

اختر فیزیک
برای افراد بی قرار

اخترفیزیک برای افراد بی قرار

نیل دگراس تاپسن

ترجمه‌ی

قاسم کیانی مقدم

زمت‌لانت ماریار

فهرست مطالب

۷	پیشگفتار
۹	فصل اول: بزرگ‌ترین داستانی که تاکنون گفته شده
۱۹	فصل دوم: روی زمین همچون آسمان‌ها
۲۷	فصل سوم: بگذار نور باشد
۳۵	فصل چهارم: میان کهکشان‌ها
۴۳	فصل پنجم: ماده‌ی تاریک
۵۳	فصل ششم: انرژی تاریک
۶۵	فصل هفتم: کیهان در جدول
۷۵	فصل هشتم: درباره‌ی گرِد بودن
۸۳	فصل نهم: نور نامرئی
۹۳	فصل دهم: میان سیاره‌ها
۱۰۱	فصل یازدهم: زمین فراخورشیدی
۱۰۹	فصل دوازدهم: تأملاتی در باب دیدگاه کیهانی
۱۱۷	نمایه

برای تمام کسانی که فرصت خواندن کتاب‌های قطور را ندارند،
ولیکن در پی یافتن روزنی به کیهان هستند.

پیشگفتار

در سال‌های اخیر، تقریباً هر هفته خبر از کشفیات کیهانی جدیدی به گوش می‌رسد که شایسته‌ی سرخط اعلان‌ها است. درست است که رسانه‌های گروهی علاقه‌ی بیشتری به اخبار گیتی نشان می‌دهند، ولی این افزایش علاقه احتمالاً ناشی از افزایش واقعی اشتیاق مردم برای علم است. شواهد فراوانی بر این امر دلالت می‌کند، از نمایش‌های پریننده‌ی تلویزیونی که بر اساس علم یا با الهام از آن ساخته می‌شود، گرفته تا موفقیت فیلم‌های علمی-تخیلی با بازی هنرپیشه‌های مشهور که از سوی تولیدکنندگان و کارگردانان پرآوازه ساخته می‌شوند. تازه در این اواخر، فیلم‌های زندگی‌نامه‌ی دانشمندان بزرگ نیز تبدیل به ژانر ویژه‌ای شده‌اند. علاقه‌ی زیادی هم در سراسر جهان برای جشنواره‌های علمی، گردهمایی‌های علمی-تخیلی، و فیلم‌های مستند علمی تلویزیونی پدید آمده است.

پرفروش‌ترین فیلم تمام تاریخ فیلمی است از یک کارگردان مشهور که داستان آن در سیاره‌ای می‌گذرد که به دور ستاره‌ای دور دست می‌چرخد، و هنرپیشه‌ی زن مشهور آن نقش یک اخترزیست‌شناس را بازی می‌کند. گرچه در این عرصه تمام شاخه‌های علم پیشرفت زیادی داشته‌اند، ولی رشته‌ی اخترفیزیک مدام به جایگاه نخست صعود می‌کند. گمانم من علتش را بدانم. هر یک از ما، گهگاه به آسمان نگریم و از خود می‌پرسیم: تمام اینها چه معنی می‌دهد؟ اینها چطور کار می‌کند؟ و جایگاه من در گیتی کجا است؟

اگر فرصت ندارید از طریق کلاس درس، کتاب‌های درسی، یا فیلم‌های مستند با کیهان آشنا شوید، ولی در عین حال، خواهان آشنایی مختصر ولی معنی‌دار با این رشته هستید، کتاب اخترفیزیک برای افرادی قرار را به شما پیشنهاد می‌کنم. در این کتاب کوچک، آشنایی اساسی با تمام ایده‌ها و کشفیات عمده‌ای که محرک درک نوین ما از گیتی هستند، پیدا خواهید کرد. اگر در این کار موفق شوم، شما آگاهی فرهنگی قابل توجهی از رشته‌ی تخصصی من به دست خواهید آورد، و شاید هم عطشی برای بیشتر دانستن در شما ایجاد شود.

گیتی هیچ الزامی ندارد که برای شما معنی داشته باشد.

— ن.د.ت.

فصل ۱

بزرگ‌ترین داستانی که تاکنون گفته شده

از زمانی که گیتی به حرکت واداشته شد، همچنان در حرکت است.

همه چیز از این حرکت به وجود آمده است.

لوکرتیوس، ح. ۵۰ ق.م.

در آغاز، نزدیک به چهارده میلیارد سال پیش، تمام فضا و تمام ماده و تمام انرژی دنیای شناخته شده در حجمی کمتر از یک تریلیونم اندازه‌ی نقطه‌ای که در پایان این جمله است، قرار گرفته بود.

همه چیز چنان داغ بود که نیروهای اساسی طبیعت که بر روی هم گیتی را توصیف می‌کنند، به هم پیوسته بودند. این کیهان کوچک‌تر از سرسوزن، گرچه هنوز معلوم نیست چگونه به وجود آمده است، راهی جز منبسط شدن نداشت. آن هم با سرعت بالا. چیزی که امروزه به آن مهبانگ می‌گوییم.

نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین، که در سال ۱۹۱۶ ارائه شده است، درک امروزی ما از گرانش را پدید می‌آورد، که به موجب آن، وجود ماده و انرژی موجب خم شدن بافتار فضا و زمان در اطراف آن می‌شود. در دهه‌ی ۱۹۲۰، مکانیک کوانتومی کشف شد، که درک مدرن ما از تمام چیزهای کوچک را پدید می‌آورد، یعنی ملکول‌ها، اتم‌ها، و ذرات زیراتمی. ولی این دو درک از طبیعت رسماً با یکدیگر ناسازگارند، و از این‌رو، فیزیکدانان در تلاش‌اند با ادغام این نظریه‌ی چیزهای کوچک و این نظریه‌ی چیزهای بزرگ، یک نظریه‌ی واحد گرانش کوانتومی ارائه کنند. گرچه هنوز به خط پایان نرسیده‌ایم، ولی دقیقاً می‌دانیم موانع بزرگ در کجا قرار دارند. یکی از این موانع، در «عصر پلانک» از گیتی اولیه است. این بازه‌ی زمانی از $t=0$ تا $t=10^{-43}$ ثانیه (یک ده میلیون تریلیون تریلیون تریلیونم ثانیه) بعد از آغاز، و قبل از رسیدن پهنای گیتی به 10^{-35} متر (یک صد میلیارد تریلیون تریلیونم متر) است. فیزیکدان آلمانی، ماکس پلانک، که این کمیت‌ها که کوچکی آن‌ها فراتر از حد تصور است، به نام او نام‌گذاری شده‌اند، ایده‌ی انرژی کوانتیده را

در سال ۱۹۰۰ ارائه کرد و عموماً او را پدر مکانیک کوانتومی می‌دانند. برخورد بین گرانش و مکانیک کوانتومی هیچگونه مشکل عملی برای گیتی معاصر ایجاد نمی‌کند. اختر فیزیکدانان از اصول و ابزارهای نسبیّت عام و مکانیک کوانتومی برای انواع بسیار متفاوتی از مسایل استفاده می‌کنند. ولی در آغاز، در عصر پلانک، چیزهای بزرگ کوچک بود، و گمان می‌بریم که شاید نوعی پیوند بین این دو وجود داشته است. افسوس که چند و چون این پیوند هنوز برای ما ناشناخته مانده است، و لذا هیچگونه قوانین (شناخته شده‌ی) فیزیک نمی‌تواند رفتار گیتی در آن زمان را با اطمینان توصیف کند.

با این حال، تصور ما بر این است که در پایان دوره‌ی پلانک، گرانش از نیروهای دیگر طبیعت که هنوز متحد بودند، جدا شد و به هویت مستقلی رسید که بر اساس نظریه‌های کنونی ما به خوبی شرح داده می‌شود. به تدریج که عمر گیتی به 10^{-35} ثانیه رسید، به انبساط خود ادامه داد و موجب رقیق شدن تمام تراکم‌های انرژی گردید، و نیروهای وحدت یافته به صورت نیروهای «الکتروضعیف» و «هسته‌ای قوی» از هم جدا شدند. باز بعدتر، نیروی الکتروضعیف به نیروی الکترومغناطیسی و نیروی «هسته‌ای ضعیف» تجزیه شد و چهار نیروی متمایزی که امروزه می‌شناسیم و دوستشان داریم، پدید آمدند: بدین گونه که نیروی ضعیف و پاشی رادیواکتیو را کنترل می‌کند، نیروی قوی هسته‌ای اتم را پیوند می‌دهد، نیروی الکترومغناطیسی ملکول‌ها را به یکدیگر پیوند می‌دهد، و گرانش توده‌های ماده را به هم پیوند می‌دهد.

*

یک تریلیونم ثانیه از آغاز گذشته است.

*

در این اثنا، برهم کنش ماده به صورت ذرات زیراتمی، و انرژی به صورت فوتون‌ها (حامل‌های بدون جرم انرژی نور که هم موج‌اند و هم ذره)، بی‌وقفه ادامه داشت. گیتی آن قدر داغ بود که این فوتون‌ها خود به خود انرژی خود را به زوج‌های ذرات ماده-پادماده تبدیل می‌کردند که بلافاصله بعد از آن نابود می‌شدند و انرژی خود را به فوتون‌ها بازمی‌گرداندند. بله، پادماده واقعی است. و ما بودیم که آن را کشف کردیم، نه نویسندگان علمی-تخیلی. این دگرذیسی‌ها کاملاً تابع معادله‌ی معروف اینشتین است: $E = mc^2$ ، که دستوری است دو طرفه که مشخص می‌کند انرژی شما

به چقدر ماده می‌ارزد و ماده‌ی شما به چقدر انرژی. c^2 مجذور سرعت نور است — عدد بسیار بزرگی که وقتی در جرم ضرب شود، مشخص می‌کند که از این عمل واقعاً چقدر انرژی حاصل می‌شود.

مدت کوتاهی قبل، چین، و بعد از جدا شدن نیروهای قوی و الکتروضعیف از یکدیگر، دنیا مانند سوپ جوشانی از کوارک‌ها، لپتون‌ها، و همتهای پادماده‌ی آن‌ها بود، به همراه بوزون‌ها، که ذراتی هستند که امکان برهم‌کنش آن‌ها را فراهم می‌کنند. هیچ‌کدام از این ذرات گمان نمی‌رود قابل تقسیم به چیز کوچک‌تر یا اساسی‌تری باشند، گرچه هرکدام انواع متعددی دارند. فوتون معمولی عضوی از خانواده‌ی بوزون است. لپتون‌هایی که برای افراد غیرفیزیکدان آشنا تر هستند، الکترون و شاید نوترینو باشند؛ و آشنا ترین کوارک‌ها... u ، d ، کوارک‌ آشنایی وجود ندارد. به هرکدام از شش زیرگونه‌ی آن‌ها نامی انتزاعی داده‌اند که هیچ مقصود زبان‌شناختی، فلسفی، یا آموزشی خاصی را برآورده نمی‌سازد، جز اینکه آن را از دیگران متمایز می‌کند: بالا و پایین، شگفت و افسون، و سر و ته.

در ضمن، بوزون‌ها به نام دانشمند هندی، ساتیندرانات بوز، نام‌گذاری شده‌اند. کلمه‌ی «لپتون» از کلمه‌ی یونانی $\lambda\epsilon\tau\omega\varsigma$ گرفته شده است، که به معنای «سبک» یا «کوچک» است. ولی خود کلمه‌ی «کوارک» سرچشمه‌ای ادبی و بسیار تخیلی‌تر دارد. فیزیکدانی به نام ماری گلمن که در سال ۱۹۶۴ وجود کوارک‌ها را به عنوان اجزای تشکیل‌دهنده‌ی نوترون‌ها و پروتون‌ها پیشنهاد کرد و در آن زمان فکر می‌کرد که خانواده‌ی کوارک فقط سه عضو دارد، این نام را از عبارت دور از ذهنی در کتاب خواب‌بیداری فینگن‌ها نوشته‌ی جیمز جویس انتخاب کرد: «سه کوارک برای ماسترمارک!» کوارک‌ها یک چیزشان خیلی خوب است و آن اینکه نام‌های ساده‌ای دارند — چیزی که گویی شیمیدان‌ها، زیست‌شناسان، و به‌خصوص زمین‌شناسان در هنگام نام‌گذاری کشفیات‌شان از آن ناتوان‌اند.

کوارک‌ها چیزهای غریبی هستند. بر خلاف پروتون‌ها که هرکدام بار الکتریکی $+1$ دارند و الکترون‌ها که هرکدام بار الکتریکی -1 دارند، کوارک‌ها بار کسری و مضربی از یک سوم دارند. هیچ‌گاه هم نمی‌توان یک کوارک را به تنهایی گیر آورد؛ همیشه هر کوارک به کوارک‌های نزدیک خود می‌چسبد. در واقع، نیرویی که دو (یا چند) کوارک را به هم می‌چسباند، با افزایش فاصله بین کوارک‌ها، قوی‌تر می‌شود — انگار که با نوعی نوار لاستیکی زیرهسته‌ای به هم متصل شده‌اند. اگر کوارک را چنان بکشیم که از بقیه کوارک‌ها جدا شود آنگاه نوار پاره

می‌شود و انرژی ذخیره شده در آن بر طبق معادله $E = mc^2$ در دو انتها، کوآرک تازه‌ای خلق می‌کند و برمی‌گردیم سر جای اول‌مان.

در عصر کوآرک-لپتون، جهان هستی آنقدر چگال بود که فاصله متوسط بین کوآرک‌های جدا افتاده بر فاصله‌ی بین کوآرک‌های بهم چسبیده می‌چربید. تحت این شرایط، کوآرک‌های مجاور به هم وفادار نماندند و به جای این که مجموعه‌ای از کوآرک‌های بهم چسبیده را تشکیل دهند، آزادانه بین یکدیگر حرکت می‌کردند. کشف این حالت ماده را که همچون نوعی پاتیل کوآرکی است، برای نخستین بار، تیمی از فیزیکدانان در آزمایشگاه‌های ملی بروک‌هیون در لانگ آیلند، نیویورک، در سال ۲۰۰۲ گزارش کردند.

شواهد نظری قوی نشان می‌دهد که در زمانی در اوایل تشکیل گیتی، شاید در حین یکی از موارد جدا شدن نیروها، عدم تقارن مهمی در گیتی رخ داده است، به طوری که ذرات ماده اندکی از ذرات پادماده بیشتر بوده است: به نسبت یک میلیارد و یک ماده در مقابل یک میلیارد پادماده. چنین تفاوت اندکی در جمعیت، در میان رخداد پیوسته‌ی ایجاد، نابودی، و ایجاد مجدد کوآرک‌ها و پادکوآرک‌ها، الکترون‌ها و آنتی‌الکترون‌ها (که به نام پوزیترون معروف‌ترند)، و نوترینوها و آنتی‌نوترینوها، به سختی قابل شناسایی بود. آن ذره‌ی اضافه مثل همه‌ی ذره‌های دیگر، فرصت زیادی داشت که ذره‌ی دیگری را پیدا کند و با آن نابود شود. ولی این زیاد طول نکشید. به تدریج که کیهان به انبساط و سرد شدن ادامه می‌داد و اندازه‌ی آن از منظومه‌ی شمسی ما بزرگ‌تر شد، دما به سرعت به زیر یک تریلیون کلوین سقوط کرد.

*

یک میلیونیم ثانیه از آغاز گذشته است.

*

این گیتی ولرم دیگر آنقدر داغ یا چگال نبود که به پختن کوآرک‌ها ادامه دهد، و از این‌رو، آن‌ها هرکدام شریکی برای رقص انتخاب کردند و خانواده‌ی دایمی جدیدی از ذرات سنگین به نام هادرون‌ها را پدید آوردند (از واژه‌ی یونانی هادروس، یعنی «ضخیم»). این گذار از کوآرک به هادرون خیلی زود منجر به ظهور پروتون‌ها و نوترون‌ها و نیز دیگر ذرات سنگین ناآشنا تر شد، که همگی آن‌ها متشکل از ترکیبات مختلفی از گونه‌های کوآرک بودند. در سرن سویس، گروه

فصل ۱: بزرگ‌ترین داستانی که تاکنون گفته شده ۱۳

فیزیک ذرات اروپا^۱ از یک شتاب‌دهنده‌ی بزرگ، برای برخورد دادن باریک‌های هادرون‌ها استفاده می‌کند، به این امید که شرایط آغازین را بازسازی کند. این دستگاه که بزرگ‌ترین ماشین جهان است، به شایستگی برخورددهنده‌ی بزرگ هادرون نامیده شده است.

عدم تقارن اندک ماده-پادماده که در سوپ کوارک-لپتون پدید آمده بود، اکنون به هادرون‌ها منتقل شد، ولی این بار پیامدهای خارق‌العاده‌ای در پی داشت.

همچنان که جهان به سرد شدن خود ادامه می‌داد، میزان انرژی موجود برای ایجاد خودبه‌خودی ذرات بنیادی کاهش می‌یافت. در دوره‌ی هادرونی، فوتون‌های اطراف دیگر نمی‌توانستند بر اساس معادله‌ی $E = mc^2$ زوج‌های کوارک-پادکووارک ایجاد کنند. نه فقط این، فوتون‌هایی که از نابودی‌های باقی‌مانده پدید می‌آمدند، انرژی خود را به دنیای در حال انبساط می‌دادند، و به زیر آستانه‌ی لازم برای ایجاد زوج‌های هادرون-پادهادرون سقوط می‌کنند. از هر یک میلیارد نابودی - که یک میلیارد فوتون پدید آمد - یک هادرون باقی ماند. این ذرات تنها بودند که در نهایت لذت همه چیز را می‌چشیدند: آن‌ها منبع نهایی ماده برای ایجاد کهکشان‌ها، ستارگان، سیارات، و دیگر اجرام آسمانی بودند.

هرگاه عدم‌توازن یک میلیارد و یک به یک میلیارد بین ماده و پادماده نبود، تمام جرم موجود در جهان خود را نابود می‌کرد و کیهانی بر جای می‌گذاشت که فقط از فوتون‌ها تشکیل شده بود و لاغیر - آنگاه سناریوی «بگذار که نور باشد» ازمی می‌شد.

*

تا حالا، یک ثانیه سپری شده است.

*

اکنون ابعاد گیتی به چند سال نوری رسیده است،^۲ تقریباً به اندازه‌ی فاصله‌ی خورشید تا نزدیک‌ترین ستاره‌های همسایه‌ی آن. با دمای یک میلیارد درجه، هنوز هم جهان هستی آن‌قدر داغ است که هنوز هم قادر به پختن الکترون‌ها باشد تا در کنار همتهای پوزیترونی خود مدام آفریده و نابود شوند. ولی در این جهان در حال انبساط و سرد شدن، روزهایشان (در واقع، ثانیه‌هایشان) ماندگار نبودند. آنچه

۱. مرکز پژوهش‌های هسته‌ای اروپا، که اغلب بر اساس سرنام آن سرن (CERN) نامیده می‌شود.
۲. یک سال نوری مسافتی است که نور در یک سال زمین می‌پیماید - تقریباً شش تریلیون مایل یا ده تریلیون کیلومتر.

بر سر کوارک‌ها و هادرون‌ها آمده بود، در نهایت، برای الکترون‌ها نیز مصداق پیدا کرد: نهایتاً از هر یک میلیارد الکترون فقط یکی از آن‌ها باقی ماند. بقیه‌ی الکترون‌ها، به همراه پوزیترون‌ها، که هم‌تاهای پادماده‌ای آن‌ها هستند، در دریایی از فوتون‌ها نابود شدند.

در این زمان، به ازای هر پروتون، یک الکترون مانده است. به تدریج که کیهان به سرد شدن ادامه می‌دهد – و دمای آن به کمتر از صد میلیون درجه می‌رسد – الکترون‌ها به پروتون‌ها و نوترون‌ها جوش می‌خورند و هسته‌های اتمی تشکیل می‌دهند، و دنیایی را پدید می‌آورند که در آن ۹۰٪ این هسته‌ها هیدروژن و ۱۰٪ آن‌ها هلیوم با مقادیر اندکی از آن‌ها دوتریم (هیدروژن «سنگین»)، تریتم (هیدروژن بازهم سنگین‌تر)، و لیتیم است.

*

از زمان آغاز، دو دقیقه سپری شده است.

*

تا ۳۸۰,۰۰۰ سال بعد، اتفاق چندانی در سوپ ذرات ما نمی‌افتد. در طول این هزاره‌ها، دما همچنان آنقدر داغ است که الکترون‌ها آزادانه در میان فوتون‌ها گردش می‌کنند، و در برهم‌کنش با یکدیگر، آن‌ها را به این سو و آن سو پراکنده کنند.

ولی زمانی که دمای جهان به زیر ۳,۰۰۰ درجه‌ی کلوین (حدود نصف دمای سطح خورشید) کاهش یافت، این آزادی ناگهان به پایان رسید، و تمام الکترون‌های آزاد با هسته‌ها ترکیب شدند. از این پیوند دریایی از نور مرئی بر جای ماند که یادآور جایی در آسمان است که در آن لحظه تمام ماده وجود داشته است، و به فرآیند تشکیل ذرات و اتم‌ها در جهان آغازین خاتمه داد.

در طول یک میلیارد سال نخست، جهان همچنان به انبساط و سرد شدن ادامه می‌داد، و ماده بر اثر گرانش متراکم شد و ککهکشان‌ها را پدید آورد. تقریباً یک صد میلیارد ککهکشان تشکیل شدند، که هرکدام حاوی صدها میلیارد ستاره بودند که در هسته‌ی آن‌ها گداخت گرما هسته‌ای انجام می‌شد. این ستاره‌ها با جرم حدود ده برابر جرم خورشید، در هسته‌ی خود به فشار و دمای کافی رسیدند تا ده‌ها عنصر سنگین‌تر از هیدروژن را پدید آورند، از جمله عناصری که تشکیل‌دهنده‌ی سیاره‌ها و احیاناً موجودات زنده‌ی روی آن‌ها هستند.

اگر این عناصر می‌خواستند همان جایی که تشکیل شده‌اند، بمانند، به دردی نمی‌خوردند. ولی ستاره‌های با جرم بالا ناگهان منفجر می‌شوند، و اندرون شیمیایی خود را در سرتاسر کهکشان می‌پراکنند. پس از نه میلیاردسال تداوم این غنی‌سازی، در بخشی معمولی از جهان هستی (دامنه‌های ابرخوشه‌ی سنبله)، در کهکشان‌ی معمولی (راه شیری)، در ناحیه‌ای نامعلوم (بازوی شکارچی)، ستاره‌ای بی‌نام و نشان (خورشید) متولد شد.

اگر گازی که خورشید از آن پدید آمد، حاوی مقدار کافی عناصر سنگین بود که به هم پیوستند و مجموعه‌ی پیچیده‌ای از اجرام در گردش را پدید آوردند که شامل چندین سیاره‌ی سنگی و گازی، صدها هزار سیارک، و میلیاردها دنباله‌دار بود. در طول چند صد میلیون سال اول، مقادیر زیادی از قطعات باقی‌مانده در مدارهای مختلف به یکدیگر پیوستند و جسم‌های بزرگ‌تری تشکیل دادند. این پدیده به‌صورت برخورد‌های پرسرعت و پرنانژی انجام شد که باعث ذوب شدن سطح سیاره‌های سنگی شده و از تشکیل ملکول‌های پیچیده جلوگیری کرد.

به تدریج که از تعداد این سنگواره‌های سرگردان در منظومه‌ی شمسی کمتر و کمتر شد، سطح سیاره‌ها شروع به سرد شدن کرد. سیاره‌ای که زمین می‌نامیم، در یکی از مناطق زیست اطراف خورشید تشکیل شد، که در آن اقیانوس‌ها عمدتاً به شکل مایع باقی ماند. اگر زمین به خورشید خیلی نزدیک‌تر می‌بود، اقیانوس‌ها تبخیر می‌شدند. و اگر زمین خیلی دورتر می‌بود، اقیانوس‌ها یخ می‌زدند. در هر حال، حیات به شکل کنونی تکامل پیدا نمی‌کرد.

در درون اقیانوس‌های مایع و غنی از مواد شیمیایی، بر اساس سازوکاری که هنوز کشف نشده است، ملکول‌های آلی به حیات خودتکثیرشونده تبدیل شدند. اغلب موجودات زنده در این سوپ بدوی باکتری‌های بی‌هوازی ساده بودند — موجوداتی که در محیط‌های بدون اکسیژن رشد می‌کنند، ولی یکی از محصولات فرعی آن‌ها، اکسیژن با توان بالای شیمیایی است. این ارگانسیم‌های ساده‌ی تک‌سلولی ناخودآگاه اتمسفر زمین را که غنی از دی‌اکسید کربن بود، به اتمسفری با میزان کافی اکسیژن تبدیل کردند که امکان ظهور موجودات هوازی و غلبه‌ی آن‌ها بر اقیانوس‌ها و خشکی را فراهم کرد. همان اتم‌های اکسیژن، که به‌طور معمول به‌صورت دوتایی (O_2) هستند، در بخش بالایی اتمسفر به‌صورت سه‌تایی نیز با هم ترکیب شده و ملکول اوزون (O_3) را تشکیل دادند، که به عنوان سپری عمل می‌کند که سطح زمین را در مقابل اکثر فوتون‌های فرابنفش و مضر

خورشید محافظت می کند.

تنوع شگفت‌انگیز حیات بر روی زمین، و شاید جاهای دیگر گیتی، مدیون فراوانی کیهانی کربن و تعداد بی‌شمار ملکول‌های ساده و پیچیده‌ی حاوی کربن است. در این مورد هیچ تردیدی نیست: تنوع ملکول‌های مبتنی بر کربن از تمام انواع ملکول‌های دیگر بیشتر است.

با وجود این، حیات شکننده است. برخورد گهگاهی زمین با دنباله‌دارها و سیارک‌های سرگردان، که در گذشته به‌طور شایع اتفاق افتاده است، تأثیر مخربی بر اکوسیستم ما دارد. همین شصت و پنج میلیون سال پیش (کمتر از ۲٪ عمر گذشته‌ی زمین)، سیارکی به وزن ده تریلیون تن به جایی که اکنون شبه‌جزیره‌ی یوکاتان است، برخورد کرد، و بیش از ۷۰٪ پوشش گیاهی و جانوری زمین — از جمله تمام دایناسورهای بزرگ‌جثه — را نابود کرد. این فاجعه‌ی بوم‌شناختی امکان آن را فراهم آورد که نیاکان پستاندار ما که زمانی پیش‌غذای تیرانوساروس رکس بودند، جای خالی دایناسورها را پر کنند. در یک شاخه‌ی بزرگ‌مغز از این پستانداران، که به آن‌ها نخستیان می‌گوییم، جنس و گونه‌ای به نام هوموساپینس پدید آمد که هوش او به حدی بود که توانست روش‌ها و ابزارهای علم را اختراع کند — و به استدلال درباره‌ی منشاء و تکامل گیتی بپردازد.

*

قبل از تمام اینها چه اتفاقی افتاده است؟ قبل از آغاز، چه روی داده است؟

*

اخترشناسان هیچ اطلاعی ندارند. در واقع، فکرهای بسیار خلاقانه‌ای که در این مورد داریم، تقریباً هیچ ریشه‌ای در علم تجربی ندارند. البته در پاسخ دین‌باوران معتقد هستند که چیزی باید تمام اینها را آغاز کرده باشد: نیرویی بزرگ‌تر از همه، منبعی که همه چیز از او سرچشمه می‌گیرد. یک قادر متعال. و او، البته، خدا است. اما آیا ممکن است که جهان همیشه وجود داشته باشد، در حالت یا وضعیتی که ما هنوز نمی‌شناسیم — مثلاً به‌صورت یک بس‌گیتی که مدام از آن گیتی‌ها زاده می‌شوند؟ یا آیا ممکن است که جهان همین‌طور ناگهان به وجود آمده باشد؟ یا آیا ممکن است که تمام آنچه می‌شناسیم و دوست می‌داریم، صرفاً یک شبیه‌سازی رایانه‌ای باشد که از سوی یک گونه‌ی بیگانه‌ی فراهوشمند برای سرگرمی پدید آمده است؟