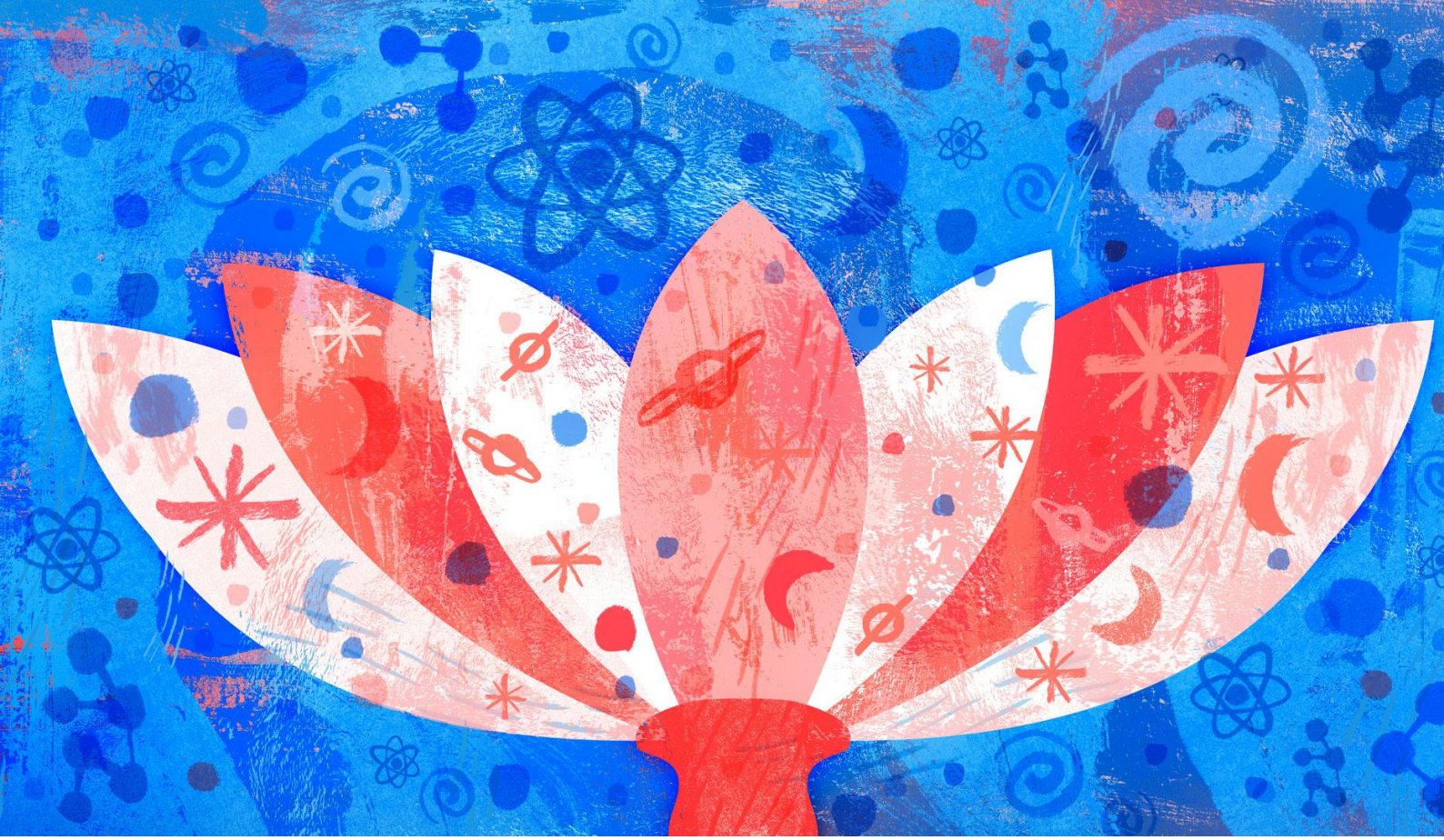


حل بزرگ‌ترین معمای فیزیک و اتحاد دو اصل بزرگ قوانین طبیعت

رابرت دایکراف (رئیس مؤسسه‌ی مطالعات پیش‌رفته) ترجمه: امید ظریفی

فرض کنید موجودات فضایی بر روی سیاره‌ی ما فرود بیایند و از ما در مورد دانش علمیِ فعلی‌مان بپرسند. من باشم، کار را با مستند چهل‌ساله‌ی «**توان‌های دَه**» شروع می‌کنم! شاید کمی قدیمی به‌نظر برسد، اما این فیلم کوتاه –که توسط چارلز و رِی ایمز، زوجِ طراحِ آمریکایی، نوشته و کارگردانی شده‌است– در کم‌تر از ده دقیقه دید وسیعی از کیهان‌مان به ما ارائه می‌دهد.

فیلم‌نامه ساده و موزون است. در ابتدا زوجی را می‌بینیم که در پارک شیکاگو مشغول گذراندن تعطیلات آخر هفته هستند. سپس دوربین شروع به کوچک‌نمایی می‌کند و هر ده ثانیه، میدان دید ما ۱۰ برابر می‌شود. از یک متر به ده متر، از ده متر به صد متر، از صد متر به هزار متر و ... . آرام‌آرام تصویر نهایی خودش را به ما نشان می‌دهد: شهر، قاره، کره‌ی زمین، منظومه‌ی شمسی، ستاره‌های هم‌سایه، کهکشان راه شیری و همین‌طور به‌سمت بزرگ‌ترین ساختارهای جهان. در نیمه‌ی دوم فیلم، دوربین شروع به بزرگ‌نمایی می‌کند و به‌سمت کوچک‌ترین

ساختارها حرکت می‌کند. ما به داخلِ دستِ مردِ داستان سفر می‌کنیم: سلول‌ها، مارپیچ‌های دوتاییِ مولکول‌های DNA، اتم‌ها، هسته‌ها و در نهایت کوارک‌هایِ درحال‌نوسانِ داخل پروتون.

فیلم، زیباییِ عجیبِ دنیای ماکروسکوپیک و میکروسکوپیک را به ما نشان می‌دهد و در آخر، به‌خوبی، چالش‌های پیش‌روی علوم بنیادی را به ما منتقل می‌کند. همان‌گونه که اگر یک پسربچه‌ی ۸ ساله این فیلم را ببیند، از پدرش می‌پرسد: «این دنباله چه‌طور ادامه پیدا می‌کند؟» این پرسش برای دانش‌مندان هم به‌وجود می‌آید. فهمیدنِ توالی‌های بعدی این مجموعه، هدف اصلی دانش‌مندانی است که در حال جلوبردنِ مرزهای دانش ما از بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین ساختارهای جهان هستند.

«توان‌های دَه» هم‌چنین به ما یاد می‌دهد زمانی که از مقیاس‌های مختلف طول، زمان و انرژی می‌گذریم، در حقیقت داریم به قلمروهای متفاوت دانش سفر می‌کنیم. روان‌شناسی، رفتارهای انسانی را مطالعه می‌کند؛ زیست‌شناسی تکاملی، اکوسیستم‌ها را توضیح می‌دهد؛ اخترفیزیک، سیاره‌ها و ستاره‌ها را بررسی می‌کند؛ و کیهان‌شناسی، بر روی جهان ما به‌صورت یک‌پارچه متمرکز می‌شود. به‌طور مشابه، در قسمت دوم مستند، به سمت قلمروهای مختلف علومی مانند زیست‌شناسی، بیوشیمی، فیزیک اتمی، فیزیک هسته‌ای و فیزیک ذرات حرکت می‌کنیم. به‌نظر می‌رسد رشته‌های علمی مختلف به‌صورت طبقه‌طبقه هستند، دقیقن همانند لایه‌های زمین‌شناسی‌ای که در **پارک ملی گرند کنیون** می‌بینیم.

با حرکت از یک لایه به لایه‌ی دیگر، مثال‌های زیادی از دو اصل سامان‌دهی کلی علم مدرن را مشاهده می‌کنیم: ظهوریافتگی[1] و فروکاست‌گرایی[2]. اگر از درون به بیرون حرکت کنیم، الگوهای جدیدی که از رفتار پیچیده‌ی توده‌های سازنده‌ی فردی ظهور می‌کنند را می‌بینیم: عکس‌العمل‌های بیوشیمیایی به موجودات دارای احساس منجر می‌شوند؛ ارگانیسم‌های فردی، اکوسیستم‌ها را به‌وجود می‌آورند؛ و صدها میلیارد ستاره دور یک‌دیگر جمع می‌شوند و کهکشان‌هایی چنین باشکوه را پدید می‌آورند.

حال بیایید جهت نگاه‌مان را تغییر دهیم و از بیرون به درون حرکت کنیم. این‌بار فروکاست‌گرایی است که خودش را به ما نشان می‌دهد: الگوهای پیچیده به واحدهای ساده‌ی کوچک‌تر شکسته می‌شوند؛ زندگی به برهم‌کنش بین سلول‌های DNA، RNA، پروتئین‌ها و دیگر مولکول‌های ارگانیک تقلیل می‌یابد؛ پیچیدگی شیمی به زیبایی ظریف مکانیک کوانتومی اتم‌ها تبدیل می‌شود؛ و در نهایت، مدل استاندارد ذرات بنیادی تمام مؤلفه‌های شناخته‌شده‌ی ماده و تابش را در ٤ نیرو و ۱۷ ذره‌ی بنیادی خلاصه می‌کند.

کدام‌یک از این دو اصلِ علمی قدرت بیش‌تری دارد؟ ظهوریافتگی یا فروکاست‌گرایی؟ فیزیک‌دان‌های سنتیِ ذرات بر مبنای فروکاست‌گرایی استدلال‌های خود را بیان می‌کنند و فیزیک‌دان‌های ماده‌چگال، که کارشان

مطالعه‌ی مواد پیچیده است، بر مبنای ظهوریافتگی. همان‌طور که **دیوید گروس**، فیزیک‌دان ذرات و برنده‌ی جایزه‌ی نوبل، بیان می‌کند: «ببینید در کجای طبیعت زیبایی پیدا می‌کنید، و در کجا زباله!»

بیایید نگاهی به پیچیدگی واقعیتِ دوروبرمان بیندازیم. به‌طور سنتی، فیزیک‌دان‌های ذرات طبیعت را به‌وسیله‌ی تعداد انگشت‌شماری از ذرات و برهم‌کنش بین آن‌ها توضیح می‌دهند. اما فیزیک‌دان‌های ماده‌چگال می‌گویند: باشد! اما یک لیوان ساده‌ی آب چه؟ توصیف موج‌گونه‌های سطح آب درون یک لیوان برحسب حرکت $۱۰^{۲۴}$ مولکول منحصربه‌فرد (بگذارید ذرات بنیادی را نادیده بگیریم!) کاری است احمقانه. به‌جای پیچیدگی‌های غیرقابل نفوذ در مقیاس‌های کوچک (همان زباله‌ها) فیزیک‌دان‌های ماده‌چگال، در مواجهه با فیزیک‌دان‌های سنتیِ ذرات، از قوانین فیزیکی مبتنی‌بر ظهوریافتگی استفاده می‌کنند؛ یعنی همان هیدرودینامیک و ترمودینامیکِ زیبای خودمان. در حقیقت، زمانی که تعداد مولکول‌ها را به‌سمت بی‌نهایت میل می‌دهیم (از دیدگاه فروکاست‌گرایانه، معادل با زباله‌های بسیار) این قوانین طبیعت به جملات ریاضیِ زیبایی تبدیل می‌شوند.

در حالی که بسیاری از دانش‌مندان از روی‌کرد فروکاست‌گرایانه‌ی موفق قرن‌های گذشته شگفت‌زده بودند، **جان ویلر**، فیزیک‌دانِ پرنفوذ دانش‌گاه پرینستون که روی موضوع‌های مختلفی –از فیزیک هسته‌ای گرفته تا سیاه‌چاله‌ها– کار می‌کرد، یک جای‌گزین جالب را معرفی کرد: «اگر هر قانون فیزیکی را با دقت بسیار بررسی کنیم، آن را قانونی آماری و تقریبی می‌یابیم؛ نه قانونی دقیق و کامل از لحاظ ریاضیاتی.» ویلر هم‌چنین یکی از ویژگی‌های مهم قوانین ظهوریافته را ذکر می‌کند: «طبیعتِ تقریبی آن‌ها باعث انعطاف‌پذیری خاصی می‌شود که می‌تواند تکامل آینده را دربرگیرد.»

از جهات مختلف، ترمودینامیک استانداردی طلایی از یک قانون ظهوریافته است، که رفتار جمعی تعداد بسیار زیادی از ذرات را بدونِ‌توجه به قسمت بزرگی از جزئیاتِ میکروسکوپیک آن‌ها توصیف می‌کند. قوانین ترمودینامیک، به‌صورت شگفت‌آوری، دسته‌ی وسیعی از پدیده‌ها را در رابطه‌های مختصر ریاضی خلاصه می‌کند. این قوانین به‌صورت زیبایی جهانی هستند و نقطه‌ی ضعفی هم در آن‌ها وجود ندارد؛ در حالی که قبل از این‌که پایه‌های اتمی ماده کشف شوند، به‌دست آمده‌اند. برای مثال، قانون دوم ترمودینامیک می‌گوید که **آنتروپی** یک سیستم (سنجه‌ای از مقدار اطلاعات میکروسکوپیک آن سیستم) در طول زمان به‌صورت پیوسته افزایش می‌یابد.

فیزیک مدرن، زبان دقیقی را برای مشخص‌کردن نحوه‌ی مقیاس‌پذیری سیستم‌های مختلف به‌وجود آورده‌است که آن را گروه بازبه‌هنجارش[۳] می‌نامیم. این سازوکار ریاضیاتی به ما توانایی این را می‌دهد که به‌صورت سیستماتیک از مقیاس‌های کوچک به‌سمت مقیاس‌های بزرگ حرکت کنیم. قدم اساسی در این راه،

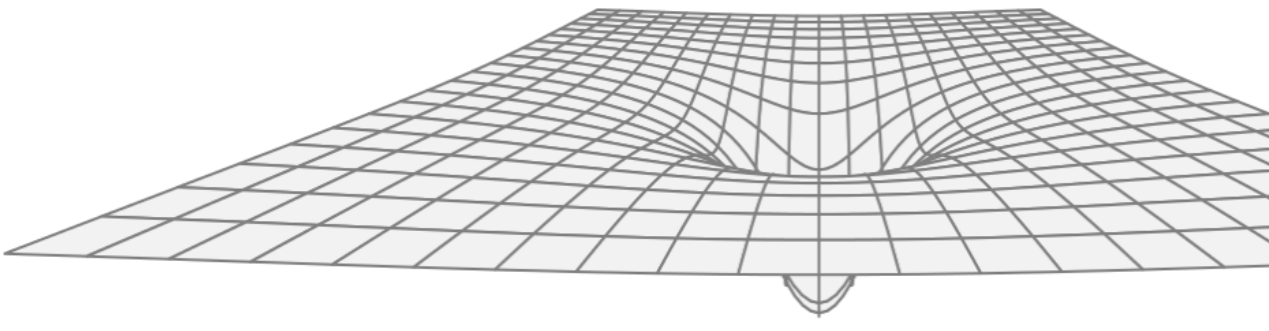
میانگین‌گیری است. برای مثال، به‌جای بررسی رفتار هر اتم سازنده‌ی ماده، می‌توانیم مکعب‌های کوچکی را به عنوان واحدهای سازنده در نظر بگیریم که هر ضلع آن‌ها از ۱۰ اتم تشکیل شده‌است. حال می‌توانیم این میانگین‌گیری را بارها و بارها ادامه داده و برای هر سیستم فیزیکی، یک مستند «توان‌های ده» مخصوص بسازیم!

تئوری بازبه‌هنجارش این موضوع را توضیح می‌دهد که اگر مقیاس طولی که در آن به سیستم فیزیکی‌مان نگاه می‌کنیم را تغییر دهیم، ویژگی‌های سیستم چه‌گونه تغییر می‌کند. یک مثال معروف، بار الکتریکی ذراتی است که می‌توانند با فعل و انفعالات کوانتومی افزایش یا کاهش یابند. یک مثال جامعه‌شناختی، تحلیل و بررسی رفتار گروه‌های اجتماعی مختلف با بزرگی‌های متفاوت بر مبنای رفتارهای فردی است؛ این‌که آیا خرد جمعی وجود دارد یا توده‌های مختلف انسانی با مسئولیت‌پذیری کم‌تری رفتار می‌کنند؟

هیجان‌انگیزترین قسمت ماجرا دو نقطه‌ی پایانی روند بازبه‌هنجارش است: ساختارهای بی‌نهایت بزرگ و ساختارهای بی‌نهایت کوچک. معمولن در این دو نقطه، همه‌چیز ساده می‌شود؛ زیرا جزئیات از بین می‌رود و محیط اطراف ناپدید می‌شود. چنین چیزی را در دو نقطه‌ی پایانی مستند نیز می‌بینیم. بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین ساختارهای جهان به‌صورت شگفت‌آوری ساده هستند. این‌جاست که ما با دو «مدل استاندارد» مواجه می‌شویم؛ یکی برای فیزیک ذرات و دیگری برای کیهان‌شناسی.

شایان توجه است که بینش مدرن درباره‌ی بزرگ‌ترین چالش فیزیک نظری –تلاش برای ساختن یک نظریه‌ی کوانتومی برای گرانش– هر دو دیدگاهِ ظهوریافتگی و فروکاست‌گرایی را در بر می‌گیرد. روی‌کردهای سنتیِ گرانش کوانتومی، مانند نظریه‌ی ریسمان اختلالی، تلاش می‌کنند توضیح میکروسکوپی سازگاری برای همه‌ی ذرات و نیروها بیابند. چنین «نظریه‌ی نهایی»ای لزومن به مفهومی مانند گرویتون (ذرات بنیادی میدان گرانشی) نیاز دارد. برای مثال، در نظریه‌ی ریسمان، گرویتون از ریسمانی تشکیل شده‌است که به‌طور خاصی ارتعاش می‌کند. یکی از موفقیت‌های نخستینِ نظریه‌ی ریسمان، طرحی برای محاسبه‌ی ویژگی‌ها و بررسی رفتار چنین گرویتون‌هایی بود.

با این حال، این فقط یک جواب جزئی است. اینشتین به ما آموخت که گرانش دامنه‌ی وسیع‌تری دارد و به ساختار فضا و زمان می‌پردازد. در توصیف مکانیک کوانتومی، که فضا و زمان معنی خود را در فواصل مکانی و زمانی بسیار کوچک از دست می‌دهند، این پرسش به‌وجود می‌آید که چه چیزی را جای‌گزین این مفاهیم اساسی کنیم؟



یک روی‌کرد مکمل برای متحدکردنِ گرانش و نظریه‌ی کوانتوم با ایده‌های پیش‌گامانه‌ی **جاکوب بکشتین** و **استیون هاوکینگ** در زمینه‌ی محتوای اطلاعاتی سیاه‌چاله‌ها، از دهه‌ی ۱۹۷۰ آغاز شد، و با تلاش‌های اساسی **خوان مالداسنا** در اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰ ساختار یافت. در این فرمول‌بندی، فضازمانِ کوانتومی، که شامل تمامی ذرات و نیروهاست، از یک توصیف «هولوگرافیک» کاملن متفاوت می‌آید. این سیستم هولوگرافیک، کوانتومی است و هیچ فرم صریحی از گرانش در آن نیست. هم‌چنین، این روی‌کرد، بعدهای فضایی کم‌تری دارد. به‌علاوه، این سیستم با یک عدد شناخته می‌شود که بزرگی سیستم را اندازه‌گیری می‌کند. اگر این عدد را زیاد کنیم، تقریب گرانش کلاسیک نمایان‌تر می‌شود. در نهایت، فضا و زمان، هم‌راهِ معادلات نسبیت عام اینشتین، از این سیستم هولوگرافیک به‌دست می‌آید. این فرآیند دقیقن همانند همان شیوه‌ای است که قوانین ترمودینامیک از کنار هم قراردادنِ حرکت مولکول‌ها شکل می‌گیرند.

از جهاتی، این شیوه دقیقن در تضاد با آن چیزی است که اینشتین سعی در رسیدن به آن داشت. هدف او این بود که تمام قوانین طبیعت را بدونِ توجه به دینامیک فضا و زمان بسازد؛ و به نوعی، فیزیک را به هندسه‌ی محض تقلیل دهد. برای او، فضازمان در سلسه‌مراتب اشیاء علمی، در پایین‌ترین سطح قرار داشت – همانند پایین‌ترین لایه‌ی پارک ملی گرند کنیون. دیدگاه فعلی، به فضازمان به‌عنوان نقطه‌ی شروع نگاه نمی‌کند، بلکه آن را نقطه‌ی پایان می‌داند؛ یعنی به‌عنوان یک ساختار طبیعی که از پیچیدگی اطلاعات کوانتومی پدیدار می‌شود، همانند قوانین ترمودینامیکی که بر لیوان آب روی میزمان حاکم است. شاید این‌که دو قانون فیزیکی‌ای که اینشتین آن‌ها را دوست داشت، یعنی ترمودینامیک و نسبیت عام، به‌عنوان پدیده‌های ظهوریافته منشاء مشترکی دارند، تصادفی نباشد.

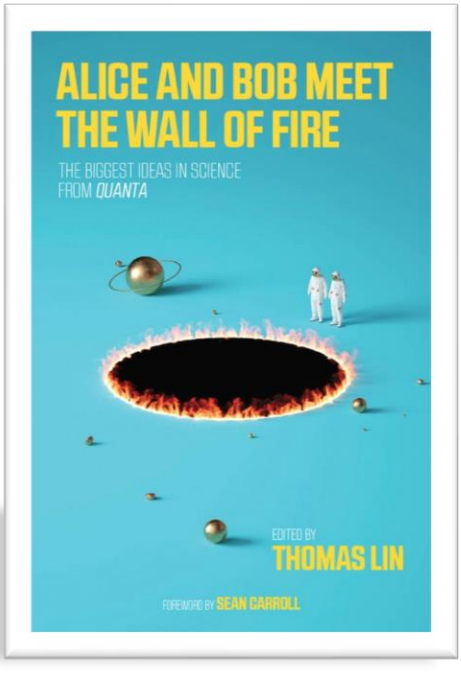
از بعضی جهات، اتحاد شگفت‌انگیزِ ظهوریافتگی و فروکاست‌گرایی اجازه می‌دهد که انسان از این دو جهانِ بزرگ لذت ببرد. برای فیزیک‌دان‌ها، زیبایی در هردو انتهای این طیف یافت می‌شود.

مترجم‌نوشت:

* این متن ترجمه‌ی فصلی است از کتاب روبه‌رو، با عنوان:

To Solve the Biggest Mystery in Physics, Join Two Kinds of Law

* عبارت‌های **بزرگ‌شده‌ی سرمه‌ای‌رنگ** حاوی پیوند به وب‌گاه‌های بیرونی هستند.



پاورقی‌ها:

۱. Emergence ۲. Reductionism ۳. Renormalization Group