سِرجان مِدوکس*
برگردان: نادر حیدری

علم نامنتظری که در راه است

مهم‌ترین کشفیات ۵۰ سالِ آینده به‌احتمالی چیزهایی خواهند بود که حتا به‌اندیشه هم در نمی‌آید.

چیزهایی که هنوز عقلِ پرسیدنش را نداریم، در ۵۰ سال آینده هرچه بیش‌تر دغدغه‌ی علم روز خواهد شد. وضعیت علم را در یک سده‌ی پیش در نظر آورید. در آن زمان هم مانند امروز مردم به‌دست‌یافت‌های صد سال قبل می‌اندیشیدند. یکی از موفقیت‌های بی‌چون و چرا، کارِ دالتون بود که در ۱۸۰۸ ثابت کرد ماده از اتم تشکیل شده است. موفقیت دیگر، اثبات بایستگی انرژی بود (جیمز پرسکات ژول در ۱۸۵۱) و اثبات فرضیه‌ی قدیمی‌تر (فیزیک‌دان فرانسوی سعدی کارنو) که کارآییِ تبدیلِ یک گونه‌ی انرژی به‌گونه‌ی دیگر محدودیت درونی دارد: این دو تحول با هم به‌ما آن چیزی را دادند که امروز به‌نام ترمودینامیک می‌شناسیم و این ایده را که بیش‌تر قانون‌های طبیعت با «پیکانِ زمان» سر و کار دارند.

چارلز داروین هم بود که کتابش *منشأ انواع از طریقِ گزینشِ طبیعی* (انتشار در ۱۸۵۹)، این ادعا را همراه داشت که تنوع گونه‌های روی زمین را توضیح می‌دهد، اما چیزی درباره‌ی ساز و کارِ توارث نمی‌گفت یا حتا این که چرا گونه‌های خویشاوند از باروری متقابل ناتوانند. در آخرِ کاتالوگ شادکامی‌های سده گذشته، کارِ جیمز کلارک مَکسوِل می‌آید که نشان داد الکتریسیته و مغناطیس به‌روشی نیوتونی در مجموعه معادلاتِ ریاضی وحدت می‌یابند. در زمینه‌ای عام‌تر، قانون‌های نیوتون در عمل آن قدر آب دیده و کارآ شده بود که برای هر مساله‌ای جهانِ واقع که می‌شد با دقتِ لازم تعریف کرد، جوابی داشت. چه سده‌ای بود سده‌ی ۱۸۰۰!

در ۱۸۹۹ تنها تیزهوش‌ترین افراد بودند که در وضع موجود آسیب‌هایی می‌دیدند. یکی هندریک آنتون لورنتز، استاد دانشگاه لیدن در هلند، بود که می‌دید نظریه‌ی مَکسوِل تناقضی ضمنی دارد: نظریه فرض می‌کرد ماده‌ای فراگیر به‌نام اِتر (اَثیر) وجود دارد که اختلال‌های الکترومغناطیسی در آن منتشر می‌شود. اما فرضِ خیلی ساده‌تر این است که برای شی‌ای که

* سِر جان مدوکس از ۱۹۴۹ تا ۱۹۵۶ استاد فیزیک نظری دانشگاه منچستر و از ۱۹۶۶ تا ۱۹۷۳ و هم‌چنین از ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۵ سَرویراستارِ مجله‌ی نیچر بوده است. به‌خاطر خدماتش به‌علم، در ۱۹۸۵ لقب سِر را دریافت کرد.

نسبت به‌مشاهده‌گر حرکت می‌کند، زمان کندتر می‌گذرد. برای رسیدن از این فرض به‌نظریه‌ی نسبیت خاص اینشتین که در ۱۹۰۵ منتشر شد، گام کوچکی (کارهای هانری پوآنکاره استاد دانشگاه پاریس) لازم بود. از نظریه‌ی نسبیت خاص برمی‌آید که سرعت‌های نسبی هیچ گاه از سرعت نور بیش‌تر نمی‌شوند. این واقعیت، خطا بودنِ نظریه‌ی نیوتون را نشان می‌دهد. اما تنها از جنبه‌ی فلسفی: فضا و زمان را هیچ یک نمی‌توان به‌مثابه شبکه‌ای پنداشت که با آن بتوان موقعیت شی و یا زمانِ رسیدنِ شی به‌آن موقعیت را سنجید. به‌نظر می‌رسد در سده‌ی پیش کم‌تر کسی بود که درک کند مایکلسون و مورلی در دهه‌ی ۱۸۸۰ آزمایشی انجام دادند که ساده‌ترین تعبیرش این بود: اِتِر مَکسول وجود ندارد.

برای آن‌ها که از این خوش خیالی عمومی سال ۱۸۹۹، احساس نارضایتی یا حتا آزردگی می‌کردند، شواهد کافی وجود داشت که علمِ بنیادی با مشکل روبه‌رو است. اتم قرار بود تقسیم‌ناپذیر باشد، پس چگونه می‌شد الکترون‌ها و «پروتوها»یی را که مواد پروتوزا بیرون می‌دادند و به‌نظر می‌آمد جزیی از اتم باشند، توضیح داد؟ ماده‌ی پرتوزا در ۱۸۹۷ کشف شد. همین گونه، داروین فرض کرده بود دگرگونی‌های ارثی (یا چنان که امروز می‌گوییم، ژنتیکی) در سرشتِ افراد، همیشه دگرگونی‌هایی کوچک‌اند، اما از کارهای گرِگور مِندِل که در دهه‌ی ۱۸۵۰ (عمدتاً توسط هوگودِ وریز در هلند) بازیافته شد، برمی‌آمد که دگرگونی‌های خود به‌خودی ژنتیک، گسسته و اساسی‌اند. این تحول، به‌رهبری توماس هانت مورگان، به‌ظهور دژِ آن چه امروز ژنتیک کلاسیک (عبارتی که در ۱۹۰۶ مصطلح شد) خوانده می‌شود، در دانشگاه کلمبیای نیویورک و تشخیص این نکته انجامید که تناقض بین داروین‌گرایی و مندل ـ مورگان‌گرایی (اصطلاحی که شوروی‌ها در دهه‌ی ۱۹۵۰ برای کارهایِ مکتبِ کلمبیا به‌کار می‌بردند) آن گونه که در ابتدا به‌نظر می‌رسید بارز نیست.

اکنون از این که این تناقض‌ها و تناقض‌های دیگر حل شده‌اند، حیرت می‌کنیم. احساس رضایت خاطر ما از سده‌ی خود بیش‌تر از احساس رضایت خاطر از سال ۱۸۹۹ است. چیز دیگری که اهمیتش کم نیست احساس آزادی شخصی حاصل از کاربردِ علم است. در نخستین سال‌های سده‌ی بیستم: مارکونی با امواج رادیویی روی اقیانوس اطلس پل زد و برادران رایت با ماشینی که از هوا سنگین‌تر بود یک مایل پرواز کردند. (ویلبر و اورویل قبل از تن دادن به‌خطر پرواز، در زیرزمین خانه‌ی خود در اوهایو، نوعی تونل باد ابتدایی ساخته بودند.) رشدِ صنعتِ ارتباطات و صنعتِ پرواز از این جا آغاز شد. امروز میز ما را ماشین‌های محاسبه‌ای شلوغ کرده است که در سال ۱۹۰۰ به‌تصور هیچ کس در نمی‌آمد و وضعیت سلامتی ما خیلی بهتر است: پنی‌سیلین را به‌یاد آورید!

در علم محض به‌همان اندازه‌ی سده‌ی نوزدهم و حتا بیش‌تر، می‌توانیم به‌خود ببالیم. نسبیت خاص دیگر تنها همان فیزیک نیوتونی با تصحیح فلسفی نیست. از نسبیت خاص برمی‌آید که فضا و زمان هم‌پایه‌اند و باید یکسان به‌کار گرفته شوند، این اصل، نسبیت خاص را سنگ محکی برای درستی نظریه‌ها در فیزیک، بنیادی کرده است.

دیگر رویدادهای برجسته‌ی این سده در فیزیک بنیادی را به‌سادگی نمی‌شد پیش‌بینی کرد. نظریهٔ نسبیت عام اینشتین که بهتر بود «نظریه‌ی نسبیتی گرانش» خوانده می‌شد، به‌جز طرف‌داران پروپا قرص فیزیک‌دان وینی و فیلسوف تحصل‌گرا، ارنست ماخ، برای همه شگفتی‌آور بود. با بیان این اصل که نیروهای گرانشی همه جا ناشی از میدانی گرانشی‌ست که تا دورترین گوشه‌های عالم گسترده است، اینشتین این مفهوم را برقرار کرد که ساختار و تکامل عالم، پیوندی ناگسستنی دارند. اما وقتی ادویل هابل در ۱۹۲۹ کشف کرد عالم انبساط می‌یابد، حتا اینشتین هم شگفت‌زده شد.

و با آن که نزدیک نیم سده بود که مردم نگران خواص تابشی بودند که اجسامِ داغ بیرون می‌دهند، مکانیک کوانتومی صاعقه‌ی دیگری بود که از آسمانی صاف بر زمین می‌نشست. مساله این بود که چگونه تابش جسم چنان بستگی به‌دمای جسم دارد که مهم‌ترین بسامدِ تابش، دست‌کم وقتی دما از صفرِ مطلق سنجیده می‌شود، مستقیم با دمای جسم متناسب است (صفرِ مطلق ۲۷۳ درجه زیر دمای انجماد آب یا ۴۵۹ ـ درجه‌ی فارنهایت است و از طریق همان ترمودینامیکِ سده‌ی نوزدهمی تعریف می‌شود). راه‌حلی که ماکس پلانک در ۱۹۰۰ ارایه کرد این بود که انرژی بین جسمِ داغ و محیطش تنها در مقدارهای متناهی (ولی بسیار کوچک) منتقل می‌شود که کوانتوم خوانده می‌شود. مقدارِ انرژی هر کوانتوم به‌بسامدِ تابش بستگی دارد و در واقع با آن متناسب است. پلانک در همان زمان اعتراف کرد نمی‌داند این نتیجه چه معنایی دارد و گمان می‌کرد هم‌عصرانش نیز مانند او گیج و مبهوت شده‌اند.

چنان که می‌دانیم ریعِ سده طول کشید که مشکلِ پلانک، با تلاش نیلز بور، ورنر هایزنبرگ، اروین شرودینگر و پل دیرایک، به‌همراهی ارنش کوچکی متشکل از بهترین و درخشان‌ترین استعدادهای این سده حل شد، چه کسی می‌توانست در سال ۱۹۰۰ حدس بزند سرانجامِ راهی که پلانک گشود سیستم جدیدی برای مکانیک است، به‌همان جامعیت مکانیک نیوتون، به‌این معنی که می‌توان آن را برای همه مسایلی که خوب بیان شده‌اند به‌کار برد، اما در عمل تنها برای اتم، مولکول و اجزای آن‌ها یعنی الکترون و غیره به‌کار می‌رود؟

حتا هنوز هم کسانی هستند که ادعا می‌کنند مکانیک کوانتومی پارادوکس‌های فراوان دارد،

اما این ادعا برداشتی‌ست هدف‌دار (و بازی‌گوشانه) از آن چه در ربع اول این سده روی داد... درک شهودی ما از رفتارِ جسمِ ماکروسکوپی (که در معادله‌های نیوتون تجسم می‌یابد) بر پایه‌ی ادراک حسی ماست، که خود حاصلِ گزینشِ طبیعی در دنیایی‌ست که پرهیز از اجسام ماکروسکوپی (حیوانات شکارگر) و یا به‌دام انداختن آن‌ها (غذا) برای جان به‌در بردن مفید بوده است. مشکل بتوان تصور کرد توانایی درک رفتار ذرات زیراتمی چه فایده‌ای برای نیاکان ما می‌توانست داشته باشد. از این رو مکانیک کوانتومی پارادوکس نیست بلکه کشفی‌ست درباره‌ی سرشتِ واقعیت در مقیاس‌های (مکانی و زمانی) بسیار کوچک، آن چه اکنون درباره‌ی ذرات هسته‌ای می‌دانیم یعنی این که از چند کوارک تشکیل شده‌اند (که خود، هرچقدر هم موقتی باشد، یکی از دست‌یافت‌های بزرگ فکری این سده است)، از همین کشف سرچشمه گرفته است.

شگفتی سوم این سده پی‌آمدِ کشف ساختار دی. اِن. اِ. در سال ۱۹۵۳ است که به‌این معنی نیست که کاشفان این ساختار، جیمز دی. واتسون و فرانسیس کریک، بر اهمیت کار خود واقف نبودند. در اوایل دهه‌ی ۱۹۵۰ از کارهای مکتب کلمبیا معلوم شده بود ژن‌ها به‌شکل خط در طول کروموزوم‌ها مرتب شده‌اند. اما شرم‌آور بود که هنوز نوعی ساختارِ شیمیایی برای ژن مشخص نشده بود. شگفت این که ساختار دی. اِن. اِ. نه تنها توضیح می‌داد فرزندان چگونه خصوصیت‌های فیزیکی خود را از پدر و مادر به‌ارث می‌برند، این را هم توضیح می‌داد که چگونه تک تکِ یاخته‌های همه ارگانیسم‌ها میلی ثانیه به‌میلی ثانیه به‌همان صورتی که گزینش طبیعی تعیین کرده است، حیات خود را ادامه می‌دهند. راز حیات از پرده بیرون افتاده بود.

کاتالوگ نادانی‌ها

هم مکانیک کوانتومی و هم ساختار دی. اِن. اِ. درک ما را از جهان آن چنان بسط داده‌اند که برای کاشفان آن تصورپذیر نبود. هیچ راهی نیست که بگوییم در ۵۰ سال آینده با نگاه‌کردن زیرِ کدام سنگ کوچک، جهانِ علمی تازه‌ای کشف خواهد شد. بیش‌ترین کاری که از دست ما برمی‌آید این است که گاتالوگی از نادانی‌هایِ کنونی خود (که کم نیست) درست کنیم و روندهای فعلی پژوهش را به‌آینده تعمیم دهیم. اما همین هم، چنان دستورِ کاری برای علم در نیم سده‌ی آینده طرح می‌افکند که در گیرایی و هیجانِ با آن چه در این سده‌ی تازه به‌پایان رسیده، روی داده است، برابری می‌کند و فرزندان و نوادگان ما را افسونِ خود خواهد کرد.

یکی از جایزه‌های در دسترس، بازسازی تاریخِ ژنتیک نژاد انسانِ متفکر (هومو ساپینس Homo sapiens) است. یکی از پیروزی‌های دهه‌ی گذشته آشکار کردن دستورالعمل ژنتیکیِ بودزایی (ontogeny) است، یعنی تبدیلِ جنینِ بارور شده به‌موجودی بالغ پس از گذراندن دوران

زندگی در رَحِم و طفولیت. به‌نظر می‌رسد نخست، ژن‌هایی از خانواده‌های مشترک (به‌نام ژن‌های هاکس Hox genes) شکلِ بدن حیوانات و گیاهان را تعیین می‌کنند و سپس، ژن‌های رشدِ ویژه‌ی هرگونه، گرچه زیست ـ مولکول‌شناسان هنوز تلاش می‌کنند دریابند سازمانِ سلسله مراتب ژن‌های رشد چیست و ژن‌هایی که کارِ خود را انجام داده‌اند چگونه خاموش می‌شوند، تنها زمان لازم است تا ژن‌های درگیر در مرحله‌های پی‌دریِ رشد انسان به‌ترتیبِ اجرای نقش فهرست شوند.

آنگاه ممکن خواهد بود از مقایسه‌ی ژن‌های انسان و برای نمونه شمپانزه دریابیم کِی و چه‌گونه تفاوت‌های اساسی بین انسان‌ها و میمون‌های بزرگ ظاهر شد. قسمت اصلی داستان را از آن چه در سنگواره‌ها ضبط است می‌دانیم: کورتکس مغزی شبه انسان‌ها (hominids) طی ۴/۵ ملیون سال گذشته مرتب بزرگ‌تر شده؛ با ظهور انسانِ راست قامت (هوموارکتوس Homo erectus) در ۲/۱ ملیون سال پیش، شبه انسان‌ها قادر به‌ایستاده راه رفتن شدند؛ قدرت تکلم به‌احتمالی با حوای میتوکوندریایی [اولین مادر انسان‌ها از روی تاریخ میتوکوندری م.] حدود ۱۲۵۰۰۰ سال پیش ظاهر شد. دانستن اساس ژنتیک این تغییرها ما را به‌تاریخِ واقعی‌تر گونه‌ی خود و درک عمیق‌تری از جای انسان در طبیعت رهنمون خواهد کرد.

این درک، محصول‌های جنبی بسیار مهمی خواهد داشت. ممکن است بتوانیم بفهمیم چرا بعضی گونه‌های شبه‌انسان که انسان نئاندرتال تنها یکی از آن‌هاست از بین رفتند. مهم‌تر این که ممکن است بازگویی تاریخ ژنتیک هرمو ساپینس، همانْ آزمونِ تعیین‌کننده‌ای باشد که تکلفِ ساز و کارِ گونه‌سازی (speciation) را روشن می‌کند. با وجود عبارت «منشاگونه‌ها» در عنوان کتاب بزرگ داروین، مولف هیچ نمی‌گوید چرا عضوهای گونه‌های مختلف نابارورند (نمی‌توانند با هم بیامیزند). در حالی که چشم‌گیرترین تفاوت بین ما و میمون‌های بزرگ این است که انسان، ۴۶ (۲۳ جفت) کروموزوم دارد و نزدیک‌ترین گونهٔ خویشاوند، ۴۸ کروموزوم. (به‌نظر می‌رسد قسمت بزرگی از کروموزوم گم شده‌ی میمون، انتهای درازِ کروموزومِ ۲ی انسان را تشکیل داده است، اما تکه‌هایی هم در جاهای دیگرِ ژنوم انسان یافت می‌شود، به‌ویژه روی کروموزومِ X.) برای همه‌ی رشته‌های زیست‌شناسی اهمیت دارد بدانیم آیا این بازآرایی کروموزوم‌ها علت اصلی تکامل انسان بوده یا خود نتیجه‌ی ثانوی‌ی جهش ژنتیکی است.

در ۵۰ سال آینده تلاش‌های فعلی برای شناساییِ عمرمی‌ترِ عامل‌های ژنتیک همبسته‌ی (genetic correlates) تکامل، شدت خواهد گرفت. مقایسه‌ی ردیفِ اسیدهای آمینه‌ی پروتئین‌های مشابه در گونه‌های خویشاوند یا ردیفِ نوکلئوتیدها در اسیدهای نوکلئیک مربوط به‌هم (مولکول‌های آر. ان. ای. در ریبوزوم بیش از همه مورد توجه است) در اصل راهی‌ست برای

دست‌یابی به‌سنِ نیای مشترکِ دوگونه. تنها کافی‌ست بدانیم آهنگ طبیعی جهش در مولکول‌های مورد نظر چیست.

اما موضوع به‌همین سادگی نیست. آهنگ جهش، از پروتئین به‌پروتئین و از اسید نوکلئیک به‌اسید نوکلئیک دیگر و از جایی به‌جای دیگر در درازای مولکول فرق می‌کند. ساختِ «ساعتِ مولکولیِ» قابل اطمینان‌تر باید یکی از هدف‌های آینده‌ی نزدیک باشد. (این کار شبیه تلاش کیهان‌شناسان برای یافتنِ خط‌کشی قابل اطمینان‌تر برای فاصله‌های دورکیهانی است اما کاری بس مشکل‌تر است.) آن‌گاه قادر خواهیم شد علتِ نقطه عطف‌های مهم در تکاملِ حیات روی زمین را حدس بزنیم: تکامل چرخه‌ی کِربس (Krebs cycle) که از طریق آن همه‌ی یاخته‌های باکتریایی، مواد شیمیایی را به‌انرژی تبدیل می‌کنند، منشا نور ـ ساخت (فتوسنتز)، ظهور اولین ارگانیسم‌های چند سلولی (که اکنون با اطمینان زیاد تاریخ آن را بیش از ۲۵۰۰ ملیون سال پیش تعیین کرده‌اند).

اگر بخت یار باشد، همین تلاش‌ها می‌تواند به‌ما بگوید نقشِ عامل‌های ویروس‌گون در تکامل اولیه‌ی حیات چه بوده است. ژنوم انسان پر از ردیف‌های دی. ان. اِ. است که در ظاهر فسیل‌های اسید نوکلئیکِ یادگار مانده از زمانی هستند که اطلاعات ژنتیک به‌راحتی بین گونه‌های مختلف رد و بدل می‌شده است. این موضوع خیلی شبیه به‌کسب خصلت‌های خاص در باکتری‌ها (برای نمونه مقاوم شدن در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها) از طریق مبادله‌ی ساختارهای دی. ان. اِ. به‌نام پلاسمید (plasmid) است. جای خود در طبیعت را نخواهیم شناخت مگر وقتی بدانیم سهمِ دی. ان. اِ. در ظاهر بی‌مصرف، در تکامل ما چه بوده است (کریک اولین کسی بود که این نوع دی. ان. اِ. را دی. ان. اِ.ی «آشغال» خواند).

فهمِ ساختار همه ژنوم‌هایی که ساختار کامل‌شان شناخته می‌شود، به‌خودی خود، ما را به‌منشا حیات رهنمون نخواهد کرد. اما باید بتواند سرشتِ موجودات زنده را در آن چه به‌جهانِ آر. ان اِ معروف است روشن‌تر کند؛ گمان می‌رود حیات، قبل از ظهورِ آن نوع حیاتی که دی. ان. اِ. چیره بوده است، از این دست است. این موضوع که یاخته‌ها هنوز مولکول‌های آر. ان. اِ را برای بعضی کارکردهای اساسی به‌کار می‌برند (مانند ویرایش دی. ان. اِ در هسته و به‌صورتِ قالبِ ساخت برای درست کردن ساختارهایی به‌نام تِلومِر (telomere) که دو انتهای کروموزوم را پایدار می‌کنند) جالب است و نکته‌ی مهمی در بر دارد.

زمانی (بیش از نیم سده در آینده) خواهید رسید که کسی در آزمایشگاه تلاش خواهد کرد ارگانیسمی بر پایه‌ی آر. ان. اِ. بسازد. اما مساله‌ی شکل‌گیری حیات از ماده‌ی غیرآلیِ بی‌جان نیاز به‌نوعی فهم دارد که اکنون در اختیار نداریم: یکی این که بفهمیم شارِ تابشی که برای نمونه از

خورشید می‌آید چگونه با گذشتِ زمان به‌شکل گرفتن مولکول‌های پیچیده از مواد شیمیایی ساده‌تر منجر می‌شود. می‌دانیم که چیزی شبیه به‌این در ابرهای مولکولی عظیم کهکشان خودمان رخ می‌دهد، اخترشناسان تاکنون مرتب وجود مواد شیمیایی پیچیده‌تری را در این ابرها کشف کرده‌اند، تازه‌ترین آن‌ها فولرین (fullerene)هایی مانند مولکول C۶۰است (که توپ باکی buckyball خوانده می‌شوند). نیاز داریم رابطه‌ای بین پیچیدگی و شارِ تابش بیابیم. این مساله‌ای می‌شود در ترمودینامیک فرآیندهای برگشت‌ناپذیر که تاکنون توجه کمی به‌آن شده است.

درواقع زیست‌شناسان در چند دهه‌ی تب‌آلود و پرشتابِ گذشته، بسیار کم به‌جنبه‌های کمیِ کارشان توجه کرده‌اند. وقتی اطلاعاتی که باید جمع‌آوری شود زیاد و جالب (و مهم) است این کم توجهی را می‌شود فهمید. اما دیگر به‌نقطه‌ای رسیدایم که ساده کردن واقعیت‌ها به‌گونه‌ای که اکنون در زیست‌شناسیِ سلولی معمول است (و سیلاب داده‌هایی که از همه طرف انباشته می‌شود) مانع درکی عمیق‌تر از چگونگی کارکردِ یاخته‌ها می‌شود. ساده کردن واقعیت‌ها؟ در ژنتیک رسم است به«کارکردِ» ژن‌های تازه کشف شده توجه شود. اما اگر بیش‌تر ژن‌های ژنومِ انسان یا دست کم محصولاتِ پروتئینی آن، بیش از یک کارکرد و شاید حتا کارکردهای متضاد داشته باشد، چه باید کرد؟ در آن صورت، تنها بیان رویدادهای سلولی به‌زبان ساده، گمراه‌کننده خواهد بود، مگر این‌که با نوعی مدل کمی همراه باشد.

نمونه‌ای وحشت‌آور، چرخه‌ی تقسیمِ یاخته است، به‌نظر می‌رسد در چند سال گذشته هر هفته یک آنزیم جدید شناخته و بر تعداد آنزیم‌هایی که در این چرخه نقش دارند افزوده شده است. موفقیت بزرگی‌ست که مجموعه‌ی پروتئین‌هایی که در راه‌اندازی تقسیم سلولی است (دست کم در قارچ مخمر) نقش دارند شناسایی شده است. اما این که چرا این مجموعه در راه‌اندازی نقش دارد و چگونه خود این مجموعه تحت تاثیر عامل‌های درونی و بیرونی یاخته فعال می‌شود، پرسش‌هایی بدون جواب‌اند و چنین خواهند ماند تا وقتی پژوهش‌گران مدل‌های عددی برای کل یاخته بسازند. این ادعا بیش از آن که پیش‌بینی باشد، آرزوست.

کاتالوگ نادانی‌های ما باید فهم ما را از مغز انسان نیز شامل شود که نقصی نمایان دارد: هیچ کس نمی‌داند چگونه مغز تصمیم می‌گیرد و چگونه مهار از تخیل برداشته می‌شود. این هم که آگاهی مشتمل بر چه چیزهایی‌ست (یا این که چگونه باید تعریف شود) همان قدر معماست. با وجود موفقیت‌های شگرف علمِ اعصاب در سده‌ی گذشته (اگر از هوش مصنوعی گفت و گو نکنیم که ارتباطِ آن با موضوع، حرف دارد) به‌نظر می‌رسد از فهمِ فرآیندهای شناخت به‌همان اندازه دوریم که یک سده‌ی پیش بودیم. جوهرِ مساله، شناسایی آن الگوهای رفتار نورون‌ها در مغز است که نشان‌دهنده‌ی تصمیم‌گیری یا فعالیتِ شناختیِ دیگری‌ست. شاید تصمیم‌گیری،

چندین هم بسته‌ی عصبی (neural correlate) متفاوت داشته باشد که جست و جو را مشکل می‌کند. با این همه دلیلی ندارد که فکر کنیم نمی‌شود از پس این مساله برآمد. حتا حیوانات هم (مانند موش‌هایی که در ماریچ قرار داده می‌شوند) تصمیم می‌گیرند، گرچه ممکن است بر این کار آگاهی نداشته باشند، که معنی‌اش این است که مشاهده و آزمایش ممکن است. اما اگر تا ۵۰ سال دیگر جواب این پرسش‌ها پیدا نشده باشد، برای علم اعصاب مایه‌ی شرمساری نخواهد بود.

همین حرف را می‌توان درباره‌ی مساله‌ی اصلی فیزیک هم زد، که ریشه در ناسازگاری مکانیک کوانتومی با نظریه‌ی گرانش اینشتین دارد. از تلاش‌های ناموفقِ دو دهه‌ی گذشته برای کوانتیده کردن میدان گرانشی، چیزهای زیادی حاصل شده، اما بدون نوعی پل بین این دو نظریه که دو پیروزی بزرگ سده‌ی ما محسوب می‌شوند، توصیفِ مهبانگ که فرض می‌شود آغاز عالم بوده است، با اطمینان و دقتی نزدیک به آن چه معمول است ممکن نخواهد شد. تردید به‌فیزیک ذرات هم سرایت کرده که سال‌هاست پژوهش‌گرانِ این رشته در تلاش برای وحدت دادن به‌چهار نیروی طبیعت سهیم بوده‌اند. آن‌ها که روی نظریه‌ی ریسمان کار می‌کنند اعتقاد دارند کار آن‌ها پُلی قابل قبول [بین مکانیک کوانتمی و گرانش م.] است. اما دیگران به‌اوج و حضیض علاقه‌ی عمومی به‌نظریه‌ی ریسمان اشاره می‌کنند و کم‌تر خوش‌بینند. پنجاه سال آینده دست کم این را نشان خواهد داد که کدام دسته حق داشته‌اند.

آیا برای روشن کردنِ تکلیف چیزی که در ظاهر تنها مساله‌ای در ریاضیات است، چنین زمانی طولانی نیست؟ شاید زمانی که من پیش‌بینی می‌کنم بیش از حد طولانی باشد، اما جای تعجب ندارد اگرچه دهه‌ای بگذرد تا این که روشن شود آیا نظریه‌ی ریسمان توصیفی درست برای ذرات ماده به‌دست می‌دهد یا بن‌بستی دیگر است. نباید فراموش کنیم در سده‌ی نوزدهم، از اثبات تجربیِ فارادی که الکتریسیته و مغناطیس جنبه‌هایی از یک پدیده هستند، تا نظریه‌ی سرانجام موفقِ مَکسول، سه دهه وقت لازم بود در حالی که ریاضیاتی که مَکسول نیاز داشت در کتاب‌های درسی به‌خوبی بیان شده بود. در مورد نظریه‌ی ریسمان، ریاضیات مورد نیاز را باید قدم به‌قدم اختراع کرد. علاوه بر این اگر نظریه‌ی ریسمان موفق شود بین گرانش و مکانیک کوانتومی پل بزند، تصویر تازه‌ای از ذراتِ نقطه گونِ بنیادی به‌دست می‌دهد که به‌فضا و زمان ساختاری میکروسکوپی در مقیاسی بسیار کوچک می‌دهد. این مقیاس آن قدر کوچک است که با شتاب‌دهنده‌های فعلی یا هر شتاب‌دهنده‌ای که قرار است ساخته شود، نمی‌توان آن را کاوید. در وضعیت فعلی هم هیچ داده‌ی تجربی یکتا و به‌درد بخور برای روشن شدن مساله وجود ندارد. باید بردبار بود.

با این که این توهم وجود دارد که آهنگ کشف‌ها شتاب می‌گیرد، این نکته مهم است که در بسیاری از زمینه‌های علمی تنها با تلاش‌های عظیمِ جمعی و به‌کندی می‌توان به‌بعضی از هدف‌ها رسید. سفینه‌های فضایی که امروز منظومه شمسی را می‌کاوند، بیش از یک دهه پیش از

کشف ساختارِ DNA در سال ۱۹۵۳ توسط جیمز دی. واتسون (سمت چپ) و فرانسیس کریک، راز حیات را آشکار کرد و بذر پیشرفت‌هایی خیره‌کننده در پزشکی و زیست ـ مولکول‌شناسی را کاشت. مدلی که آن‌ها برای این ساختار پیدا کردند، یعنی مارپیچ دوتایی، تبدیل به‌نمادی جهانی برای علم شده است.

پرتاب طراحی شده‌اند. پس از یک سده زلزله‌شناسی، تازه اکنون اندازه‌گیری و روش‌های تحلیلی آن قدر حساس شده‌اند که به‌ما نوید دهند به‌زودی تصویری از درون سیاره‌ای که روی آن زندگی می‌کنیم، در دست خواهیم داشت؛ تصویری از ستون‌های برخیزنده‌ی همرفتیِ سنگ‌های جبه‌ی زمین که صفحه‌های تکتونیک را روی سطح زمین به‌حرکت در می‌آورند. از دهه‌ی ۱۹۶۰ تاکنون زیست ـ مولکول‌شناسان به‌دنبال فهم این بوده‌اند که فعالیت ژن‌های موجودات زنده چگونه تنظیم می‌شود، اما هنوز برای ساده‌ترین باکتری هم نتوانستیم این هدف رابه‌صورتی جامع برآورده کنیم و اگر بتوانیم هم‌بسته‌های عصبی تفکر را در نیم سده‌ی آینده شناسایی کنیم، بخت یارمان بوده است. کاربردِ آن چه می‌دانیم چند دهه‌ی آینده را هیجان‌انگیز خواهد کرد، اما چندین مساله‌ی مهم وجود دارد که یافتن پاسخ آن‌ها بسیار مشکل خواهد بود.

شگفتی‌هایی نامنتظر هم در راه است. کشف نوعی موجودِ زنده در جای دیگری در کهکشان ما عقیده‌ی عمومی را نسبت به‌جایِ ما در طبیعت از ریشه دیگرگون خواهد کرد، اما شگفتی‌های دیگرِ ظریف‌تر از این هم خواهند بود که به‌ناگزیز پیش‌دیدنی نیست. همین شگفتی‌ها ۵۰۰ سالِ گذشته‌ی علم را بارها هیجان‌انگیز و سرزنده کرده است. با همین شگفتی‌های نامنتظر، نیم سده‌ی آینده، دانش‌پیشه‌گان را مجذوب و زندگی بقیه‌ی ما را دگرگون خواهد کرد.