

فهرست مطالب

پیش‌گفتار

- ۷ • اگر ... چه؟ چرا ما؟ چرا اکنون؟
جسی امزیک

بخش ۱

- ۹ جهان‌های کشف‌نشده
- ۱۱ • گیتی‌های موازی
مکس تگمارک
- ۳۰ • ادعاهای خارق‌العاده
جرج ایلس
- ۴۱ • سواری در قطار هوایی عظیم کیهانی
کلیف برجس - فرناندو کُودو

بخش ۲

- ۵۳ کندوکاوها
- ۵۵ • به زور گشودن پنجره
جرج ماسر
- ۵۸ • بیرون از تاریکی
گیورگی دیوالی

بخش ۳

- ۶۹ بعدهای چندگانه
- ۷۱ • جستجوی حیات در بسگیتی
آهاندرو جنکیتز - گیلاد پروز
- ۸۲ • گرانش کوانتومی در تختستان
استیون کارلیپ

بخش ۴

زمان و باز هم زمان

۱۱۱

۱۱۳

- فیزیک کوانتومی سفر در زمان
 دیوید دویچ و مایکل لاکوود

۱۲۸

- اسطوره‌ی سرآغاز زمان
 گابریله ونه‌زبانو

۱۴۳

- بود که بود
 جرج ماسر

بخش ۵

چرا اکنون زندگی می‌کنیم

۱۴۷

۱۴۹

- چشم‌انداز نظریه‌ی ریسمان
 رافائل بوسو و جوزف پالچینسکی

۱۶۲

- ثابت‌های ناثابت
 جان بارو و جان وب

۱۷۴

- بحث بر سر تورم
 پل استاین هارت

۱۸۹

واژه‌نامه

اگر ... چه؟ چرا ما؟ چرا اکنون؟

گیتی‌های موازی یار غار علمی تخیلی‌اند، و خب، تعجبی هم ندارد. آن‌ها به ما امکان می‌دهند تا به این پرسش بپردازیم که «اگر ... چه؟» آن هم به شیوه‌ای که گویی پا را کاملاً از این جهانی که می‌شناسیم بیرون گذاشته‌ایم، نه این که سراغ این پرسش برویم که آن جهان چگونه از آب در می‌آمد. برای کیهان‌شناسان پرسش این نیست که «اگر جنوبی‌ها در جنگ داخلی پیروز می‌شدند چه؟» بلکه این است «اگر ثابت‌هایی که سنگ‌بنای فیزیک را می‌سازند متفاوت بودند چه؟» برای نمونه، ثابت ساختار ظریف، معروف به آلفا (α) برابر است با توان دوم بار الکترون e بخش بر دو برابر گذردهی خلأ (ϵ_0) ضربدر ثابت پلانک (\hbar) و سرعت نور (c) یعنی $\alpha = e^2/2\epsilon_0\hbar c$. این عدد تقریباً $1/137$ است. اگر آن را چند درصدی کاهش دهید واکنش‌های هسته‌ای در گیتی کربن نخواهند ساخت، و اگر آن را تا 0.1% درصد بالا ببرید همجوشی ستاره‌ای اصلاً رخ نخواهد داد.

عددی دیگر با تنظیم دقیق عبارت است از قدرت گرانش — کافی است بیش از حد قوی باشد تا ستارگان سوخت خود را تندتر بسوزانند. اگر گیتی بیش از حد، سریع انبساط بیابد، ماده برای تشکیل کهکشان‌ها بیش از حد رقیق می‌شود. چرا چهار نیروی بنیادی هست: گرانش، الکترومغناطیس، نیروی هسته‌ای قوی و نیروی هسته‌ای ضعیف؟ چرا سه تا نه؟

به سادگی می‌شود استدلال کرد که این اعداد باید همین‌طور باشند که هستند تا ما این‌جا باشیم که آن‌ها را مشاهده کنیم. ولی این هم به پرسشی می‌انجامد که چرا چنین چیزی اصولاً رخ می‌دهد. شاید پاسخ آن باشد که گیتی خودمان تنها گیتی موجود نیست. این ایده‌ای است که در این کتاب، در جستجوی بسگی‌^۱ امکان‌پذیری‌هایی در موازات: مورد کندوکاو قرار خواهد گرفت. در بخش ۱، می‌پردازیم به این که چرا دانشمندان می‌اندیشند سایر گیتی‌ها می‌توانند باشند. پس از آن، نگاهی به پیامدها می‌اندازیم.

آیا امکان دارد که در یک گیتی با قوانین فیزیک متفاوت، حیات وجود داشته باشد؟ انگار بله. در «به زور گشودن پنجره» جرج ماسر سراغ این امکان‌پذیری می‌رود که گیتی خودمان بیش از سه بعد فضایی دارد — سایرین از سر اتفاق بسیار کوچک‌اند. «بعدهای نادیده‌ی گیتی» به تحلیل این ایده می‌پردازد که گیتی ما یکی از «برین‌های» متعدد است — یعنی ساختارهایی سه بعدی کشیده‌شده روی فضایی با بعد بالاتر. گیتی خودمان شاید نتیجه‌ی برخوردی باشد بین دو برین. مفهوم گیتی موازی به سروقت سفر در زمان هم می‌رود. پس به گشت و گذاری در رهیافت‌های نظریه‌ی کوانتوم که آن را مجاز می‌دارند — و گیتی‌های موازی را الزامی می‌کنند — دست خواهیم زد، شامل «فیزیک کوانتومی سفر در زمان» از دیوید دویچ و مایکل لاک‌وود. سپس این پرسش پیش می‌آید که «گیتی موازی» به راستی یعنی چه. شاید ناحیه‌ای متفاوت از یک گیتی است، که در اصل اگر کسی به حد کافی به دور دست سفر کند دسترس‌پذیر باشد، یا ناحیه‌ای دیگر که در آن بیگ‌بنگی رخ داده، حبابی مانند مال خودمان که هرگز نمی‌توانیم بدان دست یابیم.

اصولا این‌که می‌شود پرسید چرا گیتی به این صورتی که هست به چشم می‌آید، پیروزی علوم به شمار می‌رود. در ۱۹۲۰ کماکان می‌شد استدلال کرد — کما این‌که اخترشناس آمریکایی هارلو شیپلی کرد — که کهکشان راه شیری همه‌ی گیتی است. پذیرش گسترده‌ی نظریه‌ی بیگ‌بنگ تا کشف زمینه‌ی مایکروویو کیهانی در ۱۹۶۴ صورت نگرفت. هم‌اکنون چندین امکان‌پذیری برای بسگیتی هست، اگر که اصلا وجود داشته باشد. زمان و حجم زیادی از کارهای طاقت‌فرسای علمی نشان خواهد داد که کدام‌یک درست هستند — و ما را به پاسخ‌دادن چیزی نزدیک‌تر می‌سازند که زمانی پرسش‌هایی متافیزیکی بودند: اگر ... چه، چرا ما، چرا اکنون؟

– جسی امزیک

ویراستار کتاب

بخش ۱

جهان‌های کشف نشده

گیتی‌های موازی

مکس تگمارک

آیا رونوشتی از شما هست که دارد این مقاله را می‌خواند؟ شخصی که خودتان نیست ولی در سیاره‌ای زندگی می‌کند به نام زمین، که کوه‌هایی مه‌آلود، کشتزارهایی حاصلخیز، و شهرهایی شلوغ دارد، و در منظومه‌ای خورشیدی با هشت سیاره‌ی دیگر است؟ زندگی این فرد از هر نظر با مال خودتان یکسان است. ولی شاید وی هم اکنون تصمیم بگیرد دست از خواندن این مقاله بردارد، ولی شما به خواندن ادامه می‌دهید.

ایده‌ی چنین دگرمنی انگار عجیب است و ناشدنی، ولی گویا چاره‌ای جز کنار آمدن با آن نداریم، چون از سوی مشاهدات اخترشناختی پشتیبانی می‌شود. ساده‌ترین و محبوب‌ترین مدل امروزی کیهان‌شناختی پیش‌بینی می‌کند که شما دارای دوقلویی هستید در کهکشانی به فاصله‌ی ۱۰ به توان 10^{28} متری این‌جا. این مسافت چنان بزرگ است که ورای مقیاس اخترشناسی قرار می‌گیرد، ولی از واقعیت همزاد شما نمی‌کاهد. این برآورد از احتمالی بنیادی برخاسته و حتا فیزیک مدرن گمانه‌پردازانه را هم فرض نمی‌گیرد، تنها بر این پایه که اندازه‌ی فضا نامتناهی است (یا دست کم به حد کافی بزرگ) و کمابیش به یکنواختی از ماده پر شده، آن‌طور که مشاهدات مشخص می‌کنند. در فضای نامتناهی، حتا نامحتمل‌ترین رویدادها باید در جایی رخ دهند. سیارات مسکونی بی‌نهایت زیادی هست، نه فقط یکی بلکه بی‌نهایت زیاد که دارای مردمانی هستند با همان چهره، نام و خاطرات خود شما، که هر گزینه‌ی ممکن از بین راه‌های پیش روی زندگی شما را برمی‌گزینند.

شما به احتمال هرگز خویشتن‌های دیگر خودتان را نخواهید دید. دورترین جایی که می‌توانید مشاهده کنید مسافتی است که نور توانسته طی ۱۴ میلیارد سال از آغاز انبساط بیگ‌بنگ ببیماید. دورترین اجسام مرئی اکنون در حدود $10^{26} \times 4$ متر از ما دورند — مسافتی که گیتی مشاهده‌پذیر ما را تعریف می‌کند، معروف به حجم هابل، حجم افق یا به سادگی گیتی خودمان. به همین

ترتیب، گیتی‌های خویشتن‌های دیگر شما عبارت‌اند از کره‌هایی هم‌اندازه به مرکز سیاره‌های آنان. این‌ها سرراست‌ترین نمونه از گیتی‌های موازی به شمار می‌روند. هر گیتی تنها بخشی است کوچک از یک «بسگیتی» بزرگ‌تر. بنا به تعریف «گیتی» شاید به فکر کسی خطور کند که مفهوم بسگیتی باید برای همیشه در حیطه‌ی متافیزیک جا بگیرد. با این حال مرز بین فیزیک و متافیزیک با آزمون‌پذیری تجربی یک نظریه تعریف می‌شود، نه با عجیب‌بودن یا داشتن موجودیت‌های مشاهده‌ناپذیر. جبهه‌های فیزیک به آرامی گسترش پیدا کرده‌اند تا مفاهیم هر چه انتزاعی‌تر (زمانی متافیزیکی) همانند گردی زمین، میدان‌های الکترومغناطیسی نامرئی، آهسته‌شدن زمان در سرعت‌های زیاد، برهم‌نهی‌های کوانتومی، فضای خمیده، و سیاهچاله را پوشش دهند. در چندین سال گذشته مفهوم بسگیتی به این فهرست افزوده شده است. ریشه‌ی آن در نظریه‌های به‌خوبی آزموده‌شده‌ای همچون نسبیت و مکانیک کوانتومی است، و هر دو معیار پایه‌ی علم تجربی را برآورده می‌سازد: پیش‌بینی می‌کند، و می‌تواند ابطال شود. دانشمندان تا چهار نوع مشخص از گیتی‌های موازی را در نظر گرفته‌اند. پرسش کلیدی این نیست که آیا بسگیتی هست یا نیست بلکه آن است که چند رده دارد.

رده‌ی ۱: ورای افق کیهانی خودمان

گیتی‌های موازی دگرمن‌های شما، بسگیتی رده‌ی ۱ را می‌سازند. این کم‌جنجالی‌ترین نوع است. همگی وجود چیزهایی را می‌پذیریم که نمی‌توانیم ببینیم ولی اگر به مکان مناسب متفاوتی برویم یا صبر کنیم قابل دیدن می‌شوند، مانند مردمانی که تا رسیدن کشتی به افق به انتظار می‌نشینند. اجسامی ورای افق کیهانی نیز از همین وضعیت برخوردارند. گیتی مشاهده‌پذیر هر سال به اندازه‌ی یک سال نوری بزرگ‌تر می‌شود چون نور فرصت می‌یابد از مسافتی دورتر به ما برسد. بی‌نهایتی در آن‌جاست، به انتظار دیده‌شدن. به احتمال مدت‌ها پیش از این‌که دگرمن‌های شما به دیدرس برسند شما خواهید مرد، و اگر انبساط کیهانی یاری کند، فرزندان شما می‌توانند از درون تلسکوپ‌هایی به حد کافی توانمند آنان را ببینند.

به هر صورت، بسگیتی رده‌ی ۱ انگار بسیار واضح است. چگونه می‌شود که فضا نامتناهی نباشد؟ آیا در جایی نشانه‌ای هست که بگوید «پایان فضا — مراقب

پرتگاه باشید؟» اگر بله، چه چیزی در ورای آن است؟ راستش نظریه‌ی گرانث اینشتین این برداشت شهودی را به چالش می‌کشد. فضا می‌تواند متناهی باشد اگر دارای خمیدگی کوژ یا توپولوژی نامعمول باشد (یعنی درون همبندی). یک گیتی کروی، یا دونات‌شکل، یا پرتزل‌شکل دارای حجمی است محدود و بدون لبه. تابش زمینه‌ی مایکروویو کیهانی دست‌زدن به آزمون‌هایی حساس برای چنین سناریوهایی را ممکن می‌کند. با این حال تاکنون مدرک علیه آن‌هاست. مدل‌های نامتناهی با داده‌ها می‌خوانند، و محدودیت‌هایی قوی بر مدل‌های جایگزین گمارده شده‌اند.

امکان‌پذیری دیگر آن است که فضا نامتناهی باشد ولی ماده در ناحیه‌ای متناهی گرداگرد ما محصور بماند — مدل «گیتی جزیره‌ای» زمانی محبوب. در گونه‌ای از این مدل، ماده در مقیاس‌های بزرگ در الگویی فراکتالی رقیق می‌شود. در هر دو مورد، کمابیش همه‌ی گیتی‌ها در بسگیتی رده‌ی ۱ تهی‌اند و مرده. ولی رصدهای اخیر از توزیع سه بعدی کهکشان و زمینه‌ی مایکروویو نشان داده‌اند که آرایش ماده در مقیاس‌های بزرگ به یکنواختی گنگی می‌انجامد، بدون هیچ ساختار همدوسی بزرگ‌تر از حدود 10^{24} متر. با فرض این‌که این الگو ادامه یابد، فضای ورای گیتی مشاهده‌پذیر خودمان، سرشار است از کهکشان‌ها، ستارگان و سیارات.

بیندگانی که در گیتی‌های موازی رده‌ی ۱ به سر می‌برند همان قوانین فیزیکی را تجربه می‌کنند که ما تجربه می‌کنیم ولی با شرایط آغازین متفاوت. بنا به نظریه‌های کنونی، فرایندهای ابتدایی در بیگ‌بنگ ماده را به اندازه‌ای تصادفی پراکنده کرد، که به همه‌ی آرایش‌های ممکن با احتمال نا صفر انجامید. کیهان‌شناسان فرض می‌کنند که گیتی خودمان، با توزیع کمابیش یکنواخت ماده و افت و خیزهای چگالی آغازی برابر با یک بخش در 10^{50} ، نمونه‌ای کمابیش نوعی است (دست کم در بین آن‌هایی که شامل بیننده). فرض مذکور به این برآورد می‌انجامد که نزدیک‌ترین رونوشت همسان شما در فاصله‌ی ۱۰ به توان 10^{28} متری جا دارد. حدود ۱۰ به توان 10^{92} متر دورتر، می‌باید کره‌ای باشد با شعاع ۱۰۰ سال نوری همانند چیزی به مرکز همین‌جا، پس همه‌ی دریافت‌هایی که ما طی سده‌ی آینده خواهیم داشت مشابه آن‌هایی خواهد بود که هم‌تایان خودمان در آن‌جا دارند. حدود ۱۰ به توان 10^{118} متر دورتر می‌باید حجم هابل کاملی همانند مال خودمان وجود داشته باشد.

این‌ها برآوردهایی‌اند به شدت محافظه‌کارانه، که تنها با شمردن همه‌ی حالت‌های کوانتومی ممکن برای حجم هابلی به دست آمده که می‌تواند در صورت خنک‌تر بودن از 10^8 کلوین وجود داشته باشد. یک راه برای انجام محاسبه آن است که بپرسیم در آن دما چند پروتون را می‌توان در حجم هابل چپاند. پاسخ 10^{118} پروتون است. خب راستش، هر کدام از این ذرات شاید باشند یا نباشند، که به ۲ به توان 10^{118} آرایش ممکن برای پروتون می‌انجامد. جعبه‌ای حاوی این تعداد حجم هابل همه‌ی امکان‌پذیری‌ها را مهیا می‌کند. اگر این عددها را گرد کنیم، چنین جعبه‌ای حدود 10^6 به توان 10^{118} متر عرض خواهد داشت. ورای این جعبه، گیتی‌ها — از جمله مال خودمان — باید تکرار شوند. تقریباً همین عدد را می‌توان از برآوردهای ترمودینامیکی یا کوانتوم مکانیکی محتوای کل اطلاعات گیتی به دست آورد.

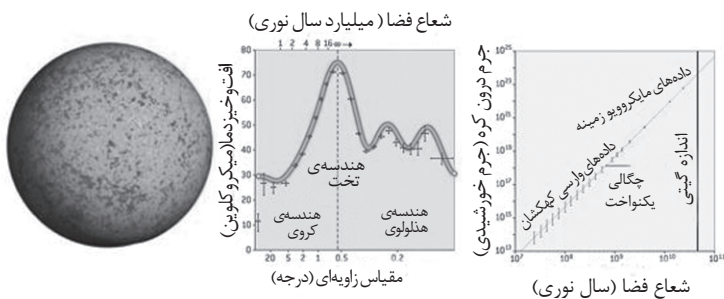
با توجه به فرایندهای تشکیل ستاره و تکامل زیست‌شناختی که بخت را به نفع شما برمی‌گرداند، به احتمال زیاد نزدیک‌ترین همزاد شما بسیار نزدیک‌تر از چیزی است که این اعداد می‌گویند. اخترشناسان فکر می‌کنند که حجم هابل خودمان دست کم دارای 10^{20} سیاره‌ی سکونت‌پذیر است؛ برخی شاید خیلی شبیه به زمین خودمان باشند.

چارچوب بسگیتی رده‌ی ۱ به طور متداول برای ارزیابی نظریات در کیهان‌شناسی مدرن مورد استفاده قرار می‌گیرد، گرچه این رویه به ندرت صراحتاً به زبان آورده می‌شود. برای مثال، توجه کنید که چگونه کیهان‌شناسان از زمینه‌ی مایکروویو برای کنارگذاشتن هندسه‌ی کروی متناهی استفاده کردند. نقاط داغ و سرد در نقشه‌های زمینه‌ی مایکروویو دارای اندازه‌ای بارزند که به خمیدگی فضا بستگی دارد، و نقاط مشاهده‌شده خیلی کوچک‌تر از آن‌اند که با فضایی کروی سازگار باشند. ولی مهم است که از دقت آماری برخوردار باشیم. اندازه‌ی میانگین نقاط، به طور تصادفی از یک حجم هابل به یکی دیگر تغییر می‌کند، پس امکان دارد که گیتی خودمان دارد گولمان می‌زند — می‌تواند کروی باشد ولی از سر اتفاق به گونه‌ای ناهنجار دارای نقاط کوچکی است. هنگامی که کیهان‌شناسان می‌گویند با اطمینان 99.9 درصد مدل کروی را رد می‌کنند، به راستی منظورشان این است که اگر این مدل درست می‌بود، کم‌تر از $1,000$ حجم هابل باید نقاطی را به آن کوچکی که ما می‌بینیم نشان می‌دادند.

آموزه‌ی این نکات آن است که نظریه‌ی بسگیتی را می‌توان آزمود و ابطال

کرد، حتی اگر نتوانیم دیگر گیتی‌ها را ببینیم. کلید این کار عبارت است از پیش‌بینی کردن این که مجموعه‌ی گیتی‌های موازی چیست و مشخص کردن توزیع احتمال، یا چیزی که ریاضیدانان آن را «اندازه‌ی» آن مجموعه می‌نامند. گیتی ما می‌باید به صورت یکی از محتمل‌ترین‌ها پدیدار شود. اگر نه — اگر، بنا به نظریه‌ی بسگیتی، ما در گیتی نامحتملی به سر می‌بریم — آن‌گاه این نظریه به دردسر می‌افتد. همان گونه که بعداً خواهیم گفت، این مسئله‌ی اندازه می‌تواند کاملاً چالش‌انگیز شود.

داده‌های کیهان‌شناختی از این ایده پشتیبانی می‌کنند که فضا در ورای مرزهای گیتی مشاهده‌پذیر خودمان ادامه می‌یابد. به تازگی ماهواره‌ی WMAP افت و خیزهای زمینی‌ی مایکروویو را اندازه گرفت (چپ). قوی‌ترین افت و خیزها تنها نیم درجه گسترده‌اند، که نشان می‌دهد — پس از اعمال قواعد هندسه — فضا بسیار بزرگ یا نامتناهی است (وسط). (یک هشدار: برخی کیهان‌شناسان بر این گمان‌اند که نقطه‌ی ناهمخوان در سمت چپ نمودار مدرکی است بر حجمی متناهی). گذشته از آن، WMAP و وارسی جابه‌جایی به سرخ کهکشان 2dF پی‌برده‌اند که فضا در مقیاس‌های بزرگ به طور یکنواخت از ماده پر شده (راست)، یعنی دیگر گیتی‌ها می‌باید در اصل شبیه مال خودمان باشند.



رده‌ی ۲: دیگر حباب‌های پساتورمی

اگر هضم کردن بسگیتی رده‌ی ۱ سخت بود، سعی کنید مجموعه‌ای نامتناهی از بسگیتی‌های رده‌ی ۱ مشخص را در نظر بگیرید، که برخی شاید دارای ابعادیت فضازمان متفاوت و ثابت‌های فیزیکی متفاوت باشند. این بسگیتی‌های دیگر — که بسگیتی رده‌ی ۲ را می‌سازند — از سوی نظریه‌ی اکنون محبوب تورم