



گیتی از هیچ

چرا به جای هیچ، چیزی هست

لارنس ام. کراوس ترجمه‌ی رامین رامبد

A Universe from Nothing / Lawrence M. Krauss

از زمان کوپرنیکوس، درون انقلابی شگفت‌انگیز در کیهانشناسی به سر برده‌ایم.
این کتاب، راهنمای این است: پایه، افسونگر، و بی‌مانند.

ایان مک‌اون

انتشارات دیار

گیتی از هیچ

چرا به جای هیچ، چیزی هست

نویسنده: لارنس ام. کراوس

مترجم: رامین رامبد

انتشارات مازیار

هدف علم چیزی نیست جز تفسیر و تبیین طبیعت و چرایی پدیده‌هایش و در نهایت دلیل بودن آن؛ در این مسیر دانشمندان با بررسی مسئله و اندیشه‌ورزی نظریاتی را مطرح می‌کنند که گهگاه در حوزه‌ی نظریه باقی می‌ماند تا زمانی که آزمایش، اثباتی شود بر درستی یا نادرستی آن‌ها. برخی از دیدگاه‌های بیان‌شده در این کتاب نیز در همان حیطه جا می‌گیرند و کماکان محل بحث علمی‌اند، تا روزی که محک آزمایش و تجربه بخورند.

بدیهی است ترجمه و نشر چنین مطالبی به معنای درست‌انگاشتن کامل و بی‌نقص دانستن آن‌ها نیست. شایسته است تا خواننده‌ی تیزفهم و اندیشمند نیز پای در راه بگذارد و با درنگ و اندیشه‌ورزی انتقادی، سره را از ناسره باز شناسد. به‌ویژه آنکه گاه با مبانی و آموزه‌های دینی متعارض است.

در وصف گیتی از هیچ

"در گیتی از هیچ، لارنس کراوس مقدمه‌ای جذاب بر روند کنونی کیهان‌شناسی ارائه کرده است - شاخه‌ای از علم که به ما درباره‌ی گذشته‌ی دور و آینده‌ی دورتر هر چیزی سخن می‌گوید. خواهیم دید که هر چیزی ارتباط زیادی با هیچ دارد. این کتاب بی‌همتا و دلرباست."

سم هریس، نویسنده‌ی چشم‌انداز اخلاق

"کراوس با راهنمایی استادانه درون ژرف‌آب‌های اندیشمندانه، تازه‌ترین دیدگاه‌ها در مورد سرشت کیهان، و مکان ما در آن را عرضه می‌دارد. کتابی گیرا."

ماريو لیویو، نویسنده‌ی نسبت زربین

"در سالیان اخیر ردیفی از دیدگاه‌های درخشان و کشفیات خیره‌کننده، جهان را تکان داده‌اند، و لارنس کراوس در قلب آن‌ها حضور داشته است. با بهره‌گیری از خصلت خلاقانه‌اش، و با استفاده از ابزارهای زیرکانه‌ی بسیار، او این داستان شگرف را به گونه‌ای خیره‌کننده آسان کرده است. فراز آن، پاسخ علمی قاطعی است به این پرسش هستی‌شناسانه‌ی بزرگ: چرا به جای هیچ، چیزی هست؟"

فرنک ویلچک، برنده‌ی نوبل و نویسنده‌ی سبکی بودن

"در این کتاب واضح و خوش‌نوشت، لارنس کراوس مدرکی قاطع مبنی بر فرگشت‌یافتن کیهان پیچیده‌ی خودمان از حالتی داغ و چگال ارائه می‌کند، و نشان می‌دهد که چگونه این پیشرفت به نظریه‌پردازان جرأت داده که دست به گمانه‌زنی‌هایی خیره‌کننده درباره‌ی چگونگی سرآغاز بزنند."

مارتین ریس، نویسنده‌ی آخرین ساعت ما

"با تیزهوشی، بیان شیوا، و روشنی مشخصه‌ی خود، لارنس کراوس روایت روشن‌گر زیبایی از چگونگی پرداختن علم به یکی از بزرگ‌ترین پرسش‌های تمام دوران به دست می‌دهد: چگونه شد که گیتی توانست از هیچ سر برآورد؟ این پرسشی است که فلسفه و الهیات در آن سردرگم مانده‌اند ولی همان گونه که توصیف روشن کراوس نشان می‌دهد، علم می‌تواند پاسخ‌هایی واقعی برای آن عرضه دارد. این پیروزی فیزیک است بر متافیزیک، عقل و پژوهش است بر اسطوره و درهم‌آشفته‌گی، که با بیانی ساده در پیش چشمان ما گذارده شده است: کراوس با قلمی افسونگر، سرخوشی و در کنارش آموختن را به ما ارزانی می‌دارد."

ای. سی. گری‌لینگ، نویسنده‌ی کتاب خوب

"هیچ، هیچ نیست. هیچ، چیزی است. این گونه است که کیهان می‌تواند از تهیگاه سربرآورد - ایده‌ی ژرف نهفته در گیتی از هیچ به آگاهی خواننده می‌انجامد. این همان کاری است که لارنس کراوس فیزیکدان همه روزه به آن می‌پردازد."

نیل دگرس تایسن، اخترفیزیکدان، موزه‌ی تاریخ طبیعی آمریکا

"همیشه مردم می‌گویند که نمی‌شود از هیچ به چیزی رسید. خوشبختانه لارنس کراوس گوشش به این حرف‌ها بدهکار نبود. راستش را بخواهید با خواندن این کتاب درباره‌ی هیچ کیهانی، چیزی بزرگ در شما رخ می‌دهد، و پیش از این که بتوانید جلویش را بگیرید، ذهن شما به همان سرعت گیتی آغازین گسترش پیدا خواهد کرد."

سم کین، نویسنده‌ی قاشق ناپدیدشونده

پیش‌گفتار

چه کابوس چه رویا، مجبوریم که با تجربه‌مان همین گونه که هست به سر بریم، و مجبوریم که پذیرای آن باشیم. ما در جهانی به سر می‌بریم که علم روز به روز در آن نفوذ کرده و هم یک‌پارچه است و هم واقعی. ما نمی‌توانیم با هواداری از کسی به سادگی آن را به یک بازی تبدیل کنیم.

جی‌کوب بروئوسکی

در آغاز سخن به منظور بهره‌مندی تمام و کمال از حق افشا، باید اذعان کنم که من هوادار این عقیده نیستم که آفرینش نیازمند فراطبیعت باشد، یعنی چیزی که مبنای تمام آیین‌های جهان است. هر روزه اشیایی زیبا و اعجاب‌انگیز به ناگاه پدیدار می‌شوند، از برف‌دانه‌ها در یک بامداد سرد زمستانی گرفته تا رنگین‌کمانی درخشان پس از یک رگبار عصرگاهی تابستانی. و هیچ‌کس به جز پرشورترین باورمندان نمی‌گوید که هر کدام از این چنین اشیایی، به زیبایی و با دشواری، و از همه مهم‌تر، با هدفمندی توسط هوشی فرازمینی آفریده شده‌اند. راستش بسیاری از مردم عادی و نیز دانشمندان از توانایی ما در تشریح چگونگی پدیدارشدن خودبه‌خودی برف‌دانه‌ها و رنگین‌کمان، بر اساس قوانین ساده و باشکوه فیزیکی لذت می‌برند.

البته هرکسی می‌تواند مانند خیلی‌ها بپرسد "قوانین فیزیک از کجا آمده‌اند؟" و نیز از آن کنایه‌آمیزتر "چه کسی قوانین فیزیک را آفریده؟" حتا اگر به پرسش نخست پاسخی داده شود، مدعی اغلب می‌گوید "بالاخره از کجا آمده؟" یا "چه کسی آن را آفریده؟" تا به آخر.

سرانجام بسیاری از افراد هوشمند همانند افلاطون، آکوئیناس، یا به شیوه‌ای که کلیسای کاتالوتیک رومی نوین آن را مطرح می‌کند، سراغ علت نخستین می‌روند، و در نتیجه نوعی وجود آسمانی را فرض می‌کنند: آفریدگار هر چه که هست، و هر آن‌چه که خواهد بود، کسی یا چیزی است جاودانه و همه‌جا حاضر.

با این حال، به میان آوردن علت نخستین باز هم جا را برای پیش‌کشیدن پرسش باز می‌گذارد "آفریدگار را که آفریده؟" از آن گذشته تفاوت بین آوردن برهان به سود آفریننده‌ای جاویدان با

گیتی جاویدانی بدون آفریدگار در چیست؟

این استدلال‌ها همواره مرا به یاد داستان مشهور دانشمندی می‌اندازد که مشغول سخنرانی درباره‌ی خاستگاه‌های گیتی بود برخی می‌گویند او برتراند راسل و برخی می‌گویند ویلیام جیمز بوده که از سوی زنی به چالش کشیده شد که باور داشت جهان بر پشت لاک‌پشتی عظیم است که آن نیز بر پشت دیگری، و سپس یکی دیگر ... و "همین طور تا ابد" لاک‌پشت! تسلسل نامتناهی نوعی نیروی آفریننده که خودش را پدید می‌آورد، حتا نوعی نیروی موهومی که بزرگ‌تر از لاک‌پشت‌ها باشد هم ما را ذره‌ای به آن‌چه که به سربرآوردن گیتی انجامیده نزدیک نمی‌کند. ولی این استعاره از تسلسلی نامتناهی، نسبت به آن‌چه که دیدگاه فراطبیعی می‌تواند توضیح دهد، چه بسا عملاً نزدیک‌تر به فرایندی واقعی باشد که با آن گیتی پدید آمد.

کنارگذاشتن این پرسش با این استدلال که آفریننده عامل هر چیزی است گویا جلوی تسلسل نامتناهی را می‌گیرد، ولی حرف من این است: چه خوشمان بیاید چه خوشمان نیاید، راه و رسم گیتی همین است که هست. بودن یا نبودن آفریننده، مستقل از آرزوهای ماست. جهانی بدون آفریننده یا هدف، شاید پوچ و بی‌معنا به نظر رسد، ولی این به تنهایی الزامی برای بودن آفریننده ایجاد نمی‌کند.

به همین ترتیب، شاید اذهان ما نتواند به سادگی از نامتناهی‌ها سر در آورد گرچه ریاضیات، فراورده‌ی اذهان ما، کمابیش به خوبی به آن‌ها می‌پردازد، ولی این به ما نمی‌گوید که نامتناهی‌ها وجود ندارند. گیتی ما می‌تواند در گستره‌ای فضایی یا زمانی نامتناهی باشد. یا به قول ریچارد فاینمن، قوانین فیزیک می‌تواند پیازی باشد با بی‌نهایت لایه، و با کاویدن مقیاس‌های نو، قوانین نو دست به کار می‌شوند. به هیچ وجه نمی‌دانیم!

برای بیش از دو هزار سال، این پرسش که "چرا به جای هیچ، چیزی هست؟" به عنوان چالشی در برابر این گزاره نهاده شده است که گیتی ما - که دربرگیرنده‌ی مجموعه‌ای است پیچیده از ستارگان، کهکشان‌ها، آدمیان، و چیزهایی دیگر که نمی‌دانیم - شاید بدون هیچ طرح، قصد، یا هدفی سربرآورده باشد. با وجود این که معمولاً پرسش فوق در چارچوبی فلسفی یا آیینی در نظر گرفته می‌شود، پیش و بیش از هر چیزی پرسشی است درباره‌ی جهان طبیعت، و بنابراین حوزه‌ی مناسب برای پرداختن به و سردرآوردن از آن، پیش و بیش از هر چیزی، علم است.

این کتاب هدفی ساده دارد. می‌خواهم نشان دهم که چگونه علم نوین، با چهره‌های گوناگون خود، می‌تواند به این پرسش بپردازد و دارد می‌پردازد که چرا به جای هیچ، چیزی هست:

پاسخ‌هایی که به دست آمده‌اند - از مشاهدات تجربی زیبای بهت‌آور، و نیز از نظریه‌هایی که شالوده‌ی بیش‌تر فیزیک مدرن را می‌سازند - همگی بر آنند که رسیدن به چیزی از هیچ، مسئله‌ای به شمار نمی‌رود. در واقع، چه بسا که چیزی از هیچ، برای این‌که گیتی پا به هستی بگذارد، لازم بوده باشد. گذشته از آن، همه‌ی نشانه‌ها حاکی از آنند که چگونه گیتی ما **می‌توانسته** سربرآورد.

من در اینجا روی **می‌توانسته** تأکید می‌کنم، چون شاید ما هرگز اطلاعات تجربی کافی برای دادن پاسخی روشن را به دست نیاوریم. ولی این نکته که حتا گیتی از هیچ امکان‌پذیر است، دست کم برای من به یقین اهمیت دارد.

پیش از این که جلوتر برویم، می‌خواهم چند کلمه‌ای درباره‌ی مفهوم "هیچ" بگویم - مبحثی که بعداً به تفصیل به آن خواهم پرداخت. چون به هنگام بحث درباره‌ی این پرسش در مجامع عمومی آموخته‌ام که چیزی بیش از این دیدگاه، فیلسوفان و الاهیات‌دانان مخالفم را برآشفته نمی‌کند که من دانشمند را چه به این حرفها که از "هیچ" واقعاً سر در نمی‌آورم. در این‌جا وسوسه می‌شوم که پاسخ دهم که الاهیات‌دانان در هیچ چیزی خبره نیستند.

آنان پافشاری می‌کنند که "هیچ" اصلاً این چیزهایی که من می‌گویم نیست. به شیوه‌ای گنگ و بدتعریف، هیچ عبارت است از "نیستی". این یادآور کوشش‌های من برای تعریف "طرح هوشمند" در نخستین باری است که شروع به مناظره با آفرینش‌باوران کردم، و معلوم شد که اصلاً تعریف روشنی در کار نیست، مگر بگوییم که چه چیزی نیست. "طرح هوشمند" تنها چتری است فراگیر برای مخالفت با فرگشت. به همین نحو، برخی فیلسوفان و بسیاری از الاهیات‌دانان دست به تعریف و بازتعریف "هیچ" به عنوان نبودن هریک از گونه‌هایی از هیچ زده‌اند که فعلاً دانشمندان تشریح می‌کنند.

ولی به نظر من، در این‌جا ورشکستگی بخش اعظم الاهیات و مقداری از فلسفه‌ی مدرن نمود پیدا می‌کند. زیرا بی‌تردید "هیچ" به همان اندازه‌ی "چیز" فیزیکی است، به ویژه اگر به صورت "نبودِ چیز" تعریف شود. بنابراین شایسته است تا از سرشت فیزیکی این کمیت‌ها سر در بیاوریم. و بدون علم، هر تعریفی باد هواست.

یک سده پیش، اگر کسی "هیچ" را به عنوان فضای تهی و فاقد هرگونه شیء مادی واقعی تعریف می‌کرد، شاید اندک مخالفتی نصیبش می‌شد. ولی نتایج به دست آمده در سده‌ی گذشته

به ما آموخته که فضای تهی به واقع با نیستی خدشه‌ناپذیری که پیش از آموختن بیش‌تر درباره‌ی کارکرد طبیعت بدیهی می‌گرفتیم، تفاوت بسیار دارد. اکنون، منتقدین آیین‌مدار به من گوشزد می‌کنند که من نمی‌توانم به فضای تهی "هیچ" اطلاق کنم و در عوض باید آن را "خلأ کوانتومی" بنامم، تا بین آن با "هیچ" مورد نظر فیلسوفان یا الاهیات‌دانان تمایز گذاشته شود.

بسیار خب. ولی اگر بخواهیم "هیچ" را به عنوان نبود خودِ فضا و زمان توصیف کنیم چه؟ آیا مناسب است؟ باز هم فکر می‌کنم که، زمانی ... بوده است. ولی همان گونه که توضیح خواهم داد، آموخته‌ایم که فضا و زمان می‌توانند خودبه‌خودی و ناگهانی پدیدار شوند، پس اکنون به ما می‌گویند که حتی این "هیچ" نیز آن هیچی نیست که اهمیت دارد. و می‌گویند که رهایی از هیچ "واقعی" نیازمند الاهیات است، و بدین ترتیب "هیچ" بنا به امر به صورت "آنی که تنها آفریننده می‌تواند از دلش چیزی بیافریند" تعریف می‌شود.

همچنین افراد گوناگونی که با آنان در این مورد به بحث پرداخته‌ام گفته‌اند که اگر "توانایی" آفریدن چیزی وجود داشته باشد، آن‌گاه این حالتِ نیستی واقعی نیست. و مطمئناً در دست داشتن قوانینی از طبیعت که چنین توانایی را در اختیار بگذارد، ما را از قلمرو راستین نیستی دور می‌کند. ولی باز هم اگر من استدلال کنم که شاید خود قوانین هم خودبه‌خودی سربرآورده باشند، همان گونه که توضیح خواهم داد که شاید چنین باشد، آن‌گاه این نیز چنان‌که باید و شاید مقبول نمی‌افتد، زیرا از دید آنان هر سیستمی که در آن این قوانین ممکن است پدید آمده باشند، نیستی واقعی به شمار نمی‌رود.

تا ابد لاک‌پشت؟ چنین باوری ندارم. ولی لاک‌پشت‌ها جذاب‌اند، چون علم، زمین بازی را به شیوه‌هایی دگرگون می‌کند که باعث ناخوشایندی آدم‌ها می‌شود. البته این یکی از اهداف علم است شاید در دوران سقراط آن را "فلسفه‌ی طبیعی" می‌نامیدند. نبود خوشایندی به معنای آن است که ما در آستانه‌ی بینش‌های نو قرار می‌گیریم. بی‌تردید پیش کشیدن "آفریدگار" برای پرهیز از پرسش‌های دشوار "چگونه" صرفاً کاهلی اندیشه‌ورزی است. هر چه باشد، اگر توانایی آفرینش در کار نمی‌بود، آن‌گاه آفریدگار نیز نمی‌توانست چیزی بیافریند. دست‌یازیدن به این مطلب که به دلیل بودن آفریدگار در بیرون از طبیعت، از تسلسل نامتناهی بالقوه جلوگیری می‌شود و بنابراین "توانایی" برای خودِ بودن، بخشی از نیستی به شمار نمی‌رود که بودن از آن سربرآورده، چیزی بیش از زبان‌بازی و لفاظی نیست.

هدف اصلی من در این‌جا عبارت است از نشان‌دادن این واقعیت که علم، زمین بازی را دگرگون ساخته است، به طوری که این بحث‌های انتزاعی و بی‌فایده درباره‌ی سرشت نیستی با کوشش‌هایی سودمند و کاربردی جایگزین شده تا به این نکته پردازد که گیتی ما عملاً چگونه پدیدار شده است. من همچنین به پیامدهای ممکن این امر برای حال و آینده‌مان خواهم پرداخت.

این مطلب نکته‌ای بسیار مهم را در دل خود دارد. هنگامی که به فهم چگونگی فرگشت‌یافتن گیتی خودمان می‌پردازیم، آیین و الیهات کمترین ارتباط را با این بحث داشته‌اند. آن‌ها غالباً آب را گل‌آلود کرده‌اند، مثلاً با تمرکز بر پرسش‌هایی در مورد نیستی، بدون ارائه‌ی هرگونه تعریفی از این عبارت بر پایه‌ی مدرک تجربی. با آن که هنوز ما از خاستگاه گیتی خودمان به طور تمام و کمال آگاه نیستیم، هیچ دلیلی در دست نیست که انتظار داشته باشیم روند اوضاع تغییر پیدا کند. گذشته از آن انتظار دارم سرانجام همین امر را در مواردی ببینم که اکنون آیین آن را قلمرو خود می‌داند، مانند اخلاقیات انسان.

علم در گسترش درک ما از طبیعت سربلند بوده است، زیرا منش علمی بر سه اصل استوار است: ۱ تا جایی که شاهد و مدرک پیش می‌رود دنبالش برو؛ ۲ اگر کسی نظریه‌ای دارد، لازم است بخواهد به همان اندازه که در اثبات درستی‌اش می‌کوشد برای اثبات نادرستی‌اش نیز بکوشد؛ ۳ آزمایش، داور نهایی درستی است، نه خوشایندی حاصل از باورهای پیشین، و نه زیبایی یا شکوهی که نثار مدل‌های نظری شخصی می‌شود.

نتایج آزمایش‌هایی که من در این جا بیان خواهم کرد نه تنها بجایند که نامنتظره نیز هستند. تابلویی که علم از توصیف فرگشت گیتی ما ترسیم می‌کند، از هر تصویر افشاگرانه یا داستان‌هایی تخیلی که آدمیان از خود درآورده‌اند به مراتب غنی‌تر و دلکش‌تر است. طبیعت چنان شگفتی‌هایی در چنته دارد که آن‌چه خیال آدمی می‌تواند ایجاد کند به گرد پایش هم نمی‌رسد.

طی دو دهه‌ی گذشته، برخی پیشرفت‌های هیجان‌انگیز در کیهان‌شناسی، نظریه‌ی ذرات، و گرانش، شیوه‌ی نگرش ما به گیتی را کاملاً دگرگون ساخته‌اند، با پیامدهایی خیره‌کننده و ژرف برای درک ما از خاستگاه گیتی و نیز آینده‌ی آن. بنابراین، اگر بازی با کلمات را بر من ببخشایید، جالب‌تر از هیچ برای نوشتن درباره‌اش هیچ نمی‌تواند باشد.

الهام‌بخش واقعی من در نوشتن این کتاب، نه تمایل به از میان‌بردن اسطوره‌ها یا حمله به باورها، که آرزویم در ارج‌گذاوردن به دانش و در کنارش گیتی به راستی شگفت‌انگیز و افسون‌کننده‌ی خودمان است.

پژوهش‌ها ما را به گشت و گذاری هیجان‌انگیز تا دورترین مرزهای گیتی گسترش‌یابنده خواهد برد، از نخستین لحظات بیگ‌بنگ تا آینده‌ی دوردست، و چه بسا دربرگیرنده‌ی شگفت‌انگیزترین کشف در فیزیک در سده‌ی گذشته خواهد بود.

راستش انگیزه‌ی اصلی برای نوشتن کتاب حاضر در این زمان، یافته‌ای است ژرف درباره‌ی گیتی که پژوهش علمی مرا در بیش از سه دهه‌ی گذشته به پیش رانده و به این نتیجه‌ی خیره‌کننده رسانده که بیش‌تر انرژی موجود در گیتی به شکلی رازآلود و فعلاً توضیح‌ناپذیر در سراسر فضای تهی پراکنده است. کمترین چیزی که می‌شود گفت آن است که این یافته، زمین بازی کیهان‌شناسی نوین را زیر و رو کرده است.

از یک جنبه، این یافته پشتیبان مستحکمی برای این دیدگاه فراهم کرده که گیتی ما دقیقاً از هیچ سر بر آورده. همچنین ما را واداشته که هم درباره‌ی مجموعه فرض‌های مربوط به فرایندهای احتمالی حاکم بر فرگشت گیتی و هم، در نهایت، این پرسش که آیا خود قوانین طبیعت نیز به راستی بنیادین هستند، دست به بازنگری بزنیم. امیدوارم توضیح دهم که اکنون هر کدام از این‌ها، به نوبه‌ی خود، به کاستن از ابهت، اگر نه آسان‌سازی کامل، این پرسش می‌انجامد که چرا به جای هیچ، چیزی هست.

پاگرفتن مستقیم این کتاب به اکتبر ۲۰۰۹ برمی‌گردد، زمانی که من در لس‌آنجلس سخنرانی‌ای با همین عنوان داشتم. در کمال تعجب، ویدیوی یوتیوب این سخنرانی که از سوی بنیاد ر. داکینز ارائه شد، از آن هنگام در اینترنت بسیار مورد توجه قرار گرفته، با تقریب یک میلیون بازدید در زمان نگارش این مطلب، و رونوشت‌های بی‌شماری از بخش‌هایی از آن که در مناظره‌های موافقان و مخالفان مورد استفاده قرار گرفته است.

به دلیل علاقه‌ی آشکارم به این مبحث، و نیز در نتیجه‌ی برخی از اظهارات گمراه‌کننده در وب و در رسانه‌های گوناگون به دنبال سخنرانیم، فکر کردم مدون کردن کامل‌تر ایده‌هایی که در آن‌جا مطرح کرده بودم، در این کتاب، به زحمتش می‌ارزد. در این‌جا این فرصت را نیز دارم که به استدلال‌هایی بیفزایم که در آن هنگام ارائه دادم، که تقریباً به طور کامل متمرکز بود بر انقلاب‌های نوینی در کیهان‌شناسی که تصویر ما از گیتی را تغییر داده‌اند، در کنار کشف انرژی و هندسه‌ی فضا، که در دو سوم نخست این کتاب به آن می‌پردازم.

در این بین، در مورد مقدمه‌ها و ایده‌های زیادی که استدلال را تشکیل می‌دهند، خیلی اندیشیدم؛ آن را با کسانی که با نوعی علاقه‌مندی واکنش نشان داده بودند در میان گذاشتم، که مُسری شد؛ و با ژرف‌نگری بیش‌تری به بررسی پیامد پیشرفت‌ها در فیزیک ذرات، به ویژه در مبحث خاستگاه و سرشت گیتی خودمان پرداختم. و سرانجام برخی از استدلال‌هایم را پیش روی کسانی گذاردم که مخالف پرشور آن‌ها بودند، و با این کار به بینش‌هایی دست یافتم که به توسعه‌دادن بیش‌تر استدلال‌هایم یاری رساند.

در زمانی که ایده‌هایی را که سرانجام در این جا کوشیده‌ام توضیح دهم سبک سنگین می‌کردم، تا جایی که می‌شد از بحث با برخی از اندیشمندترین همکاران فیزیکدانم سود بردم. به ویژه می‌خواهم سپاسگزار آلن گوث / گوس و فرنک ویلچک باشم، برای زمانی که به ارائه‌ی توضیحات گسترده و مکاتبه با من، برطرف کردن برخی از سردرگمی‌های ذهنم و در مواردی خاص یاری‌رساندن به تقویت تفسیرهای من، اختصاص دادند.

با دلگرمی از ابراز علاقه‌ی لسلای مِردیت و دومینیک آنفوسو از انتشارات فری‌پرس، نسبت به عرضه‌ی چنین کتابی، من با دوستم کریستوفر هیچنز تماس گرفتم، که گذشته از این که یکی از باسوادترین و خوش‌فکرترین آدم‌هایی است که می‌شناسم، خودش توانسته بود از برخی استدلال‌هایم در آن سخنرانی، در تعدادی از بحث‌های خیره‌کننده‌اش درباره‌ی علم و آیین سود جوید. کریستوفر با وجود بیماری، با مهربانی، گشاده‌دستی، و بی‌باکی پذیرفت که پیش‌گفتاری بر این کتاب بنویسد. من بابت این همه دوستی و اعتماد، تا ابد سپاسگزارش خواهم بود. بدبختانه بیماری کریستوفر سرانجام آن‌چنان عود کرد که به پایان‌رساندن پیش‌گفتار، با وجود تمام تلاش وی، دیگر برایش امکان نداشت.¹ با وجود این، از خوش‌اقبالیم، دوست سخنور و خوش‌فکر، دانشمند و نویسنده‌ی چیره‌دست ر. داکینز، پیشاپیش پذیرفته بود که پی‌نوشتی بر این کتاب بنویسد. پس از به پایان رساندن نخستین دست‌نویس، او متنی کوتاه با زیبایی و روشنی خیره‌کننده، و نیز تأثیرگذار نوشت. شگفت‌زده شدم. درودهایم را نثار کریستوفر، ریچارد، و دیگرانی که در بالا نام بردم، می‌کنم، برای پشتیبانی و تشویق‌هایشان، و برای انگیزه‌بخشیدن به من تا دیگر بار پشت کامپیوترم بنشینم و بنویسم.

فصل ۱: یک داستان رازآلود کیهانی: سرآغازها

نخستین راز هر سفر این است: آخر چه شد که مسافر پا به راه گذاشت؟

لویی بگان، سفری گرداگردِ اتاقم

شی بود تاریک و توفانی.

در ۱۹۱۶، آلبرت اینشتین بزرگترین کار زندگی خود را به پایان رسانده بود، ده سال کوشش اندیشمندانه‌ی طاقت‌فرسا برای دست‌یافتن به نظریه‌ای تازه برای گرانش، که وی آن را نظریه‌ی نسبیت عام نامید. ولی، این تنها نظریه‌ای تازه برای گرانش نبود بلکه نظریه‌ی تازه‌ای هم بود برای فضا و زمان. و نخستین نظریه‌ی علمی بود که نه تنها می‌توانست بگوید اجسام چگونه درون گیتی حرکت می‌کنند، بلکه چگونه خود گیتی می‌توانسته فرگشت یابد.

با این حال، یک مشکل در میان بود. هنگامی که اینشتین به استفاده از نظریه‌اش برای تشریح گیتی در کل پرداخت، معلوم شد که این نظریه، گیتی‌ای را که ما انگار در آن به سر می‌بریم توصیف نمی‌کند.

اکنون، تقریباً پس از یکصد سال، به دشواری می‌توان کاملاً درک کرد که تصویر ما از گیتی در طول عمر یک انسان تا چه اندازه دگرگون شده است. تا جایی که جامعه‌ی علمی در ۱۹۱۷ می‌دانست، گیتی ایستا بود و جاودانه، دربرگیرنده‌ی تنها یک کهکشان، همان راه شیری خودمان، و در گرداگرد آن فضایی عظیم، بی‌پایان، تیره، و تهی. با نگرستن به آسمان شب با چشمانتان، یا با تلسکوپ کوچکی، حدسی غیر از این نمی‌توانید بزنید، و در آن زمان دلیل اندکی برای تردید در این دیدگاه وجود داشت.

در نظریه‌ی اینشتین، مانند نظریه‌ی گرانش نیوتون در پیش از آن، گرانش نیروی ربایشی محضی است در میان تمام اجسام. یعنی، ناشدنی است که مجموعه‌ای از اجرام را در فضا داشته باشیم که تا ابد سر جایشان بمانند. ربایش گرانشی دوجانبه‌ی آن‌ها سرانجام سبب می‌شود که به هم برخورد کنند، و این یعنی تضاد آشکار با گیتی به ظاهر ایستا.

این واقعیت که نسبیت عام اینشتین گویا با تصویر غالب در آن هنگام ناهمخوانی داشت، بیش از آن که بتوانید تصور کنید برایش گران تمام شد، به دلایلی که می‌گذارند داستانی را در مورد اینشتین و نسبیت عام بازگو کنم که همواره آزارم داده است. معمولاً تصور می‌شود که اینشتین برای سال‌ها در اتاقی در بسته و منزوی، با اندیشه و تعقل محض، به کار پرداخت و به نظریه‌ی زیبایش دست یافت، بدون توجه به واقعیت شاید مانند برخی از نظریه‌پردازان ریسمان امروزی‌ها! ولی، حقیقت هیچ وقت در پس پرده نمی‌ماند.

اینشتین همواره توجهی ژرف به آزمایش‌ها و مشاهدات داشت. گرچه در مغزش به "آزمایش‌های ذهنی" زیادی دست می‌زد و برای بیش از یک دهه به شدت مشغول کار بود، اما ریاضیات نو را آموخت و پیش از این که سرانجام نظریه‌ای بیافریند که به راستی از نظر ریاضی زیبا بود، در روند کار راه‌های نظری اشتباه بسیاری را پیمود. با این حال، مهمترین لحظه در تثبیت رابطه‌ی عاشقانه‌اش با نسبیت عام، ناشی از مشاهده بود. طی هفته‌های پرهیجان پایانی که او مشغول تکمیل نظریه‌اش بود، در رقابت با ریاضیدان آلمانی دیوید هیلبرت، او از معادلاتش برای پیش‌بینی چیزی استفاده کرد که به شکلی دیگر جز نتیجه‌ی اخت‌فیزیکی مبهمی به نظر نمی‌رسید: تقدیم اندکی در "حضيض" نزدیک‌ترین نقطه‌ی تقرّب مدار تیر عطارد به خورشید.

مدتها بود اخترشناسان پی برده بودند که تیر اندکی از آن چیزی که نیوتون پیش‌بینی می‌کند انحراف دارد. مدار تیر به جای این‌که بیضی کاملی باشد که روی خودش بر گردد، به اندازه‌ی باورنکردنی کوچکی تقدیم دارد یعنی سیاره پس از یک دور درست سر جایش بر نمی‌گردد، بلکه جهت بیضی در هر دور اندکی جابه‌جا می‌شود، و سرانجام الگویی مارپیچ‌مانند را می‌پیماید: ۴۳ ثانیه‌ی قوسی حدود ۱۰۱۰۰ درجه در سده.

هنگامی که اینشتین با به کارگیری نظریه‌ی نسبیت عام خود محاسبه‌ی این مدار را انجام داد، عددی که به دست آمد درست بود. به گفته‌ی آبراهام پیس، زندگی‌نامه‌نویس اینشتین: "به نظرم، این کشف از هر نظر قوی‌ترین تجربه‌ی عاطفی در زندگی علمی اینشتین بود، و چه بسا در سراسر زندگی‌اش." او ادعا کرد که قلبش به تپ‌تپ افتاد، گویی در درون "چیزی دو نیم شده بود." یک ماه بعد، هنگامی که او نظریه‌اش را برای دوستی به صورت یکی از "زیبارویان بی‌مانند" توصیف کرد، لذت او از شکل ریاضی به وضوح آشکار بود، ولی هیچ تپش قلبی گزارش نشد.

با این حال، عدم توافق ظاهری بین نسبیت عام و مشاهده در ارتباط با امکان‌پذیری گیتی ایستا چندان به درازا نکشید. گرچه باعث شد که اینشتین در نظریه‌اش اصلاحیه‌ای وارد کند که بعدها از آن به عنوان بزرگ‌ترین گاف زندگی خود یاد کرد. البته بعداً بیش‌تر به آن خواهیم پرداخت. اکنون هرکسی به استثنای هیئت امنای مدارس خاص در آمریکا می‌داند که گیتی ایستا نیست بلکه در حال انبساط است و این انبساط در حدود ۱۳.۷۲ میلیارد سال پیش در بیگ بنگ غیر قابل باوری داغ و چگال آغاز شد. با همان اهمیت، می‌دانیم که کهکشان ما تنها یکی از شاید ۱۰۰ میلیارد کهکشان در گیتی مشاهده‌پذیر است. ما مانند نقشه‌برداران اولیه‌ی زمین هستیم، که تازه شروع کرده‌ایم به نقشه‌برداری کامل از گیتی در بزرگ‌ترین مقیاس‌هایش. تعجب چندانی ندارد که دهه‌های اخیر شاهد تغییراتی انقلابی در تصویر ما از گیتی بوده‌اند.

این کشف که گیتی ایستا نیست، بلکه در حال انبساط است، از اهمیت ژرف فلسفی و آیینی برخوردار بود، چراکه می‌گفت گیتی خودمان سرآغازی داشته است. سرآغاز به معنای آفرینش است، و آفرینش عواطف را به جوشش وامی‌دارد. در حالی‌که به دنبال کشف گیتی انبساط‌یابنده‌ی ما در ۱۹۲۹، دهه‌ها طول کشید تا برای مفهوم بیگ‌بنگ تأیید تجربی مستقل به دست آید، پاپ پیوس دوازدهم در ۱۹۵۱ آن را گواهی بر سفر آفرینش نامید. و چنین گفت:

گویی علم امروزین، با گذری سریع به سده‌ها پیش، توفیق یافته که به گاهِ فرخنده‌ی فرمان‌روشنایی [بگذار نور باشد] شهادت دهد، بدان هنگام که از دل نیستی، به همراه ماده، دریایی از نور و تابش فوران کرد، و عناصر شکافتند و به جوشش افتادند و در میلیون‌ها کهکشان شکل گرفتند. از این رو، با آن استحکامی که ویژگی اثبات‌های فیزیکی است، [علم] بر پیشامد گیتی مهر تأیید می‌کوبد و نیز بر این استنتاج مستند درباره‌ی آغاز دوران، هنگامی که جهان از دستان آفریدگار بیرون آمد. بنابراین آفرینش رخ داد. ما می‌گوییم: "بدین ترتیب، آفریدگاری هست. بدین ترتیب، خدا هست!"

داستان کامل عملاً کمی بامزه‌تر است. راستش نخستین کسی که بیگ‌بنگ را پیشنهاد کرد کشیش و فیزیکدانی بلژیکی بود به نام ژرژ لُمت. لُمت آمیزه‌ی برجسته‌ای از کارکشتگی بود. او مطالعاتش را به عنوان مهندس آغاز کرد، در جنگ جهانی اول توپچی مدال‌آوری شد، و سپس در حالی که در ابتدای دهه‌ی ۱۹۲۰ به درس کشیشی مشغول بود سراغ ریاضیات رفت. بعد کیهان‌شناسی را دنبال کرد، و نخست نزد اخترفیزیکدان سرشناس انگلیسی سر آرتور ادینگتن درس خواند و سپس به هاروارد رفت و سرانجام دومین دکتری خود را از MIT در فیزیک گرفت.

در ۱۹۲۷، پیش از دریافت دومین دکتریش، لمت عملاً معادلات اینشتین برای نسبیت عام را حل کرد و نشان داد که این نظریه گیتی نالیستایی را پیش‌بینی می‌کند و در واقع می‌گوید که گیتی‌ای که در آن به سر می‌بریم در حال انبساط است. این برداشت چنان تکان‌دهنده به نظر آمد که خود اینشتین با جوش و خروش لب به اعتراض گشود و گفت "ریاضیات‌تان درست است، ولی فیزیک‌تان زننده."

با وجود این، لمت از پا نایستاد، و حتا در ۱۹۳۰ پیشنهاد کرد که گیتی انبساط‌یابنده‌ی ما عملاً از نقطه‌ای بسیار ریز آغاز شده، که وی آن را "آغازین اتم" نامید و این سرآغاز را، شاید با پندار سفر آفرینش، نمود "روز بی دیروز" دانست.

بدین ترتیب، بیگ‌بنگ، که پاپ پیوس چنان از آن داد سخن می‌داد، در اصل از سوی یک کشیش پیشنهاد شد. شاید فکر کنیم که لمت از این ارج‌گذاری پاپ خرسند شده باشد، ولی او پیش‌تر به این برداشت رسیده بود که این نظریه‌ی علمی پیامدهای الهیاتی در بر دارد و سرانجام در پیش‌نویس مقاله‌ی ۱۹۳۱ خود درباره‌ی بیگ‌بنگ پاراگرافی را در این مورد حذف کرد.

درواقع لمت بعدها اعتراض خود را نسبت به ادعای ۱۹۵۱ پاپ در مورد اثبات سفر آفرینش از راه بیگ‌بنگ ابراز کرد به ویژه از این رو که فهمید اگر بعداً اثبات شود که نظریه‌ی وی نادرست است، ادعای کلیسای کاتولیک رومی برای سفر آفرینش شاید به چالش کشیده شود. در این زمان، او برای آکادمی پاپی واتیکان برگزیده شده بود، و بعدها به ریاست آن رسید. او گفت "تا جایی که می‌دانم، چنین نظریه‌ای کاملاً در بیرون از هرگونه امر متافیزیکی یا دینی قرار می‌گیرد." پاپ دیگر هیچ‌گاه در مجامع عمومی سراغ این مبحث نرفت.

این آموزه‌ای ارزشمند است. همان‌گونه که لمت فهمید، چه بیگ‌بنگ به راستی رخ داده چه رخ نداده باشد، یک امر علمی است نه الاهیاتی. گذشته از آن، حتا اگر بیگ‌بنگ رخ داده باشد که اکنون همه‌ی شواهد به شدت از آن پشتیبانی می‌کند، بسته به گرایش دینی یا متافیزیکی هر کس، می‌توان آن را از جهات گوناگون تفسیر کرد. شما می‌توانید بیگ‌بنگ را به عنوان نشانه‌ای از نیاز به آفریدگار ببینید، یا در عوض استدلال کنید که ریاضیات نسبیّت عام بدون نیاز به هیچ دخالت ماورایی، فرگشت گیتی را درست از سرآغازش توضیح می‌دهد. ولی چنین گمانه‌زنی متافیزیکی مستقل از اعتبار فیزیکی خود بیگ‌بنگ است و ربطی به درک ما از آن ندارد. بدیهی است که با گذر به ورای صرفاً وجود گیتی انبساط‌یابنده برای درک اصول فیزیکی که می‌تواند به خاستگاه آن بپردازد، علم می‌تواند این گمانه‌زنی را واضح‌تر کند، و همان‌گونه که استدلال خواهیم کرد، چنین می‌کند.

در هر حال، نه لمت نه پاپ پیوس جهان علم را متقاعد نکردند که گیتی در حال انبساط است. در عوض، مطابق شیوه‌ی درستی علم، شاهد و مدرک از مشاهدات دقیق به دست آمد، و در این مورد ادوین هابل این کار را کرد، که کماکان الهام‌بخش من در ایمان زیاد به انسانیت است، چون کارش را به عنوان حقوق‌دادن شروع کرد و سپس اخترشناس شد.

پیش‌تر در ۱۹۲۵ هابل با تلسکوپ هوکر ۱۰۰ اینچی قله‌ی مانت ویلسن، بزرگ‌ترین تلسکوپ آن هنگام دنیا، به دستاوردی برجسته رسیده بود. برای مقایسه، اکنون ما تلسکوپ‌هایی با قطر ۱۰ برابر و مساحت یکصد برابر بزرگ‌تر می‌سازیم! تا آن هنگام، با تلسکوپ‌های موجود، اخترشناسان توانسته بودند تصاویری محو از اجسامی تهیه کنند که ستارگانی ساده در کهکشان خودمان نبودند. نام نیولا سحابی را بر آن‌ها نهادند، که در اصل واژه‌ی لاتینی به معنای "چیز محو" عملاً "ابر" است. آنان همچنین بر سر این که آیا این اجسام در کهکشان ما بودند یا بیرون از آن به بحث پرداختند.

چون تصویر غالب از گیتی در آن هنگام این بود که کهکشان ما همه‌ی آن چیزی است که آن‌جاست، بیش‌تر اخترشناسان در گروه "در کهکشان خودمان" قرار گرفتند، که سردسته‌ی آن اخترشناس مشهور هارلو شِپیلی^۲ در هاروارد بود. شِپیلی در کلاس پنجم مدرسه را ول کرده و خودش درس خوانده بود، و سرانجام به پرینستن رفت. او با برگزیدن نخستین موضوعی که در سرفصل دروس پیدا کرد، سراغ اخترشناسی رفت. او در کار دوران‌ساز خود نشان داد که راه شیری از آن‌چه که پیش‌تر تصور می‌شد بسیار بزرگ‌تر است و این که خورشید نه در مرکز که تنها در گوشه‌ای دورافتاده و غیر قابل توجه آن قرار گرفته است. او چهره‌ای پرابهت در اخترشناسی به شمار می‌رفت و بنابراین دیدگاه‌هایش درباره‌ی سرشت سحابی‌ها بسیار تأثیرگذار بود.

در روز سال نوی ۱۹۲۵، هابل نتایج مطالعه‌ی دوساله‌ی خود در مورد به اصطلاح سحابی‌های ماریچی را انتشار داد، که در آن توانسته بود نوع خاصی ستاره‌ی متغیر را در این سحابی‌ها، از جمله سحابی اکنون معروف به آندرومدا، شناسایی کند به نام ستاره‌ی متغیر سیفید.

ستارگان متغیر سیفید که نخستین بار در ۱۷۸۴ رصد شدند، ستارگانی‌اند که درخشندگی‌شان در تناوبی منظم تغییر می‌کند. در ۱۹۰۸، فردی گمنام و به وقتش اخترشناس قدرناشناخته آینده‌ی، به نام هنری‌یتا سوان لی‌ویت^۳ به عنوان "محاسبه‌گر" در رصدخانه‌ی کالج هاروارد استخدام شد. محاسبه‌گرها زنانی بودند که برای فهرست‌برداری از درخشندگی ستارگان ثبت‌شده روی صفحات عکاسی رصدخانه به کار گمارده می‌شدند؛ در آن هنگام استفاده‌ی زنان از تلسکوپ‌های رصدخانه قدغن بود. لی‌ویت که دختر یک کشیش کلیساهای آزاد و نواده‌ی کشیشان زائر بود، کشفی خیره‌کننده کرد، که در ۱۹۱۲ بیش‌تر پرده از آن برداشت: وی متوجه شد که رابطه‌ای منظم بین درخشندگی ستارگان سیفید و تناوب تغییرشان وجود دارد. بنابراین، اگر بتوان فاصله‌ی یک سیفید با تناوب مشخص را اندازه گرفت که متعاقباً در ۱۹۱۳ تعیین شد، آن‌گاه اندازه‌گیری درخشندگی سیفیدی دیگر با همان تناوب، تعیین فاصله‌ی ستارگان دیگر را امکان‌پذیر خواهد ساخت!

چون درخشندگی رصدشده‌ی ستارگان با توان دوم فاصله از ستاره نسبت وارون دارد نور به طور یکنواخت روی کره‌ای گسترده می‌شود که مساحتش با توان دوم فاصله افزایش می‌یابد، و بدین ترتیب چون نور روی کره‌ای بزرگ‌تر گسترده می‌شود، شدت نور رصدشده در هر نقطه‌ای به طور وارون نسبت به مساحت آن کره کاهش می‌یابد، تعیین فاصله تا ستارگان دوردست همواره یکی از چالش‌ها در اخترشناسی بوده است. کشف لی‌ویت این حوزه را زیر و رو کرد. خود هابل، که برای جایزه‌ی نوبل مورد توجه قرار نگرفته بود، اغلب می‌گفت که کار لی‌ویت شایسته‌ی این جایزه است، گرچه او چنان خودمدار و مبارزه‌جویی مادرزاد بود که شاید تنها دلیل حرفش آن بود تا جایزه‌ای برای کار بعدی‌اش را با لی‌ویت سهیم شود. در واقع کاغذبازی‌ها در آکادمی سلطنتی سوئد برای اعلان نام لی‌ویت به عنوان برنده‌ی نوبل ۱۹۲۴ آغاز شده بود که خبر رسید او سه سال پیش در اثر سرطان درگذشته است. به ضرب قدرت شخصیت، استعداد خود را بالاکشیدن، و مهارت به عنوان اخترشناس، هابل به نامی آشنا تبدیل شد، در حالی که لی‌ویت، با افسوس، تنها برای سینه‌چاکان این حوزه شناخته شده است.

هابل توانست از اندازه‌گیری خودش از سیفیدها و رابطه‌ی تناوب - درخشندگی لی‌ویت استفاده کند تا کاملاً اثبات نماید که سیفیدها در آندرومدا و چند سحابی دیگر چنان دوردست‌اند که نمی‌توانند درون راه شیری باشند. کشف شد که آندرومدا گیتی جزیره‌ای دیگری است، کهکشان مارپیچی دیگری تقریباً شبیه به مال خودمان، و یکی از بیش از ۱۰۰ میلیارد کهکشان دیگر که، اکنون می‌دانیم، در گیتی مشاهده‌پذیر ما جای دارند. نتیجه‌گیری هابل چنان واضح بود که جامعه‌ی اخترشناسی - از جمله شیپلی، که از سر اتفاق در آن زمان سرپرست رصدخانه‌ی کالج هاروارد شده بود، جایی که لی‌ویت کار انقلابی‌اش را در آن‌جا انجام داده بود - به سرعت این واقعیت را پذیرفت که راه شیری همه‌ی آن چیزی نیست که در گرداگرد ما قرار دارد. ناگهان اندازه‌ی گیتی شناخته شده با یک جهش از آن‌چه که طی سده‌ها داشت بزرگ‌تر شد! مشخصه‌هایش نیز به همراه هر چیز دیگری دستخوش دگرگونی شد.

پس از این کشف شگرف، هابل می‌توانست از موفقیت به خودش ببالد، ولی او به دنبال ماهی بزرگ‌تر بود، یا در این مورد، کهکشان‌های بزرگ‌تر. با اندازه‌گیری سیفیدهای هرچه کم‌نورتر در کهکشان‌های هرچه دورتر، او توانست نقشه‌ی گیتی را در مقیاس‌های روزبه‌روز بزرگ‌تر تهیه کند. ولی با این کار او به چیز دیگری دست یافت که از این حرف‌ها چشمگیرتر بود: گیتی دارد گسترش می‌یابد!

هابل با مقایسه‌ی فواصل کهکشان‌هایی که خودش اندازه گرفته بود با مجموعه‌ی متفاوتی از اندازه‌گیری‌های انجام‌شده توسط اخترشناس آمریکایی دیگری به نام وستو سلیفر/اسلایفر، که طیف‌های نور آمده از این کهکشان‌ها را اندازه گرفته بود، به این نتیجه رسید. برای فهمیدن دلیل و سرشت چنین طیف‌هایی، مجبورم تا شما را به سپیده‌دم اخترشناسی نوین ببرم.

یکی از مهمترین کشف‌ها در اخترشناسی این بود که اجزای ستاره و اجزای زمین عمده‌تاً یکی هستند. مانند بسیاری از چیزها در علم نوین، داستان به آیزاک نیوتون باز می‌گردد. در ۱۶۶۵ نیوتون، که دانشمندی جوان بود، باریکه‌ی نازکی از آفتاب را، که با تاریک‌کردن اتاقش و بازکردن سوراخی کوچک درون کرکره‌ی پنجره درست کرده بود، از درون منشور گذراند و دید که آفتاب به رنگ‌های آشنای رنگین‌کمان تفکیک می‌شود. او استدلال کرد که نور سفید آمده از خورشید دربرگیرنده‌ی تمام این رنگ‌هاست، و درست هم می‌گفت.

یکصد و پنجاه سال بعد، دانشمندی دیگر با دقتی بیشتر نور تفکیک‌شده را بررسی کرد، و به نوارهایی تاریک در بین رنگ‌ها دست یافت، و استدلال کرد که این نوارها ناشی از وجود موادی در اتمسفر بیرونی خورشیدند که نور رنگ‌هایی خاص یا طول‌موج‌هایی معین را جذب می‌کنند. این به اصطلاح "نوارهای جذبی" را می‌شد با طول‌موج‌هایی از نور شناسایی کرد که معلوم شد توسط مواد شناخته شده‌ای در روی زمین، از جمله هیدروژن، اکسیژن، آهن، سدیم، و کلسیم، جذب می‌شوند.

در ۱۸۶۸، دانشمند دیگری دو خط جذبی تازه در بخش زرد طیف خورشیدی کشف کرد که با هیچ عنصر شناخته‌شده‌ای روی زمین متناظر نبود. او مطمئن بود که این باید ناشی از نوعی عنصر تازه باشد، که آن را هلیوم نامید. یک نسل بعد، هلیوم روی زمین کشف شد.

نگریستن به طیف تابش آمده از دیگر ستارگان، ابزار علمی مهمی است برای فهمیدن ترکیب، دما، و فرگشت آن‌ها. از ۱۹۱۲، سلینر طیف‌های نور آمده از سحابی‌های مارپیچی گوناگون را مشاهده کرد و پی برد که این طیف‌ها با طیف‌های ستارگان نزدیک به ما یکسان است - به جز این‌که همه‌ی خطوط جذبی به یک اندازه در طول‌موج جابه‌جا شده بودند.

سپس مشخص شد که این پدیده ناشی از اثر آشنای "داپلر" است، برگرفته از نام فیزیکدان اتریشی کریستین داپلر، که در ۱۸۴۲ شرح داد موج‌های آمده به سمت شما از چشمه‌ای متحرک در صورت دورشدن چشمه از شما کشیده و در صورت نزدیک‌شدنش به شما فشرده می‌شوند. این بیان پدیده‌ای است آشنا برای همگی‌مان، و برای آن معمولاً من کارتونی از سیدنی هریس را مثال می‌زنم که در آن دو کابوی در وسط دشت روی اسب‌هایشان نشسته‌اند و دارند به قطاری در دوردست می‌نگرند، و یکی به دیگری می‌گوید "من از شنیدن این ناله‌ی تنهایی سوت قطار، وقتی بزرگی فرکانس به خاطر اثر داپلر تغییر می‌کنه خیلی خوشم میاد!" راستش چه سوت قطار چه آژیر آمبولانس، اگر قطار یا آمبولانس به سمت شما بیایند شدت بیش‌تر و اگر از شما دور شوند شدت کم‌تری پیدا می‌کنند.

معلوم شده که همین پدیده مانند موج‌های صوتی برای موج‌های نور هم رخ می‌دهد، گرچه به دلیلی تا حدی متفاوت. موج‌های نور آمده از چشمه‌ی دورشونده از شما، خواه ناشی از حرکت موضعی آن در فضا خواه ناشی از انبساط میانی فضا، کشیده خواهد شد، و بنابراین از آن چیزی که در غیر این صورت خواهد بود سرخ‌تر به نظر می‌رسد، چون سرخ در انتهای طول موج بلند طیف مرئی است، در حالی که موج‌های آمده از چشمه‌ی نزدیک‌شونده به سمت شما فشرده‌تر می‌شوند و آبی‌تر به نظر خواهند آمد.

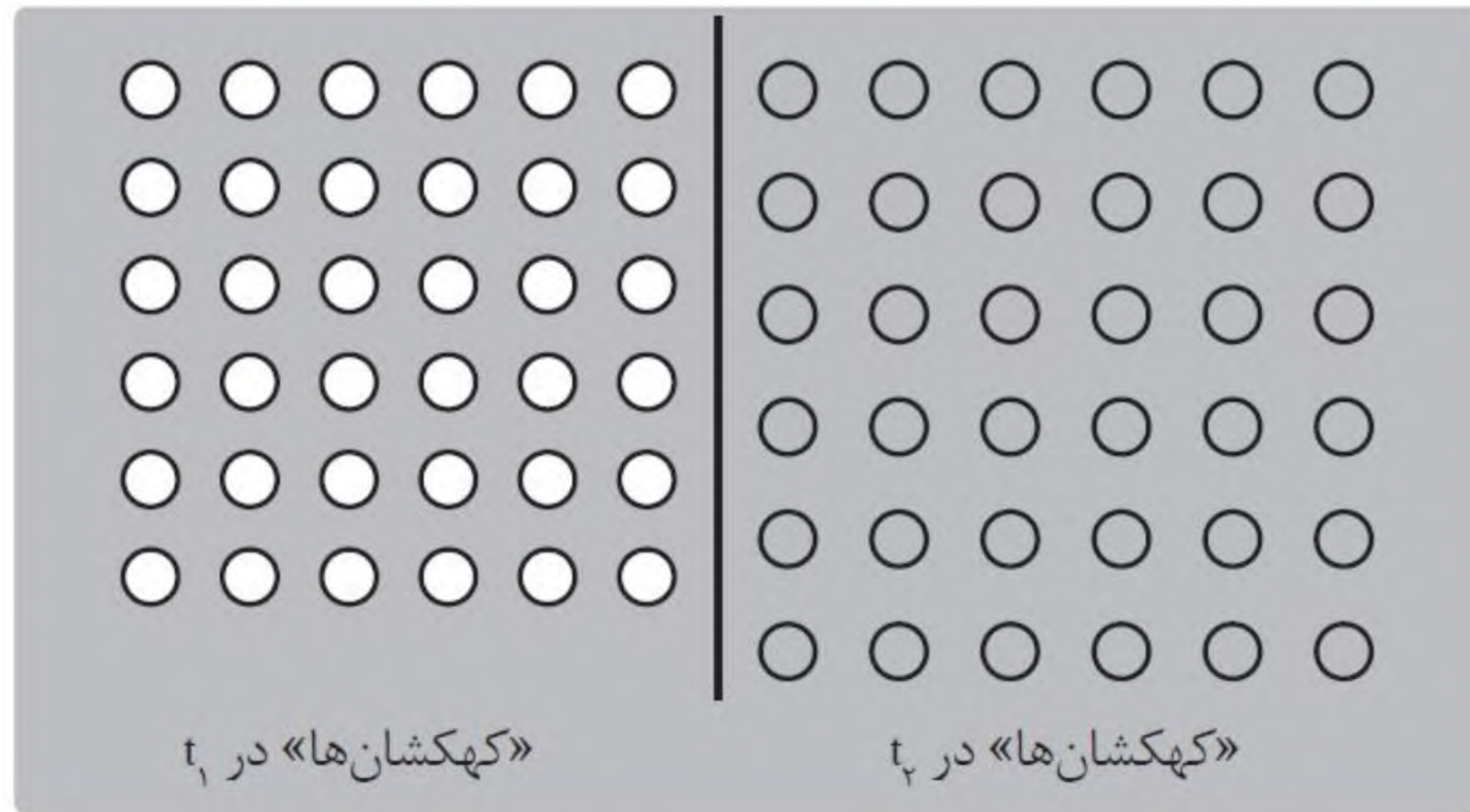
سلیفر در ۱۹۱۲ مشاهده کرد که خطوط جذبی نور آمده از همه‌ی سحابی‌های مارپیچی تقریباً به طور اسلوبمند به سمت طول موج‌های بلندتر جابه‌جا شده‌اند گرچه برخی، مانند آندرومدا، به سمت طول موج‌های کوتاه‌تر جابه‌جا شده بودند. او به درستی نتیجه گرفت که بدین ترتیب بیش‌تر این اجسام با سرعت‌هایی چشمگیر از ما دور می‌شوند.

هابل توانست رصدهای خودش از فاصله‌ی این کهکشان‌های مارپیچی نام‌آموزین آن‌ها را با اندازه‌گیری‌های سلیفر از سرعت‌هایی که آن‌ها از ما دور می‌شدند، مقایسه کند. در ۱۹۲۹، به کمک یکی از کارکنان مانت ویلسن، میلتن هیومیسن که چنان استعداد فنی محشری داشت که بدون داشتن دیپلم دبیرستان در مانت ویلسن کار پیدا کرده بود، هابل به کشفی از رابطه‌ی تجربی چشمگیری رسید، که اکنون به نام قانون هابل مشهور است: رابطه‌ای خطی بین تندی پس‌روی و فاصله‌ی کهکشان برقرار است. بدین ترتیب، هر چه کهکشان از ما دورتر باشد با تندی بیش‌تری از ما دور می‌شود!

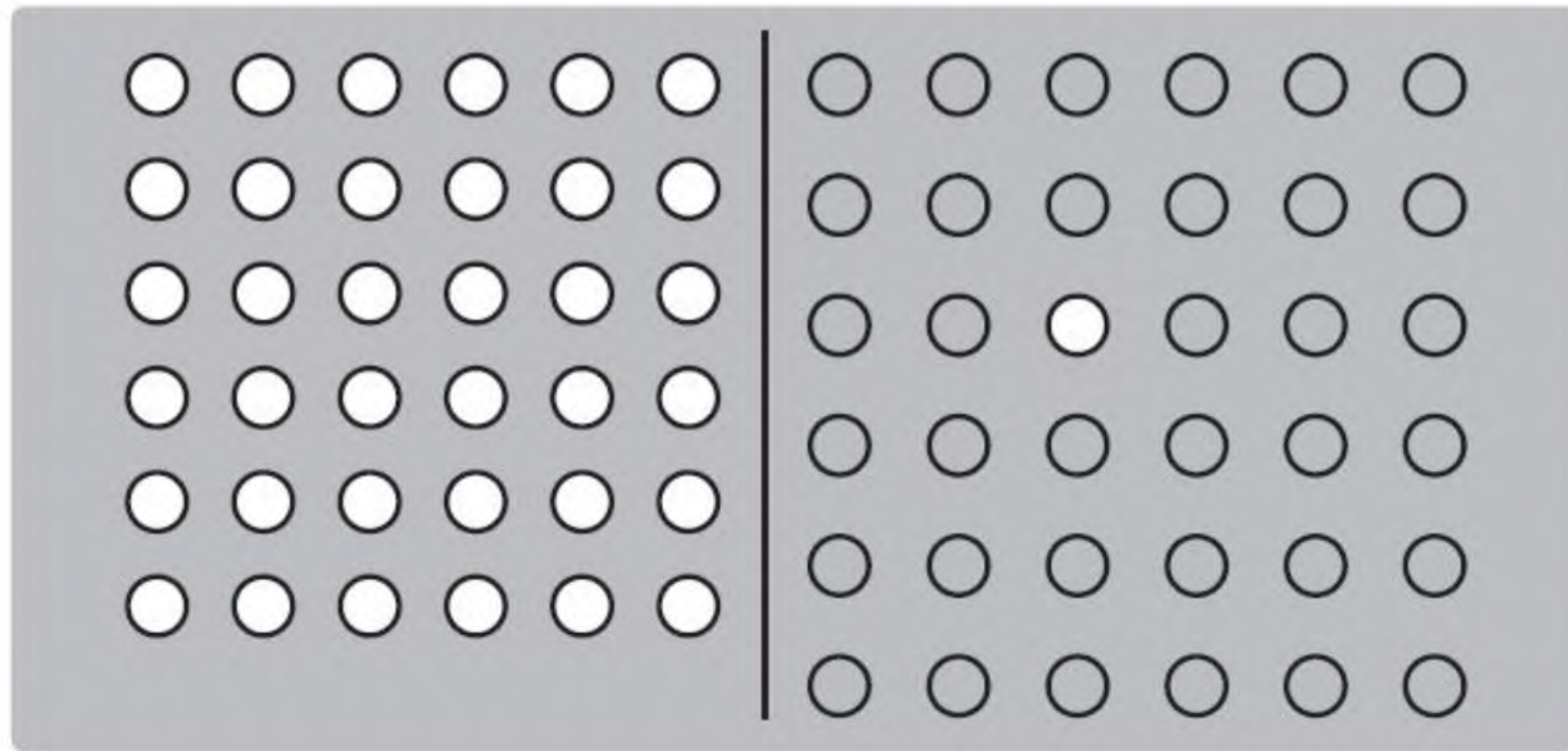
هنگامی که این واقعیت شگرف برای نخستین بار مطرح شد - این که همه‌ی کهکشان‌ها دارند از ما دور می‌شوند، و آن‌هایی که دو برابر از ما دورند دو برابر سریع‌تر دور می‌شوند، آن‌هایی که سه برابر دورند سه برابر سریع‌تر دور می‌شوند، و الخ - انگار دارد داد می‌زد: ما در مرکز گیتی هستیم!

به قول برخی از دوستان، باید روزانه به یادم آورده شود که، چنین نیست. بلکه این دقیقاً با رابطه‌ای سازگاری داشت که لمت پیش‌بینی کرده بود. گیتی ما به راستی دارد انبساط می‌یابد.

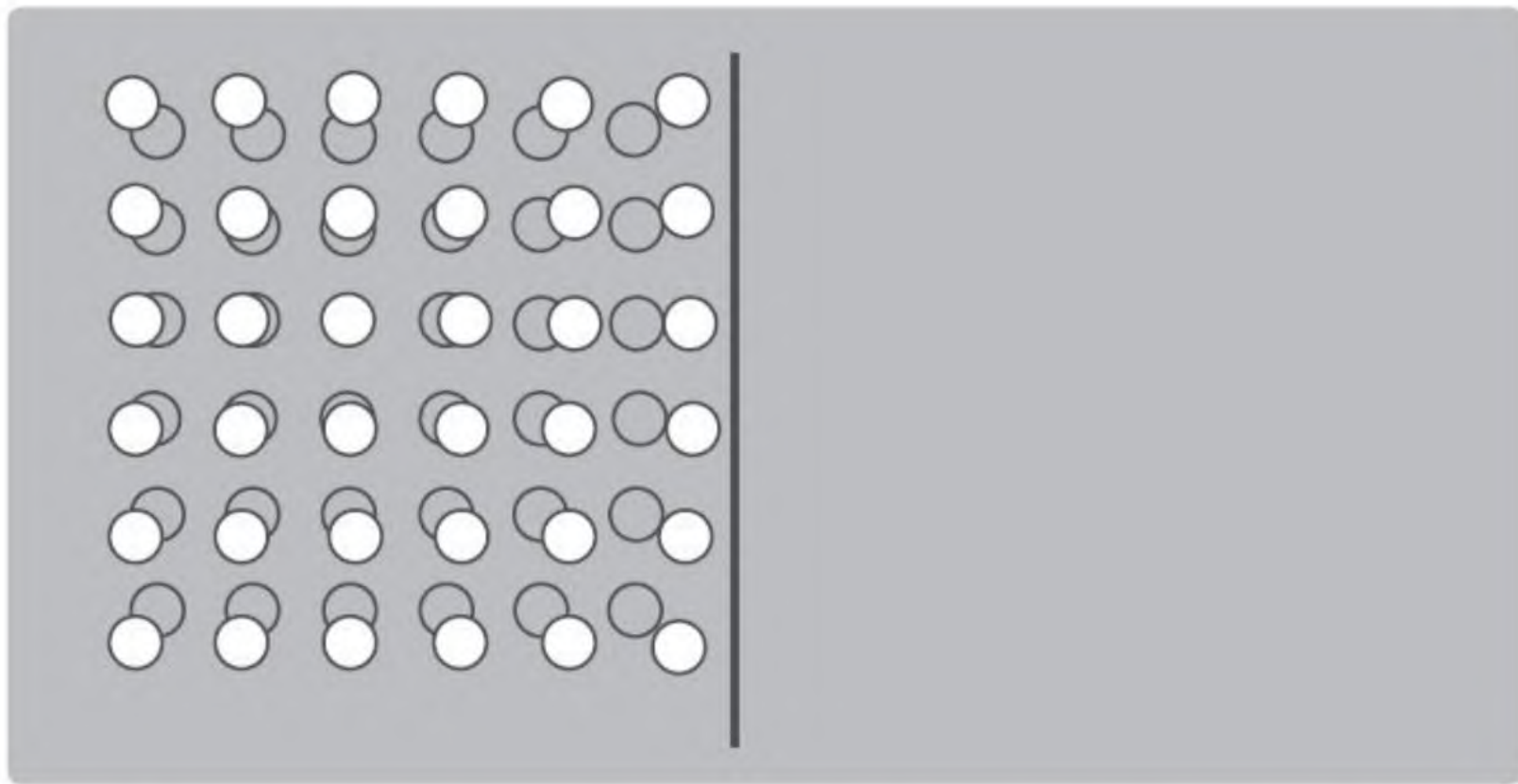
من راه‌های گوناگونی را برای توضیح این مطلب امتحان کرده‌ام، و راستش را بخواهید فکر نمی‌کنم هیچ راه مناسبی وجود داشته باشد مگر شما از بیرون به محوطه بنگرید - و در این مورد، از بیرون محوطه‌ی گیتی. برای این‌که ببینیم قانون هابل چه می‌گوید، لازم است که از نظرگاه مناسب نزدیک‌بینانه‌ی کهکشان خودمان پا را بیرون بگذارید و از بیرون به گیتی خودمان بنگرید. خب اگر ایستادن در بیرون گیتی سه بعدی دشوار باشد، ایستادن در بیرون یک گیتی دو بعدی آسان است. در زیر من گیتی انبساط‌یابنده‌ای را در دو زمان متفاوت ترسیم کرده‌ام. همان طور که می‌بینید، کهکشان‌ها در زمان دوم از هم دورتر شده‌اند.



اکنون تصور کنید شما در زمان دوم، t_2 در یکی از کهکشان‌ها زندگی می‌کنید، که آن را در زمان t_1 با سفید نشان‌گذاری می‌کنم.

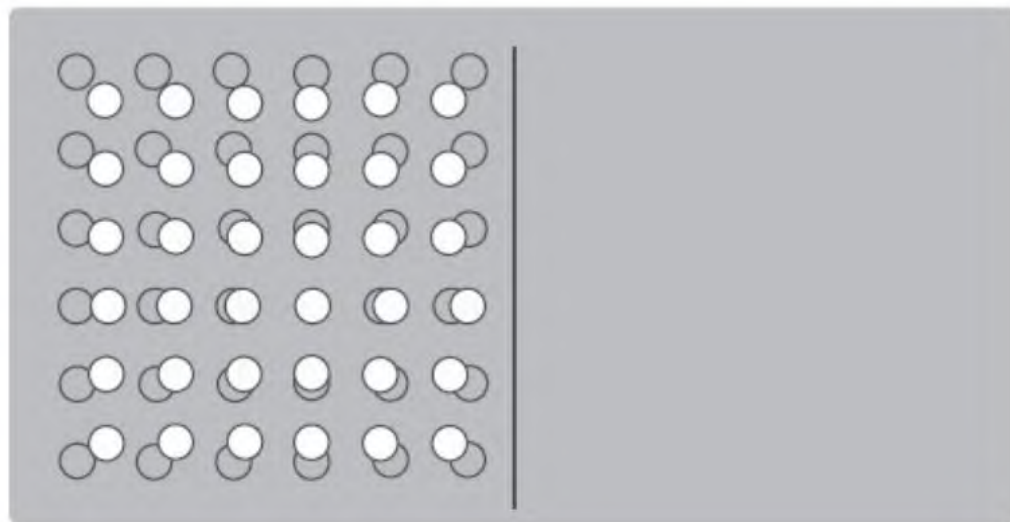
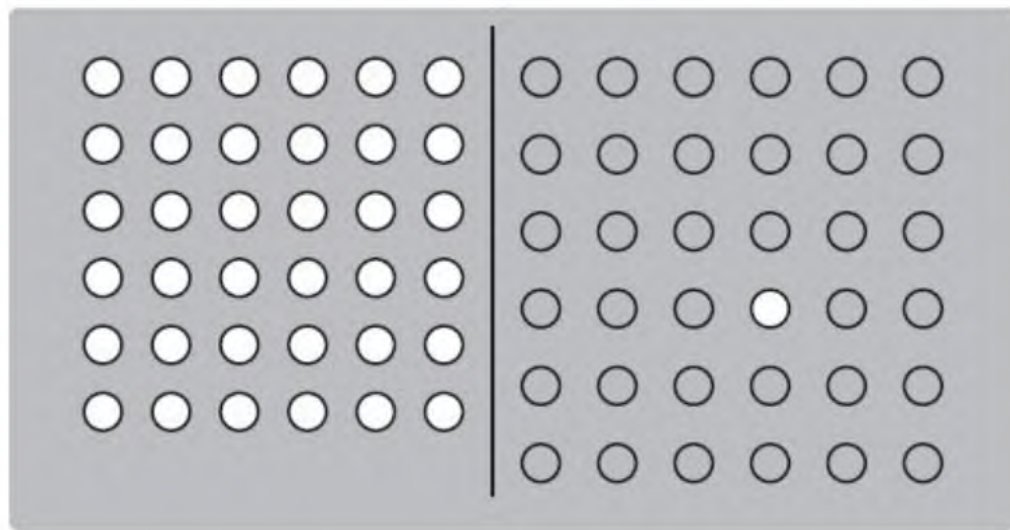


برای دیدن این که از نظرگاه مناسب این کهکشانش، فرگشت گیتی چگونه به چشم می آید، به سادگی تصویر راست را روی چپی می گذارم، و کهکشانش سفید را روی خودش قرار می دهم.



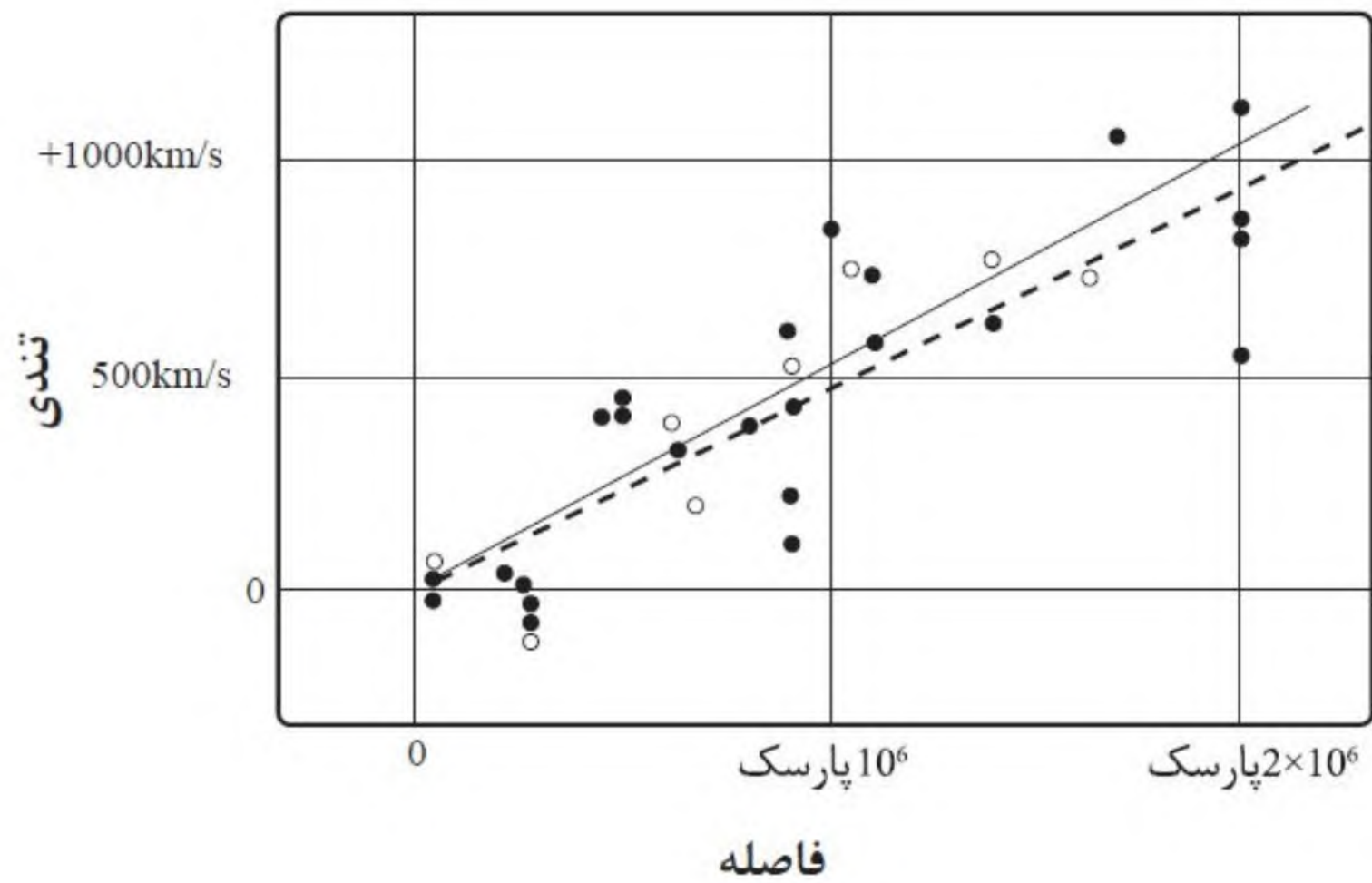
حالا شد! از نظرگاه مناسب، این کهکشان دارد از هر کهکشان دیگری دور می‌شود، و آن‌ها که دو برابر دورند در همان زمان دو برابر دورتر رفته‌اند، آن‌هایی که سه برابر دورند سه برابر دورتر رفته‌اند، و الخ. تا زمانی که لبه‌ای در کار نباشد، ساکنین این کهکشان فکر می‌کنند که انگار در مرکز انبساط نشسته‌اند.

مهم نیست که چه کهکشانی را برمی‌گزینید. کهکشانی دیگر را امتحان کنید:



بنابراین، بسته به چشم‌انداز شما، یا هر مکانی مرکز گیتی است، یا هیچ مکانی. اهمیتی ندارد؛ قانون هابل با گیتی در حال انبساط سازگاری دارد.

خب، هنگامی که هابل و هیومِیسن برای نخستین بار در ۱۹۲۹ تحلیل خود را گزارش کردند، نه تنها رابطه‌ای خطی بین فاصله و تندی پس‌روی، که برآوردی کمی از خود آهنگ انبساط را ارائه کردند. این همان داده‌هایی است که در آن زمان گزارش شد:



همان طور که می‌توانید ببینید، انگار حدس هابل برای برازش خطی مستقیم روی این مجموعه داده‌ها به نسبت از روی خوش شانس بوده است. واضح است که رابطه‌ای در این بین هست، ولی تنها بر اساس این داده‌ها چندان معلوم نیست که خط راست بهترین برازش باشد. عددی را که آنان، از روی این نمودار، برای آهنگ انبساط به دست آوردند، پیشنهاد می‌کند که کهکشان‌ها در فاصله‌ی یک میلیون پارِسِک سه میلیون سال نوری - میانگین فاصله‌ی بین کهکشان‌ها - دارد با سرعت ۵۰۰ کیلومتر بر ثانیه از ما دور می‌شود. ولی این برآورد دیگر چندان با خوش‌اقبال‌ی همراه نبود.

دیدن دلیل آن به نسبت ساده است. اگر امروز همه چیز دارد دور می‌شود، پس در گذشته آن‌ها به هم نزدیک‌تر بوده‌اند. خب، پس اگر گرانش نیروی ربایشی باشد، انبساط گیتی را باید آهسته کند. یعنی، کهکشان‌ها را که امروز داریم می‌بینیم با سرعت ۵۰۰ کیلومتر بر ثانیه از ما دور می‌شود، پیش‌تر سریع‌تر می‌رفته است.

خب اگر فعلاً تصور کنیم که این کهکشان همواره با آن سرعت پیش می‌رفته، می‌توانیم به عقب برگردیم و ببینیم چه مدت پیش با کهکشان خودمان در یک جا قرار داشته است. چون کهکشان‌های دو برابر دورتر دو برابر تندتر می‌روند، اگر به عقب برگردیم می‌بینیم که آن‌ها درست همزمان روی مکان خودمان قرار می‌گیرند. راستش، تمام گیتی مشاهده‌پذیر روی یک نقطه، بیگ‌بنگ، در زمانی که می‌توانیم آن را بدین شیوه برآورد کنیم، برهم‌نهی می‌شود.

چنین برآوردی به روشنی، حد بالایی برای سن گیتی است، چون، اگر کهکشان‌ها زمانی تندتر می‌رفتند، می‌باید در مدتی کم‌تر از چیزی که این برآورد می‌گوید به مکان امروزمین خود رسیده باشند.

از روی این برآورد بر پایه‌ی تحلیل هابل، بیگ‌بنگ کمابیش ۱۰.۵ میلیاردسال پیش رخ داد. با این حال، حتا در ۱۹۲۹ مدرک واضح در دست بود به جز برای برخی لفظ‌باوران کتاب مقدس در تنسی، اوهایو، و چند ایالت دیگر که زمین پیرتر از ۳ میلیاردسال است.

خب، برای دانشمندان شرم‌آور است که پی‌ببرند زمین از گیتی پیرتر است. پس یک جای این تحلیل ایراد دارد.

سرچشمه‌ی این سردرگمی به سادگی در این نکته بود که برآوردهای فاصله‌ی هابل، حاصل از رابطه‌های سیفید در کهکشان خودمان، به طور اسلوبمند نادرست بودند. مقیاس فاصله بر پایه‌ی استفاده از سیفیدهای نزدیک برای برآورد فاصله‌ی سیفیدهای دورتر، و سپس برآوردکردن این فاصله تا کهکشان‌هایی که در آن‌ها سیفیدهای بازهم دورتری رصد شده بودند، نقص داشت.

داستان برطرف کردن این اثرات اسلوبمند سر درازی دارد و شرح آن در این جا به کارمان نمی‌آید و، در هر صورت، دیگر هیچ اهمیتی ندارد چون امروزه از برآوردکننده‌ای به مراتب بهتر برای فاصله استفاده می‌کنیم.

یکی از عکس‌های مورد علاقه‌ی من که تلسکوپ فضایی هابل گرفته در زیر نشان داده شده است:



این عکس کهکشان مارپیچی زیبایی را در فاصله‌ی بسیار دوردست، و در زمانی بسیار پیش نشان می‌دهد زمانی بسیار پیش چون نور از این کهکشان مدتی طول می‌کشد - بیش از ۵۰ میلیون سال - تا به ما برسد. کهکشانی مارپیچی مانند این، که شبیه مال خودمان است، کمابیش ۱۰۰ میلیارد ستاره در خود دارد. قلب درخشان واقع در مرکز آن شاید ۱۰ میلیارد ستاره داشته باشد. به ستاره‌ی واقع در گوشه‌ی چپ پایین توجه کنید که دارد با درخشندگی تقریباً برابر با آن ۱۰ میلیارد ستاره می‌درخشد. در نگاه نخست شاید به طور معقول فکر کنید که این ستاره‌ای است به مراتب نزدیک‌تر در کهکشان خودمان که در مسیر عکس قرار گرفته. ولی راستش، این ستاره هم‌فاصله با همان کهکشان است، بیش از ۵۰ میلیون سال نوری دور از ما.

آشکار است که این ستاره‌ای معمولی نیست. این ستاره‌ای است تازه منفجر شده، یک ابرنواختر، یکی از درخشان‌ترین آتش‌بازی‌ها در گیتی. هنگامی که ستاره‌ای می‌ترکد، در مدتی کوتاه طی حدود یک ماه با درخشندگی ۱۰ میلیارد ستاره در نور مرئی می‌درخشد.

از شانس ما، ستارگان زود به زود نمی‌ترکند، حدود یکی در صدسال در کهکشان. ولی از این که می‌ترکند نیز شانس آورده‌ایم، چون اگر چنین نمی‌کردند، ما این‌جا نبودیم. یکی از شاعرانه‌ترین واقعیت‌هایی که من درباره‌ی گیتی می‌دانم آن است که اصولاً هر اتمی در بدن شما زمانی در ستاره‌ای بوده که منفجر شده. گذشته از آن، اتم‌های درون دست چپ شما شاید از ستاره‌ای متفاوت آمده باشند تا آن‌هایی که در دست راستان هست. ما، به معنای دقیق کلمه، فرزندان ستارگانیم، و کالبدمان ساخته شده از غبارستاره‌ای است.

از کجا می‌دانیم؟ خب، می‌توانیم به برونمایی تصویر موجود از بیگ‌بنگ تا زمانی که گیتی حدود ۱ ثانیه از عمرش گذشته بود بپردازیم، و محاسبه کنیم که تمام ماده‌ی مشاهده‌شده در پلاسمایی چگال که دمایش می‌باید حدود ۱۰ میلیارد درجه مقیاس کلوین بوده باشد، فشرده شد. در این دما واکنش‌های هسته‌ای می‌توانند به سادگی بین پروتون‌ها و نوترون‌ها رخ دهند، چون با هم پیوند می‌دهند و سپس در اثر برخوردهای بیش‌تر از هم جدا می‌شوند. به دنبال این فرایند با خنک‌شدن گیتی، می‌توانیم پیش‌بینی کنیم که این سازندگان هسته‌ای نخستی هر از چند باری با هم پیوند می‌یابند تا هسته‌ی اتم‌هایی سنگین‌تر از هیدروژن مثلاً هلیوم، لیتیم، و غیره را بسازند.

با این کار، پی می‌بریم که اصولاً هیچ هسته‌ای - و رای لیتیم، سومین هسته‌ی سنگین در طبیعت - طی آتش‌گوی نخستی که همان بیگ‌بنگ باشد، تشکیل نشد. از درستی محاسباتمان مطمئنیم، زیرا پیش‌بینی‌های ما در مورد فراوانی سبک‌ترین عناصر با این مشاهدات همخوانی بی‌مانندی دارد. فراوانی این سبک‌ترین عناصرها - هیدروژن، دوتریم هسته‌ی هیدروژن سنگین، هلیم، و لیتیم - با ۱۰ مرتبه‌ی بزرگی تغییر می‌کند تقریباً ۲۵ درصد پروتون‌ها و نوترون‌ها، بر حسب جرم، به هلیم ختم می‌شوند، در حالی که ۱ از هر ۱۰ میلیارد پروتون و نوترون به هسته‌ی لیتیم می‌رسند. در این گستره‌ی باورنکردنی، مشاهدات و پیش‌بینی‌های نظری همخوانی دارند.

این یکی از مشهورترین، برجسته‌ترین، و موفق‌ترین پیش‌بینی‌هایی است که به ما می‌گوید بیگ‌بنگ به راستی رخ داده. تنها یک بیگ‌بنگ داغ می‌توانست فراوانی مشاهده‌شده از عناصر سبک را تولید کند و با انبساط کنونی مشاهده‌شده‌ی گیتی سازگار بماند. من در جیب شلوارم دسته‌ای ورق دارم که مقایسه‌ای بین پیش‌بینی‌های فراوانی عناصر سبک و فراوانی مشاهده‌شده را نشان می‌دهد، تا هر بار که با کسی مواجه شدم که باور نمی‌کند بیگ‌بنگ رخ داده، بتوانم آن‌ها را به وی نشان دهم. البته معمولاً در بحث‌هایم کار را به این جا نمی‌کشانم، چون برای کسانی که از پیش تصمیم گرفته‌اند که چیزی در این تصویر اشتباه است، این داده‌ها به ندرت تأثیرگذارند. به هر حال من این ورق‌ها را با خودم می‌برم و بعداً در همین کتاب آن‌ها را به شما نشان می‌دهم.

با آن که لیتیم برای برخی افراد مهم است، برای بقیه ما همه‌ی عناصر سنگین‌تر مانند کربن، نیتروژن، اکسیژن، آهن، و غیره به مراتب مهم‌تر است. این‌ها در بیگ‌بنگ ساخته نشدند. تنها مکانی که این عناصرها می‌توانند ساخته شوند در قلب آتشین ستارگان است. و تنها راهی که آن‌ها می‌توانند امروز سر از بدن شما در آورند آن است که اگر این ستارگان به حد کافی دست و دلباز باشند تا بترکند و فراورده‌های خود را در کیهان بپاشند، آن‌ها می‌توانند روزی در و پیرامون سیاره‌ی آبی‌رنگ کوچکی در همجواری ستاره‌ای که خورشید می‌خوانیمش گرد هم آیند. در طول پیشینه‌ی کهکشان خودمان، حدود ۲۰۰ میلیون ستاره ترکیده‌اند. این ستارگان بیشمار خود را، به عبارتی، فدا کردند تا یک روز شما بتوانید زاده شوید. من آن‌ها را بیش از هر چیز دیگری شایسته‌ی عنوان نجات‌دهنده می‌دانم.

با مطالعات دقیق صورت گرفته در دهه‌ی ۱۹۹۰، معلوم شد که نوع خاصی ستاره‌ی منفجرشونده، به نام ابرنواختر نوع Ia، داری ویژگی چشمگیری است: با دقت زیاد، ابرنواختران نوع Ia که ذاتاً درخشان‌ترند طولانی‌تر هم می‌درخشند. این همبستگی، گرچه از لحاظ نظری کاملاً درک نشده، از نظر تجربی بسیار مستحکم است. معنایش آن است که این ابرنواختران "شمع‌های استاندارد" بسیار خوبی‌اند. منظور آن است که از این ابرنواختران می‌توان برای کالیبره کردن فواصل استفاده کرد، چون می‌توان با یک اندازه‌گیری که مستقل از فاصله‌ی آن‌هاست، به طور مستقیم به درخشندگی ذاتی آن‌ها پی برد. اگر ابرنواختری را در یک کهکشان دوردست رصد کنیم - و می‌توانیم، چون بسیار درخشان‌اند - آن‌گاه با مشاهده‌ی مدت درخشش، می‌توانیم درخشندگی ذاتی آن را تعیین کنیم. سپس، با اندازه‌گیری درخشندگی ظاهری آن با تِلکسوپ، می‌توانیم به دقت نتیجه بگیریم که این ابرنواختر و کهکشان میزبان‌ش چقدر از ما دورند. سپس، با اندازه‌گیری "جابه‌جایی به سرخ" نور آمده از ستارگان آن کهکشان، می‌توانیم سرعتش را به دست آوریم، و بدین ترتیب می‌توانیم سرعت را با فاصله مقایسه کنیم و آهنگ انبساط گیتی را نتیجه بگیریم.

تا اینجا که همه چیز خوب پیش رفته، ولی اگر ابرنواختران تنها هر صدسال یک‌بار در کهکشان منفجر شوند چقدر احتمال دارد که یکی از آن‌ها را ببینیم؟ گذشته از آن، آخرین ابرنواختر در کهکشان خودمان که از روی زمین شاهدش بودند در ۱۶۰۴ توسط یوهانس کپلر دیده شد. راستش می‌گویند که ابرنواخترها در کهکشان خودمان تنها در طول زندگی بزرگ‌ترین اخترشناسان رصد می‌شوند، و کپلر بی تردید با این گفته همخوانی دارد.

کپلر که کارش را به عنوان آموزگار ساده‌ی ریاضی در اتریش شروع کرد، تبدیل به دستیار تیکو براهه اخترشناس شد کسی که ابرنواختری را پیش‌تر در کهکشان خودمان رصد کرده بود و به ازای آن جزیره‌ای را تمام و کمال از سوی پادشاه دانمارک هدیه گرفت، و با استفاده از داده‌های براهه در مورد مکان سیارات در آسمان که طی بیش از یک دهه تهیه شده بود، کپلر سه قانون مشهور خود برای حرکت سیاره‌ای را در اوایل سده‌ی هفدهم ارائه کرد:

۱. سیارات به دور خورشید در مداری بیضی می‌چرخند.

۲. خط متصل کننده‌ی سیاره و خورشید در بازه‌های زمانی برابر، مساحت‌های برابر را در می‌نوردد.

۳. توان دوم تناوب مداری سیاره در تناسب مستقیم با توان سوم نیم‌محور بزرگ مدارش است یا به عبارت دیگر، با "نیم محور بزرگ" بیضی، نصف اندازه‌ی پهن‌ترین بخش بیضی.

این قوانین به نوبه‌ی خود راه را برای دستیابی نیوتون به قانون همگانی گرانش در حدود یک سده بعد هموار کرد. در کنار این سهم برجسته، کپلر با موفقیت از مادرش در محاکمه به اتهام جادوگری دفاع کرد و شاید نخستین داستان علمی تخیلی را، درباره‌ی سفر به ماه، نوشت.

امروزه، راه ساده برای دیدن ابرنواختران آن است که دانشجویان دکتری را مأمور کنید تا به هر کهکشانی در آسمان بنگرند. هر چه باشد، دست کم در مفهوم کیهانی، یکصد سال چندان فرقی با مدت انجام پژوهش دکتری ندارد و دانشجویان ارزان‌اند و فراوان. ولی خوشبختانه نیازی نیست دست به دامن چنین راه حلی بشویم، به یک دلیل ساده: گیتی بزرگ است و کهن، و در نتیجه، رویدادهای نادر در تمام مدت رخ می‌دهند.

شی به بیشه‌زار یا صحرا بروید، جایی که بتوانید ستارگان را ببینید و دستتان را بالا بگیرید، با انگشتان شست و سبابه‌تان دایره‌ای به اندازه‌ی یک سکه‌ی کوچک درست کنید. آن را به سمت بخش تاریکی از آسمان نگه دارید، جایی که هیچ ستاره‌ای دیده نشود. در آن بخش تاریک، با تلسکوپی به حد کافی بزرگ از آن‌هایی که امروز به کار می‌گیریم، می‌توانید شاید تا ۱۰۰.۰۰۰ کهکشان، هر کدام شامل میلیاردها ستاره را ببینید. چون ابرنواختران هر یکصد سال در کهکشان می‌ترکند، با ۱۰۰.۰۰۰ کهکشان پیش رو، باید انتظار داشته باشید که، در میانگین، حدود سه

ستاره را ببینید که در هر شب می‌ترکند.

اخترشناسان نیز همین کار را می‌کنند. آنان تلسکوپ را رزرو می‌کنند، و برخی شب‌ها شاید یک ستاره را ببینند که می‌ترکد، برخی شب‌ها دوتا، و برخی شب‌ها شاید هوا ابری باشد و نتوانند چیزی ببینند. به این شیوه، چندین گروه توانسته‌اند ثابت هابل را با عدم قطعیت کم‌تر از ۱۰ درصد تعیین کنند. عدد تازه، حدود ۷۰ کیلومتر در ثانیه برای کهکشان‌هایی در فاصله‌ی میانگین ۳ میلیون سال نوری است، تقریباً با ضریب ۱۰ کم‌تر از برآورد هابل و هیومیسن. در نتیجه، نتیجه می‌گیریم که سن گیتی به ۱۳ میلیاردسال نزدیک‌تر باشد تا ۱۰.۵ میلیارد سال.

بعداً خواهیم گفت که این نیز در همخوانی کامل با برآوردهای مستقل از سن کهن‌ترین ستارگان در کهکشان خودمان است. از براهه تا کپلر، از لُمِت تا اینشتین و هابل، و از طیف‌های ستارگان تا فراوانی عناصر سبک، چهارصد سال علم نوین، تصویری شگرف و سازگار از گیتی انبساط‌یابنده ارائه کرده است. همه چیز با هم می‌خواند. تصویر بیگ‌بنگ در وضعیت خوبی است.

فصل ۲: یک داستان رازآلود کیهانی: وزن کردن گیتی

شناخته‌های شناخته داریم. این‌های چیزهایی‌اند که می‌دانیم. ناشناخته‌های شناخته داریم. یعنی، چیزهایی که می‌دانیم نمی‌دانیم. ولی ناشناخته‌های ناشناخته هم داریم. چیزهایی که نمی‌دانیم نمی‌دانیم.

دانلد رامسفلد

با فهمیدن این‌که گیتی سرآغازی داشته، و این‌که آن سرآغاز در زمانی مشخص و قابل اندازه‌گیری در گذشته بوده، پرسش طبیعی بعدی این است که، "چطور به پایان می‌رسد؟"

راستش همین پرسش بود که باعث شد من پا را از قلمروی خانگی‌ام، فیزیک ذرات، به کیهان‌شناسی بگذارم. طی دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، از روی اندازه‌گیری‌های مفصل حرکت ستارگان و گاز در کهکشان خودمان، و نیز از حرکت کهکشان‌ها در گروه‌های بزرگ کهکشان‌ها موسوم به خوشه‌ها، روز به روز بیش‌تر معلوم شد که از آن‌چه که به چشم یا تلسکوپ می‌آید، در گیتی چیزهای زیادتری هست.

گران‌ش نیروی اصلی عمل‌کننده در مقیاس عظیم کهکشان‌هاست، پس اندازه‌گیری حرکت اجسام در این مقیاس‌ها، امکان واریس ربایش گران‌شی را که عامل این حرکت است، در اختیارمان می‌گذارد. چنین اندازه‌گیری‌هایی با کارهای پیشگامانه‌ی اخترشناس آمریکایی ورا رابین و همکاران وی در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ به راه افتاد. رابین پس از رفتن به کلاس‌های شبانه، در حالی که شوهرش در ماشین منتظرش می‌ماند چون خودش رانندگی بلد نبود، دکتری خود را از جرج‌تاون گرفت. او برای پرینستن اقدام کرده بود، ولی آن دانشگاه تا ۱۹۷۵ زنان را برای دوره‌ی دکتری اخترشناسی نمی‌پذیرفت. رابین به دومین زنی بدل شد که نشان زرین انجمن سلطنتی اخترشناسی را دریافت کرد. این جایزه و بسیاری از افتخارتی که کاملاً شایستگی‌شان را داشت، ناشی از اندازه‌گیری‌های انقلابی وی از آهنگ چرخش کهکشان خودمان بود. با رصد ستارگان و گاز داغی که از مرکز کهکشان خودمان دورتر می‌شدند، رابین مشخص کرد که این مناطق بسیار تندتر از آن چیزی حرکت می‌کنند که اگر نیروی گران‌شی پیش‌برنده‌ی حرکت آن‌ها، فقط ناشی از جرم تمام اجسام رصدشده درون کهکشان می‌بود. با توجه به کار وی، سرانجام برای

کیهان‌شناسان آشکار شد که تنها شیوه‌ی توضیح این حرکت، فرض گرفتن وجود جرم به مراتب بیش‌تری در کهکشان خودمان به نسبت چیزی است که می‌توان با جمع‌زدن جرم همه‌ی این گاز داغ و ستارگان به حساب آورد.

ولی مشکلی در این دیدگاه وجود داشت. همان محاسباتی که به زیبایی فراوانی مشاهده‌شده‌ی عناصر سبک هیدروژن، هلیوم، و لیتیم در گیتی را توضیح می‌دهند، همچنین به ما می‌گویند که کمابیش چه تعداد پروتون و نوترون، اجزای ماده‌ی عادی، باید در گیتی وجود داشته باشد. دلیلش آن است که مانند هر دستور آشپزی - در این مورد آشپزی هسته‌ای - مقدار فراورده‌ی پایانی بستگی به این دارد که کار را با چه مقدار مواد سازنده آغاز کرده باشید. اگر دستور پخت را دو برابر کنید - مثلاً چهار تخم مرغ به جای دو تا - به فراورده‌ی پایانی بیش‌تری می‌رسید - در این مورد املت. با وجود این، چگالی آغازی پروتون‌ها و نوترون‌ها در گیتی ناشی از بیگ‌بنگ، تعیین‌شده با برازش فراوانی مشاهده‌شده‌ی هیدروژن، هلیوم، و لیتیم، تقریباً دو برابر مقدار ماده‌ای است که می‌توانیم در ستارگان و گاز داغ ببینیم. آن ذرات کجایند؟

تصور راه‌هایی برای پنهان کردن پروتون‌ها و نوترون‌ها ساده است گوله‌برف‌ها، سیارات، کیهان‌شناسان ... هیچ‌یک از این‌ها نمی‌درخشند، پس بسیاری از فیزیکدانان پیش‌بینی کردند که هم اندازه‌ی اجسام مرئی، نوترون و پروتون در اجسام تاریک نهفته است. با این حال، هنگامی که مقدار "ماده‌ی تاریک" لازم برای توضیح دادن حرکت ماده در کهکشان خودمان را بیفزاییم، در می‌یابیم که نسبت ماده‌ی کل به ماده‌ی مرئی نه ۲ به ۱ که نزدیک به ۱۰ به ۱ است. اگر اشتباهی در کار نباشد، آن‌گاه ماده‌ی تاریک نمی‌تواند از پروتون و نوترون ساخته شده باشد. تعداد کافی از آن‌ها وجود ندارد.

برای من که در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ فیزیکدان جوانی در زمینه‌ی ذرات بودم، امکان‌پذیری وجود ماده‌ی تاریک اسرارآمیزی به شدت هیجان‌انگیز بود. به واقع چنین چیزی دلالت بر آن داشت که عمده‌ی ذرات در گیتی نه آن‌هاست، پروتون و نوترون، بلکه به احتمال نوع تازه‌ای ذره‌ی بنیادی است، چیزی که در زمین امروز وجود ندارد، ولی چیزی رازآلود که در بینابین ستارگان در جریان است و در سکوت، تمام آن نمایش گرانشی را که کهکشان می‌خوانیمش اداره می‌کند.

حتا از آن هیجان‌انگیزتر، دست کم برای من، این دلالت بر سه روند پژوهشی داشت که می‌توانست به طور بنیادین پرتویی تازه بر سرشت واقعیت بتاباند:

۱. اگر این ذرات در بیگ‌بنگ به وجود آمده باشند، مانند عناصر سبک که پیش‌تر گفتم، آن‌گاه باید بتوانیم از ایده‌هایی در مورد نیروهای حاکم بر برهم‌کنش‌های ذرات بنیادی به جای برهم‌کنش‌های هسته‌های مرتبط با تعیین فراوانی عنصری برای برآورد فراوانی ذرات تازه‌ی اسرارآمیز ممکن در گیتی امروزین استفاده کنیم.

۲. شاید بشود بر پایه‌ی ایده‌های نظری در فیزیک ذرات، به فراوانی کل ماده‌ی تاریک در گیتی دست یافت، یا شاید بشود آزمایش‌هایی تازه برای آشکارسازی ماده‌ی تاریک پیشنهاد کرد - هر کدام از این‌ها می‌توانند به ما بگویند که چه اندازه ماده‌ی تاریک در آن‌جا هست و بنابراین هندسه‌ی گیتی خودمان چیست. کار فیزیک اختراع کردن چیزهایی نیست که نمی‌توانیم ببینیم تا برای چیزهایی که می‌توانیم ببینیم توضیحی ارائه دهیم، بلکه یافتن راهی برای دیدن آن چیزی است که نمی‌توانیم ببینیم - دیدن آن‌چه که پیش از این نامرئی بود، ناشناخته‌های شناخته. هر ذره‌ی بنیادی تازه که برای ماده‌ی تاریک نامزد می‌شود، امکان‌پذیری‌های تازه‌ای را برای دست‌زدن به آزمایش‌هایی پیشنهاد می‌کند تا با ساختن دستگاه‌هایی روی زمین و در اثر قرارگرفتن زمین در مسیر حرکت آن‌ها در فضا، به آشکارسازی مستقیم ذرات ماده‌ی تاریک که در کهکشان رژه می‌روند، پرداخت. به جای استفاده از تلسکوپ‌ها برای جستجوی اجسام دوردست، اگر ذرات ماده‌ی تاریک در وضعیتی پراکنده وجود داشته باشد که در سرتاسر کهکشان نفوذ پیدا می‌کند، هم اکنون در کنار ما هستند، و آشکارسازهای زمینی شاید حضور آن‌ها را برملا کنند.

۳. اگر بتوانیم به سرشت ماده‌ی تاریک، و فراوانی آن پی ببریم، شاید بتوانیم تعیین کنیم که گیتی چگونه پایان می‌پذیرد.

انگار این امکان‌پذیری آخر از همه هیجان‌انگیزتر است، پس من با آن شروع خواهم کرد. راستش، من به این دلیل گرفتار کیهان‌شناسی شدم که می‌خواستم نخستین کسی باشم که می‌داند گیتی چگونه پایان خواهد گرفت.

در آن هنگام چنین می‌نمود که این ایده‌ی خوبی باشد.

هنگامی که اینشتین نظریه‌ی نسبیت خود را توسعه داد، در قلب آن این امکان جا داشت که در حضور ماده یا انرژی، فضا می‌تواند خم بردارد. هنگامی که در ۱۹۱۹ دو گروه اعزامی طی خورشیدگرفتگی، نور ستاره‌ی خم‌برداشته در اطراف خورشید را رصد کردند، و مقدار خمیدگی دقیقاً با پیش‌بینی اینشتین برای خم‌برداشتن فضا در اطراف خورشید در اثر حضور آن همخوانی داشت، این ایده‌ی نظری پا را از حیطه‌ی گمانه‌پردازی بیرون گذاشت. آوازه‌ی اینشتین تقریباً یک شبه به گوش همه رسید. امروزه بیش‌تر مردم فکر می‌کنند که فرمول $E = mc^2$ که پانزده

سال پیش ارائه شده بود عامل این شهرت است، ولی چنین نیست.

خب، اگر فضا بالقوه خمیده باشد، آن گاه هندسه‌ی همه‌ی گیتی خودمان به ناگاه بسیار جالب‌تر می‌شود. بسته به مقدار کل ماده‌ی حاضر در گیتی خودمان، یکی از سه نوع هندسه متفاوت برای آن قابل تصور است؛ به اصطلاح، باز، بسته، یا تخت.

به دشواری می‌شود گفت که فضای سه بعدی خمیده عملاً چه شکلی می‌تواند داشته باشد. چون ما موجوداتی سه بعدی هستیم، نمی‌توانیم به سادگی تصویری شهودی از فضای سه بعدی خمیده داشته باشیم، درست مثل موجودات دو بعدی کتاب معروف تختستان که نمی‌توانستند تصور کنند که اگر جهانشان مانند سطح کره خم بردارد، از دید بیننده‌ای سه بعدی چه شکلی خواهد داشت. گذشته از آن، اگر خمیدگی بسیار کوچک باشد، آن گاه به دشواری می‌توان تصور کرد که چگونه می‌شود عملاً آن را در زندگی روزمره تشخیص داد، درست همان طور که دست کم در قرون وسطا بسیاری از مردم احساس می‌کردند که زمین باید تخت باشد، چون از چشم‌انداز آنان زمین تخت به نظر می‌رسید.

تصویرکردن گیتی‌های سه بعدی خمیده دشوار است - گیتی بسته مانند گوی سه بعدی است، که جلوه‌ای به راستی هولناک دارد - ولی توصیف برخی از جنبه‌ها آسان است. اگر در گیتی بسته در یک جهت به حد کافی به دوردست بنگرید، پشت سر خود را خواهید دید.

در حالی که شاید سخن گفتن از این هندسه‌های اسرارآمیز سرگرم‌کننده یا تأثیرگذار باشد، وجود آن‌ها در عمل پیامد بسیارمهم‌تری دارد. نسیت عام بی هیچ پرده‌پوشی به ما می‌گوید که گیتی بسته‌ای که چگالی انرژی‌اش به طور عمده از ماده‌ای مانند ستارگان و کهکشان‌ها، و از آن بیشتر از ماده‌ی تاریک اسرارآمیز تشکیل شده، باید روزی در فرایندی شبیه به وارون بیگ‌بنگ - یا به عبارتی بیگ‌کرانچ - دوباره برُمبد. گیتی باز با آهنگی متناهی برای همیشه به انبساط خود ادامه می‌دهد، و گیتی تخت در وضعیت مرزی است، آهستگی دارد، ولی هرگز کاملاً توقف نمی‌کند.

بنابراین تعیین کردن مقدار ماده‌ی تاریک، و بدین ترتیب چگالی کل جرم در گیتی، نویدبخش روشن‌ساختن این پرسش کهن است دست کم به کهنی شعر تی. اس. الیوت: آیا این گیتی با غرّش به پایان خواهد رسید یا با آه و ناله؟

سرگذشت تعیین کردن فراوانی کل ماده‌ی تاریک دست کم به نیم سده پیش باز می‌گردد، و می‌توان کتابی در مورد آن نوشت، که راستش پیشاپیش دست به این کار زده‌ام، در کتابم به نام عنصر پنجم. با این حال، در این مورد، هم اکنون نشان می‌دهم نخست با واژه و سپس با تصویر، که یک عکس گویاتر از دست کم هزار یا شاید صدهزار واژه است.

بزرگ‌ترین اجسامی که در گیتی با گرانش گردهم آمده‌اند، ابرخوشه‌های کهکشان‌ها نام دارند. چنین اجسامی می‌توانند دربرگیرنده‌ی هزاران یا بیش‌تر کهکشان جداگانه باشند و می‌توانند تا در طول ده‌ها میلیون سال نوری کشیده شوند. بیش‌تر کهکشان‌ها در چنین ابرخوشه‌هایی جا دارند، و راستش کهکشان خودمان درون ابرخوشه‌ی کهکشان‌های سنبله قرار دارد، که مرکزش تقریباً در فاصله‌ی ۶۰ میلیون سال نوری ماست.

چون ابرخوشه‌ها بسیار بزرگ و بسیار سنگین‌اند، اصولاً هر چیزی که درون هر چیزی بیفتد درون خوشه‌ها خواهد افتاد. پس اگر ابرخوشه‌های کهکشان‌ها را وزن کنیم و سپس چگالی کل چنین ابرخوشه‌هایی را در گیتی تخمین بزنیم، آن‌گاه می‌توانیم "گیتی را وزن کنیم" با همه‌ی ماده‌ی تاریک موجود در آن. سپس با استفاده از معادلات نسبیت عام می‌توانیم تعیین کنیم که آیا ماده‌ی کافی برای بستن گیتی هست یا خیر.

تا این‌جا درست، ولی چگونه اجسامی را وزن کنیم که در ده‌ها میلیون سال نوری گسترده‌اند؟ ساده است؛ با گرانش.

در ۱۹۳۶، آلبرت اینشتین، به دنبال درخواست‌های اخترشناسی آماتور به نام رودی مندل، مقاله‌ای کوتاه در مجله‌ی ساینس نوشت با عنوان "کارکرد عدسی‌مانند ستاره با منحرف کردن نور در میدان گرانشی." در این نوشتار کوتاه اینشتین این نکته‌ی شگرف را نشان داد که خود فضا می‌تواند در نقش عدسی باشد، نور را خمیده و آن را درشت‌نمایی کند، درست مانند عدسی‌های عینک مطالعه‌ی من.

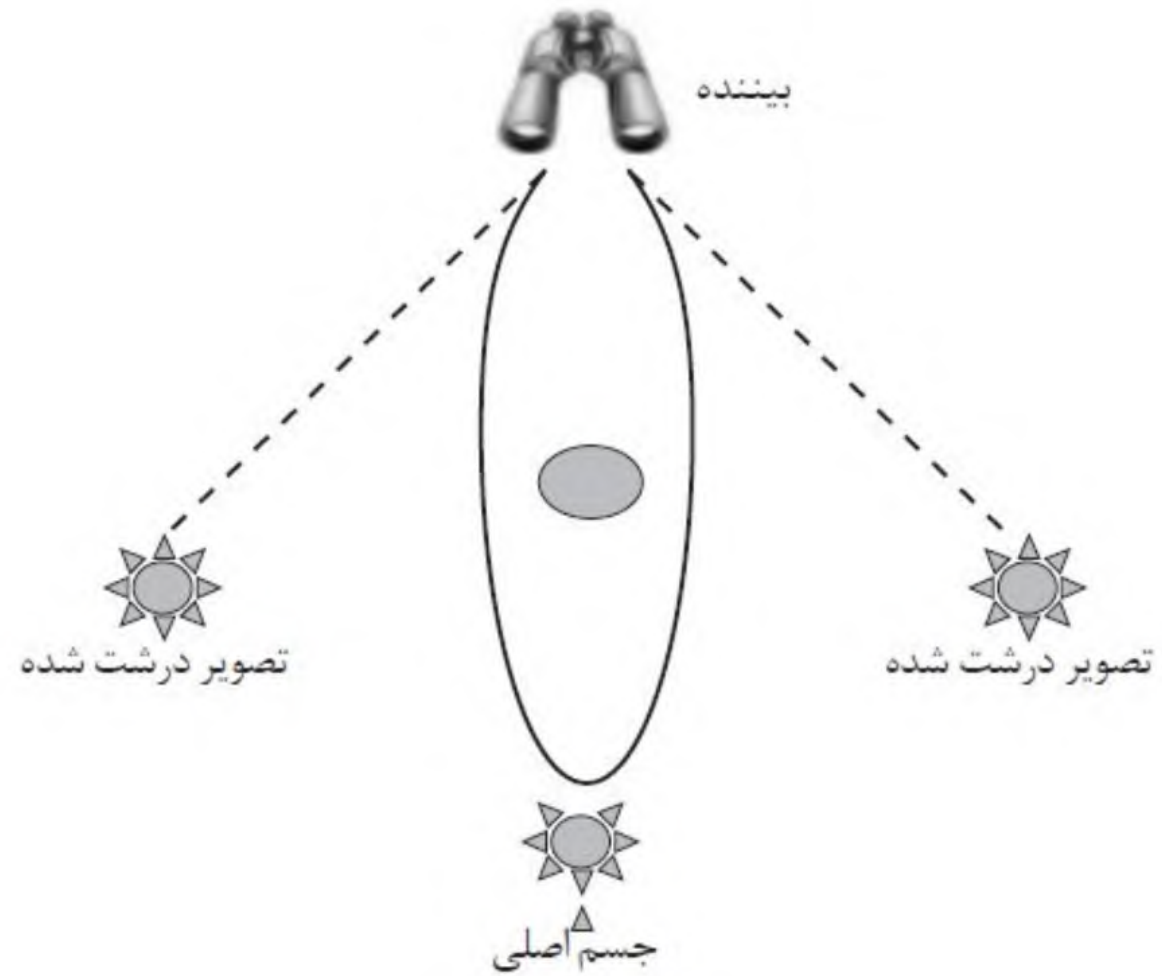
سال ۱۹۳۶ دورانی خوشایند و آرام‌تر، و خواندن سرآغاز غیررسمی مقاله‌ی اینشتین شگرف بود، که هر چه باشد در مجله‌ی علمی معتبری انتشار پیدا کرده بود: "مدتی پیش، آر. دابلیو. مندل دیداری با من داشت و از من خواست که نتایج محاسبه‌ای کوتاه را منتشر کنم، که به درخواست وی انجام داده بودم. این یادداشت از خواسته‌ی او پیروی می‌کند." شاید این غیر رسمی بودن با او جور در می‌آمد چون او اینشتین بود، ولی من خوش دارم فرض کنم که این محصول آن دوران بود، هنگامی که نتایج علمی هنوز در لفافه‌ی زبانی دور از گفتار معمول پیچیده نمی‌شدند.

باری، این نکته که اگر خود فضا در حضور ماده خمیده باشد، نور نیز مسیرهای خمیده را می‌پیماید، نخستین پیش‌بینی تازه‌ی نسبیت عام بود و همان طور که گفتم این کشف منجر به آوازه‌ی جهانی اینشتین شد. پس شاید چندان تعجبی نداشته باشد با توجه به کشف اخیر که در ۱۹۱۲، مدت‌ها پیش از آن که اینشتین به واقع حتا نظریه‌ی نسبیت عامش را به پایان رسانده باشد، دست به محاسباتی زده بود - برای یافتن پدیده‌ای مشاهده‌پذیر که اخترشناسان را قانع کند تا به آزمودن ایده‌هایش بپردازند - که در اصل مشابه با چیزی بود که در ۱۹۳۶ در پاسخ به درخواست آقای مندل به انتشارشان پرداخت. شاید چون او در ۱۹۱۲ به همان نتیجه‌ی رسیده بود که در مقاله‌ی ۱۹۳۶ خود آورد، یعنی "شانس زیادی برای مشاهده‌ی این پدیده نیست"، هرگز به خود زحمت نداد که کار قبلی‌اش را منتشر کند. راستش، پس از واریسی دفتر یادداشت‌های او در این دو دوره، با اطمینان نمی‌توانیم بگوییم که او بعدها حتا به یاد داشته که بیست و چهار سال پیش محاسبات اصلی را انجام داده بوده است.

چیزی که اینشتین در هر دو مورد فهمید آن بود که خم شدن نور در میدان گرانشی بدین معناست که، اگر جسمی درخشان در فاصله‌ای دور در پشت توزیعی مداخله‌گر از جرم قرار داشته باشد، پرتوهای نور برون‌رو در جهت‌های گوناگون می‌توانند به دور این توزیع مداخله‌گر خم بردارند و دوباره همگرا شوند، درست مانند کاری که در گذر از عدسی معمولی انجام می‌دهند و، یا به درشت‌نمایی جسم اصلی بینجامند یا رونوشت‌های تصویری بیشماری از جسم اصلی تولید کنند، که شاید برخی از آن‌ها واپیچیده باشند شکل صفحه‌ی بعد را ببینید.

هنگامی که او اثرات پیش‌بینی‌شده برای عدسی‌شدگی ستاره‌ای دور دست توسط ستاره‌ای مداخله‌گر در پیش‌زمینه را محاسبه کرد، این اثر چنان کوچک بود که مطلقاً اندازه‌گیری‌ناپذیر به نظر می‌رسید، که او را واداشت که سخنان بالا را ابراز کند - که بعید است چنین پدیده‌ای اصولاً رصد شود. اینشتین می‌اندیشید که مقاله‌اش ارزش عملی اندکی دارد. وی در نامه‌ی توضیحی به ویراستار ساینس در آن هنگام نوشت: "از شما هم سپاسگزارم که در مورد این مقاله‌ی کوتاه، که آقای مندل برای نوشتن آن من را تحت فشار قرار داده بود، همکاری کردید. گرچه ارزش

اندکی دارد، ولی طفلکی را شادمان می‌کند."



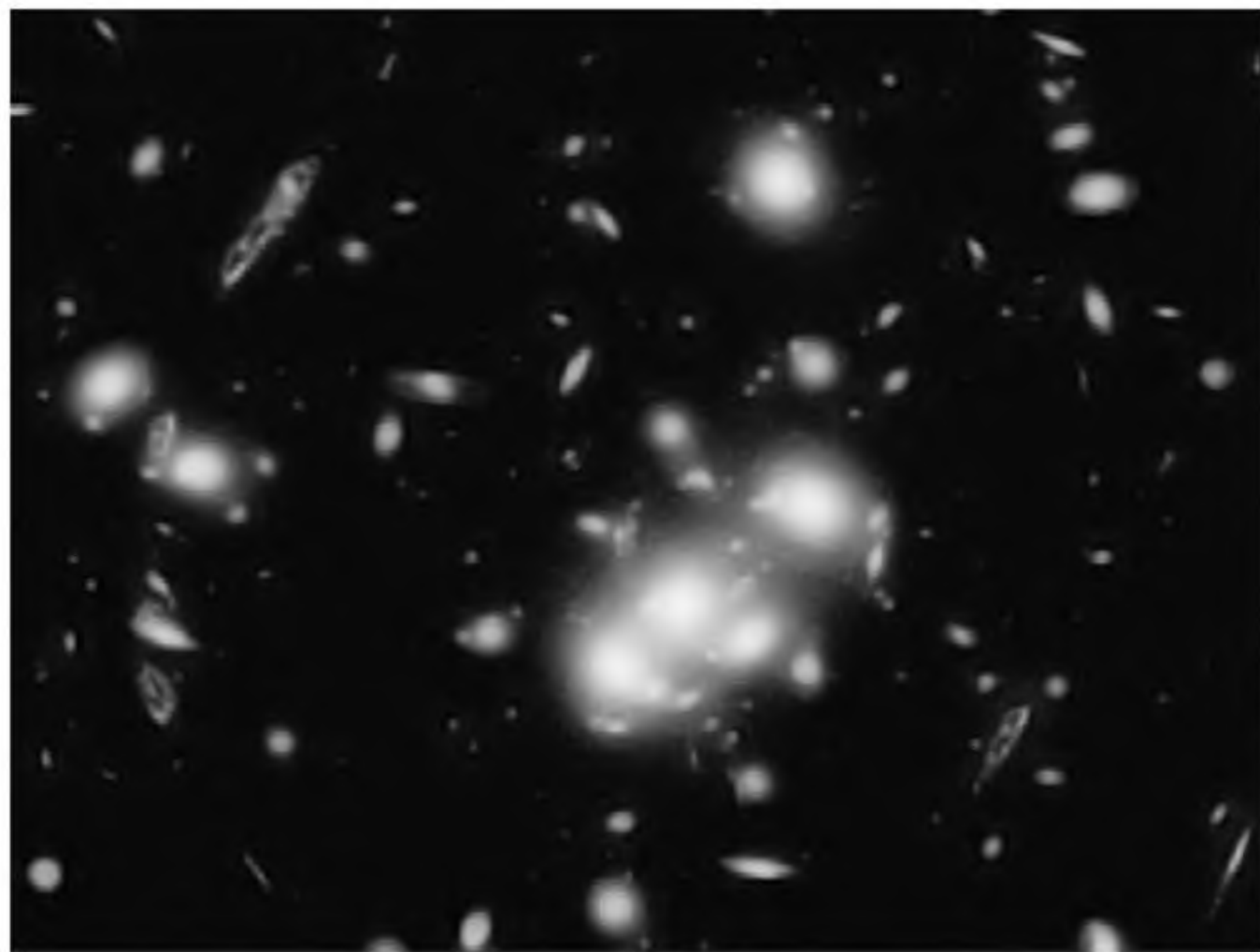
با این حال، اینشتین اخترشناس نبود، ولی خبره‌ی کار به زودی می‌فهمد اثری که اینشتین پیش‌بینی کرده بود شاید نه‌تنها قابل اندازه‌گیری، که سودمند نیز باشد. سودمندی آن از حیث کاربردش در عدسی‌شدگی اجسام دوردست توسط سیستم‌های بسیار بزرگ‌تر مانند کهکشان‌ها یا حتی خوشه‌های کهکشان‌ها، و نه عدسی‌شدگی ستارگان که توسط ستارگان ناشی می‌شود. چند ماهی پس از انتشار مقاله‌ی اینشتین، اخترشناس برجسته‌ی کلتک، فریتز زویکی / فریتس تسویکی^۴ مقاله‌ای به Physical Review فرستاد که در آن کاربردپذیری این امکان‌پذیری نشان داده شده بود و نیز نامستقیم اینشتین را برای نادیده‌گرفتن اثر عدسی‌شدگی ممکن توسط کهکشان‌ها به جای ستارگان، ملامت کرد.

زویکی شخصیتی تندخو داشت و از زمان خود به مراتب پیش‌تر بود. در ۱۹۳۳ او به تحلیل حرکت نسبی کهکشان‌ها در خوشه‌ی گیسوی پرنیکه^۵ پرداخت و، با استفاده از قوانین حرکت نیوتون، تعیین کرد که کهکشان‌ها چنان تند حرکت می‌کنند که باید از هم دور شوند و خوشه را نابود کنند، مگر جرم به مراتب زیادتری، با ضریب بیش از ۱۰۰ به نسبت آن‌چه که فقط از ستارگان به دست می‌آید، در خوشه حضور داشته باشد. بدین ترتیب او را باید به واقع به عنوان کشف‌کننده‌ی ماده‌ی تاریک به حساب آوریم، گرچه در آن هنگام استنتاج او چنان شگرف بود که بیش‌تر اخترشناسان به احتمال حس می‌کردند، برای نتیجه‌ای که او به دست آورده، باید توضیح غیر عجیب‌تری وجود داشته باشد.

مقاله‌ی تک‌صفحه‌ای زویکی در ۱۹۳۷ نیز به همان اندازه شگرف بود. او برای عدسی‌شدگی گرانشی سه کاربرد متفاوت پیشنهاد کرد: ۱ آزمودن نسبیت عام؛ ۲ استفاده از کهکشان‌های مداخله‌گر به عنوان نوعی تلسکوپ برای درشت‌نمایی اجسام دوردست‌تر که در غیر این صورت از دید تلسکوپ‌های روی زمین ناپیدا هستند؛ و مهم‌تر از همه، ۳ پرده‌برداری از این راز که چرا انگار کهکشان‌ها وزن بیش‌تری از آن چیزی دارند که از ماده‌ی مرئی به دست می‌آید: "رصدهای انحراف‌یافتگی نور به دور سحابی‌ها شاید سراسر استرین شیوه‌ی تعیین جرم سحابی و رفع مغایرت پیش‌گفته را فراهم کند."

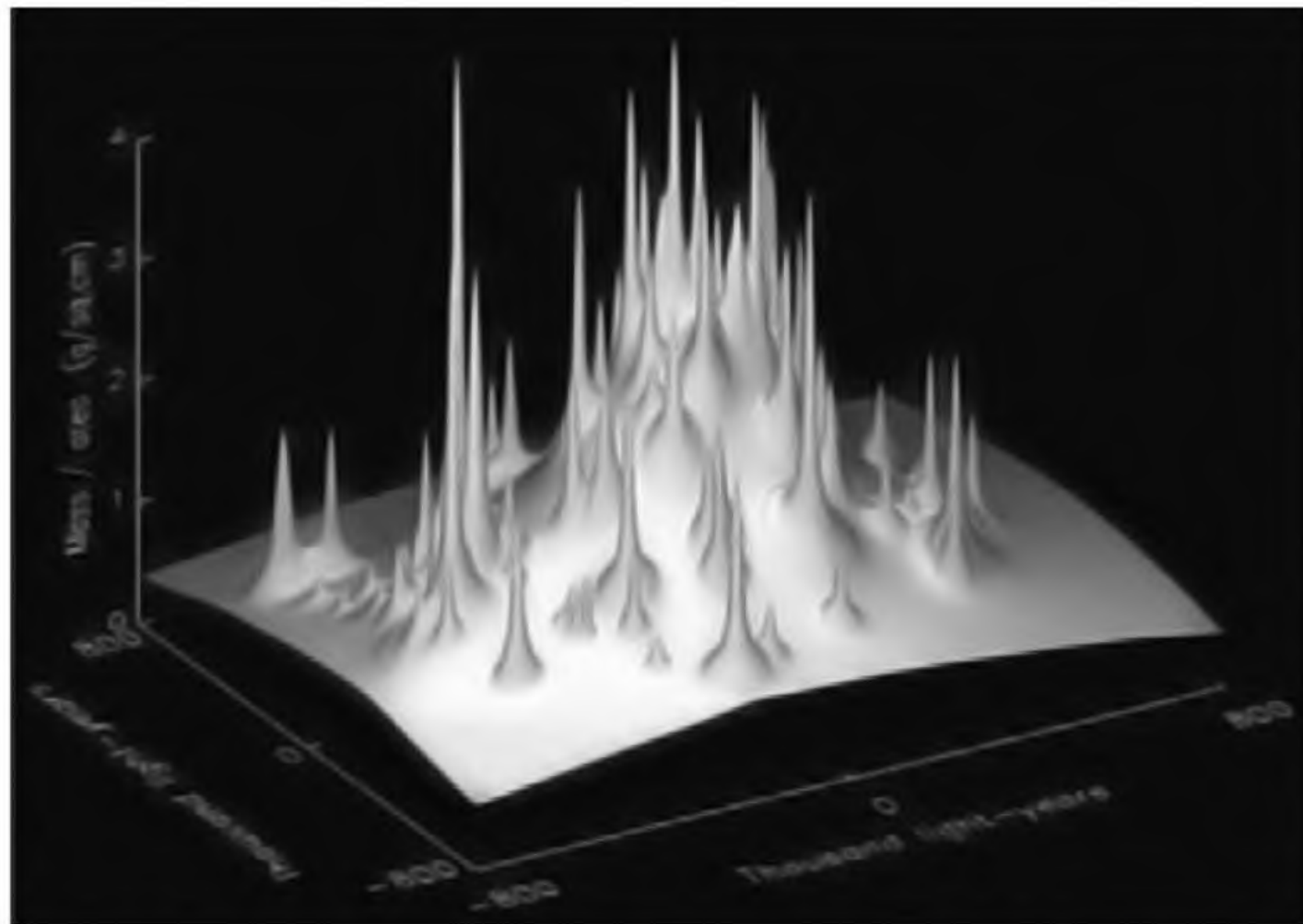
اکنون مقاله‌ی زویکی هفتاد و چهارساله است، ولی انگار پیشنهادی است امروزین برای استفاده از عدسی‌شدگی گرانشی در کاویدن گیتی. راستش، تک‌تک پیشنهادهای وی مورد تأیید قرار گرفته، و آخری از همه برجسته‌تر است. عدسی‌شدگی گرانشی اختروش دوردست توسط کهکشان‌های مداخله‌گر نخستین بار در ۱۹۸۷ رصد شدند، و در ۱۹۸۸، شصت و یک سال پس از پیشنهاد زویکی برای وزن‌کردن سحابی‌ها با استفاده از عدسی‌شدگی گرانشی، جرم خوشه‌ای بزرگ با استفاده از عدسی‌شدگی گرانشی تعیین شد.

در همان سال، تونی تایسن فیزیکدان و همکارانش در آزمایشگاه‌های پل که اکنون تعطیل شده که از سنت برجسته‌ی علمی نادری برخوردار بود و چند جایزه نوبل را برای از اختراع ترانزیستور گرفته تا کشف تابش زمینه‌ی میکروویو کیهانی به دست آورد خوشه‌ی بزرگ دوردستی را واقع در ۵ میلیارد سال نوری رصد کردند، که نام پرآب و رنگ $1654 + CL\ 0024$ را بر خود گرفت. در این تصویر زیبا از تلسکوپ فضایی هابل، نمونه‌ای خیره‌کننده از تصویری چندگانه از کهکشان‌ی دوردست واقع در ۵ میلیارد سال نوری پشت این خوشه را می‌توان به صورت تصاویری به شدت واپیچیده و درازشده در میان کهکشان‌هایی مشاهده کرد که به طور معمول گردتر هستند.



نگریستن به این تصویر به خیال‌پردازی آدم دامن می‌زند. نخست، هر لکه‌ای در این عکس یک کهکشان است، نه ستاره. هر کهکشان شاید دارای ۱۰۰ میلیارد ستاره باشد، و احتمالاً به همراه صدها میلیارد سیاره، و شاید هم تمدن‌هایی که مدت‌ها پیش از بین رفته. به این دلیل می‌گوییم مدت‌ها پیش از بین رفته که سن این تصویر ۵ میلیارد سال است. نور آن ۵۰۰ میلیون سال پیش از تشکیل خورشید و زمین خودمان گسیل شده است. بسیاری از ستارگان در این عکس دیگر وجود خارجی ندارند، چون میلیاردها سال پیش سوخت هسته‌ای خود را به پایان رسانده‌اند. و رای آن، تصاویر واپیچیده به دقت نشان می‌دهند که استدلال زویکی می‌تواند محتمل باشد. تصاویر بزرگ واپیچیده در سمت چپ مرکز تصویر نسخه‌هایی به شدت درشت‌شده و درازشده از این کهکشان دوردست‌اند، که در غیر این صورت چه بسا هرگز قابل دید نبود.

تعیین توزیع جرم زیربنایی در این خوشه با کار روی این تصویر، چالش ریاضی پر دردسر و پیچیده‌ای است. برای این کار، تایسن مدلی کامپیوتری از این خوشه تهیه کرد و با استفاده از قوانین نسبیت عام برای تعیین مسیرهای مناسب، پرتوهای آمده از چشمه از طریق خوشه را به همه‌ی شیوه‌های مختلف ممکن رهگیری کرد، تا زمانی که برازش به دست آمده بهترین همخوانی را با رصدهای پژوهشگران به دست آورد. پس از پایان کار، تایسن و همکارانش به تصویری گرافیکی رسیدند که به دقت نشان می‌داد جرم در کجای این سیستم قرار گرفته؛ در زیر عکس اصلی آمده است:



بازسازی کامپیوتری با رنگ دروغین جرم ماده‌ی تاریک بر مساحت CL 0024 + 1654.

در خوشه‌ی این جرم، بیش از ۳۰۰ میلیون تریلیون برابر جرم زمین، مسؤل سراب کیهانی است. تک کهکشان‌ها در خوشه به صورت تمیزی‌های جرم پدیدار می‌شوند.

نکته‌ای عجیب در این تصویر هست. تیزی‌ها در این نمودار نمایانگر مکان کهکشان‌های مرئی در تصویر اصلی‌اند، ولی بیش‌تر جرم این سیستم در میان کهکشان‌ها، در توزیعی هموار و تاریک، جا گرفته است. راستش، بیش از ۴۰ برابر جرم ماده‌ی مرئی در این سیستم، جرم میان کهکشان‌هاست ۳۰۰ برابر جرم ستارگان به تنهایی به همراه ماده‌ی مرئی در گاز داغ پیرامون آن‌ها. ماده‌ی تاریک به روشنی به کهکشان‌ها محدود نمی‌شود، بلکه چگالی خوشه‌های کهکشان‌ها را نیز در سیطره دارد.

فیزیکدانان ذرات مانند خود من، از این‌که ماده‌ی تاریک بر خوشه‌ها نیز سیطره دارد شگفت‌زده نشدند. هرچند هیچ مدرک مستقیمی در اختیارمان نبود، همگی امید داشتیم که مقدار ماده‌ی تاریک به حدی باشد که به گیتی تخت بینجامد، که معنایش آن می‌شد که ماده‌ی تاریک باید بیش از ۱۰۰ برابر ماده‌ی مرئی در گیتی باشد.

دلیلش ساده بود: گیتی تخت تنها گیتی زیبای ریاضی است. چرا؟ با ما بمانید.

خواه مقدار کل ماده‌ی تاریک برای ایجاد گیتی تخت کفایت می‌کرد خواه نمی‌کرد، رصدهایی مانند این، ناشی از عدسی‌شدگی گرانشی گوشزد می‌کنم که عدسی‌شدگی گرانشی ناشی از خمیدگی موضعی فضا است، با چشم‌پوشیدن از آژنگ‌های موضعی پیرامون اجسام سنگین و رصدهایی تازه‌تر در دیگر زمینه‌های اخترشناسی تأیید کرده‌اند که مقدار کل ماده‌ی تاریک در کهکشان‌ها و خوشه‌ها به مراتب بیش از چیزی است که محاسبات هسته‌سازی بیگ‌بنگ مجاز می‌دارند. اکنون ما کمابیش یقین داریم که ماده‌ی تاریک - که، باز گوشزد می‌کنم، از سوی مجموعه‌ای از حوزه‌های متفاوت اخترفیزیکی به طور مستقل مورد تأیید قرار گرفته است - باید از چیزی کاملاً تازه ساخته شده باشد، چیزی که به طور عادی روی زمین نیست. این خمیرمایه، نه خمیرمایه‌ی ستاره و نه خمیرمایه‌ی زمین است. ولی چیزی هست!

این نخستین نتیجه‌گیری‌ها درباره‌ی ماده‌ی تاریک در کهکشان خودمان به زمینه‌ای کاملاً جدید در فیزیک تجربی انجامیده است، که خوشحالم بگویم من در توسعه‌ی آن دستی داشته‌ام. همان گونه که در بالا گفتم، ذرات ماده‌ی تاریک در گرداگرد ما هستند - در همین اتاقی که دارم در آن تایپ می‌کنم، و نیز "آن بیرون" در فضا. بنابراین می‌توانیم برای جستجوی ماده‌ی تاریک و برای نوع تازه‌ای از ذره یا ذرات بنیادی که آن را می‌سازند، دست به آزمایش بزنیم.

این آزمایش‌ها در ژرفای زمین، درون معادن و تونل‌ها در حال انجام است. چرا زیر زمین؟ چون روی سطح زمین پیوسته با همه‌ی انواع پرتوهای کیهانی، آمده از خورشید و دیگر اجسام به مراتب دورتر، داریم بمباران می‌شویم. چون ماده‌ی تاریک، بنا به سرشت خود، برهم‌کنش الکترومغناطیسی نمی‌دهد تا نوری ایجاد شود، فرض را بر این می‌گذاریم که برهم‌کنش‌هایش با ماده‌ی عادی به شدت ضعیف باشد، پس آشکارسازی آن فوق‌العاده سخت خواهد بود. حتی اگر هر روز با میلیون‌ها ذره‌ی ماده‌ی تاریک بمباران شویم، بیش‌ترشان از درون ما و زمین می‌گذرند، بدون این‌که اصلاً "بدانند" ما این‌جاییم - و بدون این‌که ما متوجه شویم. بدین ترتیب، اگر بخواهیم اثرات استثناهای بسیار نادر بر این قاعده را آشکارسازی کنیم، یعنی ذرات ماده‌ی تاریکی که عملاً در برخورد با اتم‌های ماده پس‌زده می‌شوند، بهتر است آماده باشیم تا رویدادهایی بسیار نادر و نامعمول را آشکارسازی کنیم. تنها در زیر زمین است که به حد کافی از پرتوهای کیهانی محافظت می‌شویم تا در اصل بشود دست به این کار زد.

با این حال، در این هنگام که دارم این مطالب را می‌نویسم، امکان‌پذیری به همان اندازه هیجان‌انگیزی در حال پدیدآمدن است. برخورددهنده‌ی بزرگ هادرون، بیرون از ژنو در سوئیس، بزرگ‌ترین و قوی‌ترین شتاب‌دهنده‌ی ذرات در سطح جهان، تازه شروع به کار کرده است. ولی ما دلایل زیادی داریم تا عقیده داشته باشیم که، در انرژی‌های بسیار زیادی که در آن پروتون‌ها درون این دستگاه به هم کوبیده می‌شوند، شرایطی شبیه به وضعیت گیتی بسیار ابتدایی بازآفرینی خواهد شد، هرچند تنها در محدوده‌های کوچک میکروسکوپی. در چنین محدوده‌هایی، همان برهم‌کنش‌هایی که شاید در گیتی بسیار ابتدایی برای نخستین بار چیزی را ایجاد کرده باشند که امروزه ذرات ماده‌تاریک هستند، اکنون نیز ذرات یکسانی را در آزمایشگاه ایجاد کنند! بدین ترتیب مسابقه‌ای بزرگ در جریان است. چه کسی اول از همه ذرات ماده‌ی تاریک را شناسایی خواهد کرد: آزمایشگران در ژرفای زمین یا آزمایشگران در برخورددهنده‌ی بزرگ هادرون؟ خبر خوش آن است که هر گروهی که برنده‌ی این مسابقه شود، بازنده‌ای در کار نخواهد بود. همگی ما برنده می‌شویم، با آموختن این‌که بالاخره خمیرمایه‌ی غایی ماده چیست.^۶

گرچه اندازه‌گیری‌های اخت‌فیزیکی که شرح دادم هویت ماده‌ی تاریک را برملا نمی‌کند، به ما خواهند گفت که چه مقدار از آن وجود دارد. اندازه‌گیری مستقیم نهایی مقدار کل ماده در گیتی از نتیجه‌گیری‌های زیبای حاصل از اندازه‌گیری‌های عدسی‌شدگی گرانشی، مانند آن چه که گفتیم، به همراه سایر رصدها از گسیل‌های پرتو ایکس از خوشه‌ها به دست می‌آید. برآوردهای مستقل از جرم کل خوشه‌ها شدنی است چون دمای گازی در خوشه‌ها که دارد پرتوهای ایکس را ایجاد می‌کند در ارتباط با جرم کل سیستمی است که پرتوها در آن گسیل می‌شوند. نتایج شگفت‌آور بودند، و همان گونه که اشاره کردم، برای بسیاری از دانشمندان ناامیدکننده. از این رو که وقتی غبار فرو نشست، چه واقعی چه استعاری، جرم کلی که درون و پیرامون کهکشان‌ها و خوشه‌ها اندازه‌گیری شد تنها حدود ۳۰ درصد مقدار کل جرم لازم برای ایجاد گیتی تختی در امروز روز بود. توجه کنید که این مقدار ۴۰ برابر جرمی است که از ماده‌ی مرئی می‌توان به

حساب آورد، که بنابراین کم‌تر از ۱ درصد جرم لازم برای ساخت گیتی تخت است.

اگر اینشتین بود تعجب می‌کرد که "مقاله‌ی کوچکش" سرانجام فرسنگ‌ها از بی‌فایده‌گی دور شد. با پشتیبانی ابزارهای آزمایشی و رصدی تازه‌ی شگرفی که پنجره‌های تازه‌ای را بر روی کیهان گشودند، پیشرفت‌های نظری تازه که او را شگفت‌زده و خوشنود می‌کردند، و کشف ماده‌ی تاریک که به احتمال فشار خون او را بالا می‌برد، گام کوچک اینشتین در جهان فضای خمیده، سرانجام به جهشی غول‌آسا تبدیل شد. در اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰، چنین می‌نمود که گویی جام مقدس کیهان‌شناسی به دست آمده باشد. رصدها تعیین‌کرده بودند که ما در گیتی بازی به سر می‌بریم، چیزی که بدین ترتیب برای همیشه گسترش خواهد یافت. به راستی؟

فصل ۳: کورسویی از سرآغاز زمان

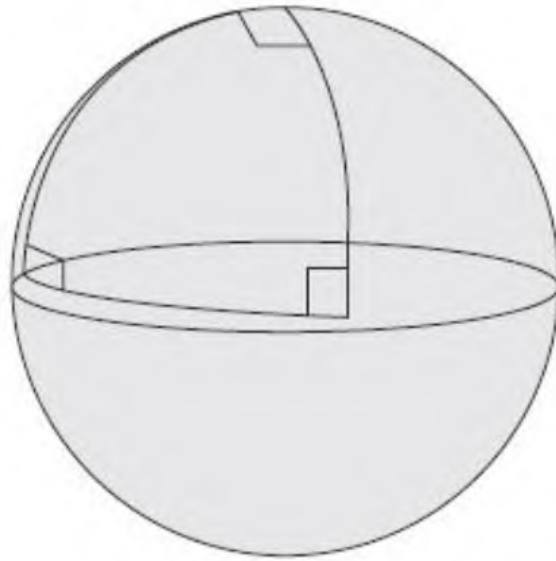
همان‌گونه که در آغاز بود، اکنون نیز هست، و همواره خواهد بود.

گلوریا پتری

اگر دارید درباره‌اش فکر می‌کنید، تلاش برای تعیین خمیدگی گیتی با اندازه‌گیری جرم کل موجود در آن و سپس استفاده از معادلات نسبیت عام برای رفتن به سمت گذشته، مشکلات بالقوه عظیمی را پیش رو می‌گذارد. ناگزیر باید نگران باشید که آیا ماده به شیوه‌هایی که نمی‌توانیم از آن‌ها پرده برداریم پنهان می‌شود یا خیر. مثلاً، با استفاده از دینامیک گرانشی سیستم‌های قابل دید مانند کهکشان‌ها و خوشه‌ها، تنها می‌توانیم به کند و کاو وجود ماده در این سیستم‌ها پردازیم. اگر جرم چشمگیری به گونه‌ای در جایی نهفته باشد، متوجه آن نخواهیم شد. اندازه‌گیری مستقیم هندسه‌ی تمام گیتی مرئی خیلی بهتر است.

ولی چگونه می‌توانیم هندسه‌ی سه بعدی کل گیتی مرئی را اندازه بگیریم؟ ساده‌تر آن است که با پرسشی آسان شروع کنیم: چگونه می‌شود تعیین کرد که آیا جسمی دو بعدی مانند سطح زمین خمیده است، در صورتی که نشود دور زمین رفت یا نتوان با ماهواره‌ای از بالا به آن نگاه کرد؟

نخست، می‌توانید از دانش‌آموزی دبیرستانی پرسید که مجموع زاویه‌ها در مثلث چقدر است؟ البته این دانش‌آموز را با دقت انتخاب کنید ... اروپایی‌ها به کار می‌آیند. به شما گفته می‌شود ۱۸۰ درجه، چون دانش‌آموز مذکور بی‌تردید هندسه‌ی اقلیدسی را آموخته - هندسه‌ی مرتبط با برگه‌های تخت کاغذ. اگر روی سطح دو بعدی خمیده‌ای مانند کره، مثلثی بکشید، مجموع زاویه‌های آن به مراتب بیش‌تر از ۱۸۰ درجه خواهد شد. مثلاً، فرض کنید خطی در امتداد استوا می‌کشید، بعد با زاویه‌ی قائمه تا قطب شمال بالا می‌روید، سپس دوباره با زاویه‌ی قائمه به استوا بر می‌گردید، مانند شکل زیر. ۳ ضربدر ۹۰ می‌شود ۲۷۰، خیلی بیش‌تر از ۱۸۰ درجه. حالا شد!



معلوم شد که این اندیشه‌ی ساده‌ی دو بعدی، به طور مستقیم و یکسان به سه بعد هم امتداد می‌یابد، چون ریاضیدانانی که برای نخستین بار هندسه‌ی ناتخت، یا ناقلیدسی، را پیشنهاد کردند فهمیده بودند که امکان‌پذیری مشابه‌ای می‌تواند در سه بعد وجود داشته باشد. راستش، مشهورترین ریاضیدان سده‌ی نوزدهم، کارل فریدریش گاوس، چنان شیفته‌ی امکان‌پذیری خمیده‌بودن گیتی خودمان شد که از روی نقشه‌های زمین‌پیمایی در دهه‌های ۱۸۲۰ و ۱۸۳۰ داده‌برداری کرد تا مثلث‌هایی بزرگ بین قله‌های هوئر هاگن، اینزلبرگ، و بروکن در آلمان را اندازه بگیرد تا ببیند آیا می‌تواند هرگونه خمیدگی خود فضا را تعیین کند یا خیر. البته، چون کوه‌ها روی سطح خمیده‌ی زمین هستند، خمیدگی دوبعدی سطح زمین با هر گونه اندازه‌گیری که او برای کاویدن خمیدگی در پس‌زمینه‌ی فضای سه بعدی که زمین در آن قرار دارد انجام می‌داد تداخل می‌کرد، که وی باید از آن آگاه بوده باشد. فکر می‌کنم که وی در نظر داشت چنین مشارکت‌هایی را از نتایج پایانی کسر کند تا ببیند آیا هرگونه خمیدگی باقیمانده‌ی ممکن‌ی را می‌تواند به خمیدگی فضای پس‌زمینه نسبت دهد یا خیر.

بی‌تردید نخستین فردی که سعی بر اندازه‌گیری خمیدگی فضا کرد ریاضیدان گمنامی بود به نام نیکلای ایوانوویچ لُباچفسکی، که در کازان دورافتاده در روسیه می‌زیست. لباچفسکی بر خلاف

گاوس عملاً یکی از دو ریاضیدانی بود که دل و جرأت پیشنهاد مکتوب امکان‌پذیری به اصطلاح هندسه‌هایی هذلولوی خمیده را داشت، که در آن خطوط موازی می‌توانند واگرا شوند. جالب است که لباچفسکی کارش روی هندسه‌ی هذلولوی را که اکنون گیتی‌های "منفی خمیده" یا "باز" می‌نامیم در ۱۸۳۰ منتشر کرد.

کمی بعد، لباچفسکی با در نظر گرفتن آن‌که شاید گیتی دو بعدی خودمان هذلولوی باشد، پیشنهاد کرد که چه بسا "وارسی مثلثی ستاره‌ای برای دادن پاسخی تجربی به این پرسش" امکان‌پذیر باشد. او پیشنهاد کرد که ستاره‌ی درخشان شِعْرای یمانی را در زمانی که زمین در دو سوی مدار خود به دور خورشید است، به فاصله‌ی شش ماه، رصد شود. از روی این رصدها، او نتیجه گرفت که هر گونه خمیدگی گیتی باید دست کم ۱۶۶.۰۰۰ برابر شعاع مدار زمین باشد.

این عدد بزرگی است، ولی در مقیاس کیهانی به راستی کوچک است. متأسفانه، با وجود درستی ایده‌ی لباچفسکی، تکنولوژی دوران وی، دست و پایش را بسته بود. با این حال، یکصد و پنجاه سال بعد اوضاع رو به راه شد، آن هم به یمن مهم‌ترین مجموعه رصدها در تمام تاریخ کیهان‌شناسی: اندازه‌گیری‌های تابش زمینه‌ی میکروویو کیهانی، یا CMBR.

در واقع CMBR چیزی نیست جز کورسوی بیگ‌بنگ. این تابش مدرک مستقیم دیگری، در صورت نیاز، برای رخ‌دادن بیگ‌بنگ ارائه می‌کند، چون به ما اجازه می‌دهد مستقیماً به عقب بنگریم و سرشت گیتی بسیار جوان داغی را آشکارسازی کنیم که همه‌ی ساختارهایی که امروز می‌بینیم بعدها از آن سر برآوردند.

یکی از نکات شگرف متعدد درباره‌ی تابش زمینه‌ی میکروویو کیهانی آن است که، از بین این همه جا، در نیوجرسی توسط دو دانشمندی کشف شد که کوچک‌ترین ایده‌ی درباره‌ی چیزی که دنبالش می‌گشتند نداشتند. نکته‌ی دیگر آن است که این تابش برای دهه‌ها عملاً جلوی چشمان همه‌ی ما بود، و بالقوه مشاهده‌پذیر، ولی اصلاً مورد توجه قرار نگرفت؛ راستش اگر سن و سالی از شما گذشته باشد شاید تأثیرات آن را بدون فهمیدن دلیلش دیده باشید، مدت‌ها پیش از آمدن تلویزیون کابلی، و زمانی که کانال‌های تلویزیونی برنامه‌های خود را پس از نیمه‌شب به پایان می‌رساندند و تا صبح برنامه‌ای نداشتند. هنگامی که آن‌ها از روی آنتن می‌رفتند، پس از نشان‌دادن الگویی آزمایشی، صفحه تصویر پر از برفک می‌شد. حدود ۱ درصد آن برفکی که روی صفحه‌ی تلویزیون می‌دیدید تابش بازمانده از بیگ‌بنگ بود.

خاستگاه تابش زمینه‌ی میکروویو کیهانی به نسبت سر راست است. چون گیتی دارای سن مشخصی است به یاد بیاورید که ۱۳.۷۲ میلیارد سال دارد، و هرچه به اجسامی که در

دوردست‌ترند بنگریم، داریم به زمانی عقب‌تری می‌نگریم چون نور از این اجسام زمان بیش‌تری را برای رسیدن به ما صرف می‌کند، شاید تصور کنید که اگر به حد کافی به گذشته بنگریم می‌توانیم خود بیگ‌بنگ را ببینیم. در اصل این ناممکن نیست، ولی در عمل، بین ما و آن دوران ابتدایی دیواری قرار گرفته است. البته نه دیواری فیزیکی مانند دیوارهای اتاقی که من اکنون دارم در آن می‌نویسم، بلکه نوعی دیوار که، تا حد زیادی، همان تأثیر را دارد.

من نمی‌توان پشت دیوارهای اتاقم را ببینم چون کدر هستند. آن‌ها نور را جذب می‌کنند. خب، وقتی در آسمان به زمان قبل و قبل‌تر نگاه می‌کنم، دارم به گیتی در زمانی می‌نگرم که جوان و جوان‌تر بود، و نیز داغ‌تر و داغ‌تر، چون از هنگام بیگ‌بنگ شروع به خنک‌شدن کرده است. اگر به حد کافی به دوردست بنگرم، به زمانی که گیتی در حدود ۳۰۰.۰۰۰ هزار سال داشت، دمای گیتی در حدود ۳.۰۰۰ درجه مقیاس کلوین بالای صفر مطلق بود. در این دما تابش پیرامونی چنان پرانرژی بود که می‌توانست اتم‌های غالب در گیتی را به اجزای سازنده‌شان، پروتون و الکترون، تفکیک کند. پیش از این زمان، ماده‌ی خنثا وجود نداشت. ماده‌ی عادی در گیتی، ساخته‌شده از هسته‌های اتمی و الکترون‌ها، متشکل بود از "پلاسمایی" چگال از ذرات باردار برهم‌کنش‌دهنده با تابش.

با این حال، پلاسما می‌تواند تابش را کدر کند. ذرات باردار درون پلاسما، فوتون‌ها را جذب و آن‌ها را بازگسیل می‌کنند، به طوری که تابش نمی‌تواند به سادگی از درون چنین ماده‌ای بدون مزاحمت بگذرد. در نتیجه، اگر بخواهم به گذشته بنگرم، نمی‌توانم پیش از آخرین زمانی را ببینم که ماده در گیتی عمده‌تاً از چنین پلاسمایی ساخته شده بود.

باز هم می‌گویم که این مانند دیوارهای اتاقم است. من تنها به این دلیل می‌توانم آن‌ها را ببینم که الکترون‌ها در اتم‌های سطح دیوار، نور آمده از چراغ رومیزی را جذب و سپس آن را بازگسیل می‌کنند، و هوای بین من و دیوارها شفاف است، پس می‌توانم مسیر تمام مسیری که نور را گسیل کرده، ببینم. در مورد گیتی نیز چنین است. وقتی به آن می‌نگرم، می‌توانم تمام مسیر را تا آن "آخرین رویه‌ی پراکندگی" ببینم، که نقطه‌ای است که در آن گیتی خنثا می‌شود، جایی که پروتون‌ها با الکترون‌ها در هم می‌آمیزند تا اتم‌های هیدروژن خنثا را بسازند. پس از آن نقطه، گیتی عمده‌تاً نسبت به تابش شفاف می‌شود، و من می‌توانم تابشی را ببینم که توسط الکترون‌ها جذب و بازگسیل شده بود، چون ماده در گیتی خنثا شد.

پس این تصویر از بیگ‌بنگ پیش‌بینی می‌کند که باید تابشی از همه‌ی جهت‌ها از آن "آخرین رویه‌ی پراکندگی" به سوی من بیاید. چون گیتی از آن هنگام با ضریب ۱.۰۰۰ گسترش یافته، این

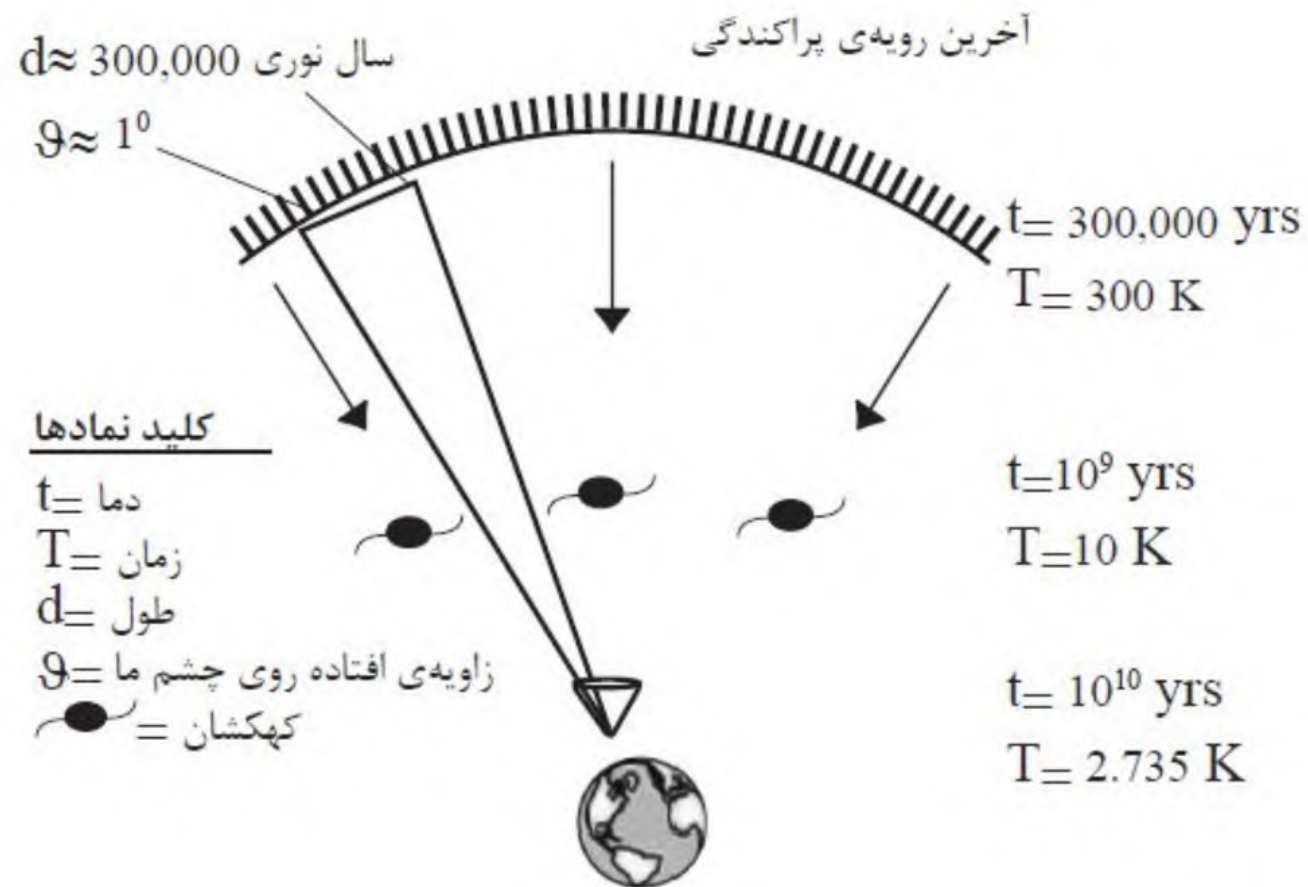
تابش در مسیرش تا من خنک شده است و اکنون حدود ۳ درجه بالای صفر مطلق دما دارد. و این دقیقاً همان سیگنالی است که دو دانشمند از همه جا بی خبر در ۱۹۶۵ در نیوجرسی پیدا کردند، و برای این کشف خود بعدها جایزه‌ی نوبل را بردند.

در واقع دومین جایزه‌ی نوبل، همین اواخر برای مشاهده‌ی تابش زمینه‌ی میکروویو کیهانی، و به دلیلی خوب اعطا شد. اگر بتوانیم عکسی از سطح آخرین رویه‌ی پراکندگی بگیریم، تصویری از گیتی نوزاد خواهیم داشت که تنها ۳۰۰.۰۰۰ سال دارد. ما می‌توانیم همه‌ی ساختارهایی را بینیم که روزی به شکل کهکشان‌ها، ستارگان، سیارات، فضاپیان، و هر آن‌چه که هست، در هم فروریختند. از همه مهم‌تر، این ساختارها از فرگشت دینامیکی پی‌آیندی تأثیر پذیرفته بودند که می‌تواند سرشت زیربنایی و خاستگاه نخستین اختلالات آغازین کوچک در ماده و انرژی را محو کند، که گویا با فرایندهایی اسرارآمیز در اولین لحظات بیگ‌بنگ ایجاد شدند.

ولی مهم‌ترین چیز برای ما در این رویه، وجود مقیاسی مشخصه است که توسط خود زمان نقش بسته است. برای درک این گفته، به مطلب زیر توجه کنید: اگر فاصله‌ای به گستردگی ۱ درجه در آخرین رویه‌ی پراکندگی را در نظر بگیرید که توسط بیننده‌ای از روی زمین دیده می‌شود، این فاصله متناظر خواهد بود با فاصله‌ای در آن رویه که تقریباً به اندازه‌ی ۳۰۰.۰۰۰ سال نوری است. خب، چون آخرین رویه‌ی پراکندگی نمود زمانی است که خود گیتی حدود ۳۰۰.۰۰۰ هزار ساله بود، و چون اینشتین به ما می‌گوید که هیچ اطلاعاتی نمی‌تواند درون فضا تندتر از سرعت نور برود، بدین ترتیب هیچ سیگنالی نمی‌توانسته در آن مدت از یک مکان، بیش از حدود ۳۰۰.۰۰۰ سال نوری را در این رویه بپیماید.

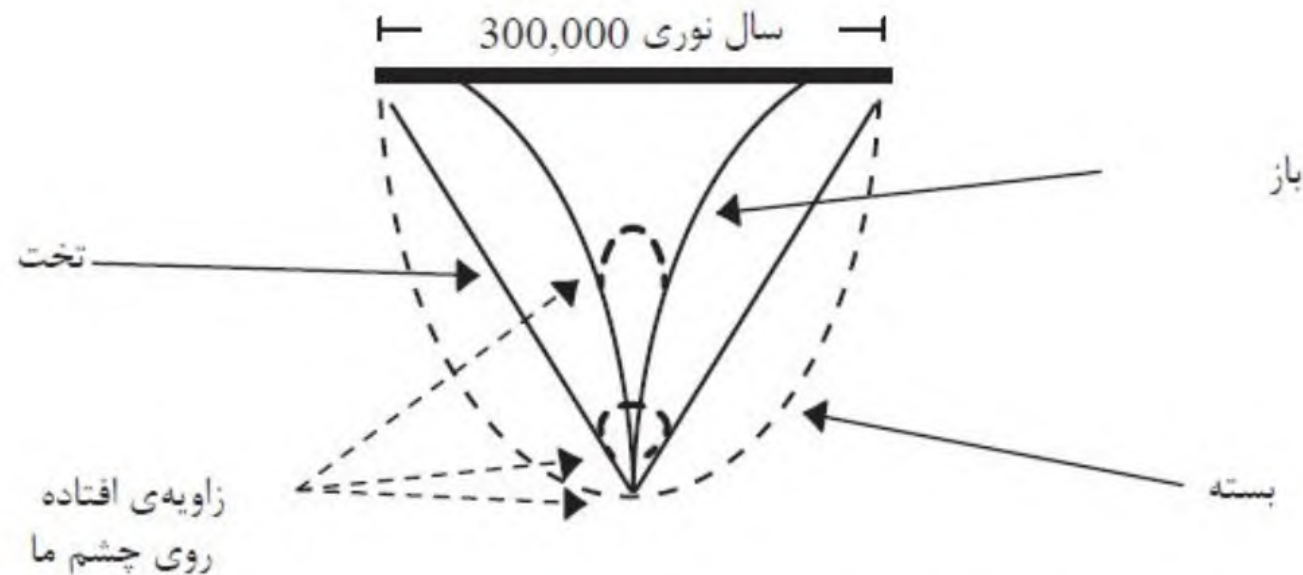
اکنون توده‌ای از ماده به اندازه‌ای کمتر از ۳۰۰.۰۰۰ سال نوری را در نظر گیرید. چنین توده‌ای در اثر گرانش خودش شروع به رمبش خواهد کرد. ولی توده‌ای بزرگ‌تر از ۳۰۰.۰۰۰ سال نوری، حتا شروع به رمبش نخواهد کرد، چون حتا هنوز "نمی‌داند" که توده است. گرانش، که خودش با سرعت نور پیش می‌رود، نمی‌توانسته تمام طول این توده را در نور دیده باشد. پس مثل کایوت ناقل در کارتون رُدرانر که به سرعت از روی صخره توی هوا می‌دود و وسط زمین و هوا می‌ماند، توده‌ی مذکور هم آن‌جا منتظر می‌ماند تا گیتی به حد کافی پیر شود تا بفهمد قرار است چه کند!

بدین ترتیب به مثلی ویژه می‌رسیم، که یک ضلعش ۳۰۰.۰۰۰ سال نوری طول دارد، مسافتی مشخص دور از ما، که با فاصله‌ی بین ما و آخرین رویه‌ی پراکندگی تعیین می‌شود، مطابق شکل



بزرگ‌ترین توده‌های ماده، که پیشاپیش شروع به رمبش کرده‌اند و در این روند بی‌نظمی‌هایی در تصویر رویه‌ی زمینه‌ی میکروویو ایجاد خواهند کرد، این مقیاس زاویه‌ای را دربر خواهند گرفت. اگر بتوانیم تصویری از این رویه را به صورتی که در آن هنگام به نظر می‌رسید به چنگ آوریم، انتظار داریم که چنین لکه‌های داغی، در میانگین، بزرگ‌ترین توده‌های مهمی باشند که ما در این تصویر خواهیم دید.

با این حال، هندسه‌ی گیتی تعیین خواهد کرد که آیا زاویه‌ای که این فاصله دربرمی‌گیرد دقیقاً ۱ درجه هست یا خیر. در گیتی تخت، پرتوهای نور در خطوط مستقیم می‌روند. با این حال، در گیتی باز، پرتوهای نور، اگر کسی آن‌ها را تا گذشته دنبال کند، به بیرون تاب بر می‌دارند. در گیتی بسته، با دنبال کردن پرتوهای نور تا گذشته، می‌بینیم که همگرا می‌شوند. بدین ترتیب، زاویه‌ی واقعی افتاده روی چشم ما با خط‌کشی به طول ۳۰۰.۰۰۰ سال نوری، واقع در فاصله‌ای مرتبط با آخرین رویه‌ی پراکندگی، مطابق شکل زیر به هندسه‌ی فضا بستگی پیدا می‌کند:

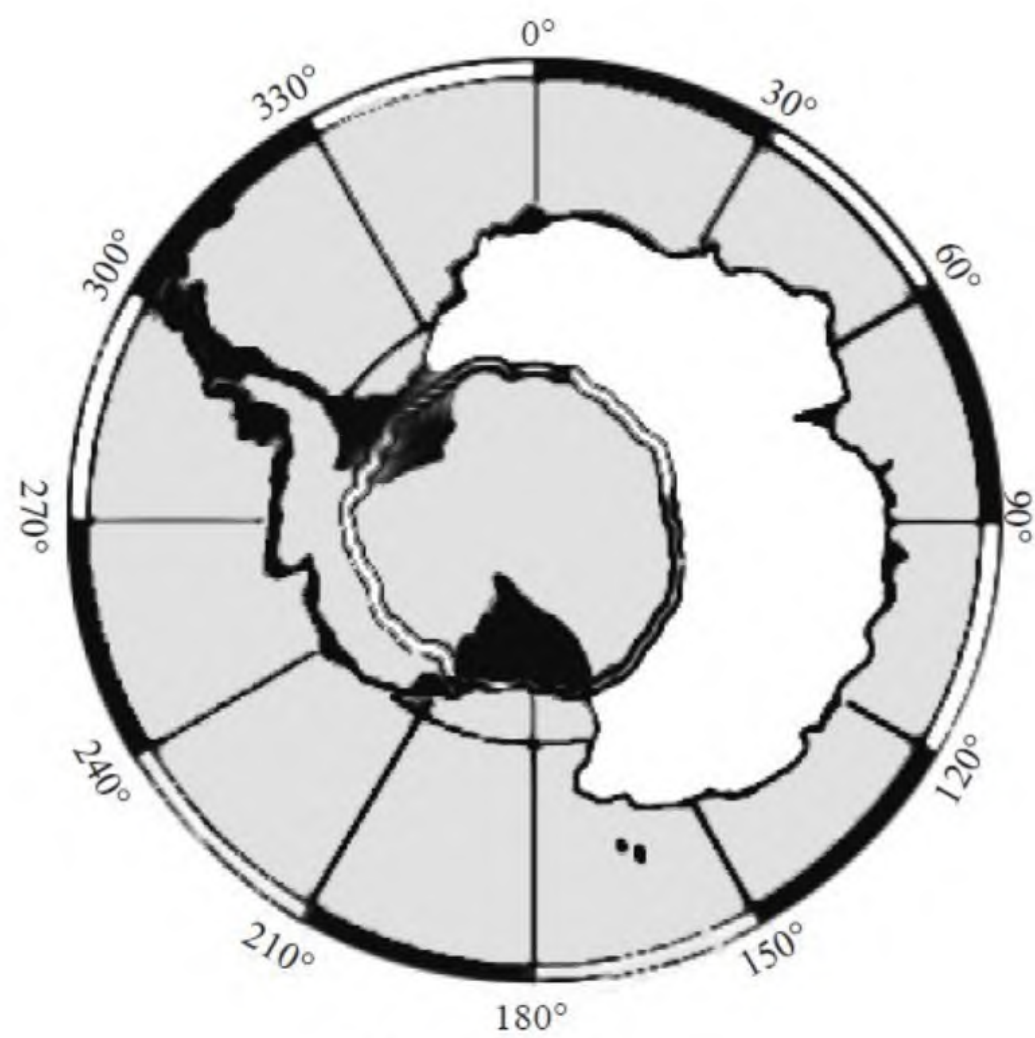


این نکته، آزمونی مستقیم و واضح را برای هندسه‌ی گیتی در اختیار می‌گذارد. چون اندازه‌ی بزرگ‌ترین لکه‌های داغ یا لکه‌های سرد در تصویر تابش زمینه‌ی میکروویو تنها به علّیت بستگی دارد - این واقعیت که گرانش می‌تواند تنها به سرعت نور پیش رود، و بدین ترتیب بزرگ‌ترین منطقه‌ای که در آن زمان رمیده است به سادگی با دورترین مسافتی تعیین می‌شود که پرتو نور می‌توانسته در آن هنگام پیموده باشد - و چون زاویه‌ای را که ما می‌بینیم که با خط‌کشی ثابت در فاصله‌ای ثابت از ما مشخص شده، تنها با خمیدگی گیتی تعیین می‌شود، تصویری ساده از آخرین رویه‌ی پراکندگی می‌تواند هندسه‌ی بزرگ‌مقیاس فضا زمان را به ما نشان دهد.

نخستین آزمایش برای چنین رصدی عبارت بود از آزمایش به هوا فرستادن بالّی از زمین در جنوبگان در ۱۹۹۷ به نام بومرنگ. با آن‌که بومرنگ سرواژه‌ای بود برای رصدهای تابش و ژئوفیزیک میلی‌متری فراکهکشانی با بالن، دلیل واقعی این نامگذاری ساده‌تر این حرف‌هاست. مطابق عکس زیر، یک پرتوسنج میکروویو به یک بالن ارتفاع بالا وصل شد:



سپس این بالن دور دنیا می‌چرخید، که انجام این کار در جنوبگان آسان است. در عمل، در قطب جنوب این کار واقعاً ساده است، چون شما می‌توانید دور دایره‌ای بچرخید. با این حال سفر از ایستگاه مک‌موردو^۷ به دور تمام این قاره، به کمک بادهای قطبی، دو هفته طول می‌کشد، و سپس دستگاه به نقطه‌ی عزیمتش بر می‌گشت، به همین دلیل بومرنگ خوانده شد.



مسیر بومرنگ به دور جنوبگان

هدف از این سفر بالن ساده بود. برای رسیدن به نمایی از تابش زمینه‌ی میکروویو، بازتاب‌دهنده‌ی دمای ۳ درجه بالای صفر مطلق مقیاس کلوین، که به ماده‌ی به مراتب داغ‌تر روی زمین آلوده نشده باشد حتا در جنوبگان دماها بیش از دویست درجه داغ‌تر از دمای تابش زمینه‌ی میکروویو کیهانی هستند، می‌خواهیم که تا حد ممکن از زمین دورتر شویم، و حتا به بالای بخش اعظم اتمسفر زمین برویم. در حالت ایده‌ال برای این هدف از ماهواره‌ها استفاده می‌کنیم، ولی بالن‌های ارتفاع بالا می‌توانند با هزینه‌ای خیلی کم‌تر از پس بیش‌تر کار برآیند.

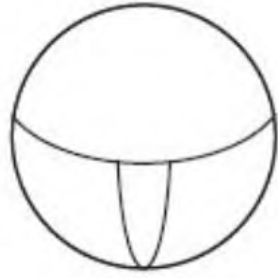
باری، پس از دو هفته، بومرنگ تصویری را از بخش کوچکی از آسمان میکروویو تهیه کرد که نشانگر لکه‌های داغ و سرد در الگوی تابش آمده از آخرین رویه‌ی پراکندگی است. در زیر یک تصویر از منطقه‌ی رصدشده در آزمایش بومرنگ آمده که روی عکس اصلی این آزمایش برهم‌نهی شده است "لکه‌های داغ" و "لکه‌های سرد" به ترتیب با سایه‌های تاریک و روشن مشخص شده‌اند:



تا جایی که به من مربوط است این تصویر دو هدف را برآورده می‌کند. یکم، مقیاس فیزیکی واقعی لکه‌های داغ و سرد در آسمان را از چشم بومرنگ نشان می‌دهد، با تصویر پیش‌زمینه برای مقایسه. ولی در ضمن جنبه‌ی مهم دیگری را، از آن‌چه که تنها می‌توان به آن نزدیک‌بینی کیهانی خودمان گفت، نشان می‌دهد. هنگامی که در روزی آفتابی سرمان را بالا می‌کنیم، آسمانی آبی‌رنگ را می‌بینیم، که در تصویر قبلی بالن نشان داده شد. ولی دلیلش آن است که ما برای دیدن نور مرئی فرگشت پیدا کرده‌ایم؛ بی‌تردید، به این علت که اوج نور آمده از سطح خورشید خودمان در ناحیه‌ی مرئی است و نیز چون بسیاری از دیگر طول موج‌های نور در اتمسفر جذب می‌شوند، بدین ترتیب نمی‌توانند به سطح زمین برسند. این به نفع ماست، چون بیش‌تر این تابش‌ها می‌تواند آسیب‌رسان باشد. به هر صورت، اگر ما برای "دیدن" تابش مایکروویو فرگشت یافته بودیم، تصویری از آسمان را می‌دیدیم، روز یا شب، که تا زمانی که مستقیم به خورشید نمی‌نگریستیم، ما را مستقیماً به تصویری از آخرین رویه‌ی پراکندگی بر می‌گرداند، به بیش از ۱۳ میلیارد سال نوری دورتر. این همان "تصویری" است که آشکارساز بومرنگ بازگرداند.

نخستین پرواز بومرنگ که این تصویر را درست کرد، با بخت زیادی همراه شد. جنوبگان محیطی خشن و پیش‌پینی‌ناپذیر دارد. در یک پرواز بعدی، در ۲۰۰۳، به دلیل خرابی بالن و توفان پشت‌بندش، تقریباً همه تجهیزات آزمایش داشت از دست می‌رفت. تصمیم لحظه‌ی آخر برای بریدن بند بالن پیش از آن‌که باد آن را به جایی دسترس‌ناپذیر ببرد به داد رسید و عملیات جستجو و نجات مکان محموله را در جنوبگان مشخص کرد و کپسول تحت فشار حامل دستگاه‌های علمی را بازگرداند.

پیش از تفسیرکردن تصویر بومرنگ، می‌خواهم بار دیگر گوشزد کنم که اندازه‌ی فیزیکی واقعی لکه‌های داغ و لکه‌های سرد ثبت‌شده روی تصویر بومرنگ با فیزیک ساده‌ی مرتبط با آخرین رویه‌ی پراکندگی تثبیت می‌شود، در حالی که ابعاد اندازه‌گیری‌شده‌ی لکه‌های داغ و لکه‌های سرد در این تصویر از هندسه‌ی گیتی ناشی می‌شوند. شاید قیاس دو بعدی ساده‌ای به توضیح بیش‌تر این نتیجه کمک کند: در دو بعد، هندسه‌ی بسته مانند رویه‌ی است، در حالی که هندسه‌ی باز مانند رویه‌ی زین است. اگر روی این رویه‌ها مثلثی بکشیم، اثری را که گفتم می‌بینیم، خط راست روی کره همگرا و روی زین واگرا می‌شود، و، بدیهی است که، روی صفحه‌ی تخت صاف می‌ماند:



تخت



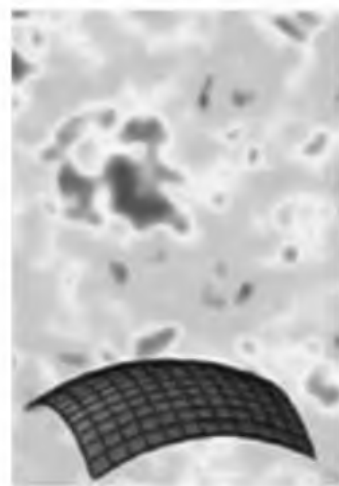
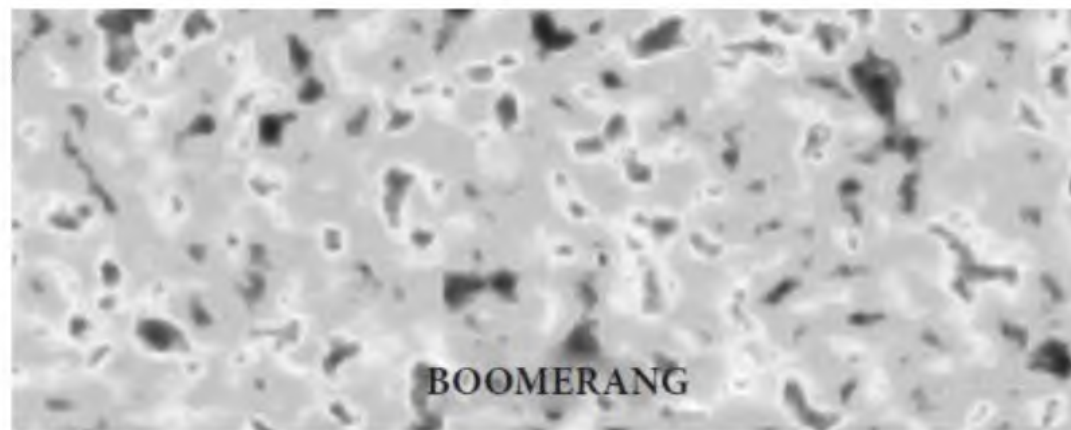
بسته



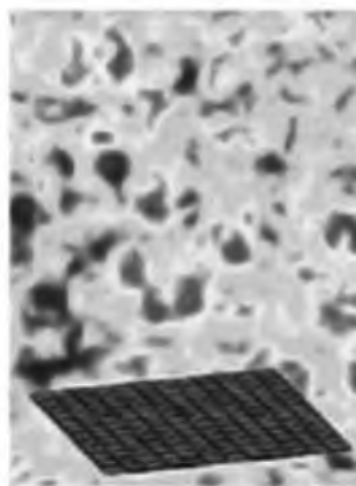
باز

ولی پرسش میلیون دلاری کماکان این است که، لکه‌های داغ و لکه‌های سرد در تصویر بومرنگ چقدر بزرگ هستند؟ برای پاسخ، گروه بومرنگ چندین تصویر شبیه‌سازی شده روی کامپیوترهایشان از لکه‌های داغ و لکه‌های سرد در گیتی‌های بسته، تخت، و باز درست کردند و آن‌ها را با تصویر رنگ دروغین دیگری از آسمان مایکروویو واقعی مورد مقایسه قرار دادند.

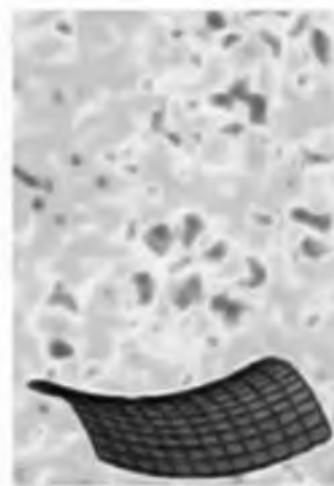
۲۵°



تخت



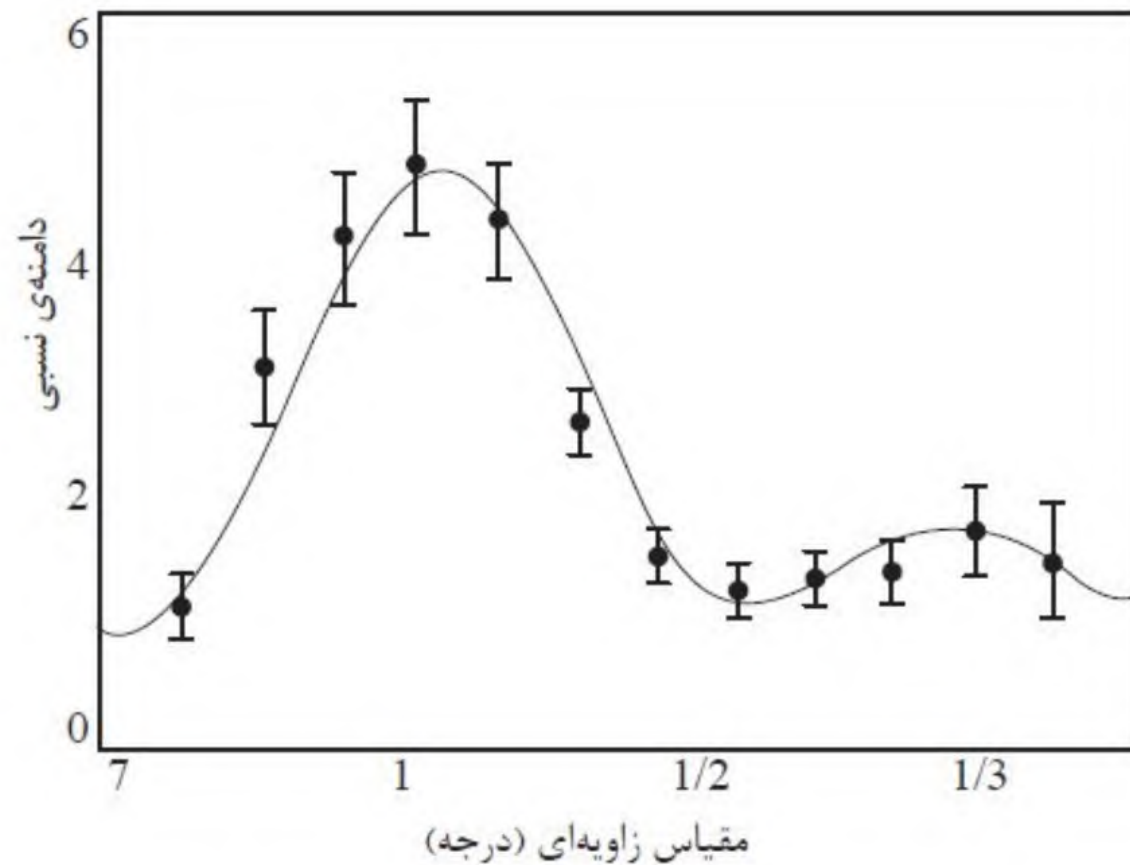
بسته



باز

اگر تصویر چپ پایین را بررسی کنید، از گیتی بسته‌ی شبیه‌سازی‌شده، می‌بینید که میانگین لکه‌ها بزرگ‌تر از گیتی واقعی‌اند. در سمت راست، میانگین اندازه‌ی لکه‌ها کوچک‌ترند. ولی، مانند تخت‌خواب بچه خرس در داستان گلدی‌لاکس^۱، تصویر وسط، متناظر با گیتی تخت شبیه‌سازی‌شده، در "اندازه‌ی درست" است. گیتی زیبای ریاضی که نظریه‌پردازان در آرزویش بودند انگار با این رصد مهر تأیید می‌خورد، گرچه گویا با برآورد صورت گرفته توسط وزن کردن خوشه‌های کهکشانی به شدت ناهمخوانی داشت.

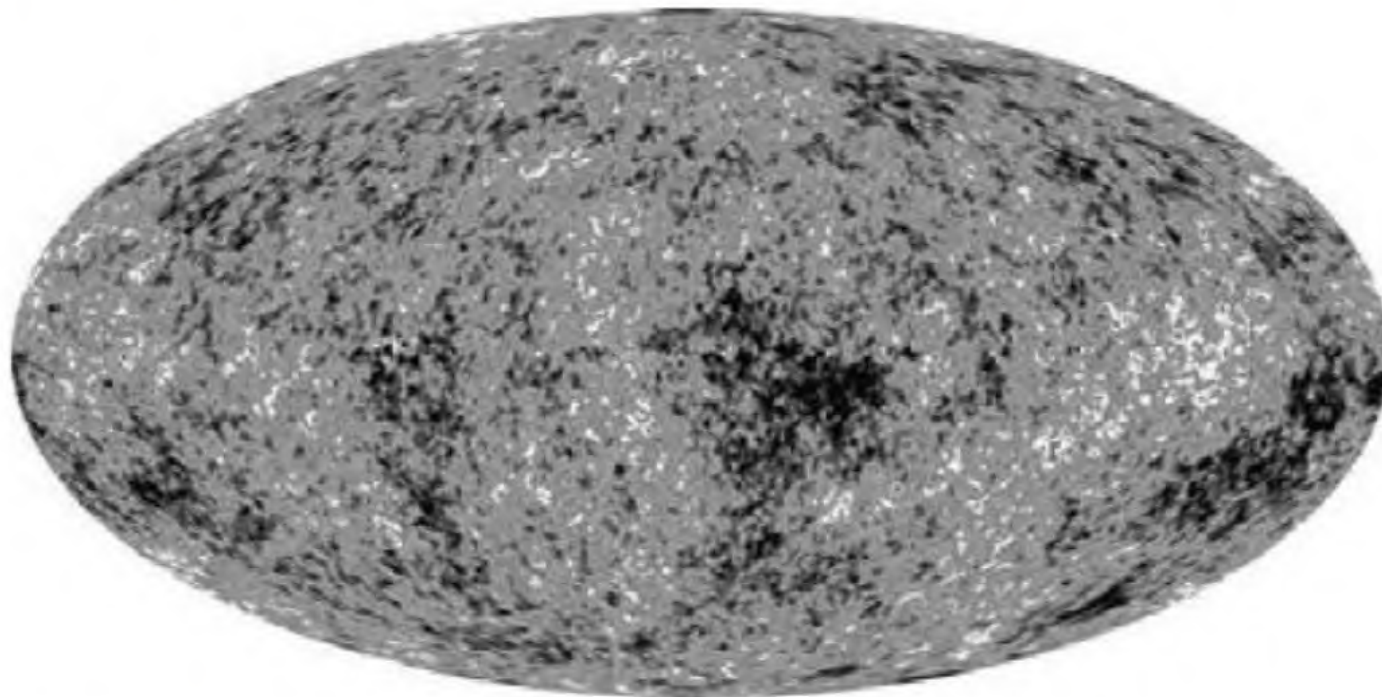
راستش، همخوانی بین پیش‌بینی‌های انجام‌شده برای گیتی تخت و تصویر به دست‌آمده از بومرنگ کمابیش گیج‌کننده است. با آزمودن این لکه‌ها و جستجوی بزرگ‌ترین‌هایی که، در زمانی که در آخرین رویه‌ی پراکندگی بازتاب یافته، برای رمبیدن چشمگیر به درون وقت داشتند، تیم بومرنگ به نمودار زیر رسید:



نقاط داده‌ها هستند. خط توپر پیش‌بینی گیتی تخت را نشان می‌دهد، که بیش‌ترین افزایش در نزدیکی ۱ درجه رخ می‌دهد!

از هنگامی که آزمایش بومرنگ خود را منتشر کرد، ماهواره‌ی کاوشگر حساس‌تری برای تابش زمینه‌ی میکروویو از سوی ناسا پرتاب شد، به نام کاوشگر ناهمسانگردی میکروویو

ویلکینسن WMAP؛ به یادبود دیوید ویلکینسن فیزیکدان فقید پرینستن که یکی از فیزیکدانان پرینستن بود که اگر دانشمندان آزمایشگاه‌های بل CMBR را پیدا نکرده بودند، می‌بایست آن را کشف می‌کرد. دبلیومپ در ژوئن ۲۰۰۱ پرتاب شد و در فاصله‌ی یک میلیون مایلی زمین قرار گرفت، جایی که، در سمت تاریک زمین از خورشید، می‌تواند آسمان میکروویو را بدون آلودگی آفتاب ببیند. در دوره‌ای هفت ساله، این کاوشگر سرتاسر آسمان میکروویو نه مانند بومرنگ بخشی از آسمان را، چون بومرنگ گرفتار زمین زیر پایش بود را با دقتی بی‌مانند تصویربرداری کرد.



در این جا سرتاسر آسمان روی یک صفحه تصویر شده، درست مثل رویه‌ی کره‌ای که روی نقشه‌ای تخت آورده می‌شود. صفحه‌ی کهکشان خودمان در امتداد استوا قرار می‌گیرد، و ۹۰ درجه

بالای صفحه‌ی کهکشان خودمان در این نقشه قطب شمال و ۹۰ درجه پایین صفحه‌ی کهکشان خودمان قطب جنوب است. با این حال، تصویر کهکشان از این نقشه برداشته شده تا تنها تابش آمده از آخرین رویه‌ی پراکندگی را نشان دهد.

با داشتن این داده‌های برجسته، برآوردی با دقت بیش‌تر را می‌توان از هندسه‌ی گیتی به دست آورد. نقشه‌ای از دبلیومپ که همانند تصویر حاصل از بومرنگ است با دقت ۱ درصد تأیید می‌کند که ما در گیتی تختی به سر می‌بریم! توقع نظریه‌پردازان درست بود. ولی باید گفت که نمی‌توانیم ناهمخوانی آشکار ظاهری این نتیجه را با نتیجه‌ای که در فصل پیش بیان کردم نادیده بگیریم. وزن کردن گیتی با اندازه‌گیری جرم کهکشان‌ها و خوشه‌ها به مقداری ۳ برابر کم‌تر از مقدار لازم برای رسیدن به گیتی تخت می‌انجامد. یک جای کار می‌لنگد.

با آن‌که شاید نظریه‌پردازان برای این حدس که گیتی تخت است به هم تبریک بگویند، تقریباً هیچ کسی آماده‌ی ترفندی نبود که گیتی برای برطرف کردن برآوردهای متناقض هندسه‌ی گیتی حاصل از اندازه‌گیری جرم در برابر اندازه‌گیری مستقیم خمیدگی در چننه داشت. معلوم شد که انرژی گمشده‌ی لازم برای رسیدن به گیتی تخت درست زیر دماغمان پنهان شده، به معنای دقیق کلمه.

فصل ۴: هیاهو بر سر هیچ

کم زیاد است.

برگرفته از رابرت براونینگ، لودویش میس فان در روه

یک گام به پیش دو گام به پس، انگار این سخن در جستجوی ما برای درک گیتی خودمان و ارائه‌ی تصویری دقیق از آن صدق می‌کند. گرچه رصدها سرانجام با قاطعیت خمیدگی گیتی خودمان را تعیین کردند - و در این فرایند بر گمانه‌زنی‌های درازمدت نظری مهر تأیید زدند - و هرچند معلوم بود که ده برابر ماده‌ای که بتوان از پروتون‌ها و نوترون‌ها به حساب آورد در گیتی هست، و حتا با وجود آن مقدار عظیم ماده‌ی تاریک، که دربرگیرنده‌ی ۳۰ درصد آن چیزی است که برای ایجاد گیتی تخت لازم بود، ناگهان مقدار ماده از اندازه‌ی کافی برای در نظرگرفتن تمام انرژی گیتی فرسنگ‌ها دور شد. اندازه‌گیری مستقیم هندسه‌ی گیتی و کشف بعد از آن که گیتی به راستی تخت است، به این معنا بود که ۷۰ درصد انرژی گیتی هنوز گمشده است، نه درون و نه پیرامون کهکشان‌ها یا حتا خوشه‌ها کهکشانی است!

اوضاع به آن وخامتی که گفتم نبود. حتا پیش از این اندازه‌گیری‌های خمیدگی گیتی، و تعیین جرم کل خوشه‌شده درون آن که در فصل ۲ گفتم، نشانه‌هایی در دست بود که تصویر نظری متداول در آن هنگام از گیتی خودمان با رصدها سازگاری ندارد - با ماده‌ی تاریک کافی برای تخت‌بودن فضا در واقع، سه برابر چیزی که اکنون می‌دانیم هست. راستش، در ۱۹۹۵، من مقاله‌ای بدعت‌گذارانه را با یکی از همکارانم، مایکل ترنر از دانشگاه شیکاگو، نوشتم و پیشنهاد کردم که این تصویر متداول نمی‌تواند درست باشد، و در واقع تنها امکان‌پذیری که انگار هم با گیتی تخت ترجیح نظری ما در آن هنگام و هم با رصدهای خوشه‌شدن کهکشان‌ها و دینامیک درونی آن‌ها سازگاری داشت، گیتی‌ای بود به مراتب عجیب‌تر و چیزی شبیه به ایده‌ی نظری دیوانه‌واری که آلبرت اینشتین در ۱۹۱۷ داشت برای حل تناقض ظاهری بین پیش‌بینی‌های نظری خودش و گیتی ایستایی که فکر می‌کرد در آن به سر می‌بریم و بعدها دست از آن برداشت.

به خاطر دارم که انگیزه‌ی ما در آن هنگام بیش‌تر آن بود که نشان دهیم چیزی در اندیشه‌ی غالب اشتباه است، تا ارائه‌ی پیشنهادی قاطع برای مسئله. گویا این پیشنهاد چنان غریب بود که

نمی‌شد باورش کرد، پس فکر نمی‌کنم سه سال بعد که معلوم شد پیشنهاد بدعت‌گذارانه‌ی ما کاملاً درست بود، کسی بیش از خودمان یکه خورده باشد.

بگذارید به ۱۹۱۷ برگردیم. به خاطر بیاورید که اینشتین نسبیت عام را توسعه داده بود و از سرخوشی کشفی که با آن می‌توانست تقدیم حضيض تیر را توضیح دهد، قلبش به تاپ تاپ افتاده بود، گرچه وی به ناچار با این واقعیت روبه‌رو شد که نظریه‌اش نمی‌تواند برای گیتی ایستایی که او فکر می‌کرد در آن به سر می‌برد توضیحی ارائه کند.

اگر او جرئت بیش‌تری در ابراز باورهایش داشت، شاید پیش‌بینی می‌کرد که گیتی نمی‌تواند ایستا باشد. ولی چنین نکرد. در عوض، او فهمید که می‌تواند تغییری کوچک در نظریه‌اش بدهد، چیزی که کاملاً با استدلال‌هایی ریاضی سازگاری داشت که وی را در وهله‌ی نخست به توسعه‌ی نسبیت عام رهنمون شده بود، و چیزی که انگار می‌توانست گیتی ایستا را مجاز بدارد.

با وجود پیچیدگی جزئیات، ساختار عمومی معادلات اینشتین در نسبیت عام به نسبت سر راست است. سمت چپ این معادلات بیانگر خمیدگی گیتی‌اند، و در کنارش، قدرت نیروهای گرانشی عمل‌کننده بر ماده و تابش. این‌ها را کمیت سمت راست معادله تعیین می‌کند، که بازتابی است از چگالی کل همه‌ی انواع انرژی و ماده‌ی درون گیتی.

اینشتین پی‌برد که افزودن جمله‌ی ثابت اضافی کوچکی به سمت چپ این معادله، نمایانگر نیروی دافعه‌ی ثابت اضافی کوچکی است در سرتاسر فضا، علاوه بر ربایش گرانشی استاندارد بین اجسام دوردست که با افزایش فاصله‌ی بین آن‌ها کاهش پیدا می‌کند. این نیروی اضافی، در صورتی که به حد کافی کوچک باشد، می‌تواند در مقیاس‌های انسانی یا حتا در مقیاس منظومه‌ی خورشیدی خودمان، جایی که می‌بینیم قانون گرانش نیوتون به زیبایی هر چه تمام برقرار است، آشکارناپذیر بماند. ولی او گفت که چون این نیرو در سرتاسر فضا ثابت است، می‌تواند در مقیاس کهکشانی خودمان افزایش پیدا کند و تا حدی زیاد شود که با نیروی ربایشی بین اجسام بسیار دوردست رویارویی کند. بدین ترتیب او اندیشید که این روند در بزرگ‌ترین مقیاس‌ها می‌تواند به گیتی ایستا بینجامد.

اینشتین این جمله‌ی اضافی را جمله‌ی کیهان‌شناختی نامید. با این حال، چون این تنها افزایش یک ثابت به معادلات است، اکنون مرسوم است که آن را ثابت کیهان‌شناختی بنامند.

پس از آن که اینشتین پی‌برد که گیتی به واقع در حال انبساط است، از این جمله چشم‌پوشی کرد و می‌گویند که تصمیم افزودن آن به معادلاتش را بزرگ‌ترین گاف زندگی خود نامید.

ولی خلاص شدن از دست آن به این سادگی‌ها هم نیست. مثل آن می‌ماند که پس از فشردن خمیردندان خواهیم دوباره آن را توی لوله‌اش برگردانیم. دلیلش آن است که امروز تصویر کاملاً متفاوتی از ثابت کیهان‌شناختی داریم، به گونه‌ای که، اگر اینشتین این جمله را نیفزوده بود، کس دیگری در سالیان بعد دست به این کار می‌زد.

بردن جمله‌ی اینشتین از سمت چپ معادلاتش به سمت راست گامی است کوچک برای ریاضیدان، ولی جهشی است غول‌آسا برای فیزیکدان. با آن‌که از نظر ریاضی چنین کاری بسیار ساده است، به محض رفتن این جمله به سمت راست، که در آن همه‌ی جمله‌های سهمیم در انرژی گیتی جا گرفته‌اند، از دید فیزیکی نماینده‌ی چیزی کاملاً متفاوت می‌شود - یعنی سهمی تازه در انرژی کل. ولی چنین جمله‌ای می‌تواند چه چیزی را عرضه کند؟

پاسخ این است: هیچ.

با گفتن هیچ، منظورم این نیست که هیچ، چیزی نیست، بلکه در عوض دقیقاً هیچ است - در این مورد، نبودی که معمولاً آن را فضای تهی می‌نامیم. منظورم این است که اگر محدوده‌ای از فضا را بگیریم و از هر چیزی درون آن خلاص شویم - غبار، گاز، آدم‌ها، و حتا تابشی که از درونش می‌گذرد، یعنی مطلقاً هر چیزی درون آن محدوده - آن‌گاه اگر فضای تهی باقیمانده وزنی داشته باشد، متناظر است با وجود جمله‌ی کیهان‌شناختی‌ای که اینشتین ابداع کرد.

خب، این که ثابت کیهان‌شناختی اینشتین را دیوانه‌وارتر می‌کند! چون هر بچه دبستانی، حتا اگر نداند که انرژی چه هست، به شما خواهد گفت که در هیچ چه مقدار انرژی هست. پاسخ باید هیچ باشد.

افسوس، بیش‌تر بچه دبستانی‌ها نه مکانیک کوانتومی خوانده‌اند نه نسبیت. چون وقتی کسی نتایج نظریه‌ی نسبیت خاص اینشتین را در گیتی کوانتومی بگنجانند، فضای تهی از آن‌چه که بود بسیار شگفت‌انگیزتر می‌شود. به راستی چنان شگفت‌انگیز که حتا فیزیکدانانی که برای نخستین بار این رفتار تازه را کشف و تحلیل کردند به سختی می‌توانستند آن‌چه را که عملاً در جهان واقعی وجود داشت باور کنند.

نخستین کسی که با موفقیت نسبیت را با مکانیک کوانتومی در هم آمیخت، فیزیکدان نظری انگلیسی درخشان و کم حرف پل دیراک بود، که پیش‌تر نقشی پیشروانه در توسعه دادن مکانیک کوانتومی به عنوان یک نظریه بر عهده داشت.

مکانیک کوانتومی در ۱۹۱۲ تا ۱۹۲۷ توسعه پیدا کرد، عمدتاً با کارهای فیزیکدان دانمارکی درخشان و تودار نیلز/نیلز بور و فیزیکدان‌های جوان خوش فکر و زبر و زرنگ، اروین شرودینگر اتریشی و ورنر هایزنبرگ آلمانی. جهان کوانتومی که نخست بور مطرح کرد، و شرودینگر و هایزنبرگ به اصلاح ریاضی آن پرداختند، از همه‌ی برداشت‌های عقل سلیمی که ما بر پایه‌ی تجربیاتمان با اجسام در مقیاس انسانی داریم سرپیچی می‌کند. بور نخست پیشنهاد کرد که الکترون‌ها در اتم‌ها به دور هسته‌ای مرکزی می‌چرخند، مانند سیاراتی که دور خورشید می‌چرخند، ولی نشان داد که قواعد مشاهده‌شده‌ی طیف‌های اتمی فرکانس‌های نور گسیل‌شده توسط عنصرهای گوناگون تنها در صورتی قابل درک است که الکترون‌ها به گونه‌ای به داشتن مدارهای پایدار در مجموعه‌ای ثابت از "ترازهای کوانتومی" محدود شوند و نتوانند آزادانه به سمت هسته تاب بردارند. آن‌ها تنها می‌توانند با جذب یا گسیل فرکانس‌های گسسته، یا کوانتوم‌های نور بین ترازها رفت و آمد کنند - همان کوانتوم‌هایی که ماکس پلانک نخستین بار در ۱۹۰۵ به عنوان راهی برای درک شکل‌هایی از تابش گسیل‌شده توسط اجسام داغ پیشنهاد کرد.

با این حال "قواعد کوانتش" بور کمابیش من‌درآوردی بود. در دهه‌ی ۱۹۲۰، شرودینگر و هایزنبرگ مستقل از هم نشان دادند که می‌شود این قواعد را از نخستین اصول به دست آورد، به شرط این‌که الکترون‌ها از قواعد دینامیکی پیروی کنند که متفاوت از چیزی باشد که به کار اجسام ماکروسکوپی مانند بیس‌بال می‌آید. الکترون‌ها می‌توانند مانند موج و نیز مانند ذره رفتار کنند، انگار در فضا گسترده می‌شوند بنابراین، "تابع موج" شرودینگر برای الکترون‌ها، نشان داده شد که نتایج اندازه‌گیری‌های ویژگی‌های الکترون‌ها تنها به مقادیر احتمالاتی می‌انجامد، با آمیزه‌های گوناگونی از ویژگی‌های متفاوتی که همزمان به طور دقیق قابل اندازه‌گیری نیستند بنابراین، "اصل عدم قطعیت" هایزنبرگ.

دیراک نشان داده بود که ریاضیات پیشنهادی از سوی هایزنبرگ برای توصیف سیستم‌های کوانتومی را که برای آن هایزنبرگ جایزه‌ی نوبل ۱۹۳۲ را برد می‌توان با همانندی دقیق با قوانین جافاده‌ی حاکم بر دینامیک اجسام ماکروسکوپی کلاسیکی به‌دست آورد. علاوه بر آن، وی همچنین بعداً توانست نشان دهد که ریاضیات "مکانیک موجی" شرودینگر را نیز می‌توان به همین ترتیب به دست آورد و رسماً هم‌ارز فرمولبندی هایزنبرگ است. ولی دیراک همچنین می‌دانست که مکانیک کوانتومی بور، هایزنبرگ، و شرودینگر، با تمام برجستگی‌اش، تنها به کار سیستم‌هایی می‌آید که در آن قوانین نیوتون، و نه نسبیت اینشتین، قوانین مناسب حاکم بر سیستم‌های کلاسیکی بودند، که سیستم‌های کوانتومی با همانندی از آن ساخته شده بودند.

دیراک خوش داشت که به جای تصاویر بر حسب ریاضیات بیندیشد، و با معطوف کردن توجه خود برای کوشش در راه سازگار ساختن مکانیک کوانتومی با قوانین نسبیت اینشتین، شروع کرد به بازی با انواع و اقسام معادلات. این‌ها دربرگیرنده‌ی سیستم‌های ریاضی چندمؤلفه‌ای پیچیده‌ای می‌شدند که برای لحاظ کردن این نکته ضروری بودند که الکترون‌ها "اسپین" دارند - مثل این که بگوییم آن‌ها مانند فرفره‌هایی کوچک می‌چرخند و تکانه‌ی زاویه‌ای دارند، و نیز می‌توانند دور هر محوری هم ساعتگرد و هم پادساعتگرد بچرخند.

در ۱۹۲۹ او به گنج رسید. معادله‌ی شرودینگر به زیبایی و با دقت رفتار الکترون‌هایی را که در سرعت‌هایی خیلی آهسته‌تر از نور می‌رفتند، توضیح داده بود. دیراک پی‌برد که اگر معادله‌ی شرودینگر را با استفاده از چیزهایی به نام ماتریس به شکل معادله‌ای پیچیده‌تر در آورد - که عملاً بدین معنا بود که معادله‌اش به واقع مجموعه‌ای از چهار معادله‌ی جفت‌شده‌ی متفاوت را توصیف می‌کرد - می‌توانست با سازگاری دست مکانیک کوانتومی را در دست نسبیت بگذارد، و بدین ترتیب در اصل رفتار سیستم‌هایی را توصیف می‌کند که در آن الکترون‌ها با سرعت‌هایی بسیار بیش‌تر حرکت می‌کنند.

با این حال مشکلی وجود داشت. دیراک معادله‌ای را نوشته بود برای توصیف رفتار الکترون‌ها به هنگامی که با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی برهم‌کنش می‌دهند. ولی انگار معادله‌اش نیازمند ذراتی تازه بود مانند الکترون‌ها ولی با بار الکتریکی مخالف.

در آن هنگام، تنها یک ذره‌ی بنیادی با بار مخالف الکترون در طبیعت شناخته شده بود - پروتون. ولی پروتون‌ها مانند الکترون‌ها نیستند. همین ابتدای کار، آن‌ها ۲۰۰۰ بار سنگین‌ترند.

دیراک سردرگم شد. از سر نو میدی گفت که ذرات تازه به واقع پروتون هستند، ولی به‌گونه‌ای وقتی از درون فضا می‌گذرند برهم‌کنش‌های پروتون‌ها باعث می‌شود که آن‌ها به گونه‌ای رفتار

کنند که گویی سنگین‌ترند. چندان طولی نکشید که دیگران، از جمله هایزنبرگ، نشان دادند که این پیشنهاد چرند است.

طبیعت به سرعت به کمک شتافت. در عرض دو سال از زمانی که دیراک معادله‌اش را پیشنهاد کرد، و یک سال پس از این‌که وی آن را رها کرده و پذیرفته بود که اگر کارش درست بود، آن‌گاه باید ذره‌ی تازه‌ای وجود داشته باشد، آزمایشگرانی که پرتوهای کیهانی بمباران‌کننده‌ی زمین را بررسی می‌کردند به مدرکی برای وجود ذره‌ای تازه مشابه با الکترون ولی با بار الکتریکی متضاد دست یافتند، که پوزیترون نامیده شد.

کار دیراک تأیید شد، ولی وقتی او بعدها گفت که معادله‌اش از خودش هوشمندتر بوده، بر اطمینان نداشتن ابتدایی به نظریه‌ی خودش صحنه گذاشت.

اکنون ما پوزیترون را "پادذره‌ی" الکترون می‌نامیم، زیرا معلوم شده که کشف دیراک فراگیر بود. همان فیزیکی که وجود پادذره برای الکترون را الزامی می‌کند، وجود چنین ذره‌ای را برای تقریباً هر ذره‌ی بنیادی الزامی می‌کند. مثلاً پروتون‌ها دارای پادپروتون‌اند. حتا برخی ذرات خنثا مانند نوترون‌ها نیز پادذره دارند. هنگامی که ذره‌ها و پادذره‌ها به هم برخوردند، به شکل تابش خالص نابود می‌شوند.

گرچه همه‌ی این‌ها بیش‌تر به علمی تخیلی می‌خورد و پادماده واقعاً نقشی مهم را در پیش‌تازان فضا بازی می‌کند، ما در شتاب‌دهنده‌های بزرگ ذرات در سرتاسر جهان پادذره‌ها را همیشه درست می‌کنیم. چون پادذرات به گونه‌ای دیگر از همان ویژگی‌های ذرات برخوردارند، جهانی از جنس پادذره به همان شیوه‌ی جهانی از جنس ماده رفتار می‌کند، با پاددلدادگان نشسته در پادماشین‌ها مشغول عشق‌بازی در زیر پادماه. ما فکر می‌کنیم که زندگی کردن ما در گیتی ساخته‌شده از ماده و نه پادماده یا با مقادیر برابر از هردو، تنها از بخت مساعدمان بوده تا عوامل ژرف‌تری که بعداً بدان‌ها می‌پردازیم. من خوش دارم بگویم که با آن‌که پادماده شاید عجیب جلوه کند، عجیب‌بودنش مانند عجیب‌بودن بلژیکی‌هاست. آنان به راستی عجیب نیستند؛ دلیلش تنها این است که کسی به ندرت به آنان برمی‌خورد.

پادذرات، جهان مشاهده‌پذیر را به جایی بسیار جالب‌تر تبدیل می‌کند، ولی همچنین معلوم شده که فضای تهی را بسیار پیچیده‌تر می‌کند.

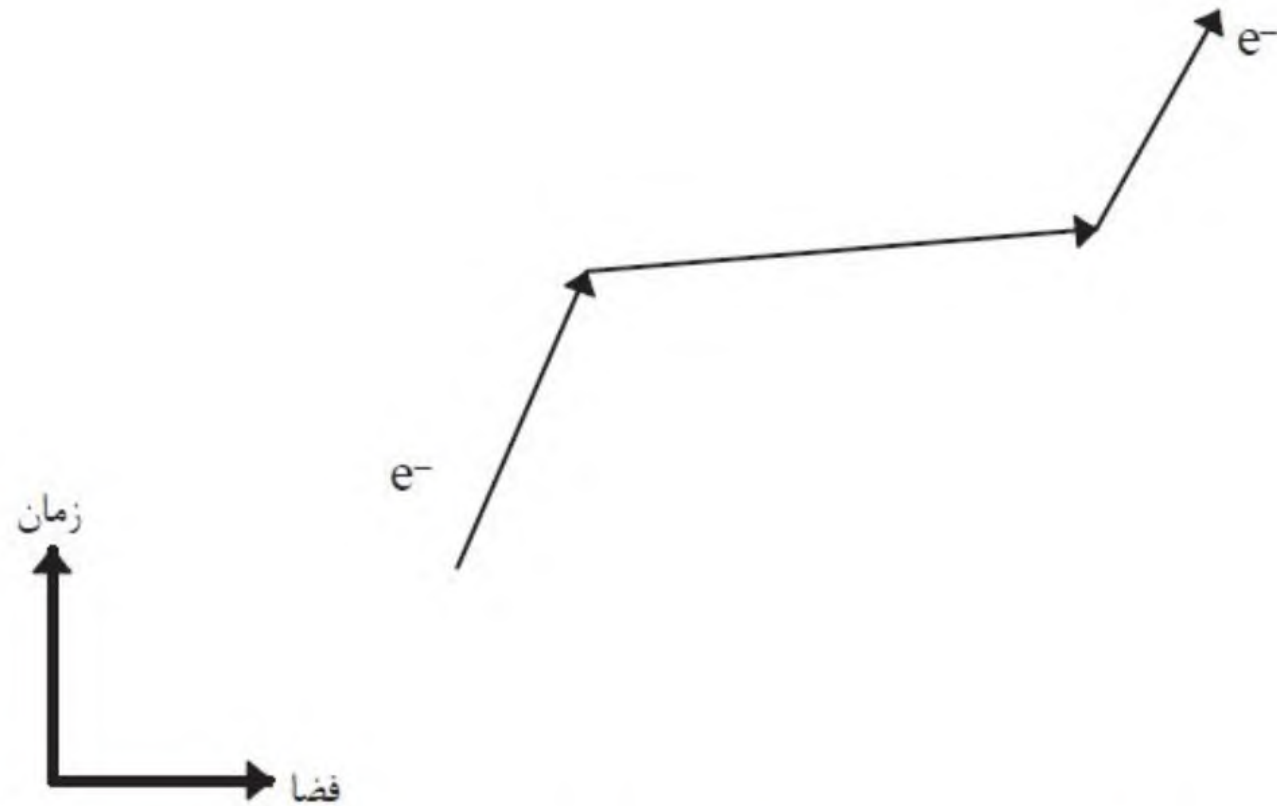
فیزیکدان افسانه‌ای ریچارد فاینمن نخستین کسی بود که درکی شهودی از چرایی نیاز نسبیت به وجود پادذرات ارائه کرد، و نیز به طور گرافیکی نشان داد که فضای تهی آن اندازه هم تهی نیست.

فاینمن فهمید نسبیت به ما می‌گوید که بینندگانی که با سرعت‌های متفاوت حرکت می‌کنند از کمیت‌هایی مانند مسافت و زمان، اندازه‌گیری‌های متفاوتی ارائه خواهند کرد. مثلاً، برای اجسامی که خیلی تند می‌روند انگار زمان آهسته می‌شود. اگر اجسام بتوانند به طریقی تندتر از نور بروند، انگار در زمان عقب رفته‌اند، که این یکی از دلایلی است که سرعت نور معمولاً به عنوان حد سرعت کیهانی در نظر گرفته می‌شود.

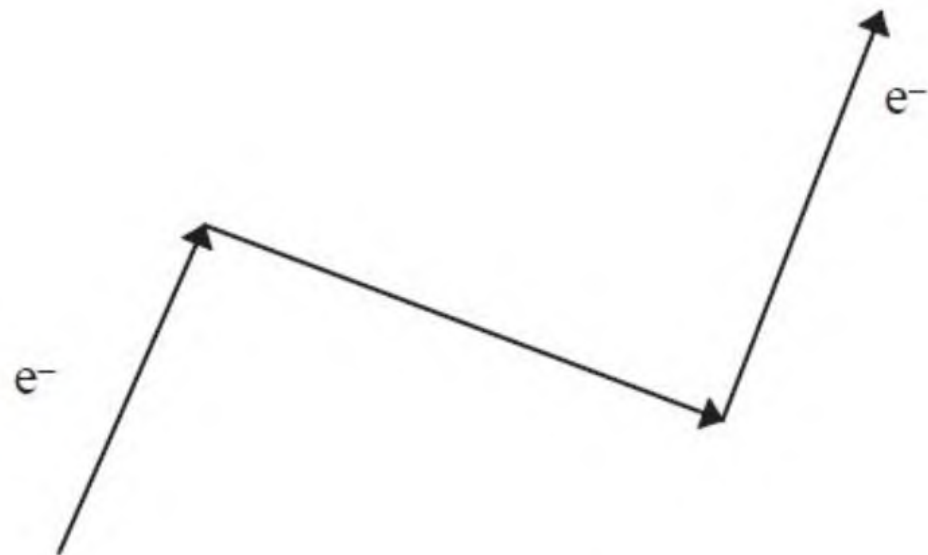
با این حال، یکی از پایه‌های اصلی مکانیک کوانتومی، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ است، که، همان طور که گفتم، می‌گوید نمی‌شود در یک زمان، مقادیر دقیق زوج کمیت‌هایی مشخص، مانند مکان و سرعت، را برای سیستمی داده‌شده تعیین کرد. به همین ترتیب، اگر سیستمی داده‌شده را به ازای تنها یک بازه‌ی زمانی ثابت و متناهی اندازه بگیرید، نمی‌توانید انرژی کل آن را به طور دقیق تعیین کنید.

همه‌ی این‌ها بدین معناست، که در زمان‌های بسیار کوتاه، چنان کوتاه که شما نمی‌توانید سرعت ذرات را با دقت زیاد اندازه بگیرید، مکانیک کوانتومی این امکان را به این ذرات می‌دهد که طوری عمل کنند که گویی تندتر از نور می‌روند! ولی، اگر دارند تندتر از نور می‌روند، اینشتین به ما می‌گوید که باید چنان رفتار کنند که گویی دارند در زمان به عقب می‌روند!

فاینمن دل و جرأت کافی داشت تا این امکان‌پذیری انگار دیوانه‌وار را جدی بگیرد و به واکاوی پیامدهایش بپردازد. او نمودار زیر را برای الکترونی متحرک کشید، که گاه‌گذاری در میانه‌ی مسیرش از سرعت نور تندتر می‌رود.

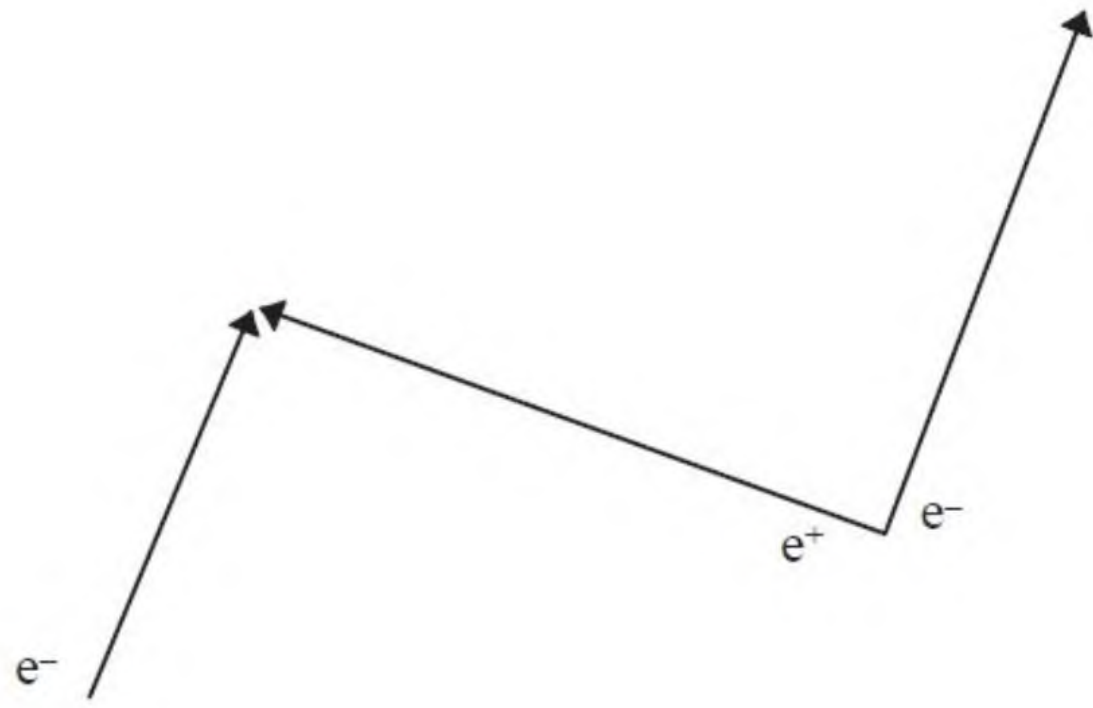


او فهمید که نسبیّت به ما خواهد گفت که بیننده‌ای دیگر شاید به گونه‌ای دیگر چیزی را اندازه بگیرد که به شکل زیر پدیدار می‌شود، با الکترونی که در زمان جلو می‌رود، سپس در زمان عقب می‌رود، و سپس دوباره جلو می‌رود.

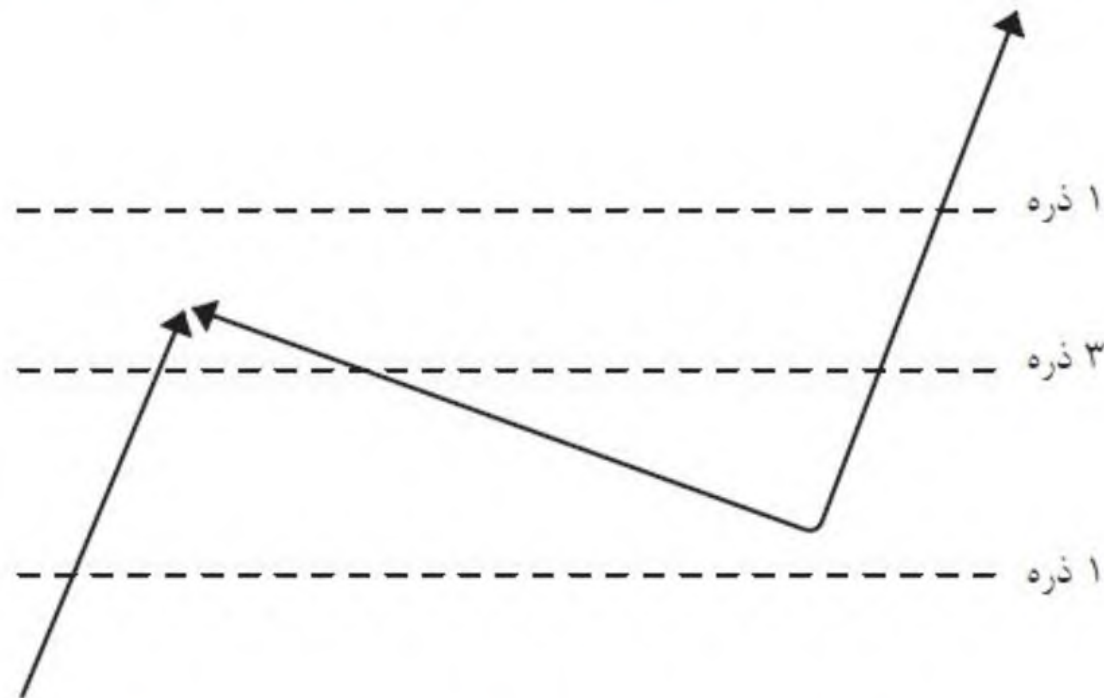


با این حال باری منفی که در زمان عقب می‌رود از نظر ریاضی هم‌ارز باری مثبت است که در زمان جلو می‌رود! بدین ترتیب، نسیت وجود ذرات باردار مثبت را با همان جرم و دیگر ویژگی‌های الکترون‌ها الزامی می‌کند.

در این مورد می‌توان تصویر دوم فاینمن را به صورت زیر دوباره تصویر کرد: تک الکترونی دارد پیش می‌رود، و سپس در نقطه‌ای دیگر در فضا زوج پوزیترون- الکترون از هیچ آفریده می‌شود، و سپس پوزیترون با الکترون نخست رویارو و هر دو نابود می‌شوند. پس از آن، الکترونی برای مان می‌ماند که دارد پیش می‌رود.



اگر این شما را گیج نمی‌کند، این را ببینید:، حتا اگر با تک ذره کار را شروع کنید، و با تک ذره کار را تمام کنید، برای مدتی کوتاه سه ذره دارید که حرکت می‌کنند:



در دوره‌ی میانی کوتاه، برای دست کم مدتی کوتاه، چیزی از هیچ سر برمی‌آورد! فاینمن در مقاله‌ی ۱۹۴۹ خود، "نظریه‌ی پوزیترون‌ها" به زیبایی این پارادکس ظاهری را با همانندی جالبی از دوران جنگ، توضیح داد:

انگار بمب‌اندازی که به یک جاده از درون هدف‌یاب بمب‌افکنی در ارتفاع پایین می‌نگرد، ناگهان سه جاده ببیند و تنها زمانی که دوتا از آن‌ها به هم برسند و دوباره ناپدید شوند او می‌فهمد که

از روی زیگزاگی طولانی در یک جاده گذشته است.

مادامی که این دوره‌ی زمانی طی این "زیگزاگ" چنان کوتاه باشد که نتوانیم همه‌ی ذرات را مستقیماً اندازه بگیریم، مکانیک کوانتومی و نسبیت متضمن آن‌اند که نه‌تنها این وضعیت عجیب و غریب مجاز است، بلکه الزامی هم هست. ذره‌هایی که در مقیاس زمانی بسیار کوتاهی که نمی‌شود اندازه گرفت پدیدار و ناپدید می‌شوند، ذره‌های مجازی نام دارند.

خب، اختراع کردن مجموعه‌ی کامل تازه‌ای از ذرات در فضای تهی که نمی‌توانید آن‌ها را اندازه بگیرید مثل این می‌ماند که بگوییم یک لشگر فرشته روی نوک سوزن نشسته‌اند. و اگر این ذرات هیچ اثر قابل اندازه‌گیری دیگری نداشته باشند، به این ایده چیزی نمی‌توان گفت مگر چرند. با این حال، گرچه این ذرات به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیستند، معلوم شده که اثرات نامستقیم آن‌ها به ایجاد بیش‌تر مشخصه‌های گیتی امروزین خودمان می‌انجامد. نه تنها این، بلکه می‌توان به محاسبه‌ی تأثیر این ذرات با دقتی بیش‌تر از هر محاسبه‌ی دیگری در علم پرداخت.

مثلاً اتم هیدروژن را در نظر بگیرید - سیستمی که بور کوشید با توسعه دادن نظریه‌ی کوانتوم، خودش آن را توضیح دهد و شرودینگر بعداً سعی کرد با ارائه‌ی معادله‌ی مشهورش توضیحی برای آن ارائه کند. زیبایی مکانیک کوانتومی در آن بود که می‌توانست رنگ‌های مشخص نور گسیل شده از هیدروژن به هنگام داغ شدن آن را با این استدلال توضیح دهد که الکترون‌های چرخنده به دور پروتون تنها می‌توانند در ترازهای انرژی گسسته‌ای وجود داشته باشند، و هنگامی که بین ترازها بالا و پایین می‌پرند تنها در مجموعه‌ای ثابت از فرکانس‌های نور جذب یا گسیل می‌کنند. معادله‌ی شرودینگر محاسبه‌ی فرکانس‌های پیش‌بینی شده را ممکن، و جواب تقریباً دقیق را ارائه می‌کند.

ولی نه کاملاً دقیق.

هنگامی که طیف هیدروژن با دقت بیش‌تری بررسی شد، معلوم شد که از برآوردهای پیشین پیچیده‌تر است، با برخی شکاف‌نگی‌های کوچک بین ترازهای مشاهده شده، به نام "ساختار ظریف" طیف. با آن‌که این شکاف‌نگی‌ها از زمان بور شناخته شده بودند، و تصور می‌شد که شاید ناشی از اثرات نسبیتی باشند، تا زمانی که نظریه‌ی نسبیتی کاملی به دست نمی‌آمد، کسی نمی‌توانست این شک و شبهه را برطرف کند. خوشبختانه معادله‌ی دیراک باعث اصلاح پیش‌بینی‌ها در قیاس با معادله‌ی شرودینگر شد و ساختاری عمومی از مشاهدات، از جمله ساختار ظریف را

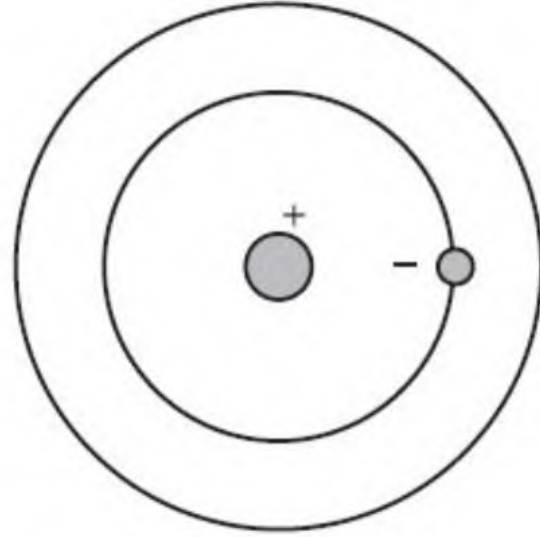
تا این جا همه چیز خوب پیش رفت، ولی در آوریل ۱۹۴۷، آزمایشگر آمریکایی ویلیس لم و دانشجویش رابرت سی. رادرفورد دست به آزمایشی زدند که شاید از منظری دیگر واقعاً هیچ دلیلی برای انجام آن نبود. آنان دریافتند که از توانایی فنی لازم برای اندازه‌گیری ساختار تراز انرژی تراز اتم‌های هیدروژن با صحت ۱ قسمت در ۱۰۰ میلیون برخوردارند.

چرا باید به خودشان زحمت می‌دادند؟ خب، هرگاه آزمایشگران روش تازه‌ای برای اندازه‌گیری چیزی با دقت بسیار بیش‌تر از آنچه که پیش‌تر ممکن بود به دست آورند، اغلب همین دلیل و انگیزه‌ی کافی برای جلورفتن را فراهم می‌کند. در این فرایند، اغلب جهان‌هایی کاملاً تازه‌ای پدیدار می‌شوند، مانند زمانی که در ۱۶۷۶ دانشمند هلندی آنتونی فیلیپس فان لیون‌هوک/لونهوک به قطره آبی به ظاهر تهی با میکروسکوپ نگریست و کشف کرد که آکنده است از زندگی. ولی در این مورد آزمایشگران انگیزه‌ای قوی‌تر داشتند. تا زمان آزمایش لم، دقت تجربی موجود نمی‌توانست به طور مفصل پیش‌بینی دیراک را بیازماید.

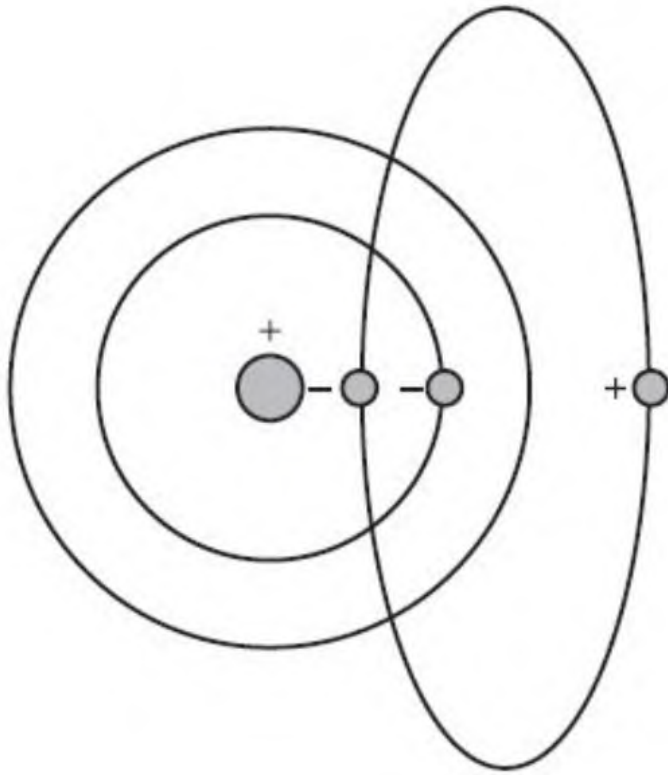
معادله‌ی دیراک ساختاری عمومی از مشاهداتی تازه را پیش‌بینی می‌کرد، ولی پرسش کلیدی که لم به دنبال پاسخش می‌گشت آن بود که آیا این نظریه جزئیات را هم پیش‌بینی می‌کند یا خیر. این تنها راه آزمودن واقعی این نظریه بود. و هنگامی که لم این نظریه را آزمود، انگار پاسخ اشتباه بود، در حد تقریباً ۱۰۰ قسمت در میلیارد، خیلی بالاتر از حساسیت دستگاه‌هایش.

چنین ناهمخوانی کوچکی با آزمایش شاید زیاد به نظر نرسد، ولی پیش‌بینی‌های ساده‌ترین تفسیر نظریه‌ی دیراک نامبهم بودند، درست مثل این آزمایش، و این‌ها با هم تفاوت داشتند.

در چند سال بعد، بهترین مغزهای نظریه‌پرداز در فیزیک به جنگ و جدل پرداختند و کوشیدند این مغایرت را رفع کنند. پاسخ پس از مقدار زیادی کار به دست آمد، و هنگامی که غبار فرو نشست، معلوم شد که معادله‌ی دیراک به واقع دقیقاً پاسخ درست را ارائه می‌کند، ولی تنها اگر اثر ذرات مجازی را لحاظ کنیم. از نظر تصویری، این را می‌توان به ترتیب زیر فهمید. معمولاً در کتاب‌های شیمی، اتم‌های هیدروژن مانند شکل زیر تصویر می‌شوند، با یک پروتون در مرکز و یک الکترون در مداری دور آن، که بین دو تراز بالا و پایین می‌رود:



با این حال، هنگامی که امکان‌پذیری پدیدارشدن خودبه‌خودی زوج الکترون-پوزیترون از هیچ‌را برای اندک زمانی پیش از نابودکردن دوباره‌ی یک‌دیگر در نظر بگیریم، در مدتی کوتاه اتم هیدروژن به واقع به شکل زیر در می‌آید:



در مرکز شکل زوجی را کشیده‌ام، که سپس در بالا نابود می‌شوند. الکترون مجازی، دوست دارد با بار منفی، نزدیک به پروتون جا بگیرد، در حالی که پوزیترون جای دورتری را ترجیح می‌دهد. به هر صورت، چیزی که از این تصویر پیداست آن است که توزیع بار واقعی در اتم هیدروژن، در هر لحظه، تنها با تک الکترون و پروتون توضیح داده نمی‌شود.

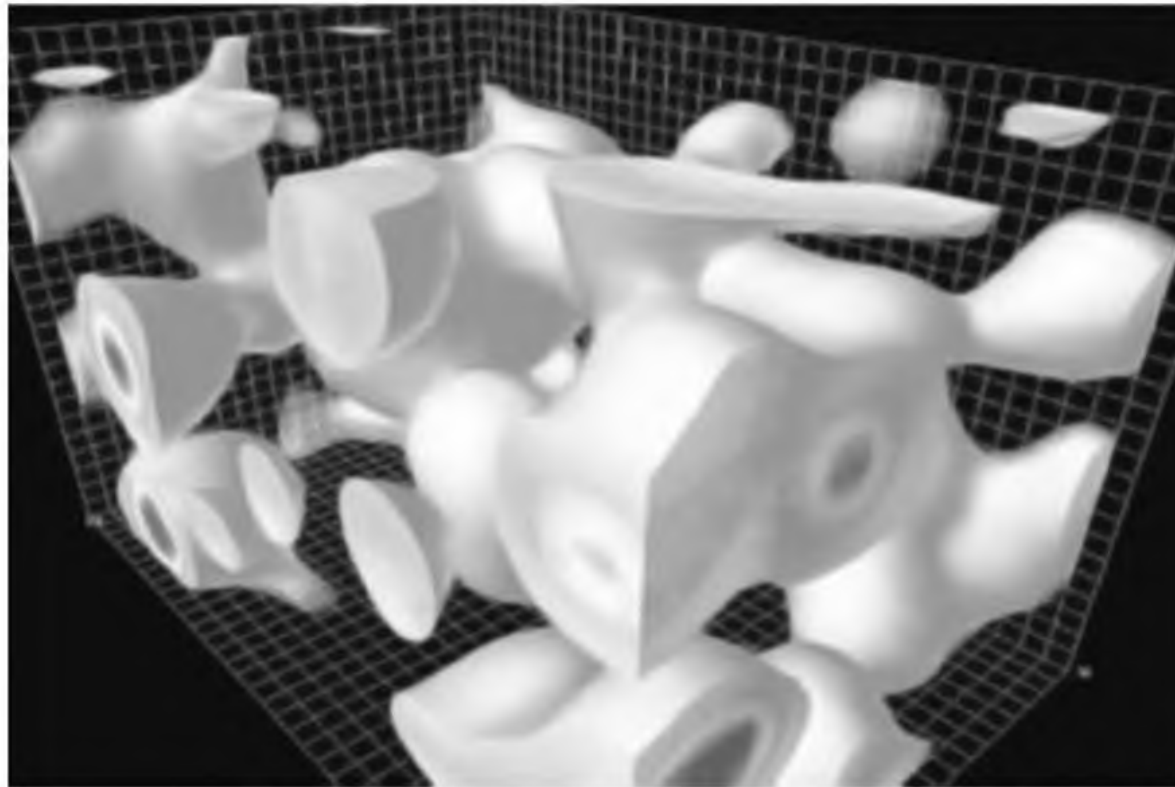
ما فیزیکدانان آموخته‌ایم پس از همه‌ی زحمت‌هایی که فاینمن و دیگران کشیدند که می‌توانیم از معادله‌ی دیراک، تا دقت زیاد دلخواهی، برای محاسبه‌ی تأثیرگذاری همه‌ی ذرات مجازی ممکن‌ی که در مدتی کوتاه در نزدیکی هیدروژن به سر می‌برند، برای طیف هیدروژن استفاده کنیم. و با این کار، به بهترین و دقیق‌ترین پیش‌بینی در تمام علم دست می‌یابیم. در مقایسه با این، همه‌ی پیش‌بینی‌های علمی دیگر رنگ می‌بازند. در اخترشناسی، تازه‌ترین رصدها از تابش زمینه‌ی مایکروویو کیهانی به ما امکان می‌دهد در حد شاید ۱ قسمت در ۱۰۰.۰۰۰، که عالی است، دست به مقایسه با پیش‌بینی‌های نظری بزنیم. با این حال، با استفاده از معادله‌ی دیراک، و وجود پیش‌بینی‌شده‌ی ذرات مجازی، می‌توانیم مقدار پارامترهای اتمی را محاسبه و آن‌ها را با رصدها مقایسه کنیم و همخوانی شگرفی در حد تقریباً ۱ قسمت در میلیارد یا بهتر داشته باشیم!

بنابراین ذرات مجازی وجود دارند.

در حالی که با دقت خیره‌کننده‌ی موجود در فیزیک اتمی به سختی می‌شود برابری کرد، جایی دیگر هم هست که در آن ذرات مجازی نقشی کلیدی بازی می‌کنند که شاید به واقع به موضوع اصلی این کتاب نزدیک‌تر باشد. معلوم شده که آن‌ها مسئول بیش‌تر جرم ما و هر آن چیزی هستند که در این گیتی دیده می‌شود.

یکی از دستاوردهای بزرگ در سال‌های ۱۹۷۰ در درک بنیادین ما از ماده، ناشی از کشف نظریه‌ای بود که به دقت برهم‌کنش‌های کوارک‌ها را توضیح می‌دهد، یعنی ذرات سازنده‌ی پروتون‌ها و نوترون‌ها که توده‌ی ماده‌ای را می‌سازند که شما و هرچیزی را که می‌توانید ببینید از جنس آن‌اند. ریاضیات مرتبط با این نظریه پیچیده است، و چندین دهه زمان برد تا تکنیک‌های کار با آن توسعه پیدا کرد، به ویژه در حدی که در آن برهم‌کنش‌های قوی بین کوارک‌ها محسوس می‌شوند. در راه محاسبه‌ی ویژگی‌های بنیادین پروتون‌ها و نوترون‌ها، ذراتی که ما عملاً اندازه می‌گیریم، کوششی عظیم صورت گرفت، از جمله ساختن برخی از پیچیده‌ترین کامپیوترهای پردازش موازی، که همزمان ده‌ها هزار تک‌پردازشگر را به کار می‌گیرند.

پس از تمام این کارها، اکنون عملاً تصویر خوبی از نمای درون پروتون در دست داریم. در آن جا شاید سه کوارک حاضر باشند، ولی کلی چیز دیگر هم هست. به ویژه، ذرات مجازی، بازتاب‌دهنده‌ی ذرات و میدان‌هایی که نیروی قوی بین کوارک‌ها را جابه‌جا می‌کنند، در تمام مدت ناگهان پدیدار و ناپدید می‌شوند. در این جا تک تصویری آوردم که نشان می‌دهد اوضاع عملاً از چه قرار است. البته این یک عکس واقعی نیست، بلکه در عوض بازسازی هنرمندانه‌ای است از ریاضیات حاکم بر دینامیک کوارک‌ها و میدان‌های پیونددهنده‌ی آن‌ها. شکل‌های عجیب و سایه‌بندی‌های متفاوت نمودی هستند از قدرت میدان‌های برهم‌کنش‌دهنده با یک‌دیگر و با کوارک‌های درون پروتون در زمانی که ذرات مجازی ناگهان خودبه‌خودی پدیدار و ناپدید می‌شوند.



پروتون اندک مدتی سرشار است از این ذرات مجازی و، به واقع، هنگامی که بکوشیم تخمین بزنیم آن‌ها تا چه اندازه در جرم پروتون سهیم‌اند، پی‌می‌بریم که خود کوارک‌ها مقدار بسیار اندکی از جرم کل را می‌سازند و میدان‌های آفریده‌شده توسط این ذرات در بیش‌تر انرژی‌ای سهیم‌اند که به انرژی سکون پروتون، و بنابراین، جرم سکون آن می‌انجامد. همین امر برای نوترون صادق است، و چون شما از پروتون و نوترون ساخته شده‌اید، همین امر برای شما هم صادق است!

اکنون، اگر بتوانیم اثرات ذرات بنیادی روی فضای انگار تھی درون و پیرامون اتم‌ها را محاسبه کنیم، و بتوانیم اثرات ذرات مجازی روی فضای انگار تھی درون پروتون‌ها را محاسبه کنیم، آن‌گاه آیا نباید بتوانیم اثرات ذرات بنیادی روی فضای به‌راستی تھی را محاسبه کنیم؟

خب، راستش پرداختن به این محاسبه به واقع دشوارتر است. چون وقتی اثر ذرات مجازی را روی اتم‌ها یا روی جرم پروتون محاسبه می‌کنیم، عملاً داریم انرژی کل اتم یا پروتون شامل ذرات مجازی را محاسبه می‌کنیم؛ بعد، انرژی کلی را محاسبه می‌کنیم که ذرات مجازی بدون حضور اتم یا پروتون ارائه می‌کنند یعنی در فضای تھی؛ و سپس این دو مقدار را از هم کم می‌کنیم تا به تأثیر خالص روی اتم یا پروتون پی‌بریم. دلیل این کار آن است که معلوم شده وقتی بکشیم تا معادلات مربوط را حل کنیم، هر کدام از این دو انرژی رسماً نامتناهی می‌شوند، ولی وقتی این دو کمیت را تفریق کنیم، به تفاوتی متناهی می‌رسیم، و نیز، کمیتی که دقیقاً با مقدار اندازه‌گیری شده همخوانی دارد!

با این حال، اگر بتوانیم اثر ذرات مجازی را فقط روی فضای تھی محاسبه کنیم، چیزی برای تفریق نداریم، و بنابراین پاسخی که به دست می‌آوریم نامتناهی است.

ولی نامتناهی کمیت خوشایندی نیست، دست کم تا جایی که به فیزیکدانان مربوط می‌شود، و ما می‌کشیم تا جایی که امکان دارد از آن بپرهیزیم. واضح است که انرژی فضای تھی یا هر چیز دیگری، برای ماده نمی‌تواند از نظر فیزیک نامتناهی باشد، پس باید دنبال راهی برای انجام محاسبات و رسیدن به پاسخ متناهی باشیم.

به سادگی می‌شود سرچشمه‌ی آن نامتناهی را توضیح داد. هنگامی که همه‌ی ذرات مجازی ممکن را که می‌توانند پدیدار شوند در نظر بگیریم، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ که یادآوری می‌کنم، می‌گوید عدم قطعیت در انرژی اندازه‌گیری‌شده‌ی سیستم متناسب است با مدت زمانی که طی آن می‌توانید انرژی را مشاهده کنید متضمن آن است که ذرات حمل‌کننده‌ی انرژی هرچه بیشتر می‌توانند خودبه‌خودی از هیچ پدیدار شوند، به این شرط که سپس در زمانی هرچه کوتاه‌تر ناپدید شوند. در اصل، ذرات بدین ترتیب می‌توانند تقریباً انرژی نامتناهی را حمل کنند، به شرط این که در زمان‌های تقریباً فوق‌العاده کوتاهی ناپدید شوند.

با این حال، قوانین فیزیک، آن گونه که ما می‌دانیم، تنها برای فاصله‌ها و زمان‌هایی بزرگ‌تر از مقداری معین اعمال می‌شوند، متناظر با مقیاسی که در آن اثرات مکانیک کوانتومی باید به هنگام کوشش برای درک گرانش و اثرات ناشی از آن روی فضا‌زمان لحاظ شوند. تا زمانی که نظریه‌ای برای، به اصطلاح، "گرانش کوانتومی" به دست بیاوریم، نمی‌توانیم به برونمایی‌هایی

اعتماد کنیم که به ورای این محدوده‌ها می‌روند.

بدین ترتیب، شاید بتوانیم امیدوار باشیم که فیزیک نوین به همراه گرانش کوانتومی بتواند به طریقی اثرات ذرات مجازی را که در مدتی کمتر از، به اصطلاح، "زمان پلانک" برقرارند، از ریشه بُرد. بنابراین اگر اثرات جمعی فقط ذرات بنیادی دارای انرژی‌های برابر یا کمتر از مقداری را که این برش زمانی مجاز می‌دارد در نظر بگیریم، به برآوردی از مقداری متناهی برای انرژی می‌رسیم که ذرات مجازی در هیچ مشارکت می‌کنند.

ولی مشکلی در این جا هست. معلوم شده که این برآورد باید

$$\begin{aligned} & 1, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \\ & \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \\ & \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \dots, \end{aligned}$$

. برابر بزرگ‌تر از انرژی همراه با همه‌ی ماده‌ی شناخته شده در گیتی، از جمله ماده‌ی تاریک، باشد!

اگر محاسبه‌ی فاصله‌بندهای تراز انرژی اتمی شامل ذرات مجازی بهترین محاسبه در سراسر فیزیک باشد، این برآورد از انرژی فضای تهی - ۱۲۰ مرتبه‌ی بزرگی بیش‌تر از انرژی هر چیز دیگری در گیتی - بی‌تردید بدترین است! اگر انرژی فضای تهی در نزدیکی این عدد بزرگ می‌بود، نیروی دافعه‌ی القاشده به یاد بیاورید که انرژی فضای تهی متناظر است با ثابت کیهان‌شناختی برای ترکاندن سیاره‌ی زمین امروزمین کفایت می‌کرد، ولی مهم‌تر از آن، مقدار آن در زمان‌های اولیه چنان زیاد می‌شد که هر آن‌چه که در گیتی خودمان می‌بینیم، در نخستین کسر ثانیه از بیگ‌بنگ چنان به سرعت از هم دور فرستاده می‌شد که نه ساختاری، نه ستاره‌ای، نه سیاره‌ای، و نه آدمی، هیچگاه شکل نمی‌گرفت.

این مسئله، که به درستی به آن مسئله‌ی ثابت کیهان‌شناختی می‌گوییم، از مدت‌ها پیش از زمانی که دانشجوی دکتری بودم پا برجا مانده است، و نخستین بار توسط کیهان‌شناس روس یاکف زلدویچ^۹ در حدود ۱۹۶۷ مطرح شد. این مسئله حل‌نشده مانده و شاید ژرف‌ترین مسئله‌ی بنیادی حل‌نشده در فیزیک امروز باشد.

با وجود این نکته که برای بیش از چهل سال هیچ ایده‌ای از چگونگی حل این مسئله نداشته‌ایم، ما فیزیکدانان نظری می‌دانستیم که پاسخ باید چه باشد. مانند آن بچه دبستانی که گفتم می‌تواند حدس بزند که انرژی فضای تهی باید صفر باشد، ما نیز احساس می‌کردیم که وقتی نظریه‌ی پایانی به دست آید، چگونگی برطرف‌شدن اثرات ذرات مجازی را توضیح خواهد داد، و فضای تهی را با انرژی دقیقاً صفر بر جا می‌گذارد. یا نه. یا در عوض، هیچ.

استدلال ما از بچه دبستانی بهتر بود، یا ما این‌گونه می‌اندیشیدیم. لازم بود که بزرگی انرژی فضای تهی را از مقدار به راستی وحشتناکی که برآورد خوش‌باورانه‌ی ما ارائه می‌کرد کم کنیم تا به مقداری سازگار با حدود بالایی مجاز از سوی مشاهدات برسیم. این کار نیازمند کسرکردن مقدار عدد مثبت بسیار بزرگی از یک عدد مثبت بسیار بزرگ دیگر بود تا هر دو تا ۱۲۰ مکان دهدهی حذف شوند، و عددی ناصفر را در ۱۲۱ مین مکان دهدهی برجا بگذارند! ولی در علم سابقه نداشت که دو عدد بزرگ را با چنین دقتی از هم کم کرده باشند، تا فقط چیزی کوچک بر جا بماند.

با این حال، صفر عددی است که به سادگی به دست می‌آید. تقارن‌های طبیعت اغلب به ما اجازه می‌دهد تا نشان دهیم که مشارکت‌هایی دقیقاً برابر و متضاد از بخش‌های متفاوت محاسبه به دست می‌آیند، که دقیقاً هم دیگر را خنثا می‌کنند، و چیزی بر جا نمی‌گذارند. یا، باز هم، هیچ.

بدین ترتیب، ما نظریه‌پردازان توانستیم با آسودگی سر بر بالین بگذاریم و شب‌ها خوابمان ببرد. ما نمی‌دانستیم چگونه بدان‌جا برسیم، ولی مطمئن بودیم که پاسخ نهایی باید چه باشد.

اما، طبیعت، هوایی دیگر در سر داشت.

فصل ۵: گیتی گریزان

اکنون اندیشیدن به خاستگاه حیات، چرند محض است؛ کسی باید به خاستگاه ماده نیز بیندیشد.

چارلز داروین

استدلال مایکل ترنر و من در ۱۹۹۵ تا حد امکان بدعت‌گذارانه بود. ما، تنها بر پایه‌ی پیش‌داوری نظری، فرض کردیم که گیتی تخت است. بد نیست بار دیگر گوشزد کنم که گیتی سه بعدی "تخت" مانند یک برگ تخت دو بعدی نیست، بلکه در عوض فضای سه بعدی‌ای است که همه‌ی ما به طور شهودی تصویر می‌کنیم، که در آن پرتوهای نور به خط مستقیم می‌روند. این را با تصویرکردن به مراتب دشوارتر فضاهای خمیده‌ی سه بعدی مقایسه کنید که در آن پرتوهای نور، که خمیدگی زیربنایی گیتی را پی می‌گیرند، در خط مستقیم پیش نمی‌روند. سپس ما نتیجه گرفتیم که همه‌ی داده‌ی کیهان‌شناختی موجود در آن هنگام تنها در صورتی با گیتی تخت سازگارند که حدود ۳۰ درصد انرژی کل در نوعی شکل "ماده‌ی تاریک" نهفته باشد، آن گونه که به نظر می‌رسید رصدها وجود آن را پیرامون کهکشان‌ها و خوشه‌ها نشان می‌دهند، ولی حتا خیلی عجیب‌تر از این، آن که ۷۰ درصد باقیمانده‌ی انرژی کل گیتی، نه در هیچ شکلی از ماده، بلکه در خود فضای تهی جا گرفته باشد.

ایده‌ی ما با هر معیاری دیوانه‌وار بود. برای رسیدن به مقداری برای ثابت کیهان‌شناختی سازگار با ادعای ما، مقدار برآوردی این کمیت که در فصل پیش بیان شد می‌باید تا حدود ۱۲۰ مرتبه‌ی بزرگی کاهش داده شود و کماکان دقیقاً صفر هم نشود. این کار دربرگیرنده‌ی شدیدترین تنظیم ظریف هر گونه کمیت فیزیکی شناخته‌شده در طبیعت می‌شود، آن هم بدون در دست داشتن کوچک‌ترین سرنخی از چگونگی تنظیم.

این یکی از دلایلی بود که وقتی در دانشگاه‌های مختلف درباره‌ی بلاتکلیفی گیتی تخت سخنرانی می‌کردم، عمدتاً چیزی بیش از لبخند نصیبم نمی‌شد. فکر نمی‌کنم آدم‌های زیادی پیشنهاد ما را جدی می‌گرفتند، و حتا مطمئن نیستم که ترنر و خودم هم آن را جدی می‌گرفتیم. هدف ما در بالا بردن ابروها با مقاله‌مان آن بود که به طور گرافیکی نکته‌ای را نشان دهیم که کم‌کم

داشت نه تنها برای خودمان، که برای چندتایی از همکاران نظریه‌پردازان در گوشه و کنار جهان آشکار می‌شد: در تصویر آن هنگام "استاندارد" گیتی انگار چیزی نادرست بود، تصویری که در آن فرض می‌شد تقریباً همه‌ی انرژی مورد نیاز نسبیت عام برای ایجاد گیتی تخت امروزم، در ماده‌ی تاریک اسرارآمیز نهفته است با اندکی باریون - یعنی ما زمینیان، ستارگان، کهکشان‌های مرئی - برای رنگ و لعاب‌دادن به این آمیزه.

به تازگی یکی از همکاران به من خاطرنشان کرد که برای دو سال پس از پیشنهاد فروتنانه‌ی ما، تنها چند دفعه‌ای در مقالات بعدی به آن ارجاع داده شد، و گویا به جز یکی دوتایی همگی آن‌ها در مقالاتی بود که از سوی ترنر یا خود من نوشته شد! با آن که گیتی ما سردرگم‌کننده است، عمده‌ی جامعه‌ی علمی باور داشت که دیگر نمی‌تواند به آن اندازه‌ای که ترنر و من پیشنهاد کرده بودیم عجیب و غریب باشد.

ساده‌ترین راه جایگزین برای برون‌رفت از تناقض‌ها، این امکان‌پذیری بود که گیتی نه تخت که باز باشد جایی که در آن اگر پرتوهای نور موازی امروزم را به سمت عقب رهگیری کنیم، با خمیدگی از هم دور می‌شوند. البته این پیش از زمانی بود که اندازه‌گیری‌های زمینه‌ی مایکروویو کیهانی نشان داد که این گزینه اعتباری ندارد. با این حال، حتا این امکان‌پذیری نیز مشکلات خودش را داشت، گرچه وضعیت آن نیز پا در هوا بود.

هر دانش‌آموز فیزیک دبیرستانی با قاطعیت به شما می‌گوید که گرانش می‌کشد - یعنی، در همه جا ربایشی است. البته، مانند بسیاری از چیزها در علم، اکنون می‌دانیم که مجبوریم افق‌هایمان را گسترش دهیم چون طبیعت بیش از ما خیال‌پرداز است. اگر فعلاً فرض کنیم که سرشت ربایشی گرانش بیانگر آن باشد که انبساط گیتی آهسته شده است، به خاطر بیاورید که به حد بالایی از سن گیتی دست می‌یابیم، با این فرض که سرعت کهکشانی واقع در فاصله‌ای مشخص از ما از هنگام ییگ‌بنگ ثابت مانده باشد. زیرا، اگر گیتی در حال شتاب‌زدایی بوده باشد، آن‌گاه کهکشان نام‌برده، به نسبت اکنون، زمانی از ما تندتر دور می‌شده، و بنابراین مدت کم‌تری طول می‌کشیده تا به مکان کنونی‌اش برسد، تا این که اگر همواره با سرعت کنونی‌اش حرکت کرده بود. در گیتی باز تحت سیطره‌ی ماده، شتاب‌زدایی گیتی آهسته‌تر از گیتی تخت است، و بنابراین سن استنتاج‌شده‌ی گیتی بیشتر از چیزی است که برای گیتی تخت در سیطره‌ی ماده خواهد بود، با همان آهنگ انبساط اندازه‌گیری‌شده‌ی کنونی؛ در واقع به مقداری که با فرض گرفتن آهنگ انبساط ثابت در طول زمانی کیهانی برآورد می‌کنیم، بسیار نزدیک‌تر خواهد بود.

به یاد بیاورید که انرژی ناصفر فضای تهی به ثابتی کیهان‌شناختی می‌انجامد - مانند دافعه‌ی گرانشی - بیانگر آن‌که در مدت زمانی کیهانی انبساط گیتی در عوض سرعت خواهد گرفت، و بنابراین کهکشان‌ها در گذشته آهسته‌تر از مقدار امروزمین از هم دور می‌شده‌اند. این بیانگر آن است که به نسبت انبساط ثابت، رسیدن به فاصله‌ی کنونی‌شان بیش‌تر طول می‌کشیده. راستش، به ازای یک اندازه‌گیری داده‌شده‌ی امروزمین از ثابت هابل، درازترین عمر ممکن برای گیتی خودمان حدود ۲۰ میلیارد سال با لحاظ‌کردن امکان‌پذیری ثابتی کیهان‌شناختی در کنار مقدار اندازه‌گیری‌شده‌ی ماده‌ی مرئی و تاریک به دست می‌آید، اگر دستان برای تنظیم مقدار آن همراه با چگالی ماده در گیتی امروزمین باز باشد.

در ۱۹۹۶، من با برایان چَیِر و همکارانمان پی‌یر دمارک در دانشگاه ییل و دانشجوی پست‌داک پیتر کران در دانشگاه کیس وسترن ریزرو دست به کار شدیم و حدی پایینی تقریباً ۱۲ میلیارد سال را برای سن این ستارگان به دست آوردیم. ما این کار را با مدل‌سازی فرگشت میلیون‌ها ستاره‌ی مختلف روی کامپیوترهای پرسرعت و مقایسه‌ی رنگ و درخشندگی آن‌ها با ستارگان واقعی رصدشده در خوشه‌های گوی‌سان در کهکشان خودمان، که مدت‌های مدید فکر می‌شد از جمله کهن‌ترین اجسام در کهکشان باشند، انجام دادیم. با این فرض که شکل‌گرفتن کهکشان خودمان حدود یک میلیارد سال زمان می‌برد، این حد پایینی به طور مؤثر گیتی تخت در سیطره‌ی ماده را رد کرد و به نفع گیتی‌ای با ثابت کیهان‌شناختی از آب در آمد یکی از عواملی که در نتیجه‌گیری‌های مقاله‌ی پیشینم با ترنر تأثیر گذاشته بود، در حالی که گیتی باز در لبه‌ی پرتگاه کسب اعتبار داشت تلوتلو می‌خورد.

با این حال سن کهن‌ترین ستارگان دربرگیرنده‌ی استنتاج‌های مبتنی بر رصدهای صورت‌گرفته با بالاترین حساسیت در آن زمان می‌شد و، در ۱۹۹۷، داده‌های رصدی تازه ما را واداشت که برآوردهایمان را تا ۲ میلیارد سال کم بکنیم، یعنی یک گیتی جوان‌تر. بدین ترتیب اوضاع در هم بر هم‌تر شد، و بار دیگر انگار هر سه کیهان‌شناسی معتبر شدند، و بسیاری از ما را پای تخته‌سیاه‌ها برگرداندند.

در ۱۹۹۸ همه چیز تغییر کرد، درست همان سالی که آزمایش بومرنگ نشان داد گیتی تخت است.

طی هفتاد سال پس از اندازه‌گیری آهنگ انبساط گیتی توسط ادوین هابل، اخترشناسان برای تعیین دقیق این مقدار با سختی هر چه تمام کار کرده بودند. به خاطر بیاورید که در دهه‌ی ۱۹۹۰ آنان سرانجام "شمع استاندارد" را یافتند - یعنی، جسمی که رصدگران احساس کردند می‌توانند درخشندگی ذاتی آن را به طور مستقل تعیین کنند، تا هنگامی که درخشندگی ظاهری آن را اندازه می‌گیرند بتوانند فاصله‌اش را به دست آورند. شمع استاندارد به نظر اعتمادپذیر می‌رسید و می‌شد آن را در ژرفای فضا و زمان رصد کرد.

به تازگی نشان داده شده بود که نوع خاصی ستاره‌ی منفجرشونده به نام ابرنواختر نوع Ia رابطه‌ای بین درخشندگی و دیرپایی را نشان می‌دهد. برای نخستین بار لازم شد که برای اندازه‌گیری مدت زمانی که یک ابرنواختر نوع Ia درخشندگی خود را حفظ می‌کند، اثرات کش آمدن زمان ناشی از انبساط گیتی در نظر گرفته شود، یعنی طول عمر اندازه‌گیری‌شده‌ی چنین ابرنواختری عملاً درازتر از طول عمر واقعی در چارچوب ساکن آن است. با وجود این، می‌توانیم درخشندگی مطلق را نتیجه و درخشندگی ظاهری آن را با تلسکوپ‌ها اندازه بگیریم و سرانجام فاصله تا کهکشان میزبانی را که ابرنواختر در آن منفجرشده تعیین کنیم. اندازه‌گیری همزمان جابه‌جایی به سرخ آن کهکشان، امکان تعیین سرعت را فراهم می‌کند. در هم آمیختن این دو به ما اجازه می‌دهد تا با صحت فزاینده آهنگ انبساط گیتی را اندازه بگیریم.

چون ابرنواختران بسیار درخشانند، نه تنها ابزاری محشر را برای اندازه‌گیری ثابت هابل فراهم می‌کنند، بلکه به رصدگران اجازه می‌دهند تا به فواصلی در گذشته بنگرند که کسر چشمگیری از سن کل گیتی است.

چنین چیزی امکان‌پذیری تازه و هیجان‌انگیزی را فراهم کرد، که از دید رصدگران چالشی بسیار هیجان‌انگیزتر بود: اندازه‌گیری چگونگی تغییرکردن ثابت هابل طی زمان کیهانی.

اندازه‌گیری چگونگی تغییرکردن یک ثابت گفته‌ای ضد و نقیض است، مگر این‌که از این واقعیت چشم‌پوشیم که ما آدمیان چنین عمر کوتاهی داریم، دست کم در مقیاسی کیهانی. در مقیاس زمانی آدمیزاد آهنگ انبساط گیتی به راستی ثابت است. با این حال، همان گونه که شرح دادم، به دلیل اثرات گرانش، آهنگ انبساط گیتی طی زمان کیهانی تغییر خواهد کرد.

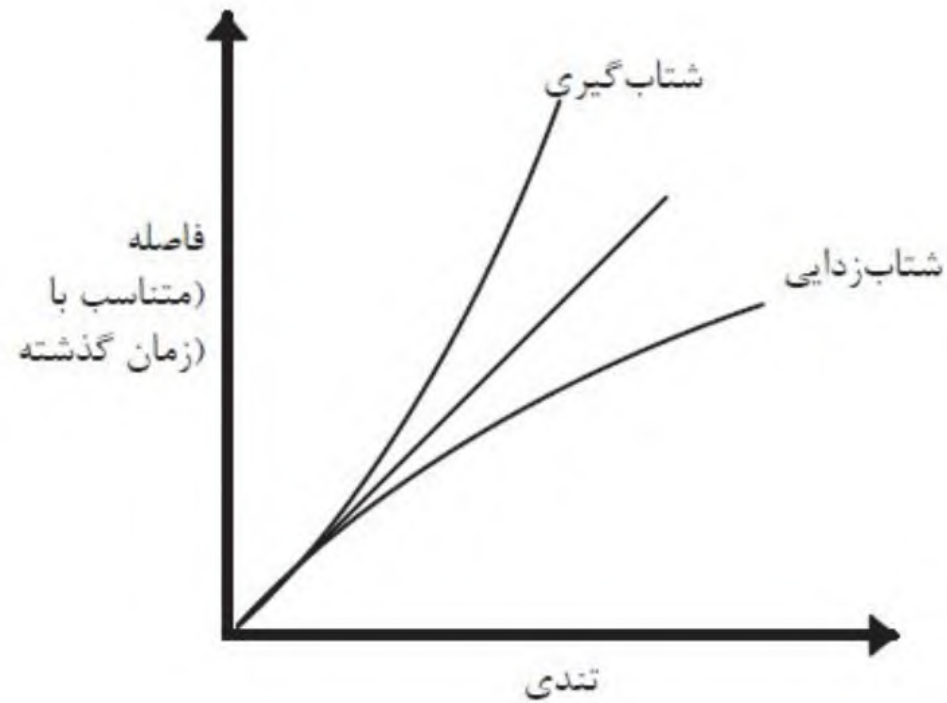
اخترشناسان اندیشیدند که اگر بتوانند سرعت و فاصله‌ی ابرنواختران واقع در دوردست‌ها را اندازه بگیرند - در سرتاسر کرانه‌های دوردست گیتی مرئی - آن‌گاه می‌توانند آهنگ آهسته‌شدن انبساط گیتی را تعیین کنند چون هر کسی فرض می‌کرد که گیتی به طور معقول عمل می‌کند، و نیروی گرانشی غالب در گیتی ربایشی است. آنان امید داشتند که این به نوبه‌ی خود نشان

دهد که آیا گیتی باز، بسته، یا تخت است، چون آهنگ آهسته‌شدن به صورت تابعی از زمان برای هر هندسه متفاوت است.

در ۱۹۹۶، من شش هفته را در آزمایشگاه لارنس برکلی گذراندم، و درباره‌ی کیهان‌شناسی سخنرانی کردم و با همکارانم در آن‌جا بر سر پروژه‌های گوناگون علم به گفتگو نشستیم. من درباره‌ی ادعای خودمان مبنی بر این‌که شاید فضای تهی دارای انرژی باشد سخن گفتم، و پس از آن، شول پرلماتر، فیزیکدانی جوان که روی آشکارسازی ابرنواختران دوردست کار می‌کرد، پیشم آمد و گفت "ما اثبات می‌کنیم که شما اشتباه می‌کنید!"

شول به این جنبه از پیشنهادمان برای گیتی تخت اشاره می‌کرد که ۷۰ درصد انرژی آن باید در فضای تهی نهفته باشد. به یاد بیاورید که چنین انرژی‌ای ثابتی کیهان‌شناختی ایجاد می‌کند که به نیروی دافعه‌ای می‌انجامد که آن‌گاه در سرتاسر فضا وجود دارد و انبساط گیتی را در چنگ می‌گیرد، که سبب‌ساز سرعت‌گرفتن انبساطش می‌شود نه آهسته‌شدن آن.

همان‌گونه که گفتم، اگر انبساط گیتی طی زمان کیهانی سرعت می‌گرفت، آن‌گاه امروز گیتی کهن‌تر از چیزی می‌شد که اگر انبساط آهسته‌شده بود. این به نوبه‌ی خود بیانگر آن بود که نگاه به گذشته‌ی کهکشان‌ها با جابه‌جایی به سرخ داده‌شده طولانی‌تر از چیزی است که در غیر این صورت می‌شد. به نوبه‌ی خود، اگر آن‌ها برای مدتی طولانی‌تر از ما دور می‌شدند، این بیانگر آن بود که نور آمده از آن‌ها از دوردست‌تر سرچشمه گرفته است. بنابراین ابرنواختران در کهکشان‌ها در جابه‌جایی به سرخ اندازه‌گیری‌شده‌ی مشخصی، کم‌نورتر به چشم ما می‌آمدند تا اگر نور از نزدیک‌تر سرچشمه گرفته بود. به طور شماتیک، اگر کسی سرعت را نسبت به فاصله اندازه می‌گرفت، شیب منحنی برای کهکشان‌های نسبتاً نزدیک به ما امکان می‌داد تا آهنگ کنونی انبساط را تعیین کنیم، و سپس خم‌برداشتن منحنی به بالا یا به پایین برای ابرنواختران دوردست به ما می‌گفت که آیا سرعت گیتی طی زمان کیهانی افزایش پیدا می‌کند، یا کاهش می‌یابد.



دو سال پس از دیدارمان، شول و همکارانش، بخشی از گروهی بین‌المللی به نام پروژه‌ی کیهان‌شناسی ابرنواختر^{۱۰}، بر اساس داده‌های مقدماتی مقاله‌ای را منتشر کردند که به راستی نشان می‌داد ما اشتباه می‌کردیم. خب، آنان نگفتند که ترنر و من اشتباه کردیم، چون آنان، به همراه بیش‌تر رصدگران دیگر، به واقع چندان بهایی به پیشنهاد ما نداده بودند. داده‌های آنان می‌گفت که نمودار فاصله نسبت به جابه‌جایی به سرخ به پایین خم بر می‌دارد، و بدین ترتیب حد بالایی انرژی فضای تهی به ناچار کاملاً زیر مقدار لازم برای ارائه‌ی مشارکت معناداری در انرژی کل امروزمین قرار می‌گرفت.

با این حال، هر از چندگاهی می‌بینیم که نخستین داده‌های به دست آمده نماینده‌ی همه‌ی داده‌ها نیستند - چه از نظر آماری بدشانس باشید چه خطاهای اسلوبمند نامنتظره بر داده‌ها تأثیر بگذارند، که تا نداشتن نمونه‌ای بزرگتر خودشان را نشان نمی‌دهند. همین مورد برای داده‌های منتشرشده‌ی پروژه‌ی کیهان‌شناسی ابرنواختر رخ داد، و بدین ترتیب نتیجه‌گیری‌ها غلط از آب درآمدند.

پروژه‌ی بین‌المللی دیگری برای جستجوی ابرنواختران به نام تیم جستجوی ابرنواختر با Z زیاد¹¹ به سرپرستی برایان اشمیت در رصدخانه‌ی کوه استروملو در استرالیا، دست به کار برنامه‌ای با همان هدف شد، و شروع کرد به رسیدن به نتایجی متفاوت. برایان به تازگی به من گفت که وقتی آنان برای نخستین بار به اندازه‌گیری بامعنی ابرنواختر با Z زیاد دست یافتند، که گویا بیانگر شتاب‌گیری گیتی با انرژی خلاً چشمگیری بود، دیگر وقت تلکسوپ به آنان اختصاص داده نشد و از طریق یادداشتی باخبر شدند که کارشان باید اشتباه باشد چون پروژه‌ی کیهان‌شناسی ابرنواختر پیشاپیش تعیین‌کرده که گیتی به راستی تخت است، و در سیطره‌ی ماده.

پیشینه‌ی مفصل رقابت بین این دو گروه بی‌تردید بارها تکرار خواهد شد، به ویژه پس از برنده‌شدن مشترک جایزه‌ی نوبل، و بی‌تردید چنین خواهند کرد.^{۱۲} این جا جای نگرانی درباره‌ی اولویت نیست. همین اندازه بدانید که در اوایل ۱۹۹۸، گروه اشمیت مقاله‌ای منتشر کرد که نشان می‌داد گیتی انگار در حال شتاب‌گیری است. شش ماه بعد، گروه پرلمتر نتایج یکسانی را اعلام کرد و مقاله‌ای در تأیید نتیجه‌ی ابرنواختر Z زیاد منتشر کرد، که در واقع تأییدی بر اشتباه قبلی خودشان بود - و اعتبار بیشتری برای گیتی در سیطره‌ی انرژی فضای تهی، یا چیزی که امروزه بیش‌تر سر زبان است، انرژی تاریک، قائل شد.

سرعتی که جامعه‌ی علمی این نتایج را برگزید - گرچه ما را ملزم به بازنگری کلی در تمام تصویر پذیرفته‌شده‌ی گیتی می‌کردند - مطالعه‌ای جالب در جامعه‌شناسی علم را فراهم می‌کند. تقریباً یک شبه، انگار همه این نتایج را پذیرفتند، هر چند، همان طور که کارل سیگن/ساگان تأکید کرده بود "ادعاهای خارق‌العاده نیازمند مدرک خارق‌العاده‌اند." به یقین این ادعایی خارق‌العاده بود، اگر چنین چیزی وجود می‌داشت.

هنگامی که در دسامبر ۱۹۹۸، مجله‌ی ساینس، با طرح روی جلدی از اینشتین بُهت‌زده، کشف گیتی شتاب‌گیرنده را دستاورد علمی سال نامید، یکه خوردم.

Science

18 December 2006

Vol. 312 No. 5707
Pages 2543-2550 57

THE ACCELERATING UNIVERSE

Breakthrough of the Year



AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

دلیل یکه‌خوردنم این نبود که فکر می‌کردم این کشف ارزش آمدن روی جلد را ندارد. کاملاً برعکس. در صورت درستی، این یکی از مهم‌ترین کشفیات اخترشناسی دوران ما می‌شد، ولی داده‌ها در آن هنگام تنها به مقدار زیادی وسوسه‌انگیز بودند. آن‌ها چنان تغییری را در تصویر ما از گیتی طلب می‌کردند که حس کردم پیش از این که کسی وسط جار و جنجال ثابت کیهان‌شناختی بپرد، همگی مان می‌باید یقین حاصل کنیم که دیگر علت‌های ممکن برای اثرات رصدشده توسط این گروه‌ها را می‌توان به طور کامل کنار گذاشت. همان گونه که در آن هنگام دست کم به یک روزنامه‌نگار گفتم "نخستین باری که وجود ثابت کیهان‌شناختی را باور نکردم وقتی بود که رصدگران ادعای کشف آن را مطرح کردند."

با دانستن این که خودم این امکان‌پذیری را شاید برای ده سالی به نحوی از انحا مطرح کرده بودم، شاید واکنش تا حدی گزنده‌ی من به نظر عجیب بیاید. به عنوان نظریه‌پرداز، حس می‌کنم که گمانه‌زنی بسیار خوب است، به ویژه اگر راه‌کارهایی تازه را برای آزمایش فراهم کند. ولی عقیده دارم که در آزمودن داده‌های واقعی باید تا حد امکان محافظه‌کار بود، شاید چون طی دوره‌ای که در آن معلوم شد بسیاری از ادعای تازه و هیجان‌انگیز ولی پا در هوا در حوزه‌ی تخصصی‌ام، فیزیک ذرات، دروغین‌اند، به پختگی علمی دست یافتم. کشفیاتی از نیروی تازه‌ی پنجم ادعایی در طبیعت گرفته تا کشف ذرات بنیادی تازه تا رصدهای کذایی که گیتی خودمان دارد در کل می‌چرخد، با جار و جنجال زیاد آمده‌اند و رفته‌اند.

بزرگ‌ترین دل‌نگرانی در آن هنگام راجع به کشف ادعایی گیتی شتاب‌گیرنده آن بود که چه بسا ابرنواختران دور دست کم‌نورتر از چیزی به نظر برسند که در غیر این صورت توقع می‌رفت باشند، نه به دلیل انبساط شتاب‌گرفته، بلکه تنها به این دلیل که یا الف کم‌نورتر هستند، یا ب شاید نوعی غبار میان‌کهکشانی یا کهکشانی حاضر در زمان‌های اولیه مقداری آن‌ها را تار می‌کند.

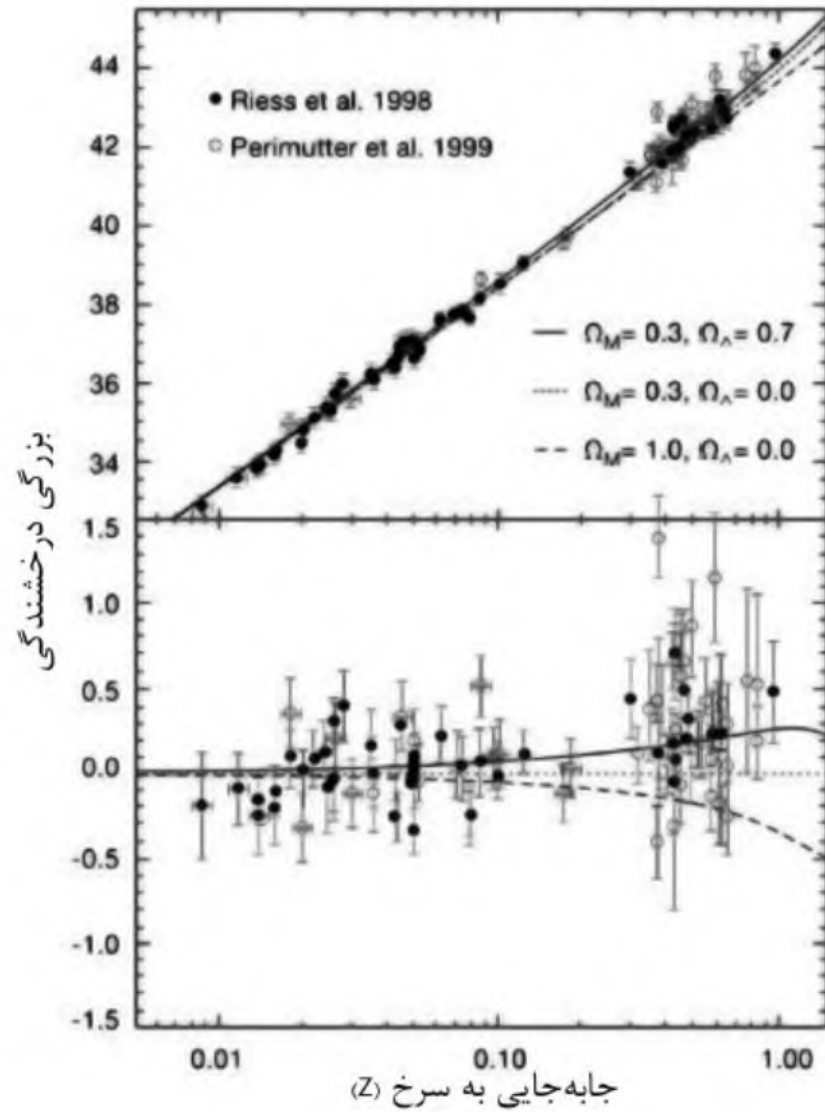
در دهه‌ی پس از آن، به هر روی معلوم شد که مدرک شتاب‌گیری چشمگیر، و تقریباً تردیدناپذیر شده است. نخست ابرنواختران بسیار بیش‌تری در جابه‌جایی به سرخ زیاد اندازه‌گیری شده‌اند. از روی این‌ها، تحلیل ترکیبی ابرنواختران از دو گروه طی یک‌سال پس از مقاله‌ی اصلی به نمودار صفحه‌ی بعد انجامید.

به عنوان راهنما، برای کمک به دیدن این که آیا منحنی فاصله نسبت به جابه‌جایی به سرخ به سمت بالا یا پایین خم برمی‌دارد، رصدگران خط راست نقطه‌چینی را در نیمه‌ی بالایی نمودار از گوشه‌ی پایین چپ تا بالای راست کشیده‌اند که از میان داده‌های نماینده‌ی ابرنواختران نزدیک می‌گذرد. شیب این خط آهنگ انبساط امروزین را به ما می‌گوید. سپس، آنان در نیمه‌ی پایینی

نمودار خط راست مشابه‌ای را به صورت افقی کشیده‌اند، تا در نقش راهنما باشد. اگر گیتی داشت شتابش را از دست می‌داد، مانند چیزی که در ۱۹۹۸ انتظار می‌رفت، ابرنواختران دوردست در جابه‌جایی به سرخ Z نزدیک به ۱ در زیر خط راست قرار می‌گرفتند. ولی همان طور که می‌بینید، بیش‌تر آن‌ها در بالای خط راست قرار می‌گیرند. این به یکی از دو دلیل زیر است:

۱. داده‌ها اشتباه‌اند، یا

۲. انبساط گیتی دارد شتاب می‌گیرد.



اگر فعلاً مورد دوم را برگزینیم و بپرسیم "چه اندازه انرژی باید در فضای تهی بگذاریم تا شتاب‌گیری رصدشده را ایجاد کنیم؟" پاسخی که به دست می‌آوریم شگرف است. منحنی توپر، که بهترین برازش را با داده‌ها دارد، با گیتی تخت متناظر است، با ۳۰ درصد انرژی در ماده و ۷۰ درصد در فضای تهی. این، به طرزی چشمگیر، دقیقاً همان چیزی است که برای ایجاد یک گیتی تخت سازگار با این نکته لازم است که ۳۰ درصد جرم لازم درون و پیرامون کهکشان‌ها و خوشه‌ها حضور دارند. همخوانی ظاهری به دست آمده بود.

با وجود این، چون این ادعا که ۹۹ درصد گیتی نامرئی است ۱ درصد ماده‌ی مرئی در دریایی از ماده‌ی تاریک نهفته که با انرژی فضای تهی دربرگرفته شده در رده‌ی ادعایی خارق‌العاده قرار می‌گیرد، باید به طور جدی امکان‌پذیری یکم را که در بالا گفتم در نظر بگیریم: یعنی، این داده‌ها اشتباه‌اند. در دهه‌ی پس از آن، همه‌ی دیگر داده‌های به دست آمده در کیهان‌شناسی به تحکیم تصویر همخوانی عمومی با یک گیتی تخت ناشدنی ادامه دادند که در آن انرژی غالب در فضای تهی نهفته و هر چیزی که می‌توانیم ببینیم مسئول کم‌تر از ۱ درصد انرژی کل است، و ماده‌ای که نمی‌توانیم ببینیم عمدتاً متشکل است از نوع تازه‌ای از ذرات بنیادین هنوز ناشناخته.

نخست، با داشتن ماهواره‌های جدیدی که اطلاعاتی درباره‌ی فراوانی عنصری در ستارگان کهن ارائه کرده‌اند، داده‌های تازه در مورد فرگشت ستاره‌ای بهبود یافته‌اند.

با استفاده از این‌ها، همکارم چَیِر و من توانستیم در ۲۰۰۵ با قاطعیت نشان دهیم که عدم قطعیت در برآوردهای سن گیتی با استفاده از این داده‌ها اکنون به حد کافی کوچک بود تا طول عمرهای زیر تقریباً ۱۱ میلیارد سال را منتفی کند. این با هر نوع گیتی‌ای که در آن فضای تهی دربرگیرنده‌ی مقدار چشمگیری انرژی باشد ناسازگاری دارد. بار دیگر، چون ما یقین نداریم که این انرژی ناشی از ثابت کیهان‌شناختی باشد، اکنون به طور ساده‌تر به آن "انرژی تاریک" می‌گوییم، در همانندی با نام "ماده‌ی تاریک" که بر کهکشان‌ها سیطره دارد.

در حدود ۲۰۰۶ وقتی اندازه‌گیری‌های دقیق تازه از زمینه‌ی میکروویو کیهانی با استفاده از ماهواره‌ی WMAP به رصدگران امکان داد تا با دقت، زمان از هنگام بیگ‌بنگ را اندازه بگیرند، این برآورد از سن گیتی خودمان تا حد زیادی بهبود پیدا کرد. اکنون سن گیتی را تا چهار رقم معنی‌دار می‌دانیم. سن گیتی ۱۳.۷۲ میلیارد سال است!

هرگز فکر نمی‌کردم که در طول عمرم، به چنین صحتی دست پیدا کنیم. ولی اکنون که آن را داریم، می‌توانیم تأیید کنیم که هیچ راهی نیست تا گیتی با آهنگ انبساط اندازه‌گیری‌شده‌ی امروزین بتواند بدون انرژی تاریک چنین کهن باشد، و به ویژه، انرژی تاریکی که رفتارش اصولاً شبیه به رفتار انرژی‌ای باشد که با ثابتی کیهان‌شناختی عرضه می‌شود. به بیان دیگر، این انرژی

که گویا در طول زمان ثابت می ماند.

در دستاورد علمی بعدی، رصدگران توانستند با دقت تعیین کنند که چه مقدار ماده، به شکل کهکشان‌ها، طی زمان کیهانی گرد هم خوشه شده‌اند. این نتیجه به آهنگ انبساط گیتی بستگی دارد، چون نیروی ربایشی کشنده‌ی کهکشان‌ها به سمت یک‌دیگر مجبور است با انبساط کیهانی دورکننده‌ی ماده رویارو شود. هرچه مقدار انرژی فضای تهی بیش‌تر باشد، زودتر به سیطره‌یافتن بر انرژی گیتی خواهد رسید، و زودتر آهنگ انبساط رو به فزونی سرانجام رمبش گرانشی ماده را در مقیاس‌هایی هرچه بزرگ‌تر متوقف خواهد کرد.

بنابراین با اندازه‌گیری خوشه‌شدگی گرانشی، رصدگران توانسته‌اند بار دیگر تأیید کنند که تنها گیتی تختی که با ساختار بزرگ‌مقیاس رصدشده در گیتی سازگاری دارد همانی است که دارای تقریباً ۷۰ درصد انرژی تاریک باشد، و باز هم، آن انرژی تاریک کمابیش شبیه به انرژی‌ای است که با ثابتی کیهان‌شناختی ارائه می‌شود.

مستقل از این کاوش‌های نامستقیم پیشینه‌ی انبساط گیتی، رصدگران ابرنواختر، آزمون‌هایی گسترده را در مورد امکان‌پذیری‌هایی انجام داده‌اند که می‌تواند خطاهایی اسلوبمند را در تحلیل‌هایشان وارد کند، از جمله امکان‌پذیری غبار فزونی‌یافته در مسافت‌های زیاد که باعث می‌شود ابرنواختران کم‌نورتر به نظر برسند، و آن‌ها را یک به یک رفع کرده‌اند.

یکی از مهم‌ترین آزمون‌های آنان شامل جستجوی در گذشته می‌شد.

در اوایل پیشینه‌ی گیتی، هنگامی که چیزی که اکنون منطقه‌ی فعلاً مشاهده‌پذیر ماست اندازه‌ای بسیار کوچک‌تر داشت، چگالی ماده بسیار بیش‌تر بود. با این حال، اگر چگالی انرژی فضای تهی نمودی از ثابتی کیهان‌شناختی - یا چیزی مانند آن - باشد، در طول زمان یکسان می‌ماند. بدین ترتیب، هنگامی که گیتی کم‌تر از حدود نیمی از اندازه‌ی کنونی‌اش بود، چگالی انرژی ماده از چگالی انرژی فضای تهی فزونی می‌یافته است. ماده، و نه فضای تهی، در تمام مدت پیش از این زمان، نیروی گرانشی غالب وارد بر انبساط را تولید می‌کرده است. در نتیجه، گیتی مشغول شتاب‌زدایی بوده است.

در مکانیک کلاسیک به نقطه‌ای که در آن سیستم شتابش را تغییر می‌دهد، و به ویژه، از شتاب‌زدایی به شتاب‌گیری می‌رود، "کندن"^{۱۳} می‌گوییم. در ۲۰۰۳ کنفرانسی را در دانشگاهم برای

وارسی آینده‌ی کیهان‌شناسی ترتیب دادم و از آدام ریس، یکی از اعضای گروه بررسی ابرنواختر با Z زیاد، دعوت کردم، که به من گفته بود چیز هیجان‌انگیزی برای گزارش در این گردهمایی دارد. چنین هم کرد. فردایش، نیویورک تایمز، که از این گردهمایی گزارش تهیه می‌کرد، عکسی از آدام را با این تیتراژ چاپ کرد "کندن نفهم! کیهانی کشف شد." من این عکس را نگه داشتم و گهگاهی برای خنده سراغش می‌روم.

نگاشت مفصل پیشینه‌ی انبساط گیتی، نشان‌دادن این که گیتی از دوران شتاب‌زدایی به شتاب‌گیری جابه‌جا شد، اعتبار چشمگیری به این ادعا بخشید که رصدهای اولیه، که بیانگر وجود ماده‌ی تاریک بودند، به راستی صحت داشتند. با تمام دیگر شواهد و مدارک موجود کنونی، به دشواری زیاد می‌توان تصور کرد که، با اتکا به این تصویر، به نوعی داریم ترغیب می‌شویم تا پی نخود سیاه کیهانی بگردیم. چه بخواهیم چه نخواهیم، انگار انرژی تاریک مورد پذیرش همگانی است، یا دست کم تا زمانی که به شیوه‌ای تغییر پیدا کند.

بی‌تردید خاستگاه و سرشت انرژی تاریک بزرگ‌ترین راز در فیزیک بنیادی امروزی است. ما از چگونگی سرچشمه‌گرفتن آن و چرایی داشتن مقداری که دارد، هیچ درک ژرفی نداریم. بنابراین، هیچ دیدی نداریم که چرا شروع کرده است به سیطره بر انبساط گیتی و تازه آن هم تنها به نسبت در همین تازگی‌ها، در حدود ۵ میلیارد سال گذشته، یا این که آیا کاملاً از سر حادثه است یا خیر. طبیعی است که گمان بریم سرشت آن به شیوه‌ای بنیادین به خاستگاه گیتی گره خورده باشد. و همه نشانه‌ها حاکی از آن‌اند که آینده‌ی گیتی را نیز تعیین خواهد کرد.

فصل ۶: ناهار رایگان در پایان گیتی

فضا بزرگه. واقعاً بزرگ. باور نمی‌کنی اگه بگم که تا چه اندازه، به چه گستردگی، چقدر گیج‌کننده بزرگه. می‌دونی، شاید فکر کنی به اندازه‌ی جاده‌ی دراز تا داروخونه باشه، ولی این پیش فضا قدیه نخوده.

داگلاس آدامز

راهنمای مفت‌سواری در کهکشان

به قول معروف کاجی به از هیچی. ما کیهان‌شناسان حدس زده بودیم گیتی تخت است، که بعداً معلوم شد درست است، پس ما با آشکارشدن تعجب برانگیز برخورداری فضای تهی از انرژی - و انرژی کافی برای به راستی در سیطره‌گرفتن انبساط گیتی - آن اندازه هم شرمنده نشدیم. وجود این انرژی ناشنی بود، ولی حتا ناشنی‌تر آن است که این انرژی برای سکونت‌ناپذیر ساختن گیتی کافی نباشد. چون اگر انرژی فضای تهی به بزرگی برآوردهای مفروضی بود که قبلاً گفتم باید باشد، آهنگ انبساط چنان زیاد می‌شد که هر چیزی که اکنون در گیتی می‌بینیم به سرعت به ورای افق فرستاده می‌شد. و باید مدت‌ها پیش از این‌که ستارگان، خورشید خودمان، و زمین خودمان شکل بگیرند، گیتی سرد، تاریک، و خالی شده باشد.

از بین تمام دلایل برای فرض کردن تختی گیتی، شاید ساده‌ترین مورد برای فهمیدن آن ناشی از این نکته باشد که کاملاً معلوم بود گیتی تقریباً تخت است. حتا در روزهای اول، پیش از کشف ماده‌ی تاریک، تخمین زده می‌شد که مقدار شناخته‌شده‌ی ماده‌ی مرئی درون و پیرامون کهکشان‌ها، شاید دربرگیرنده‌ی ۱ درصد ماده‌ی کل لازم برای ایجاد گیتی تخت باشد.

خب، ممکن است ۱ درصد خیلی زیاد به نظر نرسد، ولی گیتی ما بسیار کهن است، میلیاردها سال سن دارد. با فرض سیطره‌داشتن اثرات گرانشی ماده یا تابش بر انبساط فرگشت‌یابنده، که فیزیکدانان همواره فکر می‌کردند چنین باشد، آن‌گاه اگر گیتی به دقت تخت نباشد، با انبساط‌یافتن، هرچه بیش‌تر از تخت بودن دور می‌شود.

اگر باز باشد، آهنگ انبساط با میزان بیش‌تری از گیتی تخت ادامه می‌یابد، و در مقایسه با دیگر موارد ماده را دورتر و دورتر می‌راند، چگالی خالص آن را کاهش می‌دهد و خیلی سریع به کسر بسیار کوچکی از چگالی لازم برای رسیدن به گیتی تخت می‌انجامد.

اگر بسته باشد، آن‌گاه انبساط را سریع‌تر آهسته می‌کند و سرانجام باعث بازرمبش آن می‌شود. در تمام مدت، چگالی، نخست با آهنگی کم‌تر از گیتی تخت کاهش می‌یابد، و سپس با بازرمبش گیتی، شروع به افزایش می‌کند. بار دیگر، برون‌رفت از چگالی مورد انتظار برای گیتی تخت با زمان افزایش می‌یابد.

اندازه‌ی گیتی، به نسبت زمانی که ۱ ثانیه سن داشت، تقریباً یک تریلیون برابر شده است. اگر، در آن لحظه‌ی ابتدایی، چگالی گیتی کمابیش دقیقاً آن مقدار مورد انتظار برای گیتی تخت نبود ولی، مثلاً، تنها ۱۰ برابر مقدار لازم برای گیتی تخت در آن هنگام بود، آن‌گاه امروز چگالی گیتی ما به اندازه‌ی دست کم ضریب یک تریلیون با گیتی تخت تفاوت پیدا می‌کرد. این به مراتب بزرگ‌تر از ضریب ساده‌ی ۱۰۰ است که فکر می‌کردیم چگالی ماده‌ی مرئی در گیتی را از چگالی چیزی جدا می‌کند که گیتی تخت امروزین را می‌سازد.

این مسئله‌ای بود کاملاً شناخته‌شده، حتی در دهه‌ی ۱۹۷۰، و به عنوان مسئله‌ی تختی معروف شد. در نظرگرفتن هندسه‌ی گیتی مانند تصورکردن مدادی است که روی نوکش به طور عمودی روی میزی قرار گرفته باشد. کوچک‌ترین عدم توازن به یک سمت، به سرعت آن را سرنگون می‌کند. گیتی تخت نیز همین‌طور است. کوچک‌ترین برون‌رفتی از تختی به سرعت رشد پیدا می‌کند. بدین ترتیب، اگر گیتی دقیقاً تخت نباشد، چگونه می‌تواند امروزه چنین نزدیک به تخت باشد؟

پاسخ ساده است: باید امروز اصولاً تخت باشد!

خب راستش پاسخ چندان ساده هم نیست، چون این پرسش را پیش می‌کشد که، چگونه شرایط آغازی دست به دست هم دادند تا گیتی تخت را بسازند؟

برای این پرسش دشوارتر دوم، دو پاسخ هست. یکی به ۱۹۸۱ بر می‌گردد، وقتی فیزیکدان نظری جوان و پژوهشگر پست‌داک، آلن گوث، به مسئله‌ی تختی و دو مسئله‌ی مرتبط دیگر در مورد تصویر استاندارد بیگ‌بنگ گیتی می‌اندیشید: به اصطلاح مسئله‌ی افق و مسئله‌ی تک‌قطبی. تنها یکی در این‌جا به ما مربوط می‌شود، چون مسئله‌ی تک‌قطبی تنها مسئله‌های تختی و

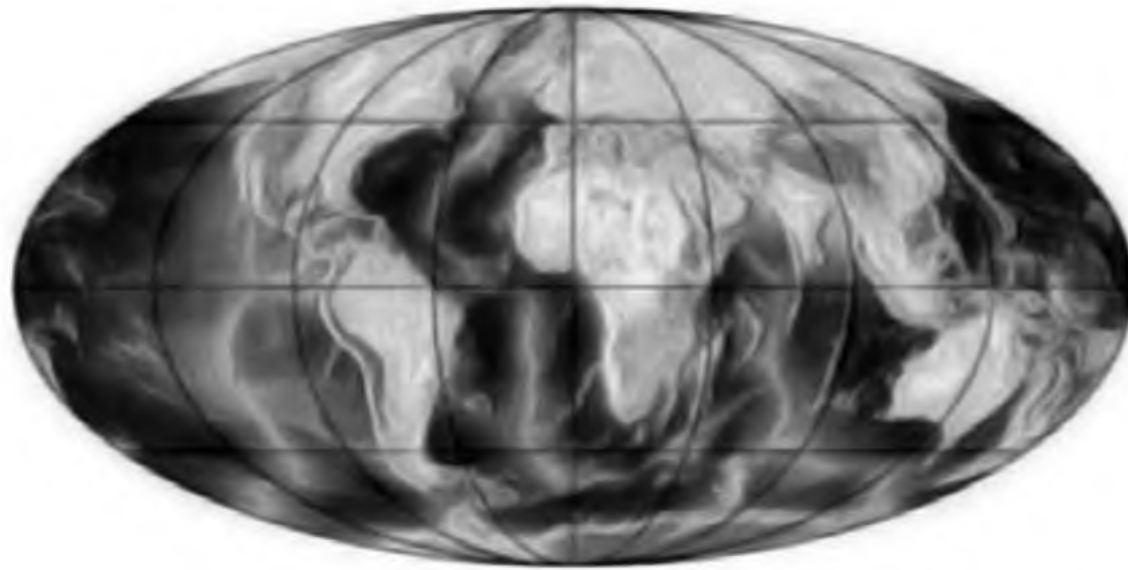
افق را وخیم‌تر می‌کند.

مسئله‌ی افق به این نکته برمی‌گردد که تابش زمینه‌ی میکروویو کیهانی فوق‌العاده یکنواخت است. انحراف‌های دمایی کوچک، که پیش‌تر بیان کردم، دگرگونی‌های چگالی در ماده و تابش را در زمانی که گیتی چندصد هزار سالی بیش‌تر عمر نداشت نشان می‌دهد، کم‌تر از ۱ قسمت در ۱۰,۰۰۰ در مقایسه با چگالی و دمای زمینه‌ی یکنواخت. پس با آن‌که من روی انحراف‌های کوچک تمرکز کرده بودم، پرسش ژرف‌تر و فوری‌تر آن بود که، در وهله‌ی نخست چه شد که گیتی این همه یکنواخت از آب در آمد؟

گذشته از هر چیز، اگر به جای تصویر اولیه از CMBR که در آن دگرگونی‌های دما به اندازه‌ی چند قسمت در ۱۰۰,۰۰۰ در رنگ‌های متفاوت بازتاب می‌یابد، نقشه‌ای دمایی از آسمان میکروویو در مقیاسی خطی را نشان می‌دادم با دگرگونی‌هایی در سایه‌هایی بیانگر دگرگونی‌ها در دما، مثلاً، ± 0.3 درجه [کلوین] پیرامون دمای زمینه‌ی میانگین تقریباً ۲.۷۲ درجه بالای صفر مطلق، یا دگرگونی ۱ قسمت در ۱۰۰ پیرامون میانگین، نقشه مانند این می‌شد:



این تصویر را، که از دیدگاه ساختاری چیز بارزی ندارد، با تصویری مشابه از سطح زمین مقایسه کنید، که تنها اندکی حساسیت بیشتر، با دگرگونی‌های رنگی نمایانگر دگرگونی‌ها در پیرامون شعاع میانگین به اندازه‌ی تقریباً ۱ قسمت در ۵۰۰ دارد:



بنابراین، گیتی، در مقیاس‌های بزرگ، به طرزی باورنکردنی یکنواخت است!

چطور چنین چیزی شدنی است؟ خب، می‌توان تصور کرد که، در زمان‌های اولیه، گیتی اولیه داغ، چگال، و در تعادل گرمایی بود. این به معنای آن است که هر لکه‌ی داغی سرد شده، و لکه‌های سرد تا رسیدن سوپ آغازین به دمای سراسری یکسان، داغ شده‌اند.

با این حال، همان گونه که پیش‌تر خاطر نشان کردم، هنگامی که گیتی تنها چند صدهزار ساله بود، نور بیش از چند صدهزار سال نوری بیش‌تر نمی‌توانست پیش برود، نمایانگر درصد کوچکی از چیزی که گیتی مشاهده‌پذیر امروزی است این فاصله‌ی پیشین تنها نمایانگر زاویه‌ای است در حدود ۱ درجه روی نقشه‌ی کامل آخرین رویه‌ی پراکندگی زمینه‌ی میکروویو کیهانی به صورتی که امروز مشاهده می‌شود. چون اینشتین به ما گوشزد می‌کند که هیچ اطلاعاتی نمی‌تواند تندتر از نور گسترش یابد، در تصویر استاندارد بیگ‌بنگ، واقعاً هیچ راهی نیست که یک

بخش از چیزی که اکنون گیتی مشاهده‌پذیر است، در آن هنگام در مقیاسی‌های زاویه‌ای بزرگ‌تر از حدود ۱ درجه می‌توانسته تحت تأثیر حضور و دمای سایر بخش‌ها قرار بگیرد. بدین ترتیب هیچ راهی نیست که گاز در این مقیاس‌ها می‌توانسته به موقع گرمایکسان شده باشد تا به چنین دمای سراسری یکنواختی به دست آید.

گوث، به عنوان فیزیکدان ذرات، در فکر فرایندهایی بود که می‌توانسته در گیتی اولیه رخ داده و شاید در ارتباط با درک این مسئله بوده باشند و همین باعث شد که او به فهمی از هر نظر درخشان دست یابد. اگر گیتی، در حالی که خنک می‌شد، دستخوش نوعی گذار فاز شده باشد - مثلاً، چیزی که در هنگام یخ‌زدن آب یا مغناطیسی‌شدن میله‌ی آهنی هنگام خنک‌شدن رخ می‌دهد - آن‌گاه نه تنها مسئله‌ی افق، که مسئله‌ی تختی و به تبع آن، مسئله‌ی تک‌قطبی را نیز می‌توان حل کرد.

اگر دوست دارید نوشابه‌ی واقعاً تگری بخورید، شاید تجربه‌ی زیر نصیبتان شده باشد: یک بطری نوشابه را از یخچال در می‌آورید، و هنگام بازکردن آن و رهاشدن فشار درونش، می‌بینید که ناگهان نوشابه کاملاً یخ می‌زند، و حتا ممکن است شیشه بطری ترک بردارد. دلیلش آن است که، در فشار زیاد، پایین‌ترین حالت انرژی ترجیحی نوشابه به شکل مایع است، در حالی که به محض رهاشدن فشار، پایین‌ترین حالت انرژی ترجیحی نوشابه در حالت جامد است. طی این گذار فاز، انرژی می‌تواند آزاد شود چون پایین‌ترین حالت انرژی در یک فاز می‌تواند انرژی کم‌تری از پایین‌ترین حالت انرژی در فاز دیگر داشته باشد. هنگامی که چنین انرژی‌ای آزاد شود، به آن "گرمای نهان" گفته می‌شود.

گوث فهمید که، با خنک‌شدن خود گیتی در اثر انبساط گیتی، پیکربندی ماده و تابش در گیتی انبساط‌یابنده شاید اندک زمانی در نوعی حالت شبه‌پایدار "گیر افتاده" باشد تا سرانجام، با خنک‌ترشدن گیتی، این پیکربندی به ناگاه دستخوش گذار فاز به حالت پایه‌ی ترجیحی ماده و تابش از لحاظ انرژی شده باشد. انرژی ذخیره‌شده در پیکربندی "خلأ دروغین" گیتی پیش از تکمیل گذار فاز - به عبارت دیگر، "گرمای نهان" گیتی - می‌توانسته به شدت بر انبساط گیتی طی دوره‌ی پیش از گذار تأثیر بگذارد.

انرژی خلأ دروغین درست همان رفتاری را داشت که با ثابت کیهان‌شناختی ارائه می‌شود، زیرا مانند انرژی فراگیرنده‌ی فضای تهی عمل می‌کرد. این باعث شد که انبساط گیتی در آن هنگام هر چه تندتر سرعت بگیرد. سرانجام، چیزی که تبدیل به گیتی مشاهده‌پذیر ما شد، با سرعتی بیش از نور شروع به رشد کرد. این در نسبیّت عام مجاز است، هر چند گویا نسبیّت خاص اینشتین را نقض می‌کند، که می‌گوید چیزی نمی‌تواند تندتر از سرعت نور برود. ولی باید مانند حقوق‌دانان این گفته را با کمی دقت بیش‌تر تجزیه و تحلیل کرد. نسبیّت خاص می‌گوید چیزی

نمی‌تواند تندتر از نور از درون فضا بگذرد. ولی خود فضا هر کاری که دلش بخواهد می‌تواند بکند، دست کم در نسبیّت عام. و فضا با انبساطیافتن، می‌تواند اجسام دوردستی را که در فضا ساکن‌اند و سر جای‌شان نشسته‌اند، با سرعت‌هایی فرانوری از یک‌دیگر دور کند.

معلوم شده که گیتی توانسته طی این دوره‌ی تورم‌یابنده با ضریب بیش از 10^{28} انبساط پیدا کرده باشد. با آن‌که این رقم باورنکردنی است، توانسته در کسری از ثانیه در گیتی بسیار اولیه پدید آمده باشد. در این مورد، هر چیزی درون سرتاسر گیتی مشاهده‌پذیر ما مدتی، پیش از رخ‌دادن تورم، در محدوده‌ای بسیار کوچک‌تر از چیزی قرار می‌گرفت که اگر تورم رخ نداده بود، می‌توانستیم آن را تا گذشته رهگیری کنیم، و از همه مهم‌تر، چنان کوچک که بدین ترتیب وقت کافی برای گرمایکسانی تمام محدوده و رسیدن به دمای دقیقاً یکسان وجود می‌داشته است.

تورم، پیش‌بینی به نسبت کلی را امکان‌پذیر ساخت. وقتی بادکنکی بیشتر و بیشتر باد می‌شود، خمیدگی رویه‌ی آن کم‌تر و کم‌تر می‌شود. برای گیتی‌ای که اندازه‌اش دارد تصاعدی افزایش پیدا می‌کند، که می‌تواند طی تورم پدید آید - ناشی از انرژی خلأ دروغین ثابت و بزرگ - نیز چیزی مشابه رخ می‌دهد. راستش، زمانی که تورم پایان می‌گیرد حل‌شدن مسئله‌ی افق، خمیدگی گیتی اگر در آغاز ناصفر باشد به چنان اندازه‌ی کوچک بی‌معنایی رسانده می‌شود که، حتا امروز، گیتی وقتی به دقت اندازه‌گیری می‌شود به نظر اصولاً تخت می‌آید.

اکنون تورم تنها توضیح پذیرفتنی، هم برای همگنی و هم برای تختی گیتی است، بر پایه‌ی آن‌چه که می‌تواند نظریه‌های میکروسکوپی بنیادین و محاسبه‌پذیر ذرات و برهم‌کنش‌هایشان قلمداد شود. ولی گذشته از آن، تورم، پیش‌بینی دیگر، و حتا شاید چشمگیرتری را نیز ممکن می‌کند. پیش‌تر گفتم که قوانین مکانیک کوانتوم بیانگر آنند که، در مقیاس‌های بسیار کوچک، برای مدت‌هایی بسیار کوتاه، فضای تهی می‌تواند به صورت سوپی پر جوش و خروش از ذرات مجازی و میدان‌هایی با بزرگی به شدت متغیر، در آید. این "افت و خیزهای کوانتومی" می‌توانند برای تعیین خصلت پروتون‌ها و نوترون‌ها مهم باشند، ولی به طور کلی در مقیاس‌های بزرگ‌تر نامرئی‌اند، که یکی از دلایلی است که چرا آن‌ها به نظر ما چنین غیرطبیعی می‌آیند.

با این حال، طی تورم، این افت و خیزهای کوانتومی می‌توانند تعیین کنند که چیزی که گویی محدوده‌های کوچک متفاوتی از فضا هستند، چه هنگام دوره‌ی انبساط تصاعدی خود را به پایان برسانند. وقتی محدوده‌های متفاوت در زمان‌های اندکی به طور میکروسکوپی متفاوت از تورم‌یافتن دست می‌کشند، چگالی ماده و تابش ناشی از رهاشدن انرژی خلأ دروغین به صورت گرما در این محدوده‌های متفاوت، در هر یک اندکی تفاوت پیدا می‌کند.

معلوم شده که الگوی افت و خیزهای چگالی حاصل، پس از تورم - باید تأکید کنم، ناشی از افت و خیزهای کوانتومی گویی فضای تهی - دقیقاً با الگوی مشاهده‌شده از لکه‌های سرد و لکه‌های داغ در مقیاس‌های بزرگ در تابش زمینه‌ی میکروویو کیهانی همخوانی دارد. با آن‌که سازگاری، طبیعتاً، اثبات به شمار نمی‌رود، در میان کیهان‌شناسان این دیدگاه روز به روز هواداران بیشتری پیدا می‌کند که، یک بار دیگر، اگر چیزی مثل اردک راه برود و شبیه اردک باشد و مثل اردک صدا کند، به احتمال اردک است. و اگر تورم به راستی مسوول همه‌ی آن افت و خیزهای کوچک در چگالی ماده و تابشی باشد که بعداً در رمبش گرانشی ماده به کهکشان‌ها و ستارگان و سیارات و آدمیان انجامید، آن‌گاه به درستی می‌توان گفت به دلیل افت و خیزهای کوانتومی در چیزی که اصولاً هیچ است، همگی ما امروز این‌جا هستیم.

این گفته چنان شگرف است که می‌خواهم بار دیگر بر آن تأکید کنم. افت و خیزهای کوانتومی، که گویی کاملاً نامرئی بودند، با تورم منجمد می‌شوند و پس از آن به صورت افت و خیزهای چگالی سر بر می‌آورند که هر آن‌چه را که می‌بینیم ایجاد می‌کنند! اگر همگی‌مان غبار ستاره‌ای باشیم، همان‌گونه که نوشته‌ام، این نیز درست است که، اگر تورم رخ داده باشد، همگی‌مان، به معنای دقیق کلمه، از هیچی کوانتومی سر برآورده‌ایم.

این مطلب چنان به شدت ناشهودی است که کمابیش می‌تواند سحرآمیز تلقی شود. ولی دست کم یک جنبه از تمام این تردستی تورمی هست که شاید به ویژه نگران‌کننده به نظر آید. در وهله‌ی نخست همه‌ی این انرژی از کجا می‌آید؟ چگونه محدوده‌ای میکروسکوپی کوچکی می‌تواند به محدوده‌ای به اندازه‌ی گیتی امروزین، با ماده و تابش کافی در درونش که مسئول هر چیزی است که می‌توانیم ببینیم، بینجامد؟

به طور کلی‌تر، می‌توانیم پرسیم، چطور می‌شود که چگالی انرژی می‌تواند در گیتی انبساط‌یابنده‌ای با ثابتی کیهان‌شناختی، یا انرژی خلأ دروغین، ثابت بماند؟ هر چه باشد، در چنین گیتی‌ای،

فضا تصاعدی انبساط می‌یابد، پس اگر چگالی انرژی یکسان بماند، انرژی کل درون هر محدوده با رشد حجم آن محدوده، افزایش پیدا خواهد کرد. پس پایداری انرژی کجا رفت؟

این نمونه‌ای است از چیزی که گوٹ نام "ناهار رایگان" غایی بر آن نهاد. گنجاندن اثرات گرانش در اندیشیدن به گیتی اجازه می‌دهد که اجسام - با شگفتی - دارای انرژی "منفی" و نیز "مثبت" باشند. این جنبه از گرانش این امکان‌پذیری را فراهم می‌کند که خمیرمایه‌ی انرژی مثبت، مانند ماده و تابش، بتوانند با پیکربندی‌های انرژی منفی که فقط انرژی خمیرمایه‌ی انرژی مثبت ایجادشده را متوازن می‌کند، تکمیل شود. با این کار، گرانش می‌تواند با گیتی تهی آغاز شود - و با گیتی پرشده پایان بگیرد.

شاید این نیز پرسش‌برانگیز باشد، ولی به واقع این بخش اصلی رویاپردازی واقعی است که بسیاری از ما درباره‌ی گیتی تخت داریم. نیز این چیزی است که شاید شما از فیزیک دوران دبیرستان با آن آشنا باشید.

فکر کنید تویی را به هوا می‌اندازید. به طور معمول توپ به زمین بر می‌گردد. حالا آن را محکم‌تر پرتاب کنید به فرض داخل خانه نیستید. توپ بالاتر می‌رود و پیش از بازگشت مدت بیش‌تری را در هوا سپری می‌کند. سرانجام، اگر آن را به حد کافی محکم پرتاب کنید، دیگر بر نمی‌گردد؛ از میدان گرانشی زمین می‌گریزد و راهش را به سوی کیهان پیش خواهد گرفت.

چگونه می‌دانیم که توپ چه هنگامی خواهد گریخت؟ سراغ حساب و کتاب ساده‌ی انرژی می‌رویم. جسم در حال حرکت در میدان گرانشی زمین دو نوع انرژی دارد. یکمی، انرژی حرکت، موسوم به انرژی سینتیک جنبشی است، بر گرفته از واژه‌ی یونانی برای حرکت. این انرژی، که بستگی به سرعت جسم دارد، همواره مثبت است. مؤلفه‌ی دیگر انرژی، به نام انرژی پتانسیل مرتبط به پتانسیل توانایی انجام کار به طور کلی منفی است.

دلیلش آن است که انرژی گرانشی جسمی ساکن، واقع در فاصله‌ی بی‌نهایت از هر جسم دیگری را صفر می‌گیریم، که معقول به نظر می‌رسد. انرژی جنبشی به وضوح صفر است، و انرژی پتانسیل را در این نقطه صفر تعریف می‌کنیم، پس انرژی گرانشی کل نیز صفر است.

اکنون، اگر جسم نه در فاصله‌ی بی‌نهایت از همه‌ی دیگر اجسام، که نزدیک به جسمی، مانند زمین، باشد، به دلیل ربایش گرانشی به سوی آن سرنگون می‌شود. با سرنگونی، سرعت می‌گیرد،

و اگر در طول راه به چیزی بخورد مثلاً، سر شما، می‌تواند کار انجام دهد، مثلاً آن را بشکافد. هر چه در آغاز حرکت به زمین نزدیک‌تر باشد، در هنگام برخورد با زمین کار کم‌تری می‌تواند انجام دهد. بدین ترتیب، با نزدیک‌شدن به زمین، انرژی پتانسیل کاهش می‌یابد. ولی اگر در فاصله‌ی بی‌نهایت از زمین انرژی پتانسیل صفر باشد، باید با نزدیک‌ترشدن به زمین بیش‌تر و بیش‌تر منفی شود چون با نزدیک‌ترشدن توانایی جسم برای انجام کار کاهش می‌یابد.

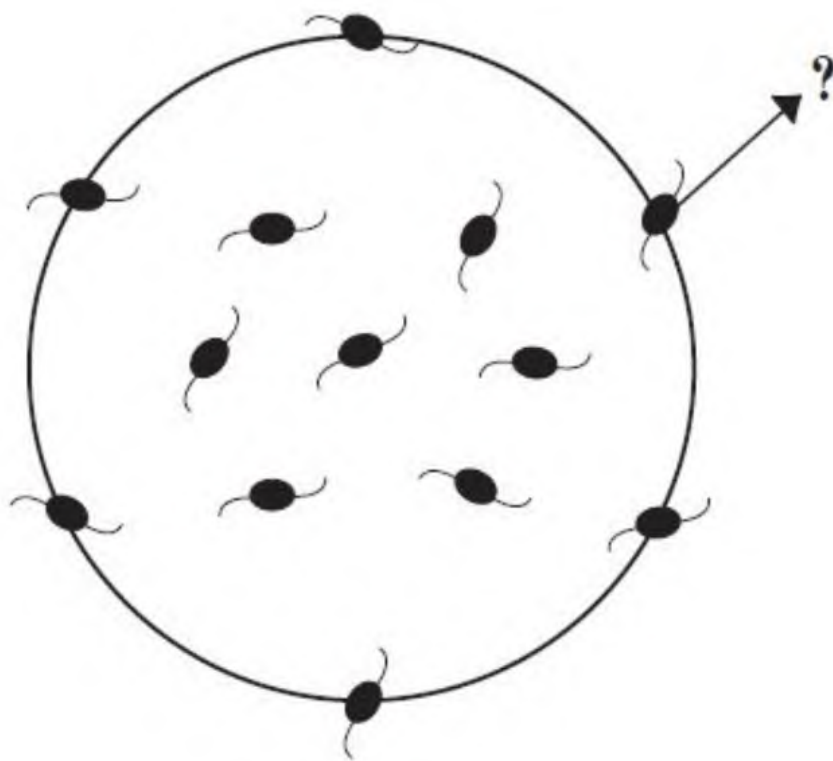
در مکانیک کلاسیک، همان طور که این‌جا تعریف کردم، تعریف انرژی پتانسیل دلبخواه است. من می‌توانم انرژی پتانسیل جسمی را روی سطح زمین صفر بگیرم، و سپس وقتی جسم در فاصله‌ی بی‌نهایت قرار گرفت، مقداری بزرگ پیدا می‌کند. صفرگرفتن انرژی کل در بی‌نهایت از نظر فیزیکی با معناست، ولی، دست کم در این نقطه از بحثمان، چیزی بیش از یک قرارداد نیست.

فارغ از این‌که نقطه‌ی صفر انرژی پتانسیل در کجا تعیین می‌شود، نکته‌ی شگفت‌انگیز در مورد اجسامی که در معرض تنها نیروی گرانش هستند آن است که جمع انرژی‌های پتانسیل و جنبشی آن‌ها ثابت می‌ماند. با سرنگونی اجسام، انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی حرکت تبدیل می‌شود، و در برگشت از روی سطح زمین پس از برخورد، انرژی جنبشی دوباره به پتانسیل تبدیل می‌شود، و الخ.

بدین ترتیب ابزار حسابرسی محشری برای تعیین سرعت لازم در پرتاب چیزی به هوا تا بتواند از زمین بگریزد در اختیارمان قرار می‌گیرد، چون اگر قرار باشد سرانجام در فاصله‌ی بی‌نهایت از زمین قرار گیرد، انرژی کل آن باید بزرگ‌تر از یا برابر با صفر شود. سپس باید مطمئن شوم که انرژی گرانشی کل آن در هنگام خروجش از دست کم بزرگ‌تر از یا برابر با صفر باشد. از آن‌جا که می‌توانم تنها یک جنبه از انرژی کل آن را کنترل - یعنی سرعت ترک جسم از دستم - تنها کاری که باید بکنم عبارت است از یافتن سرعتی جادویی که در آن انرژی جنبشی مثبت توپ با انرژی پتانسیل منفی که توپ در اثر ربایش در سطح زمین دارد، برابر می‌شود. هم انرژی جنبشی و هم انرژی پتانسیل توپ دقیقاً به یک شیوه به جرم جسم بستگی دارند، که بدین ترتیب هنگامی که این دو کمیت برابر شوند حذف می‌شود، و می‌توان "تندی گریز" همه‌ی اجسام از سطح زمین را به دست آورد، که حدود ۱۱ کیلومتر بر ثانیه است، به هنگامی که انرژی گرانشی کل جسم دقیقاً صفر می‌شود.

شاید پرسید، این‌ها چه ربطی به گیتی در کل، و به ویژه تورم دارند؟ خب، درست همین محاسبه‌ای که الان برای پرتاب توپ با دستم در سطح زمین بیان کردم، به هر جسمی در گیتی انبساط یابنده‌ی خودمان اعمال می‌شود.

محدوده‌ای کروی از گیتی خودمان به مرکز مکان خودمان در کهکشان راه شیری را تصور کنید که چنان بزرگ باشد تا تعداد زیادی کهکشان را در برگیرد، ولی چنان کوچک هم باشد تا به خوبی در بیش‌ترین فاصله‌ای که امروز می‌توانیم رصد کنیم جا بگیرد:



اگر این محدوده به حد کافی، ولی نه خیلی، بزرگ باشد، آن گاه در اثر انبساط هابلی، کهکشان‌های واقع در لبه‌ی این محدوده به طور یکنواخت از ما دور می‌شوند، ولی سرعت آن‌ها خیلی کمتر از سرعت نور است. در این مورد، قوانین نیوتون اعمال می‌شوند، و می‌توانیم از اثرات نسبیت خاص و عام چشم‌پوشیم. به بیان دیگر، هر جسمی گوش به فرمان فیزیکی است یکسان با آن‌چه که توپ‌هایی را توصیف می‌کند که گفتم می‌خواهم از زمین بیرونشان بفرستم.

کهکشان نشان داده‌شده در بالا را در نظر بگیرید، که دارد از مرکز توزیع دور می‌شود. خب، درست مانند توپ پرتابی از زمین، می‌توانیم پرسیم که آیا کهکشان خواهد توانست از چنگ کشش گرانشی دیگر کهکشان‌های درون کره بگذرد یا خیر. و محاسبه‌ای که برای تعیین جواب انجام می‌دهیم درست همان چیزی است که برای توپ انجام دادیم. ما به سادگی انرژی گرانشی کل کهکشان را، بر پایه‌ی حرکت برون‌رفت آن دهنده‌ی انرژی مثبت به آن، و کشش گرانشی همسایگانش عرضه‌کننده‌ی بخش انرژی منفی، حساب می‌کنیم. اگر انرژی کل آن از صفر بزرگ‌تر شد، به بی‌نهایت خواهد گریخت، و اگر کمتر از صفر شد، می‌ایستد و به درون سرنگون می‌شود.

خب، می‌توان به خوبی نشان داد که قادریم معادله‌ی نیوتونی ساده‌ای برای انرژی گرانشی کل این کهکشان را به شیوه‌ای بازنویسی کنیم که دقیقاً معادله‌ی اینشتین از نسبیت عام برای گیتی انبساط‌یابنده را باز تولید کند. و جمله‌ای که با انرژی گرانشی کل کهکشان متناظر است، در نسبیت عام، تبدیل به جمله‌ای می‌شود که خمیدگی فضا را توصیف می‌کند.

بدین ترتیب چه به دست می‌آوریم؟ در گیتی فقط و فقط تخت، میانگین کل انرژی گرانشی نیوتونی هر جسمی که در اثر انبساط حرکت می‌کند دقیقاً صفر است!

این همان چیزی است که گیتی تخت را بسیار ویژه می‌کند. در چنین گیتی‌ای، انرژی مثبت حرکت دقیقاً با انرژی منفی ربایش گرانشی سربه‌سر می‌شود.

وقتی با اجازه‌دادن به فضای تهی به داشتن انرژی، اوضاع را پیچیده می‌کنیم، همانندی ساده‌ی نیوتونی با توپی که به هوا می‌اندازیم، نادرست می‌شود، ولی نتیجه‌گیری اصولاً یکسان می‌ماند. در گیتی تخت، حتا نوعی با ثابت کیهان‌شناختی کوچک، تا زمانی که مقیاس به حد کافی کوچک باشد تا سرعت‌ها بسیار کمتر از سرعت نور باشند، انرژی گرانشی نیوتونی همراه هر جسم در گیتی صفر است.

راستش، با انرژی خلأ، "ناهار رایگان" گوشت تا برجسته‌تر هم می‌شود. با انبساط‌یافتن هر محدوده‌ای در گیتی در اندازه‌های هرچه بزرگ‌تر، به تخت‌بودن نزدیک‌تر و نزدیک‌تر می‌شود، به طوری که انرژی گرانشی نیوتونی هرچیزی که پس از تبدیل‌شدن انرژی خلأ طی تورم به ماده و تابش به دست می‌آید، دقیقاً صفر می‌شود.

ولی هنوز می‌توانید بپرسید که، انرژی لازم برای ثابت نگه‌داشتن چگالی انرژی طی تورم، هنگامی که گیتی انبساط تصاعدی دارد، از کجا می‌آید؟ در این جا، جنبه‌ی شگرف دیگری از نسبیت عام ترفندی رو می‌کند. نه تنها انرژی گرانشی اجسام می‌تواند منفی باشد، که "فشار" نسبیتی آن‌ها نیز می‌تواند منفی باشد.

تصویرکردن فشار منفی حتی از انرژی منفی هم دشوارتر است. گاز، مثلاً در بادکنک، به بدنه‌ی بادکنک فشار می‌آورد. در این روند، اگر بدنه‌ی بادکنک بزرگ شود، روی بادکنک کار انجام داده است. کاری که انجام می‌دهد باعث می‌شود که گاز انرژی از دست دهد و خنک شود. با این حال، معلوم شده که انرژی فضای تهی دقیقاً از لحاظ گرانشی دافعه‌ای است زیرا سبب می‌شود که فضای تهی دارای فشار "منفی" شود. در نتیجه‌ی این فشار منفی، گیتی به هنگام انبساط عملاً روی فضای تهی کار انجام می‌دهد. این کار صرف ثابت نگه‌داشتن چگالی انرژی فضا، حتی با انبساط‌یافتن گیتی می‌شود.

بدین ترتیب، اگر ویژگی‌های کوانتومی ماده و تابش باعث بخشیدن انرژی به حتی محدوده‌ای فوق‌العاده کوچک در زمان‌های بسیار اولیه شوند، این محدوده می‌تواند تا حد دلخواه بزرگ و تا حد دلخواه تخت رشد کند. هنگامی که تورم پایان بگیرد، به گیتی پرمایه‌ای از ماده و انرژی می‌رسیم، و انرژی گرانشی نیوتونی کل آن خمیرمایه تا جایی که می‌توان تصور کرد به صفر نزدیک است.

پس هنگامی که همه‌ی غبار فرو می‌نشیند، و پس از یک سده کوشش، ما خمیدگی گیتی را اندازه گرفته‌ایم و پی‌برده‌ایم که باید صفر باشد. می‌توانید درک کنید که چرا این برای نظریه‌پردازان زیادی مانند خود من، نه تنها بسیار رضایت‌بخش که به شدت اغواکننده نیز هست.

گیتی ... به راستی ... از هیچ.

فصل ۷: آینده‌ی غم‌انگیز ما

دیگه آینده اون چیزی نیست که بود.

یوگی برا

از یک جنبه، پی‌بردن به این نکته هم برجسته و هم هیجان‌انگیز است که در گیتی‌ای تحت سیطره‌ی هیچ به‌سر می‌بریم. ساختارهایی که می‌توانیم ببینیم، مانند ستارگان و کهکشان‌ها، همگی با افت و خیزهای کوانتومی از هیچ آفریده شدند. و انرژی گرانشی نیوتونی میانگین هر جسم در گیتی خودمان برابر است با هیچ. اگر آدم علاقه‌مندی هستید، تا جایی که می‌توانید از این اندیشه سرمست شوید، چون، اگر همه‌ی این‌ها درست باشد، شاید ما در بدترین گیتی‌ای که می‌توانیم باشیم به‌سر می‌بریم، دست کم تا جایی که به آینده‌ی حیات مربوط می‌شود.

حدود یک سده پیش را به یاد آورید، اینشتین مشغول توسعه‌ی نظریه‌ی نسبیت عام خودش بود. در آن دوران دانش متداول این بود که گیتی ایستا و جاودانه است. راستش، اینشتین نه تنها لُمت را برای پیشنهاد بیگ‌بنگ به سخره گرفت، که با هدف مجازدانستن گیتی ایستا، ثابت کیهان‌شناختی را نیز ابداع کرد.

اکنون، پس از یک سده، ما دانشمندان می‌توانیم برای کشف انبساط زیربنایی گیتی، زمینه‌ی مایکروویو کیهانی، ماده‌ی تاریک، و انرژی تاریک، خودبینی را احساس کنیم.

ولی آینده چه در پیش رویمان خواهد گذاشت؟

به نوعی ... شعر و شاعری.

به خاطر بیاورید که سیطره‌ی انبساط گیتی خودمان با انرژی فضای تهی، از این نکته نتیجه‌گرفته شد که این انبساط در حال سرعت‌گیری است. و همان طور که در فصل پیش گفتم، تنها به

دلیل تورم، گیتی مشاهده‌پذیر خودمان در آستانه‌ی انبساطی تندتر از سرعت نور است. و با گذر زمان، به دلیل انبساط شتاب‌گرفته، اوضاع تنها بدتر خواهد شد.

این بدان معناست که هر چه بیش‌تر منتظر بمانیم، کم‌تر خواهیم توانست ببینیم. کهکشان‌هایی که اکنون می‌توانیم ببینیم، یک روز در آینده تندتر از نور از ما دور خواهند شد، بدین ترتیب دیگر به چشممان نخواهند آمد. نوری که آن‌ها گسیل می‌کنند نمی‌تواند برخلاف انبساط فضا پیش رود، و هرگز به ما نخواهد رسید. این کهکشان‌ها از افق ما ناپدید خواهند شد.

شیوه‌ی کار در این‌جا با آن‌چه که شاید تصور کنید اندکی تفاوت دارد. کهکشان‌ها ناگهان در آسمان شب ناپدید نمی‌شوند. در عوض، با نزدیک‌شدن سرعت پسروی به سرعت نور، نور آمده از این اجسام هر چه بیش‌تر جابه‌جایی به سرخ پیدا می‌کند. سرانجام، همه‌ی نور مرئی آن‌ها به سوی فروسرخ، مایکروویو، موج رادیویی، و غیره می‌رود، تا آن‌که طول موج نوری که گسیل می‌کنند به بزرگ‌تر از گیتی مرئی برسد، که در آن نقطه رسماً نامرئی می‌شوند.

می‌توانیم حساب کنیم که این چقدر طول می‌کشد. چون کهکشان‌های واقع در خوشه‌ی محلی کهکشان‌های خودمان توسط ربایش گرانشی دوسویه به یک‌دیگر پیوند یافته‌اند، با انبساط زمینه‌ی گیتی، که توسط هابل کشف شد، پس نخواهند رفت. کهکشان‌های واقع در بیرون گروه خودمان در فاصله‌ی تقریباً یک‌پنج هزارم تا نقطه‌ای هستند که در آن سرعت پسروی اجسام به سرعت نور میل می‌کند. ۱۵۰ میلیارد سال، حدود ۱۰ برابر سن کنونی گیتی، طول می‌کشد تا آن‌ها به آن‌جا برسند، به نقطه‌ای که همه‌ی نور آمده از ستارگان درون کهکشان‌ها با ضریب تقریباً ۵۰۰۰۰ جابه‌جایی به سرخ پیدا خواهد کرد. تا حدود ۲ تریلیون سال، نور آن‌ها به اندازه‌ای جابه‌جایی به سرخ پیدا می‌کند که طول موج‌شان را برابر با اندازه‌ی گیتی مرئی خواهد کرد، و بازمانده‌ی گیتی به معنای دقیق کلمه ناپدید خواهد شد.

دو تریلیون سال شاید زمان زیادی به نظر برسد، و چنین هم هست. با این حال، در مقیاس کیهانی، اصلاً نزدیک به جاودانگی نیست. پرمردترین ستارگان "توالی اصلی" با همان پیشینه‌ی فرگشتی خورشیدمان طول عمرهایی خیلی بیش‌تر از خورشید خودمان دارند و در ۲ تریلیون سال هنوز هم خواهند درخشید هر چند که خورشیدمان تنها در حدود ۵ میلیارد سال از بین می‌رود. و بنابراین در آینده‌ی دور شاید تمدن‌هایی در سیارات پیرامون این ستارگان وجود داشته باشند، که از توان خورشیدی، به همراه آب و مواد آلی نیرو بگیرند. و چه بسا اخترشناسانی با تلسکوپ روی آن سیارات باشند. ولی وقتی آنان به کیهان بنگرند، اصولاً هر آن چیزی که اکنون می‌توانیم ببینیم، همه‌ی ۱۰۰ میلیارد کهکشانی که اکنون گیتی مرئی خودمان را آکنده‌اند، دیگر

از بین رفته‌اند!

من کوشیده‌ام که از این استدلال در برابر کنگره برای اختصاص بودجه به کیهان‌شناسی استفاده کنم، که هنوز برای مشاهده‌ی هر آن‌چه که می‌توانیم وقت داریم! با این حال، برای نماینده‌ی کنگره، دو سال زمانی دراز است، چه برسد به دو تریلیون سال که دیگر اصلاً تصورنشدنی است.

باری، اخترشناسان در آینده‌ی دور با شگفتی بزرگی روبه‌رو خواهند شد، اگر سرنخی از آن‌چه که از دست داده‌اند داشته باشند، که نخواهند داشت. چون، همان‌طور که همکارم رابرت شرر از وندربیلت و من چندسال پیش فهمیدیم، نه‌تنها بقیه‌ی گیتی در آن هنگام ناپدید شده است، که اصولاً همه‌ی مدرکی که اکنون به ما می‌گوید داریم در گیتی انبساط‌یابنده‌ای به سر می‌بریم که با بیگ‌بنگ شروع شد نیز از بین رفته است، به همراه تمام مدرک مبنی بر وجود انرژی تاریک در فضای تهی که مسئول این ناپدیدشدن خواهد بود.

با آن‌که کم‌تر از یک سده پیش حکمت متداول هنوز بر آن بود که گیتی ایستا و جاودانه است، با ستارگان و سیاراتی که در آمد و شدند، ولی گیتی در بزرگ‌ترین مقیاس‌هایش به هستی خود ادامه می‌دهد، در آینده‌ای دور، مدت‌ها پس از آن‌که هر بازمانده‌ای از سیاره و تمدن‌مان به احتمال در زباله‌دان تاریخ افکنده شده است، همان پنداری که تمدن‌مان تا ۱۹۳۰ داشتیم، بار دیگر پیدایش خواهد شد، و این بار با کینه‌توزی.

اعتباربخشی تجربی بیگ‌بنگ مدیون سه پایه‌ی رصدی عمده است، به طوری که، حتا اگر اینشتین و لُمِت هرگز پا به این جهان نگذاشته بودند، درک آغاز گیتی از حالتی داغ و چگال به خوردمان داده می‌شد: انبساط هابلی رصدشده؛ رصد زمینه‌ی میکروویو کیهانی؛ و همخوانی رصدشده بین فراوانی عناصر سبکی - هیدروژن، هلیوم، و لیتیم - که در گیتی اندازه گرفته‌ایم با مقادیری مورد پیش‌بینی که طی چند دقیقه‌ی نخست در پیشینه‌ی گیتی تولید شده‌اند.

بیایید با انبساط هابلی شروع کنیم. از کجا می‌دانیم گیتی در حال انبساط است؟ ما سرعت پسروی اجسام دور را به صورت تابعی از فاصله‌شان اندازه می‌گیریم. با این حال، هنگامی که همه‌ی اجسام مرئی بیرون از خوشه‌ی محلی خودمان که در آن پیوند گرانشی داریم از افق‌مان ناپدید شوند، دیگر هیچ نشانگری از انبساط بر جا نمی‌ماند - هیچ ستاره‌ای، کهکشانی، اختروشی، یا حتا ابرهای بزرگ گاز - که رصدگران بتوانند آن‌ها را رهگیری کنند. انبساط چنان کارآمد خواهد شد که در آن هنگام تمام اجسامی را که در واقع دارند از ما دور می‌شوند، از دیدرس ما بیرون برده است.

گذشته از آن، در مقیاس زمانی کم‌تر از حدود یک تریلیون سال، همه‌ی کهکشان‌ها در گروه محلی خودمان به شکل نوعی شبه‌کهکشان بزرگ گرد هم آمده‌اند. رصدگران در آینده‌ی دور کمابیش دقیقاً چیزی را می‌بینند که رصدگران در ۱۹۱۵ فکر می‌کردند دارند می‌بینند: تک کهکشانی، منزلگاه ستاره و سیاره‌شان، در چنبره‌ی فضایی وسیع، تهی، و ایستا.

نیز به خاطر آورید که همه‌ی مدارک انرژی‌داشتن فضای تهی از رصدکردن آهنگ سرعت‌گیری گیتی انبساط‌یابنده‌ی خودمان فراهم می‌شود. ولی، بار دیگر، بدون نشانگرهای انبساط، شتاب‌گیری گیتی انبساط‌یابنده‌ی خودمان مشاهده‌ناپذیر خواهد بود. راستش، در یک تلاقی شگفت، ما داریم در تنها دورانی از تاریخ گیتی زندگی می‌کنیم که در آن حضور انرژی تاریک گسترش‌یابنده در فضای تهی به احتمال آشکارپذیر است. درست است که این دوران صدها میلیارد سال طول دارد، ولی در گیتی‌ای که جاودانه انبساط می‌یابد، این دوران تنها به مانند پلک‌زدن چشمی کیهانی است.

اگر فرض کنیم که انرژی فضای تهی در کل ثابت باشد، مانند مورد ثابت کیهان‌شناختی، آن‌گاه در زمان‌های بسیار پیش‌تر، چگالی انرژی ماده و تابش از مقدار موجود در فضای تهی به مراتب بیش‌تر می‌شده است. دلیلش تنها آن است که، با گسترش‌یافتن گیتی، چگالی ماده و تابش با انبساط کاهش می‌یابد، چون فاصله‌ی بین ذرات زیاد می‌شود، پس اجسام کم‌تری در هر حجمی وجود دارند. در زمان‌های اولیه، مثلاً قبل از حدود ۵ میلیارد تا ۱۰ میلیارد سال پیش، چگالی ماده و تابش به مراتب بیش‌تر از میزان امروزی بوده است. بنابراین گیتی در این زمان و پیش‌تر از آن، در سیطره‌ی ماده و تابش بود، با ربایش گرانشی پی‌آیندشان. در این مورد، انبساط گیتی در این زمان‌های اولیه آهسته می‌شده است، و تأثیر گرانشی انرژی فضای تهی مشاهده ناپذیر.

با همین روند، در آینده‌ی دور، هنگامی که گیتی چندصد میلیارد ساله شود، چگالی ماده و تابش حتا بیش‌تر کاهش خواهد یافت، و می‌توان محاسبه کرد که انرژی تاریک دارای میانگین چگالی انرژی بیش از هزار میلیارد برابر چگالی همه‌ی ماده و تابش بازمانده در گیتی خواهد بود؛ و در آن هنگام، به طور کامل بر دینامیک گرانشی گیتی در مقیاس‌های بزرگ فرمانروایی خواهد کرد. با این حال، در آن سن زیاد، انبساط شتاب‌گیرنده دیگر اصولاً مشاهده‌ناپذیر شده است. از این جنبه، انرژی فضای تهی، بنا به سرشت خود، تضمین می‌کند که در مدتی متناهی مشاهده‌پذیر است، و بسیار جالب است که ما در این لحظه‌ی کیهان‌شناختی به سر می‌بریم.

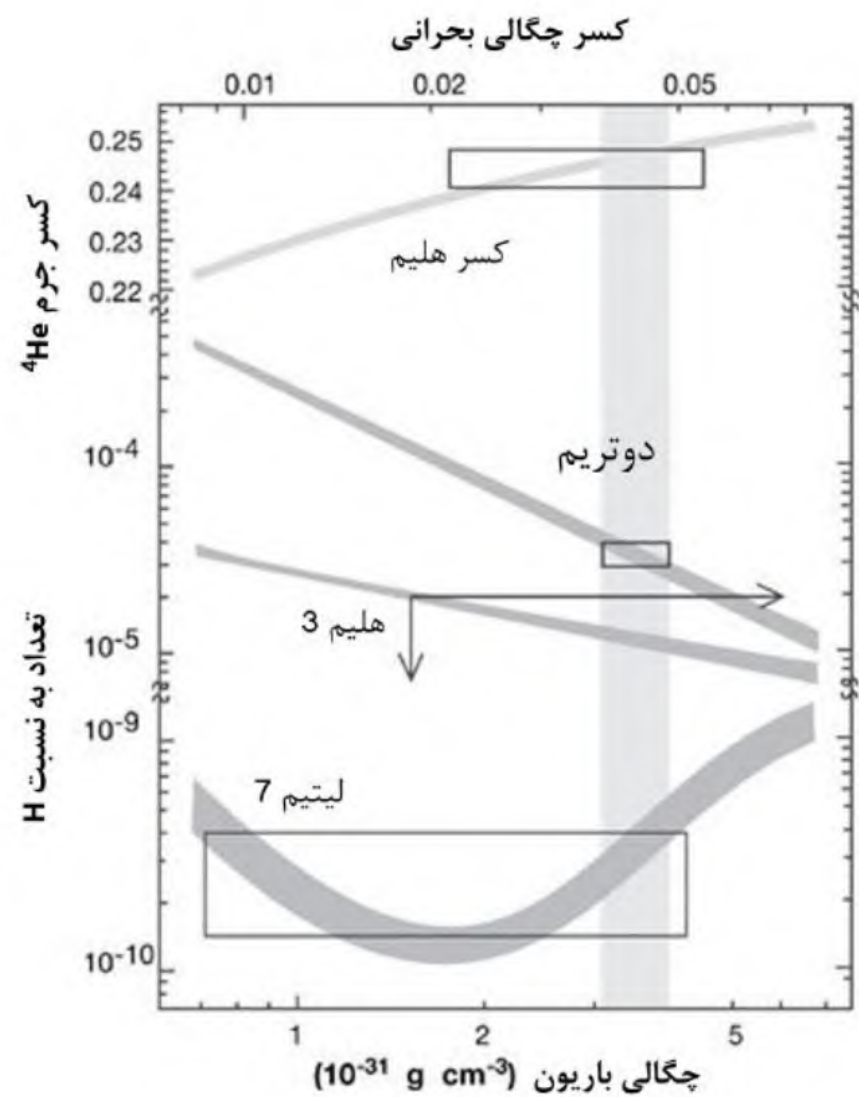
درباره‌ی دیگر بنیان عمده‌ی بیگ‌بنگ، تابش زمینه‌ی میکروویو کیهانی، که تصویر سراسری از نوزادی گیتی ارائه می‌کند، چه می‌شود گفت؟ یکم، با انبساط‌یافتن هر چه بیش‌تر گیتی در آینده، دمای CMBR افت پیدا خواهد کرد. هنگامی که اندازه‌ی گیتی مشاهده‌پذیر کنونی به ۱۰۰ برابر اندازه‌ی فعلی‌اش برسد، دمای CMBR با ضریب ۱۰۰ کاهش می‌یابد، و شدتش، یا چگالی انرژی نهفته در آن، با ضریب ۱۰۰ میلیون افت پیدا خواهد کرد، که آشکارسازی آن را به نسبت اکنون ۱۰۰ میلیون بار دشوارتر می‌کند.

ولی به هر ترتیب، ما توانسته‌ایم در میان همه‌ی نويز الكترونيكي زمین، زمینه‌ی میکروویو کیهانی را آشکارسازی کنیم، و می‌توانیم تصور کنیم که رصدگران در آینده‌ی دور ۱۰۰ میلیون مرتبه از کسانی که امروزه مديونشان هستیم هوشمندترند، پس جای امیدواری هست. افسوس، معلوم شده حتا خوش‌فکرترین رصدگرانی که می‌توان تصور کرد، با حساس‌ترین دستگاه‌هایی که می‌شود ساخت، باز هم اصولا در آینده‌ی دور هیچ شانسى نخواهند داشت. دليلش آن است که در کهکشان خودمان یا شبه کهکشانی که در هنگام ادغام کهکشان خودمان با همسایگانش تشکیل خواهد شد، نخست با آندرومدا در حدود ۵ میلیارد سال دیگر گازی داغ در میان ستارگان هست، و این گاز یونیده است، یعنی دربرگیرنده‌ی الكترون‌های آزاد، و بدین ترتیب مانند پلاسما عمل می‌کند. همان طور که پیش‌تر گفتم، چنین پلاسمایی در برابر بسیاری از انواع تابش کدر است.

چیزی به نام "فرکانس پلاسما" وجود دارد، که در زیر آن تابش نمی‌تواند بدون جذب‌شدن در پلاسما گسترده شود. بر اساس چگالی رصدشده‌ی کنونی از الكترون‌های آزاد در کهکشان خودمان، می‌توانیم فرکانس پلاسما در کهکشان خودمان را برآورد کنیم، و با چنین کاری، پی می‌بریم که وقتی گیتی به حدود ۵۰ برابر سن کنونی‌اش برسد، توده‌ی تابش CMBR ناشی از بیگ‌بنگ تا چنان طول موج‌های بلندی، و بنابراین چنان فرکانس‌های کوتاهی، کشیدگی پیدا می‌کند که در آن هنگام به زیر فرکانس پلاسمای شبه کهکشان آینده‌ی خودمان می‌رود، فارغ از این که رصدگر تا چه اندازه سختکوش باشد. بدین ترتیب، CMBR نیز ناپدید خواهد شد.

بسیار خب، دیگر نه خبری از انبساط مشاهده‌شده باقی می‌ماند، و نه بازمانده‌ای از پس‌درخش بیگ‌بنگ. ولی در مورد فراوانی عناصر سبک - هیدروژن، هلیوم، و لیتیم - که امضای سراسری از بیگ‌بنگ ارائه می‌کند، چه می‌شود گفت؟

راستش، همان طور که در فصل ۱ گفتم، هرگاه با کسی که عقیده‌ای به بیگ‌بنگ ندارد دیدار می‌کنم، دوست دارم شکل زیر را که به صورت کارتی در کیف پولم هست، به او نشان دهم. سپس می‌گویم: "ببین! بیگ‌بنگ بوده!"



انگار این شکل خیلی پیچیده است، می‌دانم؛ ولی عملاً فراوانی پیش‌بینی‌شده‌ی نسی‌هلیم، دوتریم، هلیم-۳، و لیتیم، را در مقایسه با هیدروژن، بر پایه‌ی درک کنونی ما از بیگ‌بنگ، نشان می‌دهد. منحنی فوقانی، که به سمت بالا و راست می‌رود، فراوانی پیش‌بینی‌شده‌ی هلیم، دومین عنصر فراوان در گیتی را بر حسب وزن، در مقایسه با هیدروژن فراوان‌ترین عنصر نشان می‌دهد. دو منحنی بعدی، رو به پایین و راست، نمایانگر فراوانی پیش‌بینی‌شده‌ی، به ترتیب، دوتریم و هلیم-۳ هستند، نه بر حسب وزن که بر حسب تعداد اتم‌ها در مقایسه با هیدروژن. آخری، منحنی پایینی، نمایانگر فراوانی پیش‌بینی‌شده‌ی سبک‌ترین عنصر بعدی، لیتیم، باز هم بر حسب تعداد است.

فراوانی‌های پیش‌بینی‌شده، به صورت تابعی از چگالی کل فرضی ماده‌ی عادی ساخته‌شده از اتم‌ها در گیتی امروزین کشیده شده‌اند. اگر تغییردادن این کمیت به هیچ ترکیبی از همه‌ی فراوانی‌ها عنصری پیش‌بینی‌شده نینجامد تا با رصدهای ما جور شود، می‌تواند به عنوان مدرکی قوی علیه تولید آن‌ها در بیگ‌بنگ به شمار رود. توجه کنید که فراوانی‌های پیش‌بینی‌شده‌ی این عنصرها با حدود ۱۰ مرتبه‌ی بزرگی تغییر می‌کند.

کادرهای توخالی همراه هر منحنی بیانگر گستره‌ی مجاز فراوانی آغازین برآوردی واقعی از این عنصرها بر پایه‌ی رصدهای ستارگان کهن و گاز داغ درون و بیرون کهکشان خودمان است.

بدین ترتیب نوار سایه‌دار عمودی بیانگر ناحیه‌ای است که در آن همه‌ی پیش‌بینی‌ها و رصدها همخوانی دارند. برای بیگ‌بنگ اولیه‌ی داغ که در آن نخست همه‌ی عناصر سبک تولید شدند، تصور مدرکی عینی‌تر از این همخوانی بین پیش‌بینی‌ها و رصدها، باز هم برای عناصری که فراوانی‌های پیش‌بینی‌شده‌ی آن‌ها با ۱۰ مرتبه‌ی بزرگی تغییر می‌کند، به راستی دشوار است.

می‌ارزد بار دیگر به پیامدهای این همخوانی شگرف با تأکید بیش‌تری بپردازم: تنها در ثانیه‌های نخست بیگ‌بنگی داغ، با فراوانی آغازی پروتون‌ها و نوترون‌هایی که به چیزی بسیار نزدیک به چگالی رصدشده‌ی ماده در کهکشان‌های مرئی امروزین می‌انجامد، و چگالی تابشی که بازمانده‌ای بر جا می‌گذارد که دقیقاً با شدت رصدشده‌ی تابش زمینه‌ی مایکروویو کیهانی امروزین متناظر است، واکنش‌هایی هسته‌ای رخ می‌دادند که می‌توانستند دقیقاً فراوانی عناصر سبک - هیدروژن، هلیوم، و لیتیم، را ایجاد کنند که ما نتیجه می‌گیریم باید سنگ بناهای نخست ستارگانی را گذارده باشند که اکنون آسمان شب را پر می‌کنند.

آن‌گونه که اینشتین شاید این را بیان می‌کرد، تنها آفریدگاری بسیار بدکردار و بنابراین، تصورناشدنی برای او می‌توانسته برای آفرینش گیتی‌ای نقشه ریخته باشد که چنین واضح و آشکار به خاستگاه بیگ‌بنگ بدون رخ‌دادن آن اشاره کند.

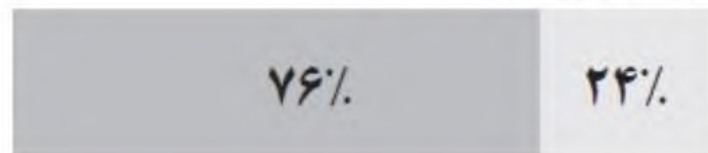
راستش، هنگامی که برای نخستین در دهه‌ی ۱۹۶۰ همخوانی کلی بین فراوانی هلیوم نتیجه‌گیری‌شده در گیتی با فراوانی هلیوم پیش‌بینی‌شده‌ی ناشی از بیگ‌بنگ نشان داده شد، این یکی از تکه‌های کلیدی داده‌هایی بود که به پیروزی تصویر بیگ‌بنگ بر مدل در آن هنگام بسیار مقبول حالت پایای گیتی که از سوی فرد هوپل و همکارانش ارائه شده بود، انجامید.

با این حال، در آینده‌ی دور، اوضاع بسیار فرق خواهد کرد. برای مثال، ستارگان هیدروژن می‌سوزانند، و هلیوم می‌سازند. اکنون، حدود تنها ۱۵ درصد همه‌ی هلیوم رصدشده در گیتی می‌توانسته با ستارگان در طول مدت پس از بیگ‌بنگ تولید شده باشد - بار دیگر، تکه مدرکی رضایت‌بخش که برای تولید آن‌چه می‌بینیم به وجود بیگ‌بنگ نیاز هست. اما در آینده‌ی دور، چنین نخواهد بود، چون نسل‌های بسیار بیش‌تری از ستارگان زندگی کرده و مرده‌اند.

هنگامی که گیتی، مثلاً، ۱ تریلیون ساله شود، هلیوم بسیار بیش‌تری به نسبت آن‌چه که در خود بیگ‌بنگ ایجاد شد، در ستارگان ساخته خواهد شد. این وضعیت، در نمودار زیر نشان داده شده است:

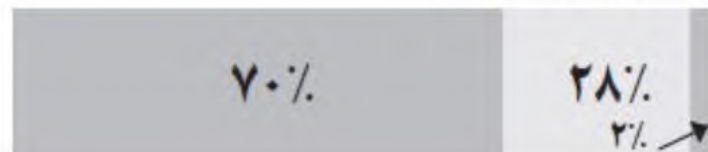
بیگ بنگ

درست پس از هسته سازی



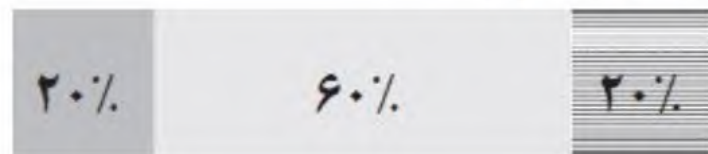
امروز

فراوانی در خورشید



۱ تریلیون سال

آینده ی سنگین



هیدرژن هلیوم

عناصر سنگین تر از هلیوم

هنگامی که ۶۰ درصد ماده‌ی مرئی در گیتی به هلیم تبدیل شود، دیگر برای همخوانی با رصدها، نیازی به تولید هلیم آغازین در بیگ‌بنگ نیست.

با این حال، رصدگران و نظریه‌پردازان تمدنی در آینده‌ی دور خواهند توانست با استفاده از این داده‌ها نتیجه بگیرند که گیتی باید سنی متناهی داشته باشد. چون ستارگان هیدروژن را سوزانده و به هلیم تبدیل می‌کنند، حد بالایی برای مدتی وجود خواهد داشت که ستارگان می‌توانستند وجود داشته باشند تا دیگر نسبت بین هیدروژن و هلیم به هم نخورد. بدین ترتیب دانشمندان آینده برآورد خواهند کرد که گیتی‌ای که در آن به سر می‌برند، سنی کم‌تر از حدود یک تریلیون سال دارد. ولی دیگر خبری از هرگونه امضای مستقیمی که نشان دهد سرآغاز شامل بیگ‌بنگ بوده، و نه نوع دیگری از آفرینش خودبه‌خودی تک شبه کهکشان خودمان، نخواهد بود.

به خاطر بیاورید که لُمت تنها و تنها بر پایه‌ی اندیشیدن درباره‌ی نسبیت عام اینشتین بود که ادعای خود در مورد بیگ‌بنگ را مطرح کرد. می‌توانیم تصور کنیم که هر تمدن پیشرفته‌ای در آینده‌ی دور قوانین فیزیک، الکترومغناطیس، مکانیک کوانتومی، و نسبیت عام را کشف خواهد کرد. بنابراین، آیا لُمتی در آینده‌ی دور پیدا خواهد شد تا بتواند ادعای مشابه‌ای کند؟

نتیجه‌گیری لُمت مبنی بر این که گیتی خودمان باید در بیگ‌بنگ آغاز شده باشد ناگزیر بود، ولی بر پایه‌ی فرضی صورت گرفت که برای گیتی مشاهده‌پذیر آینده‌ی دور، دیگر درست نخواهد بود. گیتی‌ای که در آن ماده به یکنواختی در تمام جهت‌ها کشیده شده، گیتی‌ای که همسانگرد و همگن است، به دلایلی که لُمت و سرانجام اینشتین بدان پی‌بردند، نمی‌تواند ایستا باشد. با این حال، راه حل کاملاً خوب برای معادلات اینشتین در مورد تک سیستمی سنگین که در احاطه‌ی انگار فضای تهی است وجود دارد. گذشته از هر چیز، اگر چنین راه حلی وجود نداشت، آن‌گاه نسبیت عام نمی‌توانست اجسام منزوی مانند ستارگان نوترونی، یا سرانجام، سیاهچاله‌ها را توصیف کند.

توزیع‌های بزرگ جرم، مانند کهکشان خودمان، ناپایدارند، پس سرانجام شبه کهکشان‌مان خودش رمبش پیدا خواهد کرد تا سیاهچاله‌ای سنگین درست کند. چنین چیزی با راه حلی ایستا برای معادله‌ی اینشتین به نام راه حل شِوارتسشیلد ارائه می‌شود. ولی چارچوب زمانی رمبیدن کهکشان خودمان برای تشکیل سیاهچاله‌ای سنگین بسیار بیش‌تر از چارچوب زمانی بقیه‌ی گیتی است تا ناپدید شود. بدین ترتیب، تصور این که کهکشان خودمان توانسته برای یک تریلیون سال در فضای تهی بدون رمبشی چشمگیر و بدون نیاز به گیتی انبساط‌یابنده در پیرامون آن، وجود داشته باشد، گویا برای دانشمندان آینده طبیعی خواهد بود.

البته، گمانه‌زنی‌ها درباره‌ی آینده آشکارا دشوارند. راستش الان که دارم این را می‌نویسم در مجمع جهانی اقتصاد در داووس سویس هستم، جایی پر از اقتصاددانانی که پیوسته مشغول پیش‌بینی رفتار بازارهای آینده‌اند و هنگامی که معلوم شود پیش‌بینی‌هایش کاملاً غلط از آب درآمد به بازبینی آن می‌پردازند. به طور کلی‌تر، به نظرم هر پیش‌بینی در مورد آینده‌ی دور، و حتا آینده‌ی نه چندان دور علم و تکنولوژی، حتا از پیش‌بینی‌های آن "دانش ملال‌آور" دست و پا شکسته‌تر است. راستش، هرگاه از من درباره‌ی آینده‌ی نزدیک علم یا این‌که دست‌آورد بزرگ بعدی چیست، می‌پرسند، همواره می‌گویم که اگر می‌دانستم، همین الان داشتم رویش کار می‌کردم!

بدین ترتیب، دوست دارم به تصویری فکر کنم که در این فصل به عنوان ارائه داده‌ام؛ مانند آن تصویری از آینده که سومین شبخ در سرود کریسمس دیکنز ارائه می‌کند. شاید این همان آینده‌ای است که هست. گذشته از هر چیز، چون هیچ ایده‌ای نداریم که انرژی تاریک تراوش‌کننده در فضای تهی چیست، بنابراین نمی‌توانیم یقین داشته باشیم که مانند ثابت کیهان‌شناختی اینشتین رفتار کند و ثابت بماند. اگر چنین نکند، آینده‌ی گیتی بسیار متفاوت خواهد بود. چه بسا انبساط به شتاب‌گیری ادامه ندهد، بلکه در عوض شاید یک بار دیگر در طول زمان آهسته شود به طوری که کهکشان‌های دوردست دیگر ناپدید نشود. به گونه‌ای دیگر، شاید نوعی کمیت‌های مشاهده‌پذیر تازه که هنوز قادر به آشکارسازی‌شان نیستیم، پیدا شوند که چه بسا مدرکی در اختیار اخترشناسان آینده بگذارد مبنی بر این که زمانی بیگ‌بنگ رخ داده است.

به هر ترتیب، بر پایه‌ی هر چیزی که امروزه درباره‌ی گیتی می‌دانیم، آینده‌ای را که ترسیم کرده‌ام شدنی‌ترین است، و در نظرگرفتن این که آیا منطق، خردورزی، و داده‌های تجربی باز هم می‌توانند به طریقی دانشمندان آینده را به سوی دستیابی به درک سرشت زیربنایی درست گیتی خودمان سوق دهند، یا این که برای همیشه در پس افق ناپیدا خواهد ماند، اندیشه‌ای دلفریب است. دانشمندی تیزهوش در آینده که به کاویدن سرشت بنیادین نیروها و ذرات سرگرم است، شاید به تصویری نظری دست یابد که پیشنهاد کند تورم باید رخ داده باشد، یا این که باید در فضای تهی انرژی نهفته باشد، که توصیف کامل‌تری به دست دهد که چرا هیچ کهکشانی در افق قابل دید وجود ندارد. ولی من چندان در این مورد خوشبین نیستم.

هر چه باشد، فیزیک علمی است تجربی، که با تجربه و مشاهده پیش برده می‌شود. اگر ما با مشاهده و رصد به وجود انرژی تاریک پی‌نبرده بودیم، تردید دارم که نظریه‌پردازی چنان پر دل و جرأت پیدا می‌شد که بودن امروزین آن را پیشنهاد کند. و در حالی که همچنین ممکن است وجود ردپاهایی بگیرنگیر را تصور کنیم که شاید پیشنهاد کنند ایرادی در تصویر تک‌کهکشانی در گیتی ایستای بدون بیگ‌بنگ وجود دارد - شاید نوعی مشاهده‌ی فراوانی‌های عنصری که انگار نامنظم‌اند - بر این باورم که تیغ اکام خواهد گفت که تصویر درست همان ساده‌ترین تصویر است، و این که شاید مشاهدات نامنظمی را بتوان با برخی اثرات موضعی توضیح داد.

از آن هنگامی که باب شرر و من چالشی را پیش کشیدیم که گرچه دانشمندان آینده از داده‌ها و مدل‌های ابطال‌پذیر استفاده خواهند کرد - همان سرمشق علم درست - ولی در این فرایند به تصویری نادرست از گیتی دست خواهند یافت، بسیاری از همکارانمان کوشیده‌اند راه‌هایی را برای کاویدن این نکته پیشنهاد کنند که آیا در آینده گیتی به واقع انبساط خواهد یافت یا خیر. من نیز می‌توانم به آزمایش‌هایی ممکن فکر کنم. ولی نمی‌توانم ببینم که آن‌ها از انگیزتار مناسبی برخوردار باشند.

مثلا، لازم است که ستارگان درخشان را از کهکشان خودمان بیرون اندازید و آن‌ها را به ژرفنای فضا بفرستید، یک میلیارد و خرده‌ای سال صبر کنید تا بترکند، و بکوشید که سرعت‌های پسروی آن‌ها را به صورت تابعی از مسافتی که پیش از ترکیدن می‌روند رصد کنید تا ببینیم آیا از انبساط ممکن فضا کمکی می‌گیرند یا خیر. انتظاری بی‌جا است، ولی حتماً اگر بتوانیم به طریقی آن را راست و ریس کنیم، نمی‌توانم تصور کنم که بدون داشتن دست کم نوعی انگیزه‌ی دیگر برای استدلال بر سر گیتی انبساط‌یابنده، بنیاد ملی علم آینده عملاً بر تأمین مالی این آزمایشگاه صحنه بگذارد. و اگر به شیوه‌ای ستارگان کهکشان خودمان به طور طبیعی بیرون انداخته شوند و هنگام حرکت به سوی افق آشکاپذیر باشند، برای من معلوم نیست که آیا می‌توان رصد کردن شتاب‌گیری نامنظم برخی از این اجسام را با پیشنهادی جسورانه و عجیب بر حسب گیتی انبساط‌یابنده‌ی در سیطره‌ی انرژی تاریک تفسیر کرد یا خیر.

ما می‌توانیم خودمان را خوش اقبال تصور کنیم که در دوران کنونی به سر می‌بریم. یا آن گونه که باب و من در یکی از مقالاتمان نوشتیم: "ما در زمانی بسیار ویژه زندگی می‌کنیم ... تنها زمانی که می‌توانیم با رصد تأیید کنیم که در دورانی بسیار ویژه به سر می‌بریم!"

البته تا حدی شوخی می‌کردیم، ولی به طور جدی می‌شود گفت که می‌توان از بهترین تجهیزات رصدی و ابزارهای نظری در دسترس استفاده کرد و با وجود این به تصویری کاملاً نادرست از گیتی بزرگ‌مقیاس دست یافت.

به هر روی باید خاطر نشان کنم که گرچه داده‌های ناکامل می‌توانند به تصویری نادرست منجر شود، این به مراتب متفاوت از تصویر نادرست به دست آمده از سوی کسانی است که بر آنند تا برای ابداع تصویری از آفرینش که گویی با مدرک واقعیت ناهمخوانی دارد مثلاً، معتقدان به زمین جوان چشم خود را بر داده‌های تجربی ببندند، یا آنانی که بر الزام وجود چیزی پافشاری می‌کنند که برای آن اصولاً هیچ مدرک مشاهده‌پذیری وجود ندارد مانند هوشی فرازمینی تا دیدگاه خود درباره‌ی آفرینش را با تعصبات پیش فرض خود سازگار کنند، یا بدتر از آن، کسانی که به داستان‌های پریان درباره‌ی طبیعت دست می‌یازند که پیش از این که حتماً بتوان پرسشی را پیش کشید، پاسخ را در چننه دارند. دست کم دانشمندان آینده برآوردهای خود را بر پایه‌ی بهترین شواهدی که در دسترس دارند بنا خواهند گذارد، و تشخیص خواهند داد، همان گونه که همگی ما، یا دست کم دانشمندان چنین تا مدرک تازه شاید باعث شود آنان تصویر زیربنایی خود از واقعیت را تغییر دهند.

از این لحاظ، افزودن این نکته ارزشمند است که چه بسا حتا امروز هم ما چیزی را از دست می‌دهیم که شاید اگر ۱۰ میلیارد سال پیش می‌زیستیم مشاهده پذیر می‌بود یا شاید اگر در ۱۰۰ میلیارد سال آینده به سر می‌بردیم می‌توانستیم آن را ببینیم. به هر ترتیب، باید تأکید کنم که تصویر بیگ‌بنگ از نظر داده‌های حاصل از هر حوزه‌ای چنان مستحکم است که نمی‌شود اثبات کرد در ویژگی‌های کلی نامعتبر است. البته شاید با این داده‌های جدید به سادگی، نوعی درک تازه و جزئی از جزئیات ظریف گذشته‌ی دور یا آینده‌ی دور، یا از خاستگاه بیگ‌بنگ و یگانگی احتمالی آن در فضا، سر برآورد. راستش، امیدوارم که چنین شود. آموزه‌ای که می‌توانیم از آینده‌ی ممکن پایان حیات و هوش در گیتی فرا بگیریم آن است که در ادعاهایمان نیازمند داشتن نوعی انسانیت کیهانی باشیم، حتا اگر چنین چیزی برای کیهان‌شناسان دشوار باشد.

به هر جهت، سناریویی که الان مطرح کردم، دارای تقارن شاعرانه‌ی مشخصی است، حتا اگر به همان اندازه تراژیک باشد. در آینده‌ی دور، دانشمندان به تصویری از گیتی دست خواهند یافت که گوش به فرمان همان تصویری خواهد بود که ما در آغاز سده‌ی پیش در اختیار داشتیم، که خود سرانجام در نقش تسریع‌کننده‌ی واری‌های ما عمل کرد که به انقلاب‌های نوین در کیهان‌شناختی انجامید. کیهان‌شناسی به نقطه‌ی آغاز خود باز خواهد گشت. برای خود من این نکته‌ای است برجسته، حتا اگر تأییدی باشد بر دیدگاه برخی افراد مبنی بر پوچی غایی لحظه‌ای کوتاه که زیر آفتاب به سر می‌بریم.

فارغ از هر چیز، مسئله‌ی بنیادین ترسیم‌شده با پایان ممکن کیهان‌شناسی در آینده آن است که ما تنها یک گیتی برای آزمایش داریم - همانی که در آن به سر می‌بریم. بدین ترتیب ما، هم به آن چه که می‌توانیم اندازه بگیریم و هم به تفسیرهایمان از داده‌ها.

اگر گیتی‌های چندگانه‌ای وجود داشته باشند، و اگر بتوانیم به شیوه‌ای بیش از یکی را بکاویم، شاید شانس بهتری داشته باشیم تا بدانیم کدام یک از این مشاهده‌ها به راستی با معنایند و بنیادین، و کدام یک تنها ناشی از حادثه‌ای‌اند در شرایط ما.

همان گونه که بعداً خواهیم دید، در حالی که امکان‌پذیری دوم نامحتمل است، یکمی نیست، و دانشمندان با آزمایش‌های تازه و پیشنهادات جدید می‌کوشند درک ما را از ویژگی‌های نامنتظره و شگفت‌انگیز گیتی خودمان بالاتر برند.

با این حال پیش از جلو رفتن، شاید مناسب باشد با ارائه‌ی تصویر شاعرانه‌تر دیگری از آینده‌ی احتمالی که در اینجا ارائه کرده‌ام و چیزی که به ویژه با موضوع این کتاب ارتباط دارد، این بحث را خاتمه دهم. من پاسخی از کریستوفر هیچنز را برای سناریویی که شرح دادم پیش می‌کشم. همان گونه که او گفت "ای کسانی که می‌اندیشید که زندگی کردن ما در گیتی‌ای از چیز بسیار شگرف است، درنگ کنید. هیچی در آستانه‌ی برخورد شاخ به شاخ با ماست!"

فصل ۸: حادثه‌ای بزرگ؟

با فرض گرفتن یک طرح، آدمیان به اجسامی در آزمایشی سنگدلانه تبدیل می‌شوند که در آن ما آفریده می‌شویم تا بیمار باشیم و برای بهبودی به فرمان‌هایی گوش فرا دهیم.

کریستوفر هیچنز

مداربندی مغز ما آن گونه است که می‌اندیشیم هر چیزی برایمان رخ می‌دهد برجسته است و معنی‌دار. خواب می‌بینیم که دست دوستان می‌شکند و فردایش می‌فهمیم که مچ پایش پیچیده. عجب! مسحورکننده! نهان‌بین؟

ریچارد فاینمن فیزیکدان خوش داشت سراغ آدم‌ها برود و بگوید: " نمی‌دونید امروز چه بلایی سرم اومد! باور نمی‌کنید!" و هنگامی که آنان می‌پرسیدند که چه شده، او می‌گفت، "مطلقاً هیچی!" منظور او این بود که وقتی چیزی مانند رویایی که در بالا بیان کردم رخ می‌دهد، مردم به آن معنایی می‌بخشند. ولی انبوهی از رویاهای چرندی را فراموش می‌کنند که مطلقاً هیچ چیزی را پیش‌بینی نمی‌کند. با فراموش کردن این‌که در بیش‌تر مواقع چیز قابل توجهی در طول روز رخ نمی‌دهد، هنگامی که چیزی نامعمول رخ می‌دهد، برداشتی غلط از سرشت احتمال می‌کنیم: در بین تعداد زیادی از رویدادها، از سر حادثه و تصادف چیزی نامعمول می‌تواند رخ دهد.

این چه ربطی به گیتی دارد؟

تا کشف اخیر که، به گونه‌ای توضیح‌ناپذیر، انرژی فضای تهی نه تنها صفر نیست، بلکه مقداری دارد که ۱۲۰ مرتبه‌ی بزرگی کوچک‌تر از برآوردی است که گفتم بر اساس ایده‌هایی از فیزیک ذرات است، حکمت متداول در بین فیزیکدانان آن بود که هر پارامتر بنیادی که در طبیعت اندازه می‌گرفتند معنا دارد. منظورم این است که، به طریقی، بر پایه‌ی اصول بنیادین، ما سرانجام شاید بتوانیم مثلاً بفهمیم که چرا گرانش از دیگر نیروهای طبیعت بسیار ضعیف‌تر است، چرا پروتون ۲۰۰۰ بار سنگین‌تر از الکترون است، و چرا سه خانواده از ذرات بنیادین داریم. به عبارت

دیگر، به محض این که توانستیم از قوانین بنیادین حاکم بر نیروهای طبیعت، در کوچکترین مقیاس‌هایش سر در بیاوریم، همه این رازهای کنونی به عنوان پیامدهای این قوانین پرده از چهره بر می‌دارند.

از سوی دیگر، استدلال آیینی محض، می‌تواند با این بیان که هر ثابت بنیادی به این دلیل با معناست که گویا در طرحی آسمانی برای گیتی خودمان، برای هر کدام ارزشی برگزیده، می‌تواند بامعنا بودن را به حد اعلا برساند. در این مورد، هیچ چیز از سر حادثه نیست، ولی خب با همان مفهوم، هیچ چیز پیش‌بینی یا عملاً توضیح داده نمی‌شود. این استدلالی است برآمده از حکم و فرمان، که به جایی نمی‌رسد و چیز سودمندی درباره‌ی قوانین فیزیکی حاکم بر گیتی ارائه نمی‌کند، مگر شاید آرامش خاطری برای فرد باورمند.

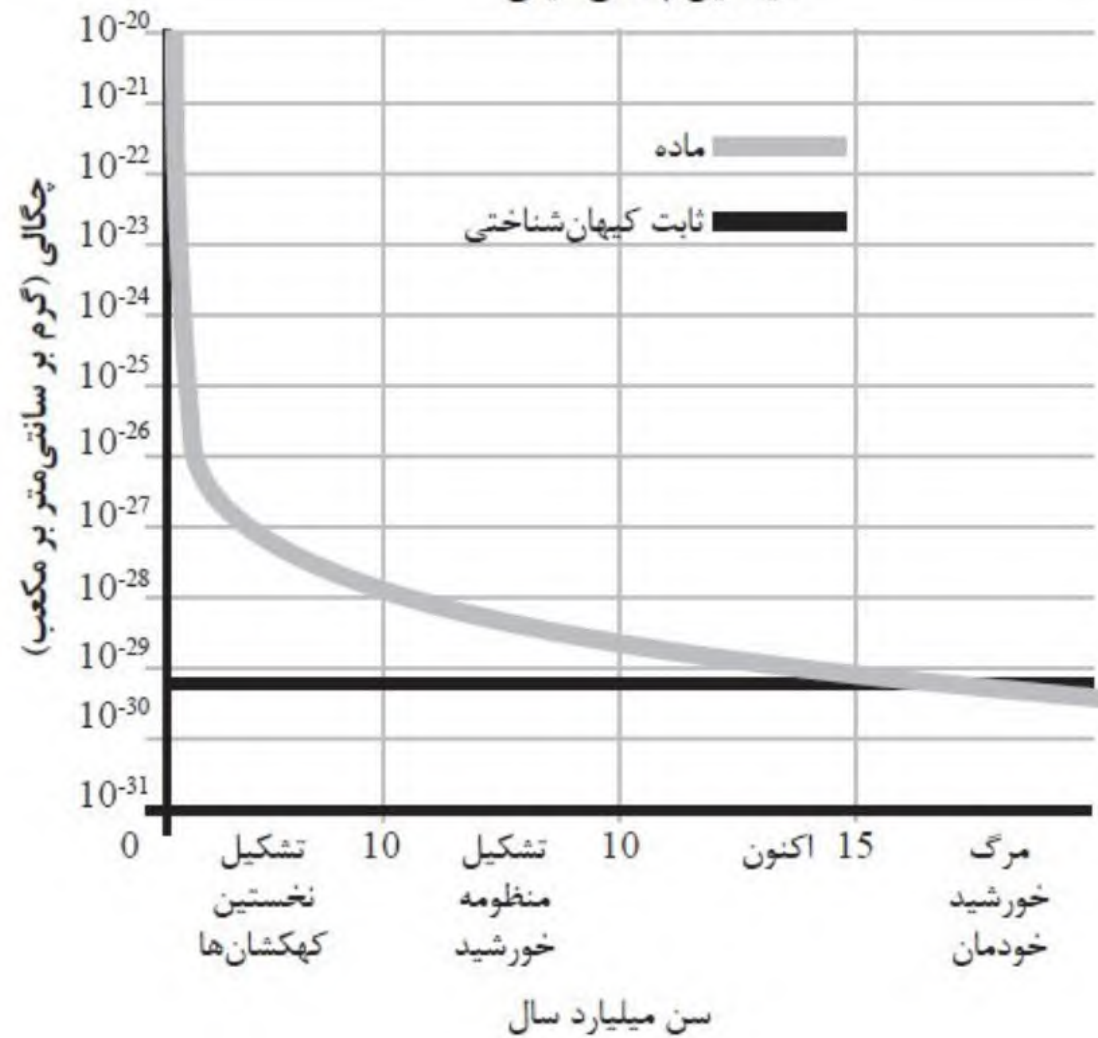
ولی این کشف که فضای تهی دارای انرژی است، به بازنگری در اندیشه‌ی بسیاری از فیزیکدانان انجامید، که چه چیز در طبیعت الزامی است و چه چیزی می‌تواند تصادفی باشد.

عامل تسریع‌کننده‌ی این برداشت تازه، برآمده از استدلالی است که در فصل گذشته مطرح کردم: انرژی تاریک به این دلیل امروز قابل اندازه‌گیری است که "اکنون" تنها زمانی است در طول پیشینه‌ی گیتی که در آن انرژی در فضای تهی قابل قیاس با چگالی انرژی در ماده است.

چرا ما باید در چنین زمان "ویژه‌ای" از تاریخ گیتی به سر بریم؟ راستش، این در تقابل با هر آن چیزی است که از زمان کوپرنیکوس، به علم شخصیت بخشیده است. ما آموخته‌ایم که زمین مرکز منظومه‌ی خورشیدی نیست، که خورشید ستاره‌ای است در لبه‌ی بیرونی منزوی کهکشانی که تنها یکی از ۱۰۰ میلیارد کهکشان در گیتی مشاهده‌پذیر است. ما "اصل کوپرنیکی" را تمام و کمال پذیرفته‌ایم که در مورد مکان و زمان خودمان در گیتی هیچ چیز ویژه‌ای وجود ندارد.

ولی با آشکارشدن این که انرژی فضای تهی چه هست، انگار داریم در زمان ویژه‌ای به سر می‌بریم. نمودار زیر از "تاریخچه‌ی زمان" حق مطلب را ادا می‌کند:

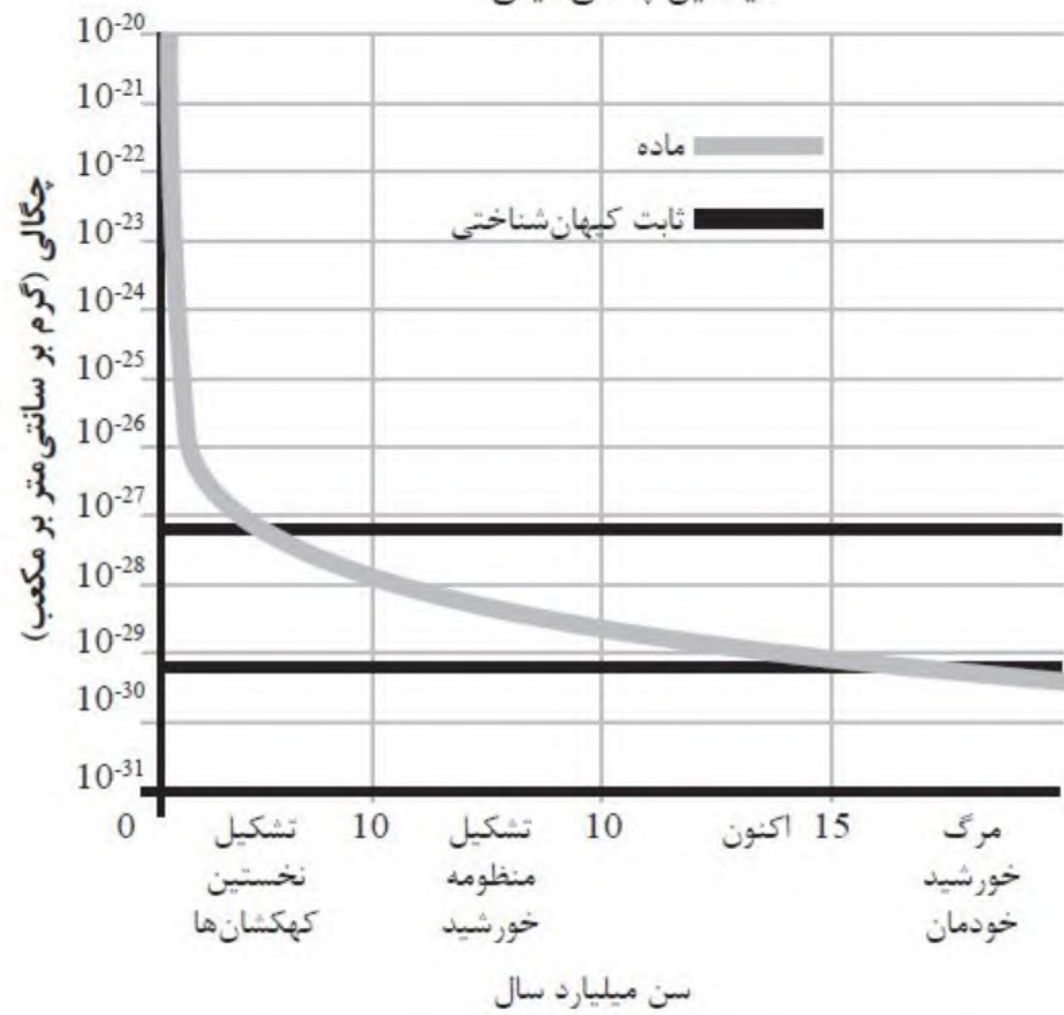
میانگین چگالی گیتی



دو منحنی بالا بیانگر چگالی انرژی همه‌ی ماده در گیتی، و چگالی انرژی فضای تهی با این فرض که ثابت کیهان‌شناختی است به صورت تابعی از زمان هستند. همان طور که می‌توانید ببینید، با انبساط گیتی، چگالی ماده افت می‌کند با هرچه زیادتر شدن فاصله‌ی بین کهکشان‌ها و بنابراین "رقیق‌شدن" ماده، که بنا به انتظار است. با این حال، چگالی انرژی در فضای تهی ثابت می‌ماند، چون، شاید بگوییم، در فضای تهی چیزی برای رقیق‌شدن نیست! یا همان طور که گاهی کمی جدی‌تر می‌گوییم، گیتی با انبساط یافتن روی فضای تهی کار انجام می‌دهد. این دو منحنی به نسبت در نزدیکی‌های دوران کنونی تقاطع می‌یابند، که سرچشمه‌ی همزمانی بیان شده است.

اکنون ببینیم اگر انرژی فضای تهی، مثلاً، ۵۰ برابر بیش‌تر از مقداری بود که امروز برآورد می‌کنیم، چه پیش می‌آمد. در آن صورت، بنا به شکل زیر، دو منحنی در زمان زودتری تقاطع پیدا می‌کردند.

میانگین چگالی گیتی



زمانی که این دو منحنی به ازای مقدار زیادتری از انرژی فضای تهی آمده در بالا تقاطع می‌یابند، زمانی است که نخستین کهکشان‌ها شکل گرفتند، حدود یک میلیاردسال پس از بیگ‌بنگ. ولی به خاطر بیاورید که انرژی فضای تهی به طور گرانشی دافعه‌ای است. اگر این انرژی پیش از زمان تشکیل کهکشان بر انرژی گیتی سیطره پیدا کرده بود، نیروی دافعه‌ای‌اش به معنای دقیق کلمه بیش‌تر از نیروی گرانش ربایشی عادی می‌شد که ماده را کنار هم نگه‌می‌دارد، و هرگز کهکشانی شکل نمی‌گرفت!

ولی اگر کهکشان‌ها تشکیل نشده بودند، ستاره‌ای هم شکل نگرفته بود، و اگر ستارگان تشکیل نشده بودند، سیاره‌ای هم شکل نگرفته بود، و اگر سیارات تشکیل نشده بودند، اخترشناسی هم شکل نگرفته بود.

پس، در گیتی‌ای با انرژی فضای تهی تنها ۵۰ برابر بیش‌تر از چیزی که مشاهده می‌کنیم، گویا دیگر کسی امروز وجود نمی‌داشت تا دست به اندازه‌گیری انرژی بزند.

آیا این بیانگر چیزی می‌تواند باشد؟ اندکی پس از کشف گیتی شتاب‌گیرنده‌ی خودمان، استیون واینبرگ فیزیکدان، بر پایه‌ی استدلالی که یک دهه پیش‌تر توسعه داده بود - پیش از کشف انرژی تاریک - پیشنهاد کرد که بدین ترتیب می‌توان "مسئله‌ی همزمانی" را حل کرد، اگر مقدار ثابت کیهان‌شناختی‌ای را که امروز اندازه می‌گیریم به شیوه‌ای "بشرنیا‌دانه" برگزیده شده باشد. یعنی، اگر به طریقی گیتی‌های چندگانه‌ای وجود داشته باشند، و در هر گیتی مقدار انرژی فضای تهی بر پایه‌ی نوعی توزیع احتمالاتی در بین تمام انرژی‌های ممکن، مقداری تصادفی را به خود بگیرد، آن‌گاه حیات به آن صورتی که ما می‌شناسیم، تنها می‌تواند در گیتی‌هایی فرگشت پیدا کند که در آن‌ها این مقدار چندان تفاوتی با چیزی که ما اندازه می‌گیریم نداشته باشد. پس شاید ما ببینیم در گیتی‌ای هستیم با انرژی ناچیز فضای تهی، چون نمی‌توانیم خودمان را در گیتی دیگری با مقداری بسیار زیادتر پیدا کنیم. به زبان دیگر، پی‌بردن به این که ما در گیتی‌ای زندگی می‌کنیم که در آن می‌توانیم زندگی کنیم به آن اندازه هم شگفت‌انگیز نیست.

با این حال، این استدلال تنها زمانی مفهوم ریاضی پیدا می‌کند که امکان‌پذیری سر برآوردن گیتی‌های چندگانه‌ی گوناگون وجود داشته باشد. سخن گفتن از گیتی‌های چندگانه‌ی گوناگون انگار تناقض‌آمیز است. هر چه باشد، به طور سنتی مفهوم گیتی هم‌معنای "هر آن‌چه که هست" شده است.

با این حال، به تازگی گیتی معنایی ساده‌تر و مسلماً خردمندانه‌تر پیدا کرده است. اکنون رسم‌شده که گیتی "خودمان" را دربرگیرنده‌ی کلّیتی از هر آن‌چه که می‌توانیم اکنون ببینیم و هر آن‌چه که اصولاً خواهیم توانست ببینیم در نظر بگیریم. بنابراین، از نظر فیزیکی، گیتی ما دربرگیرنده‌ی هر چیزی است که یا زمانی بر ما تأثیر داشته است یا اصولاً خواهد داشت.

هنگامی که این تعریف را برای گیتی برگزینیم، امکان‌پذیری دیگر "گیتی‌ها" - محدوده‌هایی که از لحاظ علیتی همواره از ما جدا بوده‌اند یا همواره خواهند بود، مانند جزایری جداشده از هر گونه ارتباطی با هم توسط اقیانوسی از فضا - دست کم به طور اصولی، شدنی می‌شود.

همان طور که گوشزد کرده‌ام، گیتی ما چنان بزرگ و وسیع است که پدیدآمدن چیزی که امکان‌ناپذیر نباشد تقریباً در جایی درون آن حتمی است. رویدادهای نادر همیشه رخ می‌دهند. شاید از خود بپرسید که آیا همین اصل برای امکان‌پذیری گیتی‌های چندگانه، یا آن گونه که معروف است بسگیتی، نیز به کار می‌رود یا خیر. معلوم شده که وضعیت نظری عملاً مستحکم‌تر از یک امکان‌پذیری محض است. تعدادی از ایده‌های اصلی که امروزه بیش‌تر فعالیت‌های کنونی در نظریه‌ی ذرات را به پیش می‌رانند، نیازمند بسگیتی‌اند.

به این دلیل تمایل بر تأکید بر این نکته دارم که در گفتگو با کسانی که نیاز به آفریننده را احساس می‌کنند، وجود بسگیتی به صورت گریزگاهی در نظر گرفته می‌شود که گویا فیزیکدانان برای شانه خالی کردن از پاسخ‌ها - یا شاید پرسش‌ها - آن را در خیال خود پرورانده‌اند. شاید در نهایت چنین باشد، ولی اکنون چنین نیست. تقریباً هر امکان‌پذیری منطقی که می‌توانیم درباره‌ی بسطدادن قوانین فیزیک بدان صورتی که می‌دانیم، در مقیاس‌های کوچک، به نظریه‌ای همه‌جانبه‌تر تصور کنیم، بیانگر آن است که، در مقیاس‌های بزرگ‌تر، گیتی خودمان یگانه نیست.

پدیده‌ی تورم، شاید نخستین، و شاید بهترین، دلیل اساسی را فراهم می‌کند. در تصویری تورمی، در فازی که طی آن انرژی عظیمی در مدتی کوتاه بر محدوده‌ای از گیتی سیطره دارد، این محدوده شروع به انبساط تصاعدی می‌کند. در نقطه‌ای، با رخدادن گذار فاز درون این محدوده و آسایش‌یافتن میدان درون آن به مقدار انرژی حقیقی و کم‌ترش، محدوده‌ای کوچک درون این "خلأ دروغین" می‌تواند از تورم بیرون رود؛ بنابراین انبساط درون این محدوده از تصاعدی بودن دست می‌کشد. ولی فضای میان چنین محدوده‌هایی به انبساط تصاعدی ادامه خواهد داد. بدین ترتیب در هر زمانی، تقریباً همه‌ی فضا درون محدوده‌ای تورم‌یابنده قرار می‌گیرد، مگر گذار فاز در سرتاسر فضا تکمیل شود. و محدوده‌ی تورم‌یابنده آن محدوده‌هایی را که نخست از تورم بیرون می‌روند، با فواصلی تقریباً تصورناشدنی از هم جدا خواهد کرد. مانند این می‌ماند که لاوا از آتشفشان بیرون می‌زند. برخی سنگ‌ها خنک و سفت می‌شوند، ولی برخی سنگ‌ها با شناوری در دریایی از ماگمای مایع از یک‌دیگر دورتر خواهند شد.

وضعیت حتا از این هم می‌تواند شگرف‌تر باشد. در ۱۹۸۶، آندری لینده که همراه با آلن گوث یکی از معماران اصلی نظریه‌ی تورمی نوین بوده است، به عرضه و واریسی سناریوی حتا عمومی‌تری پرداخت. کیهان‌شناس روس نوآور دیگری به نام آلکس ویلنکین نیز در آمریکا از جنبه‌ای همین را پیش‌بینی کرده بود. هم لینده و هم ویلنکین از همان اعتماد درونی متداول در بین فیزیکدانان بزرگ روس برخوردار بودند، ولی با پیشنهادی کاملاً متفاوت. پیش از مهاجرت به آمریکا پس از فروپاشی اتحاد شوروی، لینده در مکتب قدیمی فیزیک شوروی پرورش یافته بود. او که فردی بود خوش فکر، بی‌پروا، و شوخ‌طبع، پس از آن نیز به تسلط بر بیش‌تر "کیهان‌شناسی ذره‌ای نظری" ادامه داد. ویلنکین مدت‌ها پیش، قبل از فیزیکدان شدن، مهاجرت کرده و در

آمریکا به انواع و اقسام کارها پرداخته بود، از جمله نگهبان شب در هنگام تحصیل. و با آن که همواره به کیهان‌شناسی علاقه داشت، از سر تصادف برای دوره‌ی دکتری به دانشگاهی اشتباه رفت و روی پایان‌نامه‌ای در فیزیک ماده‌ی چگال - فیزیک مواد - کار کرد. سپس او شغلی را به عنوان پژوهشگر پست‌داک در دانشگاه کیس وسترن ریزرو پیدا کرد، جایی که بعدها من رئیسش شدم. در این دوره، او از سرپرستش، فیلیپ تیلور، پرسید که آیا می‌تواند علاوه بر پروژه‌های تخصیص‌یافته، چند روزی در هفته را روی کیهان‌شناسی کار کند یا خیر. فیلیپ بعدها به من گفت که حتا با این کار پاره وقت، آکس پر بهره‌ترین پست‌داکی بوده که او تا به حال داشته.

باری، چیزی که لینده فهمید آن بود که با آن که افت و خیزهای کوانتومی طی تورم می‌توانند در اغلب اوقات میدان پیش‌برنده‌ی تورم را به سوی پایین‌ترین حالت انرژی خود ببرند و بدین ترتیب برون‌رفتی جالب را فراهم کنند. همواره این امکان هست که، در برخی محدوده‌ها، افت و خیزهای کوانتومی میدان را به سوی انرژی‌های بیش‌تر برانند، و بنابراین آن را از مقداری که در آن تورم پایان می‌گیرد دور کنند، به طوری که تورم با همان شدت ادامه خواهد یافت. چون چنین محدوده‌هایی در دوره‌های زمانی بلندتر انبساط پیدا خواهند کرد، فضای به مراتب بیش‌تری در حال تورم هست تا فضایی که تورم نمی‌یابد. درون این محدوده‌ها، افت و خیزهای کوانتومی دوباره برخی از زیرمحدوده‌ها را به برون‌رفت از تورم پیش می‌رانند و بدین ترتیب انبساط تصاعدی را فرومی‌نشانند، ولی باز هم محدوده‌های هست که در آن افت و خیزهای کوانتومی باعث می‌شوند که تورم حتا مدتی درازتر پابرجا بماند. و الخ.

این تصویر، که لینده به آن "تورم آشوبناک" گفت، به راستی مانند سیستم‌های آشوبناک آشنا تر روی زمین است. مثلاً هلیم جوشان را در نظر بگیرید. در هر لحظه‌ای حبابی از گاز می‌تواند از سطح فوران کند، که نمودی است از محدوده‌هایی که در آن مایع در دمای زیاد گذار به بخار به پایان رسانده است. ولی میان حباب‌ها، هلیم در حال غلیان و جریان‌یافتن است. در مقیاس‌های بزرگ نظم و ترتیبی هست - همواره حباب‌هایی از جایی بیرون می‌زنند. ولی به طور موضعی، بسته به جایی که می‌نگریم، اوضاع کاملاً متفاوت است. پس این در وضعیت یک گیتی تورم‌یابنده‌ی آشوبناک است. اگر اتفاقاً کسی در "حباب" حالت پایه‌ی راستینی قرار گیرد که دست از تورم‌یافتن برداشته، گیتی وی با توده‌ی وسیع فضای پیرامونش، که هنوز مشغول تورم‌یافتن است، تفاوت بسیار پیدا می‌کند.

در این تصویر، تورم جاودانه است. برخی محدوده‌ها، به واقع بیش‌تر فضا، تا ابد به تورم‌یافتن ادامه خواهند داد. محدوده‌هایی که از تورم بیرون می‌روند، تبدیل به گیتی‌های جداگانه و مجزای علیتی خواهند شد. می‌خواهم تأکید کنم که اگر تورم جاودانه باشد بسگیتی ناگزیر است، و تورم جاودانه به مراتب محتمل‌ترین امکان‌پذیری در بیش‌تر، اگر نه همه‌ی سناریوهای تورم‌یابنده به

شمار می‌رود. همان گونه که لینده در مقاله‌ی ۱۹۸۶ خود نوشت:

این پرسش قدیمی که چرا گیتی خودمان تنها گیتی ممکن است، اکنون با پرسشی جایگزین می‌شود [که] در کدام نظریه‌ها وجود کوچک‌گیتی‌هایی از نوع خودمان ممکن [هستند]؟ این پرسشی است کماکان بسیار دشوار، ولی بسیار ساده‌تر از پرسش پیشین است. به نظر ما، اصلاح دیدگاه نسبت به ساختار کلی گیتی و مکان ما در جهان یکی از مهم‌ترین پیامدهای توسعه‌ی سناریوی گیتی تورمیابنده است.

همان گونه که لینده گوشزد کرد، و از آن هنگام آشکار شد، این تصویر نیز امکان‌پذیری تازه‌ای را پیش روی فیزیک قرار می‌دهد. به سادگی می‌شود حالت‌های کوانتومی کم‌انرژی ممکن زیادی از گیتی در طبیعت وجود داشته باشند که گیتی تورمیابنده شاید سرانجام به یکی از آن‌ها واپاشی کند. چون پیکربندی حالت‌های کوانتومی این میدان‌ها در هر یک از چنین محدوده‌هایی متفاوت خواهد بود، در نتیجه خصلت قوانین بنیادی فیزیک در هر محدوده/گیتی می‌تواند به گونه‌ای متفاوت بروز کند.

در این جا نخستین "چشم‌انداز" که در آن استدلال بشر بنیاد، که پیش‌تر بیان شد، می‌توانسته نقش خود را بازی کند، سر برآورد. اگر حالت‌های گوناگون زیادی وجود داشته باشند که گیتی خودمان می‌توانسته پس از تورم در آن‌ها پایان بگیرد، شاید همانی که درونش به سر می‌بریم، گیتی‌ای که در آن انرژی خلأ ناصفر به حدکافی کوچکی هست که کهکشان‌ها می‌توانستند شکل بگیرند، تنها یکی از اعضای خانواده‌ای بالقوه نامتناهی باشد و آنی که برای دانشمندان کنج‌کاو برگزیده شده چون از کهکشان‌ها، ستارگان، سیارات، و زندگی پشتیبانی می‌کند.

با این حال واژه‌ی "چشم‌انداز" برای نخستین بار در این مبحث پیدایش نشد. تبلیغ آن از سوی دستگاه بازاریابی بسیار کارآمدتری با نیرویی عظیم صورت گرفت که نظریه‌ی ذرات را در بیش از ربع قرن گذشته به پیش رانده است - نظریه‌ی ریسمان. نظریه‌ی ریسمان بر این پایه است که ذرات بنیادی از سازندگانی بنیادی‌تر ساخته شده‌اند، نه ذرات بلکه اجسامی که مانند ریسمان‌های مرتعش رفتار می‌کنند. همان طور که ارتعاش‌های زه ویولون می‌تواند نت‌های گوناگونی ایجاد کند، در این نظریه نیز انواع گوناگون ارتعاش‌ها اجسامی تولید می‌کنند که شاید، در اصل، مانند همه‌ی انواع گوناگون ذراتی بنیادی رفتار کنند که در طبیعت پیدا می‌کنیم. با این حال، نکته در آن است که وقتی این نظریه تنها در چهار بعد تعریف شود از نظر ریاضی سازگار نیست، بلکه برای معقول‌شدن نیازمند بعدهای بسیار بیش‌تری است. به سرعت آشکار نمی‌شود که بر سر دیگر بعدها چه می‌آید، و نیز معلوم نیست که برای تعریف‌کردن این نظریه، در کنار

ریسمان‌ها، دیگر چه اجسامی ممکن است با اهمیت باشند - تنها تعدادی از چالش‌های حل‌نشده‌ی زیادی که خود را نشان داده‌اند و مقدار از علاقه‌مندی ابتدایی به این ایده را کاسته‌اند.

این جا به بررسی موشکافانه‌ی نظریه‌ی ریسمان نمی‌پردازیم، و راستش بررسی موشکافانه به احتمال ناممکن است، چون اگر تنها یک چیز در بیست و پنج سال گذشته آشکار شده باشد، آن است که چیزی که رسماً نظریه‌ی ریسمان نامیده شد به وضوح چیزی است بسیار مفصل‌تر و پیچیده‌تر، و چیزی که سرشت و آرایش بنیادی‌اش هنوز هم یک راز به شمار می‌رود.

ما هنوز اصلاً نمی‌دانیم که آیا این ساختار نظری چشمگیر در عمل ربطی به دنیای واقعی دارد یا خیر. با وجود این، شاید تاکنون هیچ تصویر نظری به این اندازه با موفقیت در دانش جامعه‌ی فیزیک گسترده نشده باشد، بدون این که توانایی خود را در حل موفقیت‌آمیز حتی یک راز تجربی درباره‌ی طبیعت نشان داده باشد.

افراد بسیاری، جمله‌ی فوق را به عنوان انتقادی نسبت به نظریه‌ی ریسمان تلقی خواهند کرد، ولی گرچه در گذشته عنوان خرده‌گیر بر من نهاده شده است، در این جا قصد اصلی من چنین نیست، و در تعداد زیادی از سخنرانی‌ها و مناظره‌های عمومی با حسن نیتی که با دوستم برایان گرین، یکی هواداران اصلی نظریه‌ی ریسمان، درباره‌ی این موضوع داشته‌ام نیز قصدم چنین نبوده است. در عوض، بر این باورم که رهایی از شر هوچی‌گری عامه‌پسندانه به سادگی برای واقعیت‌سنجی مهم است. نظریه‌ی ریسمان دربرگیرنده‌ی ایده‌ها و ریاضیاتی خیره‌کننده است که شاید پرده از روی یکی از بنیادی‌ترین ناسازگاری‌ها در فیزیک نظری بردارد - ناتوانایی ما برای درآوردن نسبیت عام اینشتین به شکلی که با قوانین مکانیک کوانتومی در هم آمیزد تا به پیش‌بینی‌هایی خردمندانه درباره‌ی چگونگی رفتار گیتی در کوچکترین مقیاس‌هایش بینجامد.

من کتابی کامل را در این باره نوشته‌ام که چگونه نظریه‌ی ریسمان کوشیده است تا از پس این مسئله برآید، ولی برای منظور کنونی، تنها مختصری کفایت می‌کند. بیان پیشنهاد اصلی ساده است، گرچه پیاده‌سازی‌اش دشوار. در مقیاس‌های بسیار کوچک، متناسب با مقیاسی که شاید در آن با نخستین مسائل بین گرانش و مکانیک کوانتومی برخورد می‌کنیم، ریسمان‌های بنیادی می‌توانند به شکل حلقه‌های بسته در هم پیچیده شوند. در میان مجموعه‌ای از برانگیختگی‌های چنین حلقه‌های بسته‌ای، همواره یک برانگیختگی هست که دارای ویژگی‌های ذره‌ای است که، در نظریه‌ی کوانتومی، نیروی گرانش را حمل می‌کند - گراویتون. بدین ترتیب، نظریه‌ی کوانتومی چنین ریسمان‌هایی، در اصل، میدانگاهی را فراهم می‌کند که در آن شاید بتوان نظریه‌ی کوانتومی گرانش را بنا نهاد.

بی‌تردید، کشف شد که چنین نظریه‌ای شاید از پیش‌بینی‌های نامتناهی شرمسارانه‌ی ناشی از رهیافت‌های کوانتومی استاندارد به گرانش جلوگیری کند. با این حال، یک مشکل وجود داشت.

در ساده‌ترین نسخه‌ی این نظریه، جلوی چنین پیش‌بینی‌های نامتناهی را تنها در صورتی می‌توان گرفت که ریسمان‌های سازنده‌ی ذرات بنیادی مرتعش باشند، نه تنها در سه بعد فضا و یک بعد زمان که با آن آشناییم، بلکه در بیست و شش بعد!

شاید توقع داشته باشید چنین جهشی در پیچیدگی و، شاید، دل به دریازدنی برای روبرگرداندن بسیاری از فیزیکدانان از این نظریه کفایت کند، ولی در میانه‌ی دهه‌ی ۱۹۸۰ کارهای زیبای ریاضی گروهی از افراد، به ویژه ادوارد ویتن در انستیتو مطالعات پیشرفته، نشان دادند که این نظریه می‌تواند در اصل خیلی بیش از عرضه‌ی فقط نظریه‌ی کوانتومی گرانش به کار آید. با آوردن تقارن‌های ریاضی تازه، و به ویژه چارچوب ریاضی توانمند برجسته‌ای به نام "آبرتقارن" کاستن از تعداد بعدهای لازم برای سازگاری این نظریه از بیست و شش به تنها ده بعد، امکان‌پذیر شد.

با این حال، از آن مهم‌تر، به نظر می‌رسید که شاید بشود، در چارچوب نظریه‌ی ریسمان، گرانش را با دیگر نیروهای موجود در طبیعت، درون یک نظریه متحد کرد، و نیز بشود وجود هر دانه ذره‌ی بنیادی شناخته‌شده در طبیعت را توضیح داد! سرانجام، چنین به نظر رسید که گویا تک نظریه‌ای یگانه در ده بعد وجود داشته باشد که هر چیزی را که در جهان چهار بعدی خودمان می‌بینیم، بازآفرینی می‌کند.

ادعاهای "نظریه‌ی همه‌چیز" شروع به سربرآوردن کردند، نه تنها در نوشتارهای علمی، که نیز در نوشتارهای همگانی. در نتیجه، شاید اکثر افراد بیش‌تر با "ابریسمان‌ها" آشنا باشند تا "ابرسیانایی" - واژه‌ی اخیر بیانگر این واقعیت شگرف است که وقتی برخی مواد تا دماهای بسیار پایین خنک شوند، می‌توانند بدون اصولا هیچ مقاومتی الکتریسته را جابه‌جا کنند. این نه تنها یکی از شگرف‌ترین ویژگی‌های ماده است که تاکنون مشاهده شده، که پیشاپیش درک ما از آرایش کوانتومی مواد را نیز دگرگون ساخته است.

افسوس که در بیست و پنج سال گذشته نظریه‌ی ریسمان اقبالی نیافته است. حتا با آن‌که بهترین مغزهای نظریه‌پردازی در جهان توجه خود را به آن معطوف ساختند، که به تولید حجم زیادی از نتایج جدید و کار ریاضی گسترده‌ای در این روند انجامید مثلا، ویتن برترین جایزه‌ی ریاضیات را از آن خود کرد، آشکار شد که "ریسمان‌ها" در نظریه‌ی ریسمان به احتمال اصلا اجسامی بنیادی نیستند. ساختارهای پیچیده‌تر دیگری به نام "برین"، برگرفته از غشاء در یاخته‌ها، که در بعدهای بالاتر وجود دارند، به احتمال رفتار این نظریه را در اختیار دارند.

از همه بدتر، یگانگی این نظریه شروع به محوشدن کرد. هرچه باشد، جهانی که ما تجربه می‌کنیم ده بعدی نیست، بلکه چهاربعدی است. باید بلایی سر آن شش بعد فضایی باقیمانده بیاید، و توضیح متداول برای نادیده‌بودن‌شان این است که آن‌ها به شیوه‌ای "فشرده شده‌اند" - یعنی، آن‌ها در چنان مقیاس‌های کوچکی در هم رفته‌اند که نمی‌توانیم بر حسب مقیاس‌های خودمان یا حتی مقیاس‌های ریزی که با پرانرژی‌ترین شتابدهنده‌ی ذره‌ای امروزین می‌کاوییم، از آن‌ها سر در بیاوریم.

تفاوتی بین این حوزه‌های پنهان پیشنهادی و حوزه‌های معنوی و آیینی هست، گرچه شاید در ظاهر امر چندان متفاوت به نظر نرسند. نخست، در اصل، اگر کسی بتواند شتابدهنده‌ای به حدکافی پرانرژی بسازد - شاید ورای مرزهای عملی‌بودن، ولی نه در ورای مرزهای امکان‌پذیری - می‌شود به آن‌ها دسترسی پیدا کرد. دوم، شاید بتوان امید داشت، مانند مورد ذرات مجازی، که نوعی مدرک نامستقیم برای وجود آن‌ها از طریق اجسامی پیدا شود که بتوانیم در گیتی چهار بعدی خودمان اندازه بگیریم. به طور خلاصه، چون این بُعدها به صورت بخشی از نظریه‌ای پیشنهاد شدند که عملاً برای کوششی در راه توضیح گیتی توسعه یافتند، تا تأیید آن، شاید سرانجام برای آزمودن تجربی دسترس‌پذیر شوند، حتی اگر احتمال کوچکی وجود داشته باشد.

ولی ورای این، وجود ممکن این بعدهای اضافی چالشی عظیم را بر سر راه امید به یگانگی گیتی خودمان می‌گذارد. حتی اگر کسی با نظریه‌ای یگانه در ده بعد شروع کند که، تکرار می‌کنم، هنوز نمی‌دانیم وجود دارد یا خیر، آن‌گاه هر شیوه‌ی متفاوت فشرده‌سازی شش بعد نامرئی می‌تواند به نوع متفاوتی از گیتی چهار بعدی بینجامد، با قوانین فیزیکی متفاوت، نیروهای متفاوت، ذرات متفاوت، و در سیطره‌ی تقارن‌های تفاوت‌یابنده. برخی نظریه‌پردازان برآورد کرده‌اند که شاید 10^{500} گیتی چهار بعدی سازگار ممکن متفاوت وجود داشته باشند که می‌توانند از یک نظریه‌ی ریسمان ده بعدی نتیجه شوند. "نظریه‌ی همه چیز" ناگهان تبدیل می‌شود به "نظریه‌ی یک چیزی"!

این وضعیت در کاریکاتوری از یکی از کمیک‌استریپ‌های علمی مورد علاقه‌ام به نام XKCD به مضحکه گرفته شد. در آن یکی به نفر دیگر می‌گوید: "بین من یه فکر بکر دارم. اگه همه‌ی ماده و انرژی از ریسمونای ریز مرتعش ساخته بشن چی می‌شه." بعد دومی می‌پرسد: "باشه. ولی یعنی چی؟" و نفر اول می‌گوید: "نمی‌دونم."

در یادداشتی اندکی جدی‌تر، فرانک ویلچک فیزیکدان برنده‌ی نوبل پیشنهاد کرد که نظریه‌پردازان ریسمان، شیوه‌ای تازه برای پرداختن به فیزیک ابداع کرده‌اند، یادآور شیوه‌ای بدیع برای دارت‌بازی. نخست یک نفر دارت را به سمت دیوار خالی پرت می‌کند، و سپس به طرف دیوار می‌رود و دور جایی که دارت فرو رفته، خال هدف را می‌کشد.

در حالی که گفته‌ی ویلچک بازتابی است دقیق از بیش‌تر هوچی‌گری ایجادشده، باید گوشزد کرد که آنانی که روی این نظریه کار می‌کنند صادقانه درتلاشند تا پرده از اصولی بردارند که شاید بر جهانی که در آن به سر می‌بریم فرمان می‌رانند. با وجود این، تعدد گیتی‌های چهار بعدی ممکن، که مایه‌ی شرمساری نظریه‌پردازان ریسمان به شمار می‌رفت، اکنون به مزیت این نظریه بدل گشته است. می‌توان تصور کرد که در "بسگیتی" ده بعدی می‌شود مجموعه‌ای از گیتی‌های چهار بعدی گوناگون یا پنج بعدی‌ها، یا شش بعدی‌ها، یا ... را گنجانند، که هر کدام می‌توانند قوانین فیزیک متفاوتی داشته باشند، و گذشته از آن، در هر یک انرژی فضای تهی می‌تواند متفاوت باشد.

با آن‌که این به نظر سر هم‌بندی راحتی می‌آید، چنین چیزی پیامد خودبه‌خودی این نظریه است، و "چشم‌انداز" بسگیتی راستینی درست می‌کند که شاید چارچوبی طبیعی را برای توسعه‌دادن درکی بشربنیاد از انرژی فضای تهی فراهم کند. در این مورد، نیازی به تعداد نامتناهی گیتی‌های ممکن جداگانه در فضای سه بعدی نداریم. در عوض، می‌توانیم تعدادی نامتناهی گیتی تلنبارشده روی تک نقطه‌ای در فضای خودمان را تصور کنیم، که برای ما نادیدنی‌اند، ولی هر کدام می‌تواند ویژگی‌های بسیار متفاوتی را بروز دهد.

می‌خواهم تأکید کنم که این نظریه به بی‌معنایی دیدگاه سنت تامس آکوئیناس نیست که آیا چند فرشته می‌توانند در یک جا قرار بگیرند یا خیر. ایده‌ای که از سوی الهیات‌دانان بعدی به صورت گمانه‌زنی‌های بی‌ثمر درباره‌ی این‌که چند فرشته را می‌توان در نوک سوزن جا داد، به باد تمسخر گرفته شد. آکوئیناس عملاً با این گفته که بیش از یک فرشته نمی‌تواند در یک جا باشد، خودش به این پرسش پاسخ داد - البته، بدون هرگونه دلیل موجه نظری یا تجربی! و اگر آن‌ها فرشتگان کوانتومی بوزونی بودند، او به هر روی اشتباه کرده بود.

با ارائه‌ی چنین تصویری، به همراه ریاضیات مناسب، شاید بتوان، در اصل، امید داشت تا عملاً دست به پیش‌بینی‌های فیزیکی بزنیم. مثلاً، شاید بشود توزیعی احتمالاتی به دست آورد که احتمال یافتن انواع گوناگون گیتی‌های چهار بعدی گنجانده‌شده در بسگیتی‌ای با بعدها‌ی زیادتر را توصیف کند. مثلاً، شاید کسی پی‌برد که توده‌ی چنین گیتی‌هایی که دارای انرژی خلاً کوچک‌اند نیز دارای سه خانواده‌ی ذرات بنیادی و چهار نیروی متفاوت باشند. یا شاید کسی بفهمد که تنها در گیتی‌هایی با انرژی خلاً اندک است که نیروی بلندبرد الکترومغناطیسی می‌تواند وجود داشته باشد. هر یک از چنین نتایجی شاید مدرک رضایت‌بخش معقولی را ارائه کند که توصیف بشربنیاد احتمالاتی انرژی فضای تهی از معنای مستحکم فیزیکی برخوردار باشد. - به بیان دیگر، پی‌بردن به این نکته که گیتی‌ای شبیه به مال خودمان با انرژی خلاً اندک نامحتمل نیست.

ولی ریاضیات هنوز ما را تا این اندازه پیش نبرده است، و چه بسا هرگز هم نبرد. ولی معنای ناکارایی نظری کنونی مان این نیست که امکان‌پذیری مذکور عملاً از سوی طبیعت تحقق نمی‌یابد. به هر ترتیب، در این بین، فیزیک ذرات اندیشه‌ورزی بشرنیاد را یک گام به پیش برده است.

فیزیکدانان ذرات فرسنگ‌ها جلوتر از کیهان‌شناسان هستند. کیهان‌شناسی یک کمیت کاملاً رازآلود درست کرده است: انرژی فضای تهی، که درباره‌ی آن تقریباً هیچ چیزی نمی‌دانیم. با این حال، فیزیک ذرات مدت‌های مدیدی است که کمیت‌های بسیار بیش‌تری را درک نکرده است!

مثلاً: چرا سه نسل از ذرات بنیادی وجود دارد - الکترون، و خواهرزاده‌ی سنگین‌ترش موئون و تاوئون، برای نمونه، یا سه مجموعه‌ی متفاوت از کوارک‌ها، که از آن میان کم‌انرژی‌ترین مجموعه توده‌ی ماده‌ای را می‌سازد که ما در زمین داریم؟ چرا گرانش بسیار ضعیف‌تر از دیگر نیروها در طبیعت، مثلاً الکترومغناطیس است؟ چرا پروتون ۲۰۰۰ بار سنگین‌تر از الکترون است؟

اکنون برخی از فیزیکدانان ذرات در نهایت سراغ دار و دسته‌ی بشرنیاد رفته‌اند، شاید چون کوشش‌هایشان برای توضیح‌دادن این رازها بنا به علت‌های فیزیکی هنوز موفقیت‌آمیز نبوده است. هر چه باشد، اگر یک کمیت بنیادی در طبیعت عملاً حادثه‌ای زیست‌محیطی باشد، چرا بیش‌تر یا همه‌ی دیگر پارامترهای بنیادی چنین نباشند؟ چه بسا همه‌ی رازهای نظریه‌ی ذرات را بتوان با گفتن وردی حل کرد: اگر گیتی به هر شیوه‌ی دیگری می‌بود، ما نمی‌توانستیم در آن به سر بریم.

شاید کسی دل‌نگران باشد که آیا چنین راه حلی برای رازهای طبیعت اصولاً راه حل هست یا خیر، یا از آن مهم‌تر، آیا علم را بدان گونه که درکش می‌کنیم توصیف می‌کند یا خیر. از هر چه بگذریم، هدف علم، و به ویژه فیزیک، طی ۴۵۰ سال گذشته ارائه‌ی توضیحی بر این بوده که چرا گیتی باید به شیوه‌ای باشد که اندازه‌اش می‌گیریم که هست، و نه در کل به شیوه‌ای که قوانین طبیعت گیتی‌هایی را تولید کنند که کاملاً متفاوت باشند.

من کوشیده‌ام توضیح دهم که چرا قضیه‌ی اصلی این نیست، یعنی چرا دانشمندان برجسته‌ی زیادی سراغ اصل بشرنیاد رفته‌اند و چرا تعدادی به سختی کار کرده‌اند تا ببینند آیا می‌توانیم چیزی درباره‌ی گیتی خودمان بر پایه‌ی آن فرا بگیریم یا خیر.

بگذارید اکنون پیش‌تر بروم و بکوشم توضیح دهم که چگونه وجود گیتی‌های همواره آشکارناپذیر - خواه جداشده از ما با فاصله‌های تقریباً نامتناهی در فضا یا، درست آن سوی نوک بینی‌مان، جداشده از ما با فاصله‌های میکروسکوپی در بعدها‌ی اضافی ممکن - شاید به هر ترتیب موضوع نوعی آزمون تجربی از آب در بیاید.

مثلاً فرض کنید که نظریه‌ای به دست آورده‌ایم بر پایه‌ی وحدت‌بخشی دست کم سه تا از چهار نیروی طبیعت در نوعی نظریه‌ی وحدت‌یافته‌ی بزرگ، یعنی همان مبحث بسیار مورد علاقه‌ی همیشگی در فیزیک ذرات در میان کسانی که از جستجو برای نظریه‌های بنیادی در چهار بعد دست بر نداشته‌اند. چنین نظریه‌ای درباره‌ی نیروهای طبیعت که اندازه می‌گیریم، و درباره‌ی طیف ذرات بنیادی که در شتابدهنده‌هایمان می‌کاوییم، دست به پیش‌بینی‌هایی خواهد زد. اگر چنین نظریه‌ای انبوهی از پیش‌بینی‌ها ایجاد کند که بعداً در آزمایش‌هایمان مورد تأیید قرار گیرند، دلیل بسیار خوبی در دست خواهیم داشت که این نظریه دربردارنده‌ی سرچشمه‌ی حقیقت باشد.

اکنون، گیریم که این نظریه همچنین دوره‌ای تورمی در گیتی اولیه را پیش‌بینی کند، و در واقع پیش‌بینی کند که دوران تورمیابنده‌ی ما تنها یکی از اپیزودهای متعدد این چنینی در یک بسگی‌ی تا ابد تورمیابنده باشد. حتا اگر نتوانیم وجود چنین محدوده‌هایی در ورای افق‌مان را مستقیماً بکاویم، آن‌گاه، همان گونه که پیش‌تر گفتم، اگر چیزی مثل اردک راه رود، مثل اردک کواک کواک کند ... خب، می‌دانید دیگر.

رسیدن به پشتیبان تجربی ممکن برای ایده‌هایی پیرامون بعدها‌ی اضافی دست‌نیافتنی‌تر است ولی امکان‌ناپذیر نیست. بسیاری از نظریه‌پردازان جوان خوش‌فکر دارند حرفه‌ی خود را وقف توسعه‌دادن نظریه‌ای می‌کنند تا این‌که شاید در جایی مدرکی، ولو نامستقیم، از درستی آن به دست آورند. شاید امیدهای آنان واهی باشد، ولی از جان و دل مایه گذاشته‌اند. شاید مدرکی حاصل از برخورددهنده‌ی بزرگ هادرون در نزدیک ژنو، روزنه‌ای پنهان را بر روی این فیزیک تازه بگشاید.

خب، پس از یک سده پیشرفت شگرف و به راستی نامنتظره در فهم ما از طبیعت، پی‌برده‌ایم که می‌توانیم گیتی را در مقیاس‌هایی بکاویم که پیش از این تصورناشدنی بود. ما سرشت انبساط بیگ‌بنگ را تا نخستین میکروثانیه‌هایش فهمیده‌ایم و وجود صدها میلیارد کهکشان تازه، با صدها میلیارد ستاره‌ی تازه را کشف کرده‌ایم. ما کشف کرده‌ایم که ۹۹ درصد گیتی عملاً برای ما نامرئی است، ساخته‌شده از ماده‌ای تاریک که به احتمال بسیار شکل تازه‌ای از ذرات بنیادی است، و حتا انرژی تاریک زیاده‌تر، که خاستگاهش هنوز رازی سر به مهر است.

و پس از همه‌ی این‌ها، شاید قرار باشد فیزیک تبدیل به "علمی زیست‌محیطی" شود. ثابت‌های بنیادی طبیعت، که مدت‌هاست فرض می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، شاید تنها حادثه‌هایی زیست‌محیطی باشند. اگر ما دانشمندان خوش‌بداریم که خودمان و دانش‌مان را بیش از حد جدی بگیریم، چه بسا گیتی خودمان را نیز بیش از حد جدی گرفته باشیم. چه بسا به معنای واقعی کلمه، و نیز استعاری، داریم بر سر هیچ هیاهو می‌کنیم. دست کم شاید داریم از هیچی که بر گیتی خودمان سیطره دارد چیزی سر در نمی‌آوریم! شاید گیتی خودمان تنها قطره‌ای باشد آرمیده در دل اقیانوس بسگیتیانه‌ای گسترده از امکان‌پذیری‌ها. شاید هرگز به نظریه‌ای دست نیابیم که توضیح دهد چرا گیتی باید به این شیوه‌ای باشد که هست.^{۱۴}

شاید هم دست بیابیم.

باری، این دقیق‌ترین تصویری است از واقعیت، آن گونه که اکنون درکش می‌کنیم، که می‌توانم ترسیم کنم. این تصویری است بر پایه‌ی کار ده‌ها هزار مغز متخصص در بیش از یک سده‌ی گذشته، ساختن برخی از پیچیده‌ترین ماشین‌هایی که تاکنون به ذهن رسیده، و پروراندن برخی از زیباترین و نیز پیچیده‌ترین ایده‌هایی که آدمیزاد تاکنون مجبور بوده با آن‌ها سرشاخ شود. این تصویری است که آفریدنش بر بهترین توصیف از انسان بودن انگشت می‌گذارد - توانایی ما در اندیشیدن به امکان‌پذیری‌های هستی و ماجراجویی در کشف بی‌باکانه‌ی آن‌ها - بدون انداختن بار مسئولیت بر گردن نیروی آفریننده‌ای گنگ یا آفریننده‌ای که، بنا به تعریف، همواره درک‌ناشدنی است. بر عهده‌ی خودمان است که از دل این تجربه، فرزاندگی و حکمت را بیرون کشیم. هر چیزی غیر از این، نارویی است به افرادی درخشان و دلیر که به ما یاری رسانده‌اند تا بدین سطح کنونی از دانش دست یابیم.

اگر در آرزوی نتیجه‌گیری‌های فلسفی درباره‌ی هستی خودمان، معنای خودمان، و معنای خود گیتی هستیم، نتیجه‌گیری‌هایمان باید بر پایه‌ی دانش تجربی باشد. ذهن به راستی باز، به معنای واداشتن خیال‌پردازیمان به گردن نهادن به مدرک واقعیت است، و نه عکس آن، چه پیامدهایش خوشایندمان باشد چه نباشد.

فصل ۹: هیچ، چیز است

من نگران ندانستن نیستم، مرا نمی‌ترساند.

ریچارد فاینمن

آیزاک نیوتون، شاید بزرگ‌ترین فیزیکدان تمام دوران، به گونه‌ای ژرف چگونگی اندیشیدن ما درباره‌ی گیتی را به شیوه‌های زیادی دگرگون ساخت. ولی شاید مهم‌ترین سهم او عبارت بود از نشان دادن این امکان‌پذیری که سرتاسر گیتی توضیح‌دادنی است. با قانون گرانش همگانی خودش، او برای نخستین بار نشان داد که حتا آسمان‌ها نیز شاید در برابر قدرت قوانین طبیعت سر تعظیم فرود آورند. گیتی عجیب، خشن، آزارنده، و انگار هوسباز، شاید به هیچ وجه وجود نداشته باشد.

اگر قوانینی دگرگونی‌ناپذیر بر گیتی فرمان می‌راندند، خدایان اساطیری یونان و روم باستان دست و پا بسته می‌شدند. دیگر آزادی برای چرخاندن دلبخواه جهان به منظور کندن چاه جلوی پای آدمیزاد باقی نمی‌ماند. آن‌چه بر سر زئوس می‌آمد به یهوه هم اعمال می‌شد. چگونه می‌شد که خورشید در میانه‌ی روز سر جایش نمی‌ایستد، اگر که به دور زمین نمی‌چرخید بلکه حرکتش در آسمان عملاً ناشی از گردش زمین به دور خودش بود، همان زمینی که اگر ناگهان از حرکت باز می‌ایستاد، نیروهای ایجاد شده روی سطحش تمام دست‌ساخت‌های آدمی و به همراهش آدمیان را به نابودی می‌کشاند؟

البته اعمال فراطبیعی زیربنای همه‌ی معجزات‌اند. هر چه باشد، آن‌ها دقیقاً همان چیزهایی‌اند که قوانین طبیعت را دور می‌زنند. آفریننده‌ای که می‌تواند قوانین طبیعت را بیافریند گویا می‌تواند آن‌ها را به دلخواه دور بزند. گرچه این‌که چرا آن‌ها چنان دلخواهانه در هزاران سال پیش دور زده می‌شدند، پیش از اختراع دستگاه‌های ارتباطی مدرن که می‌توانستند آن‌ها را ثبت کنند، و نه امروزه، هنوز جای تعجب دارد.

باری، حتا در گیتی‌ای بدون معجزه، هنگامی که با نظم زیربنایی ساده‌ی ژرفی روبه‌رو می‌شوید، می‌توانید دو نتیجه‌ی مختلف بگیرید. یکی، که از سوی خود نیوتون گرفته شد، و پیش‌تر از سوی گالیله و تعدادی از دانشمندان دیگر در طول سال‌ها مورد پشتیبانی قرار گرفته بود، آن بود که چنین نظم‌ی آفریده‌ی هوشی آسمانی است که مسئول نه تنها گیتی بلکه هستی خود ما نیز هست، و این که ما آدمیان در تصور او آفریده شده بودیم و گویا دیگر موجودات پیچیده و زیبا چنین نشده بودند! نتیجه‌گیری دوم آن است که خود این قوانین تمام چیزی‌اند که وجود دارد. خود این قوانین پدیدآمدن، توسعه و فرگشت گیتی خودمان را الزامی می‌کنند، و ما فراورده‌ی جانبی ناگزیر این قوانین هستیم. شاید این قوانین جاودانه باشند، یا شاید آن‌ها نیز پا به هستی گذاشته باشند، باز هم توسط نوعی فرایند هنوز ناشناخته ولی به احتمال مطلقاً فیزیکی.

فیلسوفان، الهیات‌دانان، و گاهی دانشمندان به بحث درباره‌ی این امکان‌پذیری‌ها ادامه می‌دهند. ما به یقین نمی‌دانیم کدام یک از آن‌ها به واقع گیتی ما را توصیف می‌کند، و شاید هم هیچگاه ندانیم. ولی همان‌گونه که در همان آغاز کتاب تأکید کردم، نکته در این است که پاسخ نهایی به این پرسش نه از امید به دست خواهد آمد، نه از آرزو، نه از الهام، و نه از اندیشه‌پردازی محض. اگر اصولاً پاسخی در کار باشد، از کشف طبیعت به دست خواهد آمد. رویا یا کابوس، همان گونه که جی کوب بروئوسکی در نقل قول آغازین این کتاب گفته - و رویای یک نفر می‌تواند به سادگی کابوس دیگری باشد - مجبوریم که با تجربه‌مان همین گونه که هست به سر بریم، و چشمان خودمان را باز نگه‌داریم. گیتی به همین شیوه‌ای است که هست، چه خوشمان بیاید چه خوشمان نیاید.

و در این جا فکر می‌کنم که فوق‌العاده معنادار است که گیتی‌ای از هیچ - از جنبه‌ای که رنج توضیح‌دادنش را به جان می‌خرم - به طور طبیعی، و حتا ناگزیر، سر بر می‌آورد، به گونه‌ای فزاینده با هر چیزی که درباره‌ی جهان آموخته‌ایم سازگار است. این آموزه از تفکر فیلسوفانه یا الهیاتی درباره‌ی اخلاق یا دیگر گمانه‌زنی‌ها درباره‌ی حال و هوای آدمی به دست نیامده است. بلکه در عوض بر پایه‌ی پیشرفت‌هایی شگرف و هیجان‌انگیز در کیهان‌شناسی تجربی و فیزیک ذرات است که شرح دادم.

بدین ترتیب می‌خواهم به پرسشی بازگردم که در آغاز این کتاب پیش کشیدم: چرا به جای هیچ، چیزی هست؟ گویا اکنون، پس از مرورکردن تصویر علمی نوین گیتی، پیشینه‌اش، و آینده‌ی ممکن‌اش، و نیز توصیف‌های عملی از آن‌چه که "هیچ" شاید دربر بگیرد، در موقعیتی بهتر برای پرداختن به آن هستیم. همان گونه که در آغاز کتاب اشاره کردم، این پرسش نیز، مانند اصولاً تمامی چنین پرسش‌های فلسفی، برخاسته از علم است. به جای فراهم کردن چارچوبی که ما را وادار به پذیرفتن نیاز به فراطبیعت کند، معنای واژه‌های درگیر چنان تغییر یافته است که این

جمله نیز بیش‌تر معنای اصلی‌اش را از دست داده است - چیزی که باز هم نامتداول نیست، چون دانش تجربی پرتویی تازه را بر گوشه‌های گویی تاریک خیال‌پردازیمان می‌تاباند.

همزمان، در علم ما به ویژه در مورد پرسش‌های "چرا" دست به عصا راه می‌رویم. هنگامی که می‌پرسیم "چرا؟" معمولا منظورمان "چگونه؟" است. اگر بتوانیم دومی را جواب دهیم، در کل برای اهدافمان کفایت می‌کند. مثلا، شاید بپرسیم: "چرا زمین ۱۵۰ میلیون کیلومتر دور از خورشید است؟" ولی به احتمال منظور واقعی‌مان این است که "چگونه زمین ۱۵۰ میلیون کیلومتر دور از خورشید است؟" یعنی، ما به آن فرایندهای فیزیکی علاقه‌مندیم که باعث می‌شوند تا زمین در موقعیت کنونی‌اش قرار بگیرد. "چرا" به طور ضمنی بیانگر مقصود است، و هنگامی که می‌کوشیم بر حسب عبارت‌های علمی از منظومه‌ی خورشیدی سر در بیاوریم، معمولا مقصود را به آن منتسب نمی‌کنیم.

پس من می‌خواهم فرض کنم که این پرسش به واقع به این معناست که بپرسیم "چگونه به جای هیچ، چیزی هست؟" پرسش‌های "چگونه" به واقع تنها پرسش‌هایی‌اند که می‌توانیم با مطالعه‌ی طبیعت پاسخ‌هایی قطعی برایشان ارائه کنیم، اما چون این جمله چندان به گوش آشنا نیست، امید دارم هنگامی که به راستی می‌کوشم تا به پرسش مشخص‌تر "چگونه" پاسخ دهم، اگر گاهی به دام دست یازیدن به فرمول‌بندی استانداردتر افتادم، بر من خرده نگیرید.

حتا در این‌جا از دیدگاه فهم واقعی، این پرسش خاص "چگونه" با مجموعه‌ای از پرسش‌های عملاً سودمندتر جایگزین شده است، مثلا، "ویژگی‌های گیتی چه چیزی را تولید کرده است که اکنون بارزترین مشخصه‌ی آن به شمار می‌رود؟" یا، شاید از آن مهم‌تر، "چگونه می‌توانیم پی ببریم؟"

در این‌جا می‌خواهم یک بار دیگر سراغ مسئله‌ای بروم که ای کاش منتفی شده بود. قالب‌بندی پرسش‌ها بدین شیوه امکان ایجاد دانش و فهم تازه را فراهم می‌کند. این گونه بین آن‌ها و پرسش‌های الاهیاتی محض که معمولا پاسخ‌ها را از پیش آماده دارند، تمایز می‌گذاریم. راستش، من چندین الاهیات‌دان را برای عرضه‌ی مدرکی علیه این مقدمه که الاهیات دست کم در پانصد سال گذشته، از سپیده دم علم، هیچ مشارکتی در دانش نداشته، به چالش کشیده‌ام. تا کنون کسی نتوانسته نمونه‌ای مخالف ارائه کند. بیش‌ترین چیزی که در پاسخ شنیده‌ام این پرسش بوده، "منظور شما از دانش چیست؟" از دیدگاه شناخت‌شناسی شاید این مبحثی پردردسر باشد، ولی من معتقدم که اگر جایگزین بهتری وجود می‌داشت، کسی آن را پیش کشیده بود. چنان‌چه من همین چالش را پیش پای زیست‌شناسان، یا روانشناسان، یا تاریخ‌دانان، یا اخترشناسان گذارده بودم، هیچ کدام چنین به سردرگمی نمی‌افتادند.

پاسخ‌های چنین پرسش‌های سودمندی دربرگیرنده‌ی پیش‌بینی‌هایی نظری است که می‌تواند از راه آزمایش‌هایی آزموده شود تا دانش عملی ما از گیتی را به شیوه‌ای سراسرتر به پیش ببرد. تا حدی به همین دلیل بود که، تا بدین جا در این کتاب روی چنین پرسش‌های سودمندی تمرکز کرده‌ام. با وجود این، پرسش "چیزی از هیچ" به رواج زیاد خود ادامه می‌دهد، و بنابراین به احتمال لازم است با آن رویارو شویم.

کار نیوتون به طرز چشمگیر از حوزه‌ی ممکن آسمانی کاست، خواه هرگونه خردمندی ذاتی را به گیتی منتسب کنیم یا نکنیم. قوانین نیوتون نه تنها به شدت آزادی عمل موجودی آسمانی را محدود کردند، بلکه نیازمندی‌های گوناگون به دخالت فراطبیعی را نیز کنار گذاشته‌اند. نیوتون کشف کرد که حرکت سیارات به دور خورشید نیازمند آن نیست که آن‌ها پیوسته در مسیرشان هل داده شوند، بلکه در عوض، و به شدت به طور شهودی، نیازمند آن است که توسط نیرویی که به سمت خورشید عمل می‌کند کشیده شوند، بدین ترتیب نیاز به فرشتگانی را که پیش‌تر تصور می‌شد سیارات را در مسیرشان راهنمایی می‌کنند، غیر ضروری کرد. با آن‌که کنارگذاشتن این استفاده‌ی خاص از فرشتگان تأثیر اندکی بر خواست مردم برای باور به آن‌ها داشت نظرسنجی‌ها می‌گویند که در آمریکا آدم‌های به مراتب بیش‌تری به فرشتگان باور دارند تا به فرگشت، منصفانه است که بگوییم پیشرفت در علم از زمان نیوتون، فرصت‌های ممکن برای اعمال فراطبیعی را روزبه‌روز مقیدتر کرده است.

ما می‌توانیم فرگشت گیتی را از نخستین لحظات بیگ‌بنگ، بدون نیاز ویژه به هر چیزی غیر از قوانین فیزیکی شناخته‌شده توضیح دهیم، و نیز پیشینه‌ی احتمالی آینده‌ی گیتی را نیز توضیح داده‌ایم. شکی نیست که هنوز ابهاماتی درباره‌ی گیتی هست که نمی‌فهمیم، اما می‌خواهم فرض کنم که خوانندگان این کتاب دلبسته‌ی تصویر "آفریننده کمبودها" نیستند، که در آن هرگاه چیزی خاص درباره‌ی مشاهداتمان هست که گویا سردرگم‌کننده یا کاملاً درک‌ناشده است، پای آفریننده به میان کشیده می‌شود. حتا الاهیات‌دانان پی‌برده‌اند که چنین توسلی نه تنها شکوه آن موجود برتر را از بین می‌برد، بلکه هر گاه کاری تازه برای آن مسئله توضیحی ارائه کند یا آن را از بین ببرد، شیوه‌ی مذکور باعث می‌شود تا آن موجود در معرض حذف‌شدن یا بیش‌تر نادیده‌گرفته‌شدن قرار گیرد.

از این جنبه، استدلال "چیزی از هیچ" به راستی می‌کوشد تا بر عمل اصلی آفرینش تمرکز یابد و بپرسد که آیا توضیحی علمی هرگز می‌تواند در پرداختن به این موضوع خاص از نظر منطقی، کامل و واقعاً رضایت‌بخش باشد یا خیر.

با توجه به درک کنونی ما از گیتی، معلوم می‌شود که برای پرسش "چیزی از هیچ" سه معنای متفاوت و جداگانه هست. پاسخ کوتاه به هریک "به طرز کاملاً معقولی آری" است، و در بقیه کتاب با کوشش در راه توضیح این که چرا، یا همان گونه که هم‌اکنون استدلال کردم، از آن بهتر چگونه، به نوبت به هر کدام خواهیم پرداخت.

تیغ اُکام می‌گوید که، اگر رویدادی از نظر فیزیکی شدنی بود، نیازی نیست که برای بودن آن از ادعاهای خارق‌العاده‌تر یاری بجوئیم. بی‌تردید نیاز به موجودی همه‌قدرت که به گونه‌ای در بیرون از گیتی، یا بسگیتی، خودمان وجود دارد، که همزمان بر آن‌چه در درون آن می‌گذرد فرمان می‌راند، یکی از چنین مواردی است. بدین ترتیب این ادعا باید به عنوان آخرین، و نه نخستین، چاره مطرح شود.

در پیشگفتار استدلال کردم که تنها تعریف کردن "هیچی" به عنوان "نیستی" کافی نیست تا بگوییم فیزیک، و به طور کلی علم، برای پرداختن به این پرسش بسنده نیست. بگذارید در این جا استدلالی دیگر و مشخص‌تر بیاورم. زوج الکترون-پوزیترونی را در نظر بگیرید که ناگهان از فضای تهی نزدیک هسته‌ی اتمی سربرمی‌آورد و در اندک زمانی که آن زوج وجود دارد بر ویژگی آن اتم تأثیر می‌گذارد. از چه لحاظ آن الکترون یا پوزیترون پیش‌تر وجود داشتند؟ بی‌تردید با هر تعریف معقولی آن‌ها وجود نداشتند. به یقین توانایی بالقوه‌ای برای وجود آن‌ها هست، ولی این تعریف برای هستی مانند این می‌ماند که بگوییم انسانی بالقوه وجود دارد، چون من اسپرم درون بیضه‌هایم را به نزدیک زنی می‌برم که در حال تخمک‌گذاری است، و شاید او و من زادآوری کنیم. راستش، بهترین پاسخی که تاکنون برای این پرسش شنیده‌ام که مرده‌بودن یعنی نیست‌بودن به چه می‌ماند، آن است که تصور کنید پیش از تشکیل نطفه‌تان چه احساسی از هستی داشتید. باری، اگر توانایی بالقوه‌ی هستی همانند خود هستی می‌بود، آن‌گاه تردیدی ندارم که امروز استمنا، هم‌اندازه‌ی سقط جنین یک مبحث داغ حقوقی به شمار می‌رفت.

پروژه‌ی خاستگاه‌ها در دانشگاه ایالتی آریزونا، تحت نظارت من، به تازگی کارگاهی را درباره‌ی خاستگاه حیات برگزار کرد، و نمی‌توانم بحث کیهان‌شناختی کنونی را از این دیدگاه بررسی نکنم. ما هنوز کاملاً نمی‌دانیم که حیات چگونه روی زمین آغاز شد. با این حال، ما نه تنها مکانیسم‌های شیمیایی امکان‌پذیری را در دست داریم که شاید با آن‌ها چنین چیزی شدنی باشد، بلکه هر روز بیش از پیش مسیرهایی ویژه می‌یابیم که شاید به زیست‌مولکول‌ها، از جمله RNA، امکان ظهور به صورت طبیعی را می‌دهند. گذشته از آن، فرگشت داروینی، بر پایه‌ی گزینش طبیعی، تصویر دقیق کوبنده‌ای را ارائه می‌کند از سربرآوردن حیات پیچیده بر روی این سیاره، پس از آن شیمی ویژه‌ای که نخستین یاخته‌های خودتکرارگر مناسب را با متابولیسمی که انرژی را از محیط‌زیست خود به دام می‌انداختند، تولید کرد. بهترین تعریفی از حیات که برای این جا می‌توانم عرضه کنم.

درست همان گونه که داروین، گرچه با بی‌میلی، نیاز به دخالت آسمانی در فرگشت جهان نوینی آکنده از حیاتی گونه‌گون در سرتاسر این سیاره را از میان برداشت هرچند او در را برای این امکان‌پذیری باز گذاشت که آفریننده به برآمدن حیات در نخستین اشکال یاری رساند، درک کنونی ما از گیتی، گذشته‌اش، و آینده‌اش، این امکان را شدنی‌تر می‌کند که "چیز" می‌تواند بدون نیاز به هرگونه راهنمایی آسمانی از هیچ سربرآورد. به دلیل دشواری‌های مشاهداتی و نظری مرتبط برای پرداختن به جزئیات، انتظار دارم که شاید هرگز به چیزی بیش از امکان‌پذیری در این جنبه دست نیابیم. ولی خود امکان‌پذیری، از نظر من، گام رو به جلوی بسیار مهمی است در زمانی که ما هنوز جسارت به خرج می‌دهیم تا در این گیتی که به احتمال، بدون هیچ هدفی، به وجود آمد، و شاید از هستی رخت بر بندد، و به یقین بدون ما در گوه‌رش، از زندگی معنادار خود لذت ببریم.

اکنون بگذارید به یکی از شگرف‌ترین ویژگی‌های گیتی خودمان بازگردیم: تا جایی که می‌توانیم اندازه بگیریم، به تختی نزدیک است. می‌خواهم ویژگی یگانه‌ی گیتی تخت را به شما گوشزد کنم، دست کم در مقیاس‌هایی که ماده به شکل کهکشان‌ها بر آن سیطره دارد، و در آن تقریبی نیوتونی معتبر می‌ماند: در گیتی فقط و فقط تخت، میانگین انرژی گرانشی نیوتونی هر جسم سهمیم در انبساط دقیقاً صفر است.

تأکید می‌کنم که این اصل موضوعی ابطال‌پذیر بود. نمی‌بایست چنین می‌بود. به غیر از گمانه‌زنی‌های نظری بر پایه‌ی در نظر گرفتن گیتی‌ای که بتواند به طور طبیعی از هیچ، یا دست کم، از تقریباً هیچ، برآمده باشد، چیز دیگری آن را الزامی نمی‌ساخت.

نمی‌توانم بیش از این بر اهمیت این فاکت پافشاری کنم که، به محض این‌که گرانش در ملاحظات طبیعت وارد شد، دیگر دست و پایمان برای تعریف دلبخواه انرژی کل سیستم بسته می‌شود، و نیز بر این فاکت که در این انرژی هر دو مشارکت مثبت و منفی وجود دارد. تعیین انرژی گرانشی کل اجسامی که همراه با انبساط گیتی جابه‌جا می‌شوند، دیگر پیرو تعریف دلبخواه نیست، درست همان‌طور که تعریف خمیدگی هندسی گیتی نیز چنین نیست. بنا به نسبیت عام، این ویژگی خود فضا است، و این ویژگی فضا با انرژی نهفته در درونش تعیین می‌شود.

به این دلیل این مطالب را می‌گویم چون استدلال شده است که این گزاره که میانگین انرژی گرانشی نیوتونی هر کهکشانی در گیتی تخت انبساط‌یابنده برابر با صفر است، دلبخواه است، و هر مقدار دیگری به همین اندازه مناسب است، ولی دانشمندان دارند این نقطه‌ی صفر را "تعریف می‌کنند". چنین ادعایی را دینش دِسوزا در مناظره‌اش با کریستوفر هیچنز بر سر وجود آفریننده مطرح کرد.

حقیقت هیچ‌گاه در پس پرده نمی‌ماند. کوشش برای تعیین خمیدگی گیتی کاری بود که در بیش از نیم‌سده توسط دانشمندانی انجام گرفت که زندگی خود را وقف تعیین سرشت راستین گیتی کردند، و نه تحمیل کردن آرزوهایشان بر آن. حتا مدت‌ها پس از نخستین استدلال‌های نظری مبنی بر این‌که چرا گیتی باید تخت باشد، همکاران رصدگر من، طی دهه‌ی ۱۹۸۰ و حتا در اوایل دهه‌ی ۱۹۹۰، می‌کوشیدند خلاف آن را اثبات کنند. چون، هر چه باشد، در علم کسی بیش‌ترین تأثیرگذاری و بیش‌تر شهرت را دارد که هم‌رنگ جماعت نباشد و ساز خود را بزند.

با وجود این، حرف آخر را داده‌ها زدند، و آن هم چه قاطعانه. گیتی مشاهده‌پذیر تا جایی که می‌توانیم اندازه بگیریم به تختی نزدیک است. انرژی گرانشی نیوتونی کهکشان‌ها که به همراه انبساط هابلی حرکت می‌کنند صفر است - خوششان بیاید یا نیاید.

اکنون می‌خواهم که شرح دهم چگونه، اگر گیتی ما از هیچ برآمده باشد، گیتی‌ای تخت، دارای انرژی گرانشی نیوتونی کل صفر برای هر جسمی، دقیقاً همان چیزی است که باید انتظارش را داشته باشیم. استدلال کمی ظریف است - و خوشحالم از این‌که در این‌جا فضای کافی برای گستردن آن در اختیارم هست.

نخست، می‌خواهم روشن‌کنم که اکنون از چه نوع "هیچ" سخن می‌گویم. این ساده‌ترین نسخه از هیچ است، یعنی فضای تهی. فعلاً، فرض می‌کنم که فضا هست، بدون هیچ چیزی درونش، و این‌که قوانین فیزیک نیز هستند. البته می‌دانم که در نسخه‌های بازبینی‌شده‌ی هیچی که از سوی کسانی ارائه می‌شود که خوش دارند پیوسته این واژه را بازتعریف کنند تا تعریفی علمی

عملی نباشد، این نسخه از هیچ، انتظارها را برآورده نمی‌کند. با این حال، فرض می‌کنم که در دوران افلاطون و آکوئیناس، هنگامی که آنان در این اندیشه غور می‌کردند که چرا چیزی به جای هیچ هست، فضای تهی با هیچ چیز در آن به احتمال تقریب خوبی برای چیزی بود که آنان بدان می‌اندیشیدند.

همان گونه که در فصل ۶ دیدیم، آلن گوث به دقت توضیح داد که چگونه می‌توانیم از این نوع هیچ به چیزی برسیم - ناهار رایگان غایی. فضای تهی می‌تواند دارای انرژی ناصفر مرتبط با آن باشد، حتا در نبود هر گونه ماده یا تابشی. نسبیت عام به ما می‌گوید که فضا انبساط تصاعدی دارد، به طوری که حتا ریزترین محدوده در زمان‌های اولیه می‌توانسته به سرعت اندازه‌ای بیش از مقدار کافی برای گنجاندن تمام گیتی مرئی امروزین را دربرگیرد.

همان گونه که در آن فصل شرح دادم، طی چنین انبساط سریعی، محدوده‌ای که سرانجام گیتی ما را دربر می‌گیرد، تخت‌تر و تخت‌تر خواهد شد، چون با رشد کردن گیتی، انرژی نهفته‌ی درون فضای تهی رشد می‌کند. این پدیده بی‌نیاز از هرگونه اعجی مجی یا دخالت فراطبیعی رخ می‌دهد. چنین چیزی به این دلیل امکان‌پذیر است که "فشار" گرانشی همراه با چنین انرژی‌ای در فضای تهی عملاً منفی است. این "فشار منفی" دلالت دارد بر این که، با انبساط یافتن گیتی، انبساط انرژی را درون فضا تلنبار می‌کند تا روند عکس آن.

بنا به این تصویر، هنگامی که تورم پایان می‌پذیرد، انرژی ذخیره‌شده در فضا به صورت انرژی ذرات واقعی و تابش در می‌آید، و عملاً سرآغاز رهگیری‌پذیر انبساط بیگ‌بنگی کنونی خودمان را می‌آفریند. همه‌ی پیچیدگی‌ها و بی‌نظمی‌ها در مقیاس‌های در آغاز بزرگ اگر گیتی پیش‌باش آغازین یا شبه‌گیتی بزرگ بودند، حتا بی‌نهایت بزرگ هموار و/یا چنان به دور از افق امروزین خودمان رانده می‌شوند که پس از رخ دادن انبساط تورم‌یابنده‌ی کافی، ما همواره گیتی کمابیش یکنواختی را رصد خواهیم کرد.

می‌گویم کمابیش یکنواخت، چون در فصل ۶ گفتم که چگونه مکانیک کوانتومی همواره مقداری افت و خیزهای بازمانده‌ی کم‌چگال را برجا می‌گذارد که طی تورم منجمد می‌شوند. این به دومین پیامد شگفت‌انگیز تورم می‌انجامد: افت و خیزهای کم‌چگال در فضای تهی، ناشی از قواعد مکانیک کوانتومی، بعداً مسئول همه‌ی ساختاری خواهند شد که همان در گیتی امروزین مشاهده می‌کنیم. پس ما، و هر آن چه که می‌بینیم، از افت و خیزهایی کوانتومی در چیزی که اساساً هیچی نزدیک آغاز زمان است، یعنی طی انبساط تورم‌یابنده، سربرآورده‌ایم.

پس از فرونشستن همه‌ی غبار، پیکربندی همگانی ماده و تابش چنان خواهد شد که اساساً از آن گیتی تخت است، که در آن میانگین انرژی گرانشی نیوتونی همه‌ی اجسام در اندازه‌ی صفر

نمایان خواهد شد. کمابیش همواره چنین خواهد بود، مگر کسی بتواند به دقت دست به تنظیم ظریف مقدار تورم بزند.

بنابراین، گیتی مشاهده‌پذیر ما می‌تواند به صورت محدوده‌ی میکروسکوپی کوچکی از فضا شروع شده باشد، که می‌تواند اساساً تهی باشد، و کماکان تا مقیاس‌هایی غول‌آسا رشد کند که سرانجام دربرگیرنده‌ی مقدار عظیمی از ماده و تابش می‌شود، در کل بدون صرف قطره‌ای انرژی، با ماده و تابش کافی تا هر آن‌چه را که امروز می‌بینیم به حساب آورد!

نکته‌ی مهمی که در این خلاصه‌ی کوتاه از دینامیک تورمی بحث‌شده در فصل ۶ ارزش تأکید دارد آن است که، چیز می‌تواند از فضای تهی سربرآورد، دقیقاً به این دلیل که انرژی‌های فضای تهی، در نبود گرانش، همانی نیستند که تا پیش از کشف قوانین زیربنایی طبیعت، عقل سلیم ما را به سوی گمانه‌زنی درباره‌ی آن‌ها راهنمایی می‌کرد.

اما هیچ‌کس تاکنون نگفته که گیتی توسط چیزی راهنمایی می‌شود که ما، از جایگاه نزدیک‌بینانه‌ی بی‌اهمیت‌مان در فضا و زمان، می‌اندیشیدیم که معقول است. گویا تردیدی در عقلانی بودن این تصور نیست که ماده‌ی پیشینی نمی‌تواند خودبه‌خودی از فضای تهی سر برآورد، پس آن چیز، از این جنبه، نمی‌تواند از هیچ سربرآورد. ولی هنگامی که دینامیک گرانش و مکانیک کوانتومی را به صحنه بیاوریم، پی‌می‌بریم که این برداشت عقل سلیم دیگر درست نیست. این زیبایی علم است، و نباید تهدیدکننده به شمار رود. علم به سادگی ما را وادار می‌دارد تا در آن‌چه که برای ملحوظ‌کردن گیتی معقول است دست به بازبینی بزنیم، تا روند معکوس آن.

بنابراین به طور خلاصه: این مشاهده که گیتی تخت است و این‌که انرژی گرانشی نیوتونی موضعی اساساً امروزه صفر است، به شدت بیانگر آن است که گیتی خودمان از دل فرایندی مانند تورم سربرآورد، فرایندی که با آن انرژی فضای تهی هیچ به انرژی چیز تبدیل می‌شود، طی مدتی که گیتی در تمامی مقیاس‌های مشاهده‌پذیر، به سوی اصولا هندسه‌ی به طور دقیق تخت، نزدیک و نزدیک‌تر برده می‌شود.

در حالی که تورم نشان می‌دهد که چگونه فضای تهی سرشار از انرژی می‌تواند عملاً هر چیزی را که می‌بینیم، در کنار گیتی به طرزی باورنکردنی بزرگ و تخت، بیافریند، گفتن این مطلب که فضای تهی سرشار از انرژی، که تورم را پیش می‌راند، به راستی هیچ است، دیگر درست نیست. در این تصویر باید فرض کرد که فضا هست و می‌تواند انرژی را ذخیره کند، و برای محاسبه‌ی پیامدها از قوانین فیزیک، مثلاً نسبیت عام استفاده می‌شود. پس اگر در این‌جا دست از کار برداریم، شاید کسی توجیحی داشته باشد تا ادعا کند هنوز خیلی مانده تا علم نوین بتواند به راستی

به چگونگی رسیدن چیز از هیچ پردازد. با این حال، این تنها گام نخست است. با گسترش یافتن درک و فهم مان، در فصل بعد خواهیم دید که تورم می تواند تنها نمایانگر نوک کوه یخ کیهانی هیچی باشد.

فصل ۱۰: هیچ، ناپایدار است

دادگر باش، اگرچه آسمان‌ها فرو افتند^{۱۵}

ضرب‌المثل روم باستان

بودن انرژی در فضای تهی - کشفی که جهان کیهان‌شناختی ما را به لرزه انداخت و ایده‌ای که بستر تورم را شکل می‌دهد - تنها به استحکام چیزی درباره‌ی جهان کوانتومی می‌انجامد که پیشاپیش در زمینه‌ی انواع تجربیات آزمایشگاهی که قبلاً بیان کردم به خوبی جا افتاده بود. فضای تهی پیچیده است؛ سوپی جوشان از ذرات مجازی که در چنان زمان کوتاهی پا به هستی می‌گذارند و ناپدید می‌شوند که نمی‌توانیم آن‌ها را به گونه‌ای مستقیم ببینیم.

ذرات مجازی نمودهایی‌اند از یک ویژگی پایه‌ی سیستم‌های کوانتومی. در دل مکانیک کوانتومی قاعده‌ای هست که گاهی بر سیاستمداران و مدیران شرکت‌ها فرمان می‌راند - تا زمانی که کسی ننگرد، هر چیزی پیش می‌رود. سیستم‌ها در میان همه‌ی حالت‌های ممکن به پیش می‌روند، اگرچه موقتی؛ از جمله، حالت‌هایی که اگر سیستم عملاً مورد اندازه‌گیری قرار بگیرد مجاز نخواهند بود. این "افت و خیزهای کوانتومی" بر چیزی اساسی درباره‌ی جهان کوانتومی دلالت دارند: هیچ همواره چیزی درست می‌کند، اگرچه برای یک لحظه.

اما مشکل در این جاست. پایداری انرژی به ما می‌گوید که سیستم‌های کوانتومی نمی‌توانند چندان به بدرفتاری خود ادامه دهند. مانند کارگزاران آب‌زیرکاه سهام، اگر حالتی که سیستم با افت و خیز به آن می‌رسد نیازمند کشرفتن مقداری انرژی از فضای تهی باشد، آن‌گاه سیستم باید آن انرژی را در زمانی به حد کافی کوتاه برگشت دهد تا کسی که مشغول اندازه‌گیری سیستم است نتواند آن را آشکارسازی کند.

در نتیجه شاید گمان برید که با خیال راحت می‌شود استدلال کرد که این "چیزی" که با افت و خیزهای کوانتومی درست می‌شود زودگذر است - نه قابل اندازه‌گیری، برخلاف، مثلاً، شما یا

من یا زمین که رویش به سر می‌بریم. ولی این آفرینش زودگذر نیز، پیرو شرایط همراه با اندازه‌گیری‌هایمان است. برای نمونه، میدان الکتریکی برخاسته از جسمی باردار را در نظر بگیرید؛ بی‌تردید واقعی است. شما می‌توانید نیروی الکتریکی ساکن روی موهایتان را حس کنید یا بادکنک چسبیده به دیوار را ببینید. با این حال، نظریه‌ی کوانتومی الکترومغناطیس می‌گوید که این میدان ایستا ناشی است از گسیل، توسط ذرات باردار درگیر در ایجاد میدان، یا فوتون‌های مجازی که اساساً انرژی کل صفر دارند. این ذرات مجازی، چون انرژی صفر دارند، می‌توانند بدون ناپدیدشدن در سرتاسر گیتی گسترش پیدا کنند، و میدان ناشی از برهم‌نهی بسیاری از آن‌ها چنان واقعی است که می‌تواند احساس شود.

گاهی شرایط به همین ترتیب واقعی‌اند، ذرات سنگین می‌توانند عملاً از فضای تهی بدون تاوان سربرآورند. در یک مثال، دو صفحه‌ی باردار نزدیک هم گذاشته می‌شوند، پس از این که میدان الکتریکی در میان آن‌ها به حد کافی قوی شد، از نظر انرژی به سود بیرون "پريدن" زوج ذره- پادذره از خلأ می‌شود، و بار منفی به سوی صفحه‌ی مثبت و بار مثبت به سوی صفحه‌ی منفی می‌رود. با این کار، کاهش انرژی ناشی از کاهش یافتن بار خالص روی هر صفحه و بنابراین میدان الکتریکی بین آن‌ها می‌تواند بیش از انرژی همراه با انرژی جرم سکون لازم برای ایجاد دو ذره واقعی شود. البته برای ممکن‌شدن چنین وضعیتی، قدرت میدان باید حتماً عظیم باشد.

به واقع موقعیتی هست که در آن میدان‌هایی قوی از نوعی دیگر، شاید رخ‌دادن پدیده‌ای مشابه را با آن‌چه که در بالا توصیف شد مجاز بدانند - ولی در این مورد ناشی از گرانش. راستش همین وقوف بود که در ۱۹۷۴ نام استیون هاکنینگ را بر سر زبان فیزیکدانان انداخت، هنگامی که او نشان داد که شاید برای سیاهچاله‌ها - که از دست آن‌ها، دست کم در نبود ملاحظات کوانتوم مکانیکی، هیچ چیزی امکان‌گريز ندارد - امکان‌پذیر باشد تا ذرات فیزیکی را تابش کنند.

راه‌های متفاوت زیادی برای درک این پدیده هست، اما یکی از این‌ها خیلی به وضعیتی که من در بالا برای میدان‌های الکتریکی گفتم نزدیک است. در بیرون از قلب سیاهچاله‌ها شعاعی هست به نام "افق رویداد". درون افق رویداد، جسمی نیست که بتواند به طور کلاسیکی بگریزد، چون تندی گریز باید از سرعت نور فراتر رود. بدین ترتیب، حتا نور گسیل‌شده از درون این محدوده نیز نمی‌تواند پا را از افق رویداد بیرون بگذارد.

اکنون تصور کنید که زوج ذره- پادذره‌ای درست در بیرون افق رویداد به دلیل افت و خیزهای کوانتومی در آن محدوده، از فضای تهی جوانه بزنند. اگر یکی از ذرات عملاً درون افق رویداد

بیفتد، انرژی گرانشی کافی را با سرنگونی در سیاهچاله از دست می‌دهد، در نتیجه امکان دارد که این انرژی از دو برابر جرم سکون ذره‌ی دیگر بیش‌تر شود. یعنی ذره‌ی همدم می‌تواند به نامتناهی پر کشد و بدون نقض پایستگی انرژی مشاهده‌پذیر شود. انرژی مثبت کل همراه با ذره‌ی تاییده‌شده بیش از مقدار جبرانی ناشی از افت انرژی تجربه‌شده توسط ذره‌ی همدم سرنگون‌شونده درون سیاهچاله است. بنابراین سیاهچاله می‌تواند ذرات را تابش کند.

اما، این وضعیت حتا جالب‌تر هم می‌شود، دقیقاً چون انرژی از دست‌داده‌شده توسط ذره‌ی سرنگون‌شونده از انرژی مثبت همراه با جرم سکونش بزرگ‌تر است. در نتیجه، هنگامی که درون سیاهچاله سرنگون می‌شود، سیستم خالص سیاهچاله به اضافه‌ی ذره، عملاً انرژی کم‌تری از زمانی دارد که ذره درونش نیفتاده بود! بنابراین سیاهچاله عملاً پس از سرنگونی ذره به درونش به اندازه‌ی مقداری هم‌ارز با انرژی بیرون‌رفته توسط ذره‌ی تاییده‌شده‌ای که می‌گریزد، سبک‌تر می‌شود. از این نقطه به بعد چیزی نمی‌دانیم، چون مراحل پایانی تبخیر سیاهچاله دربرگیرنده‌ی فیزیک در چنان مقیاس‌های کوتاه‌بروی است که نسبیت عام نمی‌تواند به تنهایی پاسخ پایانی را به ما بگوید. در این مقیاس‌ها، باید با گرانش به صورت نظریه‌ی تمام کوانتوم مکانیکی برخورد کرد، و درک کنونی ما از نسبیت عام کافی نیست تا بگذارد به دقت تعیین کنیم که چه رخ خواهد داد.^{۱۶*}

به هر ترتیب، همه‌ی این پدیده‌ها بر این دلالت دارند که، در شرایط مناسب، نه تنها هیچ می‌تواند چیز شود، که الزامی هم هست.

مثالی ابتدایی در کیهان‌شناسی از این فاکت که "هیچ" می‌تواند ناپایدار باشد و چیزی بسازد، حاصل از کوشش‌های صورت گرفته برای درک این نکته است که ما در گیتی‌ای از ماده به سر می‌بریم.

شاید هر روز که از خواب بر می‌خیزید از این وضع تعجب نکنید، ولی این فاکت که گیتی خودمان دربرگیرنده‌ی ماده است، شگرف است. نکته‌ی به ویژه شگرف در این باره آن است که، تا جایی که می‌توانیم بگوییم، گیتی ما دربرگیرنده‌ی مقادیر چشمگیری از پادماده نیست، که به خاطر می‌آورید وجودش بنا به مکانیک کوانتومی و نسبیت الزامی بود، به طوری که به ازای هر ذره‌ای که در طبیعت می‌شناسیم، هم‌ارز پادماده می‌تواند وجود داشته باشد، با بار مخالف و جرم یکسان. می‌توان گفت که هر گیتی معقولی در نقطه‌ی آغازش شامل مقادیر برابر از هر دو خواهد بود. هر چه باشد، پادذره‌های ذرات معمولی از همان جرم و دیگر ویژگی‌های یکسان برخوردارند، پس اگر ذرات در زمان‌های اولیه آفریده شدند، به همان سادگی امکان دارد که

پادزرها نیز آفریده شوند.

به شیوه‌ای دیگر، حتا می‌توانیم گیتی پادماده‌ای را تصور کنیم که در آن همه‌ی ذراتی که ستارگان و کهکشان‌ها را می‌سازند با پادذره‌هایشان جایگزین شده‌اند. چنین گیتی‌ای نمایی بسیار شبیه به چیزی که ما در آن به سر می‌بریم خواهد داشت. در چنین گیتی‌ای، رصدگران که خودشان از پادماده ساخته شده‌اند شکی به خود راه نمی‌دهند تا چیزی را که ما پادماده می‌نامیم ماده بنامند. نامگذاری دلبخواه است.

با این حال، اگر گیتی خودمان به گونه‌ای معقول آغاز شده بود، با مقادیر برابر از ماده و پادماده، و به همین شیوه مانده بود، دیگر خبری از ما نمی‌بود تا بپرسیم "چرا؟" یا "چگونه؟" دلیلش آن است که همه‌ی ذرات ماده با همه‌ی ذرات پادماده در گیتی اولیه‌ی نابود می‌شدند، و چیزی به جز تابش محض را بر جا نمی‌گذاشتند. دیگر ماده یا پادماده‌ای نمی‌ماند تا ستارگان و کهکشان‌ها، یا دلدادگان یا پاددلدادگانی ساخته شوند که روزی چشم به آسمان بدوزند و دست در دست هم از شکوه آسمان شب حال و هوایشان دگرگون شود. ماجرای نمی‌بود. تاریخ چیزی در خود نمی‌داشت، حمای از تابش که به آهستگی خنک می‌شد، و در پایان به گیتی‌ای سرد، تاریک، و دلمرده می‌انجامید. هیچی فرمانروای مطلق می‌شد.

اما در دهه‌ی ۱۹۷۰ دانشمندان کم‌کم فهمیدند که می‌شود با مقادیری برابر از ماده و پادماده در بیگ‌بنگِ نخست داغ و چگال، شروع کرد، و به‌ازای فرایندهای کوانتومی امکان‌پذیر، با برقراری تقارنی کوچک، با اندک ماده‌ای بیش از پادماده در گیتی اولیه "از هیچ، چیزی آفرید." بنابراین به جای نابودی کامل ماده و پادماده، که به چیزی جز تابش خالص در امروز نمی‌انجامید، همه‌ی پادماده‌ی موجود در گیتی اولیه توانسته بود با ماده نابود شود، ولی مقدار اضافی اندکی ماده، مقدار یکسانی هم‌ارز پادماده نداشته تا نابود شود، و بنابراین جان به در برد. سپس این به همه‌ی ماده‌ای انجامید که در گیتی امروز ستارگان و کهکشان‌ها را می‌سازد.

در نتیجه، چیزی را که در غیر این صورت انگار دستاوردی ناچیز می‌نمود برقراری تقارنی کوچک در زمان‌های اولیه شاید بتوان در عوض تقریباً به عنوان لحظه‌ی آفرینش در نظر گرفت. چون به محض برقراری بی‌تقارنی میان ماده و پادماده، بعداً دیگر چیزی نمی‌توانست آن را از میان بردارد. تاریخ آینده‌ی گیتی‌ای آکنده از ستارگان و کهکشان‌ها اساساً نوشته شد. در گیتی اولیه ذرات پادماده با ذرات ماده نابود می‌شوند، و اضافه ذرات ماده‌ی بازمانده تا به امروز باقی می‌مانند، و مشخصه‌ی گیتی‌ای مرئی را می‌سازد که ما می‌شناسیم و دوست داریم و در آن به سر می‌بریم.

حتا اگر بی‌تقارنی برابر با ۱ قسمت در میلیارد باشد، ماده‌ی کافی برجا می‌ماند تا بتواند هر آن چیزی را که در گیتی امروز می‌بینیم بسازد. راستش، بی‌تقارنی ۱ قسمت در میلیارد یا در همین حدود دقیقاً همان مقدار لازم بود، چون امروز به ازای هر پروتون در گیتی، کمابیش ۱ میلیارد فوتون در زمینه‌ی مایکروویو کیهانی هست. در این تصویر، فوتون‌های CMBR بازماندگان نابودی‌های اولیه‌ی ماده-پادماده در نزدیکی سرآغاز زمان‌اند.

فعلاً توصیفی قطعی از چگونگی رخ‌دادن این فرایند در گیتی اولیه وجود ندارد، چون هنوز به طور کامل و تجربی از سرشت جزئی جهان میکروفیزیکی در مقیاس‌هایی که این بی‌تقارنی احتمال پدیدآمدن داشته، ناآگاهیم. با وجود این، بر پایه‌ی بهترین ایده‌های کنونی درباره‌ی فیزیک این مقیاس‌ها، مشتی سناریوی معقول مورد واکاوی قرار گرفته‌اند. با وجود تفاوت در جزئیات، همگی آن‌ها دارای مشخصه‌های عمومی یکسانی‌اند. فرایندهای کوانتومی همراه با ذرات بنیادی در حمام گرمایی آغازین می‌تواند بی‌وقفه گیتی تهی یا همان گیتی در آغاز متقارن ماده-پادماده را کمابیش رفته‌رفته به سوی گیتی‌ای پیش براند که در سیطره‌ی ماده یا پادماده قرار بگیرد.

اگر هر دو راه امکان داشته‌اند، آیا این تنها حادثه‌ای ضمنی بوده که گیتی ما در سیطره‌ی ماده قرار گرفته است؟ تصور کنید که بالای کوهی بلند ایستاده‌اید و پایتان در می‌رود. جهتی که سقوط می‌کنید از پیش تعیین‌شده نیست، بلکه تنها یک حادثه است، وابسته به این که رویتان به کدام جهت بوده یا این که در کدام نقطه‌ی پایتان سر خورده. شاید گیتی خودمان نیز به همین ترتیب باشد، و حتا اگر قوانین فیزیک ثابت باشند، جهت نهایی بی‌تقارنی بین ماده و پادماده توسط نوعی شرط آغازی تصادفی پیش رانده شد درست مانند مورد سقوط از کوه، قانون گرانش ثابت است و حکم می‌کند که شما سقوط خواهید کرد، ولی جهت سقوط می‌تواند بر پایه‌ی حادثه باشد. بار دیگر، هستی ما در این مورد حادثه‌ای زیست‌محیطی است.

با این حال، مستقل از این عدم قطعیت، این فاکت شگرف وجود دارد که یک ویژگی از قوانین زیربنایی فیزیک می‌تواند فرایندهایی کوانتومی را مجاز کند تا گیتی را از این حالت بدون‌ویژگی دور نماید. فرنک ویلچک فیزیکدان، یکی از نخستین نظریه‌پردازان که به واکاوی این امکان‌پذیری پرداخت، به من گوشزد کرده است که او دقیقاً همین زبانی را به کار برد که من پیش‌تر در این فصل مورد استفاده قرار داده‌ام؛ در ۱۹۸۰ او در مقاله‌ای در ساینتیفیک آمریکن در باب بی‌تقارنی ماده- پادماده‌ی گیتی نوشت. پس از شرح‌دادن این که چگونه بی‌تقارنی ماده- پادماده می‌توانسته به گونه‌ای امکان‌پذیر در گیتی نخست، بر پایه‌ی فهم تازه‌ی ما از فیزیک ذرات ایجاد شده باشد، نکته‌ای را بیان کرد که راهی شد برای اندیشیدن به این پرسش که چرا به جای هیچ، چیزی هست: هیچ ناپایدار است.

نکته‌ای که فرنک رویش انگشت گذاشت آن است که اضافه ماده‌ی اندازه‌گیری شده به نسبت پادماده در گیتی، در نگاه نخست به صورت مانعی درمی‌آید برای تصورکردن گیتی‌ای که می‌توانسته از ناپایداری در فضای تهی سربرآورد، با هیچی که بیگ‌بنگی را می‌سازد. اما اگر آن بی‌تقارنی بتواند پس از بیگ‌بنگ به طور دینامیکی سربرآورد، آن سد برداشته می‌شود. به گفته‌ی او:

می‌توان گمان کرد که گیتی در متقارن‌ترین حالت ممکن آغاز شد و این که در چنین حالتی ماده وجود نداشت؛ گیتی خلأ بود. حالت دومی وجود داشت، و در آن ماده بود. حالت دوم از تقارنی اندکی کم‌تر، ولی انرژی پایین‌تر برخوردار بود. سرانجام تکه‌ای فاز با تقارن کم‌تر پدیدار شد و به سرعت رشد کرد. انرژی رهاسده توسط این گذار در آفرینش ذرات شکل پیدا کرد. این رویداد را می‌توان با بیگ‌بنگ بازشناخت ... در پاسخ به این پرسش قدیمی که "چرا به جای هیچ، چیزی هست؟" می‌شود گفت: چون "هیچ" ناپایدار است.

با این حال، پیش از این که جلو بروم، بار دیگر شباهت‌های بین بحثی که الان درباره‌ی بی‌تقارنی ماده- پادماده را بیان کردم و بحث‌هایی که در کارگاه اخیرمان روی خاستگاه‌ها برای واکاوی درک کنونی‌مان از سرشت حیات در گیتی و خاستگاه آن را داشتیم، گوشزد می‌کنم. واژه‌های من متفاوت بودند، اما مباحث بنیادین به گونه‌ای شگرف مشابه‌اند: چه فرایندهای فیزیکی ویژه‌ای در نخستین لحظات پیشینه‌ی زمین توانسته به آفرینش نخستین زیست‌مولکول‌های تکرارگر و متابولیسم‌ها بینجامد؟ مانند فیزیک در دهه‌ی ۱۹۷۰، دهه‌ی اخیر شاهد پیشرفتی باورنکردنی در زیست‌شناسی مولکولی بوده است. مثلاً، ما از مسیرهای آلی طبیعی سر درآورده‌ایم که می‌توانند در شرایطی امکان‌پذیر، ریبونوکلیک اسیدها را تولید کنند که مدت‌هاست تصور می‌شود پیش‌ماده‌ی جهان نوین برپایه‌ی DNA خودمان باشند. تا همین تازگی احساس می‌شد که چنین مسیر مستقیمی ممکن نیست و باید نوعی شکل‌های واسطه‌ی دیگر نقشی کلیدی را بازی کرده باشند.

اکنون زیست‌شیمی‌دانان و زیست‌شناسان مولکولی انگشت‌شماری یافت می‌شوند که تردید داشته باشند حیات می‌تواند به طور طبیعی از بی‌حیات سر برآورد، هرچند که هنوز باید جزئیات کشف شوند. اما، در جریان این بحث، مبحث فرعی متداول دیگری پیش کشیده شده است: آیا حیاتی که نخستین بار روی زمین شکل گرفت، مجبور به داشتن همان شیمی‌ای بود که انجام داد، یا این که امکان‌پذیری‌های متعدد و به همان اندازه معتبر دیگری هم وجود دارد؟

زمانی اینشتین پرسشی را پیش کشید که، به گفته‌ی خودش، چیزی بود که واقعاً می‌خواست درباره طبیعت بداند. اذعان می‌کنم که این ژرف‌ترین و بنیادی‌ترین پرسشی است که بسیاری از ما می‌خواهیم پاسخش را بدانیم. او چنین گفت: "می‌خواهم بدانم که آیا خداوند [کذا] در آفریدن این گیتی گزینه‌ای داشته یا خیر."

برای اینشتین، وجود نظم در گیتی به چنان حس شگفت‌زدگی ژرفی انجامید که بدان دلبستگی معنوی پیدا کرد، و با انگیزه گرفتن از اسپینوزا، نام "خداوند" را بر آن نهاد. به هر ترتیب، منظور اصلی اینشتین از این پرسش همان موضوعی بود که من در چندین مثال مختلف مطرح کردم: آیا قوانین گیتی یگانه‌اند؟ و آیا گیتی‌ای که در آن به سر می‌بریم، که از این قوانین نتیجه شده، یگانه است؟ اگر یک جنبه، یک ثابت، یک نیرو را تغییر دهیم، آیا همه‌ی ساختار فرو می‌ریزد؟ از جنبه‌ی زیست‌شناختی، آیا زیست‌شناسی حیات یگانه است؟ آیا ما در گیتی یگانه هستیم؟ دوباره در این کتاب سراغ این مهم‌ترین پرسش باز می‌گردیم.

با آن که چنین پرسشی سبب خواهد شد که برداشت‌هایمان را از "هیچ" و "چیز" بیش‌تر پالایش و کلیت‌بخشی کنیم، دوباره می‌خواهم سراغ برداشتن گامی در ایجاد قضیه‌ای برای آفرینش ناگزیر چیز برگردم.

همان گونه که تاکنون آن را تعریف کرده‌ام، "هیچ" مناسبی که "چیز" مشاهده‌شده‌ی ما از آن سر بر می‌آورد "فضای تهی" است. با این حال، هنگامی که پیداشدن سر و کله‌ی مکانیک کوانتومی و نسبیت عام را مجاز بداریم، می‌توانیم این استدلال را به موردی بسط دهیم که در آن خود فضا وادار به پا گذاشتن به هستی می‌شود.

نسبیت عام به عنوان نظریه‌ی گرانش، در گوه‌رش، یک نظریه‌ی فضا و زمان است. همان گونه که در ابتدای این کتاب گفتم، معنایش آن است که این نخستین نظریه‌ای بود که می‌توانست دینامیکِ نه تنها اجسام متحرک در فضا، که چگونگی فرگشت‌یافتن خود فضا را هم توضیح دهد.

بنابراین داشتن نظریه‌ی کوانتومی گرانش بدان معناست که قواعد مکانیک کوانتومی به ویژگی‌های فضا اعمال می‌شود و نه مانند مکانیک کوانتومی متداول، فقط به ویژگی‌های اجسام موجود در فضا،.

بسط دادن مکانیک کوانتومی برای گنجاندن این امکان‌پذیری، پردردسر است، ولی فرمالیسمی که ریچارد فاینمن آن را توسعه داد، و به درک نوینی از خاستگاه پادذره‌ها انجامید، برای این منظور از هر نظر مناسب است. روش‌های فاینمن بر این نکته‌ی کلیدی که در آغاز این فصل بدان اشاره کردم تمرکز دارد: سیستم‌های کوانتوم مکانیکی، با فرگشت‌یافتن در طول زمان، همه‌ی مسیرهای ممکن را می‌کاوند، حتا آن‌هایی را که به طور کلاسیکی ممنوع‌اند.

فاینمن برای واکاوی این گزینه "فرمالیسم سرجمع مسیرها" را توسعه داد تا دست به پیش‌بینی بزند. در این روش، ما همه‌ی مسیرهای ممکن بین دو نقطه را که ذره شاید بپیماید در نظر می‌گیریم. سپس بر اساس اصول کاملاً مشخص مکانیک کوانتومی، احتمالی را به هر مسیر منتسب می‌کنیم، و سپس برای تعیین پیش‌بینی‌های احتمالاتی پایانی برای حرکت ذرات، روی همه‌ی مسیرها جمع‌زنی می‌کنیم.

استیون هاکینگ یکی از نخستین دانشمندانی بود که به طور کامل به واری این ایده در مکانیک کوانتومی ممکن فضا زمان پرداخت اتحاد فضای سه بعدی خودمان همراه با یک بعد زمان برای ایجاد سیستم فضا زمان وحدت یافته ی چهار بعدی، همان طور که مورد نیاز نظریه ی نسبیت خاص اینشتین است. مزیت روش های فاینمن آن بود که تمرکز داشتن روی همه ی مسیرهای ممکن سرانجام به چیزی می رسد، یعنی مستقل از برچسب های خاص فضایی و زمانی که به هر نقطه ای در هر مسیر گمارده می شوند، می توان نتایج را نشان داد. چون نسبیت به ما می گوید که بینندگان متفاوت در حرکت نسبی، مسافت و زمان را به گونه های متفاوتی اندازه می گیرند و بنابراین مقادیر متفاوتی را به هر نقطه در فضا و زمان نسبت می دهند، داشتن فرمالیسمی که مستقل از برچسب های متفاوتی باشد که بینندگان متفاوت شاید به هر نقطه در فضا و زمان بگمارند، به ویژه سودمند است.

و این شاید در ملاحظات نسبیت عام از همه سودمندتر باشد، که در آن برچسب گذاری مشخص نقاط فضا و زمان کاملا دلبخواهی است، به طوری که بینندگان متفاوت در نقاط متفاوت در میدان گرانشی، مسافت ها و زمان ها را به طور متفاوت اندازه می گیرند، و همه ی این ها سرانجام تعیین می کند که رفتار سیستم ها کمیت هایی هندسی باشند مانند خمیدگی، که معلوم شده مستقل از همه ی چنین روندهای برچسب گذاری اند.

همان گونه که چندین بار اشاره کرده ام، دست کم تا جایی که می توانیم بگوییم، نسبیت عام با مکانیک کوانتومی سازگاری کامل ندارد، بنابراین هیچ روش کاملا نامبهمی برای تعریف کردن تکنیک سرجمع مسیرهای فاینمن در نسبیت عام در دست نداریم. بنابراین باید به ناچار از پیش بر پایه ی امکان پذیری حدس هایی بزنیم و ببینیم که آیا نتایج معقول اند یا خیر.

پس اگر بخواهیم دینامیک کوانتومی فضا و زمان را در نظر بگیریم، باید آن را در "جمع های" فاینمن تصور کنیم، پس باید هر پیکربندی ممکن مختلفی را در نظر بگیریم که بتواند هندسه های متفاوتی را توصیف کند که فضا می تواند طی مراحل میانی هر فرایندی، هنگامی که "نامعینی کوانتومی" حرف آخر را می زند، آن را برگزیند. یعنی ما باید فضاهایی را در نظر بگیریم که در مسافت های کوتاه و زمان های اندک چنان کوتاه و اندک که نمی توانیم آن ها را اندازه بگیریم تا از شر "عجیب بودن کوانتومی" خلاص شویم به طور دلبخواه به شدت خمیده اند. پس، این پیکربندی های عجیب توسط بینندگان کلاسیکی بزرگ مانند ما، هنگامی که می کوشیم تا ویژگی های فضا در مسافت ها و زمان های زیاد را اندازه بگیریم، دیده نمی شود.

ولی بیایید امکان پذیری های حتا عجیب تری را در نظر بگیریم. به یاد بیاورید که در نظریه ی کوانتومی الکترومغناطیس، ذرات می توانند به دلخواه از فضای تهی بیرون بزنند، به شرط این که در

چارچوب زمانی تعیین شده با اصل عدم قطعیت، دوباره ناپدید شوند. بنابراین، با همانندی، در پیکربندی‌های فضا زمان ممکن سرجمع کوانتومی فاینمن، آیا نمی‌باید امکان‌پذیری فضاهای کوچک و به احتمال فشرده‌ای را در نظر گرفت که خودشان پا به هستی می‌گذارند و ناپدید می‌شوند؟ به طور کلی‌تر، درباره‌ی فضاهایی که در خودشان می‌توانند "چاله‌هایی" داشته باشند، یا "دستگیره‌هایی" مانند دونات‌هایی فرورونده در فضا زمان، چه می‌شود گفت؟

تردیدهایی در این مورد هست. با این حال، تا زمانی که کسی به دلیل خوبی برای کنار گذاشتن چنین پیکربندی‌هایی از جمع کوانتوم مکانیکی که ویژگی‌های گیتی فرگشت‌یابنده را تعیین می‌کند، دست نیابد، و می‌دانم که تاکنون خبری از چنین دلیل خوبی نیست، آن‌گاه بنا به این اصل کلی که تا جایی که می‌دانم در هر جای دیگری از طبیعت برقرار است - یعنی هر آن‌چه که از سوی قوانین فیزیک ممنوع نشده باشد باید عملاً رخ دهد - در نظر گرفتن این امکان‌پذیری‌ها از هر لحاظ عقلانی است.

همان گونه که استیون هاکنینگ تأکید کرده، نظریه‌ی کوانتومی گرانش، آفرینش خود فضا را در جایی که پیش‌تر چیزی وجود نداشت، هر چند شاید گذرا، مجاز می‌دارد. با آن که وی در کارهای علمی‌اش نکوشید تا به معمای "چیزی از هیچ" پاسخ دهد، این عملاً همان چیزی است که گرانش کوانتومی می‌تواند سرانجام پاسخی برایش فراهم کند.

گیتی‌های "مجازی" - یعنی فضاهای فشرده‌ی کوچک ممکن که می‌توانند در مقیاس‌های زمانی چنان کوچکی که نمی‌توانیم آن‌ها را مستقیم اندازه بگیریم ناگهان پا به هستی می‌گذارند و ناپدید می‌شوند - ساختارهای نظری افسونگری‌اند، ولی گویا شرح نمی‌دهند که چگونه چیزی می‌تواند در درازمدت از هیچ سربرآورد، همان طور که ذرات مجازی که فضای انگار تهی را پر می‌کنند چیزی به ما نمی‌گویند.

با این حال به خاطر آورید که میدان الکتریکی واقعی ناصفر، که در فواصل طولانی از ذره‌ای باردار مشاهده‌پذیر است، می‌تواند از "گسیل همدوس" تعداد زیادی از فوتون‌های صفرانرژی مجازی توسط بار ناشی شود. دلیلش آن است که فوتون‌های مجازی حمل‌کننده‌ی انرژی صفر در هنگام گسیل شدن، پایستگی انرژی را نقض نمی‌کنند. بنابراین، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، آن‌ها را مقید نمی‌کند که پیش از آن‌که به ناچار بازجذب و در هیچی ناپدید شوند، تنها طی مدت بسیار کوتاهی در هستی باشند. دوباره به یاد آورید که اصل عدم قطعیت هایزنبرگ می‌گوید که عدم قطعیت در اندازه‌گیری انرژی ذره، و بدین ترتیب امکان‌پذیری تغییر یافتن اندک انرژی آن به علت گسیل و جذب ذرات مجازی، با طول زمان مشاهده‌ی آن نسبت

وارون دارد. بنابراین ذراتی مجازی که انرژی صفر را با خود می‌برند می‌توانند اصولاً بدون پرداختن تاوان چنین کنند - یعنی می‌توانند پیش از جذب شدن در زمان‌های به دلخواه طولانی وجود داشته باشند و مسافت‌های به دلخواه درازی را پیمایند ... و به وجود ممکن برهم‌کنش‌های بلندبرد بین ذرات باردار بینجامند. اگر فوتون بی‌جرم نمی‌بود، به‌طوری که فوتون‌ها همیشه انرژی ناصفر ناشی از جرم سکون را حمل می‌کردند، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ بر کوتاه‌برد شدن میدان الکتریکی چون فوتون‌ها می‌توانستند تنها در زمان‌هایی بدون دوباره بازجذب شدن کوتاه گسترش پیدا کنند.

استدلالی مشابه بیانگر آن است که می‌توان نوع خاصی از گیتی را تصور کرد که شاید خودبه‌خودی پدیدار شود و به دلیل محدودیت‌های اصل عدم قطعیت و پایداری انرژی، لازم نباشد کمابیش فوراً پس از آن ناپدید شود. یعنی، گیتی‌ای فشرده با انرژی کل صفر.

خب، بسیار خوشحالم که بگویم این درست همان گیتی‌ای است که ما در آن هستیم. این راه ساده‌ای است برای پایان دادن به این داستان، ولی در این‌جا بیش‌تر علاقه دارم تا بر حسب درک کنونی‌مان از گیتی، درست سخن بگویم تا این‌که داستانی به ظاهر ساده و متقاعدکننده برای آفریدن آن از هیچ سر هم کنم.

استدلال کرده‌ام، امیدوارم به گونه‌ای رضایت‌بخش، که میانگین انرژی گرانشی نیوتونی هر جسمی در گیتی تخت خودمان برابر است با صفر. که چنین نیز هست. ولی همه‌ی داستان این نیست. انرژی گرانشی برابر با انرژی کل هر جسمی نیست. به این انرژی باید انرژی سکون آن را نیز بیفزاییم، که به همراه جرم سکونش است. به عبارت دیگر، همان گونه که پیش‌تر گفتم، انرژی گرانشی جسمی در سکون، جدا از همه‌ی دیگر اجسام در فاصله‌ی بی‌نهایت، برابر است با صفر؛ چون اگر در سکون باشد، هیچ انرژی جنبشی حرکتی ندارد، و اگر از دیگر ذرات بی‌نهایت دور باشد، نیروی گرانشی روی آن ناشی از دیگر ذرات، که می‌تواند انرژی پتانسیل انجام‌دادن کار را فراهم کند نیز اصولاً صفر می‌شود. با این حال، همان گونه که اینشتین به ما گفت، انرژی کل آن تنها ناشی از گرانش نیست، بلکه شامل انرژی همراه با جرمش نیز می‌شود، به طوری که، همان گونه که همه می‌دانیم، $E = mc^2$.

برای به حساب‌آوردن این انرژی سکون، ناگزیر باید گرانش نیوتونی را به پهنه‌ی نسبیت عام ببریم، که بنا به تعریف، اثرات نسبیت خاص و $E = mc^2$ را در نظریه‌ی گرانش می‌گنجاند. در این‌جا اوضاع نامشهودتر و گیج‌کننده‌تر می‌شود. در مقیاس‌های کوچک، در قیاس با خمیدگی ممکن گیتی، و تا زمانی که همه‌ی اجسام درون این مقیاس‌ها در قیاس با سرعت نور به

آهستگی حرکت کنند، نسخه‌ی نسبیّت عام انرژی به تعریفی باز می‌گردد که از گفته‌ی نیوتون با آن آشناییم. با این حال، به محض برطرف‌شدن این شرایط، ورق بر می‌گردد، البته کمابیش.

بخشی از مسئله آن است که معلوم شده انرژی، همان گونه که در دیگر جاهای فیزیک معمولاً در نظر می‌گیریم، در مقیاس‌های بزرگ در گیتی‌ای خمیده، مفهومی به ویژه "خوش‌تعریف" نیست. راه‌های گوناگون تعریف‌کردن دستگاه‌های مختصات برای توصیف برچسب‌های گوناگونی که بینندگان متفاوت چه بسا به نقاطی در فضا و زمان می‌گمارند به نام "چارچوب‌های مرجع" گوناگون می‌توانند، در مقیاس‌های بزرگ، به اندازه‌گیری‌های گوناگونی از انرژی کل آن سیستم بینجامد. برای لحاظ‌کردن این اثر، مجبوریم مفهوم انرژی را کلیت‌بخشی کنیم، و نیز، اگر بخواهیم انرژی کل نهفته در هر گیتی‌ای را تعریف کنیم، باید ببینیم که چگونه انرژی در گیتی را جمع بزنیم که چه بسا در مقیاس فضایی نامتناهی باشد.

درباره‌ی چگونگی انجام دقیق این کار بحث و جدل زیادی هست. نوشتارهای علمی آکنده است از ادعاها و ضد ادعاهایی در این زمینه.

با این حال یک چیز قطعی است: یک گیتی هست که در آن انرژی کل به یقین و به دقت صفر است. اما این گیتی تخت نیست که در اصل در مقیاس فضایی نامتناهی است، و بنابراین محاسبه‌ی انرژی کل دردسراًفرین می‌شود. این گیتی بسته است، گیتی‌ای که در آن چگالی ماده و انرژی کافی هست تا سبب شود فضا روی خودش بسته شود. همان گونه که گفتم، در گیتی بسته، اگر در یک جهت به فاصله‌ای به حد کافی دور بنگرید، سرانجام پشت سرتان را خواهید دید!

دلیل این‌که انرژی گیتی بسته صفر است واقعاً به نسبت ساده است. ساده‌ترین شیوه‌ی در نظرگرفتن این نتیجه در همانندی با این نکته است که در گیتی بسته بار الکتریکی کل باید صفر باشد.

از زمان مایکل فارادی ما بار الکتریکی را به صورت سرچشمه‌ی میدان الکتریکی در نظر می‌گیریم به زبان کوانتومی نوین معادل با گسیل فوتون‌های مجازی که در بالا شرح دادم. از لحاظ تصویری، ما "خطوط میدان" را که به طور شعاعی از بار بیرون می‌زنند در نظر می‌گیریم، که در آن تعداد خطوط میدان متناسب است با بار، و جهت خطوط میدان برای بارهای مثبت به سمت بیرون و برای بارهای منفی به سمت درون است، مطابق شکل زیر.



ما تصور می‌کنیم که این خطوط میدان تا بی‌نهایت امتداد می‌یابند، و با گسترده‌شدن، از هم دورتر می‌شوند. این دلالت دارد بر این‌که قدرت میدان الکتریکی ضعیف‌تر و ضعیف‌تر می‌شود. با این حال، در گیتی بسته، خطوط میدان مثلاً بار مثبت می‌توانند شروع به گسترده‌شدن کنند، ولی سرانجام، همان‌گونه که خطوط طول جغرافیایی روی نقشه‌ی زمین در قطب‌های شمال و جنوب به هم می‌رسند، خطوط میدان بار مثبت در سمت دوردست گیتی نیز بار دیگر به هم برسند. هنگامی که آن‌ها همگرا می‌شوند، میدان دوباره قوی‌تر و قوی‌تر می‌شود تا این‌که انرژی کافی برای ایجاد بار منفی تأمین می‌شود که می‌تواند در آن نقطه‌ی قطب مخالف گیتی آن خطوط میدان را "بخورد".

معلوم شده که استدلالی بسیار یکسان، در این مورد نه مربوط به "شار" خطوط میدان بلکه "شار" انرژی گیتی بسته، به ما می‌گوید که انرژی مثبت کل، شامل آن‌چه که مربوط به جرم سکون ذرات است، باید دقیقاً با انرژی گرانشی منفی جبران شود، تا انرژی کل دقیقاً صفر شود.

پس اگر انرژی کل گیتی بسته صفر باشد، و اگر فرمالیسم سرجمع مسیرهای گرانش کوانتومی به کار آید، آن‌گاه چنین گیتی‌ای می‌تواند از لحاظ مکانیک کوانتومی بدون پرداختن تاوان خودبه‌خودی پدیدار شود، و دارای هیچ انرژی خالصی نباشد. می‌خواهم گوشزد کنم که این گیتی‌ها، فضازمان‌هایی هستند کاملاً خودکفا و از گیتی ما جدا.

با این حال، گیری در این جا هست. گیتی انبساط‌یابنده‌ی بسته‌ای پر از ماده، در کل تا اندازه‌ای بیشینه انبساط می‌یابد و سپس به سرعت بازرمیش می‌کند، و به تکینگی فضازمانی می‌رسد که فعلاً برهوت گرانش کوانتومی نمی‌تواند از سرنوشت پایانی آن چیزی به ما بگوید. بدین ترتیب، طول عمر مشخصه‌ی گیتی‌های بسته‌ی ریز، میکروسکوپی خواهد بود، شاید در اندازه‌ی "زمان پلانک"، مقیاسی مشخصه که طی آن فرایندهای کوانتوم گرانشی عمل می‌کنند، در حد کمابیش ۱۰-۴۴ ثانیه.

با این حال راهی برای برون‌رفت از این دوراهی ناخوشایند هست. اگر، پیش از این که گیتی بتواند برمبد، پیکربندی میدان‌های درونش بتوانند دوره‌ای از تورم را درست کنند، آن گاه حتا گیتی بسته‌ی در آغاز ریز می‌تواند به سرعت و تصاعدی انبساط بیابد، و طی این دوره به گیتی تخت بی‌نهایت بزرگی نزدیک‌تر و نزدیک‌تر شود. پس از کمابیش یکصد بار دو برابرشدن چنین تورمی، این گیتی چنان به تخت نزدیک خواهد شد که می‌تواند به سادگی مدت بسیار درازتری از گیتی ما که بدون رمبش به سر برده، پابرجا بماند.

امکان‌پذیری دیگری نیز عملاً وجود دارد، چیزی که همواره حسی خاطره‌انگیز و رشک‌آلود برایم دارد، چون تجربه‌ای مهم را به من آموخت. هنگامی که در هاروارد دانشجوی پست‌داک بودم و با مکانیک کوانتومی ممکن برای میدان‌های گرانشی ور می‌رفتم، از نتیجه‌ای که دوستی خوب به‌دست آورده بود خبردار شدم، او ایان آفلک بود. هنگامی که در MIT بودم، افلک کانادایی دانشجوی دکتری در هاروارد بود و چند سال بعد پیش از من به انجمن فلوز پیوست و از نظریه‌ی ریاضی فاینمن، به نام "نظریه‌ی میدان کوانتومی"، استفاده کرده بود که ما اکنون آن را برای پرداختن به ذرات بنیادی و میدان‌ها، به کار می‌بریم تا حساب کنیم چگونه ذرات و پادذرات می‌توانند در میدان مغناطیسی قوی ایجاد شوند.

متوجه شدم که شکل راه حلی که ایان شرح داده بود، چیزی به نام "اینستاتون"، شباهتی بسیار با گیتی تورم‌یابنده دارد، اگر که فرمالیسم او را به پهنه‌ی گرانش ببریم. ولی مانند آن بود که گیتی تورم‌یابنده از هیچ آغاز شده باشد! پیش از انتشار این نتیجه، می‌خواستم به سردرگمی خودم درباره‌ی این که این راه حل ریاضی متناظر با چه فیزیکی است بپردازم. با این حال، به زودی خبردار شدم که در حالی که من مشغول اندیشیدن بودم، کیهان‌شناس بسیار خوش‌فکری که قبلاً از وی گفتم، آلکس ویلنکین، که از آن هنگام به دوستم تبدیل شده، عملاً مقاله‌ای نوشته و در آن دقیقاً با همین شیوه شرح داده بود که چگونه گرانش کوانتومی به راستی می‌تواند گیتی تورم‌یابنده را مستقیماً از هیچ بیافریند. من رودست خوردم، ولی نمی‌توانستم تا آن اندازه هم ناراحت باشم چون الف راستش در آن موقع کاملاً سر در نمی‌آوردم که دارم چه می‌کنم، و ب آلکس جرأت آن را داشت تا چیزی را پیشنهاد کند، که در آن هنگام من آن را نداشتم. از آن هنگام آموختم که برای انتشار چیزی لازم نیست که به تمام پیامدهای آن اشراف داشت. راستش چندین مقاله‌ی مهم من هست که بعدها توانستم آن‌ها را کاملاً بفهمم.

باری، با آن که استیون هاکنینگ و همکارش جیم هارتل طرح بسیار متفاوتی را برای کوشش در تعیین "شرایط مرزی" در گیتی‌هایی که شاید مطلقاً از هیچ آغاز شوند پیشنهاد کرده‌اند، نکات مهم عبارت‌اند از:

۱. در گرانش کوانتومی، گیتی‌ها می‌توانند، و به راستی همواره خواهند توانست، خودبه‌خودی از هیچ پدیدار شوند. لازم نیست که چنین گیتی‌هایی تهی باشند، بلکه می‌توانند در خود دارای ماده و تابش باشند، تا زمانی که انرژی کل، شامل انرژی منفی همراه با گرانش، صفر باشد.

۲. برای این که گیتی‌های بسته‌ای که شاید از راه چنین مکانیسم‌هایی ایجاد می‌شوند بتوانند بیش‌تر از مدت‌های بسیار کوتاه پابرجا بمانند، چیزی مانند تورم ضروری است. در نتیجه، تنها گیتی درازعمر حاصل از چنین سناریویی که شاید بتوان انتظار داشت پابرجا بماند، همانی است که امروز به صورت تخت پدیدار می‌شود، درست مانند نمای گیتی‌ای که در آن به سر می‌بریم.

آموزه آشکار است: نه تنها به نظر می‌رسد که گرانش کوانتومی اجازه می‌دهد تا گیتی‌ها از هیچ آفریده شوند - یعنی، در این مورد، تأکید می‌کنم، نبود فضا و زمان - بلکه چه بسا آن‌ها را ملزم به این کار کند. "هیچ" - در این مورد یعنی نبود فضا، نبود زمان، نبود هر چیزی! - ناپایدار است.

گذشته از آن، انتظار می‌رود که مشخصه‌های اصلی چنین گیتی‌ای، اگر مدتی دراز پابرجا بماند، همان‌هایی باشند که امروز در گیتی خودمان می‌بینیم.

آیا این اثبات می‌کند که گیتی خودمان از هیچ سر بر آورده؟ البته که نه. ولی ما را تا حد زیادی به امکان‌پذیری چنین سناریویی نزدیک‌تر می‌کند. و یکی دیگر از مخالفت‌هایی را از میان بر می‌دارد که در برابر استدلال آفرینش از هیچ برپا شده بود، که در فصل پیش بیان کردم.

آن‌جا، "هیچ" به مفهوم تهی بود، ولی دارای فضای از پیش موجود با قوانین فیزیکی ثابت و کاملاً شناخته شده. اکنون نیاز به فضا برداشته شده است.

اما، شگفتا، همان گونه که در فصل بعد خواهم گفت، چه بسا حتا قوانین فیزیک نیز ضروری یا لازم نباشند.

فصل ۱۱: جهان‌های قشنگ نو

بهترین دوران بود. بدترین دوران بود.

چارلز دیکنز

مسئله‌ی اصلی با مفهوم آفرینش آن است که انگار نیازمند نوعی برون‌بود است، چیزی در بیرون خود سیستم، تا برای ایجاد شرایط لازم برای پا به هستی گذاشتن سیستم، از پیش وجود داشته باشد. معمولاً این همان جایی است که مفهوم آفریننده - نوعی عامل بیرونی موجود جدا از فضا، از زمان، و در واقع از خود واقعیت فیزیکی - وارد می‌شود، چون انگار باید مسئولیت‌ها را گردن کسی انداخت. ولی به نظر من از این جنبه آفریننده به صورت جواب معنایی به نسبت سطحی برای پاسخ ژرف آفرینش در می‌آید. فکر می‌کنم در چارچوب مثالی اندک متفاوت بشود به بهترین شیوه این را توضیح داد: خاستگاه اخلاق، که برای نخستین بار از دوستم استیون پینکر آن را آموختم.

آیا اخلاق بیرونی و مطلق است، یا تنها درون چارچوب زیست‌شناختی و محیط زیست ما به دست می‌آید، و بدین ترتیب می‌تواند با علم تعیین شود؟ طی مناظره‌ای که از سوی دانشگاه ایالتی آریزونا برگزار شد، پینکر معمای زیر را پیش کشید.

اگر کسی، مانند بسیاری از افراد بسیار باورمند، استدلال کند، که بدون وجود آفریننده درست و نادرست غایی نمی‌تواند وجود داشته باشد - یعنی این که آفریننده برای ما تعیین می‌کند که چه چیزی درست است و چه چیزی نادرست - آن‌گاه می‌توان این پرسش‌ها را پیش کشید: اگر آفریننده فرمان داده بود که تجاوز و کشتار از نظر اخلاقی پسندیده است چه می‌شد؟ آیا این فرمان آن‌ها را پسندیده می‌کرد؟

چه بسا تمایل داشته باشیم که استدلال مشابه‌ای را برای آفرینش گیتی خودمان به کار ببریم. تمام مثال‌هایی که تاکنون مطرح کردم به راستی دربرگیرنده‌ی آفرینش چیزی است از آن چه که

کسی شاید اغوا شود آن را هیچ در نظر بگیرد، ولی قواعد آن آفرینش، یعنی، قوانین فیزیک، از پیش تعیین شده بودند. این قواعد از کجا می آیند؟

دو امکان پذیری هست. یا آفریننده، یا نوعی موجود آسمانی که مقید به این قواعد نیست، کسی که در بیرون از آنهاست، آنها را تعیین می کند - خواه از سر هوس خواه با قصد قبلی - یا آن که آنها از نوعی مکانیسم کم تر فراطبیعی سربرمی آورند.

مشکل آفریننده ای که این قواعد را تعیین می کند آن است که شما می توانید دست کم بپرسید که چه، یا چه کسی، قواعد آفریننده را تعیین کرده است. به طور سنتی پاسخ آن است که آفریننده، از میان ویژگی های شگفت انگیز بسیار متعددش، در زبان کلیسای کاتولیک رومی، علت همه ی علت ها به شمار می رود، یا علت نخستین به گفته ی آکوئیناس، یا به زبان ارسطو، حرکت محرک نخستین.

جالب است که ارسطو مشکل علت نخستین را تشخیص داد، و به همین تصمیم گرفت که دلیل گیتی باید جاودانه باشد. گذشته از آن، خود آفریننده، که ارسطو او را به عنوان اندیشه ی خودبین محض در نظر گرفته بود، که محرک نخستین به عشق آن به حرکت درآمد، می باید جاودانه باشد، و نه با آفریدن حرکت، بلکه در عوض با برقراری هدف پایانی حرکت، که ارسطو فرض کرده بود خودش می باید جاودانه باشد، علت حرکت می شد.

ارسطو احساس کرد که برابر گرفتن علت نخستین با آفریننده رضایت بخش نیست، به واقع مفهوم افلاطونی علت نخستین ایراد داشت، به ویژه چون ارسطو احساس می کرد هر علتی باید دارای پیش درآمدی باشد - در این جا، نیاز به جاودانگی گیتی. به گونه ی دیگر، اگر کسی دیدگاه آفریننده به عنوان علت همه ی علت ها، و بنابراین جاودانگی او را حتا اگر گیتی خودمان چنین نباشد، برگزیند، توالی برهان خلف پرسش های "چرا" به راستی قطع می شود، اما همان گونه که تأکید کردم، تنها به قیمت به صحنه آوردن موجود قدر قدرتِ شگفت انگیزی که برایش به واقع هیچ مدرک دیگری وجود ندارد.

در این روند، نکته ی مهم دیگری هست که باید در این جا گوشزد شود. الزام منطقی ظاهری علت نخستین برای هر گیتی دارای سرآغاز، موضوعی واقعی است. بنابراین، تنها بر پایه ی منطق نمی توان چنین دیدگاه آسمانی از طبیعت را کنار گذاشت. اما حتا در این مورد، واجب است بفهمیم که این الوهیت هیچ ارتباط منطقی با خدایان شخص وار آیین های جهان ندارد، با وجود این

حقیقت که اغلب برای توجیه آن‌ها به کار گرفته می‌شود. فرد باورمندی که ناگزیر می‌شود به جستجوی نوعی هوش فراگیر بپردازد تا نظم را در طبیعت برقرار سازد، در کل، با همان منطق، آفریننده‌ی شخص‌وار کتاب مقدس را استنتاج نخواهد کرد.

هزاران سال است که بر سر این موضوعات بحث و جدل بوده است، چه از سوی مغزهای درخشان و چه از سوی مغزهای نه چندان درخشان، و دسته اخیر با بحث بر سر آن‌ها زندگی خود را می‌گذارند. اکنون می‌توانیم به این موضوعات بازگردیم چون بنا به دانش‌مان از سرشت واقعیت فیزیکی، آگاهی بهتری داریم. نه ارسطو و نه آکوئیناس چیزی درباره‌ی وجود کهکشان خودمان نمی‌دانستند، دیگر چه برسد به بیگ‌بنگ یا مکانیک کوانتومی. بنابراین، موضوعاتی که آنان و فیلسوفان بعدی سده‌های میانی درگیرش شدند، باید در پرتو دانش تازه‌مان تفسیر و درک شوند.

مثلاً، در پرتو تصویر نوین کیهان‌شناسی، پیشنهاد ارسطو مبنی بر نبود علت نخستین، یا درعوض این مطلب را که علت‌ها به راستی در همه‌ی جهات‌ها تا بی‌نهایت دور به عقب یا جلو می‌روند، در نظر بگیرید. سرآغازی نیست، آفرینشی نیست، پایانی نیست.

هنگامی که تا بدین جا شرح داده‌ام که چگونه چیزی کمابیش همواره می‌تواند از "هیچ" بیاید، یا بر روی آفرینش چیزی از فضای تهی از پیش موجود تمرکز داشته‌ام، یا بر آفرینش فضای تهی از هیچ فضایی به طور کل. هنگامی که به "نبود بودن" می‌اندیشم هر دو شرط آغازی به من جواب می‌دهند و بنابراین گزینه‌های ممکن برای هیچی هستند. با این حال، به طور مستقیم به این موضوعات پرداخته‌ام که پیش از چنین آفرینشی، چه چیزی می‌توانسته وجود داشته باشد، اگر چیزی بوده، چه قوانینی بر آفرینش فرمان می‌راندند، یا، به طور کلی‌تر، سراغ این بحث نرفته‌ام که چه چیزی را برخی به عنوان پرسش علت نخستین ممکن است در نظر بگیرند. البته پاسخی ساده آن است که خواه فضای تهی خواه هیچی بنیادین‌تر که فضای تهی شاید از آن سربرآورده باشد، از پیش بوده، و جاودانه است. با این حال، برای رعایت انصاف، چنین چیزی این پرسش ممکن را مصادره به مطلوب می‌کند، که طبیعتاً شاید قابل پاسخ‌دادن نباشد، که چه چیزی، اگر چیزی باشد، قواعد حاکم بر چنین آفرینشی را تثبیت می‌کند؟

با این حال، یک چیز قطعی است. "قاعده‌ی" متافیزیکی که اعتقاد راسخ کسانی است که با آنان در موضوع آفرینش به بحث و جدل پرداخته‌ام، یعنی "از هیچ، چیزی به دست نمی‌آید،" هیچ

بنیانی در علم ندارد. این استدلال که عبارت فوق بدیهی، استوار، آسیب‌ناپذیر است، مانند این استدلال اشتباه داروین است، که در قیاس با این ادعای نادرست که ماده نمی‌تواند آفریده یا نابود شود، گفت که خاستگاه حیات در ورای قلمرو علم قرار دارد. نتیجه‌ی این چیزی نخواهد بود جز این نکته‌ی ساده که طبیعت چه بسا از فیلسوفان و الاهیات‌دانان زیرک‌تر باشد.

گذشته از آن، کسانی که استدلال می‌کنند که از هیچ، چیزی به دست نمی‌آید، گویا کاملاً با این برداشت بسیار ایده‌آلیستی قانع می‌شوند که آفریننده می‌تواند به شیوه‌ای از پس آن برآید. اما باز هم، اگر کسی الزام کند که مفهوم هیچی راستین حتا نیازمند پتانسیل هستی نباشد، آن‌گاه بی‌تردید آفریننده نمی‌تواند دست به کار شود، چون اگر او سبب هستی از نیستی شود، باید پتانسیلی برای هستی وجود می‌داشته است. این استدلال ساده که آفریننده می‌تواند دست به کاری بزند که طبیعت نمی‌تواند، مانند این استدلال است که پتانسیلی فراطبیعی برای هستی به گونه‌ای متفاوت از پتانسیل طبیعی معمولی برای هستی وجود دارد. اما انگار این چیزی بیش از یک تمایز معنایی دلخواهانه نیست که از سوی کسانی طراحی شده که پیشاپیش تصمیم گرفته‌اند کاری که الاهیات‌دانان بدان عادت دارند که فراطبیعی باید باشد، بنابراین آنان ایده‌های فلسفی خود را بار دیگر کاملاً جدا از هرگونه بنیان تجربی به گونه‌ای تعریف می‌کنند تا هر چیزی غیر از امکان‌پذیری آسمانی را کنار بگذارند.

در هر صورت، فرض گرفتن باشنده‌ای که بتواند این معما را حل کند، همان گونه که تاکنون بارها گوشزد کرده‌ام، غالباً بنا به ادعا نیازمند آفریننده‌ی است که در بیرون این گیتی هست و، یا بی‌زمان است یا جاودانه.

با این حال، درک نوین ما از گیتی، راه‌حل دیگری را برای این مسئله فراهم می‌کند که دارای برخی از همان ویژگی‌های آفریننده‌ی بیرونی است، و هم شدنی است و هم، دلیل می‌آورم، به مراتب فیزیکی‌تر - و گذشته از آن از لحاظ منطقی نیز سازگارتر.

من در این جا به بسگیتی اشاره می‌کنم. این امکان‌پذیری که گیتی خودمان یک عضو از مجموعه‌ای بزرگ، حتا به احتمال نامتناهی از گیتی‌هایی متفاوت و علیتی جداست، که در یکی از آن‌ها هر تعداد از جنبه‌های بنیادین واقعیت فیزیکی شاید متفاوت باشد، امکان‌پذیری تازه‌ی وسیعی را برای فهمیدن هستی خودمان در پیش رو می‌گذارد.

همان‌گونه که گفتم، یکی از پیامدهای ناگوارتر ولی بالقوه درست‌تر این تصاویر آن است که فیزیک، در سطحی بنیادین‌تر، تنها علمی است زیست‌محیطی. این امر برایم ناگوار است، چون بر این پایه تربیت یافته‌ام که هدف علم عبارت است از توضیح این‌که چرا گیتی باید به این شیوه‌ای باشد که هست و چگونه چنین شد. اگر در عوض، قوانین فیزیک آن‌گونه که آن‌ها را می‌شناسیم، تنها حادثه‌هایی باشند همبسته با هستی خودمان، آن‌گاه آن هدف بنیادین نابه‌جا بوده است. با این حال، اگر معلوم شود که این ایده درست است، دست از تعصب برخوادم داشت. در این مورد، نیروها و ثابت‌های بنیادین طبیعت در این تصویر دیگر همان اندازه بنیادین‌اند که مسافت زمین- خورشید بنیادین است. ما می‌بینیم که به جای مریخ روی زمین به سر می‌بریم، نه به این دلیل که چیزی ویژه و بنیادین در فاصله‌ی زمین- خورشید هست، بلکه چون اگر زمین در فاصله‌ای دیگر قرار داشت، آن‌گاه حیات به آن صورتی که ما می‌شناسیم نمی‌توانست روی سیاره‌ی خودمان تشکیل شود.

این استدلال‌های بشر بنیاد آشکارا اعتمادناپذیرند، و دست‌زدن به پیش‌بینی‌های مشخص بر پایه‌ی آن‌ها، بدون دانستن صریح توزیع احتمال در بین همه‌ی گیتی‌های ممکن با ثابت‌ها و نیروهای بنیادین گوناگون - یعنی، که شاید تغییر کنند و نکنند، و چه مقادیر و شکل‌های ممکن‌ی را شاید به خود بگیرند - و نیز این‌که دقیقاً ما در گیتی تا چه اندازه "نوعی" هستیم، تقریباً ناشدنی است. اگر ما شکل‌های حیات "نوعی" نباشیم، آن‌گاه گزینش بشر بنیاد، اگر اصلاً رخ دهد، شاید برپایه‌ی عواملی متفاوت از آن‌هایی باشد که ما بدان نسبت می‌دهیم.

با وجود این، هنگامی که درباره‌ی آفرینش گیتی خودمان و شرایطی که شاید برای رخ دادن آن لازم باشد، می‌اندیشیم، بسگیتی، خواه در شکل چشم‌اندازی از گیتی‌های موجود در انبوهی از بعدها‌ی اضافی، خواه در شکل مجموعه‌ای به احتمال بی‌نهایت تکرارشونده از گیتی‌ها در فضای سه بعدی مانند مورد تورم جاودانه، زمین بازی را تغییر می‌دهد.

در وهله‌ی نخست، اکنون این پرسش که چه چیزی قوانین طبیعت را تعیین کرد که اجازه داد تا گیتی خودمان تشکیل شود و فرگشت یابد، اهمیت کم‌تری پیدا می‌کند. اگر خود قوانین طبیعت تصادفی و شانسی باشند، آن‌گاه هیچ "علت" مشخصی برای گیتی ما وجود ندارد. بدین ترتیب بنا به این اصل عمومی که هر آن‌چه که ممنوع نباشد مجاز است، تضمین می‌شود که،

در چنین تصویری، نوعی گیتی سر بر خواهد آورد با همان قوانینی که ما کشف کرده‌ایم. برای این که تثبیت قوانین طبیعت آن چیزی شود که هستند، به هیچ مکانیسم یا چیز خاصی نیاز نیست. آن‌ها تقریباً می‌توانند هر چیزی باشند. چون اکنون هیچ نظریه‌ای بنیادین نداریم تا مشخصه‌ی دقیق چشم‌انداز بسگیتی را توضیح دهد، نمی‌توانیم چیزی بگوییم. گرچه برای رعایت انصاف، برای انجام هرگونه پیشرفت علمی در محاسبه‌ی امکان‌پذیری‌ها، به طور کلی فرض می‌کنیم که ویژگی‌هایی معین، مانند مکانیک کوانتومی، در همه‌ی امکان‌پذیری‌ها رخ نه می‌کند. من هیچ ایده‌ای ندارم که آیا این برداشت می‌تواند به گونه‌ای سودمند کنار گذاشته شود یا خیر، یا دست کم در مورد هر نوع کار ثمربخش در این زمینه چیزی نمی‌دانم.

راستش، شاید اصلاً هیچ نظریه‌ی بنیادینی وجود نداشته باشد. گرچه من به این دلیل فیزیکدان شدم که امید داشتم چنین نظریه‌ای باشد، و نیز امیدوار بودم که بتوانم روزی در کشف آن نقشی بازی کنم، چه بسا این امید، آن گونه که از پیش زاری کرده‌ام، نابه‌جا باشد. این گفته‌ی ریچارد فاینمن تسلا بخش من است، که پیش‌تر به اختصار آن را گفتم، ولی اکنون می‌خواهم آن را به طور کامل بازگو کنم:

مردم از من می‌پرسند، "آیا دارید به دنبال قوانین غایی فیزیک می‌گردید؟" نه، این کار را نمی‌کنم. من تنها می‌خواهم بیشتر از جهان سر در بیاورم، و اگر معلوم شود که قانون غایی ساده‌ای هست که همه‌چیز را توضیح می‌دهد، خب، باشد. کشف آن بسیار عالی است. اگر معلوم شود که مانند پیازی است با میلیون‌ها لایه، و از برداشتن لایه‌ها خسته و دلزده شویم، آن‌گاه دیگر کاری نمی‌شود کرد و همین است که هست ... دل‌سپردگی من به علم تنها برای سردرآوردن بیشتر از جهان است، و هر چه بیشتر بفهمم، لذت بیشتری می‌برم. من از فهمیدن خوشم می‌آید.

می‌شود این استدلال را در جهت متفاوتی پیش برد، که پیامدهایی نیز برای استدلال‌های آمده در دل این کتاب دارد. در بسگیتی‌ای از هر نوعی که گفته شد، می‌تواند بی‌نهایت محدوده وجود داشته باشد، بالقوه بی‌نهایت بزرگ یا بی‌نهایت کوچک، که در آن تنها "هیچ" هست، و نیز محدوده‌هایی می‌توانند باشند که در آن‌ها "چیز" هست. در این مورد، پاسخ به این پرسش که چرا چیزی به جای هیچ هست، کمابیش کلیشه‌ای می‌شود: چیزی هست چون به سادگی اگر چیزی نبود، نمی‌دیدم که داریم زندگی می‌کنیم!

می‌دانم که چنین پاسخ بی‌مایه‌ای به آن چه که گویا پرسشی ژرف در طول دوران‌های مختلف بوده، در ذات خود ناامیدکننده است. ولی علم به ما گفته که هر چیز ژرف یا بی‌مایه‌ای می‌تواند

کاملاً با آن چه که شاید در نگاه نخست انگاشته‌ایم متفاوت باشد.

گیتی به مراتب عجیب‌تر و و به مراتب غنی‌تر - به گونه‌ای اعجاب‌آور شگفت‌انگیزتر - از هر آن چیزی است که خیال‌پردازی‌های کم‌مایه‌ی انسانی ما بتواند پیش‌بینی کند. کیهان‌شناسی نوین ما را به جایی رسانده که ایده‌هایی را در نظر بگیریم که حتا یک سده پیش نمی‌شد فرمولبندی کرد. کشف‌های بزرگ سده‌های بیستم و بیست و یکم، نه تنها جهانی را که در آن به سر می‌بریم دگرگون کرده‌اند، که درک ما را از جهانی - یا جهان‌هایی - که هست، یا چه بسا درست زیر بینی‌مان هستند، زیر و رو کرده‌اند؛ واقعیتی پنهان، تا هنگامی که جسارت کافی برای جستجوی آن را پیدا کنیم.

به همین دلیل است که فلسفه سرانجام به خودی خود از پرداختن به پرسش‌های به راستی بنیادینی که ما را درباره‌ی هستی سردرگم می‌کنند، باز می‌ماند. تا زمانی که چشمانمان را نگشاییم و نگذاریم که طبیعت صاحب اختیار باشد، محکومیم که از نزدیک‌بینی خود سرخوش باشیم.

چرا به جای هیچ، چیزی هست؟ دست آخر، شاید این پرسش بامعنا تر یا ژرف‌تر از این نباشد که بپرسیم چرا برخی گل‌ها قرمزند و برخی آبی. چه بسا "چیز" همواره از هیچ بیاید. چه بسا الزامی باشد، مستقل از سرشت زیربنایی واقعیت. یا شاید "چیز" در بسگیتی، خیلی ویژه نباشد یا حتا خیلی متداول باشد. در هر دو صورت، آن چه که بسیار سودمند است آن است که به این پرسش نیندیشیم، بلکه بار سفر هیجان‌انگیز اکتشافی ببندیم که شاید به طور مشخص نشان دهد که چگونه گیتی‌ای که در آن به سر می‌بریم، فرگشت پیدا کرد و دارد پیدا می‌کند، و نیز کدام فرایندها سرانجام به طور عملی بر هستی خودمان حکمفرمایند. به این دلیل است که علم را داریم. چه بسا این درک و فهم را با اندیشه‌ورزی تکمیل کنیم و آن را فلسفه بنامیم. ولی تنها از طریق ادامه‌دادن به کند و کاو در هر گوشه و کنار قابل دستیابی از این گیتی است که به راستی به شناختی سودمند از جایگاه‌مان در کیهان دست می‌یابیم.

پیش از نتیجه‌گیری، می‌خواهم جنبه‌ای دیگر از این پرسش را که بدان اشاره کرده‌ام، پیش بکشم، که به نظرم برای پایان‌دادن به بحث ارزشمند است. در دل این پرسش که چرا به جای هیچ، چیزی هست، این چشمداشت خودانگارانه نهفته که "چیز" پابرجا خواهد ماند - که گیتی به گونه‌ای تا نقطه‌ی هستی خودمان "پیشرفت کرده" است، گویی که ما اوج آفرینش بوده‌ایم. به احتمال بسیار زیاد، بر پایه‌ی هر آن چه که از گیتی می‌دانیم، این امکان هست که در آینده، شاید آینده‌ی بی‌پایان، هیچی بار دیگر زمام امور را در دست گیرد.

اگر ما در گیتی‌ای به سر می‌بریم که انرژی‌اش در سیطره‌ی انرژی هیچ باشد، همان‌گونه که توضیح دادم، آینده به راستی تیره و تار است. آسمان‌ها سرد خواهند شد و تهی. ولی اوضاع به راستی بدتر از این است. گیتی در سیطره‌ی انرژی فضای تهی، بدترین نوع گیتی برای آینده‌ی حیات است. هر تمدنی به حتم سرانجام در چنین گیتی‌ای ناپدید خواهد شد، در تشنگی انرژی برای بقا. پس از گذشت مدتی تصورناشدنی دراز، نوعی افت و خیز کوانتومی یا نوعی به‌هم‌خوردگی گرمایی، شاید محدوده‌ای موضعی ایجاد کند که در آن بار دیگر حیات بتواند فرگشت یابد و شکوفا شود. ولی آن نیز زودگذر خواهد بود. آینده در چنگ گیتی‌ای است با هیچ در درونش، تا مهر تأییدی باشد بر راز عظیم آن.

به گونه‌ای دیگر، اگر ماده‌ای که ما را می‌سازد در سرآغاز زمان با فرایندهایی کوانتومی آفریده شده باشد، همان گونه که گفتم، کمابیش ناپدیدشدن دوباره‌ی ما هم تضمین شده است. فیزیک جاده‌ای است دو طرفه، و سرآغازها و پایان‌ها به هم ارتباط دارند. در آینده‌ی بسیار بسیار دور، پروتون‌ها و نوترون‌ها واپاشیده خواهند شد و ماده ناپدید، و گیتی به حالتی با سادگی و تقارن بیشینه نزدیک خواهد شد.

شاید زیبا از نظر ریاضی، ولی عاری از ماده. همان گونه که هراکلیتوس افسوسی در زمینه‌ای اندکی متفاوت نوشت، "هومر در این گفته اشتباه کرد که: "باشد که آن کشمکش از میان خدایان و آدمی رخت بر بندد!" او نمی‌دانست که دارد برای نابودی گیتی نیایش می‌کند؛ چون اگر خواسته‌ی او اجابت شده بود، همه‌ی چیزها از میان می‌رفت." یا، آن گونه که کریستوفر هیچنز آن را بازگو کرد، "نیروانا همان هیچی است."

نسخه‌ای افراطی‌تر از این بازگشت پایانی به هیچی شاید گریزناپذیر باشد. برخی از نظریه‌پردازان ریسمان، بر پایه‌ی ریاضیاتی پیچیده، استدلال کرده‌اند که گیتی‌ای همانند مال خودمان، با انرژی مثبت در فضای تهی، نمی‌تواند پایدار باشد. سرانجام، باید به حالتی واپاشی کند که در آن انرژی همراه با فضا منفی شود. بدین ترتیب گیتی ما به درون، تا نقطه‌ای، بازرمیش خواهد کرد، و به آن مه کوانتومی برمی‌گردد که شاید هستی خودمان از آن آغاز شده باشد. اگر این استدلال‌ها درست باشند، آن‌گاه گیتی خودمان، به احتمال به همان سرعتی که آغاز شد، ناپدید خواهد شد.

در این مورد، بدین ترتیب پاسخ به این پرسش که، "چرا به جای هیچ چیزی هست؟" به سادگی این خواهد بود: "چندان طول نخواهد کشید."

پی گفتار

تأیید واقعیت آزموده‌شده به عنوان چهره‌ی حقیقت، موضوعی است ژرف، و انگیزتار اصلی که از هنگام رنسانس تمدن را پیش رانده است.

جی کوب برونوسکی

کتاب را با گفته‌ای دیگر از جی کوب برونوسکی آغاز کردم:

چه کابوس چه رویا، مجبوریم که با تجربه‌مان همین گونه که هست به سر بریم، و مجبوریم که پذیرای آن باشیم. ما در جهانی به سر می‌بریم که علم روز به روز در آن نفوذ کرده، و هم یک‌پارچه است و هم واقعی. ما نمی‌توانیم با هواداری از کسی، به سادگی آن را به یک بازی تبدیل کنیم.

نیز استدلال کردم که، رویای یکی کابوس دیگری است. گیتی‌ای بدون هدف یا راهنمایی، چه بسا، برای برخی، گویا خودِ زندگی را بی‌معنا می‌سازد. برای دیگران، از جمله خود من، چنین گیتی‌ای فرح‌بخش است؛ واقعیت هستی خودمان را حتا شگفت‌انگیزتر می‌کند، و ما را وادار می‌دارد تا به کارهای خود ارزش ببخشیم و سبب می‌شود که بیش‌تر مدت حضور کوتاه‌مان در زیر آفتاب، چون به سادگی در این‌جا هستیم، با آگاهی و با فرصت دست یازیدن به آن، خجسته شود. با این حال، مقصود برونوسکی آن است که به راستی هیچ کدام از آن دو حالت اهمیتی ندارند، و خوشایند ما برای گیتی چرند است. هرچه که رخ داده، رخ داده، و در مقیاسی کیهانی رخ داده. و هر آن‌چه که قرار است در این مقیاس رخ دهد بی‌توجه به خوشاینها یا ناخوشایندهای ما رخ خواهد داد. ما نمی‌توانیم بر یکمی تأثیر بگذاریم، و به احتمال بر دومی هم قرار نیست تأثیر بگذاریم.

با این حال، چیزی که از دستان برمی‌آید آن است تا بکوشیم که شرایط هستی خودمان را بفهمیم. در این کتاب یکی از شگرف‌ترین سفرهای اکتشافی را که تاکنون آدمی در پیشینه‌ی انقلابی خود بدان دست زده، شرح داده‌ام. این جستجویی است حماسی برای کشف و درک کیهان در مقیاس‌هایی که به سادگی تا یک سده پیش ناشناخته بودند. این سفر مرزهای روح

آدمی را گسترش داده است، و خواست پیگیری شاهد و مدرک را به هر جایی که رهنمون شود، با جسارت تخصیص یک عمر زندگی به کند و کاو ناشناخته‌ها، با آگاهی کامل از این که چه بسا این کوشش ره به جایی نبرد، در هم می‌آمیزد، و سرانجام آمیزه‌ای از آفرینندگی و سرسختی را برای پرداختن به کارهای غالباً طاقت‌فرسای سر و سامان‌دادن به معادلاتی، یا چالش‌های تجربی طلب می‌کند.

من همواره شیفته‌ی اسطوره‌ی سیسیفس / سیزیف بوده‌ام و گاهی کوشش علمی را به وظیفه‌ی جاودانه‌ی او برای راندن تخته‌سنگی به بالای کوه، ارتباط داده‌ام، که هربار پیش از رسیدن به قله به پایین فرومی‌غلند. همان گونه که کامو تصور کرده، سیسیفس لبخند به لب داشت، و ما هم باید چنین کنیم. هدف ما، خواه با هر پیامدی، پاداش خود را می‌گیرد.

پیشرفت حیرت‌انگیزی که ما در سده‌ی گذشته انجام داده‌ایم، ما را به قله‌ای رسانده است، که به عنوان دانشمند، در عمل به ژرف‌ترین پرسش‌هایی می‌پردازیم که از هنگامی مطرح بوده‌اند که آدمیان نخستین گام‌هایی لرزان را برای دانستن این که که هستند و از کجا آمده‌اند، برداشته‌اند.

همان‌گونه در این جا شرح دادم، در این فرایند، در کنار درک ما از گیتی، معنای دقیق این پرسش‌ها نیز فرگشت یافته‌اند. "چرا به جای هیچ، چیزی هست؟" باید در چارچوب کیهانی فهمیده شود که در آن معنای این واژگان همانی نیست که زمانی بود، و تمایز دقیق بین چیز و هیچ شروع به رنگ‌باختن کرده است، که در آن گذارهای میان این دو در چارچوب‌های متفاوت نه تنها متداول T که الزامی‌اند.

بدین گونه، در پیکار ما برای جستجوی دانش، خود این پرسش در حاشیه قرار گرفته است. در عوض، ما به سوی درک و فهم فرایندهای حاکم بر طبیعت رانده می‌شویم، به شیوه‌ای که امکان دست‌زدن به پیش‌بینی‌ها و، هرگاه شدنی باشد، تأثیرگذاری بر آینده‌ی خودمان را فراهم می‌سازد. با این کار، کشف کرده‌ایم که ما در گیتی‌ای به سر می‌بریم که در آن فضای تهی - آن‌چه که پیش‌تر می‌شد به عنوان هیچ از آن چشم‌پوشی کرد - دارای دینامیک تازه‌ای است که از هیچی ژرف‌تر - شامل نبود خود فضا - می‌توانسته سر برآورد و به گونه‌ای شدنی سربرآورد، و این که چه بسا روزی از راه فرایندهایی که شاید نه تنها فهم‌پذیر باشند، بلکه فرایندهایی که به هیچ کنترل یا راهنمایی بیرونی نیز نیاز ندارند، به هیچ بازگردد. از این جنبه، علم، همان گونه که استیون واینبرگ فیزیکدان گوشزد کرده، باورداشتن به فراطبیعت را ناممکن نمی‌سازد، بلکه در عوض باورنداشتن را ممکن می‌سازد. بدون علم، هر چیزی معجزه است. با علم، این

امکان‌پذیری باقی می‌ماند که، هیچ باشد. باور آیینی در این مورد هر چه کمتر ضروری می‌شود، و نیز هر چه کمتر بی‌ربط.

البته گزینه‌ی رویکرد به برداشت آفرینش آسمانی به طور سنتی پیش روی ما هست، و بعید می‌دانم این بحث همیشگی به این زودی‌ها حل و فصل شود. اما همان‌گونه که تأکید کردم، باور دارم که اگر بخواهیم از نظر اندیشه‌ورزی راست‌کردار باشیم، باید سراغ گزینه‌ی درست برویم، درست بنا به فاکت، نه بنا به الهام.

من جهت‌گیری خودم را آشکارا بیان کردم: این امر که گیتی خودمان از هیچ سربرآورد، اکنون برای من تا حد زیادی رضایت‌بخش‌ترین جایگزین اندیشه‌مندانه است. شما نتیجه‌گیری خودتان را خواهید داشت.

می‌خواهم با بازگشت به پرسشی که به شخصه آن را از نظر اندیشه‌ورزی گیراتر از پرسش چیزی از هیچ یافته‌ام، بحث خود را به پایان برسانم. این همان پرسشی است که اینشتین در این باره پیش کشید که آیا خداوند گزینه‌ی دیگری هم در آفرینش گیتی داشت؟ این پرسش انگیزه‌ی اصلی برای کمابیش همه‌ی پژوهش‌ها در ساختار بنیادین ماده، فضا، و زمان را فراهم می‌کند - پژوهشی که بیش‌تر عمر حرفه‌ای‌ام را دربرگرفته است.

در گذشته می‌اندیشیدم که گزینه‌ای بی‌کم و کاست در پاسخ به این پرسش هست، ولی در روند نوشتن این کتاب، دیدگاه‌هایم دگرگون شد. آشکارا، اگر تک نظریه‌ای شامل مجموعه‌ای یگانه از قوانین باشد که چگونگی پدیدآمدن گیتی خودمان را شرح دهد، و به راستی، آن را مقرر کند، و نیز قواعدی که فرگشتش را از آن هنگام در دست داشته‌اند - هدف فیزیک از هنگام نیوتون یا گالیله - آن‌گاه گویا پاسخ این خواهد بود که، "نخیر، اوضاع باید به همان ترتیبی می‌بود که بود، و هست."

اما اگر گیتی خودمان نه یگانه که بخشی باشد از بسگیتی عظیم و به احتمال نامتناهی از گیتی‌ها، آیا پاسخ پرسش اینشتین چنین نخواهد بود که، "آری، انبوهی گزینه برای هستی هست؟"

اطمینانی در این مورد ندارم. شاید مجموعه‌ای نامتناهی از آمیزه‌هایی متفاوت از قوانین و گونه‌گونی‌های ذرات و مواد و نیروها، و حتا گیتی‌هایی جداگانه که شاید در چنین بسگیتی‌ای سر برآورند، وجود داشته باشد. چه بسا تنها آمیزه‌ای بسیار محدود باشد، که به گیتی‌ای می‌انجامد از آن نوعی که ما در آن به سر می‌بریم، یا چیزی بسیار شبیه به آن، که بتواند از فرگشت

باشند گانی پشتیبانی کند که قادر به پرسیدن چنین پرسشی باشند.

پی‌نوشت

هیچ چیزی چونان گیتی گسترش‌یابنده ذهن را گسترش نمی‌دهد. موسیقی کره‌ها نغمه‌ای است کودکانه، نجوایی که می‌خواهد در برابر آوای شاهانه‌ی سمفونی کهکشان قد برافرازد. با دگرگون‌ساختن استعاره و بُعد، بادهای پایا و فرساینده‌ی دوران‌های زمین‌شناختی، به زودی گرد و غبار سده‌ها، غبارهای آن‌چه را که تاریخ "باستان" می‌انگاریم، به هوا خواهند فرستاد. حتا سن گیتی، با دقت چهار رقم معنادار در ۱۳.۷۲ میلیاردسال - که لارنس کروس بر آن صحه می‌گذارد - در برابر این تریلیون‌سالگی‌های پیش رو رنگ می‌بازد.

اما بینش کراوس نسبت به کیهان‌شناسی آینده‌ی دوردست، پارادکسی و هراس‌آور است. پیشرفت علمی به احتمال بازپس خواهد رفت. به گونه‌ای سرشتی می‌اندیشیم که اگر کیهان‌شناسانی در سال دو تریلیون میلادی باشند، بینش آنان از گیتی نسبت به بینش ما گسترده‌تر خواهد بود. چنین نیست - و این یکی از نتیجه‌گیری‌های ویرانگر متعددی است که با بستن این کتاب در ذهنم نقش می‌بندد. کمابیش پس از چند میلیارد سال، زمان خوشایندی برای کیهان‌شناس بودن در گیتی خودمان است. پس از دو تریلیون سال، گیتی چنان گسترش پیدا کرده که همه‌ی کهکشان‌ها به جز کهکشان کیهان‌شناس هر کدامش که می‌خواهد باشد چنان مطلق و چنان نقض‌ناپذیر به ورای افق اینشتنی پسروی خواهند داشت، که نه تنها نادیدنی می‌شوند که در ورای هر گونه امکان‌پذیری قرار می‌گیرند که از خود رَدی، هر چند نامستقیم، بر جا بگذارند. تو گویی هرگز وجود نداشته‌اند. هر رَدی از بیگ‌بنگ به احتمال زیاد از بین‌رفته خواهد بود، برای همیشه و در ورای بازیابی. کیهان‌شناسان آینده از گذشته‌ی خود گسسته می‌شوند، و نیز از موقعیت خودشان، به شیوه‌ای که ما دیدی از آن نداریم.

می‌دانیم که در میان ۱۰۰ میلیارد کهکشان جا گرفته‌ایم، و نیز از بیگ‌بنگ می‌دانیم، چون شاهد و مدرکش در گرداگرد ماست: تابش جابه‌جاشده به سرخ از کهکشان‌های دوردست، از انبساط هابلی برایمان می‌گوید و ما آن را تا گذشته برونمایی می‌کنیم. ما از امتیاز دیدن این مدرک برخورداریم، چون داریم به گیتی نوزادی می‌نگریم که در آن سپیده‌دم دوران آرمیده است، به گاهی که نور هنوز می‌تواند از کهکشانی به کهکشانی دیگر برود. آن گونه که کراوس و همکارش با شوخ‌طبعی می‌نویسند، "ما در زمانی بسیار ویژه زندگی می‌کنیم ... تنها زمانی که می‌توانیم با رصد تأیید کنیم که در دورانی بسیار ویژه به سر می‌بریم!" کیهان‌شناسان تریلیون‌سالگی سوم چاره‌ای به غیر از دست‌یازیدن به بینش بهت‌زده‌ی ابتدای سده‌ی بیستم خود ما نخواهند داشت، زمانی که ما به یک کهکشان محدود می‌شدیم، زیرا هر آن‌چه که می‌دانستیم یا می‌توانستیم تصور کنیم، مترادف بود با گیتی.

سرانجام، و ناگزیر، گیتی تخت تا هیچی‌ای تخت‌تر خواهد شد که سرآغازش را بازتاب خواهد داد. نه تنها دیگر کیهان‌شناسانی نخواهند بود تا به گیتی بنگرند، که حتا اگر هم بتوانند جان سالم به‌در برند، چیزی برای دیدن برجا نخواهد ماند. اصلاً هیچ چیز. حتا هیچ اتمی. هیچ.

اگر می‌اندیشید که این تصویری است ناگوار و دلمرده، بسیار ناخوشایند است. واقعیت خوشایند ما نیست. هنگامی که مارگارت فولر، با آن‌چه که تصور می‌کنم آهی از سر رضایتمندی بود، بیان داشت که "من گیتی را می‌پذیرم"، تامس کارلایل پاسخی تحقیرآمیز داد: "بهتر است که چنین کند!" به شخصه فکر می‌کنم که آرامش جاودانه‌ی هیچی نامتناهی تخت دارای شکوهی است که، دست کم، ارزش رویارویی دلیرانه را دارد.

اما اگر چیز بتواند به هیچ تبدیل شود، آیا هیچ نمی‌تواند دست به کار شود و چیز را بیافریند؟ یا چرا، با بازگویی لطیفه‌ی کهنه‌ی فیلسوفانه، به جای هیچ، چیزی هست؟ این جاست که شاید به شگرف‌ترین درسی که با بستن کتاب لارنس کراوس می‌آموزیم می‌رسیم. نه تنها فیزیک به ما می‌گوید که چگونه چیزی می‌تواند از هیچ پدید آمده باشد، بلکه کراوس ما را پیش‌تر می‌برد، و نشان‌مان می‌دهد که این هیچی ناپایدار است: چیز کمابیش محکوم است که از آن پا به هستی بگذارد. اگر به خوبی مطلب کراوس را فهمیده باشم، همواره چنین چیزی رخ می‌دهد: این اصل شبیه به بازگویی این مثال از زبان فیزیکدان است که خطا خطا را می‌پوشاند. ذرات و پادذرات مانند کرم‌های شبتاب زیراتمی سوسویی در هستی می‌زنند، یک‌دیگر را نابود می‌کنند، سپس خودشان را با فرایندی وارون بازمی‌آفرینند، از دل هیچ.

آفرینش خودبه‌خودی چیزی از دل هیچ در سرآغاز فضا و زمان، به شیوه‌ای بزرگ رخ داد، در تکینگی موسوم به بیگ‌بنگ و به دنبالش دوره‌ی تورم‌یابنده، هنگامی که گیتی، و هر چیزی در درونش، کسری از ثانیه زمان برد تا به اندازه‌ی بیست و هشت مرتبه‌ی بزرگی رشد کند یعنی ۱ با بیست و هشت صفر در جلوش - فکرش را بکنید!.

چه مفهوم عجیب و مسخره‌ای! واقعاً که امان از دست این دانشمندان! آنان به همان چرندی فیلسوفان مکتبی قرون وسطایی هستند که به شمارش فرشتگان در نوک سوزن یا بحث بر سر "راز" گوهرگشت می‌پرداختند.

نخیر، نه آن‌چنان، نه آن‌چنان با شدت و حدت و خیلی زیاد. موارد زیادی هست که علم هنوز نمی‌داند و دارد با آستین‌های بالازده روی آن‌ها کار می‌کند. اما همان چیزهایی که می‌دانیم،

عاری از حدس و گمان است گیتی نه هزاران که میلیاردها سال سن دارد؛ ما این را با اطمینان و با دقتی حیرت‌انگیز می‌دانیم. پیشاپیش گفتم که سن گیتی تا چهار رقم معنادار اندازه‌گیری می‌شود. این به حد کافی برجسته هست، اما در قیاس با دقت برخی از پیش‌بینی‌هایی که لارنس کراوس و همکارانش می‌توانند با آن‌ها ما را به شگفتی وادارند، هیچ است. قهرمان کراوس، ریچارد فاینمن، خاطر نشان کرد که برخی از پیش‌بینی‌های نظریه‌ی کوانتوم - باز هم بر پایه‌ی فرض‌هایی که انگار عجیب‌تر از هر چیزی است که حتا تاریک‌اندیش‌ترین فلسفه‌با فان می‌توانستند درباره‌اش خیالبافی کنند - با چنان دقتی تأیید شده‌اند که انگار فاصله‌ی میان نیویورک و لس آنجلس را با اختلاف یک تار مو پیش‌بینی کنیم.

شاید فلسفه‌با فان درباره‌ی فرشتگان در نوک سوزن یا هر چیز هم‌ارز آن گمانه‌زنی کنند. شاید چنین به نظر برسد که فیزیکدانان نیز، فرشتگان خودشان و نوک سوزن خودشان را دارند؛ کوانتوم‌ها و کوارک‌ها، "افسون"، "شگفت"، و "اسپین". ولی فیزیکدانان می‌توانند فرشتگان خود را بشمارند و در بین ۱۰ میلیارد تکلیف آن را تا نزدیک‌ترین فرشته روشن کنند؛ نه یک فرشته بیشتر، نه یک فرشته کمتر. علم چه بسا عجیب باشد و درک‌ناشدنی - عجیب‌تر و درک‌ناشدنی‌تر از هر فلسفه‌ای - ولی چاره‌ساز است؛ به نتایج می‌رسد. می‌تواند به کیوان بال بگشاید، و در این راه چون قلماسنگ شما را به دور ناهید و برجیس بچرخاند. شاید از نظریه‌ی کوانتوم سر در نیاوریم وه که آن را نمی‌فهمم، ولی نظریه‌ای که جهان واقعی را تا ده رقم اعشار پیش‌بینی می‌کند بنا به هیچ عقل سلیمی نمی‌تواند اشتباه باشد. فلسفه‌با فی نه تنها رقم اعشاری ندارد، که حتا از کوچک‌ترین ارتباطی با جهان واقعی بی‌بهره است. همان‌گونه که تامس جفرسن، به هنگام بنیان‌گذاری دانشگاه ویرجینیا گفت، "این کرسی فلسفه‌با فی جایی در آموزشگاه ما ندارد."

اگر از باورمندان بپرسید که چرا باور دارند، شاید به مشتی فلسفه‌با ف "فرهیخته" بربخوید که از آفریننده به عنوان "دلیل هر بودنی" یا "استعاره‌ای برای همدمی شخصی" یا گریزی دیگر سخن بگویند. ولی بیش‌تر باورمندان، با صداقت و آسیب‌پذیری بیش‌تر، به نسخه‌ای از استدلال طراحی یا استدلال علت نخستین دست می‌یازند. فیلسوفانی در اندازه‌های دیوید هیوم نیازی نداشتند تا از صندلی راحتی خود برخیزند تا سستی مرگبار همه‌ی چنین استدلال‌هایی را نشان دهند؛ آنان خاستگاه آفریننده را مصادره به مطلوب می‌کردند. اما تا هنگام چارلز داروین، در عرصه‌ی رزمنه و بیگل در جهان واقعی، زمان برد تا جایگزینی به وضوح ساده - و نه مصادره‌کننده به مطلوب - برای طراحی پیدا شود، البته در رشته‌ی زیست‌شناسی. زیست‌شناسی همواره شکارگاه دوست‌داشتنی فلسفه‌با فان طبیعت‌گرا بود، تا بدان هنگام که داروین - نه از روی عمد، چون او باوقارترین و مهربان‌ترین آدمیان بود - به شکار آنان پرداخت. آنان به مرغزارهای بلندمرتبه‌ی فیزیک و خاستگاه‌های گیتی گریختند، و دیدند که ای دل غافل لارنس کراوس و پیشینیانش به انتظارشان نشسته‌اند.

ر. داکینز

درباره‌ی نویسنده

لارنس ام. کراوس استاد ممتاز در دانشکده‌ی اکتشافات زمین و فضا و گروه فیزیک دانشگاه ایالتی آریزونا، و نیز مدیر مشترک برنامه‌ی ابتکاری کیهان‌شناسی و مدیر آغاز به کار پروژه‌ی خاستگاه‌هاست. برنامه‌ی خاستگاه‌ها شامل پژوهش‌های میان‌رشته‌ای تازه و بسیار گسترده، آموزش، و تمرکز زیاد بر همه‌ی جنبه‌های خاستگاه‌هاست: از خاستگاه کیهان و خاستگاه آدمی گرفته، تا خاستگاه‌های خودآگاهی و فرهنگ. کراوس فیزیکدانی است نام‌آور با علاقه‌مندی‌های پژوهشی گسترده، از جمله ارتباط بین فیزیک ذرات و کیهان‌شناسی. وی دکتری فیزیک خود را در ۱۹۸۲ از انستیتو تکنولوژی ماساچوست گرفت، و به انجمن فلوز هاروارد پیوست. در ۱۹۸۵ به دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه ییل رفت، و سپس به عنوان استاد کرسی امبروز سواسی در ۱۹۹۳ به دانشگاه کیس وسترن نقل مکان کرد. از ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۵ او به عنوان مدیر گروه فیزیک در کیس خدمت کرد. او جوایز متعدد جهانی را برای پژوهش و نوشته‌هایش دریافت کرده، و تنها فیزیکدانی است که از هر سه انجمن اصلی فیزیک آمریکا، یعنی انجمن فیزیک آمریکا، انجمن آموزگاران فیزیک آمریکا، و انستیتو فیزیک آمریکا، جایزه دریافت کرده است.

کراوس همچنین یکی از معدود دانشمندان برجسته‌ی امروزمین است که فعالانه بر روی مفاک بین علم و فرهنگ همگانی پل زده است، و به همین دلیل از سوی مجله‌ی آمریکن ساینتیفیک به لقب یگانه‌ی "اندیشمند مردمی" مفتخر شد. برای نمونه، در کنار کتاب‌ها و حضورش در رادیو تلویزیون، و نیز نوشته‌هایش در روزنامه‌ها و مجلات، کراوس با ارکستر کلیولند به تک‌خوانی سیارات اثر گوستاو هولست در مرکز موسیقی شکوفه در پربیننده‌ترین کنسرت در آن مکان پرداخت، و برای توضیحات روی جلد دیسک Telarc از موسیقی پیشتازان فضا نامزد جایزه‌ی گرمی شد. در ۲۰۰۵ او عضو هیئت داوران جشنواره فیلم سان‌دنس بود.

یادداشت‌ها

[[←۱](#)]

کریستوفر هیچنز در دسامبر ۲۰۱۱ درگذشت. م

[[←۲](#)]

Harlow Shapely

[[←۳](#)]

Henrietta Swan Leavitt

[[←۴](#)]

Fritz Zwicky

[[←۵](#)]

Coma cluster

[\[←۶\]](#)

برای اطلاعات بیشتر کتاب ذره در پایان گیتی، شون کارول، ترجمه‌ی رامین رامبد، انتشارات مازیار، ۱۳۹۲.

[\[←۷\]](#)

McMurdo Station

[\[←۸\]](#)

Goldilocks

[\[←۹\]](#)

Yakov Zel'dovich

[\[←۱۰\]](#)

Supernova Cosmology Project

[\[۱۱←\]](#)

High-Z Supernova Serach Team

[\[۱۲←\]](#)

راستش زمانی که این کتاب آماده‌ی چاپ می‌شد، با خبر شدم که شول و برایان، به همراه آدام ریس، که عضوی از پروژه‌ی ابرنواختر با Z زیاد بود، برای کشف خود برنده‌ی جایزه‌ی نوبل فیزیک ۲۰۱۱ شدند.

[\[۱۳←\]](#)

Jerk و نیز به معنای نادان و نفهم.

[\[۱۴←\]](#)

برای اطلاعات بیشتر مراجعه کنید به در جستجوی بسگیتی (امکان‌پذیری‌هایی در موازات)، جسی اپنریک، ترجمه‌ی رامین رامبد، انتشارات مازیار، ۱۳۹۲.

[\[۱۵←\]](#)

Fiat justitia – ruat caelum

* برای اطاعات بیش‌تر مراجعه کنید به: استیون هاکینگ (ذهنی رها) کیتی فرگوسن، ترجمه‌ی رامین رامبد، انتشارات مازیار، ۱۳۹۲.

گیتی از کجا پیدا شد؟ پیش از آن چه بود؟
آینده چه پیش خواهد آورد؟
و سرانجام، چرا به جای هیچ، چیزی هست؟

کراوس استدلال می‌کند، دانشمندان از نظر تاریخی بر مباحث و موضوعات چالش‌برانگیزتر تمرکز داشته‌اند - مثلاً سردرآوردن از چگونگی کارکرد واقعی گیتی، که سرانجام به بهبود کیفیت زندگی ما کمک می‌کند. اکنون، در داستان کیهان‌شناختی مستحکم و روشنگرانه‌ای، فیزیکدان نظری پیشواز، لارنس کراوس دست به تشریح پیشرفت‌های علمی انقلابی نوینی می‌زند که اساسی‌ترین پرسش‌های فلسفی را به سوی خود جلب می‌کنند. به عنوان یکی از چند دانشمند برجسته‌ای که فعالیت‌های فراز معاد بین علم و فرهنگ مردمی در آمد و شد است، کراوس نشان می‌دهد که علم مدرن دارد به این پرسش پاسخ می‌دهد که چرا به جای هیچ، چیزی هست، آن هم با نتایجی شگفت‌انگیز و افسون‌کننده. مشاهداتی تجربی که به گونه‌ای بهت‌انگیز زیبا بیند و نظریه‌هایی نوین که آدم را به عالم هیروت می‌برند، به سادگی در گیتی از هیچ بیان شده‌اند، و به ما نشان می‌دهند که نه تنها چیزی می‌تواند از هیچ سر برآورد، که همواره چیزی از هیچ سر بر خواهد آورد.

با شوخ‌طبعی خاص خود و توضیحاتی بسیار روشن، کراوس ما را به سرآغاز آغاز می‌برد، و تازه‌ترین مدرک از چگونگی تکامل یافتن گیتی خودمان - و نیز استلزام‌هایی برای چگونگی پایان گرفتن آن - را عرضه می‌دارد. این کتاب با نگریستن به بنیادین‌ترین شالوده‌های هستی از منظری کاملاً نو، خوانندگان را برانگیخته، به چالش کشیده، و خشنود می‌کند. و این دانش که گیتی ما در آینده با آنچه که امروز هست کاملاً تفاوت خواهد داشت، از پیامدهایی ژرف برخوردار است و مستقیماً بر چگونگی زندگی کنونی ما تأثیر می‌گذارد. داکتیز در وصف آن می‌گوید: این کتاب به طور بالقوه می‌تواند مهم‌ترین کتاب علمی با پیامدهایی برای قریب‌گرای از زمان داروین قلمداد شود.

در نقش پادزهری علیه اندیشه‌ورزهای کهنه‌ی فلسفی و آیینی، گیتی از هیچ پیشگفتاری است چالش‌انگیز و دگرگون‌ساز در بحث پیرامون هستی و هر آنچه که هست. کراوس استدلال کرده است که «ستارگان می‌میرند تا شما بتوانید زاده شوید».

قیمت: ۴۰۰۰۰ تومان

ISBN 4504493-17-2



9 784504 493172