



شبح در ماشین

شبح در ماشین

چگونه شبکه‌های پنهانی اطلاعات راز
زندگی را آشکار می‌کنند.

پل دیویس

ترجمه‌ی تورج حوری

انتشارات مازیار

فهرست مطالب

۷	پیشگفتار
۱۱	فصل ۱: حیات چیست؟
۳۵	فصل ۲: شبیح وارد می شود
۷۷	فصل ۳: منطق حیات
۱۲۳	فصل ۴: داروینیسیم ۲/۰
۱۶۱	فصل ۵: حیات شبیح وار و اشباح کوانتومی
۱۸۶	فصل ۶: تقریباً یک معجزه
۲۰۷	فصل ۷: شبیح در ماشین
۲۳۵	گفتار پایانی
۲۴۵	یادداشت‌ها و منابع بیشتر

«کنجکاوی باقی است... برای دست یافتن به درکی روشن تر از اینکه چگونه ماده‌ای که در فیزیک و شیمی، منظم و قابل بازسازی می‌نماید و خواص نسبتاً ساده‌ای دارد، به محض رانده شدن به مدار ارگانسیم زنده، خود را به حیرت آورترین شیوهی ممکن سازماندهی می‌کند. هرچه از نزدیک‌تر به عملکرد ماده در ارگانسیم‌های زنده نگاه کنیم نمایش باشکوه‌تر می‌شود. ناچیزترین سلول زنده به جعبه‌ای از معماهای جادویی بدل می‌شود که سرشار از مولکول‌های پیچیده و متغیر است....»

— ماکس دلبروک^۱

۱. ماکس دلبروک، صورت جلسه‌های آکادمی هنرها و علوم کانکتیکات، جلد ۳۸ (دسامبر ۱۹۴۹)

پیشگفتار

درباره‌ی آنچه که حیات انجام می‌دهد کتاب‌های زیادی وجود دارند. این، کتابی درباره‌ی چستی حیات است. من شیفته‌ی چیزی هستم که ارگانسیم‌ها را متمایز می‌کند، چیزی که ماده‌ی زنده را قادر به انجام کارهایی می‌کند که دور از دسترس ماده‌ی غیرزنده است. تفاوت از کجا می‌آید؟ حتی یک باکتری پست، رفتارهایی آن‌چنان شگفت و خیره‌کننده دارد که هیچ مهندس انسانی را یارای مقابله با آن نیست. حیات به معجزه می‌ماند و رازهای آن زیر لفافه‌ای از پیچیدگی غیرقابل نفوذپوشانده شده است. پیشرفت‌های عظیم زیست‌شناسی در دهه‌های اخیر فقط به عمق اسرار آن افزوده است. چه چیزی به موجودات زنده این شور و حرارت را می‌بخشد که آن‌ها را به گونه‌ای چشمگیر و خاص از دیگر سیستم‌های فیزیکی جدا کند؟ و خاستگاه تمام این ویژگی‌ها کجاست؟ این‌ها پرسش‌های زیادی هستند و همین‌طور پرسش‌هایی بزرگ. من بیشتر زندگی حرفه‌ای خود را مشغول این پرسش‌ها بوده‌ام. من زیست‌شناس نیستم، بلکه فیزیکدان و کیهان‌شناسم، بنابراین، رهیافت من در مواجهه با پرسش‌های بزرگ، احتراز از بیشتر پیچیدگی‌های فنی و دنبال کردن اصول اساسی است. و این چیزی است که در کتاب حاضر انجام می‌دهم. سعی کرده‌ام روی معماها و مفاهیمی تمرکز کنم که در تلاش برای پاسخ دادن به این پرسش سوزان اهمیت دارند: حیات چیست؟ به هیچ‌وجه من نخستین فیزیکدانی نیستم که آن را می‌پرسد؛ من نقطه‌ی آغاز خود را مابین مجموعه‌ای از بحث‌های مشهور تحت عنوان حیات چیست؟ اروین شرودینگر، فیزیکدان کوانتومی بزرگ قرار می‌دهم که سه نسل پیش به پرسشی پرداخت که داروین از آن طفره رفته بود. اما تصور می‌کنم که ما اکنون در آستانه‌ی پاسخ دادن به پرسش شرودینگر هستیم و پاسخ در دوره‌ی تماماً جدیدی از علم به دست می‌آید.

شکاف بزرگی که فیزیک و زیست‌شناسی را از هم جدا می‌کند — قلمرو

اتم‌ها و مولکول‌ها را از ارگانیسیم‌های زنده — بدون مفاهیم بنیادین جدید، قابل پل زدن نیست. ارگانیسیم‌های زنده هدف و مقصود دارند — محصول میلیاردها سال تکامل — در حالی که اتم‌ها و مولکول‌ها، کورکورانه از قوانین فیزیک تبعیت می‌کنند. اما حیات باید نتیجه‌ی نوعی نظم باشد. هرچند نیاز به مفهوم‌سازی مجدد از حیات به منزله‌ی پدیده‌ای فیزیکی مورد توجه گسترده‌ی جامعه‌ی علمی قرار گرفته، اما دانشمندان گاهی این واقعیت را که درک کامل ماهیت و منشأ حیات چقدر می‌تواند چالش برانگیز باشد، دست کم می‌گیرند. جستجو برای «حلقه‌ی مفقوده‌ای» که بتواند زنده و غیرزنده را در چارچوبی واحد به هم پیوند دهد به زمینه‌ی علمی کاملاً نوینی در حد واسط زیست‌شناسی، فیزیک، محاسبات و ریاضیات، منجر شده است. این زمینه‌ی علمی نه تنها در ایجاد امید برای توضیح کامل حیات موفق بوده بلکه در گشودن راهی برای کاربردهایی که به همراه متحول کردن فناوری نانو، به پیشرفت‌های تعیین‌کننده در پزشکی منتهی خواهد شد، به بلوغ رسیده است. مفهوم وحدت بخشی که در پشت این تغییر قرار دارد اطلاعات است، البته نه به مفهوم معمولی و روزمره‌ی آن بلکه به عنوان کمیتی انتزاعی که همانند انرژی می‌تواند به ماده جان دهد. الگوهای جریان اطلاعات می‌تواند با فراریز شدن از طریق از سلول‌ها، چرخش در مغزها، شبکه‌بندی مابین اکوسیستم‌ها و جوامع و به نمایش گذاشتن پویایی سیستماتیک خود، حیات خاص خود را داشته باشند. از چنین آشوب و هیجان غنی و پیچیده‌ای از اطلاعات است که مفهوم نیروی حیاتی (agency) به همراه روابطی که با خودآگاهی، اراده‌ی آزاد و دیگر معماهای آزار دهنده دارد، پدیدار می‌شود. در مسیری که موجودات زنده، اطلاعات را در الگوهایی سازمان یافته مرتب می‌کنند، همین جا هست که نظم متمایز حیات از آشوب قلمرو مولکولی سربرمی‌آورد.

دانشمندان برای پی بردن به قدرت اطلاعات به منزله‌ی علتی که واقعاً می‌تواند در جهان تفاوت ایجاد کند، در آغاز راه هستند. طی چند سال اخیر، قوانینی که اطلاعات، انرژی، گرما و کار را به هم پیوند می‌دهند، در مورد ارگانیسیم‌های زنده، از سطح DNA و از طریق سازوکارهای سلولی تا علوم اعصاب و سازمان اجتماعی که حتی تا مقیاس سیاره‌ای گسترش می‌یابد، به کار

گرفته شده‌اند. با نگاه از ذره‌بین نظریه‌ی اطلاعات، تصویری که از حیات نمایان می‌شود، بسیار فراتر از دلالت زیست‌شناسی سنتی است که عمدتاً روی آناتومی و فیزیولوژی تأکید دارد.

در گردآوری محتوای این کتاب افراد زیادی به من کمک کرده‌اند. تعداد زیادی از ایده‌هایی که معرفی می‌کنم با مشارکت همکارم سارا واکر معاونت مرکز مفاهیم بنیادین علوم بوده که در پنج سال گذشته تأثیر بزرگی بر طرز فکر من داشته است. سارا در اشتیاق من برای جستجوی نظریه‌ی وحدت یافته‌ی بزرگ فیزیک و زیست‌شناسی که با محوریت مفهوم اطلاعات سازماندهی شده است، سهم عمده‌ای دارد. به گفته‌ی او حیات، حد و مرز بزرگ بعدی در دانش فیزیک است. من همچنین از بحث‌هایی که با دانشجویان و محققان پسادکتری در دانشگاه ایالتی آریزونا (ASU) داشته‌ام، بهره‌های فراوانی برده‌ام. باید اشاره‌ی ویژه‌ای به آلیسا آدامز، هیونجو کیم و کول متیس داشته باشم. مابین همکاران مبرز من در ASU، آتنا آکتیپیس، آریل آنبار، مانفرد لوبشلر، استوارت لیندسی، مایکل لینچ، کارلو مالی، تیموتی نیومن، و تد پاولیک کمک‌های خاص کرده‌اند. باید از نشر پنگوئن و به ویژه تام پن، کلو کارنز و سارا دی برای ویرایش تحسین‌انگیز کتاب تشکر کنم.

تشکر آخر من از پائولین دیویس است که با دقت، سه پیش‌نویس کامل را مطالعه و با حاشیه نویسی سنگین، برای تجدید نظر پس فرستاد. ما جنبه‌های فنی کتاب را در طول سال گذشته به طور روزانه مورد بحث قرار دادیم و محتوای کتاب به کمک او به وفور اصلاح شد. بدون سرسختی، حمایت، زبان بازی‌های بی‌امان و تیز هوشی او، این کار هرگز به طور رضایت‌بخش به پایان نمی‌رسید.

پُل دیویس

حیات چیست؟

فوری‌هی سال ۱۹۴۳، اروین شرودینگر فیزیکدان، مجموعه‌ای از بحث‌ها را تحت عنوان حیات چیست؟، در ترینیتی کالج در دوبلین ارائه کرد. شرودینگر شهرت جهانی داشت، او برنده‌ی جایزه‌ی نوبل و از معماران اصلی نظریه‌ی کوانتوم بود که موفق‌ترین نظریه‌ی علمی تاریخ به شمار می‌رود. این نظریه در چند سال نخست فرمول‌بندی خود در دهه‌ی ۱۹۲۰، پیشاپیش، ساختار اتم‌ها، خواص هسته‌ی اتمی، رادیواکتیویته، رفتار ذرات زیراتمی، پیوندهای شیمیایی، خواص گرمایی و الکتریکی جامدات و پایداری ستارگان را توضیح داده بود.

سهم خود شرودینگر در سال ۱۹۲۶ با معادله‌ی جدیدی شروع شده بود که هنوز به نام خود اوست و توضیح می‌دهد که چگونه الکترون‌ها و ذرات زیراتمی دیگر برهم‌کنش و حرکت می‌کنند. دهه‌ی متعاقب آن، با پیشرفت‌های اساسی، تقریباً در تمامی مرزها از کشف پادماده و انبساط جهان گرفته تا پیش‌بینی نوترینوها و سیاه‌چاله‌ها که، عمدتاً از قدرت مکانیک کوانتومی در توضیح دنیای اتمی و زیراتمی ناشی می‌شد، دوره‌ای طلایی برای فیزیک بود. اما آن روزهای سرخوشی ناگهان با آغاز جنگ در سال ۱۹۳۹ به سر آمد. بسیاری از دانشمندان با فرار از دست نازی‌ها برای همکاری با متفقین به بریتانیا یا ایالات متحده گریختند. پس از اشغال اتریش توسط نازی‌ها در سال ۱۹۳۸، شرودینگر با پیوستن به این مهاجرت تصمیم به اقامت در ایرلند بی‌طرف گرفت. ایمون دو والرا، رئیس جمهور ایرلند، که خود نیز فیزیکدان بود در سال ۱۹۴۰، موسسه‌ی تحقیقات پیشرفته‌ی جدیدی در دوبلین بنا نهاد. این خود والرا بود که شرودینگر را به ایرلند دعوت کرد و او به مدت شانزده سال با همسرش در آن جا ماندگار شد.

در دهه‌ی ۱۹۴۰ زیست‌شناسی به طور قابل توجهی از فیزیک عقب افتاد. جزئیات فرآیندهای اساسی حیات کاملاً اسرارآمیز ماندند. از این گذشته، حتی به نظر می‌رسید که ماهیت حیات، یکی از قوانین بنیادین فیزیک — یعنی قانون

دوم ترمودینامیک — را که طبق آن، گرایی جهانی به سمت تباهی و بی‌نظمی وجود دارد نقض می‌کند. شرویدینگر در بحث‌های دوبلین، مسئله را به صورتی که می‌دید طرح کرد: رویدادهای فضا و زمان که در درون مرزهای فضایی یک ارگانیسم زنده اتفاق می‌افتند، چگونه می‌توانند به فیزیک و شیمی دلالت کنند؟ به عبارت دیگر، آیا خواص گیج‌کننده‌ی ارگانیسم‌های زنده، می‌توانند نهایتاً به فیزیک اتمی یا واقعیت جاری دیگری فروکاسته شوند؟ شرویدینگر انگشت روی موضوع اصلی گذاشت. لازمه‌ی اینکه حیات بتواند با سرپیچی از قانون دوم ترمودینامیک، نظم را از بی‌نظمی ایجاد کند، وجود مولکولی بود که به طریقی بتواند دستورالعمل‌های پی‌ریزی ارگانیسمی را رمز گذاری کند و در همان حال از پیچیدگی لازم برای گنجایش مقادیر عظیمی از اطلاعات و پایداری لازم برای مقابله با آثار مخرب ترمودینامیک برخوردار باشد. اکنون می‌دانیم که این موجود همان مولکول DNA است.

در نتیجه‌ی بینش‌های عمیق شرویدینگر که یک سال بعد به صورت کتابی منتشر شد، موضوع زیست‌شناسی مولکولی تحولی انفجاری را تجربه کرد. آشکار شدن ساختار مولکول DNA، گشوده شدن رمز ژنتیکی و درهم آمیختن ژنتیک با نظریه‌ی تکامل به سرعت جامه‌ی عمل پوشیدند. موفقیت‌های زیست‌شناسی مولکولی چنان سریع و گسترده بودند که بیشتر دانشمندان دیدگاه قابلیت فروکاهش قوی را اختیار کردند: در حقیقت به نظر می‌رسید که خواص اعجاب‌آور ماده‌ی زنده می‌تواند در نهایت، فقط برحسب فیزیک اتم‌ها و مولکول‌ها، بدون نیاز به چیزی اساساً جدید توضیح داده شود. اما خود شرویدینگر چندان خوشبین نبود: او نوشت «... ماده‌ی زنده، در حالی که قوانین شناخته‌شده‌ی فیزیک را نقض نمی‌کند، ممکن است تابع قوانین دیگری از فیزیک باشد که هنوز ناشناخته‌اند.» [۱] در این طرز فکر او تنها نبود. پایه‌گذاران دیگر مکانیک کوانتومی، مانند نیلس بور و ورنر هایزنبرگ نیز احساس کردند که ماده‌ی زنده، نیازمند فیزیک جدیدی است.

واگشت‌گرایی / تقلیل‌گرایی قوی هنوز هم در زیست‌شناسی رواج دارد. دیدگاه میانه‌رو معتقد است که فیزیک موجود به تنهایی، همه‌ی چیزی است که برای توضیح حیات نیاز داریم حتی اگر بیشتر جزئیات به تمامی استخراج نشده

باشند. من موافق نیستم. من نیز چون شرودینگر باور دارم که ارگانسیم‌های زنده، جلوه‌گاه اصول فیزیکی نوین و ژرفی هستند که در آستانه‌ی کشف و مهار کردن آن‌ها قرار داریم. چیزی که این بار تفاوت دارد و چرایی طولانی شدن کشف راز واقعی حیات را برملا می‌کند، این است که فیزیک جدید صرفاً موضوع نوع اضافه‌ای از نیرو - «نیروی حیاتی» - نیست بلکه چیزی به تمامی موشکافانه است، چیزی که ماده و اطلاعات، کل‌ها و جزء‌ها و سادگی و پیچیدگی را در هم می‌آمیزد. این «چیزی» موضوع محوری کتاب حاضر است.

کادر ۱: معمای جادویی

با پرسیدن «حیات چیست؟» هیاهویی در ذهن ما به پا می‌شود. ارگانسیم‌های زنده خود را بازتولید می‌کنند، نوآوری بی‌حد و مرزی را از طریق تکامل کاوش می‌کنند، با ناوبری در فضای امکان‌ها در طول مسیرهای غیرقابل پیش‌بینی، سیستم‌ها و ساختارهای کاملاً جدیدی ابداع می‌کنند، برای محاسبه‌ی راهبردهای بقا، الگوریتم‌های پیچیده‌ای را به کار می‌برند، از آشوب، نظم می‌آفرینند، خلاف روند کیهانی بی‌نظمی و تباهی حرکت می‌کنند، اهداف روشنی را به نمایش می‌گذارند و برای رسیدن به آن‌ها، منابع متنوعی را در اختیار می‌گیرند، شبکه‌هایی با پیچیدگی‌های غیرقابل تصور تشکیل می‌دهند، همکاری و رقابت می‌کنند... و این فهرست ادامه دارد. برای پاسخ دادن به پرسش شرودینگر، باید با ربط دادن همه‌ی موارد بالا در دو سوی سه نقطه از طیف وسیعی از علوم، تمام این خواص را در چارچوب نظریه‌ای سازمان یافته در نظر بگیریم. این نوعی ماجراجویی عقلانی است که مبانی منطق و ریاضیات، پارادوکس‌های خود ارجاعی، نظریه‌ی محاسبات، علم موتورهای گرمایی، دستاوردهای رو به رشد نانوفناوری، مبحث جدید ترمودینامیک دور-از-تعادل و حوزه‌ی معماگونه‌ی فیزیک کوانتومی را در هم می‌آمیزد. جنبه‌ی وحدت بخش همه‌ی این موضوعات، اطلاعات است، مفهومی که در دید نخست آشنا و کاربردی و در همان حال مجرد و ریاضی است که در مبانی زیست‌شناسی و فیزیک جای دارد.

این نوشته‌ی محشر چارلز داروین است: «تصور مجموعه‌ی درهم بافته‌ای

از گیاهان گوناگون، با پرندگانی که بر شاخه‌های درختان آواز سر می‌دهند، با حشرات متنوعی که به این سو و آن سو می‌روند و کرم‌هایی که در زمین گل‌آلود می‌لولند، و این کشف که شکل‌هایی با این دقت و ظرافت و این چنین متفاوت و در همان حال به طریق پیچیده‌ای وابسته به هم، همگی با قوانین حاکم بر محیط اطراف ما ایجاد شده‌اند، بسیار جالب است.» [۲] آنچه را که داروین مجسم نکرد این بود که دشوارتر از این پیچیدگی مادی (سخت افزار حیات)، پیچیدگی اطلاعاتی خیره‌کننده‌تری (نرم افزار حیات) است که پنهان از نظر، اما هدایتگری به سوی انطباق‌پذیری و نوآوری است. اینجا و در قلمروی اطلاعات است که با قدرت واقعی خلاقیت حیات روبرو می‌شویم. اکنون دانشمندان روایت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری را در نظریه‌ی نوینی از حیات درهم می‌آمیزند که شاخه‌بندی‌های گسترده‌ای، از زیست‌شناسی ستاره‌ای تا پزشکی دارد.

خداحافظ نیروی حیاتی

ارگانسیم‌های زنده در طول تاریخ قابلیت‌های عجیبی، مانند توانایی حرکت خودبه‌خودی، بازسازی محیط و بازآفرینی را از خود به نمایش گذاشته‌اند. ارسطوی فیلسوف در این امر ناموفق بود تا این غیریت اغفال‌گر را با مفهومی که به غایت‌شناسی — مشتق از واژه‌ای یونانی به معنای هدف یا غایت — معروف است معنا کند. ارسطو مشاهده کرد که ارگانسیم‌های زنده، ظاهراً براساس نقشه یا پروژه‌ای از پیش طراحی شده رفتار می‌کنند و کنش‌های آن‌ها به سمت وضعیتی نهایی سوق داده می‌شود، چه این کنش‌ها تهیه غذا و ساختن آشیانه باشد چه تولید مثل جنسی.

در دوره‌ی علمی اولیه، این دیدگاه مورد تأکید بود که موجودات زنده از نوعی ماده‌ی جادویی یا لاقل از ماده‌ای معمولی ساخته شده‌اند که جزئی اضافی بر آن بار شده است. این دیدگاه به ویتالیسم (اصالت حیات) معروف بود. ابهام فقط در ماهیت این جزء اضافه بود؛ پیشنهادها شامل هوا (تنفس حیات)، الکتریسیته یا چیزی مرموز مانند روح بود. جزء مورد بحث هرچه که باشد، این فرض که نوع خاصی از «نیروی حیاتی» یا انرژی اثیری در خدمت جان

بخشیدن به ماده است، تا قرن نوزدهم رواج داشت.

با اصلاحاتی که در فنون علمی به عمل آمد، مانند استفاده از میکروسکوپ‌های قوی، زیست‌شناسان، شگفتی‌های بیشتر و بیشتری را که به نظر می‌رسید نیازمند وجود نیروی حیاتی هستند، تجربه کردند. یکی از معماهای اصلی، تکامل جنین بود. چه کسی بود که از فرآیند رشد تک سلول گشوده‌ی تخمک (یا سلول تخم) که با چشم غیر مسلح دیده نمی‌شد، به بچه‌ای کامل، شگفت زده نشود؟ چه چیزی سازماندهی پیچیده‌ی جنین را هدایت می‌کند؟ جنین چگونه می‌تواند به شکلی اطمینان بخش به پی‌آمدی این چنین منظم تحول یابد؟ هانس دریش جنین‌شناس آلمانی، با مجموعه‌ای از آزمایش‌هایی که در سال ۱۸۸۵ انجام داد شوکه شد. دریش سعی کرد با ناقص کردن جنین‌های خارپشت دریایی — قربانی مورد علاقه‌ی زیست‌شناسان — فقط به نحوه‌ی بازسازی و تکامل عادی آن‌ها پی ببرد. او دریافت که حتی این امکان وجود دارد که با جلوگیری از انبوه شدن و تکامل توده سلولی در مرحله چهارتایی، هر سلول را به طور جداگانه به یک خارپشت دریایی رشد داد. نتایجی از این دست، این احساس را به دریش داد که سلول‌های جنینی، از شکل آخرین که قصد ایجاد آن را دارند، نوعی «ایده‌ی پیشاپیش» دارند که به طور زیرکانه‌ای دخالت آزمایشگران را خنثی می‌کند. چنان بود که گویی دستی نامرئی بر رشد و تکامل آن‌ها نظارت دارد و در صورت نیاز تصحیحات بینابینی را اعمال می‌کند. برای دریش، این واقعیت‌ها شامل مدارک متقنی از وجود طبایع حیاتی بود که او آن را کمال (entelechy) نامید که در یونانی به معنای «شکل نهایی و کامل» است، ایده‌ای که ارتباطی نزدیک با مفهوم غایت‌شناسی ارسطویی دارد.

اما نیروی حیاتی رفته رفته در حال مشکل‌ساز شدن بود. چنان نیرویی برای اینکه واقعاً بتواند کاری انجام دهد — مانند تمام نیروها — می‌بایست قادر به حرکت دادن ماده باشد. و در نگاه نخست به نظر می‌رسید که ارگانیسم‌ها برای داشتن منبع درونی قدرت محرک، خود-انگیخته هستند. اما اعمال هرگونه نیرویی، مستلزم صرف انرژی است. بنابراین اگر «نیروی حیاتی» حقیقت داشته باشد، باید بتوان انتقال انرژی را اندازه گرفت. در دهه‌ی ۱۸۴۰، هرمان فون هلمهولتز، فیزیکدان آلمانی این موضوع را با اشتیاق زیاد بررسی کرد. او طی آزمایش‌هایی، پالس‌های

الکتریکی را به ماهیچه‌هایی که از قورباغه‌ها گرفته شده بود اعمال کرد که این باعث تکان ناگهانی آن‌ها می‌شد و با دقت، تغییرات دمایی کوچکی را که با این تکان‌ها همراه بودند، اندازه گرفت. هلمهولتز نتیجه گرفت که این، انرژی شیمیایی ذخیره شده در عضلات است که در اثر ضربه‌ی الکتریکی، به انرژی مکانیکی لازم برای تکان ناگهانی تبدیل شده و متعاقباً به صورت گرما درمی‌آید. سرفصل‌های انرژی، بدون وجود مدرکی از نیاز به نیروهای حیاتی، موازنه شدند. با این حال، محو شدن کامل ویتالیسم چند دهه‌ی دیگر به طول انجامید.^۱

اما حتی بدون نیروی حیاتی، فرار از این احساس که چیزی خاص در مورد حیات وجود دارد دشوار است. و پرسش این است، چه چیزی؟

به عنوان یک دانشجو، با مطالعه‌ی کتاب حیات چیست؟ شرودینگر، شیفته‌ی این معما شدم. در سطح اول جواب سراسر است: ارگانسیم‌های زنده، باز تولید می‌کنند، سوخت و ساز دارند، به محرک‌ها پاسخ می‌دهند و مانند آن. اما صرفاً فهرست کردن خواص حیات به معنای توضیحی که شرودینگر در جستجوی آن بود، نیست. به همان اندازه که کتاب شرودینگر برای من الهام بخش بود، متوجه شدم که توضیح او به طرز ناامیدکننده‌ای ناکافی است. برای من روشن بود که حیات باید دربرگیرنده‌ی چیزی بیش از فیزیک اتم‌ها و مولکول‌ها باشد. هرچند شرودینگر پیشنهاد کرد که نوعی فیزیک جدید باید درکار باشد اما نگفت که چه نوع فیزیکی. پیشرفت‌های بعدی در زیست‌شناسی مولکولی و فیزیک زیستی (بیوفیزیک) سرخ‌هایی چند به دست داد. اما اخیراً طرحی کلی از حل مسئله پدیدار شده است که از رویکرد کاملاً نوینی حاصل می‌شود.

سرچشمه‌های شکفت حیات

در جهان هستی، فلزات پایه، فقط می‌توانند توسط ستارگان و موجودات هوشمندی که فرآیندهای نیروگاه‌های ستاره‌ای را می‌شناسند به طلا استحاله یابند و نه چیز دیگر.

دیوید دویچ [۳]

۱. اصالت حیات همچنین دچار نزدیکی معنا به روح‌گرایی زودگذر قرن نوزدهمی با داستان‌های عجیب آن درباره‌ی انرژی روحی و اجساد اثری شده بود.

دست یافتن به پاسخ این پرسش شروودینگر که «حیات چیست؟» به معنای کنار گذاشتن خواصی است که زیست‌شناسان به طور سنتی فهرست می‌کنند و شروع تفکر درباره‌ی موجودات زنده به روشی کاملاً جدید است. برسید اگر حیات نبود جهان تفاوتی می‌کرد؟ این جزئی از اطلاعات عمومی ما هست که بخشی از سیاره‌ی ما با زیست‌شناسی شکل گرفته است: وجود اکسیژن در جو، تشکیل ترکیبات معدنی، آثار جهانی فناوری انسانی. بسیاری از فرآیندهای غیرزنده نیز سیاره‌ی ما را از نو شکل می‌دهند. فوران‌های آتشفشانی، برخورد شهاب سنگ‌ها، یخبندان. تمایز اساسی در این است که حیات، فرآیندهایی را پیاده می‌کند که به روش‌های دیگر، نه فقط نامحتمل بلکه غیرممکن‌اند. چه چیز دیگری می‌تواند نیمی از دنیا را با دقت (پرستوی دریایی) پرواز کند، نور خورشید را با بازده ۹۰ درصدی به انرژی الکتریکی تبدیل کند (برگ درختان) یا شبکه‌های پیچیده‌ای از تونل‌های زیرزمینی ایجاد کند (موریانه‌ها)؟

البته فناوری بشری نیز — به عنوان محصولی از حیات — می‌تواند همه‌ی این‌ها و بیش از آن را انجام دهد. برای نشان دادن آن: طی ۴/۵ میلیارد سالی که از شکل‌گیری منظومه‌ی شمسی گذشته است، زمین مواد را از طریق برخورد شهاب سنگ‌ها و ستاره‌های دنباله‌دار، در خود انباشته — به زبان فنی «رشد توام» — است. اشیایی با اندازه‌های مختلف از صدها کیلومتر عرض تا شهاب سنگ‌های خرد در طول تاریخ سیاره‌ی ما بر آن باریده‌اند. بیشتر مردم درباره‌ی شهاب سنگ بزرگ مکزیکو شنیده‌اند که ۶۵ میلیون سال قبل موجب انقراض دایناسورها شد. اما این تنها یک نمونه از موارد بسیار است. ائون‌های^۱ بمباران به این معناست که سیاره‌ی ما اندکی سنگین‌تر از چیزی است که در گذشته‌ی دور بوده است. اما از سال ۱۹۵۸ پدیده‌ی «ضد رشد» اتفاق افتاده است. بدون وقوع نوعی فاجعه‌ی زمین‌شناختی، دسته‌ی بزرگی از اشیاء به راه دیگری رفتند — از زمین به فضا، برای سفر به ماه و سیارات، بعضی به فضای خالی که اکثراً در مداری به دور زمین می‌چرخند. پیش آمدن این وضعیت تنها براساس قوانین مکانیک و تحول سیاره‌ای غیرممکن است اما به آسانی با فناوری موشکی بشری توضیح داده می‌شود.

۱. آبردوران یا ائون، یکی از تقسیمات زمانی در زمین‌شناسی است که بازه‌های نیم میلیارد سال یا بیشتر را دربر می‌گیرد. م

مثالی دیگر. وقتی منظومه‌ی شمسی شکل گرفت کسر کوچکی از موجودی اولیه‌ی آن شامل عنصر پلوتونیوم بود. از آنجا که نیم عمر پایدارترین ایزوتوپ پلوتونیوم حدود ۸۱ میلیون سال است، اکنون باید تمام پلوتونیوم اولیه عملاً از بین رفته باشد. اما در سال ۱۹۴۰، پلوتونیوم به عنوان نتیجه‌ای از آزمایش‌های فیزیک هسته‌ای دوباره بر روی زمین پدیدار شد؛ تخمین زده می‌شود که در حال حاضر هزاران تن از آن وجود دارد. بدون حیات، ظهور ناگهانی پلوتونیوم زمینی، آشکارا غیر قابل توضیح است. هیچ خط سیر باورپذیری برای سیاره‌ی مرده‌ی ۴/۵ میلیارد ساله‌ای با ترکیبات پلوتونیوم وجود ندارد.

حیات این تغییرات را صرفاً به طور فرصت‌طلبانه انجام نمی‌دهد بلکه تنوع و تطابق ایجاد می‌کند، به موقعیت‌های خوب چنگ می‌زند و گاهی به روش‌های غیرعادی، سازوکارهای نوغ‌آمیزی را برای ساختن یک زندگی ابداع می‌کند. سه کیلومتر زیر زمین در معدن طلای امپونگ در آفریقای جنوبی، جمعیت‌هایی از باکتری‌های عجیب در منافذ میکروسکوپی بسیار گرم صخره‌های حاوی طلا و بدور از زیست‌کره‌ی سیاره‌ی ما، لانه کرده‌اند. نه نوری برای نگهداری آن‌ها وجود دارد و نه ماده خام ارگانیکی برای تغذیه. منشأ وجود متزلزل میکروب‌ها، به طور متحیرکننده‌ای پدیده‌ی رادیواکتیویته است. تابش هسته‌ای ناشی از صخره‌ها که معمولاً برای موجودات زنده مرگبار است انرژی کافی برای تجزیه‌ی آب به اکسیژن و هیدروژن مورد نیاز ساکنان زیر زمینی را فراهم می‌کند. نوعی از باکتری به نام دیسولفورودیس اوداکسی‌ویاتور، سازوکارهایی را برای بکارگیری محصولات شیمیایی فرعی تابش ابداع کرده و با ترکیب هیدروژن با دی‌اکسید کربن محلول در آب داغی که صخره‌ها را اشباع می‌کنند، توده‌ی زیستی تولید می‌کند.

۱۸ هزار کیلومتر آن‌سوتر، در قلب خشکیده‌ی صحرای آتاکاما در شیلی، خورشید خشن بر فراز چشم‌اندازی منحصربه‌فرد طلوع می‌کند. تا جایی که چشم کار می‌کند صخره و ماسه است، بی‌هیچ نشانه‌ای از زندگی. نه پرنده‌ای نه حشره‌ای و نه گیاهی که این چشم‌انداز را زینت دهد. نه جنبشی جز غبار هست و نه وصله‌ی سبزی که حتی حضور خزه‌ای را آشکار کند. تمام گونه‌های حیات به آب مایع نیاز دارند و در ناحیه آتاکاما هیچ بارانی نمی‌بارد و این، آنجا را به