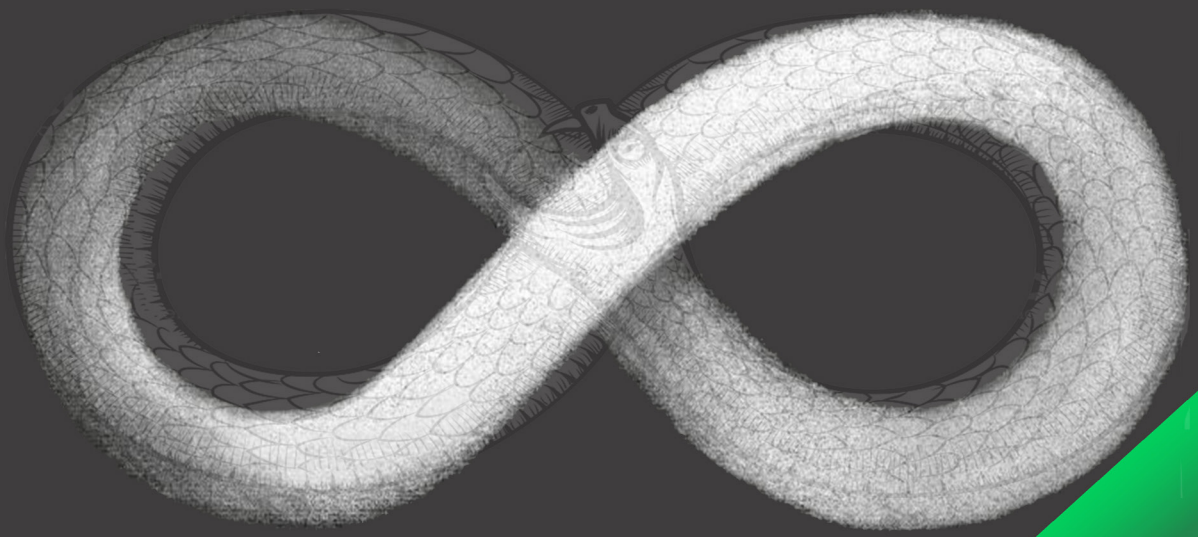


لبهٔ بینهایت

Infinity Edge

ویژه‌نامه‌ی نوروزی دیپ‌لوک

www.deeplook.ir

بهار ۱۳۹۷

مبارکبادی این سال و همه سال
دیپ لوک
DEEP LOOK
نگاهی به ژرفای کوانتوم

لبه‌ی بی‌نهایت:
ویژه نامه‌ی نوروزی دیپ‌لوک
بهار ۱۳۹۷

گروه ترجمه

افشین قلی‌زاده
یاسر سلیمی
سمیع صالحی
ناهید سادات ریاحی

گرافیک و صفحه‌آرایی

ناهید سادات ریاحی

با تشکر از :

دکتر شانت شهبازیان:
دانشیار دانشکده فیزیک دانشگاه شهید بهشتی

دکتر سید مرتضی موسویان:
رییس مرکز توسعه‌ی فناوری اطلاعات و رسانه‌های دیجیتال وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی

دکتر سید محمدصادق موحد:
دانشیار دانشکده فیزیک دانشگاه شهید بهشتی

مهندس محمدصادق افراسیابی:
مشاور و مدیر گروه فرهنگ سازی مرکز فناوری اطلاعات و رسانه های دیجیتال

دکتر نصیب‌الله دوستی‌مطلق:
پژوهشگر مرکز همکاریهای تحول و پیشرفت ریاست جمهوری

یادداشت سردبیر

ناهید سادات ریاحی

بشر در طول تاریخ، همواره دید وسیع‌تری از جهان فیزیکی بدست آورده است، اکنون ما نظریه‌هایی برای توصیف اکثر اجزای کائنات، از کوارک‌ها، ریزترین ذرات هستی، تا باشکوه‌ترین کهکشان‌های دوردست در اختیار داریم؛ اما آیا این بدان معناست که بسته‌ی کاملی از نظریات کنونی می‌تواند تمام کائنات را بی‌کم وکاست توضیح دهد؟ قطعا نه! درست در لحظه‌ای که تصور می‌کنیم اندکی به پایان راه، باقی مانده، طبیعت، مهره‌های جدیدش را وارد بازی می‌کند تا به ما بفهماند هنوز بر لبه‌ی بی نهایتی از رازها ایستاده‌ایم. حتی نیوتون با وجود بزرگترین اکتشافات علمی‌اش، خود را مانند کودکی می‌دانست که در ساحل دریا بازی می‌کند و خشنود است که گاه‌و بی گاه، ریگی صاف‌تر یا صدفی زیباتر از معمول می‌یابد، حال آنکه، دریای عظیم حقیقت و رازهای نامکشوف در برابرش قرار دارد.

در این ویژه‌نامه، سعی خواهیم کرد طی ۷ مقاله، از روزنه‌ای کوچک، نگاه ژرف‌تری به برخی از این رازها بیندازیم. در مقاله‌ی اول و قبل از هر چیز، باید زاویه‌ی نگاهمان را تنظیم کنیم تا بدانیم «چگونه به جهان بنگریم». در این سفر، گستره‌ای از مقیاس‌های زیراتمی تا خوشه‌های کهکشانی را درمی‌نوردیم و در میانه‌ی سفر، با سیستم‌های پیچیده‌ای مواجه می‌شویم که گرچه در قلب شهود ما قرار دارند، اما کمتر در موردشان می‌دانیم. مقاله‌ی دوم، روی همین نکته، دست می‌گذارد و صحبت از سیستم های پیچیده‌ای می‌کند که حصول علم کاملی درباره‌ی آنها مورد تردید است و در جستجوی پاسخ به این سوال است که «آیا محدودیتی برای درک علمی وجود دارد؟». در مقاله‌ی سوم، مرزهای جهان ذرات زیراتمی را طی کرده و پا را «فراسوی افق‌های کوانتومی» می‌گذاریم، جاییکه با وجود پشت سرگذاشتن برخی سدهای کوانتومی، هنوز راه زیادی پیش رو داریم. در مقاله‌ی چهارم، مرزها را گشوده‌تر کرده و به دنیای اسرارآمیز حیات، قدم می‌گذاریم و نشان می‌دهیم «چرا فیزیک یک قلمرو نیست». پس از این مقدمه‌چینی، در مقاله پنجم، به دنبال پاسخ به این پرسش می‌رویم که «حیات در فیزیک، چگونه ترجمه می‌شود». اما این پایان ماجرا نیست؛ در مقاله‌ی ششم، گویی به جهان رویا وارد می‌شویم و روی راز سربه‌مهر دیگری دست می‌گذاریم تا بفهمیم «آیا ماده، آگاه است؟». در مقاله‌ی پایانی، مرزهای فیزیک را به بی‌نهایت گسترش داده و «دردسرهای نظریه‌ی همه‌چیز» را مرور می‌کنیم تا ببینیم آیا نظریه‌ای وجود خواهد داشت که به کمک آن بتوانیم تمام رازهای بی‌نهایت پیش رویمان را توضیح دهیم یا همچنان باید خود را با جستن صدف‌های رنگارنگ، مشغول کنیم؟

از آنجایی که در دیپ لوک، به دنبال ژرفا بخشیدن به نگاهمان هستیم، بر آن شدیم تا این هفت مقاله را که از بهترین رسانه‌های علمی منتشر شده و توسط افراد متخصص هر حوزه نگاشته شده، در قالب ویژه‌نامه‌ای برای نوروز منتشر کنیم. با وجود اساتید صاحب‌نظر داخلی در این حوزه‌ها، تصمیم گرفتیم از نظر ارزشمند برترین اساتید ایرانی در هر حوزه، بهره بگیریم که در انتهای هر مقاله، این نظرات گنجانده شده است. تیم دیپ لوک از این اساتید ارجمند که با وجود مشغله‌های فراوان، ما را نظر ارزشمند خود را بهره‌مند نمودند، صمیمانه سپاسگزاری می‌نماید.

امیدواریم ویژه‌نامه‌ی نوروزی دیپ لوک در آغازین روزهای بهار، نویدی برای نگاه ژرف‌تر همه‌ی ما باشد، چرا که بهار، تنها نو شدن طبیعت نیست، که بهانه‌ای برای نو شدن اندیشه‌هاست...

اساتید صاحب‌نظر در این شماره:

دکتر مهدی گلشنی

فیزیکدان ایرانی، پژوهشگر فلسفه علم ، مترجم، استاد دانشگاه صنعتی شریف، عضو شورای عالی انقلاب فرهنگی، عضو پیوسته فرهنگستان علوم ایران و استاد پیشکسوت پژوهشکده فیزیک پژوهشگاه دانش‌های بنیادی است. او از برگزیدگان همایش چهره های ماندگار در عرصه‌ی فیزیک و برنده‌ی کتاب سال جمهوری اسلامی ایران است.

دکتر حمید وحید دستجردی

فیلسوف ایرانی، پژوهشگر فلسفه‌ی ذهن و رییس پژوهشکده فلسفه تحلیلی پژوهشگاه دانش‌های بنیادی است. او دانش‌آموخته‌ی دانشگاه صنعتی شریف، دانشگاه واریک و مدرسه اقتصاد لندن و دکترای منطق فلسفی از دانشگاه آکسفورد بوده و بیش از پنجاه مقاله در معتبرترین مجلات فلسفی بین‌المللی منتشر کرده است.

دکتر رضا منصوری

فیزیکدان ایرانی و استاد فیزیک دانشگاه صنعتی شریف است. وی به همراه سکسل، نظریه آزمون نسبیت را ارائه کرده است. او معاون پژوهشی وزارت علوم در دوره ریاست جمهوری محمد خاتمی، یکی از بنیان‌گذاران پژوهشگاه دانشهای بنیادی و از پیشگامان همکاری ایران با سِرن بوده است.

دکتر مهدی صادقی

زیست‌شناس ایرانی و استادیار پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری و همچنین رییس پژوهشکده علوم زیستی پژوهشگاه دانشهای بنیادی است. وی در سال ۱۳۸۹ به عنوان پژوهشگر برتر پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری انتخاب گردید.

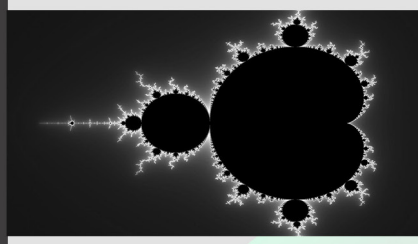
دکتر محمدمهدی شیخ جباری

فیزیکدان ایرانی و رییس پژوهشکده فیزیک پژوهشگاه دانشهای بنیادی است. او در هفتمین همایش چهره‌های ماندگار به عنوان جوانترین چهره ماندگار انتخاب شد. جایزه هرمن وایل در رشته ریاضی فیزیک در بیست‌وهفتمین دوره کنفرانس روش‌های نظریه گروه‌ها در فیزیک، به او اعطا شد.

فهرست مقالات

چگونه به جهان بنگریم؟ ۶

نظرات ۸



آیا محدودیتی برای درک علمی وجود دارد؟ ۹

نظرات ۱۱

فراسوی افق‌های کوانتومی ۱۳

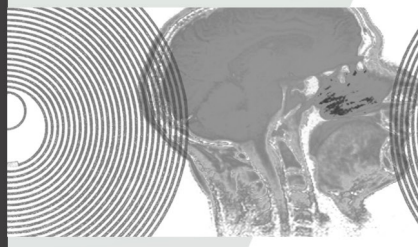
نظرات ۱۸

چرا فیزیک یک قلمرو نیست؟ ۱۹

نظرات ۲۹

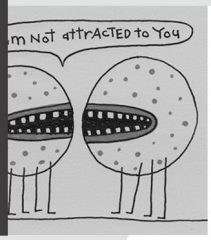
حیات در فیزیک، چگونه ترجمه می‌شود؟ ۲۴

نظرات ۲۹



آیا ماده، آگاه است؟ ۳۱

نظرات ۳۷



دردسرهای نظریه‌ی همه‌چیز ۳۸

نظرات ۴۱

چگونه به جهان بنگریم؟

پیوند به مقاله اصلی

رابرت دایگراف Robbert Dijkgraaf

ریاضی-فیزیکدان آلمانی و نظریه‌پرداز ریسمان، استاد دانشگاه آمستردام و مدیر موسسه مطالعات پیشرفته‌ی پرینستون

فرض کنید بیگانگان فضایی بر روی سیاره‌ی ما فرود آمده و بخواهند دانش علمی ما را بیاموزند. اگر شما به جای آنها بودید این فرآیند یادگیری را چگونه آغاز می‌کردید؟ من با مستند چهل سال پیش «توان‌های ده[1]» شروع می‌کردم. شاید این فیلم کوتاه که توسط زوج طراح معروف چارلز و ری ایمز[2] نوشته و کارگردانی شده، کمی تاریخ‌گذشته باشد، اما در کمتر از ده دقیقه، نگرشی جامع از کیهان ارائه می‌کند.

متن فیلم، بسیار ساده و زیباست. فیلم با سکانسی از یک زوج شروع می‌شود که در یکی از پارک‌های شیکاگو به پیک‌نیک رفته‌اند. سپس دوربین، عقب‌تر رفته و نمای وسیع‌تری را نشان می‌دهد. وسعت دید هر ده ثانیه، ده برابر می‌شود، از ده متر به صد متر، از صد متر به هزار متر و همینطور پیش می‌رود. تصویر بزرگ، به تدریج خود را به ما نشان می‌دهد و با عبور از شهر، قاره، زمین، منظومه‌ی خورشیدی، ستاره‌های همسایه، کهکشان راه شیری، در نهایت به بزرگ‌ترین ساختار جهان ختم می‌شود. در نیمه‌ی دوم فیلم، دوربین روی کوچکترین ساختارها تمرکز کرده و بیشتر و بیشتر از جزئیات میکروسکوپی پرده برمی‌دارد. سفر به اعماق ماده، با دست انسان شروع شده و سپس سلول‌ها، مارپیچ دوتایی مولکول DNA، اتم‌ها، هسته و سرانجام کوارک‌های بنیادین درون یک پروتون، نمایش داده می‌شوند.

این فیلم، زیبایی شگفت‌انگیز بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین جهان هستی را به تصویر کشیده و با یک پایان چالش‌برانگیز برای علوم بنیادی، به پایان می‌رسد؛ به گونه‌ای که وقتی پسر هشت‌ساله‌ی من برای اولین بار، این فیلم را دید، پرسید: «فیلم چگونه ادامه پیدا می‌کند؟». درک پرده‌ی بعدی فیلم، هدف دانشمندانی است که در حال جلو بردن مرزهای فهم بشر در مورد بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین ساختارهای جهان هستی هستند. در پایان فقط توانستم به پسرم بگویم: «پدرت کار دارد!».

«توان‌های ده» به ما می‌آموزد در عین حال که مقیاس‌های گوناگون طول، زمان و انرژی را می‌پیماییم، از قلمروهای مختلف دانش نیز عبور می‌کنیم. روانشناسی، رفتار انسانی را مطالعه می‌کند، زیست شناسی تکاملی، اکوسیستم‌ها را بررسی می‌کند، ستاره‌شناسی راجع به سیاره‌ها و ستاره‌ها تحقیق می‌کند و کیهان‌شناسی بر روی کل جهان هستی تمرکز دارد. به طور مشابه، وقتی به دل ذرات حرکت می‌کنیم، قلمروهای زیست‌شناسی، شیمی و فیزیک اتمی و ذرات را درمی‌نوردیم. این روند، نحوه‌ی شکل‌گیری قلمروهای علمی را نشان می‌دهد، مانند لایه‌های زمین‌شناسی در گرند کانیون آریزونا[3].

با گذر از یک لایه به لایه‌ی بعدی، نمونه‌هایی از ظهوریافتگی[4] و تقلیل‌گرایی[5]، یعنی دو اصل مهم سازماندهی علم مدرن را مشاهده می‌کنیم. با کوچک‌نمایی تصویر، الگوهای جدیدی از دل رفتار پیچیده‌ی اجزای مستقل، «ظهور» می‌کنند. واکنش‌های بیوشیمی منجر به ظهور موجودات دارای درک می‌شوند. ارگانیسم‌های منفرد، در اکوسیستم‌ها به یکدیگر می‌پیوندند. صدها میلیاردها ستاره برای انجام حرکت چرخشی باشکوه کهکشان‌ها، گرد هم می‌آیند.

زمانی که رویه را معکوس کرده و بزرگنمایی کنیم، تقلیل‌گرایی را مشاهده خواهیم کرد. الگوهای پیچیده، در اجزای ساده و بنیادی، محو می‌شوند. حیات، به واکنش‌های شیمیایی میان DNA، RNA، پروتئین‌ها و دیگر مولکول‌های آلی، کاهش می‌یابد. پیچیدگی شیمی، به زیبایی خارق‌العاده‌ی اتم‌های کوانتومی تبدیل می شود و سرانجام، مدل استاندارد فیزیک ذرات، تمام اجزای شناخته شده‌ی ماده و تابش کائنات را تنها در مجموعه‌ی چهار نیرو و هفده ذره‌ی بنیادی دربرمی‌گیرد.

کدامیک از دو اصل علمی تقلیل‌گرایی یا ظهوریافتگی، قدرتمندتر است؟ فیزیکدانان ذرات، به نفع تقلیل‌گرایی رای خواهند داد و فیزیکدان‌های ماده چگال که مواد پیچیده را مطالعه می‌کنند، ادعا خواهند کرد که ظهوریافتگی قدرتمندتر است. این نگرش، توسط برنده جایزه نوبل (و فیزیکدان ذرات) دیوید گراس چنین بیان شده است:

---

۱. Powers of Ten

۲. Charles and Ray Eames

۳- Grand Canyon

٤- Emergentism

٥- Reductionism

درکجـای طبیعـت، «زیبایـی»، و در کجـا «زبالـه‌هـا» را می‌یابیـد؟

نگاهـی بـه پیچیدگـی دنیـای واقعـی اطرافتـان بیاندازیـد. فیزیکدانـان ذرات، طبیعـت را بـا اسـتفاده از تعـداد انگشت‌شـماری ذره و اثـرات متقابـل بیـن آن‌هـا توضیـح می‌دهنـد، امـا فیزیکدانـان مـاده چـگال می‌پرسـند: در مـورد لیـوان آبـی کـه هـر روز می‌نوشـید چـه می‌گوییـد؟ توصیـف امـواج سـطح لیـوان آب، بـر حسـب حرکـت حـدود ۱۰۲۴ مولکـول مجـزای آب (و حتـی بـدون در نظـر گرفتـن ذرات بنیـادی)، واقعـا احمقانـه خواهـد بـود. فیزیکدانـان مـاده چـگال، بـه جـای پیچیدگی‌هـای غیرقابـل نفـوذ در مقیاس‌هـای کوچـک (زباله‌هـا) کـه فیزیکدانـان ذرات بـا آن‌هـا روبـه‌رو می‌شـوند، از قوانیـن ظهوریافتگـی و «زیبایـی» هیدرودینامیـک و ترمودینامیـک اسـتفاده میکننـد.

در حالیکـه بسـیاری از دانشـمندان، رویکـرد تقلیلـی و پدیدارشـناختی قـرن هـای گذشـته را سـتایش مـی کننـد، جـان ویلـر فیزیکـدان تاثیرگـذار دانشـگاه پرینسـتون کـه بـر روی موضوعـات گسـترده ای از فیزیـک هسـته‌ای تـا سـیاه چالـه هـا تحقیـق مـی کـرد، رویکـرد جالـب دیگـری را مطـرح کـرد: «در مرزهـا و حدهـا مشـخص خواهـد شـد هـر قانـون فیزیکـی، آمـاری و تقریبـی بـوده، نـه از نظـر ریاضـی، عالـی و کامـل». ویلـر بـه یـک ویژگـی مهـم قوانیـن ظهوریافتگـی اشـاره می‌کنـد: ماهیـت تقریبـی ایـن قوانیـن، انعطـاف پذیـری خاصـی بـه آنهـا می‌بخشـد تـا بتواننـد خـود را بـا تکامـل آینـده، وفـق دهنـد.

در بسـیاری از مـوارد، ترمودینامیـک، یـک قانـون اسـتاندارد و طلایـی ظهوریافتگـی اسـت کـه رفتـار جمعـی تعـداد زیـادی از ذرات را بـدون در نظـر گرفتـن بسـیاری از جزییـات میکروسـکوپی، توصیـف می‌کنـد. ترمودینامیـک، طیـف بسـیار گسـترده‌ای از پدیده‌هـا را در قالـب فرمول‌هـای مختصـر ریاضـی در برمی‌گیـرد. ایـن قوانیـن، جامعیـت و عمومیـت زیـادی دارنـد و در واقـع، قبـل از کشـف بنیـان اتمـی مـاده، کشـف شـده‌اند. بـرای مثـال، قانـون دوم ترمودینامیـک بیـان می‌کنـد کـه انتروپـی یک سیسـتم (سنجشـی از میـزان اطلاعات میکروسـکوپی نهفتـه در آن)، همیشـه افزایـش می‌یابـد.

فیزیـک مـدرن، زبـان دقیقـی بـرای لحـاظ کـردن مقیـاس اشـیا ارائـه مـی کنـد: ایـن زبـان، بـا نـام گـروه بازبهنجارسـازی[۶] شـناخته می‌شـود. ایـن چارچـوب ریاضـی، بـه مـا امـکان می‌دهـد بـه طـور ضابطه‌منـدی از مقیاس‌هـای کوچـک بـه بـزرگ حرکـت کنیـم. مرحلـه‌ی ضـروی ایـن چارچـوب، همـان میانگین‌گیـری اسـت. بـرای مثـال، بـه جـای آنکـه رفتـار تک‌تـک اتم‌هـای سـازنده‌ی مـاده را در نظـر بگیریـم، می‌توانیـم مکعب‌هـای کوچکـی، مثـلا ۱۰ اتـم در هـر ضلـع آن را بـه عنـوان اجـزای جدیـد سـازنده‌ی مـاده تصـور کنیم. سـپس می‌تـوان ایـن فراینـد میانگین‌گیـری را ادامـه داد. ایـن کار، درسـت ماننـد آن اسـت کـه بـرای هـر سیسـتم فیزیکـی، یـک فیلـم «توان‌هـای ده» سـاخته شـود!

نظریـه‌ی بازبهنجارسـازی، دقیقـا بیـان می‌کنـد کـه اگـر مقیـاس طولـی کـه مشـاهده‌ی مـا بـر مبنـای آن انجـام می‌شـود، افزایـش یابـد، ویژگی‌هـای یـک سیسـتم فیزیکـی چگونـه تغییـر می‌کنـد. یـک مثـال معـروف، بـار الکتریکـی ذرات اسـت کـه می‌توانـد بسـته بـه برهمکنش‌هـای کوانتومـی، افزایـش یـا کاهـش یابـد. مثال‌هـای جامعه‌شـناختی هـم در ایـن زمینـه وجـود دارنـد: مثـلا درک رفتـار گروه‌هـای مختلـف انسـانی بـا

۶- Renormalization group

کاوش در رفتار فردی اعضا: آیا دانایی در جمعیت نیز وجود دارد؟ آیا اجتماعات، نسبت به افراد، با مسئولیت‌پذیری کمتری رفتار می‌کنند؟

جالب‌ترین قسمت داستان، دو نقطه‌ی حدی فرآیند بازبهنجارسازی است: بی‌نهایت بزرگ و بی‌نهایت کوچک. در این نقاط، معمولا همه چیز، ساده می‌شود؛ زیرا یا تمام جزییات، ناپدید می‌شود (مقیاس بی‌نهایت بزرگ)؛ یا محیط، ناپدید می‌شود (مقیاس بی‌نهایت کوچک). چنین چیزی را در دو حدِ شگفت‌انگیز فیلم «توان‌های ده» مشاهده می‌کنیم. کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین ساختارهای جهان، به طرز عجیبی ساده هستند. اینجاست که دو «مدل استاندارد» را پیدا می‌کنیم: ذرات بنیادی و کیهان‌شناسی.

نگرش‌های مدرن درباره‌ی دشوارترین چالش فیزیک نظری (توسعه‌ی یک نظریه کوانتومی گرانش)، هر دو دیدگاه ظهوریافتگی و تقلیل‌گرایی را به کار می‌گیرند. نگرش‌های سنتی به گرانش کوانتومی، مانند نظریه ریسمان اختلالی سعی می‌کنند توصیف میکروسکوپی کاملاً سازگاری از تمام ذرات و نیروها پیدا کنند. این «نظریه‌ی نهایی» لزوما نظریه‌ی گراویتون‌ها (ذرات بنیادی میدان گرانشی) را نیز در بر می‌گیرد. برای مثال، در نظریه‌ی ریسمان، گراویتون از ریسمانی که به شکل خاصی ارتعاش می‌کند، ساخته می‌شود. یکی از اولین موفقیت‌های نظریه‌ی ریسمان، ارائه‌ی طرحی برای محاسبه‌ی رفتار چنین گراویتون‌هایی بود. اما این نظریه، پاسخ کاملی نیست؛ اینشتین به ما آموخت گرانش، قلمروی وسیع‌تری دارد: گرانش، ساختار فضا و زمان را شکل می‌دهد. در یک توصیف کوانتومی، فضا و زمان مفهوم خود را در فواصل فوق‌العاده کوتاه و مقیاس‌های زمانی بسیار کوچک، از دست داده و این سوال پیش می‌آید که چه چیزی جایگزین آن مفاهیم بنیادی می‌شود.

در دهه‌ی ۱۹۷۰ رویکرد مکملی برای ترکیب نظریه‌ی گرانش و کوانتوم با ایده‌ی پیشگامانه‌ی جاکوب بکنشتاین و استیون هاوکینگ در مورد محتوای اطلاعات سیاه‌چاله‌ها پیشنهاد شد و در اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰ با تحقیقات اولیه‌ی خوان مارتین مالداسنا جان گرفت. در این چارچوب، فضا-زمان کوانتومی (شامل تمام ذرات و نیروها)، از یک توصیف هولوگرافیکی کاملاً متفاوت، «ظهور» می‌یابد. سیستم هولوگرافیکی، کوانتومی است؛ اما هیچ شکل صریحی از گرانش، درون آن وجود ندارد. از طرفی، این سیستم، ابعاد فضایی کمتری نیز دارد، اما تحت سلطه‌ی عددی قرار دارد که میزان بزرگی سیستم را نشان می‌دهد. اگر این عدد را افزایش دهیم، تقریب به یک سیستم گرانشی کلاسیک، دقیق‌تر می‌شود. در نهایت، فضا و زمان، همراه با معادله‌ی نسبیت عام اینشتین، از سیستم هولوگرافیکی «ظهور» می‌یابند. این فرآیند، مشابه «ظهور» قوانین ترمودینامیک از حرکت مولکول‌های منفرد است.

این نگرش، به نوعی برخلاف چیزی است که اینشتین تلاش می‌کرد بدست آورد. سعی او این بود که تمام قوانین طبیعت را خارج از دینامیک فضا و زمان و با تقلیل فیزیک به هندسه‌ی محض بسازد. برای او فضا-زمان، بنیادی‌ترین سطح سلسله مراتب بی‌پایان علم بود (یعنی لایه‌ی کف گرند کانیون). دیدگاه حاضر، فضا-زمان را به عنوان نقطه‌ی آغازین تصور نمی‌کند، بلکه آن را نقطه‌ی پایانی و ساختاری طبیعی که از دل پیچیدگی اطلاعات کوانتومی «ظهور» می‌کند، می‌داند؛ بیشتر شبیه به ترمودینامیکی که بر لیوان آب ما حکمرانی می‌کند. با نگاه به گذشته درمی‌یابیم که شاید اتفاقی نباشد دو قانونی که اینشتین بیش از همه به آنها علاقمند بود، یعنی ترمودینامیک و نسبیت عام، منشا مشترکی به عنوان پدیده‌های ظهوریافته[۷] دارند. پیوند شگفتی‌آفرین ظهوریافتگی و تقلیل‌گرایی[۸]، امکان لذت از هر دو جهان را فراهم می‌کند و در دو انتهای این طیف، زیبایی، انتظار فیزیکدانان را می‌کشد!

۷- نوخاسته، برآمده

۸- فروکاست‌گرایی

دکتر شیخ جباری:

به نظر من، این مقاله، در مورد یکی از بنیادی‌ترین اصول فیزیک «اصل جدا بودن مقیاسها» صحبت می‌کند. این اصل به قدری شهودی و برای افراد در جوامع امروزین، نهادینه شده که معمولاً به اهمیت آن فکر نمی‌شود. همان‌طور که در مقاله آمده، مبحث بازبهنجارش در نظریه میدانهای کوانتومی، مستقیم‌ترین و صریح‌ترین و شاید دقیق‌ترین فرمول‌بندی از این اصل باشد. به نظر من دوگانی گرانش/پیمانه‌ای (بحث بخش پایانی مقاله) و این که فضازمان را به خاصیتی ظهوریافته فرومی‌کاهد، هر چند در سطح دیدگاه و خوانشی از این دوگانی مطرح است، چندان دقیق نیست. به نظر من اینکه خود اصل همه‌نگاری (هولوگرافی) چرا و چگونه کار می‌کند، سوالی است که هنوز پاسخ داده نشده است. در این مورد، ایده‌های چندی مطرح شده‌اند، مثلاً استفاده از درهم‌تنیدگی کوانتومی، اما به عقیده من هنوز رهیافت درست به این سوال پیدا نشده است.

آیا محدودیتی برای درک علمی وجود دارد؟

پیوند به مقاله اصلی

مارتین ریس Martin Rees

کیهان‌شناس و اخترفیزیکدان انگلیسی، استاد بازنشسته‌ی دانشگاه کمبریج، رییس سابق انجمن سلطنتی و برنده‌ی جوایز متعدد از جمله جایزه‌ی کرافورد و مدال فرانکلین.

آلبرت اینشتین در یکی از مشهورترین جملاتش گفت: «غیرقابل فهم‌ترین چیز درباره‌ی جهان، قابل‌فهم بودن آن است». او واقعا حق داشت شگفت‌زده شود. مغز انسان برای سازگاری، تکامل می‌یابد، اما معماری بنیادی نورونی ما، از زمانی که اجدادمان در ساوانا پرسه می‌زدند و با مشکلاتش، دست و پنجه نرم می‌کردند، واقعا تغییر زیادی نکرده است. نکته‌ی بسیار جالب، این است که همین مغز، به ما اجازه‌ی درک کوانتوم و کیهان‌شناسی را داده، مفاهیمی که از شهود روزانه‌ی ما در دنیای ماکروسکوپی و جایی که مغزمان تکامل یافته، فاصله‌ی زیادی دارند.

اما من فکر می‌کنم علم در نقاطی، به بن‌بست خواهد خورد. دو دلیل برای رخداد چنین اتفاقی وجود دارد: دلیل خوشبینانه این است که ما در برخی حوزه‌ها (مانند فیزیک اتمی)، پیشرفت قابل توجهی داشته‌ایم و قوانین آنها را استخراج کرده‌ایم و دیگر حرف بیشتری برای گفتن نداریم. اما دلیل دوم و نگران‌کننده، این است که ما به محدودیت‌هایی در علم خواهیم رسید که مغزمان دیگر قادر به درک مفاهیم نخواهد بود. ممکن است مفاهیمی برای درک کامل واقعیت فیزیکی، وجود داشته باشند که ما از آنها آگاه نیستیم و شاید برای درک برخی حقایق، باید منتظر یک هوش فرا انسانی بود!

دانش علمی، واقعا پر وصله است و عمیق‌ترین رازها اغلب نزدیک هم قرار می‌گیرند. امروزه، ما می‌توانیم اندازه‌گیری‌های دقیقی را که نشان می‌دهد دو سیاه‌چاله با فاصله‌ی بیش از یک میلیارد سال نوری از زمین، در حال نزدیک شدن به یکدیگر هستند، تفسیر کنیم. با این حال، برخلاف پیشرفت‌های مهم در حوزه‌ی همگیرشناسی، پیشرفت اندکی در درمان یک سرماخوردگی معمولی داشته‌ایم. این حقیقت که می‌توانیم در مورد عجیب و غریب‌ترین پدیده‌های کیهانی دور، با اطمینان صحبت کنیم، اما در تفسیر اتفاقات روزمره گیج شده‌ایم، آنقدرها هم که به نظر می‌رسد، متناقض نیست. نجوم، واقعا ساده‌تر از علوم انسانی و زیستی است. اگرچه سیاه‌چاله‌ها، برای ما بسیار عجیب، به نظر می‌رسند، اما آنها در واقع، یکی از غیرپیچیده‌ترین رویدادهای طبیعت هستند، چرا که می‌توان آنها را با معادلاتی ساده، دقیقا توصیف کرد. پس ما پیچیدگی را چگونه تعریف می‌کنیم؟ تعریف مرزهای علم (اینکه علم تا چه حدی می‌تواند پیش برود)، به پاسخ این سوال بستگی دارد. موجوداتی که فقط از چند اتم ساخته شده‌اند، نمی‌توانند خیلی پیچیده باشند. از طرفی نیازی نیست، موجودات بزرگ هم، خیلی پیچیده باشند. یک ستاره برخلاف اندازه‌اش، واقعا ساده است. مرکزش، بسیار داغ است، به گونه‌ای که ملکول‌های پیچیده، از هم می‌پاشند و هیچ ترکیب شیمیایی در آن وجود ندارد، بنابراین چیزی که بر جای می‌ماند، گاز بی‌شکلی از هسته‌های اتمی و الکترون‌هاست. اکنون به یک بلور نمک توجه کنید که از اتم‌های سدیم و کلری ساخته شده که با طرح‌های تکرارشونده‌ی بلوری، یک مکعب را ساخته‌اند. اگر یک بلور بزرگ را گرفته و تکه تکه کنید، تا زمانی که به مقیاس یک اتم نرسیده‌اید، تغییراتی که در ساختارش به وجود می‌آید، واقعا اندک است. حتی اگر قطعه بلور، بسیار عظیم‌الجثه باشد، باز هم نمی‌توان این بلور نمک را پیچیده دانست.

اتم‌ها و پدیده‌های نجومی، یعنی مقیاس‌های خیلی بزرگ و خیلی کوچک، می‌توانند کاملا بنیادی باشند. هر چیز پیچیده‌ای که وجود دارد، مربوط به مقیاس بین آنهاست. بی‌شک موجودات زنده، پیچیده‌ترین چیزهای کائنات هستند. اجزای ساختار درونی یک حیوان، مقیاس‌های مختلفی را در می‌گیرد: از پروتئین‌های درون یک تک سلول گرفته تا اندام‌های آن. اگر بدن یک جاندار را تکه تکه کنیم، دیگر وجود نخواهد داشت، یعنی برعکس چیزی که در مورد بلور نمک دیدیم؛ اگر یک حیوان را تکه تکه کنیم، می‌میرد!

گاهی اوقات درک علمی، به صورت سلسله مراتبی و مانند طبقات یک ساختمان درنظر گرفته می‌شود. علوم سیستم‌های پیچیده‌تر، در طبقات بالاتر قرار داشته و علوم سیستم‌های ساده‌تر، در طبقات پایین‌تر جای می‌گیرند. با این حساب، ریاضی‌دانان در زیرزمین ساختمان هستند، پس از آنها فیزیکدانان ذرات در طبقه همکف، و سپس فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، گیاه‌شناسی، جانورشناسی، و در نهایت علوم رفتاری و اجتماعی، به ترتیب در طبقات بالاتر قرار می‌گیرند (اقتصاددانان قطعا در پنت‌هاوس ساکن‌اند!).

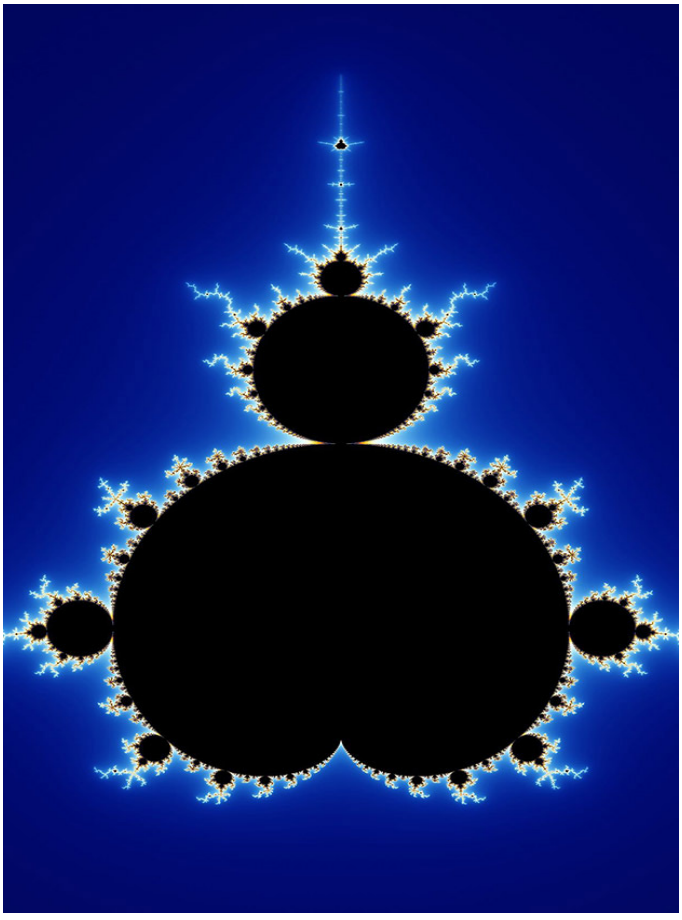
در درستی این ساختار سلسله‌مراتبی، شکی نیست، اما سوال اینجاست که آیا علوم طبقه همکف، به ویژه فیزیک ذرات، واقعا عمیق‌تر و دربردارنده‌ی سایر علوم هستند؟! به یک بیان، قطعا بله! همانطور که فیزیکدان نوبلیست، استیون واینبرگ در کتاب «رویاهای یک نظریه‌ی نهایی» در سال ۱۹۹۲ توضیح می‌دهد تمام پیکان‌های توضیحی به سمت پایین می‌آیند. اگر مانند یک کودک نوپا، مدام در مورد علت هر پدیده سوال کنید، چرا، چرا، چرا؟ در نهایت، به سطح ذرات بنیادی خواهید رسید. تقریبا تمام دانشمندان، به شیوه‌ی واینبرگ، تقلیل‌گرا هستند؛ یعنی مطمئن‌اند هر چیز حتی پیچیده‌ای، جوابی برای معادله‌ی شرودینگر است، معادله‌ای که بنیادی‌ترین معادله‌ی حال حاضر برای توضیح چگونگی کارکرد یک سیستم، طبق قوانین مکانیک کوانتومی است. با این حال، درست همانطور که فیزیکدان فیلیپ اندرسون در مقاله‌ی معروفش در سال ۱۹۷۲ با عنوان «بیشتر، متفاوت است» می‌گوید، توضیح یک تقلیل‌گرا، همیشه بهترین و مفیدترین توضیح نیست. هر چیزی، مهم نیست چقدر پیچیده، جنگل‌های گرمسیری، طوفان‌ها یا جوامع انسانی، از اتم‌ها ساخته شده و از قوانین مکانیک کوانتومی پیروی می‌کنند؛ اما حتی اگر معادلات کوانتومی برای تعداد بیشماری اتم حل شود، نگرشی را که دانشمندان به دنبالش هستند، نتیجه نمی‌دهد.

سیستم‌های ماکروسکوپی که دارای تعداد بسیار زیادی ذره هستند، ویژگی‌های ظهوریافته‌ای از خود نشان می‌دهند که بهترین توضیح آنها به کمک مفاهیم جدید و غیرقابل تقلیلِ ویژه‌ی همان سطح سیستم، ممکن است. ظرفیت، گاسترولاسیون (شروع تغییر سلول‌ها در دوره‌ی جنینی)، نقش‌پذیری ژنی و انتخاب طبیعی، نمونه‌هایی از این دست هستند. حتی پدیده‌ای مانند جریان آب در لوله یا رودخانه هم قطعا با مفاهیمی مانند ویسکوزیته و آشفتگی (به جای برهمکنش‌های اتم به اتم)، بهتر درک می‌شود. برای متخصصان مکانیک سیالات، مهم نیست آب از ملکول‌های H_2O ساخته شده، زیرا با درنظرگرفتن مایع به صورت پیوسته، قادر به پیش‌بینی ویژگی‌هایی مانند شکست امواج و اختلال جریان، یعنی ویژگی‌هایی که برایشان مهم است، هستند.

برای درک واقعیت چیزهای پیچیده، مانند مهاجرت پرندگان یا فرار مغزها، بی‌شک به مفاهیم جدیدی نیاز داریم. مغز، مجموعه‌ای از سلول‌ها؛ و یک نقاشی، مجموعه‌ای از رنگدانه‌های شیمیایی است، اما چیزی که مهم و جالب است، این است که این الگو و ساختار چگونه در لایه‌های بالاتر پدید می‌آید، چیزی که پیچیدگی ظهوریافته نامیده می‌شود. بنابراین تقلیل‌گرایی، به معنای کلی و سلسله مراتبی بودن سطوح علمی، درست بوده، اما به بیان مفید و کاربردی، به ندرت، درست است. فقط یک درصد دانشمندان، فیزیکدان ذرات یا کیهانشناس هستند؛ ۹۹ درصد دیگر، روی سطوح بالاتر این سلسله مراتب کار می‌کنند. آنها درگیر پیچیدگی‌های سطح خود هستند، نه کاستی‌های فیزیک ذرات زیراتمی!

پس در واقع، قیاس علم با یک ساختمان، قیاس درستی نیست. استحکام یک ساختمان، با پایه‌های ضعیف، کم می‌شود، در حالیکه، علوم سطح بالاتری که با سیستم‌های پیچیده‌تر در ارتباط‌اند، با یک پایه‌ی سست، آسیب‌پذیر نمی‌شوند. هر لایه‌ی علم، مفاهیم جداگانه‌ی خودش را دارد. پدیده‌های با سطوح متفاوت پیچیدگی باید از طریق مفاهیم تقلیل‌ناپذیر و متفاوتی درک شوند.

ما می‌توانیم انتظار پیشرفت‌هایی خیره‌کننده را در سه سطح علمی داشته باشیم: بسیار کوچک، بسیار بزرگ و بسیار پیچیده. با این وجود، من حس می‌کنم برای درک ما محدودیتی وجود دارد و تلاش برای فهم سیستم‌های بسیار پیچیده‌ای مانند مغزمان، می‌تواند با چنین محدودیت‌هایی روبرو شود. شاید ترکیبات پیچیده‌ی اتم‌ها (چه مغز باشد و چه ماشین‌های الکترونیکی)، هیچگاه نتوانند همه چیز را در مورد خودشان بدانند! و شاید اگر تلاش کنیم پیکان‌های



واینبـرگ را بـه سـمت پاییـن و پایین‌تـر دنبـال کنیـم، بـا نوعـی هندسـه‌ی چنـد بعـدی کـه نظریـه‌ی ریسـمان پیش‌بینـی می‌کنـد، مواجـه شـویم و ایـن یعنـی یـک مانـع دیگـر، زیـرا شـاید فیزیکدانـان هیچـگاه نتواننـد اسـاس ماهیـت فضـا و زمـان را بـه دلیـل ریاضیـات بسـیار دشـوارش، درک کننـد.

ادعـای مـن کـه حـدی بـرای درک انسـان وجـود دارد، توسـط دیویـد دوچ، فیزیکـدان نظـری و پیشـگام محاسـبات کوانتومـی، بـه چالـش کشـیده شـده اسـت. او در سـال ۲۰۱۱ و در کتـاب عالـی و هیجان‌انگیـزش، بـه نـام «آغـاز بی‌نهایـت» می‌گویـد هـر فرآینـدی از لحـاظ نظـری، قابـل محاسـبه اسـت. ایـن نکتـه، درسـت اسـت، امـا توانایـی محاسـبه‌ی یـک فرآینـد، بـا درک متفکرانـه‌ی آن، یکـی نیسـت. الگـوی زیبـای فراکتـال کـه بـه عنـوان مجموعـه مندلبـرو شـناخته می‌شـود، بـا الگوریتمـی توصیـف می‌شـود کـه می‌تـوان آن را در چنـد خـط نوشـت و حتـی شـکل آن را می‌تـوان بـا یـک کامپیوتـر عـادی کشـید؛ امـا هیـچ انسـانی نمی‌توانـد صرفـا بـا داشـتن الگوریتـم، ایـن الگـوی فوق‌العـاده پیچیـده را بـه همـان راحتـی کـه یـک مربـع یـا دایـره می‌کشـد، رسـم کنـد.

قهرمـان شـطرنج، گـری کسـپاروف در سـال ۲۰۱۷ در کتابـی بـه نـام «تفکـر عمیـق» اسـتدلال می‌کنـد کـه ترکیـب «انسان+ماشـین» از هـر یـک از آنهـا بـه تنهایـی، قدرتمندتـر اسـت. شـاید چنیـن ترکیبـی بـا همزیسـتی انسان-ماشـین در اکتشـافات آینـده بدسـت آیـد. اسـتفاده از شبیه‌سـازی‌های کامپیوتـری بـه جـای انجـام آزمایـش در توسـعه‌ی داروهـا و علم مـواد بـه تدریـج، سـودمندتر خواهـد شـد. اینکـه آیـا ماشـین‌ها در نهایـت خواهنـد توانسـت بـه طـور کیفـی از مـا پیشـی گرفتـه و حتـی خودشـان آگاه شـوند، یـک چالـش هیجان‌انگیـز اسـت. تفکـر انتزاعـی مغزهـای زیسـتی، باعـث ظهـور تمـام علـوم و فرهنگ‌هـا شـده، امـا ایـن فعالیـت، بیـش از ده‌هـا هـزار سـال بـه طـول انجامیـده اسـت. بـا ایـن حـال، احتمـالا زمـان زیـادی طـول نخواهـد کشـید کـه هوش‌هـای قدرتمندتـر دوره‌ی پساانسـانی کـه نـه بـا انتخـاب داروینـی، بلکـه از طریـق «طراحـی هوشـمند» تکامـل یافته‌انـد، ظهـور کننـد. اینکـه آیـا آینـده در تسـخیر پساانسـان‌های ارگانیـک خواهـد بـود یـا ماشـین‌های ابرهوشـمند الکترونیـک، جـای بحـث دارد.

دکتر منصوری:

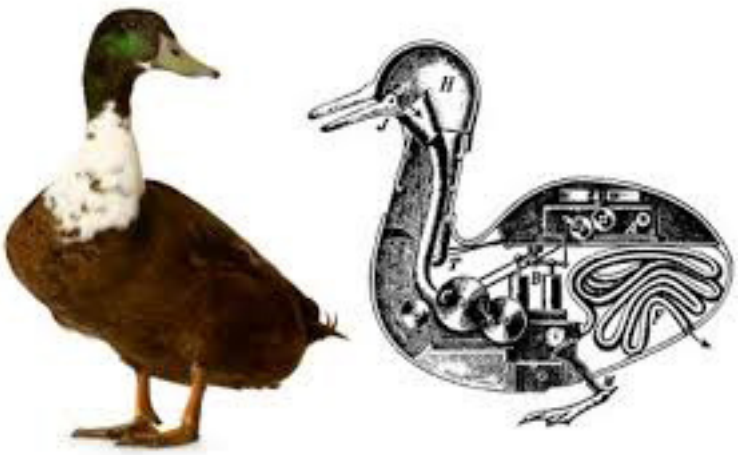
مارتیـن ریـس در نوشـته‌ی خـود بـا عنـوان «آیـا محدودیتـی بـرای درک علمـی وجـود دارد؟» پاسـخ آن را مثبـت می‌دانـد. شـاید! مهم‌تـر از ایـن کـه ایـن سـوال پاسـخی داشـته باشـد ایـن اسـت کـه از چـه گسـتره‌ی زمانـی صحبـت می‌کنیـم. بشـر امـروزی بگوییـم حضـوری از مرتبـه ی بزرگـی ۱۰۰ هـزار سـال روی زمیـن دارد؛ همچنیـن از مرتبـه ی بزرگـی ۱۰ هـزار سـال اسـت کـه زبـان دارد و نوشـته. یعنـی مفاهیمـی «ابـداع» کـرده کـه جامعـه‌ی انسـانی روی آن توافـق کـرده و اجمـاع زبانـی بـه وجـود آمـده اسـت. امـا سـن کیهـان، ۱۴ میلیـارد سـال اسـت و سـن زمیـن هـم از مرتبـه ی چهـار میلیـارد سـال و زمیـن و منظومـه ی شمسـی هـم ۴ میلیـارد سـال دیگـر خواهـد بـود. پـس سـوال عنـوان را ایـن گونـه بیـان مـی کنـم کـه در محـدوده ی ۱۰ هـزار سـال دیگـر آیـا تفکـر انسـانی بـه مـرزی برخـورد خواهـد کـرد؟ و بعـد هـم بـه ۴ میلیـار سـال دیگـر می‌پـردازم.

آنچـه امـروزه، علـم نامیـده می‌شـود، مبتنـی بـر نوعـی تفکـر بشـر اسـت کـه سـن آن کمتـر از هـزار سـال اسـت. تفکـر را موقتـا برابـر تـوان مفهوم‌سـازی می‌گیـرم. بشـر، مفاهیـم را از طبیعـت «در نمـی‌آورد»، کشـف نمی‌کنـد، بلکـه خـودش ابـداع می‌کنـد. بـا ایـن ابـداع زبانـی، انسـان طبیعـت را درک مـی کنـد. بـه ایـن معنـی انسـان بـی زبـان، و بـی توافـق زبانـی بـا انسـان هـای دیگـر، تفکـر نمی‌کنـد و طبیعـت را هـم درک نمی‌کنـد. ایـن نـوع تفکـر زبانـی، و علـم مبتنـی بـر آن، یعنـی علـم پیشـامدرن، کمابیـش فقـط فلسـفه‌ی طبیعـی بـود و تـوان درکـش در مقایسـه بـا انسـان امـروزی بـه مراتـب نازل‌تـر. امـروزه می‌توانیـم بگوییـم کـه علـم پیشـامدرن، کـه مبتنـی بـر زبـان متعـارف انسـانی یـا زبـان کلامـی اسـت، محدودیـت دارد و مـا در هـزار سـال پیـش ایـن را نمی‌دانسـتیم. در علـم مـدرن، ریاضیـات نقـش نوعـی دیگـر زبـان را ایفـا مـی کنـد کـه توانایـی انسـان را بـرای مفهوم‌سـازی، بگوییـد تفکـر، بـه مراتـب پیـش بـرده و انسـان را بسـیار تواناتـر کـرده اسـت. ایـن نـوع تفکـر، بـا خوارزمـی و خیـام شـروع شـده و سـپس بـا گالیلـه و نیوتـون ادامـه یافتـه اسـت و ازایـن جهـت تاریـخ آن را از مرتبـه هـزار سـاله نامیـده‌ام. اکنـون سـوال را می‌شـود ایـن گونـه طـرح کـرد کـه آیـا تفکـر و علـم مبتنـی بـر زبـان ریاضـی هـم بـه محدودیـت برخـورد خواهـد کـرد؟ نمی‌دانیـم. شـاید!

تحـول در تفکـر انسـان در ۵۰ سـال اخیـر بسـیار سـریع‌تر از گذشـته شـده اسـت. چنـد دهـه اسـت کـه رایانـه نقشـی فراتـر از ابـزار محاسـبه از خـود نشـان داده اسـت و دارد بـه سـمت ابـزار جدیـدی بـرای تفکـر پـش مـی‌رود. اگـر ایـن طـور بشـود بایـد انتظـار تحـول دیگـری در تفکـر داشـت؛ شـاید بسـیار عمیق‌تـر و تاثیرگذارتـر از زبـان ریاضـی: زبـان محاسـباتی رایانـه‌ای! ایـن تـازه

شروع تحولی است که لابد در ۵۰ سال آینده به حضور رایانه‌های کوانتومی و زبان رایانش کوانتومی منجر خواهد شد. شاید پیشرفت‌های محاسبات رایانشی چند دهه‌ی اخیر در مقایسه با آنچه فقط ۵۰ سال دیگر و نه ۱۰۰۰ سال دیگر انسان شاهدش خواهد بود، مانند مقایسه‌ی محاسبه روی لوح‌های گلی بابلی با رایانه‌های امروز باشد. منتظر باشیم! به این ترتیب، حداکثر آنچه اکنون بتوان گفت، این است که شاید تفکر و علم مبتنی بر زبان ریاضی، محدودیتی جلوی رویش باشد، کما اینکه تفکر مبتنی بر زبان کلامی به این محدودیت برخورد کرد. اما به نظر من، اگر هم انسان در استقاده از زبان ریاضیاتی مدرن به محدودیتی بربخورد، زبان نوعی دیگر ابداع خواهد کرد که تفکر را از محدودیت رها کند. به این معنی من نمی‌توانم محدودیت در تفکر و در علم را بپذیرم.

اما در همین چارچوب زبان کلامی و زبان ریاضیاتی، هنوز توان انسان برای مفهوم‌سازی بسیار جای توسعه دارد. تازه دورانی شروع شده که با پدیده های «برامده» داریم خو می‌گیریم. تازه دارد دورانی فرا می‌رسد که تکینگی مهیانگ در کیهان‌شناسی را به عنوان یک معضل علمی مطرح کنیم. تازه دارد دورانی فرا می‌رسد که در کاربرد مفهوم زمان و مکان در کیهان اولیه شک کنیم و آنها را مفهوم‌هایی برامده بدانیم از مفهوم های دیگری که هنوز نمی‌دانیم چه باید یا چه می‌توانند باشند. اینها مشکل‌هایی بنیادی است در زمینه‌ای که از دید مارتین ریس بسیار پیشرفته است و شاید چیز زیادی برای کشف در آن نباشد. به نظر می‌رسد مشکل تکینگی به روشی از نوع برامدگرایی حل بشود. باید منتظر مفهوم هایی «برامده» باشیم که در تناقض با تفکر فروکاست‌گرایانه نیست، مانند دما در ترمودینامیک که مشخصا مبتنی بر تفکر فروکاستی است.



بسیار گفته شده که پدیده‌های زیستی را نمی‌شود با روش فروکاست‌گرایی در علوم فیزیکی توضیح داد. بله فعلا این گونه است. اما نکند این برداشت کنونی ما ناشی از تاثیر اشتباه واژه‌ی «علوم بنیادی» در ذهن ما باشد، به همان معنی سلسله مراتبی که ریس ذکر می‌کند و ریاضی را در زیر زمین قرار می‌دهد و علم اقتصاد را در «باغسقف» ساختمان. اما اگر ریاضی را، همان‌گونه که نوشتم یک نوع زبان بدانیم که به ما کمک می‌کند مفهوم‌ها را بسازیم، این تمثیل سلسله مراتب بی‌جا نمی‌شود؟ علم اقتصاد هم در صورت لزوم برای ساخت مفهوم‌هایش از این زبان استفاده می‌کند و ازاین حیث با فیزیک، تفاوتی ندارد.

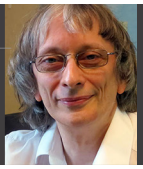
این گزاره‌هایی که با علامت سوال مطرح کردم، بیشتر از این حیث است که حرف اصلی‌ام را روشن‌تر کرده باشم که برای علم، حد و مرز نمی‌بینم، اما برای زبان کنونی تفکر یعنی ریاضی، شاید. هنگامی هم که این مرز مشخص شود انسان، زبان و روش دیگری برای تفکر ابداع خواهد کرد و این سلسله مراتب، نه تا ۱۰ هزار سال دیگر بلکه تا چهار میلیارد سال دیگر ادامه خواهد داشت تا انسان مکان دیگری برای زیست خود دست و پا کند، اگر خورشید ناپدید شود! من مخالف پذیرش محدودیت در علم و در تفکر هستم، چون این پذیرش به خودی خود ما را محدود می‌کند! لازم نیست بیش از ۵۰ سال دیگر صبر کنیم تا محدودیت فرضی کنونی با ظهور رایانه‌های کوانتومی و روش‌های جدیدتر تفکر محو شود!

مقالات مرتبط در دیپ لوک (روی نام مقالات، کلیک کنید)

* مهم ترین اندیشه در باب جهان چیست؟
* نگاهی ژرف تر: علم به کجا می رود؟
* شباهت عجیب و عمیق شبکه نورون و شبکه کهکشانی

فراسوی افق‌های کوانتومی

پیوند به مقاله اصلی



دیوید دوچ David Deutsch

فیزیکدان اسراییلی-انگلیسی و استاد دانشگاه آکسفورد، پیشگام در زمینه‌ی محاسبات کوانتومی با فرمول‌بندی توصیفی برای ماشین تورینگ کوانتومی.

در اواخر قرن نوزدهم یک هنرمند ناشناس، فردی را که به سمت افق (محل تلاقی آسمان و زمین) در حال حرکت است، به تصویر کشید (شکل زیر). در این نقاشی، فرد برای دیدن ناشناخته‌ها، رو به سوی آسمان کرده که به نوعی، نمایشگر تلاش بشر برای کسب دانش است. این تصویر، یا بیانگر یک مانع خیالی است که در واقعیت، علم همیشه توانایی عبور از آن را داشته، یا نشان‌دهنده‌ی یک مانع واقعی است که تنها در تخیل می‌توان از آن عبور کرد. نقاش این تصویر، بشر را درون حباب محدودی از اشیا و رویدادهای آشنا، محبوس می‌داند. در واقع، اگرچه انسان قادر به درک جهان تجربیات مستقیم است، اما بی‌نهایتِ پیش روی او، غیر قابل‌کشف و غیرقابل‌توضیح است. آیا علم، همواره افق‌های جدیدی پیش روی بشر خواهد گشود؟ یا ثابت خواهد کرد بشر، ناگزیر در یک زندان، قرار گرفته است؟

نظریه‌ی کوانتومی اغلب به عنوان گواهی بر محبوس بودن بشر در زندان ناشناخته‌ها پنداشته می‌شود. این نگرش در جملاتی که در بدو تولد نظریه کوانتومی در کتاب‌ها به چشم می‌خورد، مشهود بود: «اگر فکر می‌کنید نظریه کوانتومی را می‌فهمید، پس آن را نفهمیده‌اید»، «شما اجازه پرسش ندارید»، «این نظریه، مرموز بوده و بنابراین، جهان نیز مانند آن است»، «اتفاقات، بدون دلیل و توضیح رخ می‌دهند». با این حال، تحولات چند دهه‌ی گذشته نشان می‌دهد این جملات، آنقدر هم درست و به‌جا نیستند. در طول تاریخِ این نظریه، تصور اغلب فیزیکدانان، این بوده که محدودیت‌های فیزیک کوانتومی، مانع استفاده‌ی کامل از طبیعت به شیوهایی که مکانیک کلاسیک ما را به آن عادت داده، خواهد شد. اما تاکنون هیچ یک از این موانع، مشکل‌ساز نشده، بلکه برعکس، مکانیک کوانتوم به نوعی بلوغ رسیده است.

تجربیات بدست آمده در بیش از یک قرن، نشان داده ویژگی‌های کوانتومی مانند برهم‌نهی، درهم‌تنیدگی، گسستگی و تصادفی بودن، نه تنها محدودیت نبوده، بلکه مخترعان با استفاده از آنها، دستگاه‌های شگفت‌انگیزی مانند لیزرها و میکروچیپ‌ها را طراحی کرده‌اند. این تنها آغاز کار است؛ ما به طور فزاینده‌ای از پدیده‌های کوانتومی برای سیستم‌های ارتباطی و محاسباتی استفاده خواهیم کرد. ما در حال کشف راه‌های جدید برای بهره‌برداری از طبیعت و حتی آفرینش دانش هستیم.

فراسوی عدم قطعیت

در سال ۱۹۶۵، گوردون مور، یکی از بنیانگذاران اینتل پیش‌بینی کرد مهندسان، هر دو سال یکبار، ترانزیستورهای موجود در سطح تراشه‌های الکترونیکی را دو برابر یا بیشتر خواهند کرد. این پیش‌بینی که در حال حاضر به عنوان قانون مور شناخته می‌شود، بیش از نیم قرن، صادق بوده است .با این حال از ابتدا، زنگ هشدار به صدا در آمد: اگر این قانون همچنان پابرجا باشد، می‌توان پیش‌بینی کرد که ترانزیستورهای نسل بعد، به ابعادی در اندازه‌ی اتم‌های منفرد برسند، پس بعد از آن چه رخ خواهد داد؟ آیا زمان ورود مهندسان به قلمرویی ناشناخته فرا رسیده است؟

در مفهوم سنتی نظریه‌ی کوانتومی، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، محدودیت‌هایی ایجاد می‌کند که هیچ پیشرفت تکنیکی قادر به غلبه بر آن نیست: هر چه در مورد خواصی مانند موقعیت ذره ، بیشتر بدانیم، از ویژگی‌های دیگری مانند سرعت آن، آگاهی کمتری خواهیم داشت؛ وقتی چیزی را ندانیم، قادر به کنترل آن نیز نخواهیم بود. تصور بر این بود که تلاش برای کنترل و دستکاری اشیای میکروسکوپی، با تصادف حاکم بر دنیای کوانتومی، همبستگی‌های غیرمجاز کلاسیکی و شکست علیت مواجه می‌شود که یک نتیجه غیرقابل اجتناب به دنبال دارد: پایان قریب‌الوقوع پیشرفت فناوری اطلاعات.

با این حال امروزه، فیزیکدانان بدون مواجهه با هیچ یک از این موانع، در حال کنترل جهان کوانتومی هستند. علی‌رغم وجود اصل عدم قطعیت، ما اطلاعات را در اتم‌های منفرد یا ذرات بنیادی، رمزگذاری کرده و با دقت بسیار زیاد، آن‌ها را پردازش می‌کنیم. اما چگونه؟

اجازه دهید نگاهی دقیق‌تر به جز بنیادی اطلاعات که با نام بیت (Bit) شناخته می‌شود، بیندازیم. از نگاه یک فیزیکدان، یک بیت، سیستمی فیزیکی است که می‌تواند دو حالت مختلف، بیانگر دو مقدار منطقی را اختیار کند: آری یا خیر (yes or no)، صحیح یا غلط (false or true) و صفر و یک. در کامپیوترهای دیجیتالی، وجود یا عدم وجود بار در صفحات یک خازن، یک بیت در نظر گرفته می‌شود. در مقیاس اتمی، یک بیت را می‌توان نشانگر دو حالت متفاوت الکترون در اتم فرض کرد: صفر، پایین‌ترین انرژی سیستم (حالت پایه) و یک، انرژی حالت بالاتر سیستم (حالت برانگیخته) را نشان می‌دهد.

فیزیکدانان برای دستکاری این اطلاعات، پالس‌های نوری بر اتم می‌تابانند. پالسی با فرکانس، طول موج و دامنه‌ی مناسب که به عنوان پالس π شناخته می‌شود، حالت صفر را به حالت یک، تبدیل می‌کند و بالعکس. فیزیکدانان می‌توانند این فرکانس را برای دستکاری دو اتم برهمکنش‌کننده به گونه‌ای تنظیم کنند که یکی از اتم‌ها، دیگری را کنترل کند. بنابراین، ما تمام اجزای گیت‌های منطقی یک و دو بیتی (اجزای سازنده‌ی کامپیوترهای کلاسیک) را بدون هیچگونه مانعی ناشی از اصل عدم قطعیت، در اختیار داریم.

برای درک چگونگی امکان این شاهکار کوچک‌سازی[1] باید دقیقا بدانیم اصل عدم قطعیت چه می‌گوید و چه نمی‌گوید. در هر لحظه، برخی از خواص یا به اصطلاح مشاهده‌پذیرهای یک اتم (یا هر سیستم دیگری) می‌توانند مقداری کاملا مشخص[2] داشته باشند، یعنی در آن لحظه، فقط همان مقدار را دارند. اصل عدم قطعیت، مانع داشتن مشاهده‌پذیرهای کاملا مشخص نمی‌شود، بلکه فقط می‌گوید همه مشاهده‌پذیرهای یک سیستم فیزیکی، به طور همزمان نمی‌توانند کاملا مشخص باشند. در مثال اتم، مشاهده‌پذیر کاملا مشخص، انرژی است: در هر دو حالت صفر و یک، الکترون، یک مقدار انرژی کاملا خوش‌تعریف دارد. در همان لحظه، سایر مشاهده‌پذیرها مانند مکان و سرعت الکترون، کاملا مشخص نیستند: الکترون، ناجایگزیده[3] شده و سرعتش، محدوده‌ای از مقادیر را داراست، نه فقط یک مقدار مشخص. اگر بخواهیم با استفاده از سرعت و مکان، اطلاعات را ذخیره کنیم، قطعا با محدودیت کوانتومی مواجه خواهیم شد؛ اما جای ناامیدی نیست، فقط کافیست مشاهده‌پذیرهای درستی برای حفظ بیت‌های کامپیوتر، انتخاب کنیم. این وضعیت، تداعی‌کننده‌ی حالت طنزی است که بیمار به پزشک می‌گوید: «وقتی این کار را انجام می‌دهم، صدمه می‌بینم»، و پزشک پاسخ می‌دهد: «خب این کار را نکن!». اگر امکان دقیقا مشخص کردن (sharp) برخی ویژگی‌های ذره به طور همزمان، سخت به نظر می‌رسد، راه ساده‌ای برای دور زدن آن وجود دارد: آن ویژگی‌ها را دور انداخته و در عوض، از مشاهده‌پذیرهای دیگری استفاده کنید!

فراسوی بیت

اگر بخواهیم به جای ترانزیستورها، با استفاده از اتم‌ها، یک کامپیوتر کلاسیک بسازیم، تنها چیزی که نیاز داریم مشاهده‌پذیرهای کاملا مشخص است، اما مکانیک کوانتومی، امکان جالب‌تری در اختیار ما قرار می‌دهد: استفاده از مشاهده‌پذیرهای غیر مشخص[4]. در واقع، این حقیقت که مشاهده‌پذیرها می‌توانند به طور همزمان، چند مقدار داشته باشند (اصل برهم‌نهی)، چنین امکانی را فراهم می‌کند. برای مثال، انرژی معمولا یک مشاهده‌پذیر کاملا مشخص است، اما می‌توان آن را به یک مشاهده‌پذیر غیر مشخص تبدیل نمود. یک الکترون، علاوه بر اینکه می‌تواند در حالت پایه یا برانگیخته باشد، می‌تواند در یک حالت برهم‌نهی نیز قرار بگیرد، یعنی به طور همزمان، در هر دو حالت باشد. در واقع، الکترون هنوز در یک حالت کاملا مشخص است، اما به جای اینکه صفر یا یک باشد، به طور همزمان، صفر و یک است.

۱- Miniaturization

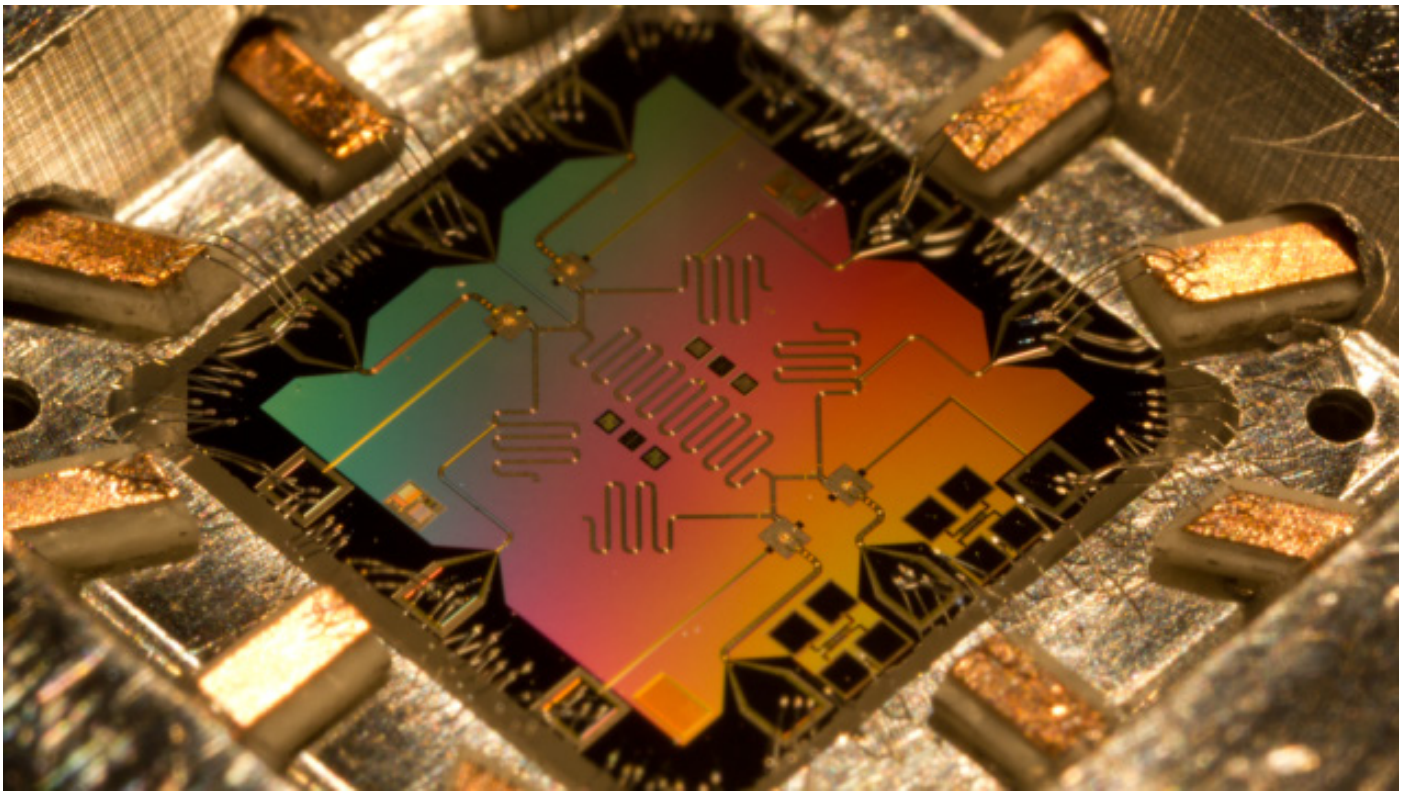
۲- Sharp

۳- Delocalized

٤- non–sharp

هر شی فیزیکی می‌تواند این کار را انجام دهد، اما یک شی که آماده‌سازی، اندازه‌گیری و دستکاری چنین حالت‌هایی برای آن، راحت باشد، یک بیت کوانتومی یا کیوبیت (qubit) نامیده می‌شود. پالس های نور نه تنها می‌توانند انرژی یک الکترون را از یک مقدار کاملا مشخص به مقدار کاملا مشخص دیگری تغییر دهند، بلکه امکان تغییر آن از یک مقدار کاملا مشخص به یک مقدار غیر مشخص و برعکس را نیز فراهم می‌کنند. در حالی که پالس π، حالت‌های صفر و یک را به یکدیگر تبدیل می‌کند، پالسی با همان فرکانس، اما با دامنه یا سرعت نصف، که به عنوان پالس π/۲ شناخته می‌شود، الکترون را در یک برهم‌نهی از صفر و یک قرار می‌دهد.

برای درک اهمیت این مسئله، بنیادی‌ترین گیت منطقی کامپیوتر، NOT را در نظر بگیرید. خروجی این گیت، برعکس حالت ورودی است: یعنی صفر به یک؛ و یک به صفر تبدیل می‌شود. فرض کنید وظیفه‌ی زیر به شما محول شده است: طراحی مجذور NOT، یعنی یک گیت منطقی که دوبار به طور متوالی، روی یک ورودی، عمل کرده و آن را برعکس می‌کند. اگر بخواهید فقط از امکانات کلاسیک استفاده کنید، اجرای چنین دستوری، غیرممکن خواهد بود، اما پالس π/۲، پیاده‌سازی این گیت منطقی غیرممکن را ممکن می‌کند! تاباندن دو پالس π/۲ به طور متوالی، دقیقا اثر مورد نظر را تولید خواهد کرد. دوبار استفاده‌ی متوالی از مجذور NOT، مقدار صفر را به یک، یا یک را به صفر تبدیل می‌کند.



اگر انرژی الکترونی را که در این برهم‌نهی قرار دارد، اندازه‌گیری کنیم، احتمال بدست آمدن انرژی حالت پایه یا برانگیخته، برابر خواهد بود. در این مورد اگر از دید یک ناظر بدبین، به قضیه نگاه کنیم، با پدیده‌ی تصادفی بودن مواجهیم. باز هم می‌توان این مانع را به راحتی دور زد و قابلیت‌های کاملا جدیدی خلق کرد. لازم نیست الکترون را در این برهم‌نهی، اندازه بگیریم؛ با الکترونی در حالت صفر شروع می‌کنیم، یک پالس π/۲ را ارسال کرده و سپس دوباره پالس π/۲ دیگری می‌فرستیم. اکنون اگر حالت الکترون را اندازه‌گیری کنیم با احتمال صد درصد، در حالت یک خواهد بود؛ بنابراین بار دیگر، این مشاهده‌پذیر، کاملا مشخص شد.

توجه داشته باشید که در این دو مورد، برهم‌نهی‌های حدواسط صفر و یک، یکسان نیستند. اگرچه هر دوی آنها دارای نسبت‌های یکسانی از صفر و یک هستند، اما در متغیر دیگری به نام فاز نسبی[۵] تفاوت دارند. فیزیکدانان تجربی، این گیت منطقی و دیگر گیت‌های غیرمجاز از نظر کلاسیکی را با استفاده از کیوبیت‌های فوتونی، دام‌های یونی و اسپین‌های اتمی و هسته‌ای ساخته‌اند. این کیوبیت‌ها، واحدهای ساختاری کامپیوترهای کوانتومی هستند.

فراسوی محاسبات کلاسیک

کامپیوترها (کلاسیکی یا کوانتومی) برای حل یک

۵- Relative Phase

مسئله‌ی خاص، مجموعه‌ای دقیق از دستورالعمل‌ها (یک الگوریتم) را استفاده می‌کنند. دانشمندان علوم کامپیوتر، میزان بهره‌وری یک الگوریتم را با توجه به اینکه زمان اجرای آن با بزرگتر شدن ورودی، با چه سرعتی افزایش می‌یابد، می‌سنجند. به عنوان مثال، برای انجام محاسبات با الگوریتمی که ضرب دو عدد n رقمی را انجام می‌دهد، زمان اجرا، متناسب با مربع تعداد ارقام، n^2، افزایش می‌یابد. در مقابل، مدت زمان سریع‌ترین روش شناخته شده برای انجام عملیات معکوس (فاکتورگیری از یک عدد صحیح n رقمی به اعداد اول)، تقریبا به صورت 2^n و به طور نمایی، افزایش می‌یابد؛ در نتیجه این الگوریتم، ناکارآمد است.

مکانیک کوانتومی با ارائه‌ی گیت‌های منطقی جدید، امکان طراحی الگوریتم‌های جدید را ممکن می‌کند. یکی از این الگوریتم‌های جدید و بسیار مهم، برای عمل فاکتورگیری طراحی شده است. یک الگوریتم کوانتومی که ابتدا در سال ۱۹۹۴ توسط پیتر شور[۶] و سپس در آزمایشگاه‌های بل کشف شد، می‌تواند عمل فاکتورگیری از یک عدد n رقمی را به روشی انجام دهد که زمان مورد نیاز به صورت تابعی از n^2 افزایش یابد. در مورد مسائل دیگر، مانند جستجو در یک لیست طولانی، مزایای رایانه‌های کوانتومی، کمتر به چشم می‌آید، اما باز هم بسیار مهم است. طبیعتا، همه الگوریتم‌های کوانتومی، کارآمد نبوده و بسیاری از آن‌ها با سرعت کمتری نسبت به همتایان کلاسیکی‌شان عمل می¬کنند.

به احتمال زیاد، اولین کاربرد عملی رایانه‌های کوانتومی عمومی، عمل فاکتورگیری نخواهد بود، بلکه شبیه‌سازی سایر سیستم‌های کوانتومی (عملی که با رایانه‌های کلاسیکی، مدت زیادی به طول می‌انجامد) هدف اولیه‌ی تولید آنهاست. شبیه‌سازی‌های کوانتومی می‌تواند تاثیر شگرفی بر زمینه‌هایی مانند کشف داروها و توسعه مواد جدید داشته باشد.
بدبینی‌های مربوط به عملی کردن محاسبات کوانتومی، به مشکل پیوند دادن گیت‌های منطقی کوانتومی برمی‌گردد. جدا از مشکلات فنیِ کار در مقیاس تک اتمی و تک فوتونی، مشکل اصلی، از بین بردن اثرات محیطی است که در روند محاسبات اختلال ایجاد می‌کنند. این فرایند که به آن واهمدوسی[۷] گفته می‌شود، یکی از محدودیت‌های بنیادی در محاسبات کوانتومی به شمار می‌رود؛ اما در واقع چنین نیست! خود نظریه‌ی کوانتومی، راهی برای تصحیح خطاهای ناشی از واهمدوسی فراهم می‌کند. اگر منابع خطا، فرضیات خاصی را که توسط طراحان باهوش، قابل بررسی است، ارضا نمایند، کامپیوترهای کوانتومی می‌توانند بدون خطا عمل کنند.

فراسوی دانش ریاضی مرسوم

داستان گیت‌های منطقی «غیرممکن» نشانگر یک واقعیت هیجان‌انگیز در مورد فیزیک محاسبات است. وقتی دانش خود را در مورد واقعیت فیزیکی بهبود می‌بخشیم، گاهی اوقات، دانش ما در حوزه‌های انتزاعی منطق و ریاضیات نیز بهبود می‌یابد. مکانیک کوانتومی همانطور که قبلا موفق به بهبود حوزه‌های فیزیک و مهندسی شده، ریاضیات را نیز قطعا بهبود خواهد بخشید. در واقع، اگرچه حقایق ریاضی، مستقل از فیزیک هستند، ولی ما آنها را از طریق فرآیندهای فیزیکی می‌آموزیم و اینکه کدامیک از آن حقایق را می‌توانیم بشناسیم، به قوانین فیزیکی که در اختیار داریم، بستگی دارد. یک اثبات ریاضی، ترتیبی از عملگرهای منطقی است؛ بنابراین قابل اثبات بودن یا نبودن آنها، بستگی به این دارد که قوانین فیزیک به ما اجازه‌ی اجرای چه نوع عملیات منطقی (مثلا NOT) را می‌دهد. این عملیات باید بسیار ساده، فیزیکی و بدون نیاز به اثبات اضافی در محدوده دانش ما باشد، به گونه‌ای که معنای انجام آن، به‌راحتی قابل درک بوده و ریشه در دانش ما از جهان فیزیکی داشته باشد. با گسترش مجموعه‌ای از چنین محاسبات ابتدایی، مانند مجذور NOT، فیزیک کوانتومی به ریاضیدانان اجازه خواهد داد از موانعی که قبلا در جهان ریاضیات انتزاعی فرض می‌شد، رهایی یابند. در نتیجه آنها قادر به دیدن و اثبات حقایقی خواهند بود که غیر از این، برای همیشه پنهان می‌ماندند. به عنوان مثال، فرض کنید پاسخ به برخی از معماهای حل نشده‌ی ریاضی، به دانستن فاکتورهای یک عدد صحیح بسیار بزرگ مانند N بستگی داشته باشد. فرض کنید این عدد، به حدی بزرگ است که حتی اگر همه ماده موجود در جهان برای ساخت یک کامپیوتر کلاسیکی عظیم‌الجثه استفاده شود و سپس این کامپیوتر، به اندازه‌ی سن جهان، کار کند، باز هم قادر به فاکتورگیری از این عدد نباشد. با این حال، یک کامپیوتر کوانتومی، چنین محاسبه‌ای را بسیار سریع انجام خواهد داد و پس از آنکه جواب بدست آمد، هیچ مقدار کاغذی برای توضیح چگونگی بدست آمدن آن فاکتورها، کافی نخواهد بود!
به این ترتیب، کامپیوتر کوانتومی، کلید حل معماهای پیچیده‌ی ریاضی خواهد بود. بدون این کلید، امکان حل کردن چنین مسائلی، هیچگاه وجود نداشت. بعضی ریاضیدانان، ریاضی را یک علم تجربی دانسته و نتایج را نه

۶- Peter Shor

۷- Decoherence

تنها با استدلال دقیق، بلکه از طریق آزمایش نیز بدست می‌آورند. فیزیک کوانتومی این رویکرد را به سطح جدیدی ارتقا داده است.

فراسوی فلسفه‌ی بد

اکنون سوال مهمی مطرح می‌شود: اگر مکانیک کوانتومی، نوع جدیدی از محاسبات را خلق کرده، چرا فیزیکدانان هنوز نگرانند که این نظریه، پیشرفت علمی را محدود خواهد کرد؟ پاسخ این سوال را باید در روزهای بدو تولد مکانیک کوانتومی، جستجو کرد.

اروین شرودینگر، کسی که برای نخستین بار، معادله‌ی معرف نظریه‌ی کوانتومی را کشف کرد، در یک سخنرانی به مخاطبان خود هشدار داده بود که شاید صحبت‌های او را دیوانه‌وار بخوانند. او توضیح داد که معادله‌ی مشهورش، تاریخچه‌های متفاوت یک ذره را توصیف می‌کند، تاریخچه‌هایی که راه‌های مختلف و جایگزین یکدیگر نیستند، بلکه همه‌ی آنها، به صورت همزمان رخ می‌دهند. دانشمندان برجسته‌ای در تفسیر این نظریه، به بیراهه رفتند، اما شرودینگر پس از کسب جایزه نوبل در سال ۱۹۳۳ مدعی شد نظریه‌ای که به خاطرش، این جایزه را کسب کرده، توصیف دقیقی از واقعیت است.

چرا چنین ادعای به ظاهر بی‌ضرری (توصیف دقیق واقعیت)، همیشه عجیب تلقی شده است؟ زیرا اکثر فیزیکدانان آن دوره، تسلیم فلسفه‌ی نادرست حاکم بر آن زمان بودند، مکاتب فلسفی که فعالانه مانع کسب دانش‌های دیگر می‌شدند. فلسفه و فیزیک بنیادی، به رغم ادعاهای مخالف و متعدد در هر دو رشته، بسیار به یکدیگر، نزدیک هستند، به طوری که وقتی جریان اصلی فلسفه در دهه‌های اول قرن بیستم، دچار تنزل شدیدی شد، بخش هایی از فیزیک نیز با آن، تنزل یافتند.

مقصران اصلی این مشکل، مکاتبی مانند اثبات‌گرایی[۸] منطقی (اگر گزاره‌ای با آزمایش، قابل اثبات نیست، پس بی‌معنی است)، ابزارگرایی[۹] (اگر پیش‌بینی‌ها به وقوع می‌پیوندد، چرا باید نگران عامل آنها بود؟) و نسبی‌گرایی[۱۰] فلسفی (احکام فلسفی نمی‌توانند به طور عینی، درست یا نادرست باشند ، بلکه فقط توسط یک فرهنگ خاص، مشروع یا غیرمشروع، تلقی می‌شوند) بودند. فیزیک بنیادی از نقطه‌ی مشترک این فلسفه‌ها، آسیب دید: انکار واقع‌گرایی[۱۱]. واقع‌گرایی به این دیدگاه فلسفی اشاره دارد که جهان فیزیکی، مستقل از ما وجود دارد و ما به کمک روش‌های علمی می توانیم در مورد این جهان، کسب دانش کنیم.

در آن فضای فلسفی، فیزیکدان مشهور، نیلز بور، تفسیری تاثیرگذار از نظریه کوانتومی را توسعه داد (تفسیر کپنهاگی) که پدیده‌های عینی موجود را انکار می‌کرد. اگر کسی متغیرهای فیزیکی را اندازه‌گیری نکرده بود، اجازه نداشت در مورد مقدار آنها سوال بپرسد. اکثر فیزیکدانان به شاگردان خود، همین دیدگاه را آموختند. در نتیجه، باور همگان بر این بود که پیشرفته‌ترین نظریه‌ی ارائه شده در حوزه‌ی بنیادی‌ترین علوم، به شدت با مفاهیم واقعی و اثبات شده‌ای از قبیل وجود حقیقت و توضیح واقعیت فیزیکی، در تناقض است.
البته تمام فیلسوفان، واقع‌گرایی را کنار نگذاشتند. برتراند راسل و کارل پوپر از جمله‌ی آنها بودند. آلبرت اینشتین و دیوید بوهم نیز همین راه را پیش گرفتند و هیو اورت پیشنهاد کرد که مقادیر فیزیکی در یک زمان، بیش از یک مقدار می‌گیرند. اما به طور کلی، فیلسوفان علاقه‌ای به واقعیت[۱۲] نداشتند. اگرچه، فیزیکدانان از نظریه کوانتومی برای مطالعه‌ی سایر حوزه‌های فیزیک استفاده می‌کردند، اما تحقیق درباره ماهیت خود فرآیندهای کوانتومی، به دست فراموشی سپرده شد.

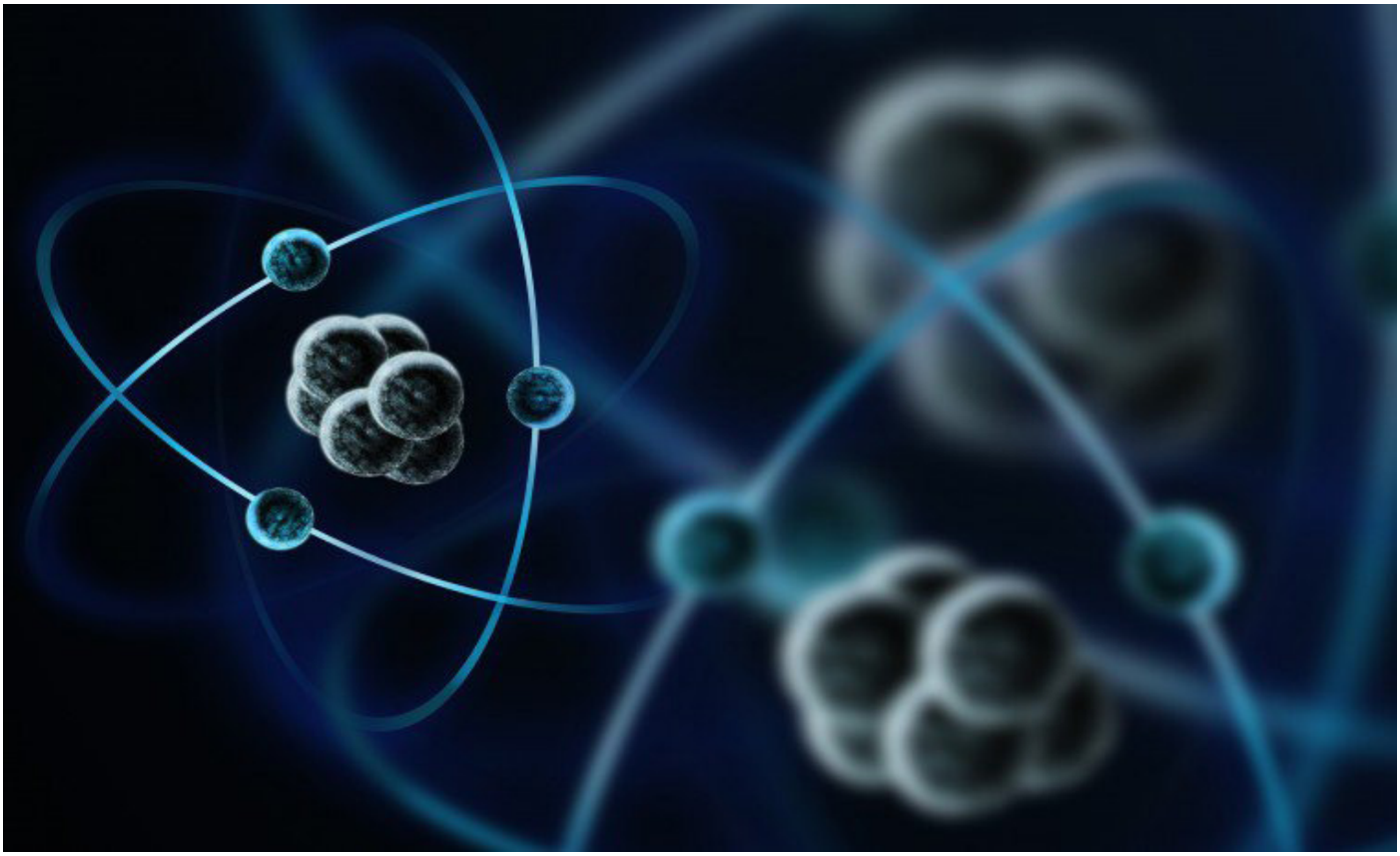
این مشکلات طی چند دهه اخیر، به تدریج بهبود یافته و حالا این فیزیک است که فلسفه را به مسیر درست

۸- Positivism
۹- Instrumentalism
۱۰- Relativism
۱۱- Realism
۱۲- Reality

بازمی‌گردانـد. مـردم می‌خواهنـد واقعیـت را بفهمنـد، مهـم نیست کـه بقیـه چقـدر بـا صـدای بلنـد، آن را انـکار کننـد. مـا در حـال عبـور از محدودیت‌هـای مفـروض کوانتومـی هسـتیم کـه زمانـی بـه دلیـل فلسـفه بـد، بـه مـا آموختـه شـده بـود. اگـر ایـن نظریـه، در نهایـت رد شـود یـا محدودیت‌هـای جـدی و عمیق‌تـری، تـلاش بـرای سـاخت یـک کامپیوتـر کوانتومـی را خنثـی کنـد، چـه؟ مـا از ایـن اتفـاق، هیجـان‌زده خواهیـم شـد! زیـرا چنیـن نتیجـه‌ای، مطلوب‌تریـن اتفـاق ممکـن اسـت کـه نـه تنهـا موجـب بازنگـری دانـش بنیادیـن فیزیـک خواهـد شـد، بلکـه پنجـره‌ای بـه روی انـواع شـگفت‌انگیزتری از محاسـبات نیـز خواهـد گشـود. در واقـع، نظریـه‌ای کـه مکانیـک کوانتومـی را متوقـف کنـد، نظریـه‌ی هیجان‌انگیـز تـازه‌ای خواهـد بـود کـه جـاده‌ی تـازه و بکـری را بـرای فرصت‌هـای شـگفت‌انگیز تـازه بـاز خواهـد کـرد. فرقـی نـدارد در چـه جـاده‌ای پـا می‌گذاریـم، فقـط بایـد بـه یـاد داشـته باشـیم هیـچ محدودیتـی بـرای دانـش یـا پیشـرفت وجـود نخواهـد داشـت.

دکتر شیخ‌جباری:

ایـن مقالـه قصـد دارد مفاهیمـی پیچیـده از مکانیـک کوانتومـی و نسـبت آن بـا منطـق ریاضـی یـا فلسـفه علـم را بـا سـاده‌سـازی بسـیار بیـان کنـد. بـه نظـر مـن در ایـن ساده‌سـازی، بـه خصـوص در ارتبـاط بـا نظریـه کوانتومـی، ریاضیـات و فلسـفه زیـاده‌روی شـده و بیشـتر باعـث سـردرگمی خواننـده می‌شـود. در ارتبـاط بـا بخـش نخسـت نوشـتار کـه راجـع بـه رایانـش کوانتومـی اسـت، صرفـاً اشـاره‌ای گـذرا بـه مدارهـای کوانتومـی پایـه (گیت‌هـای کوانتومـی) شـده و بـه چگونگـی دادن اطلاعـات، برنامه‌هـای مـورد نظـر و سـپس خوانـش نتایـج و خروجی‌هـا کمتـر پرداختـه شـده اسـت. همچنیـن اینکـه چگونـه چنـد کیوبیـت را بـا هـم و همـدوس در رایانـش کوانتومـی می‌تـوان مـورد اسـتفاده قـرارداد صحبتـی نشـده و ایـن از مسـائل مهـم ایـن حـوزه اسـت. بـه هـر حـال، رایانـش کوانتومـی از مباحـث بسـیار داغ و مهیـج فیزیـک و علـوم کامپیوتـر اسـت و انتظـار مـی‌رود در آینـده‌ی نـه چنـدان دور، تحـولات مهمـی در ایـن حـوزه رخ دهـد.



مقالات مرتبط در دیپ لوک (روی نام مقالات، کلیک کنید)

* معرفی بهترین کتاب‌های کوانتومی برای عاشقان کوانتوم
* پیام‌رسانی کوانتومی دو طرفه ممکن شد: سد دیگری که مکانیک کوانتومی از پیش رو برداشت
* ردیابی ذرات کوانتومی : وقتی دانشمندان به منطقه ممنوعه مکانیک کوانتومی، سرک میکشند!

چرا فیزیک یک قلمرو نیست؟

پیوند به مقاله اصلی

فیلیپ بال Philip Ball

نویسنده‌ی علمی در مجله‌ی نیچر و وب‌سایت‌هایی چون گاردین، نیویورک‌تایمز و نیوساینتیست. لیسانس شیمی از دانشگاه آکسفورد و دکترای فیزیک از دانشگاه بریستول.

رشته‌های مختلف علمی بدان جهت، طراحی شدند تا به ما نشان دهند قلمروهای آکادمیک، جهان را به شیوه‌های بسیار متفاوت و شاید ناساگاز نگاه می‌کنند. بسیاری از فیزیکدانان، زیست‌شناسانی را که در زمینه‌ی پژوهشی فیزیک کار می‌کردند، درجای بی‌ربط و غلطی می‌پنداشتند. البته در آن سو هم، اغلب زیست‌شناسان (شاید خارج از حوزه‌ی خوش‌تعریف بیوفیزیکدانان)، بر این باور بودند که فیزیک جایی در زیست‌شناسی ندارد. حقیقت این است که افراد در چنین انتقادهایی، برچسب‌های آکادمیک را با برچسب‌های علمی، خلط می‌کنند. برخلاف تصور معمول، فیزیک، چیزی نیست که در مدارس و دانشگاه‌ها تدریس می‌شود. فیزیک، شیوه‌ی خاصی برای درک چگونگی رخداد فرآیندهای جهان است. وقتی ارسطو، کتاب فیزیکش را چهار قرن قبل میلاد نوشت، هدفش توصیف یک قلمروی[1] آکادمیک نبود، بلکه نوعی فلسفه را ارائه کرد: راه اندیشیدن درباره‌ی طبیعت.

ممکن است تصور کنید چنین توصیفی، قدیمی و از کارافتاده است، اما اینطور نیست. امروزه وقتی فیزیکدانان درباره‌ی «فیزیکِ» مسئله، صحبت می‌کنند، منظور آنها چیزی شبیه به منظور ارسطو است: نه یک چارچوب ریاضی خشن؛ و نه یک روایت ساده و خام، بلکه راهی برای بدست آوردن یک فرآیند از اصول بنیادی. این دلیلی است که نشان می‌دهد چرا فیزیکِ زیست‌شناسی وجود دارد، درست همانطور که فیزیکِ شیمی، فیزیکِ زمین‌شناسی و فیزیکِ جامعه وجود دارد، اما شاید فیزیکدانانی حرفه‌ای در تمام این حوزه‌ها، وجود ندارند که آنها را کشف کنند.

مرز بین فیزیک و زیست‌شناسی در اواسط قرن بیستم، بسیار متخلخل‌تر از امروز بود. برخی از پیشگامان زیست‌شناسی ملکولی قرن بیستم، مانند ماکس دلبروک، سیمور بنزر و فرانسیس کریک، به عنوان یک فیزیکدان، آموزش دیده بودند. از طرفی، نگرش «اطلاعات» ژن‌ها و تکامل که در کشف DNA توسط جیمز واتسون و فرانسیس کریک در سال ۱۹۵۳ معنی گرفت، معمولا به کتاب «حیات چیست؟» اروین شرودینگر فیزیکدان در سال ۱۹۴۴ نسبت داده می‌شود (هرچند برخی از ایده‌های او، قبلا توسط هرمان مولر زیست‌شناس پیش‌بینی شده بود).

در اواسط قرن بیستم، ترکیب فیزیک و زیست‌شناسی توسط بسیاری از زیست‌شناسان پیشگام آن زمان، مانند کنراد وادینگتون، جان هالدین و جوزف نیدهام که باشگاه زیست‌شناسی نظری را در دانشگاه کمبریج تشکیل دادند، مورد استقبال قرار گرفت. در همان زمان که درک مهمی از کد دیجیتالی DNA حاصل شد، نوربرت وینر ریاضیدان، نظریه‌ی سایبرنتیک[2] را ارائه نمود، نظریه‌ای که توضیح می‌داد چگونه می‌توان سیستم‌های پیچیده از ماشین‌ها گرفته تا سلول‌ها را توسط شبکه‌ی فرآیندهای بازخوردی، کنترل و تنظیم کرد. در سال ۱۹۵۵، فیزیکدان جورج گامو، مقاله‌ای تحت عنوان «اطلاعات در سلول زنده، منتقل می‌شوند» در وب‌سایت سانتیفیک امریکن نوشت. از طرفی، در دهه‌ی ۱۹۶۰ سایبرنتیک به ژاک مونو و فرانسوا جاکوب زیست‌شناس، زبانی برای فرمول‌بندی نظریه تازه متولد شده‌ی «شبکه‌های نظارتی ژن[3]» اعطا کرد.

اما پس از مدتی، برنامه‌ی «فیزیکِ زیست‌شناسی» متوقف شد. علی‌رغم آنکه فیزیکدانان به سوی مسائل مرتبط با زیست‌شناسی مهاجرت کردند، اکثر تلاش آنها، بی‌اعتبار باقی مانده و از جریان اصلی گردآوری داده‌های ژنومی، مطالعه‌ی دقیق ژنتیک و مکانیسم‌های زیست‌ملکولی در زیست‌شناسی سلولی و ملکولی دور ماند. چه اتفاقی افتاد؟ برخی از دلایل کلیدی این جدایی، در کتاب سال ۲۰۰۴ ارنست مایر با عنوان «چه چیزی زیست‌شناسی را منحصربفرد می‌کند؟» خلاصه شده‌اند. مایر یکی از زیست‌شناسان تکامل‌گرای عصر حاضر بود. عنوان این کتاب به تنهایی، تصور استثنایی بودن علم حیات را منعکس می‌کند. از نظر مایر، زیست‌شناسی برای نظریه‌های عمومی فیزیک، جای بسیار شلوغ و پیچیده‌ای است که ضرب‌المثل معروف «شیطان همیشه در جزییات است[4]» را به یاد می‌آورد.

شاید بتوان گفت مایر با همکاری زیست‌شناسان، بیشترین تلاش را کرد تا مرزهای منظم و دقیقی برای زیست‌شناسی کشیده و آن را به طور هوشمندانه از سایر علوم جدا کند. این کار او، یکی از مهم‌ترین سندهایی است که ثابت می‌کند چنین تلاشی، احمقانه است.

۱- در اینجا واژه‌ی Discipline به عنوان «قلمرو» ترجمه شده، اما می‌توان آن را به عنوان «رشته‌ی علمی» نیز ترجمه کرد.

۲- Cybernetics

۳- Theory of gene regulatory networks

٤- The devil is always in the details

او چهار ویژگی بنیادی فیزیک، که آن را از زیست‌شناسی جدا می‌کند، مشخص کرد: فیزیک، ذات‌باور[۵] است (تقسیم جهان به دسته‌بندی‌های کاملا مشخص، غیرقابل تغییر و تعریف‌شده مانند الکترون‌ها و پروتون‌ها)؛ جبرگراست[۶] (رابطه‌ی علت و معلولی)؛ تقلیل‌گراست[۷] (می‌توان یک سیستم را با کاهش به اجزای تشکیل‌دهنده‌اش، درک کرد)؛ قوانینی را جهانی فرض می‌کند که در زیست‌شناسی، به دلیل شانس و تصادف تاریخی نامعین‌اند. همه‌ی فیزیکدانان به شما خواهند گفت که چنین نگرشی به فیزیک، سرشار از نقص است و این نقایص هنگام عبور از نظریه‌ی کوانتوم، آشوب و پیچیدگی، برملا خواهند شد.

اما دلیل مایر(تصویر زیر)، حتی اگر واقعا معتبرتر نباشد، جالب‌تر است: به نظر او، چیزی که زیست‌شناسی را واقعا منحصربفرد می‌کند، توجه آن به هدف است: یعنی طراحی‌هایی که در طول تکامل، به طور هوشمندانه و از طریق جهش کور و انتخاب طبیعی ساخته شده‌اند. در فیزیک، ذراتی که به طور تصادفی به یکدیگر برخورد می‌کنند مجبور نیستند کاری انجام دهند، اما شبکه‌های ژنتیکی، ملکول‌های پروتئینی و معماری‌های پیچیده‌ی سلولی، به دلیل ضروریات بقا ساخته می‌شوند: آنها هدف دارند! این در حالیست که فیزیک با اهداف کاری ندارد، نه؟ دیدگاه ماسیمو پیگاوچی از دانشگاه نیویورک؛ زیست‌شناس تکامل‌گرایی که فیلسوف شد نیز، چنین است: «معنی ندارد بپرسیم هدف یک الکترون، یک ملکول، یک سیاره یا یک کوه چیست؟»

هدف یا غایت، واژگان دشواری در زیست‌شناسی هستند: همه‌ی آنها یک هدف جبری برای «ساعت‌سازِ کورِ» تکامل پیشنهاد می‌دهند و خودشان را به یک خلقت‌گرا تبدیل می‌کنند. اما هیچ راه گریزی نیست، باید درباره‌ی «کاردکرد[۸]» در زیست‌شناسی صحبت کرد، جاییکه اجزا و ساختارهایش، نقش مهمی در بقای ارگانیسم و انتشار ژن‌ها بازی می‌کنند.

موضوع این است که دانشمندان فیزیکی، از این کلمه حذر می‌کنند. وقتی نوربرت وینر در سال ۱۹۴۳ مقاله‌ای با عنوان «رفتار، هدف وغایت‌شناسی» نوشت، عمدا به دنبال تحریک دانشمندان بود. جامعه‌ی غایت‌شناسانی که وینر دو سال بعد با ریاضی-فیزیکدان مجارستانی، جان فون نویمان تشکیل داد، هدف خود را «درک چگونگی تاثیر هدف بر هدایت انسان وحیوانات» اعلام کرد. علاقه‌ی نویمان به تکثیر (عنصر ضروری برای تکامل کارکرد زیستی) به عنوان یک فرآیند محاسباتی، منجر به شکل‌گیری پایه‌های نظریه‌ی اتوماتای سلولی شد که امروزه برای مطالعه‌ی فرآیندهای تطبیقی پیچیده مانند تکامل داروینی، به طورگسترده‌ای استفاده می‌شود (حتی ریچارد داوکینز نیز از آنها استفاده کرده است).

واضح است که هدف اصلی، برخاسته از سازگاری داروینی با محیط است؛ اما این بدان معنا نیست که تنها با جهش تصادفی داروین و انتخاب طبیعی و بدون نیاز به فیزیک سازگاری، می‌توان این مفاهیم را درک کرد؟ واقعا نه. به یک دلیل، مشخص نیست که این دو عنصر، یعنی جهش موروثی تصادفی بین ارگانیسم‌های تکثیرکننده و فشار انتخابی از سوی محیط، لزوما سازگاری، تنوع و نوآوری را تولید خواهند کرد. چگونه این ویژگی‌ها به سرعت و درستی فرآیند تکثیر، سطح نویز تصادفی در سیستم، قدرت فشار انتخابی، ارتباط بین اطلاعات موروثی و صفات (فنوتیپ یا ژنوتیپ) و سایر عوامل بستگی دارد؟ زیست‌شناسان تکامل‌گرا، از مدل‌های ریاضی برای بررسی این عوامل کمک می‌گیرند، اما چنین محاسباتی، فقط اطلاعات اندکی در اختیار ما می‌گذارند و یک چارچوب عمومی برای توصیف آن بدست نمی‌دهند.

آن چارچوب عمومی که به دنبالش هستیم، فیزیک تکامل است. شاید چنین چارچوبی به صورت مقادیر آستانه‌ای متغیرها و جاییکه یک رفتار کیفی جدید ظاهر می‌شود، خودش را نشان دهد: چیزی که فیزیکدانان آن را یک نمودار فاز می‌نامند. شیمیدان نظری، پیتر شوستر و همکارانش چنین آستانه‌ای را در سرعت خطای تکثیر ژنتیکی، درست بالاترین جاییکه اطلاعات حاوی ژنوم تکثیرکننده، پایدار باقی می‌مانند، پیدا کرده‌اند. به عبارت دیگر، بالاتر از این سرعت خطا، هیچ گونه‌ی قابل شناسایی نمی‌تواند وجود داشته باشد، یعنی هویت ژنتیکی آنها، ذوب می‌شود. همکار شوستر، شیمیدان برنده‌ی جایزه‌ی نوبل، مانفرد آیگن استدلال می‌کند که این

۵- Essentialist
۶- Deterministic
۷- Reductionist
۸- Function

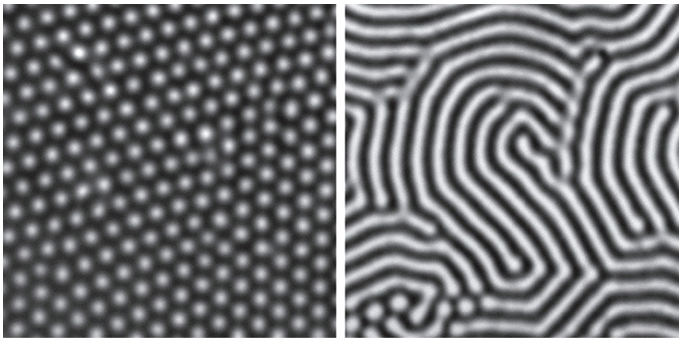
تغییر، یک انتقال فاز و کاملا همتای موارد سنتی (مانند ذوب شدن) است که فیزیکدانان مطالعه می‌کنند. در ضمن، زیست‌شناس تکامل‌گرا آندریاس واگنر، با استفاده از مدل‌های کامپیوتری نشان داد توانایی تکامل داروینی برای ابداع و تولید شکل‌ها و ساختارهای کیفی جدید به جای تغییرات بسیار کوچک روی یک زمینه‌ی قبلی، به طور خودکار از انتخاب طبیعی، پیروی نمی‌کند، بلکه در عوض، به فضای ترکیبی احتمالاتی که چگونگی ارتباط کارکرد (اثر شیمیایی یک پروتئین)، به اطلاعاتی که آن را رمزگذاری می‌کنند (مانند توالی آمینواسیدها در زنجیره‌ی ملکولی) نشان می‌دهد، بستگی دارد. اینجا دوباره فیزیک، تنوع تکاملی را پایه‌ریزی می‌کند.

جرمی انگلد، فیزیکدان MIT استدلال کرده که لازم نیست سازگاری، متکی به انتخاب طبیعی داروینی و توارث ژنتیکی باشد، بلکه ممکن است به طور عمیق‌تری در ترمودینامیک سیستم‌های پیچیده، ریشه داشته باشد. متاسفانه همیشه برگزیدن مفاهیم مختلف سازگاری و سازواری دشوار بوده، چرا که آنها درنهایت، چرخه‌ای به نظر می‌رسند. اما انگلد می‌گوید شاید بتوان آنها در ابتدایی‌ترین شکلشان به صورت زیر تعریف کرد: توانایی یک سیستم خاص برای اصرار مقابله با بازده ثابت انرژی از طریق سرکوب کردن افت‌وخیزهای بزرگ و اتلاف کردن آن انرژی.

انگلد می‌گوید: «فرض‌های اولیه‌ی ما، فیزیکی هستند. ماده‌ی دارای افت‌وخیزهای گرمایی، به طور خودبخود به شکل‌هایی ارتقا می‌یابد که در جذب کار از میدان‌های خارجی محیط، خوب عمل کند. هیجان‌انگیز است که وقتی ریشه‌های فیزیکی برخی از ساختارهای به نظر سازگار را بررسی می‌کنیم، می‌بینیم آنها لزوما مجبور نیستند والدینی به معنای معمول زیستی داشته باشند.» برخی محققان بر این باورند که ایده‌های انگلد، فیزیک بنیادی داروینیسم را ارائه می‌دهد.

توجه کنید تا اینجا چیزی درباره‌ی اینکه فیزیک پدیده‌های زیستی از کجا خواهد آمد، گفته نشده است. هنوز نمی‌دانیم ایده‌ها و نظریه‌های بنیادی فیزیک این مسئله، در چه قلمرویی جای می‌گیرند، با این حال، تعصبی در کار نیست. ما فقط باید کلمات را از تعاریف دانشکده‌ای و جنگ‌های چرکین آکادمیک همراه آن، نجات دهیم!

در فیزیک، برخی از این ایده‌های زیستی، آشنا هستند، درست مانند هر ایده‌ی علمی دیگری که می‌تواند به گونه‌ای تغییر کند که در حوزه‌ی علمی دیگری، آشنا باشد. اما این مسئله‌ی خاص، بسیار عمیق است و بیان آن به صورت یک مکالمه متقابل (یا حملات مرزی بین قلمروهای علوم مختلف)، همه‌ی حقیقت را برملا نمی‌کند. ما باید ورای تلاش‌هایی مانند مایر برای تعریف و دفاع از مرزها، حرکت کنیم.



فیزیکدانان عادت دارند همتایانشان را به خاطر توانایی دیدن «فیزیک یک مسئله» ستایش کنند، اما این عجیب به نظر می‌رسد، مگر یک فیزیکدان غیر از دیدن «فیزیک مسئله» باید کار دیگری انجام دهد؟ اینجا، یک کج‌فهمی وجود دارد: منظور فیزیکدانان از دیدن «فیزیک مسئله»، توانایی دیدن فراسوی توصیف‌های ریاضی این یا آن برهمکنش و کار کردن روی مفاهیم زیربنایی است، یعنی مفاهیمی که معمولا بسیار عمومی بوده و می‌توان آنها را به طور خلاصه و به صورت غیرریاضی، و حتی به زبان محاوره بیان کرد. فیزیک به این معنی، مجموعه‌ی ثابتی از روش‌ها نبوده و فقط به موضوعات خاصی، محدود نمی‌شود؛ بلکه «راه تفکر درباره‌ی جهان است»: طرحی که علت و معلول را سازماندهی می‌کند.

این نوع تفکر را هر دانشمندی از هر حوزه‌ای می‌تواند داشته باشد؛ برچسب آکادمیک او هر چه که می‌خواهد باشد؛ و این چیزی است که در مورد جاکوب و مونو رخ داد: آنها دریافتند فرآیندهای بازخوردی، کلید نظم ژنتیکی‌اند و بنابراین پلی بین سایبرنتیک و نظریه‌ی کنترل برقرار کردند. زیست‌شناس توسعه‌گرا، هانس مین هارت

در دهه‌ی ۱۹۷۰ هم جزو این دسته به شمار می‌آید: او و همکارش، آلفرد جیرر، فیزیک ساختارهای تورینگی را رمزگشایی کردند. این ساختارها، الگوهای خودبخودی هستند که در مدل ریاضی مواد شیمیایی نفوذکننده، که توسط آلن تورینگ در سال ۱۹۵۲ برای توجیه تولید شکل و ترتیب جنین‌ها پیشنهاد شد، ظهور کردند. مین هاردت و جیرر، فیزیک زیربنایی ریاضیات تورینگ را پیدا کردند. وقتی به تعریف دانشکده‌ای فیزیک در گذشته بازگردیم، مرزهای آن با سایر حوزه‌های علمی، متخلخل‌تر می‌شود. استدلال مایر مبنی بر اینکه واکنشگرهای زیستی از طریق هدف و به شیوه‌ای که اشیای بی‌جان قادر نیستند، تحریک و ترغیب می‌شوند، تفسیر خامی از اطلاعات زیستی و نشات گرفته از این نگرش است که هر چیزی با DNA آغاز می‌شود. نگرشی که در این گفته‌ی مایر به وضوح دیده می‌شود: «تک‌پدیده یا تک‌فرآیندی در جهان زنده وجود ندارد که با برنامه‌ی ژنتیکی ژنوم، کنترل نشود». این «تعصب به DNA»، منجر به جبرگرایی و تقلیل‌گرایی زیادی می‌شود که مایر به طور غلط به فیزیک، نسبت می‌دهد. حتی با فرض اینکه DNA و ژن‌ها، واقعا هسته‌ی مرکزی چگونگی تکامل و بقای حیات باشند، باز هم به تصویری وسیع‌تر برای مواردی که اطلاعات حفظ حیات، فقط از داده‌های DNA نمی‌آیند، نیاز داریم. اینجا یکی از مسائل کلیدی، علیت است: اطلاعات در چه مسیرهایی جریان می‌یابند؟ با بررسی این سوالات علّی، کاستی‌های توصیف «پایین- بالا» آشکار می‌شود.

عصب‌شناسی به نام جیولیو تونونی و همکارش در دانشگاه ویسکانسین مدیسن، مدلی عمومی از یک سیستم پیچیده با اجزای برهمکنش‌کننده ارائه کرده‌اند (که می‌توان نورون‌ها یا ژن‌ها را به عنوان اجزا درنظر گرفت). آنها کشف کردند در برخی موارد، رفتار سیستم ناشی از یک شیوه‌ی «پایین- بالا» نیست، بلکه سطوح بالاتر سازماندهی، آن را هدایت می‌کنند.

این نگرش، اخیرا در تجزیه‌تحلیل جریان اطلاعات در شبکه‌های ژن مخمر توسط سارا واکر، پل دیویس و همکارانشان در دانشگاه آریزونا ثابت شده که نشان می‌دهد در این مورد، «علیت رو به پایین» را قطعا می‌توان اعمال کرد. دیویس و همکارانش معتقدند شاید «علیت بالا به پایین»، ویژگی عمومی فیزیک حیات بوده و نقش کلیدی در برخی تغییرات مهم تکامل، مانند ظهور کد ژنتیکی، تکامل سلول‌های پیچیده (یوکاریوت‌ها)، توسعه‌ی ارگانیسم‌های چندسلولی و حتی ریشه‌ی خود حیات، بازی کرده است. آنها می‌گویند در چنین نقاط مهم و محوری، ممکن است جریان اطلاعات، مسیر را عوض کرده باشد؛ بنابراین به جای اینکه تمام فرآیندها توسط جهش‌های ژنی هدایت شوند، فرآیندهای سطوح بالاتر، فرآیندهای سطوح پایین‌تر را تحت تاثیر و تغییر قرار داده‌اند. این پژوهش و کار واگنر، شوستر و آیگن نشان می‌دهد نحوه‌ی ارتباط DNA و شبکه‌های ژنتیکی به حفظ و تکامل ارگانیسم‌های زنده را فقط زمانی می‌توان کاملا درک کرد که فهم بهتری از خود فیزیک اطلاعات داشته باشیم.

نکته‌ی جالب آنکه، مشاهدات نشان می‌دهد سیستم‌های زیستی، اغلب نزدیک به چیزی که فیزیکدانان آن را یک انتقال فاز بحرانی یا نقطه‌ی بحرانی می‌نامند، عمل

می‌کنند: حالتی که روی آستانه‌ی تغییر بین دو حالت متفاوت سازماندهی (یکی به طور منظم و دیگری به طور بی‌نظم)، موازنه شده است. نقاط بحرانی در سیستم‌های فیزیکی مانند مغناطیس، مخلوط‌های مایع و ابرشاره‌ها به خوبی شناخته شده‌اند. ویلیام بایلک، فیزیکدانی که روی مسائل زیستی در دانشگاه پرینستون کار می‌کند و همکارش تیری مورا از فرانسه در سال ۲۰۱۰ پیشنهاد کردند که بسیاری از سیستم‌های زیستی، از حرکت گروهی پرندگان تا شبکه‌های نورونی در مغز و سازماندهی توالی‌های آمینواسید در پروتئین‌ها، ممکن است نزدیک به یک حالت بحرانی باشند.

بایلک و مورا معتقدند عمل کردن یک سیستم در نزدیک نقطه‌ی بحرانی، آن را تحت افت‌وخیزهای بزرگی قرار می‌دهد که دسترسی به محدوده‌ی نسبتا وسیعی از آرایش‌های متفاوت اجزا را امکان‌پذیر می‌کند. در نتیجه، احتمالا همین بحرانی بودن، انعطاف‌پذیری لازم برای ارتباط با محیط‌های غیرقابل پیش‌بینی و پیچیده را به سیستم اعطا می‌کند. نکته‌ی جالب‌تر اینکه، یک سیستم نزدیک به حالت بحرانی، نسبت به اختلالات محیطی، فوق‌العاده حساس است، به طوری که می‌تواند اثرات موج‌گونه‌ای را به سراسر سیستم بفرستد. چنین پاسخی می‌تواند به یک سیستم زیستی کمک کند تا بسیار سریع نسبت به تغییر، سازگار شود: گله‌ای از پرندگان یا یک دسته از ماهی‌ها می‌توانند بسیار سریع به نزدیک شدن یک شکارچی، پاسخ دهند.

از طرفی بحرانی بودن می‌تواند منجر به تولید یک مکانیسم جمع‌آوری اطلاعات شود. فیزیکدان، اموس ماریتان از دانشگاه پادوا ایتالیا و همکارانش نشان داده‌اند حالت بحرانی در مجموعه‌ای از «عوامل شناختی»، به سیستم اجازه می‌دهد تا اتفاقاتی را که اطرافش در حال رخ دادن است، حس کند (رمزگشایی نقشه‌ی درونی محیطش)؛ مانند رودخانه‌ای که نقشه‌ی توپوگرافی مسیرش را رمزگشایی می‌کند. ماریتان می‌گوید: «قرار گرفتن در حالت بحرانی، انعطاف‌پذیری بهینه و مزیت تکاملی برای مقابله و سازگاری با یک محیط پیچیده و بسیار متغیر را به سیستم اعطا می‌کند». گواه این حرف، مغزها، شبکه‌های ژن و گله‌های حیوانات هستند که واقعا به این شیوه، سازماندهی شده‌اند. بحرانی بودن ممکن است هرجایی باشد.

مثال‌هایی مانند اینها، به ما اطمینان می‌دهد که درون زیست‌شناسی، فیزیکی وجود دارد. بایلک با این بهانه که «زیست‌شناسی، بیش از حد، شلوغ و بی‌نظم است»، خود را قانع نمی‌کند. او مطمئن است نوعی «فیزیک نظری سیستم‌های زیست‌شناسی» وجود دارد که می‌تواند به سطح پیش‌بینی‌کننده‌ی سایر نظریه‌های فیزیکی استاندارد برسد.

ما هنوز کاملا نمی‌دانیم فیزیکِ زیست‌شناسی، شامل چه چیزهایی خواهد بود، اما مطمئنیم که حیات را بدون آن نمی‌فهمیم. قطعا این نظریه، درباره‌ی اینکه چگونه شبکه‌های ژن، هم استحکام و هم سازگاری را در مقابله با تغییرات محیطی تولید می‌کنند، حرف‌های زیادی خواهد داشت؛ مثلا چرا یک ژن ناقص، نباید کشنده باشد یا چرا سلول‌ها می‌توانند ویژگی خود را به شیوه‌های پایدار و قابل اعتماد و بدون تغییر ژنوم‌هایشان تغییر دهند؟ این نظریه باید نشان دهد چرا خود تکامل، هم ممکن است و هم خلاقانه.

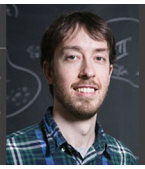
گفتن اینکه فیزیک، هیچ مرزی نمی‌شناسد، مانند این نیست که بگوییم فیزیکدانان می‌توانند هر چیزی را حل کنند. آنها در یک قلمروی خاص، پرورش یافته‌اند و مانند همه‌ی کسانی که پایشان را بیرون قلمروی امن و آموزش یافته‌ی خود می‌گذارند، مستعد اشتباه می‌شوند. مسئله، این نیست که چه کسی مالک مسائل خاص در علم است، بلکه توسعه‌ی ابزارهای مفید برای درک اینکه کائنات چطور کار می‌کند، مهم است. این همان چیزی است که ارسطو دو هزار سال پیش برای آن تلاش می‌کرد. فیزیک، چیزی نیست که در دانشکده‌ی فیزیک رخ می‌دهد. کائنات، به برچسب‌های آکادمیک کاری ندارد و اهمیتی نمی‌دهد. اگر می‌خواهید آن را بفهمید، نباید زیر بار برچسب‌ها بروید!

مقالات مرتبط در دیپ لوک (روی نام مقالات، کلیک کنید)

* داستان شگفت‌انگیز ظهور حیات و مرگ از دل بی نظمی! آیا ما در کائنات تنهاییم؟
* پاسخ جذاب شیمی کوانتومی به معمای عجیب تعداد آمینواسیدهای سهیم در حیات!
* محدودیت‌های حیات و شبکه نورونی: آیا یک موجود زنده می‌تواند به اندازه‌ی یک کهکشان بزرگ باشد؟

حیات در فیزیک، چگونه ترجمه می‌شود؟ (مصاحبه)

پیوند به مقاله اصلی



جرمی انگلند Jeremy England

فیزیکدان آمریکایی MIT، لیسانس بیوشیمی از دانشگاه هاروارد و دکترای فیزیک از دانشگاه استنفورد، مبدع روش تازه‌ای برای توضیح منشا حیات با فیزیک آماری.

تصور یک زبان، همانا تصور شکلی از حیات است، (لودویگ ویتگنشتاین[1] ۱۹۵۳).

جرمی انگلند در مورد واژه‌ها نگران است، در مورد این که چه معنایی دارند و چه جهان‌هایی را در بر می‌گیرند. او از به کار بردن واژه‌هایی مانند «آگاهی» و «اطلاعات» پرهیز کرده و می‌گوید آنها بسیار سنگین و اغواگر هستند. وقتی برای حرف زدن، در جستجوی درست‌ترین واژه‌هاست، صدایش اندکی می‌لرزد. احتیاط او قابل درک است. این استادیار فیزیک MIT، بنیان‌گذار نظریه‌ای جدید به نام «سازگاری اتلافی[2]» است که به توضیح اینکه چگونه عملکرد حیات‌گونه و پیچیده می‌تواند خود را سازماندهی کرده و از چیزهای ساده‌تری مانند ماده‌ی بی‌جان به وجود آید، کمک می‌کند. این نظریه، نامی مستعار برای انگلند به ارمغان آورده که چندان خوشایندش نیست: چارلز داروین بعدی. اما داستان انگلند به همان اندازه که به زیست‌شناسی مربوط می‌شود، درباره زبان نیز است.

امروزه حدود ۶۸۰۰ زبان منحصر بفرد توسط انسان‌ها استفاده می‌شود. هر واژه‌ای به صورت دقیق و کامل، قابل ترجمه نیست و گاهی معنی، به درستی منتقل نمی‌شود؛ برای مثال، هیچ ترجمه‌ی دقیقی به زبان انگلیسی برای واژه‌ی ژاپنی wabi-sabi (ایده‌ی یافتن زیبایی در نقص) یا برای واژه‌ی آلمانی waldeinsamkeit، (احساس تنهایی در جنگل) وجود ندارد. رشته‌های مختلف علم نیز هر کدام برای خود، زبان‌هایی هستند و توضیحات علمی گاهی، فقط نوعی ترجمه‌اند. مثلا «قرمز» ترجمه‌ی عبارت «طول موج ۷۵۰-۶۲۰ نانومتر» است؛ دما ترجمه‌ای برای «سرعت متوسط گروهی از ذرات» است و «گرانش» یعنی «هندسه‌ی فضا زمان». هر چه یک ترجمه، پیچیده‌تر باشد، معانی بیشتری را بیان می‌کند.

در مورد حیات چطور؟ ما فکر می‌کنیم وقتی حیات را ببینیم، می‌شناسیم و حتی نظریه داروین، چگونگی تکامل شکلی از حیات به شکل دیگر را توضیح می‌دهد. اما سوال مهم اینجاست: تفاوت یک پرنده‌ی سینه‌سرخ با یک سنگ، در حالی که هردو از قوانین فیزیکی یکسانی پیروی می‌کنند چیست؟ به عبارت دیگر، ما حیات را در فیزیک چگونه ترجمه می‌کنیم؟ عده‌ای استدلال کرده‌اند که این واژه قابل ترجمه نیست؛ اما شاید فقط یک مترجم درست نیاز باشد!

زمانی که دیگر پسربچه‌های ۱۲ساله، مشغول خواندن داستان‌های طنز مارول بودند، انگند سرگرم خواندن کتاب راهنمای کارتونی ژنتیک[3] بود. تصویر روی جلد، غواصی را نشان می‌داد که با یک رشته‌ی بزرگ DNA در زیر آب مواجه شده بود. آن کتاب به بنیان‌های زیست‌شناسی، از ریبوزوم تا رفتارهای جنسی گیاهان پرداخته بود، موضوعاتی که انگلند را به سرعت، شیفته‌ی خود کردند. او می‌گوید: «برایم بسیار شگفت‌انگیز بود که ببینم چگونه ملکول‌ها همه‌ی این کارها را می‌کردند. بسپارگر DNA را در نظر بگیرید. وظیفه‌ی DNA به زبان زیست‌شناسی، ساختن مولکول‌های جدید DNA از طریق سر هم کردن نوکلئوتیدهایی است که شامل یک پایه‌ی شیمیایی، یک قند و یک فسفریک اسید هستند. این داستان، کاملا منطقی به نظر می‌رسد، زیرا کاملا شبیه موقعیتی است که ما انسان‌ها برای هدفی کار می‌کنیم، اما تمیز دادن چنین ملکولی از ماده‌ی بی‌جان، کار دشواری است. کافی است آن را به تکه‌های کوچک‌تر تقسیم کنید، آنگاه تنها کاری که می‌تواند انجام دهد، چرخش و ارتعاش است».

زمانی که انگلند در دانشگاه هاروارد، دوره‌ی کارشناسی را می‌گذراند و به همراه اوگن شاخنوویچ بیوفیزیکدان، به هم پیوستن پروتئین‌ها را مطالعه می‌کرد، چیزهایی بیشتری از این دست مشاهده کرد. بانک داده‌ی پروتئین، جزئیات فایل‌ها را به زیبایی، در «نوارها و صفحاتی» که بر اساس ویژگی‌هایشان، رنگ خاصی دارند، نگه می‌دارد. مشخص شد هر پروتئین، از ۲۰ آمینو اسید یکسان ساخته شده، اما بعدا هر یک از آنها شکل خاصی به خود گرفته و وظیفه‌ی خاصی هم که برای حیات ضروری است، بر عهده می‌گیرند. انگلند می‌گوید «آمینو اسیدها برای شما غزل نمی‌سرایند، اما وقتی چند صد عدد از آن‌ها را به هم پیوند دهید، ناگهان ماشینی خواهید داشت که انگار برای هدفی خاص ساخته شده است».

۱- Ludwig Wittgenstein

۲- Dissipative adaptation

۳- The Cartoon Guide to Genetics

انگار از دل چرخش بی‌هدف چرخ‌دنده‌ها، چیزی شبیه هدف، ظهور می‌کند. خود قطعات به صورت جداگانه، از چیزی جز قوانین بنیادین فیزیک پیروی نمی‌کنند، اما مجموع قطعات، منتج به یک هدف خاص می‌شود. به نظر می‌رسد در دنیای فیزیک، جای هدف، خالی است: وجود فضا و زمان، هدف خاصی ندارد، بلکه آنها صرفا هستند. اما در زیست‌شناسی، سیستم‌ها برای هدف تنظیم شده‌اند؛ برای حرکت، کاتالیز و ساختن. واژه‌ی «هدف» یا «کارکرد» بین جاندار و بی‌جان در حال بندبازیست. آیا این واژه را صرفا باید به موجودات زنده، نسبت دهیم یا اینکه «هدف» واقعا چیزی ذاتی‌تر از این است؟ انگلند در سال ۲۰۱۴ در جلسه‌ای در موسسه‌ی کارولینسکای سوئد به یکی از حضار گفت: «فیزیک تفاوتی بین جاندار و بی‌جان نمی‌گذارد. اما زیست‌شناسی، این تفاوت را قائل می‌شود».

انگلند پس از اخذ دکترا و وقتی در پرینستون پژوهشگر بود، گاهی به شهر نیویورک می‌رفت تا قدیمی‌ترین دوست دوران کودکی‌اش، یک فیلسوف کاربلد را ملاقات کند. دوستش گاهی انگلند را به دورهمی‌های محبوبش می‌برد و او را درگیر بحث‌های طولانی در مورد فیلسوف اتریشی-بریتانیایی، لودویگ ویتگنشتاین می‌کرد.

ویتگنشتاین بخشی از زندگی‌اش را در تنهایی در جنگل‌های نروژ گذراند و در مورد ارتباط و «بازی‌های زبانی» مطالبی نوشت. برخی فلاسفه می‌گویند معنی یک واژه در ذات یک شی فیزیکی در جهان خارج، نهفته است، اما ویتگنشتاین استدلال کرد که معنی یک واژه به بستر و زمینه‌اش بستگی دارد، زمینه‌ای که توسط افراد استفاده کننده از آن، تعیین می‌شود.

انجام یک بازی زبانی، به نحوی شبیه رمزی حرف‌زدن است، اگر دو نفر در فعالیتی شرکت داشته باشند که توسط هردو به خوبی درک شده، می‌توانند از واژه‌های کمتر و ساده‌تری برای رساندن منظورشان استفاده کنند. گروه‌های مختلف مردم مثل موسیقی‌دانان، سیاستمداران، دانشمندان و ... از بازی‌های زبانی متناسب با نیازشان استفاده می‌کنند. بازی‌های زبانی جدید، همواره پا به عرصه وجود می‌گذارند؛ معانی تغییر شکل می‌دهند و واژه‌ها سازگار می‌شوند.

انگلند می‌گوید «ویتگنشتاین از ایده‌ای استفاده می‌کند که من هم گاهی در جاهای دیگر می‌بینم، از جمله در جملات آغازین انجیل عبری»: «در آغاز، خدا آسمان‌ها و زمین را آفرید...» اینجا واژه‌های عبری معادل «آفرید»، «آسمان‌ها» و «زمین»، فقط با توجه به زمینه‌ی آیات بعدی، به درستی معنی می‌شوند. مثلا مشخص می‌شود که آفرینش، شامل فرایندی از اسم دادن به چیزها بوده؛ آفرینش جهان آفرینش، یک بازی زبانی است. «خدا گفت، ' بگذار نور باشد' و نور بود» . خدا نور را با گفتن اسمش آفرید. انگلند می‌گوید: «ما این عبارت را بسیار زیاد شنیده‌ایم، اما وقتی به اندازه کافی بزرگ شده‌ایم که در مورد آن بیاندیشیم، خیلی ساده از آن می‌گذریم. نوری که ما با آن، جهان را می‌بینیم از نحوه‌ی سخن گفتن ما از آن می‌آید». انگلند فکر می‌کند اگر بخواهیم از زبان فیزیک برای توصیف زیست‌شناسی استفاده کنیم، این نکته، اهمیت پیدا می‌کند.

خود انگلند، وقتی عضو جوان هیئت علمی در MIT بود و نه می‌خواست از زیست‌شناسی دست بکشد، نه از فکر کردن در مورد فیزیک نظری، مجبور به این کار بود. او می‌گوید: «وقتی نمی‌پذیرید دو چیزی که شیوه سخن گفتن شما را به دو سمت متفاوت می‌برند، رها کنید، مجبورید راه ترجمه را در پیش بگیرید».

در سنت یهود، «معجزه» لزوما قوانین طبیعت را نقض نمی‌کند؛ بلکه پدیده‌ای است که قبلا قابل تصور نبود. شاهدان معجزه، به بازبینی مفروضات و حل تعارضات، فراخوانده می‌شوند؛ یعنی به طور خلاصه، باید طور دیگری در مورد جهان بیاندیشند. برای فیزیکدانانی که

در مکانیک آماری غرق شده‌اند، حیات به این معنا، می‌تواند یک معجزه باشد. قانون دوم ترمودینامیک چنین می‌طلبد که بی‌نظمی در یک سیستم بسته مانند گاز درون یک محفظه، (یا به طور کلی جهان) باید در گذر زمان، افزایش یابد. برف ذوب می‌شود تا یک چاله‌ی آب شود، اما یک چاله‌ی آب، خودبه‌خود، شکل دانه‌های برف به خود نمی‌گیرد. اگر ببینید چاله‌ی آب، چنین کاری می‌کند، تصور می‌کنید در حال تماشای یک فیلم رو به عقب هستید، انگار زمان، به عقب حرکت می‌کند. قانون دوم، یک برگشت‌ناپذیری بر رفتار گروه‌های بزرگ ذرات تحمیل کرده و بدین گونه به ما اجازه می‌دهد با واژه‌های «گذشته»، «حال» و «آینده» بازی کنیم.

بی نظمی، جهت پیکان زمان را نشان می‌دهد. با این وجود، پیکان حیات، جهت مخالف را نشانه گرفته است: بذری ساده، گلی را می‌رویاند که به صورت پیچیده، سازمان و نظم یافته است و از زمین بی‌جان، جنگل‌ها سر بر می‌آورند! چطور قوانین حاکم بر اتم‌هایی که ما آنها را «زنده» می‌خوانیم، چنین تفاوت فاحشی با قوانین حاکم بر سایر اتم‌های جهان دارند؟
در سال ۱۹۴۴، اروین شرودینگر فیزیکدان در کتاب کوتاهی با عنوان «حیات چیست؟» به سراغ این سوال رفت. او دریافت موجودات زنده، بر خلاف یک گاز درون محفظه، سیستم‌هایی باز هستند؛ یعنی بین خود و محیط بزرگتر اطرافشان، انرژی مبادله می‌کنند. حتی وقتی حیات، نظم درونی خود را حفظ می‌کند، دفع گرمایش به محیط، به جهان اجازه می‌دهد تا انتروپی (بی‌نظمی) کل، مطابق قانون دوم افزایش یابد.

شرودینگر به راز دومی هم اشاره کرد. به گفته‌ی او، ساز و کاری که به پیکان زمان جهت می‌دهد، نمی‌تواند همان ساز و کاری باشد که به پیکان حیات جهت می‌دهد. پیکان زمان از آمارِ اعداد بزرگ سر بر می‌آورد (وقتی به اندازه کافی اتم دارید تا آمارشان را بگیرید)، به سادگی متوجه می‌شوید که حالت‌های نامنظم بسیار بیشتری نسبت به حالت‌های منظم وجود دارد، به نحوی که احتمال قرارگیری سیستم در حالت منظم‌تر، صفر است. اما وقتی سخن از حیات است، باید نظم و برگشت‌ناپذیری حتی در مقیاس میکروسکوپیک با اتم‌های بسیار کمتر هم، حکمفرما باشد. در این مقیاس، اتم‌ها به تعداد به اندازه کافی زیاد برای اینکه قانون دوم بر آمارشان جاری شود، نمی‌رسند. برای مثال، یک نوکلئوتید (جز سازنده‌ی DNA و RNA؛ اجزای بنیادی حیات) تنها از ۳۰ اتم ساخته شده است. با این وجود، شرودینگر اشاره کرد، کدهای ژنتیکی نیز به طور نامحتملی، خوب دوام می‌آورند، گاهی در حدود میلیون‌ها نسل؛ «با ماندگاری و استقامتی که به مرزهای معجزه می‌رسد».

اما یک ژن چطور در برابر زوال مقاومت می‌کند؟ چطور زیر بار ظرافتش، فرو نمی‌ریزد؟ چیزی عمیق‌تر از آمار باید در کار باشد، چیزی که بتواند به گروه‌های کوچکی از اتم‌ها اجازه دهد به نحوی بازگشت‌ناپذیر با خودراه‌اندازی[۴]، خود را حفظ کرده و موجودی «زنده» شوند!

نیم قرن بعد، سرنخی پیدا شد، وقتی یک شیمیدان

٤-Bootstrap

انگلیسی به نام گاوین کروکس برای اولین بار توصیفی ریاضیاتی از بازگشت‌ناپذیری میکروسکوپیک ارائه داد. کروکس در تک معادله‌ای در سال ۱۹۹۹ نشان داد که یک سیستم بازِ کوچک که از یک منبع خارجی، انرژی دریافت کند، تا زمانی که در خلال این تغییرات، انرژی هدر دهد (اتلاف کند)، می‌تواند به شکل بازگشت‌ناپذیری تغییر کند. تصور کنید جلوی یک نرده ایستاده و می‌خواهید به سمت دیگر آن بروید؛ اما نرده بلندتر از آن است که از رویش بپرید. اکنون فرض کنید دوستی، یک عصای پوگو (عصایی فنردار برای پرش) به شما می‌دهد که می‌توانید برای جهش به طرف دیگر نرده، از آن استفاده کنید. وقتی به سمت دیگر رفتید، می‌توانید از همان عصای پوگو برای پرش دوباره از روی نرده استفاده کنید و سر جای اول برگردید. منبع انرژی خارجی (عصای پوگو) به شما اجازه می‌دهد یک تغییر را انجام دهید، اما یک تغییر برگشت‌پذیر.

اکنون تصور کنید دوستتان به جای عصای پوگو، یک جت پک به شما بدهد. جت پک را روشن می‌کنید و به سمت دیگر نرده می‌روید. تا از روی نرده رد می‌شوید، سوخت جت پک تمام می‌شود و وقتی فرود می‌آیید انرژی کافی در جت پک باقی نمانده که دوباره از روی نرده پریده و به جای اولتان برگردید. پس در همانجا گیر افتاده‌اید؛ در این حالت، تغییر شما برگشت‌ناپذیر بوده است.

کروکس نشان داد گروهی از اتم‌ها به شکل مشابهی می‌توانند شلیکی از انرژی خارجی را گرفته و از آن برای رسیدن به پیکربندی جدیدی، (مشابه با پریدن از روی نرده) استفاده کنند. اگر اتم‌ها در حین تغییر شکل، انرژی را تلف کنند، تغییر می‌تواند برگشت‌ناپذیر باشد. اگر شلیک بعدی انرژی، از راه برسد، اتم‌ها می‌توانند از آن برای رسیدن به حالت اول استفاده کنند و اغلب این کار را می‌کنند؛ اما گاهی هم این کار را نمی‌کنند. آنها گاهی از شلیک بعدی انرژی برای رسیدن به حالت جدید دیگری، استفاده می‌کنند و دوباره در حال تغییر شکل، انرژی تلف می‌کنند. اتلاف انرژی، متضمن بازگشت‌ناپذیری نیست، اما بازگشت‌ناپذیری به اتلاف انرژی نیازمند است.

نتایج کروکس بسیار عمومی بوده و بر هرگونه تغییر شکل یک سیستم خارج از تعادل (که بالقوه شامل حیات نیز می‌شود) اعمال می‌شود. اما انگند می‌گوید: «شاید لازم باشد برای استفاده از این نتایج در مورد یک سیستم بی‌نظم بزرگ چند جسمی با مقادیر زیاد اتلاف انرژی، احتیاط کرد». به نظر می‌رسید، این نتایج صادق بودند، اما شاید عملی کردن محاسبات، بسیار دشوار بود. در سال ۲۰۱۳ زمانی که قرار بود انگلند در کلتک کالیفرنیا صحبت کند، به بازی با متغیرهای معادله‌ی کروکس در هتل می‌پرداخت. معادله‌ی کروکس، به روشنی نشان می‌داد برای نوعی از بازگشت‌ناپذیری که مشخصه‌ی حیات است، یک سیستم باید به ویژه در جذب و اتلاف گرما، خوب عمل کند؛ اما انگلد می‌دانست این کل ماجرا نیست.

او می‌گوید: «انگار حوالی آن نکته‌ی اصلی، پرسه می‌زنید. سپس آن را کنار می‌گذارید و می‌خوابید و در مورد چیزهای متفاوت فکر می‌کنید. وقتی دوباره به سراغش می‌آیید، گشایشی حاصل شده است، زمان می‌گذرد و چیزها را به نحوی متفاوت در می‌یابید». سرانجام تلنگری زده شد: در حضور یک منبع انرژی خاص، بعضی آرایش‌های ویژه، در جذب و اتلاف گرما بهتر از بقیه هستند. در واقع احتمال اینکه این آرایش‌ها، دچار تغییر شکل‌های بازگشت‌ناپذیری شوند، بیشتر است. اگر برخی سیستم‌ها در طول زمان، در انجام این کار از بقیه بهتر شوند چه؟ آنگاه مجموعه‌ی تغییر شکل‌های بازگشت‌ناپذیر، یک اثر ترکیبی شده و خود را با خودراه‌اندازی بالا می‌کشد. انگلند قلم به دست گرفت و تعمیمی از قانون دوم ترمودینامیک نوشت که حافظه‌ی اتلاف انرژی سیستم را نیز مد نظر قرار می‌داد و به گفته خود او، نوری بر چگونگی ظهور ساختارها و کارکردهای حیات افکند. انگلد این یافته را در مقاله‌ی دو سال گذشته‌اش، چنین بیان کرد: «در حالی که هر تغییری در شکل سیستم، غالبا تصادفی است، مقاوم‌ترین و بازگشت‌ناپذیرترین تغییرات در پیکربندی، زمانی رخ می‌دهد که سیستم، در کار جذب و اتلاف، به صورت لحظه‌ای بهتر باشد. با گذشت زمان، «حافظه‌ی» این تغییراتِ کمتر قابلِ پاکسازی، انباشته شده و سیستم به طور فزاینده‌ای، شکل‌هایی را برمی‌گزینند که در حافظه‌اش، بیشتر شبیه به جاهایی است که اتلاف رخ داده است. با نگاه به تاریخچه‌ی محصول این فرآیند غیر تعادلی، چنین به نظر ما می‌آید که ساختار، خود را به حالتی سازماندهی کرده که با شرایط محیطی «به خوبی سازگار شده» است. این پدیده‌ی سازگاری اتلافی است». البته که سیستم اتم‌ها برای رسیدن به چنین هدفی، تلاش نمی‌کنند، بلکه چنین اتفاقی به صورت کورکورانه و تصادفی، در حال رخ دادن است. با این وجود، آنها با تغییر شکل‌های مداوم، خود را به گونه‌ای سازماندهی می‌کنند که برای ما چنان به نظر می‌رسد که با محیط سازگار شده‌اند. به گفته ویتگنشتاین: «زبان هزارتویی از راه‌هاست». «حیات» در فیزیک، چگونه ترجمه می‌شود؟ انگلند به ترجمه‌ی درستی رسید: «سازگاری اتلافی».

شاید به نظر برسد سازگاری اتلافی، ما را صرفا به برج‌های خنک‌کننده‌ی خورشید تنزل می‌دهد، اما این نظریه، معنایی فراتر از این دارد: انتخاب طبیعی داروینی را می‌توان مورد خاصی از پدیده‌ی عمومی‌ترِ سازگاری اتلافی، از نو صورت‌بندی کرد، یعنی گویشی از زبانی بنیادی‌تر!

اگرچه سازگاری اتلافی در مقیاس ریز (میکرو) رخ می‌دهد، اما انتخاب طبیعی در دنیای همتاسازهای (خودتکثیرگرها[۵]) ماکروسکوپی عمل می‌کند و همتاسازی، راهی عالی برای مصرف و اتلاف انرژی است. به زبان سازگاری اتلافی، واژه‌هایی چون «سازگاری» معنای جدیدی به خود می‌گیرند. مِنی ونینو، استادیار فیزیک دانشگاه نورث‌ایسترن می‌گوید: «سازگاری اینجا در قالب دسته‌ای از کارکردهای بهینه تعریف نمی‌شود، بلکه بیشتر به داد و ستد انرژی سیستم و محیط، اشاره می‌کند». وقتی، یک سیستم انرژی تلف کند، راهی بازگشت‌ناپذیر در پیش می‌گیرد و با این کار، چنان که انگلند می‌گوید، «استثنائی» می‌شود، نه بی‌نقص و ایده‌آل. انگلند می‌گوید: «پرنده بودن، حالت بهینه و کاملی برای پرواز نیست، بلکه فقط برای پرواز کردن، به شکل قابل توجهی از سنگ و کِرم بهتر است».

این نظریه ما را به چالش می‌کشد تا کارکردهای قابل توجهی که حیات را خاص می‌سازند، بازنگری کنیم: انگلند می‌گوید: «در جایی که دنبال کارکرد و هدف می‌گردیم، انعطاف بیشتری داریم». اکنون ظهور کارکردهای پیچیده از مجموعه ذراتی که به شکل ضعیف و بدون هیچ هماهنگی قدرتمندی باهم تعامل دارند، فرآیندی است که می‌تواند به تعداد زیادی تغییر شکل بازگشت‌ناپذیر، شکسته شود که یک عامل خارجی باعث آن شده است. پدید آمدن چیزهایی مثل پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، آسان‌تر از آن چیزی است که ما می‌پنداشتیم. انگلند می‌گوید: «شاید مسله، اصلا انتخاب دقیق توالی‌های آمینواسید در تاریخ طولانی همتاسازی نباشد. شاید بتوانید در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر، چیزها را خودسازماندهی کنید. اگر خود را متقاعد کنیم که آغازی‌ترین گام‌ها در حیات، اندکی مشابه یک سطح شیبدار یا یک راه پله با تعداد بسیاری تغییرات کوچک در جهت درست بوده، آنگاه شاید حداقل دیدگاه ما را در مورد این که چه نوع سناریوهایی را باید تصور کنیم، اصلاح کند».

این نظریه، فقط برای نگاه دقیق به گذشته به ما کمک نمی‌کند، بلکه طراحی‌ها و رویکردهای مهندسی جدیدی نیز پیش روی ما می‌گذارد. پروژه‌ی «محاسبه ظهوریافته» که انگلند و اعضای آزمایشگاهش اکنون در حال تحقیق بر روی آن هستند، مثالی از این دست است. آنها می‌خواهند سیستم‌های ذرات را وادار به تغییراتی کنند که آنها را قادر به پیش‌بینی تغییرات محیط اطراف کند، بدون اینکه هیچ دستورالعملی در طراحی در این باره، به آنها داده شده باشد. زیرا بهتر شدن در جذب و اتلاف انرژی در یک محیط متلاطم، نیازمند درجه‌ای از پیش‌بینی است. انگلند می‌گوید: «اگر ما موفق به انجام چنین کاری شویم، گواهِ آن خواهد بود که ذرات سیستم به نحوی تعامل می‌کنند که انگار بر اساس تجارب گذشته، محاسبات موثری درباره‌ی آینده انجام می‌دهند». چنین کاری می‌تواند بر فناوری‌های متکی به قدرت پیش‌بینی، از شبکه‌های عصبی تا ربات‌هایی که به ما بگوید کی بلیت هواپیما بخریم، اثر مهمی بگذارد.

این، توانِ شگفت‌انگیزی از ترجمه است که اگر کار کند، می‌تواند اثبات تجربی مورد نیاز سازگاری اتلافی باشد. در حال حاضر، ونینو قضاوت را به آینده موکول کرده است. جرمی گوناواردانا، دانشیار زیست‌شناسی سیستم‌ها در دانشگاه هاروارد نیز هنوز کاملا با این رویکرد مجاب نشده است. او می‌گوید: «جرمی امیدوار است بتواند از فکر کردن درباره شیمی اجتناب کرده و ملزومات انتزاعی پدید آمدن حیات را صرفا به عنوان یک لزوم فیزیکی ببیند. من متقاعد نشده‌ام، با این وجود فکر می‌کنم بسیار عالی است که او روی مساله کار می‌کند و مطمئنم چیزهای جذابی از آن خواهد آموخت».

در نهایت، شکست‌ها و مصالحه‌های این ترجمه‌ی کاملا جدید نیز باید کشف شوند. ممکن است نتیجه‌ی نهایی این باشد که زبانی برای بیان پیچیدگی حیات وجود ندارد، اما انگلند می‌خواهد ما زبان جدیدی را امتحان کنیم؛ چیزی که آن را سال گذشته در مجله کامنتری چنین بیان کرد: «برای توصیف جهان، بیش از یک زبان مناسب وجود دارد و خدا می‌خواهد انسان با همه‌ی آن‌ها سخن بگوید!».

۵- Self-replicators

دکتر صادقی:

حیات چیست؟ پرسشی با پاسخی سهل و متمنع. از آن جهت که به نظر می‌رسد همگان از آن شناخت و تعریفی به ظاهر قانع‌کننده دارند، ولی با اینحال پاسخی که مورد قبول همگان باشد، تاکنون ارائه نشده است.

حیات چیست؟ موجود زنده کیست؟ این دو پرسش با هم متفاوتند ولی پاسخ به آنها گاهاً با هم جابه‌جا می‌شود. البته می‌توان پاسخ را به صورتی مطرح کرد که متناقض به نظر آید. حیات، خصوصیتی است که موجودات زنده دارند و موجودات زنده سیستم‌هایی هستند که دارای حیاتند. بنابراین موجود زنده، سیستمی است که ویژگی‌هایی را دارد که موجودات زنده دارند؛ بنابراین قبل از تعریف «حیات چیست» به نظر می‌آید باید بدانیم«موجود زنده» کیست. اما چگونه آن را دانسته‌ایم و چه تعریفی از آن داریم و اگر قرار است که چیزی که نشناخته‌ایم را تعریف کنیم چگونه این کار را انجام دهیم؟

آنچه که پاسخ به پرسش «حیات چیست؟» را دشوار می‌سازد، نه فقط ارائه‌ی یک تعریف یا لیست کردن ویژگی‌هایی است که موجودات زنده را از غیرزنده متمایز کند، بلکه در این است که چگونه یک مجموعه از ذرات فیزیکی که از جنس همان ذراتی هستند که در همه جای جهان، یا حداقل در کره زمین، یافت می‌شوند و هر کدام به تنهایی از همان قوانین فیزیکی تبعیت می‌کنند که بقیه ذرات در جهان غیرزنده، در اجتماع با هم، رفتاری برخلاف جریان فیزیکی غالب بر جهان دارند. یعنی جریانی از نظم برخاسته از نظم، در حالیکه در جهان غیرزنده، هیچ مجموعه‌ای از ذرات نیست که چنین رفتاری داشته باشد بلکه رفتارش جریانی از نظم به بی‌نظمی است.

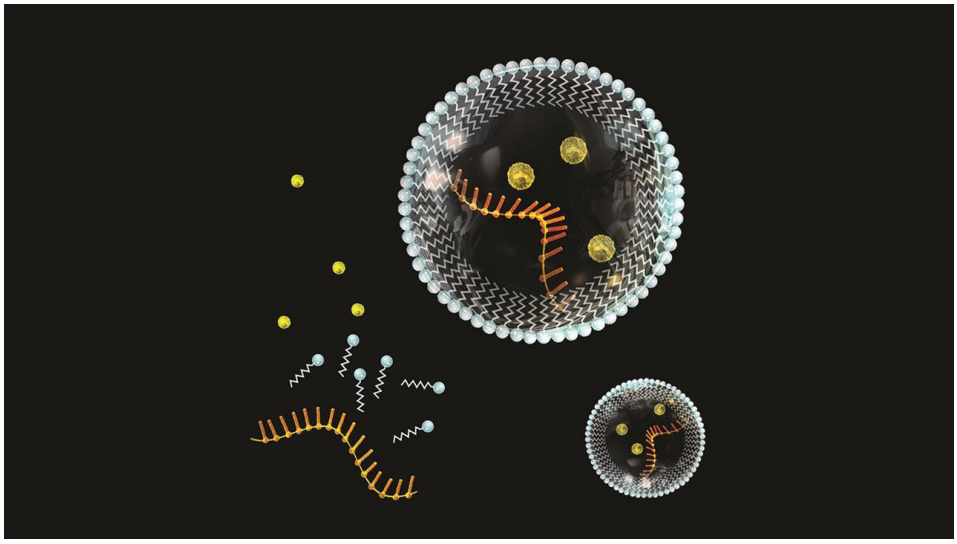
زیست‌شناسان که تجربه انقلاب علمی در حذف غایت‌گرایی در جهان فیزیکی و شیمیایی را دارند، با مفهوم غایت‌گرایانه برای موجودات زنده‌ای که در قالب مجموعه قوانین فیزیکی و شیمیایی رفتار می‌کنند، دچار مشکل می‌شوند. چگونه برای مجموعه‌ای از مولکول‌هایی که به تنهایی برای رفتارشان غایتی ندارند، غایتی را در نظر بگیریم. اما به نظر نمی‌آید به سادگی بتوان بر این مشاهده که همه موجودات زنده از باکتری تا انسان برای غایتی چون بقا و تولیدمثل رفتار می‌کنند خط بطلان کشید. این به ظاهر دوگانگیِ قوانین فیزیکی در جهان زنده و غیرزنده باعث شد که نیلس بور بگوید «حیات با عقل‌ورزی آدمی از فیزیک و شیمی سازگار، اما حکم‌ناپذیر و نادانستی است» و شرودینگر نتیجه بگیرد که «ماده زنده با وجود پیروی از قوانین جاافتاده‌ی فیزیک، به احتمال دربرگیرنده‌ی دیگر قوانین فیزیک می‌باشد که تا این هنگام ناشناخته است». سی سال بعد از شرودینگر، ژاک موناد بر این شکاف، مهر تایید زد و مسئله را به این شکل خلاصه کرد: «در ظاهر امر، تناقض معرفت‌شناختی ژرفی وجود دارد. در حقیقت مسئولیت مسئله اصلی زیست‌شناسی بر گردن همین تناقض است که اگر تنها ظاهری باشد، باید حل و فصل شود و یا در غیر اینصورت باید اثبات شود که اصولاً حل ناشدنی است، اگر به راستی معلوم شود که چنین است.»

جرمی‌انگلند و سایر فیزیک‌دانان در تلاش برای حل این تناقض‌اند. اما واقعاً دشوار است که بتوان از انسان‌ریختی اندیشیدن درباره موجودات زنده خلاصی یافت. غایت‌گرایی، یک تصور ذهنی انسان است و نسبت دادن آن به موجودات زنده، محصول آگاهی انسان از شناخت جهان است. در اینجا نیز به نظر می‌رسد یک تناقض وجود دارد؛ اینکه حیات غایتی دارد و یا اینکه موجودات زنده در جستجوی غایتی هستند. ابزارهای مکانیکی ساخته‌ی دست بشر هم غایتی دارند. ساعت برای این ساخته می‌شود که گذر زمان را اندازه بگیرد و از قوانین مکانیکی تبعیت می‌کند، اما آیا می‌توان نتیجه گرفت که قوانین مکانیکی غایتی دارند؟

در طول قرن‌ها برای پاسخ به پرسش «حیات چیست؟» تعاریف متعددی ارائه شده، اما هنوز ارائه‌ی پاسخ‌های جدید ادامه دارد. مشکل در کجاست و چرا به یک پاسخ قانع کننده نمی‌رسیم. شاید مشکل در این است که هر پاسخ را به یک مجموعه از سیستم‌ها می‌توان نسبت داد. امروزه پاسخ‌ها معمولاً به دنبال آن هستند که همچون نخ تسبیحی، همه دانه‌هایی را که موجودات زنده هستند به نخ بکشند و به تعریف صفت یا ویژگی‌هایی محدود می‌شوند که همه موجودات زنده را از جهان غیرزنده جدا کند. این مجموعه از موجودات زنده نه تنها باید شامل ارگانیسم‌هایی باشد که تابه‌حال ندیده‌ایم، بلکه حتی باید شامل اَشکالی از حیات باشد که ممکن است در کرات دیگر بتوان یافت. فضانوردی که روزی به سیاره‌ای پا بگذارد، باید بتواند تعریفی داشته باشد که آنچه را در آنجا مشاهده می‌کند به موجود زنده

یـا غیرزنـده تقسـیم‌بندی کنـد. پاسـخ‌های فعلـی تـلاش می‌کننـد ویژگی‌هـای حداقلـی را ارائـه دهنـد کـه نقطـه‌ی اشـتراک همـه موجـودات زنـده باشـد. امـا مشـکل در اینجاسـت کـه تقلیـل ایـن ویژگی‌هـا باعـث می‌شـود کـه سیسـتم‌های غیرزنـده‌ای را زنـده تلقـی کنیـم و گسـترش ایـن ویژگی‌هـا موجـب آن می‌شـود کـه موجـودات زنـده‌ای را از دایـره تعریـف خـارج کنیـم. بگذاریـد بعضـی از تعاریـف جدیـد تـر از «حیـات چیسـت؟» را مـرور کنیـم:

- حیـات بـه صـورت سیسـتمی‌تعریف می‌شـود کـه بـرای سـازماندهی فعالیت‌هایـش می‌توانـد اطلاعـات را کسـب، ذخیـره، پـردازش و اسـتفاده کنـد.
- حیـات بـه صـورت سیسـتمی از اسـیدهای نوکلئیـک و پروتئین‌هـا بـا تامیـن پیوسـته‌ی مونومرهـا، انـرژی و حفاظـت تعریـف می‌شـود.
- حیات به یک سیستم ترمودینامیکی اطلاق می‌شود که ساختار مولکولی سازماندهی شده دارد.
- حیات به سیستم شیمیایی خودپاینده که قادر است دستخوش تکامل داروینی شود اطلاق می‌شود.
- حیـات بـه شـبکه‌ای از فیدبک‌هـای منفـی (مکانیسـم‌های تنظیمـی) کـه قـادر بـه پاسـخ بـه فیدبک‌هـای مثبـت بالاتـر (توانایـی توسـعه و انبسـاط و تولیـد مثـل) هسـتند اطـلاق می‌شـود.
- حیات به سادگی حالت ویژه‌ای است از ناپایداری سازمان‌یافته.
- حیـات بـه صـورت سیسـتمی‌قادر بـه خـود سـازماندهی، خـود همانندسـازی، تکامـل از راه جهـش، متابولیسـم و ... تعریـف می‌شـود.



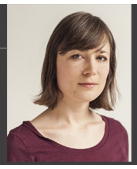
اگـر همـه ایـن تعاریـف بـا عبـارت «حیـات بـه» شـروع نمی‌شـدند می‌توانسـتیم تصـور کنیـم کـه ایـن تعاریـف در مـورد مفاهیمـی کامـلاً متفاوتنـد و اینکـه بـا هـر کـدام از آنهـا چیزهـای زنـده‌ای از تعریـف خـارج می‌کـرد و یـا چیزهـای غیرزنـده‌ای را شـامل می‌شـد. تصـور زبـان بـه عنـوان شـکلی از حیـات، مثـال خوبـی اسـت. اگـر بتـوان خـود زبـان را هـدف‌دار یـا غایت‌گـرا در نظـر گرفـت، آنـگاه می‌تـوان حیـات را نیـز غایت‌گـرا دانسـت. قطعـاً پرسـش «زبـان چیسـت؟» را نمی‌تـوان بـا هـدف‌دار بـودن زبـان پاسـخ داد ولـی موجوداتـی کـه از زبـان اسـتفاده می‌کننـد بـرای اسـتفاده از آن هدفـی دارنـد. بـه نظـر مـن نظریـه «سـازگاری اتلافـی» نیـز از حـل همـه‌ی تناقضـات و پیچیدگـی پرسـش «حیـات چیسـت؟» عاجـز اسـت. «تغییـر برگشـت‌ناپذیر بـا اتـلاف انـرژی» می‌توانـد در یـک سیسـتم مصنوعـی یـا یـک لولـه آزمایـش بـرای مولکول‌هـای شـیمیایی هـم اتفاق بیفتد و قطعاً کسی آن لوله آزمایش را به عنوان یک ارگانیسم تلقی نمی‌کند.

مـن بـا ایـن تعبیـر موافقـم کـه فیزیـک یـک قلمـرو نیسـت، بلکـه یـک زبـان ویـژه بـرای تعریـف قلمروهـای مختلـف اسـت و درصـدد جایگزینـی ایـن زبـان بـا زبان‌هـای رایـج در قلمروهـای دیگـر. زبانـی کـه بـه دنبال‌هـای پاسـخ‌های موجـز و منطقـی و بهینـه بـرای توصیـف پدیده‌هاسـت و البتـه بـا آن نمی‌تـوان قلمرویـی کـه در آن اتفاقـات و انتخاب‌هـای پیش‌بینی‌ناپذیـر و غیـر بهینـه رخ می‌دهـد را توصیـف کـرد.

بـه عنـوان زیسـت‌شناسـی کـه آگاهـی اندکـی دربـاره زبـان رایـج بیـن فیزیک‌دانـان دارم، فکـر می‌کنـم شـاید ترکیبـی از فیزیـک آمـاری و مدل‌هـای مارکـوف غیرهمگـن، بهتریـن و مناسـب‌ترین ابـزار فیزیکـی در توصیـف پدیده‌هـای جهـان زنـده باشـند. نمـی توانـم از تذکـر ایـن نکتـه خـودداری کنـم کـه بـر خـلاف ادعـای نـام مسـتعار جرمـی انگلنـد، چارلـز داروین جدیـدی ظهـور نخواهـد کـرد، همچنانکـه نیوتـون جدیـدی ظهـور نکـرد.

آیا ماده، آگاه است؟

پیوند به مقاله اصلی



هدا حسل مورچ Hedda Hassel Mørch

فیلسوف و محقق پسادکتری در مرکز ذهن-مغز و آگاهی دانشگاه نیویورک و دانشگاه اسلو.

به نظر می‌رسد ماهیت آگاهی، یک معمای علمی منحصربفرد باشد. نه تنها عصب‌شناسان، توضیحی بنیادی برای چگونگی حاصل شدن آن از حالت‌های فیزیکی مغز ندارند، بلکه حتی مطمئن نیستیم بتوانیم چنین توضیحی را در آینده بدست آوریم. منجمان در مورد ماهیت ماده تاریک سردرگم‌اند، زمین‌شناسان، ریشه‌های حیات را، جستجو می‌کنند و زیست‌شناسان به دنبال درک سرطان هستند، البته که تمام این‌ها، مسائل دشواری هستند، با این حال، حداقل ایده‌هایی در مورد بررسی و درک اولیه و حتی راه‌حل‌های احتمالی آنها داریم؛ اما تجربه‌ی اول شخص، فراسوی روش‌های سنتی علمی قرار می‌گیرد و ما نیز با پیروی از فیلسوف بزرگ، دیوید چالمرز، آن را «مسئله دشوار آگاهی[1]» می‌نامیم.

اما آگاهی، تنها مسئله‌ی دشوار علم نیست؛ اگر به دو فیلسوف بزرگ علم، یعنی لایب‌نیتس و کانت بازگردیم، آنها نیز با مسئله‌ی دشوارِ کمتر شناخته‌شده‌ای، به نام «مسئله دشوار ماده» روبرو بوده‌اند: ماده‌ی فیزیکی، خودش چیست؟ پشت آن ساختار ریاضی که با فیزیک، توصیف می‌شود، چه رازی نهفته است؟ به نظر می‌رسد این مسئله، فراسوی روش‌های سنتی علمی قرار می‌گیرد، زیرا چیزی که ما می‌توانیم مشاهده کنیم، این است که ماده چه کار می‌کند، نه اینکه خودش چیست. در واقع ما می‌توانیم نرم افزار کائنات را ببینیم، نه سخت‌افزار آن را. در نگاه اول، این دو مسئله‌ی دشوار، جدا به نظر می‌رسند، اما نگاهی دقیق‌تر، نشان می‌دهد که آنها به طور عمیقی به هم مرتبط‌اند.

آگاهی یک پدیده‌ی چندبُعدی است، اما تجربه‌ی ذهنی، مبهم‌ترین و اسرارآمیزترین بُعد آن است. به نظر می‌رسد مغز ما اطلاعات را فقط جمع‌آوری و پردازش نکرده و فقط تحت تاثیر فرآیندهای بیوشیمیایی نیست، بلکه احساسات و تجارب واضحی مانند دیدن رنگ قرمز، گرسنگی یا مات و مبهوت بودن را دارد. چیزهایی مانند «شما بودن» وجود دارد که هیچ‌کس دیگری مثل خود «شما» نمی‌تواند آن را بشناسد.

خودآگاهی ما، مجموعه‌ی پیچیده‌ای از شور و احساسات، امیال و افکار ماست، اما تجارب آگاهانه می‌توانند بسیار ساده‌تر باشند. حیوانی که درد فوری یا میل غریزی را حتی بدون بازتاب دادن آن، حس می‌کند، می‌تواند آگاه باشد. از طرفی، خودآگاهی ما، معمولا آگاهی در مورد چیزهاست. کسی که کابوس می‌بیند یا هذیان می‌گوید، به دلیل داشتن برخی تجارب ذهنی، هنوز آگاه محسوب می‌شود، حتی با وجود آنکه، نسبت به هیچ چیز خاصی، آگاهی ندارد.

آگاهی از کجا می‌آید؟ علم مدرن به ما نشان داده آگاهی، ریشه در فیزیک و شیمی مغز داشته و ربطی به چیزهای غیرمادی ندارد. برای داشتن یک سیستم آگاه، همه‌ی چیزی که نیاز داریم، ماده فیزیکی است. اگر این اجزای فیزیکی را به درستی، کنار هم قرار دهید (درست مانند مغز)، آگاهی بروز خواهد کرد. اما چرا و چگونه آگاهی فقط از قرار هم گرفتن ماده‌ی بدون آگاهی و به شیوه‌ی خاصی حاصل می‌شود؟

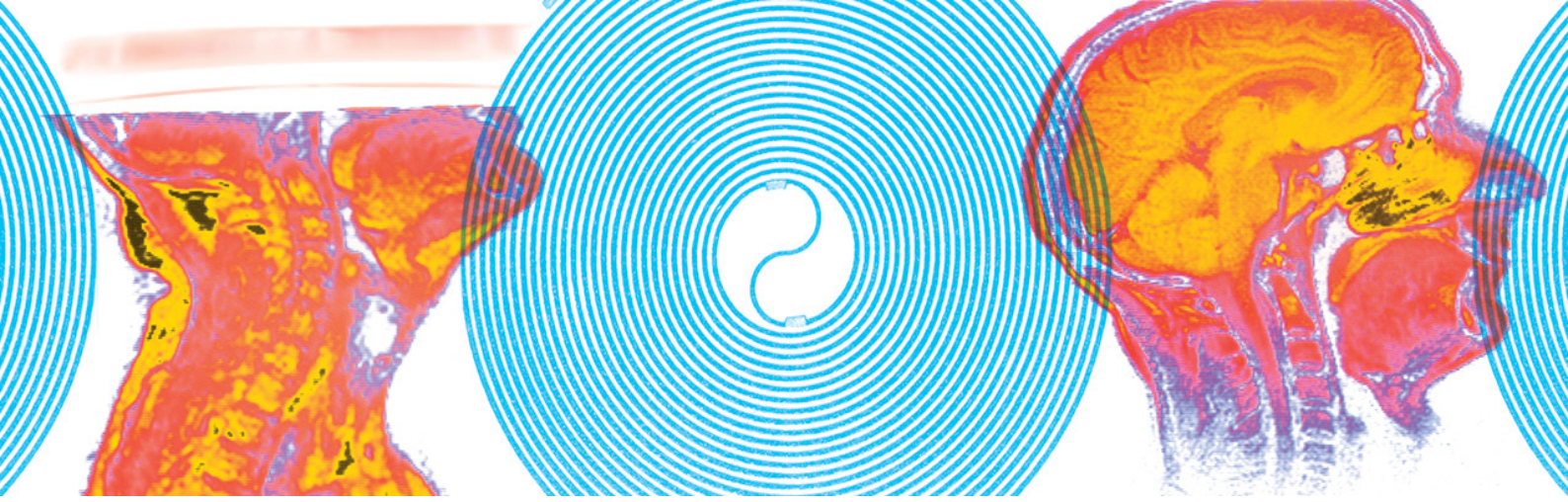
این مسئله، بسیار دشوار است، زیرا جواب آن را نمی‌توان فقط با آزمایش و مشاهده تشخیص داد. علوم اعصاب به لطف آزمایش‌های پیچیده و تکنولوژی‌های تصویربرداری پیشرفته‌ی عصبی، هر روز نقشه‌های بهتر و دقیق‌تری از اینکه تجارب مختلف آگاهی به چه حالت‌های فیزیکی مغزی بستگی دارد، ارائه می‌دهند. شاید سرانجام، علوم اعصاب بتوانند به ما بگویند که حالت‌های مغزی آگاه معمولا چه هستند: مثلا دارای سطوح بالایی از اطلاعات یکپارچه هستند (نظریه اطلاعات یکپارچه‌ی[2] جیولی تونونی)، یا یک پیام را در مغز پخش می‌کنند (نظریه‌ی فضای کاری جهانی[3] برنارد بار)، یا نوسان‌های ۴۰ هرتزی تولید می‌کنند (پیشنهاد اولیه‌ی فرانسیس کریک و کریستوف کخ). متاسفانه باز هم در تمام این نظریه‌ها، مسئله‌ی دشوار باقی می‌ماند: چرا و چگونه سیستمی که اطلاعات را یکپارچه می‌کند، یک پیام را پخش نموده یا با فرکانس ۴۰ هرتز ارتعاش می‌کند، درد یا لذت را احساس می‌کند؟ ظهور آگاهی صرفا از دل پیچیدگی فیزیکی، آنقدر اسرارآمیز است که شکل دقیق پیچیدگی را بی‌اهمیت می‌کند.

به نظر می‌رسد هیچ چیز به کشف جزییات بیوشیمیایی و در نهایت فیزیکی که زیربنای این پیچیدگی است، کمک نمی‌کند. مهم نیست مکانیسم‌های زیربنایی را با

۱- Hard problem of consciousness

۲- Integrated Information Theory

۳- Global Workspace Theory



چه دقتی می‌توانیم مشخص کنیم (مثلا درک و تشخیص گوجه‌فرنگی)، زیرا باز هم سوال اصلی باقی می‌ماند: چرا این فرآیند با تجربه‌ی ذهنی قرمز یا هر تجربه‌ی دیگری، همراه شده؟ چرا ما نمی‌توانیم فقط فرآیند فیزیکی را بدون آگاهی داشته باشیم؟ سایر پدیده‌های طبیعی، از ماده تاریک گرفته تا حیات، معماهایی هستند که به نظر نمی‌رسد در آینده‌ی نزدیک، رام‌شدنی باشند. درک بهتر این مسائل، منوط به جمع‌آوری جزییات فیزیکی بیشتر است: ساختن تلسکوپ‌ها و وسایل اندازه‌گیری دقیق‌تر، طراحی آزمایش‌های بهتر یا تشخیص قوانین و الگوهای جدید در داده‌های حاضر. در واقع، اگر از تمام جزییات و الگوهای عالم، آگاه بودیم، انتظار نداشتیم این معماها بروز کنند.

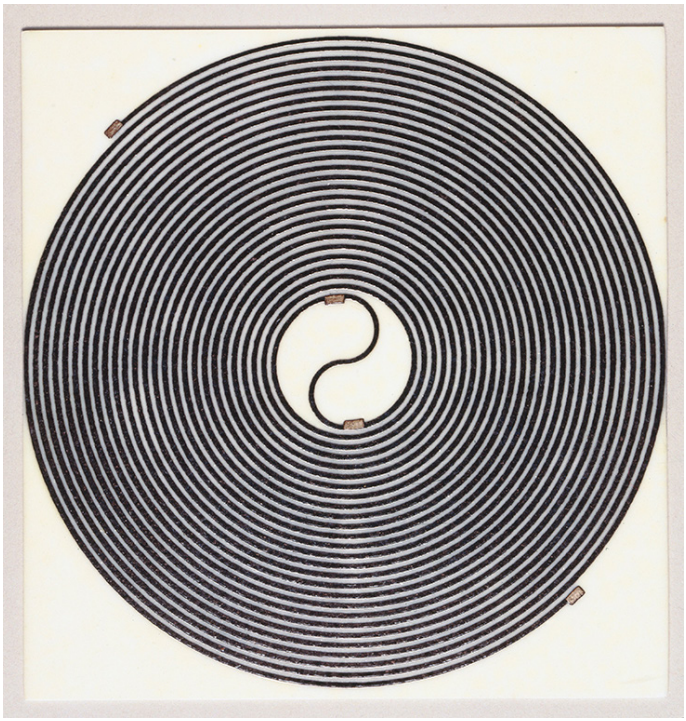
این مسائل به همان شیوه‌ای که مشکل وراثت با کشف جزییات فیزیکی DNA حل شد، حل خواهند شد. اما به نظر می‌رسد مسئله‌ی دشوار آگاهی، حتی با در اختیار داشتن دانش تمام جزییات فیزیکی قابل تصور، همچنان وجود داشته باشد. به همین دلیل، به نظر می‌رسد ماهیت عمیق آگاهی، فراسوی دستاوردهای رایج علمی قرار می‌گیرد. با این حال، فیزیک باید بتواند همه چیز را درباره‌ی ماهیت ماده‌ی فیزیکی به ما بگوید. فیزیک به ما می‌گوید ماده از ذرات و میدان ساخته شده که ویژگی‌هایی مانند جرم، بار و اسپین دارند. البته نباید فراموش کنیم فیزیک هنوز نتوانسته تمام ویژگی‌های ماده را کشف کند، هرچند، روز به روز به آنها، نزدیک‌تر می‌شود. با این همه، باید چیزی بیشتر از ماده‌ای که فیزیک توصیف می‌کند، وجود داشته باشد. فیزیک، به طور کلی می‌گوید ذرات بنیادی چه کاری انجام می‌دهند یا چگونه به سایر چیزها مرتبطاند، اما درباره‌ی اینکه آنها مستقل از سایر چیزها، خودشان چیستند، هیچ نمی‌گوید. مثلا بار الکتریکی، خصوصیتی است که بنابر آن، ذرات دارای بار همنام، یکدیگر را دفع کرده و ذرات با بار ناهمنام، یکدیگر را جذب می‌کنند. به عبارت دیگر، بار، راهی برای ارتباط دادن ذرات به یکدیگر است. به طور مشابه، جرم نیز خصوصیتی است که به نیروهای اعمال شده به ماده، پاسخ می‌دهد و باعث می‌شود ذرات دارای جرم، از طریق گرانش، یکدیگر را جذب کنند که می‌تواند به صورت انحنای فضا-زمان یا برهمکنش با میدان هیگز توصیف شود. خصوصیات دیگری نیز وجود دارند که ذرات را به سایر ذرات یا فضا-زمان ربط می‌دهند.

به نظر می‌رسد می‌توان تمام ویژگی‌های بنیادی فیزیک را به طور ریاضی، توصیف کرد. گالیله، پدر علم نوین، اعتراف کرد که کتاب طبیعت، به زبان ریاضی نوشته شده است؛ اما زبان ریاضیات، محدودیت‌های مشخصی دارد. ریاضیات فقط می‌تواند ساختارهای انتزاعی و روابط را توصیف کند. مثلا همه‌ی ما می‌دانیم که اعداد چگونه به اعداد دیگر و سایر اشیای ریاضی مربوط می‌شوند، مانند قواعدی که آنها موقع اضافه شدن، ضرب شدن و ... پیروی می‌کنند. بنابراین یک فیزیک صرفا ریاضی‌وار، فقط در مورد روابط بین موجودات فیزیکی یا قواعدی که بر رفتار آنها حکمفرماست، به ما اطلاعات می‌دهد.

احتمالا شما هم تا به حال این سوال را از خودتان پرسیده‌اید که ذرات فیزیکی، مستقل از اینکه چه کاری انجام می‌دهند یا چگونه به سایر چیزها مرتبط می‌شوند، خودشان چیستند؟ برخی افراد استدلال کرده‌اند چیزی بیشتر از روابط بین ذرات وجود ندارد، اما شهود ما چنین استدلالی را قبول نمی‌کند. برای وجود داشتن یک رابطه، باید دو جز مستقل وجود داشته باشند که با یکدیگر رابطه دارند. در غیر اینصورت، رابطه، خالی است؛ یعنی نمایشی بدون بازیگر یا قلعه‌ای ساخته‌شده از هوا! به عبارت دیگر، ساختار فیزیکی باید با جوهر یا چیزهایی که خودشان صرفا ساختاری نیستند، توضیح داده شود. درغیر اینصورت هیچ تفاوتی بین ساختار فیزیکی و صرفا ریاضی؛ یا یک کائنات واقعی و یک حالت صرفا انتزاعی وجود نخواهد داشت. حالا سوال این است: جوهری که اجازه‌ی درک و کاربرد ساختار فیزیکی را می‌دهد، چیست؟ و ویژگی‌های ذاتی و غیرساختاری ویژه‌ی آن چیست؟ این مسئله، بسیار نزدیک به مسئله کلاسیک کانت درباره‌ی

دانـش ذات و جوهـر اشیاسـت کـه فیلسـوف مشـهور، گالـن استراوسـون، آن را «مسـئله دشـوار مـاده[۴]» نامیـد.

داسـتان عجیبـی اسـت، زیـرا مـا معمـولا فیزیـک را توصیف‌کننـده‌ی سـخت‌افزار جهـان، یـا همـان ذات اصلـی تصـور می‌کنیـم؛ امـا در حقیقـت، مـاده فیزیکـی (یـا حداقـل، چیـزی کـه فیزیـک دربـاره‌ی آن بـه مـا می‌گویـد)، بیشـتر نرم‌افـزاری اسـت: یـک سـاختار ریاضـی و منطقـی. بنابـر مسـئله‌ی دشـوار مـاده، ایـن نرم‌افـزار بـه سـخت‌افزاری بـرای اجـرا شـدن نیـاز دارد. فیزیکدانـان، الگوریتم‌هـا یـا سـورس کدهـای جهـان را واقعـا عالـی، مهندسـی معکـوس کرده‌انـد، امـا از پیاده‌سـازی واقعـی آنهـا بازمانده‌انـد.



مسـئله دشـوار مـاده، بـا سـایر مسـائل تفسـیری در فیزیـک، متفـاوت اسـت. فیزیـک کنونـی، معماهـای زیـادی دارد، مثـلا: مـاده چگونـه می‌توانـد بـه طـور همزمـان، ذره و مـوج باشـد؟ تقلیـل یـا فروریـزش تابـع مـوج چیسـت؟ میدان‌هـای پیوسـتار، بنیادی‌تـر هسـتند یـا موجـودات گسسـته؟ امـا بـاز هـم، همـه‌ی ایـن سـوالات، بـه چگونگـی درک معمـول سـاختار واقعیـت می‌پردازنـد. مسـئله دشـوار مـاده، حتـی وقتـی بـه تمـام ایـن سـوالات سـاختاری، پاسـخ دهیـم، بـاز هـم باقـی می‌مانـد. مهـم نیسـت در مـورد چـه سـاختاری، صحبـت می‌کنیـم؛ از پیچیده‌تریـن و عجیب‌تریـن تـا بدیهی‌تریـن مسـائل، همیشـه یـک سـوال وجـود خواهـد داشـت: ایـن سـاختار چگونـه می‌توانـد بـه صـورت غیرسـاختاری اجـرا شـود؟

حتـی بـرای فیزیـک نیوتونـی هـم کـه سـاختار واقعیـت را بـه بهتریـن نحـوِ سـازگار بـا شـهود مـا توصیـف می‌کنـد، بـاز هـم ایـن مسـئله وجـود دارد. فیزیـک نیوتونـی می‌گویـد مـاده از ذرات جامـدی سـاخته شـده کـه یـا بـا ضربـه‌زدن بـه یکدیگـر و یـا بـا جـذب یکدیگـر بـه طـور گرانشـی، برهمکنـش می‌کننـد. بـاز هـم سـوال اینجاسـت: ماهیـت درونـی مـاده‌ای کـه بـه چنیـن شـیوه‌ی سـاده و بدیهـی رفتـار می‌کنـد چیسـت؟ سـخت‌افزاری کـه نرم‌افـزار معـادلات نیوتونـی را اجـرا می‌کنـد، چیسـت؟ شـاید پاسـخ بـه نظرتـان، سـاده باشـد: ذرات جامـد، سـخت‌افزار هسـتند، امـا جامـد بـودن، فقـط یـک خصوصیـت اسـت کـه مقاومـت در برابـر فشـار یـا عـدم همپوشـانی فضایـی بـا سـایر ذرات را نشـان می‌دهـد، یعنـی بـاز هـم صرفـا یـک رابطـه بـا سـایر ذرات و فضـا! نتیجـه آنکـه، مسـئله دشـوار مـاده بـرای هـر توصیـف سـاختاری واقعیـت، وجـود دارد، بی‌آنکـه مهـم باشـد ایـن توصیـف، چقـدر در سـطح سـاختاری، واضـح و بدیهـی اسـت. مسـئله‌ی دشـوار مـاده هـم ماننـد مسـئله‌ی دشـوار آگاهـی، نمی‌توانـد بـا آزمایـش، مشـاهده و جمـع‌آوری جزییـات فیزیکـی بیشـتر، حـل شـود. حداقـل تـا وقتـی فیزیـک، قلمرویـی بـرای توضیـح واقعیـت بـه صـورت جمـلات ریاضـی اسـت، چنیـن اقداماتـی، فقـط بـه واضح‌تـر شـدن سـاختار، کمـک خواهـد کـرد.

آیـا ممکـن اسـت مسـئله‌ی دشـوار آگاهـی و مسـئله‌ی دشـوار مـاده بـه یکدیگـر مرتبـط باشـند؟ در حـال حاضـر، نظریاتـی ماننـد نظریـات کوانتومـی آگاهـی وجـود دارد کـه مسـائل فیزیکـی را بـا مسـئله‌ی آگاهـی ارتبـاط می‌دهنـد. ایـن نظریـات، گاهـی اوقـات، ناسـازگارند، زیـرا بـه اشـتباه اسـتنتاج می‌کننـد چـون فیزیـک کوانتومـی و آگاهـی، هـر دو مبهـم و اسـرارآمیزند، ادغـام آنهـا، ابهـام را کمتـر می‌کنـد. بـه همیـن جهـت، ایـده‌ی ارتبـاط مسـئله‌ی دشـوار آگاهـی و مسـئله‌ی دشـوار مـاده را می‌تـوان مـورد انتقـاد قـرار داد. بـا نگاهـی عمیق‌تـر درمی‌یابیـم کـه ایـن دو مسـئله، مکمـل هسـتند. لایـب نیتـس، یکـی از نخسـتین فیلسـوفانی بـود کـه اواخـر قـرن هفدهـم، بـه ایـن ارتبـاط توجـه کـرد، امـا نسـخه‌ی دقیـق و مدرن‌شـده‌ی ایـن ایـده، متعلـق بـه برتراند راسـل اسـت. بـه تازگـی، فیلسـوفان معاصـر ماننـد چالمـرز و استراوسـون، ایـن ایـده را بازکشـف کرده‌انـد.

مسـئله‌ی دشـوار مـاده، از ویژگی‌هـای غیرسـاختاری ناشـی می‌شـود و آگاهـی نیـز، پدیـده‌ای اسـت کـه شـاید چنیـن خصوصیتـی داشـته باشـد. آگاهـی، سرشـار از ویژگی‌هـای کیفـی اسـت، از قرمـزی قرمـز و ناراحتـی ناشـی از گرسـنگی تـا پدیده‌شناسـی اندیشـه. شـاید ایـن تجـارب کیفـی (بـه اصطـلاح کوالیـا[۵])، سـاختار داخلـی داشـته باشـند، امـا چیـزی بیشـتر از سـاختار هـم وجـود دارد. جالـب اینجاسـت کـه مـا نـه تنهـا مـی دانیـم ایـن تجـارب آگاهانـه، چگونـه عمـل کـرده

۴- Hard problem of matter

۵- Qualia

و به ویژگی‌های دیگر مربوطند، بلکه درباره‌ی اینکه آنها خودشان چیستند یا مانند چه چیزهایی هستند هم، اطلاعاتی داریم.

مثلا فردی را درنظر بگیرید که هیچگاه شی قرمزی را ندیده و هیچگاه هم به او گفته نشده، رنگ قرمزی وجود دارد. این فرد، هیچ چیز درباره‌ی اینکه چگونه قرمزی به حالت‌های مغزی، مربوط می‌شود، نمی‌داند، مثلا درباره‌ی اشیای فیزیکی قرمز مانند گوجه یا طول موج نور قرمز یا اینکه رنگ قرمز چگونه با سایر رنگ‌ها ارتباط دارد (مثلا به رنگ نارنجی شبیه است، ولی با سبز، فرق دارد)، چیزی نمی‌داند. روزی این فرد به طور خودبخود، در رویای خود یک نشان بزرگ قرمز را می‌بیند. به نظر می‌رسد فرد، یاد خواهد گرفت که قرمزی چیست، حتی با وجود اینکه او هیچ چیز درباره‌ی ارتباطش به چیزهای دیگر نمی‌داند. بنابراین دانش او درباره‌ی اینکه قرمزی خودش چیست یا مانند چه چیزی است، دانش غیروابسته‌ای است.

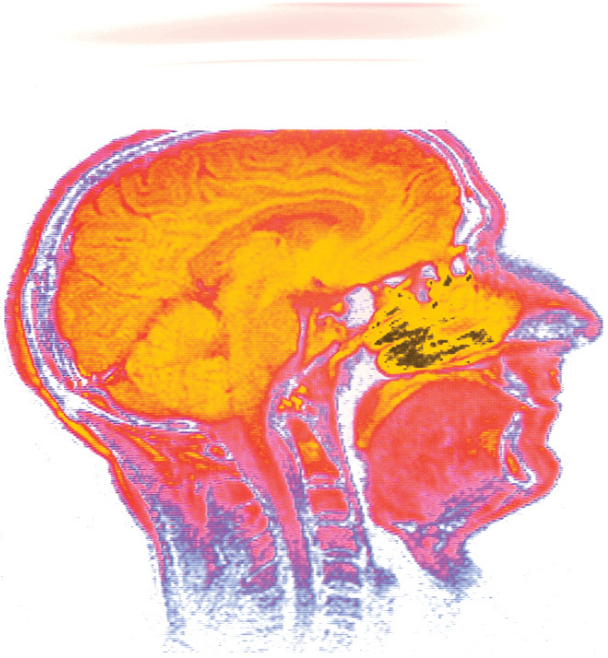
بنابراین آگاهی (برخی از شکل‌های اولیه‌اش)، سخت‌افزاری است که نرم‌افزار توصیف‌شده با فیزیک، روی آن سوار می‌شود. جهان فیزیکی را می‌توان به عنوان ساختار تجارب آگاهانه درنظر گرفت. تجارب غنی ما، آن روابط فیزیکی

که مغزمان را می‌سازند، اجرا می‌کنند. در واقع، شکل ابتدایی این تجارب، روابطی که ذرات بنیادی را می‌سازند، اجرا می‌کنند. مثلا یک الکترون را در نظر بگیرید؛ کاری که یک الکترون انجام می‌دهد، جذب و دفع؛ و ارتباط با سایر اشیا، طبق معادلات بنیادی فیزیک است. می‌توان تصور کرد چیزی که این رفتار را انجام می‌دهد، جریانی از تجارب الکترون است، یعنی الکترون‌ها و سایر ذرات را می‌توان به صورت موجوداتی ذهنی با قدرت فیزیکی تصور کرد.

این ایده، عجیب و حتی اسرارآمیز به نظر می‌رسد، اما یک خط فکری دقیق درباره‌ی محدودیت‌های علم بدست می‌دهد. لایب‌نیتس و راسل، به عنوان عقل‌گرایان[۶] علمی شناخته می‌شدند (کمک‌های جاودانه‌ی آنها به فیزیک، منطق و ریاضیات، شاهدی بر این مدعاست)، اما به «واقعیت» و «منحصربفرد بودن آگاهی»، با عمق و اهمیت یکسانی نگاه می‌کردند. آنها نتیجه گرفتند برای اینکه بتوان حق هر دو پدیده را به درستی ادا کرد، تغییر بسیار بزرگی در تفکر، لازم است؛ و واقعا هم همینطور است. فیلسوفان و عصب‌شناسان اغلب فرض می‌کنند آگاهی مانند نرم‌افزار و مغز، مانند سخت‌افزار است، در حالیکه این نگرش، قضیه را کاملا برعکس می‌کند. وقتی به چیزی که فیزیک درباره‌ی مغز به ما می‌گوید، نگاه می‌کنیم، درمی‌یابیم که مغز واقعا نرم‌افزار است (صرفا مجموعه‌ای از روابط)؛ وآگاهی، به خاطر ویژگی‌های غیرساختاری و کیفی متمایزش، مانند یک سخت‌افزار است. به همین دلیل، تجارب آگاهانه، فقط نوعی از چیزهایی هستند که ساختار فیزیکی می‌توانست ساختار آنها باشد.

با ارائه‌ی این راه‌حل برای مسئله‌ی دشوار ماده، مسئله‌ی دشوار آگاهی، همچنان به قوت خود باقی می‌ماند. البته دیگر سوالی درباره‌ی اینکه آگاهی چگونه از ماده‌ی غیرآگاه حاصل می‌شود، وجود ندارد، زیرا ماده به طور ذاتی، آگاه است. دیگر سوالی درباره‌ی چگونگی «وابستگی آگاهی به ماده»، وجود ندارد، زیرا در واقع این ماده است که به آگاهی وابسته است. درست همانطور که رابطه به اجزایش بستگی دارد، ساختار فیزیکی یا نرم‌افزار به سخت‌افزار یا آگاهی وابسته است.

شاید اعتراض کنید که چنین نگرشی، به طور واضح، انسان‌انگاری[۷] است؛ یعنی تصویر نادرستی از کیفیات انسانی در طبیعت. چرا ما فکر می‌کنیم ساختار فیزیکی به یک درک‌کننده‌ی ذاتی، نیاز دارد؟ آیا به این خاطر نیست که خود مغز ما ویژگی‌های آگاهانه‌ی ذاتی دارد و ما دوست داریم طبیعت را نیز همین‌گونه تصور کنیم؟ این اعتراضات، وارد نیست. این ایده که ویژگی‌های درونی برای تمیز دادن «واقعیت» از ساختار انتزاعی محض، لازم هستند، کاملا مستقل از آگاهی است. از طرفی، بار انسان‌انگاری این ایده با بار استثنایی‌انگاری انسان[۸] خنثی می‌شود: اگر مغز ما کاملا مادی است، چرا وقتی حرف از ویژگی‌های ذاتی می‌شود، باید با بقیه‌ی مواد کائنات، متفاوت باشد؟



این نگرش که آگاهی، جنبه‌ی ذاتی واقعیت فیزیکی را تشکیل می‌دهد، با نام‌های متفاوتی خوانده می‌شود، اما یکی از بهترین آنها، «یگانه‌انگاری دوجنبه‌ای[۹]» است. یگانه‌انگاری در نقطه‌ی مقابل دوگانه‌گرایی[۱۰] قرار می‌گیرد. در دوگانه‌گرایی فرض می‌شود آگاهی و ماده، جوهرهای بنیادی متفاوتی دارند. البته دوگانه‌گرایی، از نظر علمی یک گزاره‌ی غیرمحتمل درنظر گرفته می‌شود، زیرا علم، هیچ شاهدی مبنی بر اینکه مغز، تحت تاثیر نیروهای غیرفیزیکی است، در اختیار ندارد.

یگانه‌انگاری می‌گوید تمام واقعیت از جوهر یکسانی ساخته شده است. یگانه‌انگاری چند شاخه دارد: رایج‌ترین دید یگانه‌انگاری، ماده‌گرایی[۱۱] است؛ این نگرش می‌گوید هر چیزی که از ماده‌ی فیزیکی، ساخته شده، تنها یک جنبه دارد که آن هم توسط فیزیک شناخته می‌شود. امروزه

۶- Rationalists
۷- Anthropomorphism
۸- Human exceptionalism
۹-Dual-aspect monism
۱۰- Dualism
۱۱- Materialism

این نگرش، نگرش غالب در میان فیلسوفان و دانشمندان است. بنابر نگرش ماده‌گرایی، اگر بتوانیم فیزیک واقعیت را به طور خالص و کامل، توصیف کنیم، دیگر هیچ ابهام و سوالی باقی نمی‌ماند. اما مسئله‌ی دشوار آگاهی به ما آموخته، با توصیف فیزیکی خالص یک سیستم آگاه، مانند مغز، باز هم یک مسئله باقی می‌ماند. چنین توصیفی هیچگاه نمی‌تواند به طور کامل، نشان دهد این سیستم مانند چیست. بنابراین چنین نگرشی، جنبه‌های عینی آگاهی را توصیف می‌کند، نه جنبه‌های ذهنی آن را؛ یعنی عملکرد مغز را نشان می‌دهد و نه زندگی ذهنی درونی ما را.

یگانه‌انگاری دوجنبه‌ای راسل، تلاش می‌کند این نقص را جبران کند. این نگرش می‌پذیرد مغز، یک سیستم مادی است که مطابق قوانین فیزیک عمل می‌کند، اما جنبه‌ی ذاتی دیگری را نیز به ماده اضافه می‌کند که از دید شخص ثالث بیرونی فیزیک، پنهان است و بنابراین نمی‌تواند با یک توصیف کاملا فیزیکی توضیح داده شود. اگرچه این جنبه‌ی ذاتی، از نظریات فیزیکی ما طفره می‌رود، اما از مشاهدات درونی ما دور نمی‌ماند. آگاهی ما، جنبه‌ی ذاتی مغز را تشکیل داده و سرنخ ما برای جنبه‌ی ذاتی سایر چیزهای فیزیکی است. نکته‌ای که در پاسخ کوتاه آرتور شوپنهایمر به کانت، نمود می‌یابد: «ما می‌توانیم دریابیم که چیز، خودش چیست، زیرا ما خودمان، چیز هستیم».

یگانه‌انگاری دوجنبه‌ای به شکل‌های متعادل و افراطی وجود دارد. نسخه‌های متعادل آن، از جنبه‌ی ذاتی ماده برای توضیح ویژگی‌های پیش‌آگاه یا خنثی استفاده می‌کنند؛ ویژگی‌هایی که برای علم، ناشناخته هستند، اما با آگاهی نیز، فرق دارند. به نظر می‌رسد ماهیت این ویژگی‌های نه فیزیکی و نه ذهنی، کاملا اسرارآمیز باشد؛ بنابراین یگانه‌انگاری دوجنبه‌ای متعادل، مانند نظریه‌های فوق‌الذکر کوانتومی آگاهی می‌توانند متهم به این شود که فقط رازی را به راز دیگر، اضافه می‌کند، به امید آنکه، با ادغام آنها، ابهام‌ها کمتر شود.

افراطی‌ترین نسخه‌ی یگانه‌انگاری دوجنبه‌ای، از جنبه‌ی ذاتی واقعیت برای ساختن آگاهی استفاده می‌کند. این نگرش، قطعا با نگرش ایده‌آلیسم ذهنی[۱۲]، یکسان نیست، چرا که در ایده‌آلیسم ذهنی، جهان فیزیکی، صرفا ساختاری درون آگاهی انسان بوده و به یک معنی، جهان خارجی، یک توهم است. اما در یگانه‌انگاری دوجنبه‌ای افراطی، جهان خارجی به طور مستقل از هر نوع آگاهی (نه فقط آگاهی انسان)، وجود ندارد، زیرا تمام چیزهای فیزیکی، دارای نوعی آگاهی درونی‌اند، یعنی همان درک‌کننده‌ی ذاتی یا سخت‌افزار آنها.

یگانه‌انگاری دوجنبه‌ای به عنوان راه‌حلی برای مسئله‌ی دشوار آگاهی، با اعتراض‌هایی روبروست. رایج‌ترین اعتراض، این است که چنین نگرشی باعث روح‌انگاری می‌شود که در آن، همه چیز، دارای نوعی آگاهی درونی فرض می‌شوند. منتقدان نمی‌توانند باور کنند که ذرات بنیادی، آگاه باشند. به راه‌های جایگزین توجه کنید: دوگانه‌گرایی در زمینه‌های علمی، غیرقابل باور به نظر می‌رسد. ماده‌انگاری، از جنبه‌ی به طور علمی قابل دسترس و عینی واقعیت برای توصیف آن استفاده کرده و استدلال می‌کند که جنبه‌ی ذهنی آگاهی، یک خیال است. شاید اینطور باشد، اما نباید مطمئن‌تر باشیم که ما به معنای کاملا ذهنی، از ذرات، آگاه‌تریم؟

اعتراض مهم دوم، مسئله‌ی ترکیب نامیده می‌شود: چرا و چگونه آگاهی پیچیده‌ی مغز ما، از ترکیب ذراتی با آگاهی ساده نتیجه می‌شود؟ این سوال، به طور مشکوکی شبیه مسئله‌ی دشوار اصلی است. با این وجود، مدافعان روح‌انگاری[۱۳] استدلال می‌کنند که مسئله‌ی ترکیب، به دشواری مسئله‌ی اصلی نیست. در واقع، پاسخ به این سوال که چگونه ماده‌ی آگاه (مانند یک مغز آگاه) از شکل دیگری از ماده‌ی آگاه (مانند مجموعه‌ای از ذرات آگاه) بدست می‌آید، نسبت به این سوال که چگونه ماده‌ی آگاه از یک ماده‌ی غیرآگاه حاصل می‌شود، آسان‌تر است؛ اما بسیاری افراد، این استدلال را متقاعدکننده نمی‌دانند. فیلسوفان قرن‌هاست به مسئله‌ی دشوار اصلی به شکل‌های مختلفش، فکر کرده‌اند. در این میان، به مسئله‌ی ترکیب، کمتر توجه شده که شاید نوید یک راه‌حل کشف‌نشده را بدهد.

این امکان که آگاهی، جزیی واقعی از واقعیت؛ و سخت‌افزار بنیادی است که نرم‌افزار نظریات فیزیکی ما را اجرا می‌کند، بسیار افراطی است. چنین نگرشی، تصویر معمول ما از واقعیت را برعکس کرده و درک آن را بسیار دشوار می‌کند، اما شاید بتواند دو مورد از دشوارترین مسائل علم و فلسفه را به طور همزمان، حل کند.

۱۲- Subjective idealism

۱۳- Panpsychism

دکتر وحید:

برخی از تجارب ما آگاهانه و شاعر هستند مانند احساساتی که از دیدن یک گوجه‌فرنگی قرمز، شنیدن یک صدای گوش‌خراش یا ادراک بوی نان داغ برای ما حاصل می‌شوند. کیفیت نفسانی یا سوبژکتیو این احساسات، «شعور» یا «آگاهی» خوانده می‌شود. به تعبیر دیگر، یک حالت نفسانی، شاعر است، اگر واجد این نوع جنبه‌ی کیفی خاص باشد. در اینجا این پرسش مطرح می‌شود که اولاً: شعور و آگاهی چگونه از سیستم‌های فیزیکی ناشی می‌شود و ثانیاً: چرا یک تجربه حسی (مثلا دیدن یک گوجه‌فرنگی قرمز) با این کیف نفسانی خاص، همراه است و نه، به عنوان مثال، با کیف نفسانی‌ای که از دیدن یک گوجه‌فرنگی سبز نارس، حاصل می‌شود. در پاسخ به این پرسش‌ها باید میان دو مفهوم از شعور یا آگاهی فرق گذاشت: ۱- آگاهی پدیداری و ۲- آگاهی روانشناختی.

آگاهی پدیداری چیزی جز تحقق یک کیفیت پدیداری نیست، در حالیکه آگاهی روانشناختی به دنبال تمثل یا تحقق ویژگی‌های روانشناختی مانند گزارش کردن محتوای حالات ذهنی، خودآگاهی، علم به حالات ذهنی و توجه ظاهر می‌شود. از بین این دو مفهوم آگاهی، این آگاهی پدیداری است که اساسی و مرکزی به شمار می‌آید. در حالیکه تبیین آگاهی روانشناختی به کمک ارائه‌ی مدل‌هایی که در بر دارنده‌ی دینامیک علّی فرآیندهای شناختی هستند، ممکن می‌باشد، اما ما هنوز از تبیین آگاهی پدیداری، فاصله‌ای بسیار داریم؛ زیرا به ازای هر مدل روانشناختی که برای توضیح فعالیت‌های شناختی ممکن است ارائه شود، همچنان می‌توان سوال کرد که چرا تحقق آن مدل با آگاهی (پدیداری) همراه است. این دشواری همان چیزی است که این مقاله به آن تحت عنوان «مسئله دشوار آگاهی» اشاره دارد.

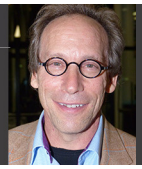
یک تمایل تاریخی در میان دانشمندان وجود دارد که فعالیت‌های مغز را بر اساس آخرین دستاوردهای علمی و تکنولوژیک توضیح دهند. در اواسط قرن هفدهم که ساعت‌های آبی و پمپ‌های هیدرولیکی، آخرین دستاوردهای علمی به شمار می‌آمدند، دکارت یک نظریه‌ی هیدرولیکی درباره‌ی فعالیت‌های مغز ارائه کرد. نیم قرن بعد لایب‌نیتس پیشنهاد کرد که مغز به عنوان یک کارخانه درنظر گرفته شود. سال‌ها بعد شرینگتون، سیستم عصبی را شبیه یک دستگاه تلگراف دانست. مدل کامپیوتری ذهن که این روزها طرفدار زیادی دارد را نیز باید مصداق دیگری از این تمایل تاریخی دانست. حقیقت این است که تا جایی که به مسئله ذهن و بدن یا تبیین آگاهی مربوط می‌شود، ما پیشرفت چندانی جهت حل آن نسبت به پیشینیان خود نداشته‌ایم، اگرچه موفق شده‌ایم خود مسئله را به مراتب بهتر از آنها درک کنیم.

مقالات مرتبط در دیپ لوک (روی نام مقالات، کلیک کنید)

* مجموعه مقالات ذهن کوانتومی چیست؟
* دانشمندان، ارتباط شگفت‌انگیزی میان آگاهی و انتروپی کشف کردند
* الگوی لاگرانژی و نگرش تازه‌ای به مفهوم زمان: حالا برای درک گذشته، به آینده نگاه کنید

دردسرهای نظریه‌ی همه‌چیز

پیوند به مقاله اصلی



لاورنس کراوس Lawrence Krauss

کیهان‌شناس کانادایی-آمریکایی در دانشگاه آریزونا، یکی از نخستین فیزیکدانان مطرح‌کننده‌ی مفهوم «انرژی تاریک»، نویسنده‌ی کتب پرفروشی چون «گیتی از هیچ».

تمام صحبت‌هایی که در زندگی روزمره رد و بدل می‌کنیم، در برگیرنده‌ی یک مقیاس خاص هستند. امتحان کنید: «سرم خیلی شلوغه» تنها زمانی معنی دارد که در یک بازه زمانی خاص فرض شده باشد، مثلا امروز یا این هفته، نه این قرن یا این نانوثانیه. «مالیات‌ها سنگین هستند» فقط برای درآمد مشخصی معنی دارد. قطعا می‌گویید در علم، اوضاع چنین نیست؛ قرن‌ها پس از ظهور روش علمی، نظریه‌هایی باید وجود داشته باشند که برای تمام مقیاس‌ها صادق باشند، حتی اگر هرگز نتوانیم از قبل، به صورت تجربی نسبت به چنین چیزی مطمئن باشیم، مثلا قانون گرانش نیوتن، جهانی است. این قانون هم به سیب‌ها و هم سیارات در حال سقوط، به صورت مشابهی اعمال می‌شود.

با ظهور نسبیت و به ویژه نسبیت عام، معلوم شد قانون گرانش نیوتون، صرفا تقریبی از یک نظریه‌ی اساسی‌تر بوده است. نظریه‌ی اساسی‌تر یعنی نسبیت عام، چنان از نظر ریاضی زیبا بود که منطقی به نظر می‌رسید فکر کنیم رفتار فضا و زمان را در حضور ماده و انرژی، به صورت کامل و بی‌نقصی توصیف می‌کند.

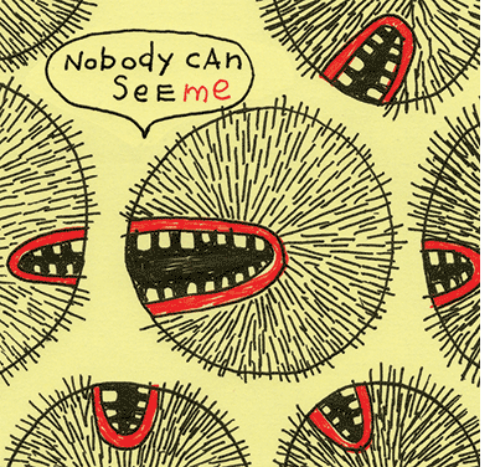
ظهور مکانیک کوانتومی همه چیز را تغییر داد. هنگامی که مکانیک کوانتومی با نسبیت ترکیب شد، به شکل غیر منتظره‌ای مشخص گردید که ماهیت دقیق قوانین فیزیکی حاکم بر ماده و انرژی، به مقیاسی که اندازه‌گیری در آن انجام می‌شود، بستگی دارد. شاید این نکته، به بزرگترین انقلاب علمی ناخوشایند قرن بیستم منجر شد: ما هیچ نظریه‌ای نمی‌شناسیم که هم با جهان تجربی مطابقت داشته باشد، هم مطلقا و همواره صادق باشد. (من انتظار ندارم در آینده‌ی نزدیک، شرایط عوض شود، با این حال نظریه‌پردازان ریسمان امیدوارند). با این وجود فیزیکدانان نظری، برای دستیابی به چنین نظریه‌ای، تلاش زیادی کرده‌اند. پس ماجرا از چه قرار است؟ آیا نظریه‌ای جهانی، یک هدف معقول است، یا حقیقت علمی همواره وابسته به مقیاس خواهد بود؟

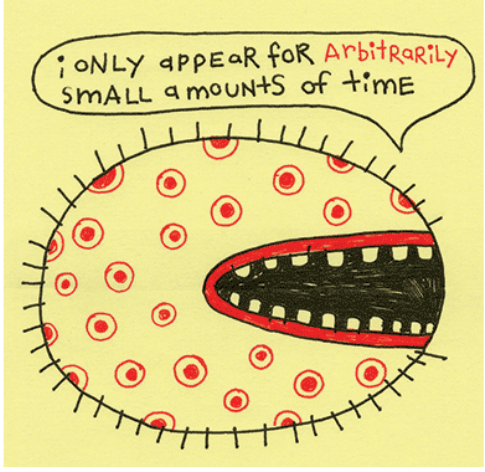
ترکیب مکانیک کوانتومی و نسبیت، فورا مشکل مقیاس‌بندی را به ذهن متبادر می‌کند. اصل عدم قطعیت مشهور هایزنبرگ که در قلب مکانیک کوانتومی جای دارد، بر مقیاس‌های بسیار کوچک اعمال می‌شود: غیرممکن است در مقیاس‌های بسیار کوچک و زمان‌های بسیار کوتاه بتوانید رفتار ذرات بنیادی را به طور کامل کنترل کنید. در تعیین کمیت‌هایی مکملی مانند مکان-اندازه‌حرکت، یک عدم قطعیت ذاتی وجود دارد که نمی‌توان آن را از بین برد. وقتی این حقیقت را با نسبیت عام ترکیب کنیم، نتیجه این می‌شود که در زمان‌های بسیار کوتاه حتی نمی‌توانید تعداد ذرات موجود در یک حجم کوچک را کنترل کنید. موجوداتی که «ذرات مجازی» نامیده می‌شوند، در چنان مقیاس‌های زمانی کوچکی در خلا، خلق و نابود می‌شوند که نمی‌توان حضورشان را مستقیما اندازه گرفت. در نتیجه، وقتی نیروی بین دو الکترون یا بار اندازه‌گیری‌شده واقعیِ الکترون (همان چیزی که تعیین می‌کند نیروی الکتریکی چقدر قوی است) را اندازه می‌گیریم، متوجه می‌شویم که مقدار آن به مقیاس اندازه‌گیری، بستگی دارد. هر چه به الکترون نزدیک‌تر شوید، عمیق‌تر به «ابرِ» ذرات مجازی که الکترون را احاطه کرده‌اند، نفوذ می‌کنید. از آن جایی که ذرات مجازی با بار مثبت به سمت الکترون جذب می‌شوند، هر چه عمیق‌تر میان ابر نفوذ کنید، مقدار کمتری از بار مثبت ابر و مقدار بیشتری از بار منفی الکترون را می‌بینید.

پس از آن، وقتی شروع به محاسبه‌ی نیروی بین دو ذره کنید، باید اثر تمام ذرات مجازی را که در بازه‌ی زمانی اندازه گیری می‌توانسته‌اند در فضای تهی پدید آیند، در نظر بگیرید که شامل ذراتی با مقادیر جرم و انرژی دلخواه است که در زمان‌های کوچک دلخواه خلق شده‌اند. وقتی چنین اثراتی را لحاظ کردید، نیروی محاسبه شده، بی‌نهایت است.

ریچارد فاینمن به خاطر ابداع روشی برای محاسبه‌ی یک نیروی باقیمانده‌ی محدود پس از استخراج بی‌نهایت‌های مبهم، موفق به کسب جایزه نوبل شد. در نتیجه، اکنون ما می‌توانیم با استفاده از اصول اساسی، کمیت‌هایی مانند اندازه حرکت مغناطیسی الکترون را تا ۱۰ رقمِ با معنی و سازگار با نتایج تجربی، محاسبه کنیم، دقتی که در هر حیطه‌ای از علم، دست نیافتنی است.

فاینمن از یافته‌ی خود، ناراضی بود، نکته‌ای که در سخنرانی نوبل ۱۹۶۵ او، کاملا واضح است: «فکر می‌کنم نظریه‌ی بازبهنجارش، راهی برای جارو کردن دشواری‌های واگراییِ الکترودینامیک در زیر فرش است». در واقع، او باور داشت هیچ نظریه‌ی کامل و معقولی، نباید پاسخِ بی‌نهایت تولید





کنـد و ترفندهـای ریاضـی کـه او و دیگـران بـرای حـل مشـکل توسـعه داده بودنـد، نوعـی وصلـه بـود.

اکنـون نگـرش مـا متفـاوت شـده اسـت. از یـک نظـر، نگرانی‌هـای فاینمـن، نابه‌جـا بـود. مشـکل از نظریـه نبـود، بلکـه از تـلاش بـرای بسـط نظریـه بـه فراتـر از مقیاس‌هایـی بـود کـه نظریـه بـرای آنهـا، سـاخته شـده بـود. بی‌نهایت‌هـای تولیـد شـده توسـط ذرات مجـازیِ بـا جـرم و انـرژی دلخـواه، از نظـر فیزیکـی بی‌معنـی هسـتند: آن‌هـا بـر ایـن پیش‌فـرض اشـتباه اسـتوار شـده‌اند کـه «ایـن نظریـه، کامـل اسـت». بـه عبـارت دیگـر، ایـن فـرض کـه «ایـن نظریـه، فیزیـک را در همـه‌ی مقیاس‌هـا (حتـی در مقیاس‌هـای بـه دلخـواه کوچـک فاصلـه و زمـان) توصیـف می‌کنـد» اشـتباه اسـت. اگـر انتظـار داشـته باشـیم نظریاتمـان کامـل باشـند، یعنـی پیـش از ایـن کـه یـک نظریـه‌ی «هـر چیـز[1]» داشـته باشـیم، ابتـدا بایـد یـک نظریـه‌ی «همـه چیـز[2]» داشـته باشـیم: نظریـه‌ای کـه اثـر تمـام ذرات بنیـادی کـه تـا کنـون کشـف کرده‌ایـم، بـه عـلاوه‌ی تمـام ذراتـی کـه هنـوز کشـف نکرده‌ایـم را شـامل شـود! در بهتریـن حالـت، چنیـن چیـزی، غیـر عملـی اسـت، و در بدتریـن حالـت، ناممکـن اسـت.

از ایـن رو، نظریـات معقـول بایـد در مقیاس‌هایـی کـه مـا می‌توانیـم در آزمایشـگاه انـدازه بگیریـم، نسـبت بـه اثـر فیزیک‌هـای احتمالـی جدیـد در مقیاس‌هـای طولـی کوچک‌تـر (و بـه احتمـال کـم، مقیاس‌هـای خیلـی بزرگ‌تـر)، غیرحسـاس باشـند. ایـن فقـط، یـک راه حـل عملـی بـرای یـک مسـئله‌ی موقتـی کـه انتظـار داریـم بـا حرکـت بـه سـوی توصیـف بهتـر طبیعـت از بیـن بـرود، نیسـت. از آن‌جایـی کـه دانـش تجربـی مـا احتمـالا همیشـه اندکـی ناکامـل خواهـد بـود، نظریاتـی کـه بـرای توضیـح بخشـی از جهـان کـه می‌توانیـم آن را بکاویـم، اسـتفاده می‌کنیـم، بـا الـزام عملـی، نسـبت بـه فیزیک‌هـای احتمالـی جدیـد در مقیاس‌هـای فراتـر از دسـترس کنونـی مـا، غیرحسـاس خواهنـد بـود. ایـن نکتـه، ویژگـی معرفت‌شناسـی جدیـدی اسـت کـه پیـش از بررسـی مقیاس‌هـای حـدی (جایـی کـه مکانیـک کوانتومـی و نسـبیت هـردو مهـم می‌شـوند)، بـه طـور کامـل درک نمی‌کردیـم.

ایـن نکتـه، حتـی در مـورد بهتریـن نظریـه‌ی فیزیکـی طبیعـت، یعنـی الکترودینامیـک کوانتومـی نیـز صـدق می‌کنـد، نظریـه‌ای کـه برهمکنـش کوانتومـی الکترون‌هـا و نـور را توصیـف می‌کنـد. دلیـل ایـن کـه می‌توانیـم بـه پیـروی از فاینمـن، بی‌نهایت‌هایـی را کـه نظریـه تولیـد می‌کنـد، بـا خیـال راحـت کنـار بگذاریـم، ایـن اسـت کـه آنهـا مصنوعـی هسـتند. آن بینهایت‌هـا، نشـانگر اسـتنتاج و بسـط نظریـه بـه حیطه‌هایـی اسـت کـه دیگـر اعتبـار نـدارد. فاینمـن اشـتباه می‌کـرد کـه از ایـن موفقیتـش در برخـورد بـا بی‌نهایت‌هـا، ناراضـی بـود، زیـرا ایـن بهتریـن کاری بـود کـه او می‌توانسـت بـدون فهمیـدن فیزیـک جدیـد در مقیاس‌هایـی کـه در آن زمـان دسـت یافتنـی نبـود، انجـام دهـد. حتـی امـروز و نیـم قـرن بعـد، انتظـار مـی‌رود نظریـه‌ی معتبـر در مقیاس‌هایـی کـه الکترودینامیـک کوانتومـی دیگـر توصیـف درسـت نیسـت، خـود نیـز در مقیاس‌هـای کوچک‌تـر فـرو بپاشـد.

روایـت دیگـری بـرای داسـتانِ مقیـاس در نظریـات فیزیکـی وجـود دارد. می‌تـوان فـرض کـرد «مقیـاس بنـدی»، بـه جـای اینکـه نظریـات را بـر اسـاس قلمروهـای مشـروعی کـه خـارج از آن بی‌اثـر هسـتند، دسـته‌بندی کنـد، ارتباطـات پنهانـی بیـن نظریـات را فـاش سـاخته و راه را بـه سـمت نظریـات متحـدی می‌بـرد کـه در برگیرنـده‌ی نظریـات اصلـی بـوده و خـود در محـدوده‌ی وسـیع‌تری از مقیاس‌هـا قابـل کاربـرد هسـتند.

مثـلا همـه‌ی خوشـحالی‌های چنـد سـال گذشـته مربـوط بـه کشـف ذره‌ی هیگـز، بـدان دلیـل بـود کـه ایـن ذره، آخریـن حلقـه‌ی مفقـوده‌ی نظریـه‌ای بـود کـه الکترودینامیـک کوانتومـی را بـا یـک نیـروی دیگـر بـه نـام برهمکنـش ضعیـف متحـد می‌کـرد. نیـروی الکترومغناطیـس و ضعیـف، دو نیـرو از چهـار نیـروی شـناخته شـده‌ی طبیعـت هسـتند و در نـگاه اول، بسـیار متفـاوت بـه نظـر می‌رسـند؛ امـا اکنـون می‌دانیـم کـه در مقیاس‌هـای خیلـی کوچـک و انرژی‌هـای خیلـی بـالا، ایـن دو نیـرو را می‌تـوان تجلی‌هـای متفاوتـی از یـک نیـروی واحـد بنیـادی بـه نـام «نیـروی الکتروضعیـف[3]» دانسـت.

۱- Anything

۲- Everything

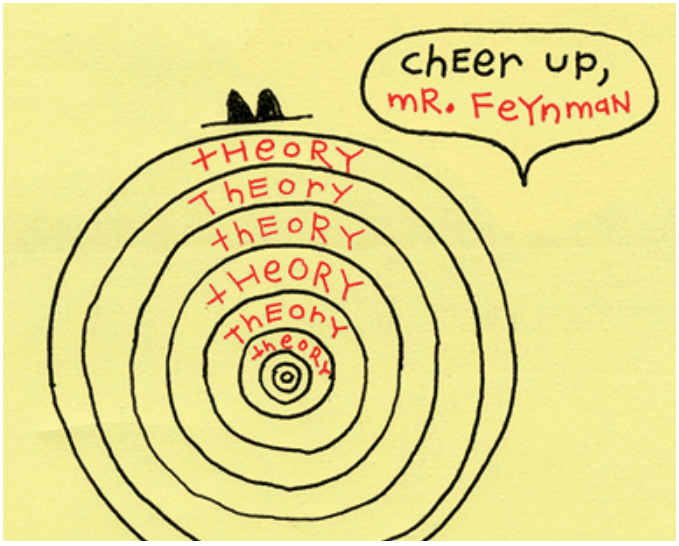
۳- Electroweak

از طرفی، مقیاس به فیزیکدانان انگیزه داده تا سعی کنند یکی دیگر از نیروهای بنیادی طبیعت یعنی نیروی قوی را با این دو نیرو، متحد کرده و به نظریه‌ی گسترده‌تری برسند. نیروی قوی که روی کوارک‌ها (اجزای سازنده‌ی پروتون‌ها و نوترون‌ها) عمل می‌کند، تا سال ۱۹۷۳ رام نشدنی بود. آن سال، سه نظریه‌پرداز، دیوید گراس، فرانک ویلچک و دیوید پولیتزر، نکته‌ی غیرقابل پیش‌بینی و مهم را نشان دادند: نظریه‌ی پیشنهادی برای توصیف این نیرو که کرومودینامیک کوانتومی نامیده می‌شود (در قیاس با الکترودینامیک کوانتومی)، دارای خصوصیتی است که آن‌ها نام «آزادی مجانبی[۴]» را بر آن گذاشتند.

آزادی مجانبی باعث می‌شود وقتی کوارک‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شوند، نیروی قوی بین آنها، ضعیف‌تر شود. این ویژگی، نه تنها پدیده‌ای تجربی به نام «مقیاس بندی»، (جایی که کوارک‌های درون پروتون به گونه‌ای رفتار می‌کنند که انگار ذرات مستقل و بدون برهمکنشی در انرژی بالا و فواصل کوچک هستند) را توضیح می‌دهد، بلکه امکانی برای توجیه اینکه چرا هیچ کوارک آزادی در طبیعت مشاهده نشده، پیشنهاد می‌دهد. اگر نیروی قوی در فواصل کوچک، ضعیف‌تر شود، احتمالا در فواصل بزرگ، به اندازه‌ی کافی قوی خواهد بود تا تضمین کند هیچ کوارک آزادی هرگز نمی‌تواند از همراهانش جدا شود.

ضعیف شدن نیروی قوی در فواصل کوچک؛ و قوی شدن الکتروضعیف در فواصل کوچک، فیزیکدانان را در سال ۱۹۷۰ به این نتیجه رهنمون کرد که در مقیاس‌های به اندازه کافی کوچک (شاید ۱۵ مرتبه بزرگی کوچک‌تر از اندازه‌ی یک پروتون)، هر سه نیرو (قوی، ضعیف و الکترومغناطیس) در یک نیروی واحد با یکدیگر متحد می‌شوند که به «نظریه‌ی وحدت بزرگ[۵]» معروف شد. طی ۴۰ سال گذشته ما در جستجوی شواهد مستقیمی برای این نظریه بوده‌ایم. در حقیقت، شتاب دهنده‌ی بزرگ هادرونی هم اکنون در جستجوی دسته‌ی کاملی از ذرات بنیادی است که به نظر می‌رسد برای درست بودن مقیاس‌بندی سه نیرو ضروری است، اگرچه شواهد غیر مستقیمی وجود دارد، اما هنوز هیچ سند مستقیمی، پیدا نشده است. طبیعتا موفقیت در وحدت سه نیرو از چهار نیروی شناخته شده، منجر به تلاش بیشتر برای جای دادن نیروی چهارم یعنی گرانش، در این ترکیب شد. برخی پیشنهاد کردند گرانش خود، صرفا یک نظریه‌ی موثر بوده و در مقیاس‌های به اندازه‌ی کافی کوچک، با نیروهای دیگر ترکیب می‌شود؛ اما این امر فقط زمانی میسر می‌شود که ابعاد فضایی اضافه‌ای در طبیعت وجود داشته باشند که ما آنها نمی‌بینیم. این نظریه، که اغلب نظریه‌ی اَبَرریسمان نامیده می‌شود، در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰، هیجان بسیار زیادی میان نظریه‌پردازان ایجاد کرد، اما تا امروز هیچ شاهدی مبنی بر اینکه این نظریه، جهانی که ما واقعا در آن زندگی می‌کنیم را توصیف می‌کند، وجود ندارد.

اگر چنین باشد (ابرریسمان، جهان واقعی ما را توصیف کند)، این نظریه، ویژگی جدید و منحصر بفردی خواهد داشت. شاید نظریه‌ی ابرریسمان، دیگر اصلا بی‌نهایتی تولید نکند، بنابراین می‌تواند در همه‌ی مقیاس‌های فاصله (هر اندازه که کوچک باشد)، استفاده شود؛ به همین دلیل، به «نظریه‌ی همه‌چیز» مشهور شده است؛ هرچند مقیاسی که تمام شگفتی‌های این نظریه، در آن ظاهر می‌شوند، به حدی کوچک است که از نظر اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی فعلی، بی اهمیت است.



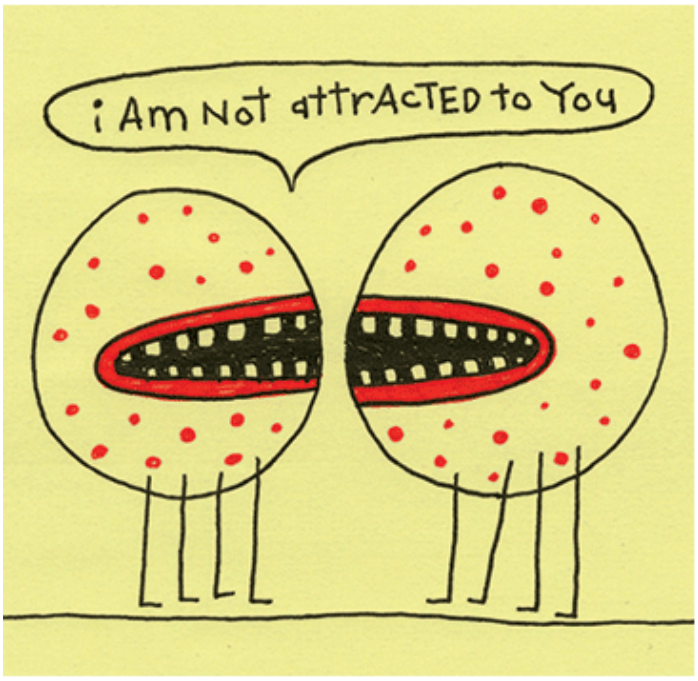
به رسمیت شناختن وابستگی به مقیاس واقعیت فیزیکی، در طول زمان، ما را به سمت نظریه‌ای (نظریه‌ی ریسمان) سوق داده که در آن، محدودیت‌ها از بین می‌رود. آیا این تلاش، بازتابی از جسارت نابه‌جای فیزیکدانان نظری نیست که به موفقیت‌های پی‌درپی در فهم واقعیت مقیاس‌های کوچکتر، عادت کرده‌اند؟

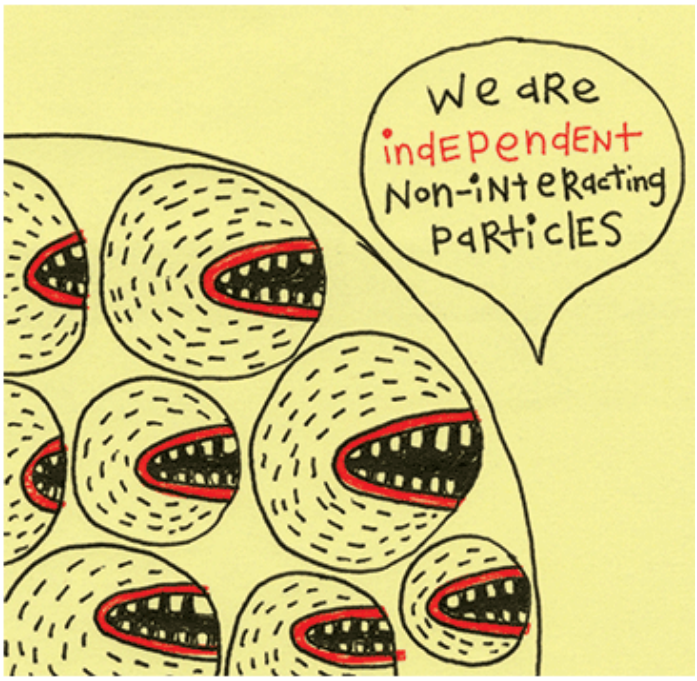
اگرچه پاسخ سوال بالا را نمی‌دانیم، اما حداقل باید شک کنیم. تا کنون نظریه‌ای به بزرگی و جامعیت نظریه ریسمان وجود نداشته که بدون ریشه داشتن در نتایج و مشاهدات تجربی، موفق به ارائه‌ی مدلی موفق از طبیعت شده باشد. از طرفی، هرچه بیشتر در مورد نظریه‌ی ریسمان یاد می‌گیریم، قضیه پیچیده‌تر شده و بسیاری از انتظارات عجولانه در مورد جهان شمول بودن آن، خوش بینانه به نظر می‌رسد.

۴- Asymptotic Freedom

۵- Grand Unified Theory

شـاید همانطـور کـه فاینمـن گمـان می‌کـرد، طبیعـت ماننـد پیـازی بـا لایه‌هـای زیـاد باشـد کـه بـا برداشـتن پوسـته‌ی رویـی دریابیـم نظریـات زیبـای کنونـی، زیرمجموعـه‌ی چارچـوب گسـترده‌تر جدیـدی هسـتند. پـس همـواره فیزیـک جدیـدی بـرای کشـف وجـود خواهـد داشـت و هرگـز یـک نظریـه‌ی جهان‌شـمولِ پایانـی کـه بـر تمـام مقیاس‌هـای فضـا و زمـان، بـدون اصـلاح اعمـال شـود، در کار نخواهـد بـود. هنـوز نمی‌دانیـم بـرای رسـیدن بـه واقعیـت، بایـد از کـدام جـاده برویـم. اگـر جـاده‌ی درسـت را بلـد بودیـم، دیگـر چیـزی بـرای کشـف‌کردن وجـود نداشـت. شـاید پیش‌بینـی شـخصی مـن، تنهـا بـر اسـاس امیـدی نابه‌جـا بـرای باقی‌مانـدن شـغل بـرای فیزیکدانـان باشـد! امـا مـن ایـن احتمـال کـه بـرای همیشـه رازهایـی بـرای حـل کـردن خواهـد بـود را دوسـت دارم، زیـرا زندگـی بـدون راز، در هـر مقیاسـی می‌توانـد خسـته‌کننده باشـد!





مقالات مرتبط در دیپ لوک (روی نام مقالات، کلیک کنید)

* چرا نظریه ام ، مادر تمام نظریه‌های ریسمان و کاندیدای اصلی نظریه همه چیز است؟
* در جستجوی ذرات با طول عمر بلند : در بخش تاریک عالم چه می‌گذرد؟
* نظریه ماند : ماده‌ی تاریکی در کار نیست، بیایید به نیوتون بازگردیم!

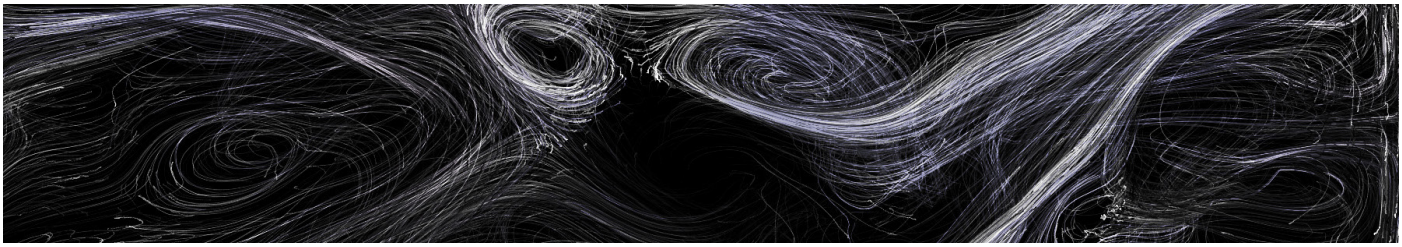
دکتر گلشنی:

از قدیم دانشمندان همواره در پی وحدت‌جویی بوده‌اند، مثلا تالس یونانی، مبدا همه چیز را آب می‌دانست؛ نیوتون سعی کرد مکانیک سماوی و مکانیک زمینی را وحدت بخشد.در نیمه‌ی اول قرن بیستم، اینشتین به دنبال یک میدان وحدت یافته بود.در نیمه‌ی دوم قرن بیستم فیزیکدانان در پی این بودند که چهار نیروی شناخته شده‌ی طبیعت را به یک نیرو تقلیل دهند ودر دهه‌ی ۱۹۶۰ سه فیزیکدان، دو نیروی هسته‌ای ضعیف و الکترومغناطیسی را وحدت بخشیدند.

در دهه‌ی ۱۹۸۰، ایده‌ی «نظریهٔ همه چیز» مطرح شد، نظریه ای که بتواند همه‌ی امور طبیعی را توضیح دهد، اما بزرگترین چالشی که در برابر این نظریه ظهور کرد، «قضیه‌ی ناتمامیت گودل» بود که در اوایل دهه‌ی ۱۹۳۰ توسط کورت گودل، از برجستگان منطق ریاضی، به اثبات رسیده بود. بر طبق این قضیه، هیچ نظریه‌ی مبتنی براصول، که اصول حساب را در بر داشته باشد، کامل نیست. فیزیکدانان تا اواسط دهه‌ی ۱۹۷۰ به این قضیه توجه نکردند، اما از اواسط این دهه، قضیه‌ی گودل مورد توجه آنان قرار گرفت.

مع الوصف، هاوکینگ در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ مدعی شد که تا آخر قرن بیستم، یعنی سال ۲۰۰۰، فیزیکدانان به این نظریه دست می‌یابند، اما خود او در یک سخنرانی در سال ۲۰۰۲ اقرار کرد که به دلیل قضیه‌ی گودل، ریاضیات و فیزیک هر گز به انتها نمی‌رسند. با وجود این، برخی از فیزیکدانان ایده‌ی «نظریه‌ی همه چیز» را دنبال کرده‌اند، و بعضی هم مدعی شده‌اند که «نظریه‌ی ابرریسمان» یک چنین نظریه ای است.

لارنس کراوس، کیهان‌شناس آمریکایی- کانادایی، با مرور بعضی از نظریه‌های مهم فیزیک قرن بیستم، مدعی است که مشکلات هر نظریه با رفتن به مقیاسهای ریزتر (انرژی‌های بالاتر) حل می‌شود، مثلاً بینهایت‌های ظاهرشده در نظریه‌ی میدان‌های کوانتومی که در سطح انرژی‌های فعلی ظاهر می‌شود، در سطح انرژی‌های بالاتر، ظاهر نمی شود. پس این فرض که یک نظریه، فیزیک را در همه‌ی مقیاس‌ها توصیف می‌کند، اشتباه است و هرگز یک نظریه‌ی جهان‌شمول که در تمامی مقیاس‌ها صادق باشد، در کار نخواهد بود. کراوس از این امر استقبال می‌کند و می گوید که او این احتمال را که همواره رازهایی برای گشودن وجود دارند دوست می‌دارد و زندگی بدون راز را خسته کننده می‌داند.



دکتر شیخ‌جباری:

به نظر من، نویسنده تصویری نادرست ارائه می‌کند. فهم ما از نظریه‌ی میدانهای کوانتومی با تکوین نظریه‌ی بازبهنجارش توسط ویلسون در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ متحول شد، بینهایت‌هایی که در محاسبات نظریه میدان ظاهر می‌شوند، معنای فیزیکی و پیامدهای مشاهداتی دارند و نباید آنها را به عنوان «نکاتی منفی» نگریست. به علاوه در دیدگاه ویلسونی و در نظریه‌ی گروه بازبهنجارش، ما با این واقعیت روبه‌رو هستیم که پارامترهای نظریه‌ی میدان باید با انرژی، بازتعریف شوند و معادلاتی که این تغییر پارامترها را تبیین می‌کنند، از دل خود نظریه بیرون می‌آیند.

در بخش بعدی مقاله، به نظریه «همه چیز» و نظریه ریسمانها و ... اشاره می‌شود. من با نویسنده تاحدودی، هم‌نظرم که نظریه‌ی همه چیز، احتمالاً منع منطقی دارد. به علاوه باید توجه داشت که تصویر فعلی ما بر اساس یک نظریه فیزیکی موضعی (با فرض موضعی بودن فرمول‌بندی‌های فیزیک) و مبتنی بر «علیت نسبیتی» شکل گرفته است و هر دوی این فرض‌ها می‌توانند در مقیاسهای کوچک یا فواصل بسیار بزرگ، درست نباشند. برای بحثهایی در این سطح همیشه باید فرضها و چارچوبهای پیدا و پنهان نظریات موجود را در نظر داشت.

Nur die Fülle führt zur Klarheit, und
im Abgrund wohnt die Wahrheit...
Friedrich von Schiller

تنها کثرت است که به روشنایی می‌انجامد و
حقیقت در اعماق می‌زید...
فریدریش شیلر