Michio Kaku

PARALLEL WORLDS

جهان‌های موازی

سفری به آفرینش، ابعاد بالاتر و آینده جهان

میچیو کاکو | ترجمه‌ی سارا ایزدیار / علی هادیان

انتشارات نازیار

جهان‌های موازی

سفری به آفرینش، ابعاد بالاتر و آینده جهان

میچیو کاکو

ترجمه‌ی

علی هادیان ــ سارا ایزدیار

انتشارات مازیار

سرشناسه : کاکو، میچیو
Kaku, Michio :
عنوان و نام پدید آور : جهان‌های موازی: سفری به آفرینش، ابعاد بالاتر و آینده جهان / میچیو کاکو: ترجمه علی هادیان ــ سارا ایزدیار.
مشخصات نشر : تهران: مازیار، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری : ۴۴۸ ص: مصور، نمودار.
شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۵۶۷۶-۹۴-۸
وضعیت فهرست‌نویسی : فیپا
یادداشت : عنوان اصلی: Parallel Worlds: a journey through creation, higher dimensions, and the future of the cosmos, 2005.
موضوع : کیهان‌شناسی
موضوع : انفجار بزرگ
موضوع : نظریه ابرریسمان‌ها
موضوع : ابرگرانش
شناسه افزوده : هادیان، علی، ۱۳۴۸- ، مترجم
شناسه افزوده : ایزدیار، سارا، ۱۳۵۸- ، مترجم
رده‌بندی کنگره : ۱۳۸۹ ۹ج۲۳ک/QB۹۸۱
رده‌بندی دیویی : ۵۲۳/۱
شماره کتابشناسی ملی : ۱۹۹۵۴۲۹

انتشارات مازیار

مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۴۳۰، طبقه اول، واحد ۴، تلفن ۶۶۴۶۲۴۲۱

جهان‌های موازی
میچیو کاکو
ترجمه‌ی علی هادیان ــ سارا ایزدیار
چاپ دوم ۱۳۸۹
شمارگان ۲۲۰۰
حروفچینی زهرا پارسا
لیتوگرافی کاری گرافیک
چاپ و صحافی طیف نگار
شابک ۹۷۸-۹۶۴-۵۶۷۶-۹۴-۸
بها ۷۵۰۰ تومان

فهرست مطالب

مقدمه ۷

بخش اول: جهان ۱۱

فصل ۱: تصویر دوران کودکی جهان ۱۳
فصل ۲: جهان مرموز ۳۷
فصل ۳: انفجار بزرگ ۶۴
فصل ۴: نظریه تورم و جهان‌های موازی ۱۰۱

بخش دوم: جهان چندگانه ۱۴۱

فصل ۵: بُعدگذرها و سفر در زمان ۱۴۳
فصل ۶: جهان‌های کوانتومی موازی ۱۸۵
فصل ۷: نظریه M مادر تمام ریسمان‌ها ۲۲۶
فصل ۸: جهان طراح؟ ۲۹۹
فصل ۹: در جستجوی انعکاس‌های بعد یازدهم ۳۱۷

بخش سوم: فرار به فرافضا ۳۴۹

فصل ۱۰: پایان همه چیز ۳۵۱
فصل ۱۱: فرار از جهان ۳۷۱
فصل ۱۲: فراتر از جهان چندگانه ۴۱۷
منابع و مآخذ ۴۳۹
نمایه ۴۴۳

مقدمه

کیهان‌شناسی عبارت است از مطالعه کامل کائنات، شامل تولد و سرنوشت احتمالی آن. تعجبی ندارد که سیر تکاملی کیهان‌شناسی، در سایه عقاید تعصب‌آمیز و خرافات دینی، دستخوش دگرگونی‌های بسیاری شده باشد.

اولین انقلاب در کیهان‌شناسی، با ظهور تلسکوپ در قرن شانزدهم پدید آمد. گالیلئو گالیلئی (گالیله)، پیرو تلاش‌های ستاره‌شناسان بزرگی چون نیکولاس کپرنیک و یوهان کپلر، با کمک تلسکوپ توانست برای اولین‌بار شکوه و جلال افلاک را به محدوده تحقیقات علمی وارد کند. این مرحله از کیهان‌شناسی، در کار ایزاک نیوتون به نقطه اوج خود رسید؛ کسی که سرانجام قوانین بنیادی حاکم بر حرکت اجرام سماوی را مطرح کرد. به‌این‌ترتیب، قوانین حاکم بر اجرام آسمانی، به‌جای سحر و جادو و کشف و شهود، تابع نیروهایی قابل محاسبه و تکرارپذیر شدند.

دومین انقلاب در کیهان‌شناسی، با ظهور تلسکوپ‌های بزرگ قرن بیستم، مثل تلسکوپ مونت ویلسون، با آئینه انعکاسی بزرگ ۲/۵ متری، به وقوع پیوست. در دهه ۱۹۲۰، ستاره‌شناسی به نام ادوین هابل، از این تلسکوپ عظیم‌الجثه برای براندازی قرن‌ها اعتقادات تعصب‌آمیز، مبنی بر اینکه جهان ساکن و فناناپذیر است، استفاده کرد. او نشان داد که کهکشان‌ها در آسمان با سرعت قابل توجهی در حال دور شدن از زمین هستند، به این معنی که جهان در حال انبساط است. این موضوع، نتایج نظریه نسبیت عام اینشتین را تائید می‌کرد، که در آن ساختار فضا ـ زمان، به‌جای اینکه تخت و خطی باشد، دینامیک و خمیده است. این یافته، اولین توصیف محتمل از منشاء کیهان را ارائه کرد؛ با این شرح که جهان با انفجار عظیمی به نام انفجار بزرگ آغاز شده است، که طی آن ستارگان و کهکشان‌ها در فضا به سمت بیرون پرتاب شدند. تلاش‌های پیشگامانه جورج گاموف و همکارانش در مورد نظریه انفجار بزرگ و همچنین فرد هویل بر روی منشاء مواد، موجب شد طرح کلی فرایند تکاملی جهان پدیدار شود.

هم‌اکنون انقلاب سومی در راه است. عمر این انقلاب اخیر، تنها به پنج

سال می‌رسد. این انقلاب به مدد تجهیزات جدید با فناوری بالا، مثل ماهواره‌های فضایی، لیزرها، آشکارسازهای امواج گرانشی، تلسکوپ‌های پرتو x و اَبَررایانه‌های پر سرعت، به وقوع پیوسته است. به عبارت دیگر، در حال حاضر ما به معتبرترین اطلاعات در مورد ماهیت جهان، شامل عمر و اجزاء سازنده جهان و شاید حتی آینده و مرگ احتمالی آن، دسترسی داریم.

ستاره‌شناسان دریافته‌اند که جهان به‌طور فزاینده‌ای در حال گسترش است؛ به‌طور نامحدودی شتاب می‌گیرد، و به مرور زمان سردتر و سردتر می‌شود. در صورت ادامه این روند، در آینده شاهد «انجماد بزرگ» خواهیم بود؛ که در آن صورت، جهان در تاریکی و سرما فرو رفته و حیات هوشمند بکلی از بین خواهد رفت.

در این کتاب، به سومین انقلاب عظیم پرداخته شده است. کتاب موجود با کتاب‌های قبلی من در مورد فیزیک، یعنی فراسوی اینشتین[1] و اَبَرفضا[2]، که به معرفی مفاهیم جدید ابعاد بزرگ‌تر و نظریه ابرریسمان‌ها پرداخته‌اند، تفاوت دارد. در کتاب جهان‌های موازی (کتاب حاضر)، به‌جای تمرکز بر فضا ـ زمان، بر روی پیشرفت‌های انقلابی کیهان‌شناسی در سال‌های اخیر تمرکز شده است که براساس یافته‌های جدید آزمایشگاه‌ها و از دورترین نقاط فضا و همچنین جدیدترین یافته‌های فیزیک نظری گردآوری شده‌اند. هدف این بوده است که این نوشته بدون نیاز به آشنایی قبلی با علم فیزیک یا کیهان‌شناسی قابل مطالعه و فهم باشد.

در بخش اول کتاب، تمرکز اصلی بر روی مطالعه جهان است. در این بخش، پیشرفت‌های انجام گرفته، در مراحل ابتدایی کیهان‌شناسی، به اختصار مطرح شده است. نظریه‌ای به نام تورم، نقطه اوج این پیشرفت‌ها محسوب شده و کامل‌ترین فرمول بندی را برای نظریه انفجار بزرگ ارائه می‌دهد. در بخش دوم، به‌طور ویژه بر روی نظریه نوظهور جهان‌های چندگانه[3] ـ مجموعه‌ای که از چندین جهان تشکیل شده و جهان ما یکی از آن‌هاست ـ

---

۱. Beyond Einstein، ترجمه‌ی رضا خزانه، از سوی انتشارات فاطمی منتشر شده است.

۲. Hyper space، ترجمه‌ی نادر جوانی، محمدرضا مسرور، از سوی انتشارات اشراقیه منتشر شده است.

3. Many-Worlds theory

تمرکز می‌کنیم و همچنین به بحث در مورد احتمال وجود کرمچاله‌ها[1]، حلقه‌های فضا و زمان می‌پردازیم و اینکه چگونه ابعاد بیشتر، می‌توانند این مفاهیم را به‌هم مرتبط کنند. نظریه اَبَرریسمان‌ها و نظریه M[2] اولین قدم اساسی را فراتر از نظریه اینشتین برداشتند. بر اساس این نظریه‌ها شواهد بیشتری مبنی براینکه جهان ما ممکن است یکی از چندین جهان موجود باشد، در دست خواهد بود. در آخر، در بخش سوم، به احتمال انجماد بزرگ و اینکه هم‌اکنون دانشمندان، سرنوشت این جهان را چگونه می‌بینند، پرداخته‌ام. به‌علاوه بحثی مهم، ولی در عین حال نظری، مطرح شده است در مورد اینکه چگونه تمدنی پیشرفته در آینده دور ممکن است با استفاده از قوانین فیزیک، تریلیون‌ها سال دیگر، از جهان ما خارج شده و برای شروع مجدد فرایند تولید مثل به جهانی مهمان نوازتر وارد شود یا اینکه با سفر در زمان به جهان گرم‌تر گذشته بازگردد.

امروزه با طغیان داده‌های جدید، با کمک ابزارهای جدیدی مثل ماهواره‌های فضایی که می‌توانند آسمان‌ها را بررسی کنند و با استفاده از آشکارسازهای جدید امواج گرانشی و به‌علاوه با کامل شدن اتم‌شکن‌های[3] جدید به بزرگی یک شهر، فیزیکدانان بر این باورند که ما در حال ورود به سال‌های طلایی کیهان‌شناسی هستیم. به‌طور خلاصه، این بهترین زمان برای فیزیکدان بودن است؛ یا اینکه مسافری باشیم در این تحقیق، تا پرده از راز منشاء خود و سرانجامِ جهان برداریم.

---

1. Wormhole
2. M-Theory
3. Atom smasher

بخش ۱

جهان

فصل ۱ تصویر دوران کودکی جهان

قصد شاعر تنها این است که سر به‌درون افلاک برد. این منطق دان است که در پی فروبردن افلاک در سر خود است؛ و سر اوست که از هم می‌پاشد.

– جی کی چسترسون

در دوران کودکی، من با عقاید شخصی خود درگیر بودم. پدر و مادر من با سنت بودایی بزرگ شده بودند. با این حال، من هر هفته در جلسات یکشنبه‌ها در مدرسه شرکت می‌کردم و از شنیدن داستان‌های کتاب مقدس در مورد نهنگ‌های عظیم‌الجثه، کشتی‌ها، ستون‌هایی از نمک، گرداب‌ها و میوه‌ها لذت می‌بردم. با شنیدن این داستان‌های قدیمی، که بخش مورد علاقه من از کلاس‌های یکشنبه‌ها بود، به هیجان می‌آمدم. به‌نظر می‌رسید که گوش دادن به روایات مربوط به توفان‌های بزرگ، درختان آتش گرفته و آب‌های شکافته شده، بسیار هیجان‌انگیزتر از نیایش‌های دست جمعی و مراقبه‌های بودایی‌ها بود. در حقیقت این داستان‌های باستانی، با محوریت شجاعت و تراژدی، آشکارا درس‌های اخلاقی و معنوی عمیق را به تصویر می‌کشیدند.

روزی در مدرسه مبحث پیدایش به ما آموزش داده می‌شد. تصور اینکه خدا از آسمان‌ها فریاد برآورد که «بگذار آنجا نور باشد!» خیلی مهیج‌تر از مراقبه در سکوت برای نیروانا بود. با کنجکاوی ساده‌لوحانه‌ای، از معلم پرسیدم: «آیا خدا مادر دارد؟» او که همواره با روی باز برای پاسخ دادن به

سوآلات آماده بود، این‌بار غافلگیر شد. پس از کمی مکث پاسخ داد: «نه، احتمالاً خدا مادر ندارد.»

من پرسیدم: «پس خدا از کجا آمده است؟» او مِن‌ومِن‌کنان گفت که برای پاسخ به این سوآل باید با کشیش مشورت کند.

من در آن زمان نفهمیدم که تصادفاً بر روی یکی از سوآلات مهم علم الهیات دست گذاشته‌ام. گیج شده بودم، زیرا در آئین بودا، اصلاً خدایی وجود ندارد و تنها جهانی مستقل از زمان وجود دارد، که نه آغازی دارد و نه پایانی. بعدها زمانی که به مطالعه اسطوره‌شناسی جهان پرداختم، آموختم که از دید مذهب، دو نوع کیهان‌شناسی وجود دارد. اولی برپایه یک لحظه مستقل پایه گذاری شده است، و آن لحظه‌ای است که خداوند جهان را آفرید. باور دوم بر این اعتقاد است که جهان همواره بوده و خواهد بود. عقیده من این بود که هیچ‌کدام از این دو نمی‌توانند درست باشند.

بعدها دریافتم که این دو رویکرد در فرهنگ‌های دیگر رایج نیستند. به‌عنوان مثال، در اسطوره‌شناسی چینی، در ابتدا یک تخم کیهانی وجود داشته است. خداوند، پَن کو، از ابتدا درون این تخم، دوران کودکی خود را بر روی دریایی از آشوب و بی‌نظمی شناور بوده است. پَن کو زمانی که بالاخره از تخم بیرون می‌آید، با سرعتی باور نکردنی، بیش از ۳ متر در هر روز، رشد می‌کند. نیمه بالایی پوسته تخم مرغ، به آسمان و نیمه پایینی به زمین بدل می‌شود. بعد از ۱۸۰۰۰ سال، پَن کو می‌میرد تا به دنیای ما زندگی بخشد: خون او در رودخانه‌ها جاری شده، چشمانش به ماه و خورشید تبدیل شده، و صدایش در غرش آسمان انعکاس می‌یابد.

از بسیاری جهات، داستان پَن کو، همان روایتی است که در خیلی از مذاهب دیگر و افسانه‌های باستانی یافت می‌شود؛ جهان به یکباره از هیچ، به عرصه وجود پا گذاشته است. در افسانه‌های یونانی، جهان در حالتی از بی‌نظمی آغاز می‌شود. این فضای خالی بدون شکل، همان‌طور که در افسانه‌های بابِلی و ژاپنی نیز آمده است، اغلب به شکل یک اقیانوس توصیف می‌شود. در افسانه‌های قدیمی مصری نیز زمینه همین است. در آنجا «را»

خدای خورشید، از یک تخم شناور بیرون می‌آید. در افسانه‌های پلینزی، تخم کیهانی جای خود را به یک پوسته نارگیل می‌دهد. مایاها به شکل دیگری از این داستان اعتقاد دارند که در آن جهان زاده می‌شود، ولی سرانجام پس از ۵۰۰۰ سال می‌میرد؛ تنها برای اینکه دوباره و دوباره احیا شود و چرخه بدون پایان تولد و مرگ تکرار گردد.

تمام این داستان‌ها با محوریت «وجود از عدم»، در تضاد مشخصی با کیهان‌شناسی بر اساس آئین بودا و اشکال مشخصی از هندوئیسم قرار دارند. در این افسانه‌ها، جهان بی‌ابتدا و بی‌انتها، مستقل از زمان است. گفته می‌شود وجود، مراتب مختلفی دارد که بالاترین آن‌ها نیروانا است. نیروانا، وجودی ابدی است و تنها می‌تواند از طریق خالصانه‌ترین مراقبه‌ها به‌دست آید. در ماهاپورانای هندو نوشته شده است «اگر خدا جهان را آفریده باشد، پس قبل از آفرینش کجا بوده است؟... بدانید که جهان خلق نشده است، همان‌طور که زمان نیز خلق نشده، بلکه بدون ابتدا و انتها است.»

واضح است که این داستان‌ها با هم در تضاد هستند: جهان، یا ابتدا داشته یا نداشته است. واضح است گزینه میانه‌ای وجود ندارد.

به‌نظر می‌رسد امروزه، با ورود نسل جدیدی از تجهیزات علمی قدرتمند به عرصه آسمان‌ها، یک راه حل کاملاً جدید از منظری متفاوت ــ منظر علم ــ در حال ظهور است. در افسانه‌های قدیمی، برای تفسیر منشاء اصلی جهان ما، همواره بر خرد و فرزانگی راویان داستان تکیه شده است. امروزه دانشمندان با کمک نیروی جدید ماهواره‌های فضایی، لیزرها، آشکارسازهای امواج گرانشی، تداخل سنج‌ها[1]، اَبَررایانه‌های پر سرعت و اینترنت، سعی در ایجاد تغییری اساسی در فرایند درک ما از جهان دارند و در حال حاضر، می‌توان گفت بهترین توصیف را برای جهان، از زمان ایجاد آن تاکنون، فراهم آورده‌اند.

آنچه که به مرور زمان از داده‌ها به‌دست آمده آشکار می‌شود، ترکیب مهمی از این دو افسانه مخالف می‌باشد. شاید تصور دانشمندان بر این باشد

---

1. Interferometer

که پیدایش، فرایندی است که در اقیانوس مستقل از زمانی از نیروانا، مکرراً رخ می‌دهد. در این تصویر جدید، دنیای ما را می‌توان به حبابی شناور در اقیانوسی بزرگ تشبیه کرد، که حباب‌های جدید در تمام مدت، در آن در حال شکل‌گیری هستند. بر طبق این نظریه، جهان‌ها، مثل حباب‌هایی که در آب جوشان شکل می‌گیرند، دائماً و به‌طور پیوسته ایجاد می‌شوند. این حباب‌ها در پهنه به مراتب بزرگ‌تری، که همان نیروانای اَبَرفضای ۱۱ بعدی است، شناورند. هر روز فیزیکدانان بیشتری به این باور می‌رسند که جهان ما در واقع از یک تحول آتشین، با نام انفجار بزرگ، به بیرون جهیده است؛ ولی در عین حال جهان در اقیانوسی ابدی از جهان‌های دیگر، به حیات خود ادامه می‌دهد. اگر این فرضیه درست باشد، حتی زمانی که شما در حال خواندن این کتاب هستید، انفجارهای بزرگ دیگری در حال رخ دادن هستند.

آنچه که هم‌اکنون فیزیکدانان و ستاره‌شناسان سراسر جهان را به خود مشغول کرده، این است که جهان‌های موازی چه شکلی دارند، از چه قوانینی تبعیت می‌کنند، چگونه زاده شده‌اند، و سرانجام چگونه می‌میرند؟ شاید این جهان‌های موازی، بدون وجود عناصر ابتدایی حیات، پذیرای دنیای زنده نباشند. از طرف دیگر، شاید جهان‌های دیگری باشند که دقیقاً به شکل جهان ما بوده و به‌وسیله یک رخداد کوانتومی از جهان ما جدا شده باشند؛ رخدادی که باعث دور شدن این جهان‌ها از جهان ما شده باشد. تعداد معدودی از فیزیکدانان نیز بر این باورند که شاید روزی اگر با گذر زمان، با سردتر شدن زمین، زندگی در جهان فعلی ما غیرممکن شود، ممکن است مجبور شویم آن را ترک کرده و به جهان دیگری فرار کنیم.

آنچه که باعث ظهور این نظریه‌های جدید شده است، سیل عظیم داده‌های دریافتی از ماهواره‌های فضایی است که با عکس برداری از آثار بجامانده از فرایند آفرینش به‌دست می‌آیند. هم‌اکنون دانشمندان، تمرکز خود را بر روی آنچه که تنها ۳۸۰,۰۰۰ سال پس از انفجار بزرگ رخ داده است، متمرکز کرده‌اند؛ زمانی که برای اولین‌بار «پس‌تاب» آفرینش جهان را فرا گرفت. شاید بتوان گفت که مهیج‌ترین و بهترین تصویر از انعکاس رخداد

آفرینش، با کمک ابزار جدیدی به نام ماهواره WMAP، به‌دست آمده است.

ماهواره WMAP[1]

«باورنکردنی!»، «لحظه‌ای تاریخی!»، این‌ها برخی از کلماتی بودند که در فوریه سال ۲۰۰۳ از زبان متخصصین محتاط فیزیک نجومی، در توصیف داده‌های ارزشمند دریافتی از ماهواره WMAP، خارج شد. WMAP، که نام آن از نام یکی از پیشگامان علم کیهان‌شناسی، دیوید ویلکینسون، گرفته شده است، در سال ۲۰۰۱ به فضا پرتاب شد. این فضاپیما موفق شد، با دقتی بی‌سابقه، تصویری از جهان ابتدایی را، تنها زمانی که ۳۸۰,۰۰۰ سال عمر داشت، در اختیار دانشمندان قرار دهد. انرژی بسیار زیاد باقی مانده از گوی آتشین اولیه، که منشاء شکل‌گیری ستارگان و کهکشان‌ها محسوب می‌شود، میلیاردها سال پیرامون جهان ما چرخیده است. امروزه سرانجام با کمک ماهواره WMAP، تصاویر ضبط شده با جزئیات دقیق، نقشه‌ای تهیه شده است که قبلاً دیده نشده بود؛ تصویری از آسمان که با جزئیات حیرت‌آوری، تابش ریزموج ایجاد شده از انفجار بزرگ را نشان می‌دهد؛ چیزی که مجله تایم آن را «انعکاس خلقت» نامید. ستاره‌شناسان هرگز بار دیگر به آسمان اینگونه نخواهند نگریست.

جان باکال، از انستیتوی مطالعات پیشرفته در پرینستون، اظهار می‌دارد که یافته‌های ماهواره WMAP، بیانگر فرایند گذر کیهان‌شناسی از تفکر نظری به علوم دقیق است. سیل عظیم داده‌های به‌دست آمده از این دوره زمانی ابتدایی در تاریخ جهان، برای اولین‌بار کیهان‌شناسان را قادر ساخت تا به دقت به کهن‌ترین سوآلات بشر پاسخ دهند؛ سؤالاتی که، با اولین نگاه‌های انسان به آسمان شب، در ذهن او شکل گرفت. عمر جهان چقدر است؟ از چه ساخته شده است؟ پایان جهان چیست؟

(در سال ۱۹۹۲، یکی از ماهواره‌های پیشین، با نام کوبه[2] کاوشگر زمینه

1. Wilkinson Microwave Anistrapy Probe 2. COBE (Cosmic Background Explorer)

کیهان)، توانست اولین تصاویر محو و نامشخص مربوط به تابش پس‌زمینه‌ای که آسمان را پر کرده است تهیه کند. اگرچه این نتایج در زمان خود انقلابی برپا کرد، ولی از طرفی نا امید کننده نیز بود، زیرا تصاویری از جهان ابتدایی به ما می‌داد که وضوح کافی نداشتند. با این حال روزنامه‌ها، با هیجان فراوان، این عکس را «چهره خدا» نامیدند. ولی «عکسی از دوران کودکی جهان» توصیف دقیق‌تری از تصاویر ناواضح و محو به‌دست آمده از COBE است. اگر دنیای امروز را به انسانی ۸۰ ساله تشبیه کنیم، تصاویر به‌دست آمده از COBE و بعدها از WMAP، او را به‌عنوان نوزادی یک روزه نشان می‌دهند.)

علت اینکه ماهواره WMAP می‌تواند تصویری از دوران کودکی جهان به ما بدهد این است که آسمان شب همانند ماشین زمان عمل می‌کند. از آنجا که نور با سرعت محدودی حرکت می‌کند، ستارگانی که در آسمان شب می‌بینیم، آن‌طور دیده می‌شوند که روزی در گذشته بوده‌اند؛ نه آنچه که در حال حاضر هستند. کمی بیشتر از یک ثانیه طول می‌کشد تا نور فاصله بین ماه تا زمین را طی کند. بنابراین وقتی ما به ماه می‌نگریم، در حقیقت آن را به‌گونه‌ای می‌بینیم که یک ثانیه پیش بوده است. تقریباً ۸ دقیقه طول می‌کشد تا نور خورشید به زمین برسد. به‌همین ترتیب، خیلی از ستارگان آشنا که ما در آسمان می‌بینیم، آنقدر از ما دورند که ده‌ها تا صدها سال طول می‌کشد تا نور آن‌ها به چشم ما برسد. (به بیان دیگر، آن‌ها ۱۰ تا ۱۰۰ سال نوری با زمین فاصله دارند. یک سال نوری برابر است با ۶۵/۹ تریلیون کیلومتر یا فاصله‌ای که نور در مدت یک سال طی می‌کند.) کهکشان‌های دور، صدها میلیون تا میلیاردها سال نوری از ما فاصله دارند. در نتیجه، آنچه می‌بینیم نورهایی مربوط به گذشته هستند که برخی از آن‌ها حتی قبل از ظهور دایناسورها منتشر شده‌اند. برخی از دورترین اجرامی که ما می‌توانیم با تلسکوپ‌های خود ببینیم اختروش نام دارند. موتورهای کهکشانی بی‌نهایت بزرگی که مقادیر غیر قابل تصوری نیرو، در مرزهای جهان قابل رؤیت، تولید می‌کنند و در فاصله ۱۲ تا ۱۳ میلیارد سال نوری از زمین قرار دارند. در حال حاضر با کمک ماهواره WMAP، امکان آشکارسازی تابش‌های منتشر شده قبل از این

زمان، مربوط به گوی آتشین اولیه، فراهم آمده است.

کیهان‌شناسان گاهی برای توصیف جهان از ساختمان امپایر استیت که با بیش از صدها طبقه برفراز منهتن قرار دارد، استفاده می‌کنند. وقتی شما از بالا به پایین می‌نگرید، بسختی می‌توانید سطح خیابان‌ها را ببینید. اگر زیرزمین ساختمان امپایر استیت را در موقعیت انفجار بزرگ تصور کنیم، آنگاه با نگریستن از بالا به پایین، کهکشان‌های دور در طبقه دهم واقع خواهند شد. اختروش‌های دوردست که با تلسکوپ‌های زمینی دیده می‌شوند، در طبقه هفتم خواهند بود. زمینه کیهانی ثبت شده به‌وسیله ماهواره WMAP، تنها یک سانتیمتر بالاتر از سطح خیابان خواهد بود. هم‌اکنون ماهواره WMAP، سن جهان را با دقت حیرت‌انگیز ۱ درصد، تا ۱۳/۷ میلیارد سال تخمین زده است.

ماموریت ماهواره WMAP، نقطه اوج بیش از یک دهه کار سخت اخترفیزیکدانان است. ایده اصلی ماهواره WMAP، اولین‌بار در سال ۱۹۹۵ به ناسا پیشنهاد و دو سال بعد تصویب شد. در سی ام ژوئن سال ۲۰۰۱، ناسا ماهواره WMAP را با کمک موشک دلتا ۲، در مداری خورشیدی، در فاصله بین زمین و خورشید قرار داد. مقصد ماهواره، دقیقاً نقطه لاگرانژی شماره ۲ زمین و خورشید بود (یا نقطه L2، محل خاصی با پایداری نسبی در نزدیکی زمین). در این مکان، ماهواره همواره از خورشید، زمین و ماه فاصله داشته و در نتیجه منظری باز از جهان خواهد داشت. این ماهواره هر شش ماه یکبار به‌طور کامل، از گنبد آسمان تصویربرداری می‌کند.

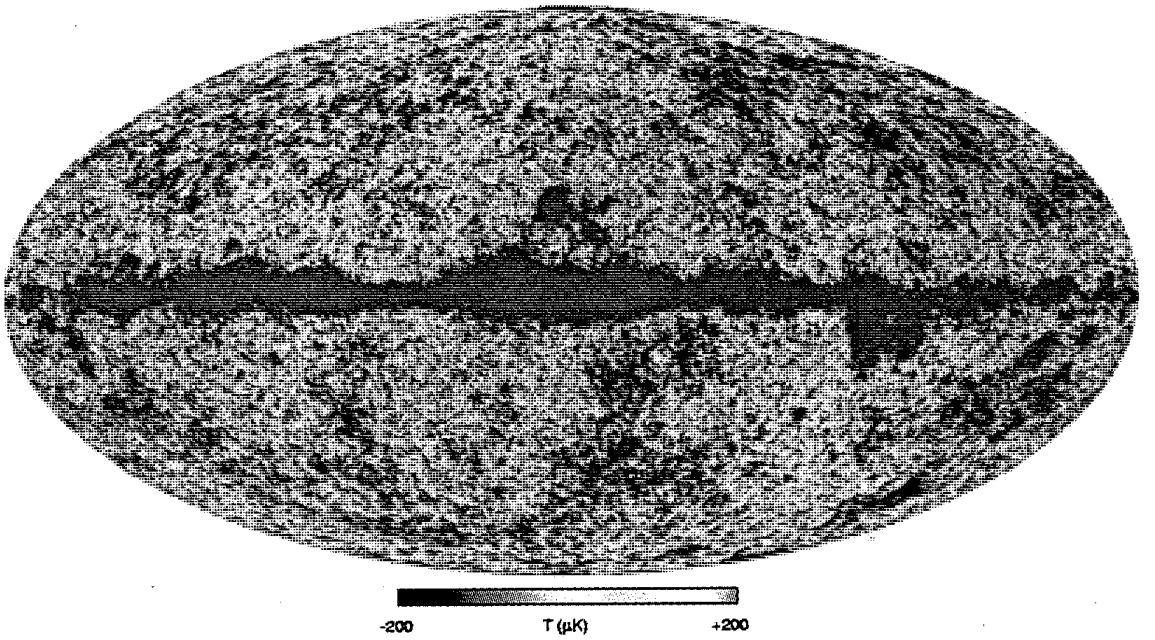
تجهیزات این ماهواره، هنرمندانه طراحی شده‌اند. WMAP می‌تواند با استفاده از سنسورهای قدرتمند، تابش‌های خفیف ریزموج باقی مانده از انفجار بزرگ را که کل جهان را پر کرده‌اند، آشکار کند. این ماهواره آلومینیم-کامپوزیتی، دارای ابعاد ۸/۳ در ۵ متر و وزن ۸۴۰ کیلوگرم می‌باشد. WMAP، دارای دو تلسکوپ پشت به پشت است که تابش ریزموج تابیده از آسمان را جمع‌آوری کرده و سرانجام داده‌ها را به زمین می‌فرستد. به‌علاوه، WMAP تنها با توان الکتریکی ۴۱۹ وات (توان ۵ لامپ معمولی) تغذیه می‌شود. ماهواره WMAP، در فاصله میلیون‌ها کیلومتری از زمین، به اندازه کافی دور از

اغتشاشات جوی، که می‌توانند تابش‌های خفیف ریزموج زمینه را به‌راحتی بپوشانند، قرار گرفته و بنابراین امکان مطالعه پیوسته کل آسمان را فراهم می‌آورد. اولین مشاهده WMAP از کل آسمان در آوریل سال ۲۰۰۲ انجام گرفت. شش ماه بعد، دومین مشاهده کامل آسمان صورت پذیرفت. امروزه، ماهواره WMAP، توانسته است جامع‌ترین و جزئی‌ترین نقشه از این تابش را تهیه کند. تابش ریزموج تهیه شده به‌وسیله WMAP، اولین‌بار به‌وسیله جورج گاموف و همکارانش در سال ۱۹۴۸ پیش‌بینی شده بود؛ کسی که همچنین بیان کرد که این تابش، دمای مشخصی دارد. WMAP این دما را کمی بالای صفر مطلق، بین ۲/۷۲۴۹ و ۲/۷۲۵۱ درجه کلوین اندازه‌گیری کرده است.

برای چشم غیرمسلح، نقشه WMAP از آسمان چندان جالب به‌نظر نمی‌رسد؛ این تصویر مجموعه‌ای است از نقاط تصادفی. هرچند که این مجموعه نقاط، برخی ستاره‌شناسان را حتی به گریه نیز انداخته است؛ زیرا که این نقاط بیانگر افت و خیزها و نوسانات یا بی‌نظمی‌های تحول آتشین انفجار بزرگ، در مدت زمان اندکی پس از پدید آمدن جهان هستند. این نوسانات کوچک، همانند دانه‌هایی هستند که از آن زمان به‌طور گسترده‌ای در سراسر کیهان پخش شده‌اند. امروزه، این دانه‌های کوچک به خوشه‌های کیهانی و کهکشان‌هایی که ما در آسمان می‌بینیم تبدیل شده‌اند. به بیان دیگر، خود کهکشان راه شیری ما و تمام خوشه‌های کیهانی که دور و بر خود می‌بینیم، روزی یکی از این نوسانات کوچک بوده‌اند. با مطالعه و اندازه‌گیری توزیع این نوسانات و افت و خیزها، که به مانند نقطه‌هایی رنگی بر پرده آسمان شب نقاشی شده‌اند، می‌توانیم منشاء خوشه‌های کیهانی را بیابیم.

امروزه حجم داده‌های نجومی، از نظریه‌های دانشمندان فراتر رفته است. در حقیقت اعتقاد من بر این است که ما در حال ورود به عصر طلایی کیهان‌شناسی هستیم.

(علی‌رغم تاثیرات انکارناپذیر ماهواره WMAP، انتظار می‌رود با پرتاب ماهواره اروپایی پلانک در سال ۲۰۰۷، از اهمیت دست‌آوردهای WMAP کاسته شود. تصاویر ماهواره پلانک جزئیات بیشتری از این تابش پس‌زمینه



این تصویری از دوران خردسالی جهان است که ماهواره WMAP گرفته است، زمانی که جهان تنها ۳۸۰,۰۰۰ سال سن داشته است. به احتمال زیاد هر نقطه، یک نوسان کوچک کوانتومی در پس‌تاب آفرینش بوده که پس از انبساط، کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی را که امروزه ما در آسمان می‌بینیم، ایجاد کرده است.

ریزموج را در دسترس ستاره‌شناسان قرار خواهد داد.) سرانجام، کیهان‌شناسی از رخوت سال‌ها پژمردگی در باتلاقی از تفکر و تعمق و حدس و گمان ماجراجویانه سر برآورده و از حاشیه علم بیرون می‌آید. از نظر تاریخی، کیهان‌شناسان همواره از اعتبار کمی برخوردار بوده‌اند. نظریه‌های پر آب و تابی که کیهان‌شناسان برای جهان پیشنهاد کردند، همه و همه تنها به‌دلیل فقر اطلاعاتی به چالش کشیده می‌شد. همان‌طور که برنده جایزه نوبل، لِو لانداو، به کنایه می‌گوید: «کیهان‌شناسان اغلب در اشتباه‌اند، ولی نه در شک.» دانشمندان مَثَلی قدیمی دارند که می‌گوید: «ابتدا تفکر و خیال‌پردازی. سپس تفکر و خیال‌پردازی بیشتر، و آنگاه کیهان‌شناسی پدید می‌آید.»

در اواخر دهه ۱۹۶۰، به‌عنوان متخصص علم فیزیک در هاروارد، به تحصیل علم کیهان‌شناسی علاقه‌مند شدم. من از دوران کودکی، همواره شیفته پرداختن به اصل و ابتدای جهان بوده‌ام. اما با نگاه اجمالی به مسئله

دریافتم که تاکنون دانسته‌های موجود به‌طور شرم‌آوری ابتدایی بوده‌اند. این علم نه تنها اصلاً یک علم تجربی نبود؛ جایی‌که فرد می‌تواند با تجهیزات پیشرفته صحت فرضیه را مورد آزمایش قرار دهد، بلکه بیشتر مجموعه‌ای از نظریه‌های شدیداً نظری، بی‌قید و بند و دلبخواه بوده است. کیهان‌شناسان به مباحث داغی پرداخته‌اند؛ اینکه آیا جهان در یک انفجار کیهانی متولد شده یا اینکه همواره در یک وضعیت پایدار وجود داشته است. ولی با چنان داده‌های کمی، نظریه‌ها به سرعت از داده‌ها فراتر رفتند. در حقیقت هرچه داده‌ها کم‌تر باشد، بحث و منازعه جدال برانگیزتر خواهد شد.

در طول تاریخ کیهان‌شناسی، مسئله کمبود داده‌های معتبر، منجر به نزاع بین ستاره‌شناسان شده، که اغلب برای چندین دهه بطول انجامیده است. (به‌عنوان مثال تنها لحظاتی قبل از سخنرانی آلَن ساندِیج، ستاره‌شناس رصدخانه مونت ویلسون، در مورد عمر جهان، سخنران قبلی با طعنه و شوخی اعلام کرد: «تمام آنچه را که در ادامه خواهید شنید، اشتباه است.» و ساندِیج، با شنیدن اینکه چگونه گروه رقیب اینگونه برای خود اعتبار کسب کردند، خروشید: «این‌ها همه مزخرف است. این یک جنگ است ــ این یک جنگ است!»)

عمر جهان

ستاره‌شناسان، مخصوصاً در مورد عمر جهان، همواره کنجکاو بوده‌اند. در طول قرن‌ها پژوهشگران، روحانیون، و خداشناسان تلاش کرده‌اند تا با استفاده از تنها روش موجود، یعنی شجره‌نامه انسان از زمان آدم و حوا، عمر جهان را تخمین بزنند. در قرن گذشته، زمین‌شناسان از تابش‌های ذخیره شده در سنگ‌ها، برای محاسبه عمر جهان استفاده کردند. در مقایسه، در قرن حاضر، ماهواره WMAP توانسته است با اندازه‌گیری تابش‌های منتشره از انفجار بزرگ، معتبرترین تخمین را برای عمر جهان در اختیار انسان‌ها قرار دهد. داده‌های WMAP آشکار می‌کنند که جهان در انفجاری آتشین، در ۱۳/۷ میلیارد سال پیش، متولد شده است.

(در طول تاریخ، یکی از شرم‌آورترین مسائلی که گریبان گیر کیهان‌شناسی بوده به‌دلیل داده‌های ناقص و معیوبی است که عمر جهان را اغلب از سیارات و ستارگان جوان‌تر محاسبه می‌کرده است. آخرین تخمین برای عمر جهان به کوچکی ۱ تا ۲ میلیارد سال بوده که با عمر زمین (۵/۴ میلیارد سال) و پیرترین ستارگان (۱۲ میلیارد سال) در تناقض آشکار قرار داشته است. البته، این تناقضات هم‌اکنون از بین رفته‌اند.)

ماهواره WMAP گره جدیدی را به این مسئله که جهان از چه ساخته شده، افزوده است. سوآلی که یونانی‌ها بیش از ۲۰۰۰ سال پیش از خود پرسیدند. در قرن پیش، دانشمندان عقیده داشتند که پاسخ این سوآل را می‌دانند. پس از هزاران سال پژوهش‌های پر زحمت، دانشمندان به این نتیجه رسیدند که جهان تقریباً از صدها نوع مختلف اتم تشکیل شده است. این اتم‌ها در جدول متناوب و منظمی، که با هیدروژن آغاز می‌شود، تنظیم شده‌اند. پایه علم شیمی جدید همین جدول است و در حقیقت در تمام کلاس‌های درس علوم در دبیرستان تدریس می‌شود. ولی هم‌اکنون WMAP این تصور را به‌هم ریخته است.

در تائید تجربیات قبلی، ماهواره WMAP نشان داد که ماده قابل مشاهده که ما در اطراف خود می‌بینیم (شامل کوه‌ها، سیارات، ستارگان، و کهکشان‌ها) یک بخش ناچیز ۴ درصدی از کل محتویات ماده و انرژی جهان را تشکیل می‌دهند. (بخش اعظم آن ۴ درصد، به شکل هلیم و هیدروژن و احتمالاً تنها ۰/۰۳ درصد آن به شکل عناصر سنگین هستند.) در واقع بخش عمده جهان از ماده‌ای مبهم و غیر قابل مشاهده با منشاء کاملاً ناشناخته تشکیل شده است. عناصر آشنایی که دنیای ما را تشکیل می‌دهند، تنها ۰/۰۳ درصد جهان را پر کرده‌اند. از برخی جهات، از زمانی که فیزیکدانان به این مسئله پرداختند، که جهان به‌وسیله شکل‌های کاملاً ناشناخته و جدیدی از ماده و انرژی احاطه شده است، علم، قرن‌ها به گذشته، به زمان قبل از ظهور فرضیه اتمی بازگشته است.

بر اساس یافته‌های WMAP، ۲۳ درصد جهان از ماده‌ای عجیب و

ناشناخته به نام ماده تاریک[1] ساخته شده که با وجود داشتن وزن و اینکه دورتادور کهکشان‌ها حلقه زده است، کاملاً نامرئی است. ماده تاریک آنقدر زیاد است که تنها در کهکشان راه شیری، وزن آن روی هم رفته بیش از ده برابر وزن مجموع ستارگان مرئی است. با وجود غیرقابل رؤیت بودن، دانشمندان می‌توانند این ماده تاریک عجیب را به‌طور غیرمستقیم مشاهده کنند؛ زیرا این ماده درست مانند ذره بین، نور ستارگان را منحرف می‌کند و بنابراین می‌توان مکان آن را از طریق مقدار اعوجاجی که در نور ستارگان زمینه ایجاد می‌کند تعیین کرد.

با استناد به نتایج عجیب به‌دست آمده از داده‌های ماهواره WMAP، ستاره‌شناس پرینستون، جان باکال، گفته است: «امروزه ویژگی‌های معینی را از جهان دیوانه غیر محتملی که در آن زندگی می‌کنیم، می‌دانیم.»

ولی شاید بزرگ‌ترین اعجاب در داده‌های WMAP، داده‌هایی که محافل علمی را متحیر کرد، این بود که ۷۳ درصد جهان، یعنی بخش عمده آن، از نوعی انرژی کاملاً ناشناخته و نامرئی به نام انرژی تاریک[2] ساخته شده که در ساختار فضای خالی پنهان است. انرژی تاریک، انرژی هیچ، یا انرژی فضای خالی، که به‌وسیله اینشتین در سال ۱۹۱۷ معرفی و سپس به‌وسیله خود او رد شد (او آن را بزرگ‌ترین اشتباه خود نامید)، هم‌اکنون به‌عنوان نیروی محرک کل جهان مجدداً مطرح می‌شود. در حال حاضر، این عقیده وجود دارد که انرژی تاریک، میدان ضدگرانشی ایجاد می‌کند که باعث از هم راندن کهکشان‌ها می‌شود. سرنوشت نهایی جهان نیز به‌وسیله این انرژی تاریک تعیین می‌شود.

هیچ کس در حال حاضر نمی‌داند که این انرژی از کجا می‌آید. کریگ هوگان، ستاره‌شناس دانشگاه واشنگتن در سیاتل می‌گوید: «صادقانه بگویم: ما این را نمی‌فهمیم. با اینکه می‌دانیم اثرات آن چه هستند [ولی] سر نخی از این موضوع نداریم.... هیچ‌کس سر نخی ندارد.»

با توجه به‌نظریه اخیر ذرات زیراتمی، در محاسبه مقدار این انرژی

---

1. Dark matter

2. Dark energy

تاریک، به عددی فراتر از $۱۰^{۱۲۰}$ (عدد یک با ۱۲۰ صفر در مقابل آن) می‌رسیم. چنین فاصله‌ای بین نتایج نظری و داده‌های تجربی در تاریخ علم بی‌سابقه است. این یکی از بزرگ‌ترین شرمساری‌های تاریخ علم است؛ اینکه بهترین نظریه ما نمی‌تواند مقدار بزرگ‌ترین منبع انرژی در کل جهان هستی را محاسبه کند. مطمئناً، قفسه‌ای مملو از جوایز نوبل در انتظار افراد متهوری است که پرده از راز ماده و انرژی تاریک بگشایند.

تورم

ستاره‌شناسان سخت در تلاشند تا سیل عظیم داده‌های دریافتی از ماهواره WMAPرا مورد مطالعه و بررسی قرار دهند. هم‌زمان که تصویر قدیمی جهان به کناری نهاده می‌شود، تصویری جدید از کیهان‌شناسی شکل می‌گیرد. چارلز اِل بِنِت، هدایتگر تیمی بین‌المللی که به ساخته شدن و تحلیل ماهواره WMAPکمک کرد، می‌گوید: «ما پایه و اساس یک نظریه منسجم و یکپارچه از کیهان را بنا نهاده‌ایم.» معتبرترین و برجسته‌ترین نظریه تاکنون، نظریه «جهان تورمی» است، که صورت تصحیح شده‌ای از نظریه انفجار بزرگ بشمار می‌رود. این نظریه اولین‌بار از سوی فیزیکدانی با نام آلن گوث، از دانشگاه MIT، مطرح شد. در سناریوی جهان تورمی، در اولین یک تریلیون تریلیونیم ثانیه، نیروی ضدگرانش مرموزی، باعث گسترش و انبساط جهان شده است؛ بسیار سریع‌تر از آنچه در ابتدا تصور می‌شد. مدت زمان این تورم به‌طور غیرقابل تصوری آنی و انفجاری بوده است؛ به‌طوری‌که در این مدت جهان بسیار سریع‌تر از سرعت نور انبساط یافته است. (این موضوع ناقض گفته اینشتین نیست که هیچ چیز نمی‌تواند سریع‌تر از نور حرکت کند، زیرا این فضای خالی است که انبساط می‌یابد. تنها برای اجسام مادی است که سد سرعت نور نمی‌تواند شکسته شود.) جهان در کسری از ثانیه با ضریب غیر قابل تصوری برابر $۱۰^{۵۰}$، انبساط یافته است.

برای به تصویر کشیدن قدرت دوره زمانی تورمی، بادکنکی را تصور کنید که کهکشان‌ها بر روی سطح آن نقاشی شده‌اند و به سرعت در حال انبساط

است. فرض کنید کل جهان ما، مملو از ستارگان و کهکشان‌ها، تماماً بر روی سطح این بادکنک قرار گرفته‌اند. آنچه از این جهان برای ما قابل مشاهده است، به اندازه یک دایره میکروسکوپی روی بادکنک است. نسبت جهان واقعی به جهان قابل مشاهده توسط ما، برابر است با نسبت سطح کل بادکنک به سطح یک دایره میکروسکوپی. این دایره کوچک بیانگر جهان مرئی است، یعنی تمام آنچه که ما با تلسکوپ‌های خود می‌بینیم. (به عبارت دقیق تر، اگر تمام جهان مرئی به کوچکی یک ذره زیراتمی باشد، آنگاه جهان واقعی بسیار بزرگ‌تر از جهان مرئی فعلی که اطراف خود می‌بینیم می‌بود.) به بیان دیگر، انبساط تورمی آنقدر شدید بوده است، که فراتر از جهان مرئی ما، مناطق دست نخورده‌ای وجود دارند که برای همیشه فراتر از دسترس ما باقی خواهند ماند.

این تورم در حقیقت آنقدر عظیم بوده است، که سطح بادکنکی اطراف ما تخت و صاف به‌نظر می‌آید. این حقیقتی است که از نظر تجربی به‌وسیله ماهواره WMAP، مشخص شده است. همان‌طور که زمین برای ما، به‌دلیل کوچک بودن ابعادمان در مقایسه با ابعاد زمین، تخت به‌نظر می‌رسد، به‌همین ترتیب جهان نیز تخت به‌نظر می‌رسد، تنها با این توضیح که در مقیاس بسیار بزرگ‌تری به شکل منحنی است.

با تصور اینکه جهان اولیه دچار فرایند تورم شده است، به‌راحتی می‌توان به بسیاری از معماهای جهان پاسخ گفت؛ مثل اینکه چرا این جهان تخت و یکپارچه به‌نظر می‌رسد. در تعبیر نظریه تورم، فیزیکدانی با نام جوئل پریماک، گفته است: «تاکنون پیش نیامده که نظریه‌ای به این زیبایی، غلط از آب در آید.»

جهان‌های چندگانه

نظریه جهان تورمی، اگرچه با داده‌های دریافتی از ماهواره WMAP سازگار است، هنوز به این سوآل پاسخ نمی‌دهد که: چه چیزی باعث تورم شده

است؟ چه چیزی این نیروی ضد گرانش[1] را که باعث تورم جهان شده، آزاد کرده است؟ بیش از پنجاه نظر مختلف در توضیح اینکه چه چیزی باعث ایجاد تورم و در نهایت خاتمه آن شده و در نتیجه آن دنیای اطراف ما ساخته شده است، وجود دارد. در این مورد اجماع جهانی وجود ندارد. اغلب فیزیکدانان در مورد ایده یک دوره زمانی تورم سریع با یکدیگر هم عقیده هستند، ولی طرحی قطعی برای پاسخ به این سوآل که موتور محرک موجود در پس فرایند تورم چیست، داده نشده است.

از این رو، هیچ کس به‌درستی نمی‌داند پدیده تورم چگونه آغاز شده است. همیشه این احتمال وجود دارد که همین مکانیزم دوباره به وقوع بپیوندد؛ به این معنی که انفجارات تورمی می‌توانند به دفعات اتفاق بیفتند. این ایده‌ای است که فیزیکدان روسی با نام آندرِی لیند، از دانشگاه استانفورد آن را پیشنهاد کرد؛ هر مکانیزمی که روزی باعث شده بخشی از جهان به‌طور ناگهانی متورم شود، هنوز هم وجود دارد و شاید به‌طور تصادفی باعث شود دیگر مناطق دوردست جهان به همان شیوه متورم شوند.

برطبق این نظریه، تکه کوچکی از یک جهان ممکن است ناگهان متورم شده و شروع به رشد کند. به‌این‌ترتیب، فرزندی زاده می‌شود که ممکن است بنوبه خود جهان نوپای دیگری را به دنیا آورد و این پروسه زایش و شروع مجدد تا ابد ادامه یابد. حرکت حباب‌های صابون را در هوا تصور کنید. اگر به سمت حباب‌های صابون محکم فوت کنید، خواهید دید که برخی از حباب‌های صابون نصف شده و حباب‌های جدیدی ایجاد می‌کنند. به‌همین ترتیب جهان‌ها ممکن است به‌طور پیوسته جهان‌های جدیدی را از خود ایجاد کنند. در این فرضیه، انفجار بزرگ دائماً در حال رخ دادن است. اگر این سناریو حقیقت داشته باشد، ممکن است ما در دریایی از این جهان‌ها زندگی کنیم؛ درست مثل حبابی که در اقیانوسی از دیگر حباب‌ها شناور است. در حقیقت کلمه مناسب‌تر نسبت به کلمه «جهان»، کلمه «جهان‌های چندگانه» است.

لیند این نظریه را تورم خودبه‌خودی، یا «تورم پرآشوب» می‌نامد؛ چرا که

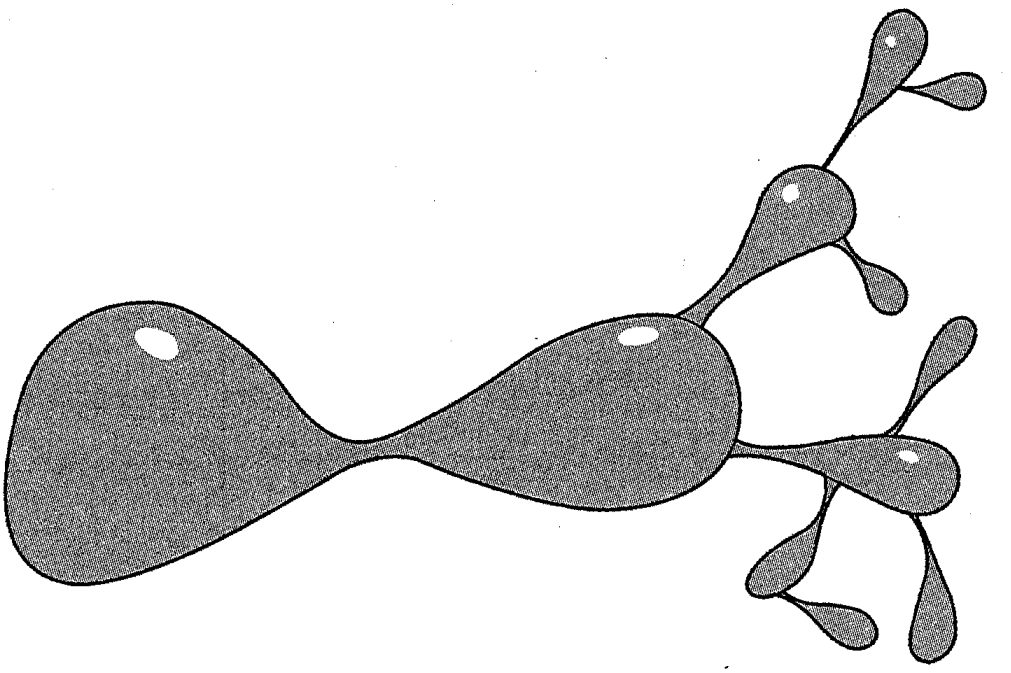
---

1. Antigravity

آنچه او در سر می‌پروراند، فرایند بی‌پایانی از تورم پیوسته جهان‌های موازی است. آلن گوث، کسی که اولین‌بار نظریه تورم را پیشنهاد کرد، معتقد است: «پذیرش نظریه تورم به نوعی ایده جهان‌های چندگانه را برما تحمیل می‌کند.»

پذیرش این نظریه همچنین به این معنی خواهد بود که جهان ما ممکن است در برهه‌ای از زمان، دنیای نوزادی را از درون خود تولید کرده باشد. یا شاید همین جهان ما، حیات خود را با زایش از درون جهانی قدیمی‌تر آغاز کرده باشد.

ستاره‌شناس سلطنتی بریتانیا، سر مارتین ریس، گفته است: «چیزی که آن را جهان می‌نامیم، می‌تواند خود عضوی از یک مجموعه بزرگ‌تر باشد. ممکن است جهان‌های بی‌شمار دیگری وجود داشته باشند، که قوانین متفاوتی بر آن‌ها حاکم باشند. جهانی که ما در آن پدید آمده‌ایم، به زیرمجموعه غیرمعمولی تعلق دارد که در آن هوش، به نوعی امکان رشد و توسعه یافته است.»



شواهد نظری موجود، مهر تائیدی است بر وجود جهان‌های چندگانه، که در آن تمام جهان‌ها به‌طور پیوسته دیگر جهان‌ها را تولید می‌کنند. در صورت حقیقت داشتن این مسئله، دو افسانه بزرگ مذهبی، پیدایش و نیروانا، با هم متحد می‌شوند. به‌این‌ترتیب که پیدایش دائماً، در بستر نیروانای بدون ابتدا و انتها رخ می‌دهد.

تمام فعالیت‌های پژوهشی انجام گرفته در زمینه موضوع جهان‌های چندگانه، به خیال‌پردازی در مورد شکل‌های مختلف جهان‌های دیگر کمک کرده‌اند؛ اینکه آیا در آن‌ها حیات وجود دارد؟ آیا در نهایت امکان برقراری تماس با آن‌ها وجود دارد؟ دانشمندان در دانشگاه‌های کلتِک، MIT، پرینستون، و دیگر مراکز آموزشی، در حال انجام محاسبات لازم هستند تا بفهمند آیا ورود به یک جهان موازی با قوانین فیزیک امکان‌پذیر است یا نه.

نظریه M و بُعد یازدهم

ایده حتمی و محتمل جهان‌های موازی، زمانی به‌دلیل اینکه جولانگاهی بود برای عرفا، فرصت‌طلبان و دیگر افراد سودجو، با تردید به‌وسیله دانشمندان مطرح می‌شد. از آنجا که حتی امروزه نیز هیچ مدرک تجربی دال بر وجود جهان‌های موازی وجود ندارد، در آن زمان هر دانشمندی که جسارت پرداختن به این مسئله را پیدا می‌کرد، مورد تمسخر واقع می‌شد و حتی ممکن بود موقعیت شغلی‌اش به مخاطره بیفتد.

ولی اخیراً ورق برگشته است، چون افراد نخبه به این مسئله توجه کرده‌اند. دلیل این تغییر ناگهانی، ظهور نظریه‌ای جدید به نام نظریه ریسمان و آخرین نسخه آن، یعنی نظریه M است که امید می‌رود نه تنها پرده از راز طبیعت جهان‌های چندگانه بگشاید، بلکه به ما امکان دهد تا به تعبیر اینشتین: «ذهن خدا را بخوانیم.» در صورت اثبات، این نظریه بیانگر نقطه اوج یافته‌های ناشی از دو هزار سال پژوهش در فیزیک خواهد بود؛ از زمانی که یونانی‌ها برای اولین‌بار جستجو برای یافتن یک نظریه مستقل، جامع و منسجم برای جهان را آغاز کردند.

تعداد مقالات منتشر شده در زمینه نظریه ریسمان و نظریه M، از ده‌ها هزار عدد فراتر رفته و روز به روز در حال افزایش است. تاکنون صدها کنفرانس بین‌المللی تحت این نام برگزار شده‌اند. هر یک از دانشگاه‌های بزرگ و مهم جهان، یا دارای گروهی هستند که بر روی نظریه ریسمانی کار می‌کنند، یا به نوعی سعی در فراگیری آن دارند. اگرچه این نظریه با فن‌آوری امروزی ما قابل

آزمایش نیست، ولی اشتیاق فراوانی را در بین فیزیکدانان نظری، ریاضیدانان و حتی فیزیکدانان تجربی برانگیخته است؛ کسانی که آرزو دارند در آینده با استفاده از آشکارسازهای قدرتمند امواج گرانشی در فضای خارج از جو، و اتم‌شکن‌های عظیم، این نظریه را به بوته آزمایش بکشانند.

در نهایت، این نظریه ممکن است بتواند به این سوآل پاسخ دهد: قبل از انفجار بزرگ چه اتفاقی افتاده است؟ سوآلی که از زمان طرح نظریه انفجار بزرگ، کیهان‌شناسان را درگیرکرده است.

پاسخ به این سوآل مستلزم آنست که با تمام قوا، دانسته‌ها و کلیه یافته‌های فیزیکی خود را که در طول قرن‌ها جمع‌آوری شده‌اند، به خدمت بگیریم. به بیان دیگر، ما به یک «نظریه همه چیز» نیاز داریم؛ یک نظریه یکپارچه برای تمام نیروهای فیزیکی که جهان را به حرکت وا می‌دارند. اینشتین در سی سال آخر عمر، تلاش خود را بر روی یافتن این نظریه متمرکز کرد، ولی در نهایت موفق نشد.

درحال حاضر، نظریه برجسته و در حقیقت تنها نظریه موجود که می‌تواند گوناگونی همه نیروهای جهان را توضیح دهد، همان نظریه ریسمان، یا آخرین نسخه آن، نظریه M است. نام M از کلمه Membrane به معنی غشاء یا پوسته گرفته شده است، ولی همچنین می‌تواند به کلمات «Mystery» (رمز و راز)، «Magic» (سحر و جادو) یا حتی «Mother» (مادر) مربوط باشد. اگرچه نظریه ریسمان و نظریه M در واقع با هم یکی هستند، ولی نظریه M چارچوب پیچیده‌تر و رمزآمیزتری دارد که نظریه‌های مختلف ریسمان را در خود جای می‌دهد.

حتی از زمان یونانیان باستان، فیلسوفان بر این باور بودند که مواد در سطوح نهایی خود از اجزای کوچکی به نام اتم ساخته شده‌اند. امروزه به مدد اتم‌شکن‌های قدرتمند و شتاب‌دهنده‌های ذره، می‌توان اتم را به اجزاء آن الکترون‌ها و ذرات هسته‌ای، شکست؛ که به نوبه خود می‌توانند به اجزاء زیراتمی حتی کوچک‌تر نیز شکسته شوند. ولی به‌جای یافتن یک چارچوب ساده و شکیل، مشاهده پدیدار شدن صدها ذره زیراتمی در شتاب‌دهنده‌ها باعث نگرانی شد: نوترینوها، کوارک‌ها، مزون‌ها، لپتون‌ها، هادرون‌ها،

گلوئون‌ها، بوزون‌های W و غیره. باور این مسئله سخت است که طبیعت در ابتدایی‌ترین سطح خود جنگل انبوهی از اجزاء زیراتمی عجیب و غریب به‌وجود آورد.

نظریه ریسمان و نظریه M، هردو براساس این ایده زیبا و ساده بنا شده‌اند که تنوع گیج کننده اجزاء زیر اتمی که جهان را تشکیل می‌دهند، شبیه حالتی است که کسی با نواختن بر روی سیم‌های ویولون یا پوسته طبل، اصوات متفاوتی تولید کند. (البته باید توجه داشت که این‌ها ریسمان‌ها و پوسته‌های معمولی نیستند و در اَبَرفضای ده یا یازده بعدی واقع شده‌اند.)

فیزیکدانان عموماً الکترون‌ها را، که کوچک و غیرقابل تجزیه هستند، به‌عنوان جزء اصلی ماده معرفی کرده‌اند. بدین ترتیب، فیزیکدانان مجبور شده‌اند برای هرکدام از صدها جزء زیر اتمی، اجزاء اصلی دیگری را معرفی کنند، که این‌کار بسیار گیج کننده و پیچیده است. ولی براساس نظریه ریسمان، اگر یک اَبَرمیکروسکوپ می‌داشتیم که می‌توانستیم به کمک آن درون یک الکترون را مشاهده کنیم، می‌دیدیم که الکترون یک شیء نقطه‌ای نیست، بلکه یک ریسمان مرتعش کوچک است و تنها به‌دلیل عدم توانایی تجهیزات ما به صورت نقطه‌ای دیده می‌شود.

این ریسمان کوچک، می‌تواند با بسامد یا فرکانس‌های مختلفی ارتعاش کند. اگر میزان کشش این رشته مرتعش را تغییر دهیم، فوراً بسامد ارتعاش آن تغییر می‌کند و به ذره زیراتمی دیگری، مثلاً کوارک، تبدیل می‌شود. با تغییر مجدد میزان کشش، این ریسمان به یک نوترینو تبدیل می‌شود. با این روش ما می‌توانیم این مجموعه ذرات زیراتمی را اینگونه تعریف کنیم: که آن‌ها چیزی نیستند جز نت‌های موسیقی مختلف که توسط یک ریسمان مرتعش ایجاد می‌شوند. ما هم‌اکنون می‌توانیم صدها ذره زیراتمی را که در آزمایشگاه مشاهده شده‌اند با یک جزء منفرد، به نام ریسمان جایگزین کنیم.

در این ادبیات جدید، قوانین فیزیکی که پس از هزاران سال تجربه شکل گرفته‌اند، چیزی نیستند جز قوانین هارمونی که می‌توان برای ریسمان‌ها و پوسته‌ها نوشت. قوانین شیمی، ملودی‌هایی هستند که می‌توان با این

معادل موسیقیایی	همتای آن در نظریه ریسمان‌ها
نت نویسی	ریاضیات
سیم‌های ویولون	اَبَرریسمان‌ها
نت‌ها	ذرات زیراتمی
قوانین هارمونی	فیزیک
ملودی‌ها	شیمی
جهان	سمفونی ریسمان‌ها (سازهای زهی)
افکار خدا (آنچه در ذهن خدا می‌گذرد)	موسیقی طنین‌انداز در اَبَرفضا
آهنگ ساز	؟

ریسمان‌ها نواخت. بنابراین، جهان سمفونی این ریسمان‌ها است. و ذهن خدا، همان چیزی که اینشتین به روشنی درمورد آن نوشته بود، نوعی موسیقی کیهانی است که در سراسر فَرافضا[1] طنین می‌اندازد. (سوآل دیگری که در این مرحله به ذهن می‌رسد این است که: اگر جهان سمفونی ریسمان‌هاست، آیا آهنگ سازی هم دارد؟ در فصل ۱۲ به این سوآل خواهیم پرداخت.)

پایان جهان

ماهواره WMAP نه تنها دقیق‌ترین نگاه اجمالی را در مورد سال‌های ابتدایی جهان، برای ما فراهم می‌آورد، بلکه تصویر دقیقی از چگونگی مرگ جهان را نیز ارائه می‌کند. همانگونه که نیروی مرموز ضدگرانش، در ابتدای زمان کهکشان‌ها را از هم دور ساخت، همین نیرو جهان را به سمت سرنوشت نهایی خود سوق می‌دهد. درگذشته ستاره‌شناسان تصور می‌کردند که انبساط جهان به‌تدریج رو به کاهش می‌گذارد. ولی هم‌اکنون ما می‌دانیم که در حقیقت انبساط جهان در حال شتاب گرفتن است و کهکشان‌ها با سرعت فزاینده‌ای در حال دور شدن از ما هستند. همان انرژی تاریکی که ۷۳ درصد مجموع مواد و انرژی موجود در جهان را تشکیل می‌دهد، با راندن کهکشان‌ها از هم، انبساط جهان را سرعت می‌بخشد. آدام ریس، از انستیتوی تلسکوپ جهانی می‌گوید:

1. Hyper space

«جهان مانند راننده‌ای رفتار می‌کند که با نزدیک شدن به چراغ قرمز سرعت را کم کرده و سپس با سبز شدن چراغ، پدال گاز را می‌فشارد.»

در طول ۱۵۰ میلیارد سال آینده، درصورتی که عاملی باعث معکوس شدن روند انبساط نگردد، کهکشان راه شیری تقریباً به کهکشانی تنها تبدیل می‌شود؛ در شرایطی که ۹۹/۹۹۹۹ درصد از تمام کهکشان‌های اطراف از مرز قابل رؤیت ما فراتر رفته‌اند. کهکشان‌های آشنای آسمان شب، آنچنان با سرعت از ما دور می‌شوند که نور آن‌ها هرگز به ما نخواهد رسید. خود کهکشان‌ها از بین نمی‌روند، ولی آنقدر از ما دور خواهند شد که رصد آن‌ها از طریق تلسکوپ دیگر امکان‌پذیر نخواهد بود. با اینکه جهان قابل رویت ما تقریباً شامل ۱۰۰ میلیارد کهکشان است، در ۱۵۰ میلیارد سال آینده، تنها چندین هزار کهکشان در اَبَرخوشه محلی کهکشان‌ها، قابل رویت خواهند بود. حتی با فراتر رفتن در زمان، تنها گروه محلی ما، شامل تقریباً ۳۶ کهکشان، تمام جهان قابل رویت را تشکیل خواهند داد. میلیاردها کهکشان از افق دید ما خواهند گریخت. (به این دلیل که گرانش داخل گروه محلی، برای غلبه بر انبساط جهان کافی است. وقتی که کهکشان‌های دوردست از نظر غایب می‌شوند، ستاره‌شناسانی که در آن عصر زندگی خواهند کرد، ممکن است اصلاً قادر به شناسایی هیچ انبساطی نباشند؛ زیرا که گروه محلی کهکشان‌ها، خود به‌طور داخلی انبساط نمی‌یابد. در آینده دور، وقتی ستاره‌شناسان آسمان شب را برای اولین‌بار مورد بررسی قرار دهند، ممکن است نفهمند که انبساطی وجود دارد و نتیجه بگیرند که جهان ایستا است و تنها از ۳۶ کهکشان تشکیل شده است.)

اگر این نیروی ضدگرانش ادامه داشته باشد، جهان عاقبت در یک انجماد بزرگ به پایان خواهد رسید. با نزدیک شدن دمای فضا به صفر مطلق، دمایی که مولکول‌ها در آن خود به سختی حرکت می‌کنند، تمام حیات هوشمند موجود در جهان در نهایت، در یک مرگ دردناک منجمد خواهد شد. میلیاردها میلیارد سال دیگر، ستارگان از درخشش خواهند ایستاد، شعله‌های اتمی آن‌ها با به اتمام رسیدن سوخت‌شان فروکش خواهد کرد و آسمان برای

همیشه تاریک خواهد شد. در اثر انبساط کیهانی، جهان مرده سردی از ستاره‌های کوتوله سیاه، ستاره‌های نوترونی، و سیاهچاله‌ها باقی خواهد ماند. و حتی با گذشت زمان، سیاهچاله‌ها نیز انرژی خود را از دست خواهند داد و غبار سرد بی‌جانی از ذرات بنیادین سرگردان باقی خواهند ماند. در چنان جهان سیاه و سردی، حیات هوشمند، با هر تعریف قابل تصوری، از نظر فیزیکی غیرممکن خواهد بود. قوانین پولادین ترمودینامیک انتقال هرگونه اطلاعات در چنین محیط منجمدی را غیرممکن می‌دانند و حیات لزوماً متوقف خواهد شد.

این ایده که جهان سرانجام در انجماد، به عمر خود پایان خواهد داد، اولین‌بار در قرن هجدهم مطرح شد. چارلز داروین، در تفسیر این مفهوم که قوانین فیزیکی ظاهراً تمام زندگی هوشمند را نابود خواهند کرد، نوشته است: «با پذیرش آنچه من به آن معتقدم، که انسان در آینده دور موجود بسیار کاملتری از آنچه امروز هست خواهد بود، این فکر غیرقابل تحملی است که بپذیریم انسان و دیگر موجودات با ادراک، پس از دوره‌ای بلند مدت از پیشرفت تدریجی، محکوم به نابودی کامل باشند.» متأسفانه آخرین داده‌های به‌دست آمده از ماهواره WMAP، ظاهراً تحقق کابوس داروین را تائید می‌کنند.

گریز به اَبَرفضا

اینکه سرنوشت حیات هوشمند در جهان، ضرورتاً مرگ است، قانونی فیزیکی است. ولی مطابق قانون تکامل، وقتی محیط تغییر کند، حیات، یا آن را ترک می‌کند، یا خود را تطبیق می‌دهد یا از بین می‌رود. از آنجایی‌که تطبیق با جهانی که در حال انجماد تا حد مرگ است، غیرممکن به‌نظر می‌رسد، تنها گزینه‌های باقی مانده مردن یا ترک این جهان است. با روبرو شدن با مرگ نهایی جهان، آیا این امکان وجود دارد که تمدن‌های تریلیون‌ها سال بعد از ما، پیش از رویارویی با مرگ نهایی، فناوری مورد نیاز را به خدمت گرفته و جهان را با یک «قایق نجات» ترک کرده و به جهان دیگری تغییر مکان دهند؛ جهانی

جوان‌تر و گرم تر؟ یا اینکه از فن‌آوری برتر خود برای ساختن یک «حلقه زمانی» استفاده کرده و به گذشته خود، زمانی که دمای جهان بیشتر بود، سفر کنند؟

برخی فیزیکدانان با استفاده از آخرین دستاوردهای فیزیک پیشرفته، روش‌هایی کاملاً نظری ولی محتمل را مطرح کرده‌اند که واقع گرایانه‌ترین نگرش به دروازه‌های ورود به ابعاد بالاتر به دیگر جهان‌ها را فراهم می‌کنند. امروزه تخته سیاه‌های آزمایشگاه‌های فیزیک در سراسر جهان، مملو هستند از معادلات ریاضی فیزیکدانان؛ در پی یافتن این حقیقت که آیا کسی موفق خواهد شد با استفاده از انواع عجیب انرژی و سیاهچاله‌ها[1]، گذرگاهی به دیگر جهان‌ها باز کند؟ آیا ممکن است تمدنی پیشرفته بتواند میلیون‌ها میلیارد سال بعد، برای ورود به جهان‌های دیگر، از قوانین شناخته شده فیزیکی بهره بگیرد؟

استیون هوکینگ، ستاره‌شناس دانشگاه کمبریج، یکبار به طعنه گفته است: «کرمچاله‌ها، درصورتیکه وجود داشته باشند، برای سفرهای فضایی سریع مناسب خواهند بود. شما می‌توانید از درون یک کرمچاله به گوشه دیگر کهکشان بروید و بموقع برای ناهار بازگردید.»

و اگر کرمچاله‌ها و گذرگاه‌های ورود به ابعاد دیگر، کوچک‌تر از آن باشند که امکان مهاجرت از این جهان را فراهم آورند، آنگاه انتخاب دیگری وجود خواهد داشت: کاستن حجم کلی اطلاعات یک تمدن هوشمند پیشرفته به سطح مولکولی و تزریق آن از درون گذرگاه؛ جایی‌که سیستم در طرف دیگر بتواند مجدداً خود را بازسازی کند. به‌این‌ترتیب ممکن است یک تمدن کامل، بذر خود را از درون یک بُعدگذر ارسال نموده و مجدداً در طرف دیگر، با تمام شکوه و جلال، خود را برپا کند. اَبَرفضا، به‌جای اینکه تنها بازیچه‌ای برای فیزیکدانان نظری باشد، این قابلیت را هم دارد که بتواند راه نجات حیات هوشمند در جهانی رو به مرگ باشد.

برای درک کامل مفهوم این واقعه، ما ابتدا باید بفهمیم چگونه

---

1. Black hole

ستاره‌شناسان و فیزیکدانان با زحمت زیاد به این نتایج حیرت‌انگیز رسیده‌اند. کتاب جهان‌های موازی، با تمرکز بر روی پارادوکس‌هایی که قرن‌ها به موضوعاتی از این دست پرداخته‌اند و نقطه اوج آن در نظریه تورم تبلور می‌یابد، به مرور تاریخ کیهان‌شناسی پرداخته است. نظریه تورم با تمام داده‌های تجربی سازگار است و ما را به سمت پذیرش مفهوم جهان‌های چندگانه نیز سوق می‌دهد.

فصل ۲ جهان مرموز

اگر من در زمان خلقت حضور داشتم، حتماً تذکرات مفیدی را برای چیدمان بهتر جهان می‌دادم.

ـ آلفونسِ عاقل

لعنت بر منظومه شمسی. نور نامناسب، سیاره‌های دور از هم، دنباله‌دارهای مزاحم، تمهیدات ضعیف؛ خودم جهان بهتری می‌توانستم بسازم.

ـ لرد جفری

در نمایشنامه «آن‌طور که تو دوست داری»، شکسپیر این کلمات ماندگار را نوشت:

جهان بسان یک صحنه نمایش است،
و تمام زنان و مردان بازیگرانی بیش نیستند.
به صحنه می‌آیند و می‌روند.

در زمان قرون وسطی، جهان واقعاً شبیه به یک صحنه نمایش به‌نظر می‌آمد، ولی صحنه نمایش کوچک و ایستا شامل زمین کوچک مسطحی که در اطراف آن اجرام آسمانی و الهی به‌طور شگفت‌آور و مرموزی در مدارهای مشخص سماوی خود در حرکت بودند. دنباله‌دارها نشانه‌هایی بودند که مرگ پادشاهان را پیش‌گویی می‌کردند. زمانی که دنباله‌دار بزرگ سال ۱۰۶۶ برفراز انگلستان دیده شد، باعث ترس و وحشت سربازان انگلوساکسون در سپاه

پادشاه هارولد گردید. پادشاهی که در مقابل نیروهای مهاجم و سرافراز ویلیام فاتح به سرعت مغلوب شد و به‌این‌ترتیب ویلیام، پایه‌های ایجاد انگلستان جدید را بنا کرد.

دنباله‌دار مشابهی، در سال ۱۶۸۲ برفراز انگلستان دیده شد و دوباره در سراسر اروپا ترس و وحشت پراکند. به‌نظر می‌آمد همه مردم، از دهقان تا پادشاه، با مشاهده این میهمان ناخوانده آسمانی مسخ شده بودند. این دنباله‌دار از کجا می‌آمد؟ به کجا می‌رفت؟ و چه پیامی با خود داشت؟

ستاره‌شناس آماتور و ثروتمندی به نام ادموند هالی، چنان شیفته این دنباله‌دار شد که با مشاهده آن به کاوش در نظریات یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان زمان، ایزاک نیوتون پرداخت. زمانی که از نیوتون پرسید که چه نیرویی می‌تواند مسیر حرکت دنباله‌دار را کنترل کند، نیوتون با خونسردی پاسخ داد که دنباله‌دار بر طبق قانون عکس مجذور فاصله (که بیان می‌کند نیروی وارده بر دنباله‌دار با مجذور فاصله آن از خورشید کاهش می‌یابد) در یک مسیر بیضی حرکت می‌کند. در واقع نیوتون بیان کرد که پس از بررسی دنباله‌دار با تلسکوپ اختراعی خودش (همان تلسکوپ انعکاسی که امروزه به‌وسیله ستاره‌شناسان در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد)، دریافته است که مسیر آن از قانون گرانشی که خودش بیست سال پیش‌تر ارائه کرده بود، تبعیت می‌کند.

هالی متحیر شد. باور کردنی نبود. او اعتراض خود را اینگونه بیان کرد: «چگونه این موضوع را می‌دانی؟» نیوتون پاسخ داد: «خودم آن را محاسبه کرده‌ام.» هالی انتظار نداشت حتی در خواب بشنود که راز اجرام آسمانی، آنچه انسان‌ها را از زمان اولین نگاه‌ها به آسمان گیج کرده بود، به‌وسیله یک قانون جدید با نام گرانش قابل توضیح باشد.

هالی، متحیر از شکوه این کشف تاریخی، سخاوتمندانه پیشنهاد کرد که هزینه‌های انتشار این نظریه جدید را شخصاً بپردازد. در سال ۱۶۸۷، با تشویق و سرمایه گذاری‌هالی، نیوتون اثر حماسی خود را با نام اصول ریاضی فلسفه طبیعی (پرینکیپیا) منتشر کرد. این کتاب، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آثار

منتشر شده تاکنون بشمار می‌رود. تنها با یک گام، دانشمندانی که پیش از این از قوانین اجرام بزرگ منظومه شمسی بی‌اطلاع بودند، ناگهان قادر شدند حرکت اجرام آسمانی را به دقت پیش‌بینی کنند.

تاثیر این کتاب در محافل و مجامع اروپایی چنان عمیق بود که شاعری به نام الکساندر پوپ، نوشت:

قانون طبیعت با خودش پنهان بود در شب،
خداوند گفت بگذار نیوتون باشد! و آنگاه همه جا نور بود.

(هالی دریافت که اگر مدار حرکت دنباله‌دار بیضی باشد، پس باید بتوان حساب کرد کی دوباره از فراز لندن خواهد گذشت. با جستجو در سوابق پیشین، دریافت که دنباله‌دارهای سال‌های ۱۵۳۱، ۱۶۰۷ و ۱۶۸۲ در واقع، همین دنباله‌دار بوده‌اند. بنابراین، مردم دنباله‌داری را که در سال ۱۰۶۶ در ایجاد انگلستان مدرن نقش محوری ایفا کرده بود، در طول تاریخ مکتوب، شامل دوره جولیوس سزار نیز دیده بودند. هالی پیش‌بینی کرد که همین دنباله‌دار در سال ۱۷۵۸ مجدداً باز خواهد گشت؛ سال‌ها پس از اینکه نیوتون و هالی از این دنیا رفته باشند. زمانی که این دنباله‌دار مطابق پیش‌بینی، در روز کریسمس سال ۱۷۵۸ بازگشت، آن را دنباله‌دار هالی نام نهادند.)

نیوتون، قانون جهانی گرانش را بیست سال پیش‌تر کشف کرده بود؛ زمانی که شیوع طاعون (مرگ سیاه) منجر به تعطیلی دانشگاه کمبریج گشته و او مجبور شد به گوشه‌ای در ملک روستایی خود، در وولستورپ، پناه ببرد. وی مشتاقانه به یاد می‌آورد هنگام قدم زدن در باغ شاهد افتادن سیبی از درخت بوده است. سپس سوآلی از خود می‌پرسد، که در نهایت مسیر تاریخ انسان را تغییر داد: اگر یک سیب بیفتد، آیا ماه هم می‌افتد؟ در درخششی از نبوغ، نیوتون دریافت که سیب‌ها، ماه و سیاره‌ها همه از قانون گرانش مشابهی تبعیت می‌کنند؛ یعنی تمام آن‌ها بر طبق قانون عکس مجذور فاصله سقوط می‌کنند. زمانی که نیوتون فهمید که ریاضیات قرن هفدهم برای حل این قانون بسیار ابتدایی است، شاخه جدیدی از ریاضیات را با نام حساب دیفرانسیل اختراع

کرد، تا بتواند حرکت سیب‌ها و اقمار در حال سقوط را تعیین کند.

در کتاب پرینکیپیا، نیوتون قوانین مکانیک را نیز نگاشت؛ قوانین مربوط به حرکت که خط سیر تمام اجرام آسمانی و زمینی را تعیین می‌کنند. این قوانین، اساس طراحی ماشین‌ها، استفاده از ماشین‌های بخار و اختراع لکوموتیوها را تشکیل دادند، که به نوبه خود راه را برای وقوع انقلاب صنعتی و تمدن مدرن هموار ساختند. امروزه، هر آسمان خراش بلند، هر پل و هر موشکی که می‌بینیم، با استفاده از قانون حرکت نیوتون ساخته شده است.

نیوتون نه تنها قوانین جاودانه حرکت را بیان کرد، بلکه با ارائه تصویری جدید از جهانی که در آن قوانین مرموز حاکم بر اجرام آسمانی همان قوانین حاکم بر زمین بودند، جهان‌بینی ما را تغییر داد. به‌این ترتیب، مقدرات وحشت‌زای آسمانی دیگر صحنه نمایش زندگی را احاطه نمی‌کردند، بلکه همان قوانینی که بر بازیگران حاکم بودند، در مورد کل مجموعه نمایش نیز صدق می‌کردند.

پارادوکس بِنتلی

کتاب پرینکیپیا، چنان اثر بلندپروازانه‌ای بود که منجر به مطرح شدن اولین پارادوکس‌های مهم در مورد ساختار جهان گردید. اگر جهان یک صحنه نمایش باشد، چقدر بزرگ است؟ کران‌دار است یا بی‌کران؟ این سوآل قدیمی، حتی فیلسوف رومی، لوکرتیوس را نیز به خود مشغول کرده بود. او اینگونه نوشت: «جهان در هیچ راستایی محدود نیست». «اگر اینطور بود لزوماً در یک جایی مرزی وجود داشت. ولی واضح است که یک چیز نمی‌تواند مرزی داشته باشد، مگر آنکه چیز دیگری از بیرون آن را محدود کرده باشد... در تمام جهات همین‌گونه است؛ چپ یا راست، بالا یا پایین، در سرتاسر جهان انتهایی وجود ندارد.»

نظریه نیوتون در اصل، پارادوکس‌های ذاتی هر نوع نظریه مربوط به جهان کران‌دار یا بی‌کران را آشکار کرد. ساده‌ترین سوآل‌ها، به باتلاقی از تناقضات منتهی می‌شد. نیوتون، حتی زمانی که در شهرت ناشی از انتشار این کتاب

غـوطه‌ور بـود، دریـافت کـه نـظریه او در مـورد گـرانش، بـه‌ناچار دچـار پارادوکس‌های متعددی است. در سال ۱۶۹۲، کشیشی با نام ریچارد بِنتلی، نامه‌ای ملایمت‌آمیز و در عین حال نگران کـننده بـه نـیوتون نـوشت. بِـنتلی نوشت، از آنجایی‌که گرانش همواره نیرویی جذب‌کننده بوده و نه دفع کننده، پس هـر مـجموعه‌ای از سـتارگان بـه‌طور طـبیعی سـرانـجام بـه‌درون خـود فروخواهد ریخت. اگر جهان متناهی می‌بود، آنگاه آسمان شب به‌جای آنکه جاودان و ایستا باشد، باید به منظره‌ای حیرت‌انگیز تبدیل می‌شد کـه در آن ستارگان به‌درون هم فـروریخته و بـه صـورت یک اَبَـرستاره آتشـین در هـم بیامیزند. بِنتلی همچنین اشاره کرد که اگر جهان نامتناهی باشد، آنگاه نیروی وارد برهر شیء که آن را به راست و چپ می‌کشد، نیز بی‌نهایت خواهد بود و بنابراین ستارگان باید طی توفان‌های آتشینی به گرد و غبار تبدیل شوند.

در ابتدا اینطور به‌نظر می‌رسید که بِنتلی، نیوتون را در صفحه شطرنج مات کرده است. چه جهان متناهی باشد (که در این‌صورت باید در خود فرو بپاشد و به توپ آتشینی تبدیل شود) و چه نامتناهی (که در این‌صورت تمام ستارگان از هم می‌پاشند)، هر کدام از این حالات برای نظریه جوانی که نیوتون ارائه کـرده بـود مـبین یک فـاجعه بـود. بـه‌ایـن‌ترتیب، بـرای اولیـن‌بار در تـاریخ، پارادوکس‌های دقیقی مطرح شدند که با اعمال هر نوع نظریه گرانش به کـل جهان ظاهر می‌شدند.

نیوتون، پس از تفکری محتاطانه و دقیق، در پاسخ نامه‌ی بِنتلی چنین بیان کرد که راه حلی برای این ادعا یافته است. او دنیای نامتناهی را ترجیح می‌داد، ولی جهانی که کاملاً یکسان و یکنواخت باشد. بنابراین اگر ستاره‌ای از طریق تعداد نامحدودی ستاره به راست کشیده شود، این نیرو کاملاً به‌وسیله یک کشش برابر از طرف مجموعه نامتناهی دیگری از ستارگان در طـرف چپ، خنثی می‌شود. تمام نیروها در هر جهتی خنثی شده و در نتیجه جهانی ایستا را می‌سازند. بنابراین اگر بپذیریم که نیروی گرانش همواره یک نیروی جـذب کننده باشد، تنها راه حل برای توضیح پارادوکس بِنتلی این است که جـهانی نامتناهی و یکنواخت داشته باشیم.

نیوتون در واقع توانسته بود راه حلی برای ادعای بِنتلی بیابد. ولی در عین حال نیوتون آنقدر باهوش بود که ضعف پاسخ خود را درک کند. در نامه‌ای اقرار کرد که راه حل او اگرچه از نظر فنی صحیح است، ولی ذاتاً ناپایدار و متزلزل است. جهان یکنواخت و در عین حال نامتناهی نیوتون به خانه‌ای شبیه بود که از کارتهای بازی ساخته شده باشد، در ظاهر پایدار ولی با کوچک‌ترین اختلالی محکوم به فروپاشی است. می‌توان محاسبه کرد که اگر تنها یک ستاره به‌مقدار ناچیزی تلنگری بخورد، منجر به واکنشی زنجیره‌ای خواهد شد و خوشه‌های ستاره‌ای درجا شروع به فروپاشی خواهند کرد. توجیه ضعیف نیوتون نیازمند قدرتی الهی بود تا خانه ناپایدار او را از فروپاشی حفظ کند. او نوشت: «معجزه‌ای مداوم نیاز است تا از هجوم خورشید و ستارگان ثابت به سمت یکدیگر به‌واسطه گرانش، جلوگیری کند.»

از نظر نیوتون، جهان بمنزله یک ساعت غول‌پیکر بود که در ابتدای زمان به‌وسیله خدا کوک شده و از آن به بعد بر اساس سه قانون حرکت نیوتون، بدون دخالت الهی، کار کرده است. ولی در همین زمان، حتی خود خدا باید کمی در جهان دخالت کند تا از فروپاشی آن جلوگیری نماید. (به بیان دیگر، خداوند هر از گاهی باید با دخالت خود، از فروریختن صحنه نمایش زندگی روی سر بازیگران جلوگیری کند.)

پارادوکس اولبِرس

در مورد هر جهان نامتناهی، علاوه بر پارادوکس بِنتلی، پارادوکس مهمتری نیز وجود دارد. پارادوکس اولبِرس این سوآل را مطرح می‌کند که چرا آسمان شب سیاه است. ستاره‌شناسان قدیمی، از جمله یوهان کپلر، دریافتند که اگر جهان یکنواخت و نامتناهی باشد، آنگاه به هر طرف که نگاه کنید، نور ناشی از بی‌نهایت ستاره به چشم شما می‌رسد. با خیره شدن به هر نقطه در آسمان شب، خط دید ما حتماً با تعداد غیرقابل شمارشی ستاره تقاطع پیدا کرده و بنابراین مقدار نامحدودی نور ستاره دریافت می‌کند. بنابراین آسمان شب باید مملو از نور باشد! این حقیقت که آسمان شب سیاه است و نه سفید،

پارادوکس کیهانی پیچیده و مهمی را ایجاد می‌کند.

پارادوکس اولبِرس ظاهراً ساده است؛ با این‌حال همانند پارادوکس بِنتلی، نسل‌های متعددی از فیلسوفان و ستاره‌شناسان را درگیر خود کرده است. هر دو پارادوکس بر اساس این مشاهده استوار شده‌اند که در جهانی نامتناهی، نیروهای گرانشی و پرتوهای نوری می‌توانند هم افزایی کنند، تا حدی که به نتایج نامحدود و بی‌معنی منجر شوند. در طول قرن‌ها، پاسخ‌های نادرست بی‌شماری ارائه شدند. کپلر پس از تلاش‌های زیاد نتیجه گرفت که چاره‌ای نیست جز اینکه جهان متناهی بوده و درون پوسته‌ای محدود شده باشد. به‌این‌ترتیب، تنها مقدار محدودی از نور ستارگان می‌توانست به چشم ما برسد.

تلاش‌ها برای حل این پارادوکس چنان گیج کننده بود که طبق مطالعه‌ای در سال ۱۹۸۷، هفتاد درصد کتب درسی رشته ستاره‌شناسی، پاسخ نادرستی به آن داده‌اند.

می‌توان تصور کرد، نور ستارگان در بین راه، به‌وسیله ابرهایی از غبار، جذب می‌شوند. این، راه حلی بود که خود هاینریش ویلهلم اولبِرس، در سال ۱۸۲۳ در زمان طرح پارادوکس، بیان کرد. اولبِرس اینگونه نوشت: «جای خوشبختی است که زمین نور ستارگان را از تمام نقاط گنبد آسمان دریافت نمی‌کند! گرچه حتی در آن صورت، با چنان گرما و نور غیرقابل تصوری، یعنی ۹۰,۰۰۰ بار بیشتر از آنچه ما هم‌اکنون تجربه می‌کنیم، قادر متعال به‌راحتی می‌توانست ارگانیسم‌هایی را طراحی کند که قادر باشند با چنان شرایط سختی سازگار شوند. برای اینکه کره زمین «درمقابل پس‌زمینه‌ای به درخشندگی خورشید» به حمام داغی تبدیل نشود، اولبِرس پیشنهاد کرد که احتمالاً باید ابرهایی از غبار این گرمای شدید را جذب کنند تا حیات را بر روی کره زمین ممکن سازند. به‌عنوان مثال، مرکز آتشین کهکشان راه شیری خود ما، که باید کاملاً بر آسمان شب حکمفرما باشد، در حقیقت در پس ابرهایی از غبار پنهان است. با نگاهی به صورت فلکی قوس، جایی‌که مرکز کهکشان راه شیری قرار دارد، نه تنها توپ آتشینی نمی‌بینیم، بلکه در میان

روشنایی خفیف مرکز کهکشان، شاهد وجود بخش‌های کاملاً تاریکی هستیم.

ولی ابرهای غبار نمی‌توانند به‌درستی پارادوکس اولبِرس را توضیح دهند. در طول مدت زمانی نامتناهی، این ابرهای غبار، نور تعداد نامحدودی ستاره را جذب کرده و در نهایت همانند سطح یک ستاره خواهند درخشید. بنابراین حتی ابرهای غبار نیز باید در آسمان شب بدرخشند.

همچنین، می‌توان ادعا کرد که هرچه ستاره‌ای دورتر باشد، کم نورتر است. این درست است، ولی نمی‌تواند پاسخ صحیح باشد. اگر به بخشی از آسمان شب بنگریم، ستارگان بسیار دور، واقعاً کم نور دیده می‌شوند، ولی هرچه دقیق‌تر و عمیق‌تر به آسمان نگاه کنیم باز هم ستارگان بیشتری خواهیم دید. اگر شدت نور ستارگان با مجذور فاصله کاهش می‌یابد، در عوض تعداد ستارگان با مجذور فاصله افزایش پیدا می‌کند. در یک جهان یکنواخت، این دو اثر دقیقاً یکدیگر را خنثی می‌کنند و آسمان شب باید هم‌چنان روشن دیده شود.

باعث شگفتی است که نویسنده آمریکایی داستان‌های معمایی، ادگار آلن‌پو، نخستین کسی بود که این پارادوکس را حل کرد. او که علاقه وافری به ستاره‌شناسی داشت قبل از مرگ، بسیاری از مشاهداتش را در شعر فیلسوفانه خود با نام اورکا: نثر موزون منتشر کرد. در فرازی از آن می‌نویسد:

ستارگان بی‌پایان، یعنی فروغ یکنواخت زمینه آسمان، مانند روشنی کهکشان: نیست نقطه‌ای که نباشد ستاره‌ای در آن. پس چرا در آسمان، می‌بینیم فضای تهی در جهات فراوان، دهد این پاسخ را ژرفای جهان، نرسیده است هنوز نوری به ما از آن.

او خاطرنشان کرد که: «زیبایی فوق‌العاده این ایده، نه به سبب درستی، که به‌دلیل ضرورت وجودی آن است.»

این، کلید پاسخ صحیح است. عمر عالم نامحدود نیست. جهان آغازی (پیدایشی) دارد. برای نوری که به چشم ما می‌رسد، مرزی وجود دارد. نور دورترین ستارگان، هنوز وقت کافی برای رسیدن به چشمان ما نیافته است.

کیهان‌شناسی با نام ادوارد هریسون، کسی که برای اولین‌بار دریافت که آلن‌پو پارادوکس اولبِرس را حل کرده است، می‌نویسد: «زمانی که من برای اولین‌بار شعر پو را خواندم، متحیر شدم. چگونه یک شاعر که در بهترین حالت می‌تواند یک دانشمند آماتور باشد، توانسته بود ۱۴۰ سال پیش، به توضیح صحیح این پارادوکس دست یابد، درست زمانی که در دانشگاه‌های ما، توضیحات نادرست... هنوز تدریس می‌شود.»

در سال ۱۹۰۱، فیزیکدان اسکاتلندی لُرد کلوین، نیز موفق به یافتن پاسخ صحیح گردید. او دریافت زمانی که شما به آسمان شب می‌نگرید، شاهد چیزی هستید که در گذشته اتفاق افتاده است، و نه آنچه هم‌اکنون هست. زیرا سرعت نور، اگرچه در مقیاس زمینی بسیار زیاد است (۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه)، اما به‌هرحال محدود است و برای رسیدن نور از ستارگان دوردست به زمین، زمان لازم است. کلوین محاسبه کرد، برای اینکه آسمان شب درخشان باشد، جهان باید صدها تریلیون سال نوری گستردگی داشته باشد. ولی از آنجا که جهان تریلیون‌ها سال عمر ندارد، بنابراین آسمان ضرورتاً سیاه خواهد بود. (دلیل دیگری نیز برای سیاه بودن آسمان شب وجود دارد و آن مدت عمر محدود ستارگان است که در مقیاس چند میلیارد سال است.)

امروزه با استفاده از ماهواره‌هایی مثل تلسکوپ فضایی هابل، تعیین صحت پاسخ پو، از طریق تجربی امکان‌پذیر شده است. این تلسکوپ‌های قدرتمند به ما امکان می‌دهند به سوآلاتی پاسخ دهیم که حتی گاهی کودکان نیز می‌پرسند: دورترین ستاره‌ها کجا هستند؟ و چه چیزی فراتر از دورترین ستاره قرار دارد؟ برای پاسخ دادن به این سوآلات، ستاره‌شناسان تلسکوپ فضایی هابل را به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی کرده‌اند، تا وظیفه‌ای تاریخی را به انجام رساند: تهیه عکسی از دورترین نقاط جهان. این تلسکوپ، برای جمع‌آوری تابش فوق‌العاده ضعیف از دورترین گوشه جهان، باید عملیاتی بی‌سابقه انجام می‌داد: نشانه‌گیری دقیق یک نقطه در صورت فلکی جبار، به مدت مجموعاً صدها ساعت، که لازمه آن حفظ تنظیم تلسکوپ در طول چهارصد بار گردش به دور زمین بود. این پروژه به قدری پیچیده بود که انجام آن چهار ماه

به طول انجامید.

در سال ۲۰۰۴، انتشار عکس حیرت‌آوری که هابل تهیه کرده بود، سرخط اخبار روز دنیا را به خود اختصاص داد. این عکس، مجموعه‌ای از ده هزار کهکشان نوزاد را نشان می‌دهد که هنگام فروکش کردن آشفتگی پس از انفجار بزرگ، شکل گرفته‌اند. آنتون کوکمور از انستیتوی علمی تلسکوپ فضایی، اظهار کرد: «ما احتمالاً پایان آغاز را دیده‌ایم.» این عکس توده درهمی از کهکشان‌های نوزاد را نشان می‌دهد که بیش از ۱۳ میلیارد سال نوری از زمین فاصله دارند، یعنی ۱۳ میلیارد سال طول کشیده تا نورشان به زمین برسد. از آنجایی‌که عمر جهان تنها ۱۳/۷ میلیارد سال است، این بدان معناست که آن‌ها تنها در حدود نیم میلیارد سال پس از خلقت شکل گرفته‌اند؛ زمانی که اولین ستاره‌ها و کهکشان‌ها با شروع تراکم در مخلوطی از گازهای باقی مانده از انفجار بزرگ ایجاد شدند. ماسیمو اِستیواوِلّی، ستاره‌شناس انستیتوی تلسکوپ فضایی گفته است: «هابل ما را به نزدیکی خود انفجار بزرگ برده است.»

حال سوآلی مطرح می‌شود: چه چیزی در ورای دورترین کهکشان‌ها وجود دارد؟ با دقت در این عکس جالب توجه، آن چیزی که به وضوح دیده می‌شود این است که بین این کهکشان‌ها را تنها تاریکی پر کرده است. این سیاهی، همان چیزی است که باعث می‌شود آسمان شب سیاه به‌نظر برسد. به عبارت دیگر، همان نقطه نهایی، برای‌رسیدن نور ستارگان دوردست به ماست. به‌هرحال این سیاهی به نوبه خود، در حقیقت تابش ریزموج زمینه است. بنابراین پاسخ نهایی به این سوآل که چرا آسمان شب سیاه است، این است که آسمان شب در واقع اصلاً سیاه نیست. (اگر چشمان ما به‌گونه‌ای می‌توانست تابش ریزموج زمینه را مشاهده کند و نه فقط نور مرئی را، ما تابش ناشی از خود انفجار بزرگ را که تمام آسمان شب را پر کرده است، می‌دیدیم. تابش ناشی از انفجار بزرگ، هر شب در آسمان، بالای سر ما قرار دارد. اگر ما چشمانی داشتیم که قادر به دیدن ریزموج‌ها بود، می‌توانستیم، فراتر از دورترین ستاره، شاهد لحظه پیدایش جهان باشیم.)

اینشتین طغیانگر

قوانین نیوتون چنان موفق بودند که بیش از دویست سال طول کشید، تا با تلاش‌های آلبرت اینشتین، علم قدم‌های مهم بعدی خود را به جلو بردارد. اینشتین کسی بود که به‌هیچ‌وجه انتظار نمی‌رفت آغازگر چنین انقلابی باشد. در سال ۱۹۰۰، پس از فارغ‌التحصیلی در مقطع کارشناسی از دانشگاه پلی تکنیک زوریخ در سویس، او ناامید و بیکار بود. استادانش، کسانی که دل خوشی از این دانشجوی از خود راضی و گستاخ، که اغلب باعث اخلال در کلاس‌ها می‌شد نداشتند، در تلاش او برای یافتن شغل کارشکنی کردند. نامه‌های حاکی از یأس و شکایت‌آمیز، نشانه عمق سقوط او به ورطه ناامیدی است. او خود را شکست خورده و باری بر دوش پدر و مادرش احساس می‌کرد. او در نامه‌ای تلخ اعتراف می‌کند که حتی به فکر خاتمه دادن به زندگی‌اش نیز افتاده بوده است. «بدبختی پدر و مادر بیچاره من، کسانی که سال‌های زیادی لحظه خوشی نداشته‌اند، بیشترین باری است که بر دوش من سنگینی می‌کند... من چیزی نیستم جز باری بر دوش خانواده‌ام... مطمئناً بهتر بود اصلاً زندگی نمی‌کردم.»

اینشتین ناامیدانه به فکر تغییر شغل افتاد و به یک شرکت بیمه ملحق شد. او حتی شغل تدریس خصوصی بچه‌ها را نیز امتحان کرد، ولی با کارفرمای خود درگیر و درنتیجه اخراج شد. زمانی که دوست دخترش، میلوا ماریک، به‌طور غیرمنتظره باردار شد، فکر اینکه فرزند آن‌ها به‌طور نامشروع به دنیا خواهد آمد، برای او بسیار دردناک بود. او برای ازدواج با میلوا امکانات کافی نداشت. (هیچ کس نمی‌داند که بعدها برای لیسِرال دختر نامشروعش چه پیش آمد.) زخم عمیقی که هرگز تا آخر عمر او التیام نیافت، ضربه روحی ناشی از مرگ پدرش بود. پدر او در حالی از این دنیا رفت که پسر خود را درمانده می‌دید.

اگرچه سال‌های ۱۹۰۱ و ۱۹۰۲ شاید بدترین سال‌های زندگی اینشتین باشد، اما آنچه زندگی شغلی او را در این سال‌ها نجات داد، پیشنهاد مارسل گروسمَن، یکی از همکلاسی‌هایش بود. مارسل توانست با اعمال نفوذ خود،

برای او شغلی به‌عنوان کارمند دون پایه در اداره ثبت اختراعات سویس در برن فراهم آورد.

پارادوکس‌های نسبیت

اینکه بزرگ‌ترین انقلاب در فیزیک، از زمان نیوتون تا به حال، از جایی مثل اداره ثبت اختراعات آغاز شود، بسیار نامحتمل به‌نظر می‌رسد. ولی با این حال، کار در چنین موقعیتی از برخی جهات موثر بود. اینشتین به سرعت به کارهای ثبتی انباشته شده روی میز، رسیدگی می‌کرد. سپس روی صندلی می‌نشست و به رویای دوران کودکی خود باز می‌گشت. او در دوران جوانی کتابی خوانده بود با نام کتاب عوام در علم طبیعی از آرون برنشتاین. او بعدها در مورد کتاب چنین گفت: «کتابی که من با شوقی نفس گیر مطالعه کردم.» برنشتاین از خواننده می‌خواست تصور کند که همراه الکتریسیته در طول سیم تلگراف حرکت می‌کند. زمانی که اینشتین ۱۶ ساله بود سوآل مشابهی را از خود پرسید. اگر بتوانید همراه نور حرکت کنید، این پرتو نوری چگونه به‌نظر خواهد رسید؟ بعد اینگونه پاسخ می‌دهد: «این مفهوم از پارادوکسی که من در سن ۱۶سالگی با آن برخورد کردم، سرچشمه گرفت. اگر من پرتو نوری را با سرعت C (سرعت نور در خلأ) دنبال کنم، باید این پرتو نور را به‌عنوان یک میدان الکترومغناطیسی نوسانگر در فضا، در حال سکون ببینم. به‌هرحال به‌نظر می‌آید، چه از نظر تجربی و چه براساس قوانین مکسول، چنین چیزی صحت ندارد.» اینشتین، به‌عنوان یک کودک اندیشید که اگر می‌توانست در کنار یک پرتو نوری حرکت کند، نور باید بی‌حرکت دیده شود، مثل یک موج ایستا. ولی هیچ کس تاکنون نور ایستا را ندیده است، بنابراین فهمید که یک جای کار ایراد دارد.

هنگام تغییر قرن، همه چیز در فیزیک بر دو ستون بزرگ استوار بود: نظریه‌ی مکانیک و گرانش نیوتون، و نظریه نور مکسول. در دهه ۱۸۶۰، فیزیکدان اسکاتلندی، جیمز کلارک مکسول نشان داد که نور از میدان‌های نوسانگر الکتریکی و مغناطیسی تشکیل شده، که به‌طور مداوم در حال تبدیل

به یکدیگر هستند. اینشتین در کمال تعجب دریافت که این دو ستون با یکدیگر در تناقض هستند و یکی از آن‌ها محکوم به فناست.

او با کنکاش در معادلات مکسول، پاسخ معمایی را یافت که او را ده سال به خود مشغول کرده بود. اینشتین چیزی را یافت که خود مکسول فراموش کرده بود. معادلات مکسول نشان می‌دادند که نور با سرعتی ثابت حرکت می‌کند، بدون توجه به اینکه سرعت شما چقدر است. سرعت نور C در تمام چارچوب‌های لَخت یکسان است (منظور چارچوب‌هایی هستند که با سرعت ثابت حرکت می‌کنند). اگر شما ایستا باشید یا در قطاری حرکت کنید یا روی دنباله‌داری پرسرعت نشسته باشید، در هر حالت پرتو نوری را خواهید دید که جلوی شما با همان سرعت نور در حرکت است. با هر سرعتی حرکت کنید، هیچ‌گاه نمی‌توانید از نور سبقت بگیرید.

این مسئله، فوراً انبوهی از پارادوکس‌ها را ایجاد کرد. برای لحظه‌ای تصور کنید فضانوردی سعی دارد به یک پرتو نور برسد. فضانورد در فضاپیمای خود شروع به حرکت می‌کند تا اینکه شانه به شانه با پرتو نور قرار می‌گیرد. ناظری که بر روی زمین به این تعقیب فرضی می‌نگرد، خواهد گفت که فضانورد و پرتو نور در کنار هم حرکت می‌کنند. ولی فضانورد چیزی کاملاً متفاوت خواهد گفت. او می‌گوید که پرتو نور با سرعت از او دور می‌شود، درست مشابه حالتی که فضاپیمای او ساکن باشد.

سوآل پیش‌روی اینشتین این بود که چگونه دو نفر می‌توانند چنین دریافت متفاوتی از یک رخداد داشته باشند؟ در نظریه نیوتون، فرد همواره می‌توانست به پرتوهای نور برسد، ولی در دنیای اینشتین این امر غیرممکن بود. ناگهان اینشتین دریافت که ایرادی اساسی در بنیان‌های ابتدایی فیزیک وجود دارد. در بهار ۱۹۰۵ اینشتین نوشت: «توفانی در ذهن من به پا شد.» سرانجام او ناگهان پاسخ را یافت: سرعت گذشت زمان متغیر است و به سرعت شما بستگی دارد. در واقع، هرچه سریع‌تر حرکت کنید، زمان کندتر می‌گذرد. زمان، آن‌طور که نیوتون فکر می‌کرد، مطلق نیست. از نظر نیوتون، گذشت زمان در سراسر جهان یکنواخت است. یک ثانیه بر روی زمین با یک

ثانیه بر روی مشتری یا مریخ برابر است. ساعت‌ها مطلقاً در سراسر جهان هم‌زمانند. اما از نظر اینشتین ساعت‌های مختلف در جهان ضرب آهنگ متفاوت دارند. اینشتین همچنین دریافت که اگر زمان بسته به سرعت شما تغییر می‌کند، آنگاه کمیت‌های دیگری مثل طول، جرم و انرژی نیز باید تغییر کنند. او دریافت که با افزایش سرعت شما، طول‌ها در نظر شما منقبض می‌شوند (که گاهی انقباض لورنتس ـ فیتزجرالد نامیده می‌شود). به‌طور مشابه هرچه سریع‌تر حرکت کنید، جرم شما نیز بیشتر می‌شود. (در حقیقت با نزدیک شدن شما به سرعت نور، زمان تا توقف کامل کند می‌شود، طول‌ها تا هیچ منقبض می‌شوند و جرم شما بی‌نهایت خواهد شد، که همه آن‌ها نامعقول هستند. به‌همین دلیل شما نمی‌توانید به سرعت نور که حد نهایی سرعت در جهان است، دست یابید.)

همان‌طور که یافته‌های نیوتون، فیزیک زمین و آسمان‌ها را یکپارچه کرد، اینشتین نیز زمان را با فضا یکپارچه کرد. به‌علاوه او نشان داد که جرم و انرژی معادل‌اند و بنابراین می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند. اگر جرم شیء با افزایش سرعت زیاد شود، پس انرژی جنبشی به جرم تبدیل می‌شود. عکس این ماجرا نیز درست است؛ جرم نیز می‌تواند به انرژی تبدیل شود. اینشتین رابطه دقیق تبدیل جرم و انرژی را به صورت $E=mc^2$ محاسبه کرد که به‌موجب آن حتی مقدار ناچیزی از جرم m، زمانی که به انرژی E تبدیل گردد، در عدد بزرگی (مجذور سرعت نور) ضرب می‌شود. به‌این‌ترتیب منبع انرژی مخفی ستارگان آشکار شد؛ تبدیل ماده به انرژی، برطبق همین فرمول، باعث درخشندگی جهان شده است. معمای ستارگان با این عبارت ساده توجیه می‌شود که سرعت نور در تمام چارچوب‌های لَخت یکسان است.

مشابه آنچه نیوتون در زمان خود انجام داد، اینشتین نیز دید ما را نسبت به صحنه نمایش زندگی تغییر داد. در دنیای نیوتون، تمام بازیگران دقیقاً می‌دانستند که در چه زمانی قرار دارند و چگونه فواصل اندازه‌گیری می‌شوند. ضرب آهنگ زمان و ابعاد صحنه هیچ‌گاه تغییر نمی‌کرد. ولی نسبیت تفسیری عجیب از مفهوم فضا و زمان به ما ارائه کرد. در دنیای اینشتین،

ساعت‌های مچی هرکدام از بازیگران، زمان‌های متفاوتی را نشان می‌دهند؛ یعنی هم‌زمان‌کردن تمام ساعت‌های روی صحنه غیرممکن است. توافق برای ساعت تمرین بعدازظهر، برای هریک از بازیگران، معنای متفاوتی دارد. در حقیقت زمانی که بازیگران در طول صحنه حرکت می‌کنند، اتفاقات عجیبی می‌افتد. هرچه سریع‌تر حرکت می‌کنند، ساعت‌هایشان زمان را کندتر ثبت می‌کنند و به‌علاوه وزن‌شان نیز سنگین‌تر می‌شود.

سال‌ها زمان لازم بود تا نوع نگرش اینشتین به‌وسیله جوامع علمی به رسمیت شناخته شود. ولی اینشتین منتظر نماند. او می‌خواست نظریه جدید نسبیت خود را (که نسبیت خاص نام گرفت) به گرانش نیز تعمیم دهد. اینشتین می‌دانست که این‌کار چقدر می‌تواند مشکل باشد. واضح بود که نظریه او از طرف موفق‌ترین نظریه زمان خود تهدید می‌شد. ماکس پلانک، بنیانگذار نظریه کوانتوم، به او اینگونه هشدار داد: «به‌عنوان یک دوست قدیمی باید به تو هشدار دهم که اولاً موفق نخواهی شد و حتی اگر موفق هم شوی، هیچ کس تو را باور نخواهد کرد.»

اینشتین دریافت که نظریه جدید نسبیت او، در نظریه گرانش نیوتون ایجاد اختلال می‌کند. بر طبق نظریه نیوتون، گرانش به‌طور آنی در سراسر جهان منتقل می‌شود. این مسئله منجر به برانگیختن سوآلی می‌شد که حتی کودکان نیز گاهی می‌پرسند: «اگر خورشید ناپدید شود، چه اتفاقی می‌افتد؟» از نظر نیوتون، کل کیهان به‌طور آنی و هم‌زمان، از ناپدید شدن خورشید آگاه می‌شوند. ولی براساس نسبیت خاص، این غیرممکن است، چراکه سرعت انتشار تاثیر ناپدید شدن یک ستاره، به سرعت نور محدود می‌شود. بر اساس نسبیت، ناپدید شدن ناگهانی خورشید باید یک موج ناگهانی کروی از نوع گرانش ایجاد کند که با سرعت نور منتشر می‌شود. بیرون از دایره رو به گسترش این موج، ناظران خواهند گفت که خورشید هنوز در حال درخشش است، زیرا که موج گرانشی هنوز زمان کافی برای رسیدن به آن‌ها نیافته است. ولی درون موج، یک ناظر خواهد گفت که خورشید ناپدید شده است. برای حل این مشکل، اینشتین تصویر کاملاً متفاوتی از فضا و زمان ارائه کرد.

تعبیر نیرو به‌عنوان انحنای فضا ـ زمان

نیوتون، فضا و زمان را به‌عنوان عرصه‌ای وسیع درنظر گرفت که درون آن رخدادها بر اساس قوانین حرکت او به وقوع می‌پیوستند. این عرصه، علی‌رغم اینکه مملو از ناشناخته‌ها و رموز بود، ولی ضرورتاً لَخت و بی‌حرکت بود؛ شاهدی بی‌اراده که تنها ناظر رقص طبیعت است. ولی اینشتین این ایده را متحول کرد. از نظر اینشتین، خود صحنه بخش مهمی از زندگی به شمار می‌رفت. در جهان اینشتین، فضا و زمان، آن‌طور که نیوتون فرض کرده بود، صحنه‌ای بی‌حرکت نبود، بلکه پویا بوده و به فرم‌های عجیبی خم شده و انحنا می‌یافت. صحنه زندگی را به صورت تور آکروبات در نظر بگیرید، به نحوی که بازیگران در اثر وزن خود، به پایین فرو می‌روند. در چنین عرصه‌ای خواهیم دید که خود صحنه نیز به اندازه بازیگران اهمیت خواهد داشت.

توپ بولینگی را تصور کنید که روی یک تخت خواب قرار دارد و به‌آرامی درون تشک فرو رفته است. حال گلوله‌ای شیشه‌ای را به درون سطح خمیده تشک پرتاب کنید. این گوی، در مسیری منحنی، به دور توپ بولینگ حرکت خواهد کرد. ناظری نیوتونی که شاهد چرخش گوی شیشه‌ای به دور توپ بولینگ است، نتیجه می‌گیرد که توپ بولینگ نیروی مرموزی را به گوی اعمال می‌کند. به عبارت دیگر، توپ بولینگ کششی آنی دارد که گوی را به سمت خود می‌کشد.

از نظر ناظری نسبیتی، واضح است که اصلاً نیرویی وجود ندارد. تنها انحنای تخت است که گوی را به حرکت در مسیری منحنی وا می‌دارد. از نظر او کششی وجود ندارد، تنها رانشیِ است که به‌وسیله ملحفه انحنا یافته به گوی اعمال می‌شود. گوی را با زمین، توپ بولینگ را با خورشید و تخت خواب را با فضا ـ زمان تهی جابجا کنید. در این حالت خواهید دید که زمین به‌دور خورشید می‌گردد، نه به‌دلیل کشش گرانش، بلکه به‌دلیل اینکه خورشید فضای اطراف زمین را انحنا می‌دهد و بنابراین فشاری را ایجاد می‌کند که زمین را به چرخش در یک دایره وا می‌دارد.

بنابراین اینشتین به این باور رسید که گرانش بیشتر شبیه به یک ساختار

است، تا یک نیروی غیر قابل رویت که به‌طور آنی بر سراسر جهان اثر می‌گذارد. اگر کسی به سرعت این ساختار را تکان دهد، امواجی شکل می‌گیرند که با سرعت محدودی پیش می‌روند. این توضیحی برای پارادوکس ناپدید شدن خورشید بود.

اگر گرانش، محصول ثانویه انحنای ساختار فضا-زمان است، پس ناپدید شدن خورشید را می‌توان با برداشتن ناگهانی توپ بولینگ از روی تخت مقایسه کرد. وقتی فرو رفتگی روی تشک بالا می‌جهد، موجی در طول تشک، با سرعت محدود، به حرکت در می‌آید. بنابراین با وارد شدن گرانش به مسئله انحنای فضا-زمان، اینشتین قادر شد که گرانش را با نسبیت آشتی دهد.

مورچه‌ای را تصور کنید که از روی کاغذی ناصاف و پرچین و چروک عبور می‌کند. چون سطح کاغذ ناهموار است، مورچه، مثل ملوانان مست به چپ و راست تلو تلو می‌خورد. مورچه ادعا می‌کند مست نیستم، بلکه نیرویی مرموز مرا به زحمت می‌اندازد و به چپ و راست تکان می‌دهد. از نظر مورچه، فضای تهی پر است از نیروهای مرموز که او را از قدم برداشتن در مسیر مستقیم باز می‌دارند. با نگریستن به مورچه از فاصله نزدیک می‌بینیم که اصلاً نیرویی وجود ندارد که او را بکشاند، بلکه تا شدگی‌های کاغذ مچاله شده، او را می‌راند. نیروهایی که بر مورچه عمل می‌کنند، توهمی هستند که در اصل ناشی از انحنای خود فضا هستند. نیروی به ظاهر کششی، در حقیقت رانشی است، که با قدم گذاشتن بر روی تاشدگی کاغذ ایجاد می‌شود. به بیان دیگر این گرانش نیست که مورچه را به سمت خود می‌کشد، بلکه این فضاست که او را می‌راند.

در سال ۱۹۱۵، اینشتین بالاخره توانست آنچه را نظریه نسبیت عام می‌نامید، کامل کند. این نظریه، تاکنون ساختار اساسی تمام علم کیهان‌شناسی بوده است. در این تصویر جدید شگفت‌آور، گرانش دیگر نیروی مستقلی نیست که جهان را پر کرده باشد، بلکه اثر ظاهری انحنای ساختار فضا-زمان است. نظریه او چنان قدرتمند بود که او توانست آن را در یک معادله بطول ۲سانتیمتر خلاصه کند. در این نظریه جدید، مقدار انحنای فضا-زمان از

طریق مقدار جرم و انرژی موجود در آن، مشخص می‌شود. به پرتاب سنگی در استخر بیاندیشید. مجموعه‌ای از اعوجاجات از این برخورد ایجاد می‌شود. هرچه سنگ بزرگ‌تر باشد، اعوجاجات سطح استخر بیشتر خواهد شد. به‌طور مشابه، هرچه ستاره بزرگ‌تر باشد، انحنای فضا-زمان اطراف ستاره بیشتر خواهد بود.

تولد علم کیهان‌شناسی

اینشتین تلاش کرد تا از این تصویر جدید، برای توصیف جهان به صورت یک مجموعه کامل، استفاده کند. او ناگزیر بود بالاخره با پارادوکس بنتلی، که قرن‌ها پیش ارائه شده بود مواجه شود. در دهه ۱۹۲۰، اغلب ستاره‌شناسان عقیده داشتند که جهان یکپارچه و ایستا است. بنابراین اینشتین با این فرض شروع کرد که جهان، به‌طور یکنواخت از غبار و ستارگان پر شده است. به‌عنوان یک مدل، جهان را می‌توان به بادکنک یا حبابی بزرگ تشبیه کرد. ما بر روی پوسته حباب زندگی می‌کنیم. ستارگان و کهکشان‌هایی را که اطراف خود می‌بینیم، می‌توان به لکه‌هایی که بر سطح بادکنک نقاشی شده‌اند، تشبیه کرد.

هربار اینشتین سعی کرد معادله‌اش را حل کند، با تعجب دریافت جواب، جهانی غیر ایستا است. اینشتین نیز با همان مشکلی، که بِنتلی در حدود ۲۰۰ سال پیش مطرح کرده بود مواجه شد. از آنجا که گرانش همواره جذب کننده است و هرگز دفع کننده نیست، هر مجموعه متناهی از ستارگان باید در فاجعه‌ای آتشبار، به‌درون هم فرو بپاشند. این مسئله، با دانش متداول در اوایل قرن بیستم که بیان می‌داشت جهان ایستا و یکنواخت است در تناقض بود.

اینشتین، علی‌رغم روحیه انقلابی‌اش، نمی‌توانست باور کند که جهان در حرکت باشد. همانند نیوتون و بسیاری دیگر، اینشتین به جهانی ایستا باور داشت. بنابراین در سال ۱۹۱۷، مجبور شد که بخش جدیدی را به معادله خود اضافه کند، یک «عامل تصحیح»، که نیروی جدیدی را به نظریه‌اش اضافه می‌کرد. نیروی ضدگرانشی که ستارگان را از هم دور می‌ساخت. اینشتین این عامل را ثابت کیهان‌شناسی نامید؛ جوجه اردک زشتی که چاره‌ای

مناسب برای نجات نظریه اینشتین به‌نظر می‌آمد. او سپس این ضد گرانش را به‌طور دلخواه طوری انتخاب کرد که اثر جاذبه را دقیقا خنثی نموده و جهانی ایستا ایجاد کند. به بیان دیگر، جهان به‌طور فرمایشی ایستا شد: انقباض جهان به سمت درون ناشی از گرانش، با نیروی انرژی تاریک که به سمت بیرون عمل می‌کند، خنثی شد.

در سال ۱۹۱۷، فیزیکدان هلندی با نام ویلِم دِسیتِر، جواب دیگری برای معادلات اینشتین ارائه کرد که در آن، جهان نامتناهی ولی کاملاً خالی از ماده است و در اصل تنها شامل انرژی خلأ یا ثابت کیهان‌شناسی است. این نیروی ضدگرانش، به تنهایی کافی است تا چنین جهانی را سریعاً و به‌طور تصاعدی منبسط کند. حتی بدون وجود جرم نیز این انرژی تاریک می‌توانست جهانی در حال انبساط ایجاد کند.

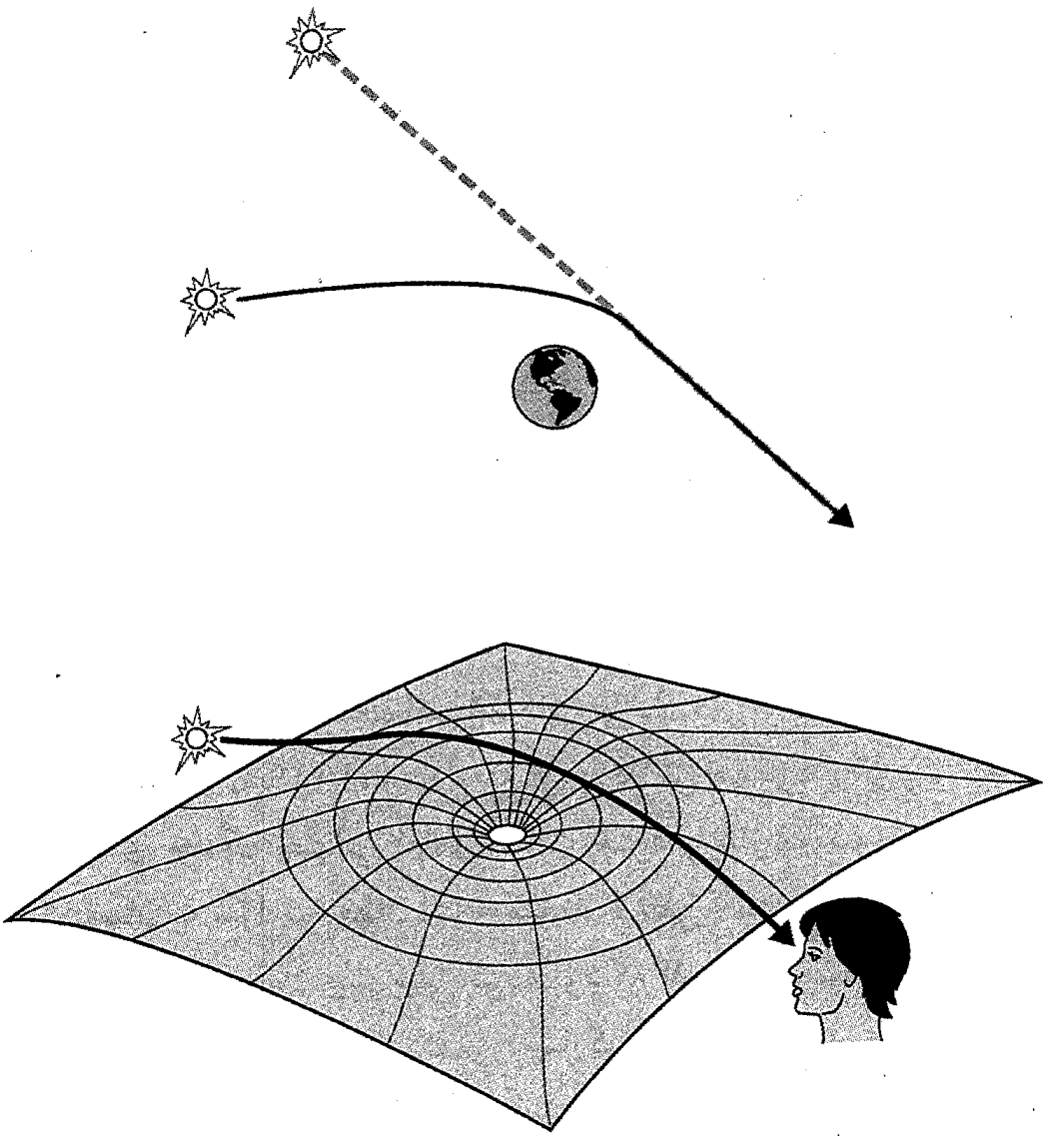
حال فیزیکدانان با معمائی پیچیده روبرو بودند. جهان اینشتین دارای جرم بود، ولی حرکت نداشت. از طرف دیگر، جهان دسیتر حرکت داشت ولی جرم نداشت.

در دنیای اینشتین، ثابت کیهان‌شناسی، برای خنثی کردن جاذبه گرانش و ایجاد جهان ایستا لازم بود. در جهان دسیتر، ثابت کیهان‌شناسی به تنهایی برای ایجاد یک جهان در حال انبساط کافی بود.

بالاخره در سال ۱۹۱۹، زمانی که اروپا تلاش می‌کرد تا از پس اجساد و ویرانه‌های جنگ جهانی اول، حیات خود را باز یابد، چندین تیم از ستاره‌شناسان به سراسر جهان اعزام شدند تا نظریه اینشتین را مورد آزمایش قرار دهند. اینشتین قبلاً پیش‌بینی کرده بود که انحنای فضا-زمان ناشی از حضور خورشید، برای خم کردن نور ستارگانی که از مجاورت آن می‌گذرند، کافی خواهد بود. مقدار انحنای نور ستارگان در اطراف خورشید، مانند انحنای نور در یک عدسی، معین و قابل محاسبه است. ولی از آنجا که نور خورشید در طول روز دیگر ستارگان را محو می‌کند، دانشمندان برای انجام آزمایش‌ها دقیق ناچارند در انتظار رخ‌دادن خورشید گرفتگی باشند.

یک گروه به سرپرستی اخترفیزیکدان انگلیسی، آرتور اِدینگتون، به

جزیره پرنسیپ در خلیج گینه در نزدیکی ساحل آفریقای جنوبی رفتند تا انحنای نور ستارگان در اطراف خورشید را هنگام خورشید گرفتگی ثبت کنند. تیم دیگری به سرپرستی آندرو کراملین، به سوبرال در شمال برزیل رفتند. با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، مقدار میانگین انحراف برای نور ستارگان برابر ۱/۷۹ ثانیه قوسی اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری



در سال ۱۹۱۹، دوگروه پیش‌بینی اینشتین را مبنی بر اینکه نور یک ستاره دوردست در هنگام عبور از کنار خورشید خم خواهد شد، تائید کردند. بدین ترتیب، ستاره با حضور خورشید از دید ناظر تغییر مکان خواهد داد. به این دلیل که خورشید، فضا-زمان اطراف خود را خمیده کرده است. درنتیجه، این گرانش نیست که می‌کشد، بلکه فضاست که می‌راند.

پیشگویی اینشتین برابر ۱/۷۴ ثانیه قوسی را تائید می‌کرد (با احتساب خطاهای تجربی). به بیان دیگر، نور در نزدیکی خورشید خم می‌شود. ادینگتون بعدها عنوان کرد که تائید صحت نظریه اینشتین، بزرگ‌ترین لحظه زندگی او بوده است.

در ۶ نوامبر ۱۹۱۹، در جلسه مشترک انجمن سلطنتی و انجمن سلطنتی نجوم در لندن، برنده جایزه نوبل و رئیس انجمن سلطنتی، جِی جِی تامپسون، رسماً بیان کرد که این «یکی از ارزشمندترین دستاوردها در تاریخ افکار بشر محسوب می‌شود. در حوزه ایده‌های علمی جدید، این امر کشف یک جزیره دورافتاده نیست، بلکه کشف یک قاره کامل است. این نظریه، بزرگ‌ترین یافته در ارتباط با گرانش از زمانی است که نیوتون این مفهوم را بیان کرده است.»

(سپس، خبرنگاری از ادینگتون پرسید: «شایعه‌ای وجود دارد مبنی براینکه تنها سه نفر در تمام جهان نظریه اینشتین را فهمیده‌اند. شما باید یکی از آن‌ها باشید.» ادینگتون ساکت ماند. خبرنگار گفت: «فروتن نباشید آقای ادینگتون.» ادینگتون شانه را بالا انداخت و گفت: «نه اصلاً. به این فکر می‌کردم که نفر سوم چه کسی می‌تواند باشد.»)

روز بعد، روزنامه تایمز لندن با این تیتر منتشر شد: «انقلابی در علم ــ نظریه جدید جهان ــ عقاید نیوتون سرنگون شد.» این تیتر لحظه‌ای را رقم زد که در آن اینشتین به یک شخصیت شناخته شده جهانی بدل شد؛ پیام‌آوری از ستارگان.

اعلام این خبر مهم، عزیمت از نیوتون به اینشتین، باعث واکنش شدیدی از جانب فیزیکدانان و منجمان برجسته شد. در دانشگاه کلمبیا، چارلز لِین پور، پروفسور در مکانیک نجومی، با گفتن این جمله انتقاد خود را بیان کرد: «احساس من این است که با آلیس در سرزمین عجایب گشته‌ام و با کلاهدوز دیوانه چای خورده‌ام.»

اینکه نظریه نسبیت با احساس عمومی ما در تناقض است، دلیل بر اشتباه بودن آن نیست، زیرا احساس عمومی ما بیانگر واقعیت نیست. در حقیقت «ما» در این جهان عجیب و غریب هستیم. ما در مکان غیر معمولی سکنی

گزیده‌ایم که در آن دماها، چگالی‌ها و سرعت‌ها کاملاً متعادلند. درحالی‌که در «دنیای واقعی»، مرکز ستارگان، سوزنده و داغ و فضای خارجی بی‌حس کننده و سرد است و ذرات زیراتمی معمولاً در سراسر فضا با سرعتی نزدیک به سرعت نور حرکت می‌کنند. به بیان دیگر، احساس عمومی ما، در کره زمین تکامل یافته است که بخشی غیرمعمول و مبهم از جهان است، پس تعجبی ندارد که درک احساس عمومی ما از جهان، آن‌طور که هست، دشوار باشد. مشکل در نسبیت نیست، بلکه در فرضیاتی است که احساس عمومی ما در توصیف جهان دارد.

آینده جهان

اگرچه نظریه اینشتین در توضیح پدیده‌های نجومی، مثل انحنای نور ستارگان در اطراف خورشید و انحراف خفیف در مدار سیاره تیر (عطارد) موفق بود، با این حال پیش‌گویی‌های کیهان‌شناسی آن هنوز گیج کننده می‌نمود. فیزیکدان روسی، الکساندر فریدمن، ابهامات را روشن کرد و عمومی‌ترین و واقعی‌ترین راه‌حل‌های معادلات اینشتین را ارائه داد، که حتی امروزه در مباحث درسی نسبیت عام تدریس می‌شود. (فریدمن در سال ۱۹۲۲ به یافته‌های خود دست یافت، ولی در سال ۱۹۲۵ درگذشت و کارهای او تا سال‌ها به فراموشی سپرده شد.)

طبیعتاً، نظریه اینشتین شامل مجموعه‌ای از معادلات فوق‌العاده مشکل است که اغلب برای یافتن جواب آن‌ها به رایانه نیاز است. فریدمن ابتدا فرض کرد که جهان دینامیک است و سپس دو فرض دیگر برای ساده‌سازی در نظر گرفت (که اصول کیهان‌شناسی نامیده می‌شوند): جهان ایزوتروپیک (دارای خواص فیزیکی مشابه) است (از یک نقطه داده شده به هر سو بنگریم، یکسان به‌نظر می‌آید) و دیگر اینکه جهان همگن است (جهان، در همه جا یکنواخت است).

با در نظر گرفتن این دو فرض، معادلات اینشتین ساده می‌شوند. (در حقیقت، هر دو جهان اینشتین و دسیتر حالات ویژه‌ای از جواب عمومی‌تر

فریدمن بودند). جهان فریدمن، فقط به سه پارامتر بستگی دارد:

۱. H، که سرعت انبساط جهان را نشان می‌دهد. (امروزه به ثابت هابل معروف است؛ به نام منجمی که در واقع توانست سرعت انبساط جهان را اندازه‌گیری کند.)

۲. امگا (Ω)، که به چگالی متوسط ماده در جهان مربوط است.

۳. لاندا (λ)، که انرژی فضای خالی یا انرژی تاریک است.

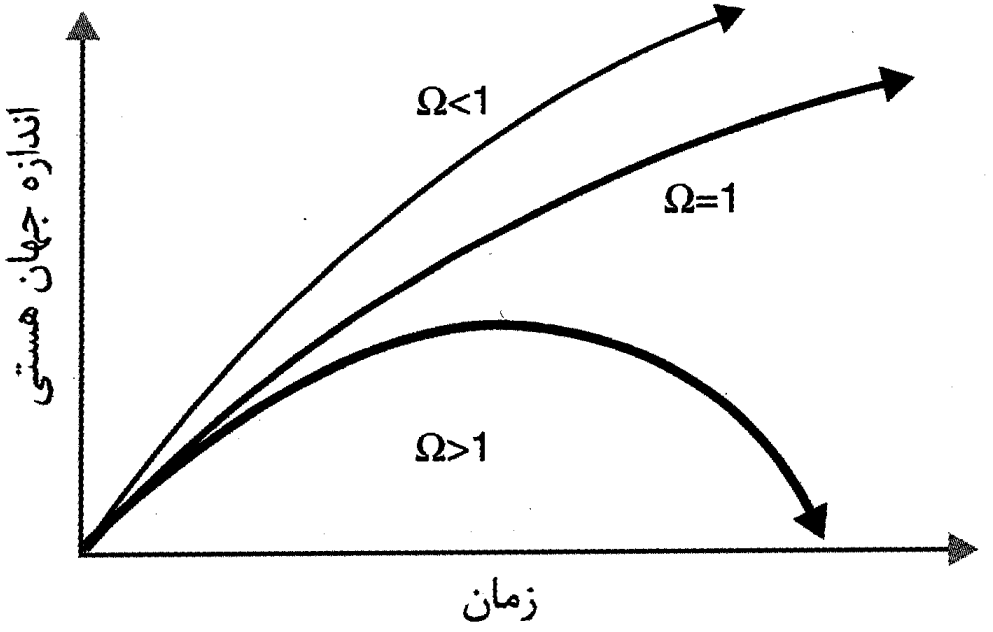
بسیاری از کیهان‌شناسان تمام عمر حرفه‌ای خود را صرف تعیین دقیق این سه پارامتر کرده‌اند. اثر متقابل بین این سه ثابت، سیر تکاملی آینده جهان را تعیین می‌کند. به‌عنوان مثال از آنجایی‌که گرانش یک نیروی جذب کننده است، چگالی جهان (امگا) همانند ترمزی عمل می‌کند تا فرایند انبساط جهان را که پس از انفجار بزرگ آغاز شده است کند نماید. فرض کنید که سنگی را به هوا پرتاب کنید. در حالت عادی، قدرت جاذبه زمین به اندازه‌ای است که می‌تواند جهت سنگ را تغییر داده و باعث سقوط آن بر روی زمین شود. ولی اگر فردی سنگ را به اندازه کافی سریع پرتاب کند، سنگ خواهد توانست از جاذبه زمین بگریزد و به فضای بیرون برود. همانند سنگ، جهان نیز در اصل به‌دلیل انفجار بزرگ همواره در حال انبساط بوده است، ولی ماده یا همان امگا، در مقابل انبساط جهان مثل ترمز عمل می‌کند؛ همان‌طور که گرانش زمین برای‌سنگ به صورت ترمز عمل می‌کند.

بیایید برای لحظه‌ای تصور کنیم که لاندا، انرژی فضای خالی، برابر صفر باشد. تعریف دقیق پارامتر امگا این است: حاصل تقسیم چگالی جهان بر چگالی بحرانی. (چگالی بحرانی جهان تقریباً برابر است با ۱۰ اتم هیدروژن در متر مکعب. چگالی بحرانی جهان متناظر است با وجود به‌طور میانگین یک اتم هیدروژن تنها در حجمی برابر با سه توپ بسکتبال.)

اگر امگا کم‌تراز ۱باشد، دانشمندان نتیجه می‌گیرند که به اندازه کافی ماده در جهان وجود ندارد تا انبساط اولیه ناشی از انفجار بزرگ را معکوس کند. (شبیه به پرتاب کردن سنگ در هوا؛ اگر جرم زمین به اندازه کافی بزرگ نباشد، سنگ در نهایت زمین را ترک خواهد کرد.) درنتیجه، جهان تا ابد به

انبساط ادامه خواهد داد که در نهایت با نزدیک شدن دما به صفر مطلق به انجماد بزرگ منتهی خواهد شد. (این همان اساس کار یخچال یا سیستم تهویه مطبوع است. زمانی که گاز منبسط می‌شود، دمایش کاهش می‌یابد. در کولرهای گازی، گاز جاری در لوله، منبسط شده و در نتیجه لوله و اتاق شما خنک می‌شود.)

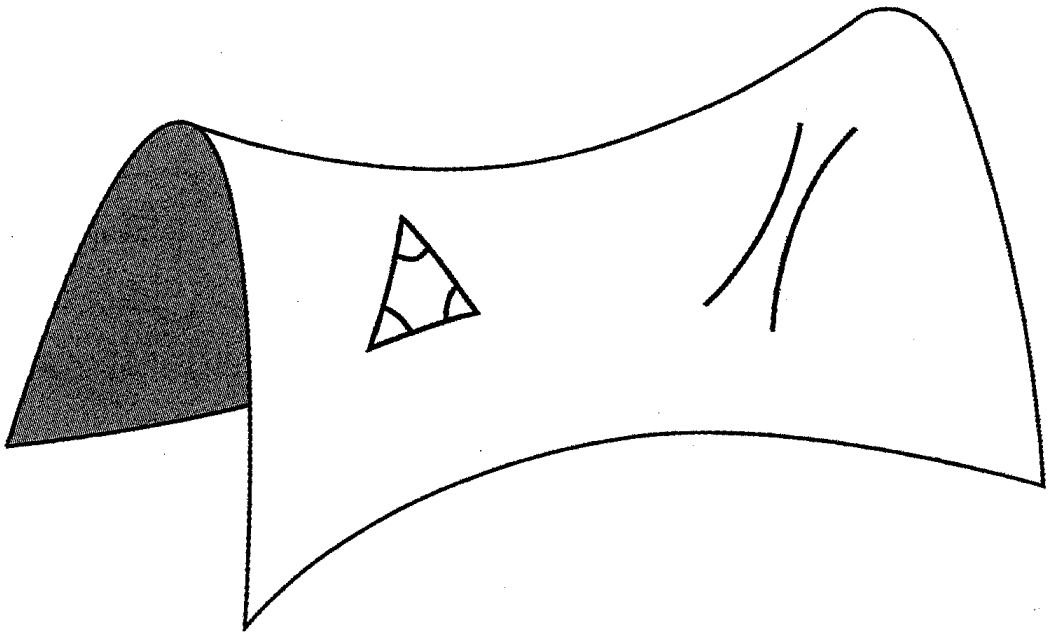
اگر امگا از یک بزرگ‌تر باشد، آنگاه ماده و در نتیجه گرانش کافی در جهان موجود خواهد بود تا در نهایت انبساط کیهانی را معکوس کند. در نتیجه، فرایند انبساط جهان در نقطه‌ای متوقف شده و جهان این‌بار شروع به انقباض خواهد کرد. (مثل سنگی که به هوا پرتاب می‌شود؛ اگر جرم زمین به اندازه



سیر تکاملی جهان، می‌تواند سه مسیر متفاوت را طی کند. اگر امگا کم‌تر از ۱ باشد (و لاندا برابر با صفر)، جهان برای همیشه به سمت انجماد بزرگ انبساط خواهد یافت. اگر امگا از ۱ بزرگ‌تر باشد، جهان به سمت فروپاشی بزرگ، منقبض خواهد شد. اگر امگا برابر با ۱ باشد، آنگاه جهان تخت بوده و برای همیشه انبساط خواهد یافت. (داده‌های ماهواره WMAP نشان می‌دهد که امگا به‌علاوه لاندا برابر با ۱، به این معناست که جهان تخت بوده و با نظریه تورم سازگار است.)

کافی بزرگ باشد، سنگ در نهایت به یک ارتفاع بیشینه رسیده و سپس به سمت زمین سقوط می‌کند.) با سرعت گرفتن کهکشان‌ها و ستارگان به سمت

یکدیگر، دماها شروع به افزایش می‌کنند. (اگر تاکنون لاستیک دوچرخه را باد زده باشید، می‌دانید که فشردگی گاز، گرما ایجاد می‌کند. کار مکانیکی انجام گرفته برای فشردن هوا به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود.) در نهایت دما آنقدر زیاد خواهد شد که حیات، رو به خاموشی گذاشته و جهان به سمت «فروپاشی بزرگ»[1] خواهد رفت. (ستاره‌شناسی با نام کن کراسوِل، این فرایند را اینگونه توصیف می‌کند: «از تولد تا تدفین»)



اگر امگا کوچک‌تر از ۱ باشد، (و لاندا برابر با صفر) آنگاه جهان باز است و انحنای آن منفی است، درست مثل یک زین. خطوط موازی هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند و جمع زوایای داخلی مثلث کم‌تر از ۱۸۰ درجه خواهد بود.

احتمال سومی هم وجود دارد که امگا دقیقاً با ۱ برابر باشد. به بیان دیگر، چگالی جهان برابر با چگالی بحرانی باشد که در این حالت جهان بین دو حالت فوق‌الذکر بوده و تا ابد انبساط خواهد یافت. (خواهیم دید که این سناریو با تصویر تورمی جهان سازگاری دارد.)

و در آخر این امکان وجود دارد که جهان، پس از فروپاشی بزرگ، به انفجار

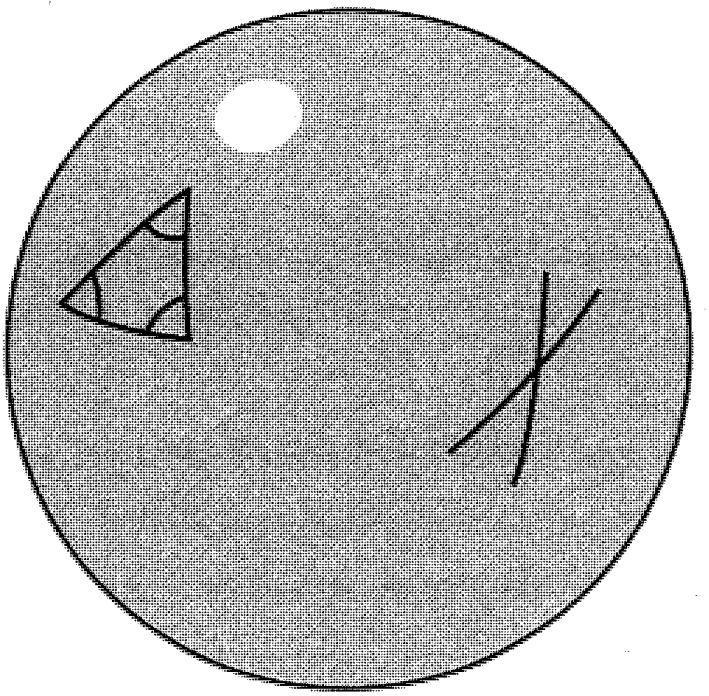
---

1. Big Crunch

بزرگ جدیدی وارد شود. این نظریه، با نام جهان نوسان‌گر شناخته می‌شود.

فریدمن نشان داد که هر کدام از این سناریوها، به نوبه خود انحنای فضا-زمان جهان را تعیین می‌کنند. وی نشان داد که اگر امگا از یک کوچک‌تر باشد و جهان برای همیشه منبسط شود، نه تنها زمان نامتناهی است، بلکه فضا نیز به همان ترتیب نامتناهی خواهد بود. در این‌صورت، گفته می‌شود که جهان «باز» است؛ یعنی هم از نظر زمان و هم از نظر فضا نامتناهی است. فریدمن با محاسبه دریافت انحنای این جهان منفی است. (این جهان شبیه سطح یک زین یا ترومپت است. اگر حشره‌ای بر روی این سطح زندگی می‌کرد، می‌دید که خطوط موازی نه تنها هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند، بلکه از هم فاصله می‌گیرند و مجموع زوایای یک مثلث کم‌تر از ۱۸۰ درجه است.)

اگر امگا از ۱ بزرگ‌تر باشد، جهان در نهایت در جهت تحقق یک فروپاشی بزرگ، منقبض خواهد شد. زمان و فضا در این حالت متناهی‌اند. فریدمن دریافت که انحنای این جهان مثبت است (شبیه یک کره). در نهایت اگر امگا



اگر امگا بزرگ‌تر از ۱ باشد، آنگاه جهان بسته و انحنای آن مثبت است؛ مانند یک کره. آنگاه خطوط موازی همواره یکدیگر را قطع می‌کنند و جمع زوایای داخلی مثلث بیش از ۱۸۰ درجه خواهد بود.

برابر با ۱ باشد، آنگاه فضا تخت است و فضا و زمان هیچ‌کدام کرانه (مرز) ندارند. (به اصطلاح بی‌کران هستند.)

فریدمن نه تنها اولین تفسیر جامع از معادلات کیهان‌شناسی اینشتین را فراهم آورد، بلکه توانست واقع‌گرایانه‌ترین تخمین را برای روز رستاخیز ارائه کند. سرنوشت نهایی جهان این است: یا در یک انجماد بزرگ نابود شده، یا در یک فروپاشی بزرگ می‌سوزد یا برای همیشه نوسان می‌کند. پارامترهای تعیین‌کننده این سرنوشت، عبارتند از: چگالی جهان و انرژی خلأ.

ولی تصویر فریدمن سوآلی را در ذهن باقی می‌گذارد. اگر جهان در حال انبساط است، احتمالاً آغازی داشته است. نظریه اینشتین چیزی در مورد این لحظه آغاز نمی‌گوید. آنچه از قلم افتاده، لحظه آفرینش است؛ انفجار بزرگ. سرانجام، سه تن از دانشمندان، ناگزیرترین تصویر از انفجار بزرگ را ارائه کردند.

فصل ۳ انفجار بزرگ

جهان، نه فقط از آنچه ما تصور می‌کنیم عجیب‌تر است، بلکه از هرآنچه بتوانیم تصور کنیم، عجیب‌تر است.

– جِی بی اِس هالدِن

ما انسان‌ها در جستجوی یافتن راهی هستیم تا با روش تجربی منشاء جهان را کشف کنیم، چونان پنجره‌ای به سوی آگاهی ما از جهانی که خود ما را پدید آورده است. این خواست راستین انسان‌ها، چیزی است که روح انسان می‌طلبد.

– جوزف کمپبِل

روز ششم مارس سال ۱۹۹۵، نشریه تایمز تصویر کهکشان مارپیچی غول‌آسای M۱۰۰ را روی جلد چاپ کرد و نوشت: «سردرگمی کیهان‌شناسی.» آخرین داده‌های تلسکوپ فضایی هابل، نشان می‌دادند که جهان از پیرترین ستاره آن جوان‌تر است. مطابق این داده‌ها، دانشمندان عمر جهان را بین ۸ تا ۱۲ میلیارد سال محاسبه کردند، درحالیکه می‌دانستند پیرترین ستاره‌ها، ۱۴ میلیارد سال عمر دارند. کریستوفر ایمپی از دانشگاه آریزونا در این باره گفته بود: «فرزند نمی‌تواند از مادر خود پیرتر باشد.»

ولی با مطالعه دقیق مطلب، همچنان در می‌یابید که نظریه انفجار بزرگ هنوز به قوت خود باقی است. رد نظریه انفجار بزرگ با مشاهده تنها یک کهکشان، M۱۰۰، روشی علمی نیست. حتی خود مقاله نیز بیان می‌کرد که

بـرای تـوجیه دوگـانگی مـوجود، راه‌هـای مـتعددی وجـود دارد. یکـی از روش‌های موجود برای توجیه این تناقض، این حقیقت بود که، با استفاده از داده‌های تلسکوپ فضایی هابل، محاسبه عمر جهان با دقتی بیشتر از ۱۰ الی ۲۰ درصد، امکان‌پذیر نبود.

لازم به ذکر است که نظریه انفجار بزرگ حاصل تفکری نـظری نـیست، بلکه با استناد به صدها داده تجربی مختلف از منابع متعدد شکل گرفته است. (در علم روش‌های گوناگونی برای تولید نظریه‌ها وجود دارد. اگرچه هرکسی آزاد است تا تعبیر خود را از پیدایش جهان ارائه دهد، با این‌حال باید بتواند در نظریه خود صدها داده گردآوری شده را، که با نظریه انفجار بزرگ سازگارند، توضیح دهد.)

برای نظریه انفجار بزرگ، سه مدرک مهم وجود دارد که حاصل تلاش‌های سه دانشمند برجسته هستند: اِدوین هابل، جورج گاموف، و فِرِد هویل.

ادوین هابل، اخترشناس شریف

درست زمانی که پایه‌های نظری علم کیهان‌شناسی به‌وسیله اینشتین در حال شکل‌گیری بود، ادوین هابل، به تنهایی کیهان‌شناسی رصدی مدرن را پـیش می‌برد. شاید بتوان گفت او بزرگ‌ترین ستاره‌شناس قرن بیستم بود.

هابل، پسری روستایی، محجوب، با آرزوهای بزرگ و متولد جنگل‌های مارشفیلد میسوری بود. پدر هابل که حقوقدان و کارمند بیمه بود، او را وادار کرد تا شغلی در زمینه حقوق انتخاب کند، ولی هابل در اصل شیفته کتاب‌های ژول ورن و مسحور عالم ستارگان بود. او آثار کلاسیک علمی ـ تـخیلی مـثل بیست هزار فرسنگ زیر دریا و سفر به ماه اثر ژول ورن را با اشتیاق فراوان مطالعه می‌کرد. به‌علاوه، او بوکسوری ورزیده بود. طرفدارانش از او می‌خواستند تا به دنیای حرفه‌ای‌ها وارد شود و با قهرمان سنگین وزن دنیا، جک جـانسون مسابقه دهد.

هابل موفق شد بورسیه تحصیلی معتبر رودز را کسب کند تا در دانشگاه آکسفورد رشته حقوق بخواند. در آنجا آداب مـعاشرت قشـر سـطح بـالای

جامعه انگلستان را آموخت. (پوشیدن لباس‌های فاستونی، کشیدن پیپ، صحبت با لهجه خاص بریتانیایی و سخن پراکنی در مورد زخم‌های ناشی از دوئل‌های خود، که شایع است آن‌ها را خودش ایجاد می‌کرد.)

با این‌حال هابل احساس خوشحالی نمی‌کرد. چیزی که واقعاً او را به هیجان می‌آورد مسلماً صحبت در مورد جراحات و طرح دعاوی نبود. تخیلات و علایق او از زمان کودکی به ستارگان مربوط می‌شدند. او با جسارت بسیار شغل خود را تغییر داد و به دانشگاه شیکاگو و رصدخانه مونت ویلسون در کالیفرنیا رفت. این رصدخانه در آن زمان با آیینه‌ای ۲/۵ متری، بزرگ‌ترین تلسکوپ جهان محسوب می‌شد. هابل که کار خود را دیر آغاز کرده بود، بسیار عجله داشت. برای جبران زمان از دست رفته، سریعاً به برخی از عمیق‌ترین و قدیمی‌ترین معماهای ستاره‌شناسی هجوم برد تا پاسخ آن‌ها را بیابد.

در دهه‌ی سال‌های ۱۹۲۰ جهان مکانی آسایش بخش بود. تصور شایع بر این بود که کل جهان تنها از کهکشان راه شیری تشکیل شده است؛ نوار مه‌آلودی از نور که مانند ردی از شیر، عرض آسمان شب را می‌پوشاند. (در حقیقت لغت Galaxy به معنای کهکشان، از کلمه یونانی به معنای شیر گرفته شده است.) «مناظره‌ای بزرگ» در سال ۱۹۲۰ بین این دو ستاره‌شناس در گرفت: هارلو شِپلی از هاروارد و هِبِر کورتیس از رصدخانه لیک. در این مناظره، با عنوان «ابعاد جهان»، آن‌ها به بحث در مورد اندازه کهکشان راه شیری و نیز ابعاد جهان پرداختند. شپلی معتقد بود که کهکشان راه شیری تمام جهان مرئی را تشکیل می‌دهد. از طرف دیگر، کورتیس عقیده داشت که در ورای کهکشان راه شیری «سحابی‌های مارپیچ» قرار دارند؛ توده‌هایی زیبا از ابرهای مارپیچ. (در دهه‌ی سال‌های ۱۷۰۰، امانوئل کانت فیلسوف عقیده داشت که این سحابی‌ها «جهان‌های جزیره‌ای» هستند.)

این مناظره مورد توجه هابل واقع شد. مشکل اینجا بود که اندازه‌گیری فواصل ستارگان یکی از مشکل‌ترین کارها در علم ستاره‌شناسی بوده و (هنوز هم) هست. ستاره درخشانی که در فاصله بسیار دوری قرار دارد، می‌تواند با

یک ستاره کم نور نزدیک اشتباه گرفته شود. این مسئله منشاء بسیاری از مجادلات در ستاره‌شناسی بوده است. هابل برای حل این مشکل نیاز به یک «شمع استاندارد» ۲۰ داشت؛ یک شیء که مقدار نور یکسانی را، در هرکجای جهان، ساطع کند. (درواقع بخش عظیمی از تلاش‌های کیهان‌شناسی تا به امروز شامل یافتن و مدرج کردن چنین شمع استانداردی بوده است. بسیاری از مناظره‌های مهم در ستاره‌شناسی حول این مسئله که این شمع‌های استاندارد تا چه حد قابل اطمینان هستند، می‌گردد.) اگر ستاره‌ای شبیه شمع استاندارد داشته باشیم که در سراسر جهان با شدت یکسان و به صورت یکنواخت نور بدهد، در این‌صورت به‌راحتی می‌توان گفت چنین ستاره‌ای اگر در آسمان چهار برابر ضعیف‌تر بدرخشد، پس دو برابر دورتر از زمین قرار دارد.

یک شب هابل هنگام بررسی عکسی از سحابی مارپیچی آندرومدا، کشف بزرگی انجام داد. آنچه که هابل در آندرومدا یافت، نوعی ستاره متغیر به نام قیفاووسی بود که البته قبلاً به‌وسیله هنریتا لِویت شناسایی شده بود. از قبل مشخص شده بود که نور این ستاره به‌طور منظم با زمان کم و زیاد می‌شود و زمان لازم برای یک دوره کامل با درخشندگی آن متناسب است. هرچه ستاره درخشنده‌تر باشد، دوره نوسانات آن طولانی‌تر خواهد بود. بنابراین تنها با اندازه‌گیری طول این دوره می‌توان روشنایی واقعی ستاره را اندازه گرفت و با مقایسه آن با روشنایی ظاهری ستاره در آسمان، فاصله آن را تا زمین تعیین کرد. هابل دوره تناوب این ستاره را برابر ۳۱/۴ روز اندازه گرفت که در کمال شگفتی معادل فاصله‌ای برابر میلیون‌ها سال نوری است؛ یعنی بسیار دورتر از کهکشان راه شیری. (قطر قرص درخشان کهکشان راه شیری تنها ۱۰۰,۰۰۰ سال نوری است. محاسبات بعدی نشان دادند که هابل در حقیقت تخمین نادقیقی از فاصله آندورمدا ارائه کرده است و این فاصله حدود دو میلیون سال نوری است.)

زمانی که هابل همین روش را در مورد دیگر سحابی‌های مارپیچی به‌کار گرفت، دریافت که آن‌ها نیز کاملاً بیرون از کهکشان راه شیری قرار دارند. به بیان دیگر برای او آشکار بود که این سحابی‌های مارپیچی، خود جهان‌هایی

جزیره‌ای هستند و کهکشان راه شیری ما، تنها یک کهکشان در مجموعه‌ای از کهکشان‌ها است.

به‌این‌ترتیب ناگهان ابعاد جهان، از آنچه تصور می‌شد، بسیار بزرگ‌تر شد. جهانی تنها با یک کهکشان، ناگاه با میلیون‌ها و شاید میلیاردها کهکشان دیگر پر شد. جهانی به قطر تنها ۱۰۰,۰۰۰ سال نوری، ناباورانه به جهانی به قطر میلیاردها سال نوری بدل شد.

این کشف به تنهایی توانست جایگاه هابل را در میان ستاره‌شناسان مستحکم کند. ولی برای هابل، این کافی نبود. اگرچه تنها یافتن فاصله بین کهکشان‌ها، هابل را به چهره‌ای معروف بدل کرده بود، با این‌حال او تصمیم داشت که سرعت حرکت آن‌ها را نیز محاسبه کند.

اثر دوپلر و جهان در حال انبساط

هابل می‌دانست که ساده‌ترین راه محاسبه سرعت اجرام دوردست، مطالعه تغییرات صدا یا نوری است که از خود منتشر می‌کنند. این روش به اثر دوپلر معروف است. زمانی که ماشین‌ها در بزرگراه از کنار ما می‌گذرند، این اثر را تولید می‌کنند. پلیس از اثر دوپلر برای اندازه‌گیری سرعت ماشین‌ها استفاده می‌کند. آن‌ها پرتو لیزر را به ماشین در حال حرکت می‌تابانند. این پرتو پس از برخورد، به ماشین پلیس باز می‌گردد. با تحلیل و بررسی تغییر در بسامد نور لیزر، پلیس می‌تواند سرعت ماشین را محاسبه کند.

اگر ستاره‌ای در حال حرکت به سمت زمین باشد، امواج نوری که منتشر می‌کند، مانند یک آکاردئون فشرده می‌شوند. در نتیجه طول موج آن کوتاه‌تر می‌شود. به‌این‌ترتیب ستاره زرد اندکی آبی به‌نظر می‌رسد (زیرا رنگ آبی طول موج کوتاه‌تری نسبت به رنگ زرد دارد). به‌طور مشابه اگر ستاره‌ای در حال دور شدن از زمین باشد، امواج نوری آن کشیده می‌شوند و در نتیجه طول موج‌های بلندتری ایجاد می‌کنند. بنابراین، ستاره زرد اندکی قرمز به‌نظر می‌آید. هرچه این تغییر بیشتر باشد سرعت ستاره نیز بیشتر است. بنابراین اگر تغییرات بسامد نور ستاره را بدانیم، می‌توانیم سرعت آن را تعیین کنیم.

در سال ۱۹۱۲، ستاره‌شناسی با نام وِستو اِسلیفر دریافت که کهکشان‌ها با سرعت بسیار زیادی در حال دور شدن از زمین هستند. جهان نه فقط بسیار بزرگ‌تر از آن چیزی‌بود که تصور می‌شد بلکه با سرعت باورنکردنی در حال انبساط بود. با چشم پوشی از تغییرات کوچک، او دریافت که کهکشان‌ها از خود یک انتقال به سرخ (و نه انتقال به آبی) نشان می‌دهند. این انتقال به سرخ مسلماً به‌وسیله کهکشان‌هایی که در حال دور شدن از ما هستند، ایجاد می‌شود. کشف اسلیفر نشان داد که جهان، برخلاف تصور نیوتون و اینشتین، دینامیک است.

در تمام سال‌هایی که دانشمندان پارادوکس‌های بنتلی و اولبِرس را مورد مطالعه قرار می‌دادند، هیچ کس به‌طور جدی این احتمال را که جهان در حال انبساط باشد، را در نظر نگرفت. در سال ۱۹۲۸، هابل طی سفر مهمی به هلند با ویلهم دسیتر ملاقات کرد. هابل تحت تاثیر محاسبات دسیتر قرار گرفت که مشخص می‌کردند هرچه کهکشانی دورتر باشد، سریع‌تر حرکت می‌کند. بادکنکی را در نظر بگیرید که کهکشان‌ها بر روی سطح آن قرار گرفته‌اند. وقتی بادکنک بزرگ‌تر شود، کهکشان‌هایی که به‌هم نزدیک‌تر هستند، آهسته‌تر از هم دور می‌شوند. به عبارت دیگر، هرچه به‌هم نزدیک‌تر باشند، آهسته‌تر از هم دور می‌شوند. ولی کهکشان‌هایی که از هم دورترند، بسیار سریع‌تر از هم دور می‌شوند.

ملاقات با دسیتر، هابل را واداشت تا در داده‌های خود به جستجوی ردپایی از ادعای او بپردازد. هابل برای این‌کار از تحلیل و بررسی انتقال به سرخ کهکشان‌ها کمک گرفت. هرچه انتقال به سرخ یک کهکشان بیشتر باشد، سریع‌تر حرکت می‌کند و بنابراین باید در فاصله دورتری قرار داشته باشد. (برطبق نظریه اینشتین انتقال به سرخ یک کهکشان به‌دلیل دورشدن آن از زمین اتفاق نمی‌افتد، بلکه به علت انبساط خود فضای بین زمین و کهکشان ایجاد می‌شود. به بیان دیگر، نور ساطع شده از کهکشان‌های دوردست، به‌دلیل انبساط فضا کشیده شده و بنابراین انتقال به سرخ دارند.)

قانون هابل

پس از بازگشت به کالیفرنیا، هابل به پیشنهاد دسیتر به جستجوی شواهدی از ادعای او در داده‌های خود پرداخت. پس از بررسی ۲۴ کهکشان، مشاهده کرد همان‌طور که معادلات اینشتین پیشگویی کرده بودند، هرچه کهکشان‌ها دورتر باشند با سرعت بیشتری از زمین دور می‌شوند. نسبت بین این دو (سرعت تقسیم بر فاصله) تقریباً عددی ثابت بود. این عدد به ثابت هابل (H) معروف شد. H مهم‌ترین ثابت در علم کیهان‌شناسی محسوب می‌شود، زیرا ثابت هابل نشان می‌دهد که جهان با چه سرعتی در حال انبساط است.

دانشمندان به این فکر افتادند که اگر جهان در حال انبساط باشد، پس احتمالا آغازی دارد. در حقیقت عکس ثابت هابل، می‌تواند به‌طور تقریبی در محاسبه عمر جهان به ما کمک کند. به‌عنوان مثال، نوار ویدئویی ضبط شده از یک انفجار را در نظر بگیرید. در ویدئوی ضبط شده، ذرات ناشی از انفجار را در حال دور شدن از مرکز انفجار می‌بینیم. به‌این‌ترتیب می‌توانیم سرعت دور شدن ذرات را از مرکز انفجار محاسبه کنیم. ولی از طرف دیگر همچنین می‌توانیم ویدئو را به عقب بازگردانیم تا لحظه‌ای که تمام ذرات در یک نقطه متمرکز شوند. از آنجایی‌که سرعت انبساط را از قبل می‌دانیم، می‌توانیم به عقب بازگشته و زمانی را که در آن انفجار رخ داده است محاسبه کنیم.

(در محاسبات ابتدایی هابل، عمر جهان در حدود ۱/۸ میلیارد سال تخمین زده شده بود. این محاسبات منجر به سردرگمی نسل‌های متعددی از ستاره‌شناسان گردید. زیرا این عدد کم‌تر از عمری بود که برای زمین و ستارگان تصور می‌شد. سال‌ها بعد ستاره‌شناسان دریافتند که علت اندازه‌گیری نادرست ثابت هابل، خطا در اندازه‌گیری متغیرهای قیفاووسی در کهکشان آندرومدا بود. در واقع در طول هفتاد سال گذشته «نبرد هابل» به‌منظور تعیین مقدار دقیق ثابت هابل، جریان داشته است. معتبرترین مقدار، امروزه از داده‌های ماهواره WMAP به‌دست آمده است.)

در سال ۱۹۳۱، اینشتین در سفری پربار برای بازدید از رصدخانه مونت ویلسون، ابتدا با هابل ملاقات کرد. او همینکه دریافت جهان واقعاً در حال

انبساط است، ثابت کیهان‌شناسی را «بزرگ‌ترین اشتباه» خود نامید. (متأسفانه حتی یک اشتباه از طرف فرد برجسته‌ای مثل اینشتین، برای متزلزل کردن شالوده کیهان‌شناسی کافی است؛ همانگونه که طی فصل‌های بعدی، هنگام بحث در مورد داده‌های ماهواره WMAP نیز خواهیم دید.) هنگام بازدید همسر اینشتین از رصدخانه ماموت، به او گفته شد که وظیفه این تلسکوپ عظیم‌الجثه تعیین سرانجام نهایی جهان است. خانم اینشتین با بی‌علاقگی پاسخ داد: «همسر من این‌کار را پشت یک پاکت کهنه انجام می‌دهد.»

انفجار بزرگ

کشیش بلژیکی با نام ژرژ لِمِتره، پس از آنکه در مورد نظریه اینشتین مطالبی شنید، مجذوب این ایده شد که این نظریه به‌طور منطقی جهانی در حال انبساط را پیش‌بینی می‌کرد و بنابراین شامل ابتدایی برای جهان نیز می‌شد. از آنجایی‌که دمای گاز با فشرده شدن بالا می‌رود، او دریافت که جهان در ابتدای زمان می‌بایست فوق‌العاده داغ بوده باشد. در سال ۱۹۲۷، او بیان داشت که جهان احتمالاً از یک اَبَراتم با دما و چگالی غیرقابل تصوری نشأت گرفته است. این اَبَراتم ناگهان منفجر شده و جهان در حال انبساطِ هابل را ایجاد کرده است. او چنین نوشت: «سیر تکاملی جهان را می‌توان به یک آتش بازی تشبیه کرد که در حال حاضر به پایان رسیده است؛ آنچه باقی مانده عبارت است از: کمی تکه پاره‌های قرمزرنگ، خاکستر و دود. ما، ناظرانی هستیم که بر روی باقیمانده‌های سرد شده این آتش بازی بزرگ ایستاده‌ایم و افول آهسته خورشیدها را نظاره می‌کنیم و تلاش می‌کنیم درخشندگی از دست رفته منشاء جهان را بیاد آوریم.»

(کسی که برای اولین‌بار ایده اَبَر اتم را مطرح کرد، بازهم کسی نبود، جز ادگار آلن‌پو. او بیان داشت که مواد شکل‌های دیگر ماده را جذب می‌کنند. بنابراین در ابتدای زمان می‌بایست تمرکزی کیهانی از اتم‌ها وجود می‌داشته است.)

لِمِتره با حضور مداوم در کنفرانس‌های فیزیکی و مطرح ساختن ایده

خود، دیگر دانشمندان را به ستوه آورده بود. آن‌ها با حوصله به حرف‌های او گوش می‌دادند و سپس به‌راحتی ایده او را رد می‌کردند. آرتور ادینگتون، یکی از برجسته‌ترین فیزیکدانان زمان خود گفته است: «به‌عنوان یک دانشمند، نمی‌توانم به‌راحتی بپذیرم که وضعیت فعلی اجرام تنها با یک شلیک شروع شده باشد... برای من تصور آغازی ناگهانی برای نظم موجود طبیعت، غیرممکن است.»

ولی با گذشت سال‌ها، اصرار او به مرور زمان جامعه فیزیکدانان را به زانو در آورد. سرانجام، اصلی‌ترین مطرح کننده نظریه انفجار بزرگ، توانست قانع‌کننده‌ترین دلیل را برای این نظریه ارائه کند.

جورج گاموف، دلقک کیهانی

تلاش‌های هابل، این نجیب‌زاده خبره علم ستاره‌شناسی، از طریق چهره شاخص دیگری به نام جورج گاموف ادامه یافت. در بسیاری از موارد، گاموف درست نقطه مقابل هابل بود: دلقک، نقاش کارتون، شوخ طبع و مولف بیست کتاب در زمینه علم، که بسیاری از آن‌ها برای نوجوانان نوشته شده بود. نسل‌های متعددی از فیزیکدانان (از جمله خود من) با کتاب‌های مفرح و آموزنده او درباره فیزیک و کیهان‌شناسی، کار خود را آغاز کردند. در زمانی که ظهور نظریه‌های نسبیت و کوانتوم انقلابی را در جامعه علمی بپا کردند، کتاب‌های او در این تلاطم کاملاً مستقل بودند؛ در آن زمان، آن‌ها تنها کتاب‌های معتبر موجود در زمینه علم پیشرفته برای نوجوانان بودند.

گاموف که یکی از نوابغ خلاق زمان خود به شمار می‌رفت، صرفاً از این خشنود بود که در انبوهی از داده‌های خام، به‌کار سخت مشغول است. او «همه چیزدانی» بود که ایده‌هایش به‌سرعت مباحث فیزیک هسته‌ای، کیهان‌شناسی و حتی تحقیقات DNA را تغییر داد. شاید بی‌دلیل نبوده است که اتوبیوگرافی جیمز واتسون، کسی که به‌همراه فرانسیس کریک پرده از راز

مولکول‌های DNA برداشت*، «ژن‌ها، گاموف و دختران» نام گرفت. یکی از دوستان گاموف، به نام اِدوارد تِلِر، گفته است: «۹۰ درصد نظریه‌های پیشنهادی گاموف اشتباه بودند و فهمیدن این موضوع هم بسیار ساده بود. ولی او اهمیتی نمی‌داد. گاموف از آن دسته انسان‌هایی بود که تعصب خاصی بر روی‌یافته‌های خود نداشت. او ایده‌های خود را بدون تعصب دور می‌ریخت و مثل یک شوخی به آن‌ها نگاه می‌کرد.» ولی با این‌حال ۱۰ درصد باقی‌مانده ایده‌هایش، ادامه می‌یافتند و چشم انداز علم را تغییر می‌دادند.

گاموف در سال ۱۹۰۴، در سال‌های اولیه انقلاب سوسیالیستی، در اودسای روسیه متولد شد. او در خاطراتش اینگونه نوشته است: «در آن زمان، هنگامی که اودِسا به‌وسیله کشتی‌های دشمن بمباران می‌شد یا زمانی که نیروهای اعزامی یونانی، فرانسوی یا انگلیسی در خیابان‌های اصلی شهر، به نبرد در مقابل نیروهای سنگر گرفته سفید، قرمز یا حتی سبزپوش روسی می‌پرداختند و باز هم زمانی که نیروهای روسی، از رنگ‌های مختلف، با یکدیگر می‌جنگیدند، اغلب کلاس‌های درس تعطیل می‌شدند.»

تحول در زندگی گاموف زمانی رخ داد که او به‌طور مخفیانه کمی از نان مراسم عشاء ربانی را با خود از کلیسا به خانه آورد. زمانی که او از درون یک میکروسکوپ به نان نگریست، نتوانست در تکه‌های نان عشاء ربانی، تفاوتی را نسبت به نان معمولی مشاهده کند، تفاوتی که نشانگر وجود جسمانیت عیسی مسیح باشد. او نوشته است: «فکر می‌کنم چنین آزمایشی مرا به یک دانشمند تبدیل کرد.»

گاموف در دانشگاه لنینگراد در محضر فیزیکدانانی مثل الکساندر فریدمن به تحصیل پرداخت. بعدها در دانشگاه کپنهاگ افتخار آشنایی با بسیاری از بزرگان فیزیک، مثل نیلز بور را پیدا کرد. (در سال ۱۹۳۲ او به‌همراه همسرش تلاشی ناموفق برای ترک اتحاد جماهیر شوروی داشتند. آن‌ها قصد داشتند با استفاده از قایق، از طریق دریا، از کریمه به ترکیه بگریزند. البته

---

* برای اطلاعات بیشتر به ژنوم خوش آمدید و ٦ نظریه‌ای که جهان را تغییر داد از همین مجموعه مراجعه کنید. ناشر

بعدها گاموف هنگام شرکت در کنفرانس فیزیک در بروکسل موفق به این‌کار شد که ماحصل آن صدور حکم اعدام از جانب دولت اتحاد جماهیر شوروی برای او بود.)

گاموف به سرودن اشعار هجو برای دوستانش شهرت داشت. اغلب آن‌ها غیرقابل چاپ هستند، ولی یکی از این اشعار که بیانگر تشویش کیهان‌شناسان در برخورد با عظمت اعداد کیهانی و نشانه حیرت در چهره‌هایشان است، این چنین است:

مرد جوانی بود که معتقد به تثلیث بود
کسی که جذر بی‌نهایت را گرفت
ولی تعداد ارقام،
او را چنان نگران کرد که
ریاضیات را به‌دور انداخت و الهیات را برگزید.

در دهه ۱۹۲۰ در روسیه، گاموف با حل معمای چگونگی واپاشی پرتوزا، به اولین موفقیت بزرگ خود نائل آمد. در نتیجه تلاش‌های مادام کوری و دیگران، دانشمندان می‌دانستند که اتم اورانیم ناپایدار است و پرتوهایی را به صورت پرتو آلفا (متشکل از هسته اتم هلیم) منتشر می‌کند. ولی براساس مکانیک نیوتونی، انتظار می‌رود نیروی هسته‌ای مرموزی که هسته را متمرکز نگه می‌دارد، از این انتشار جلوگیری به عمل آورد. سوآل این بود، که این واپاشی چگونه امکان‌پذیر است؟

گاموف (به‌همراه آر دبلیو گورنی و ای یو کاندون) دریافت که دلیل امکان‌پذیر بودن واپاشی پرتوزا این است که در نظریه کوانتوم، مطابق اصل عدم قطعیت، هرگز نمی‌توان مکان و سرعت یک ذره را به دقت تعیین کرد؛ بنابراین احتمال کمی وجود دارد که ذره با تونل زدن از درون یک سد به بیرون نفوذ کند. (امروزه ایده تونل زنی در فیزیک بسیار اهمیت داشته و در تشریح ویژگی‌های وسایل الکترونیکی، سیاهچاله‌ها و انفجار بزرگ به‌کار می‌رود. خود جهان نیز ممکن است از طریق تونل زنی ایجاد شده باشد.)

برای درک بهتر مسئله، گاموف فردی را در زندانی تصور کرد که با

دیوارهای بلند محصور شده است. در دنیای کلاسیک نیوتونی، فرار غیرممکن است. ولی در دنیای مرموز نظریه کوانتوم، شما نمی‌دانید که زندانی دقیقاً در چه نقطه‌ایست و با چه سرعتی حرکتی می‌کند. اگر زندانی به اندازه کافی با دیوارهای زندان برخورد کند، این امکان را می‌توان محاسبه کرد که روزی بتواند از درون دیوار عبور کند. این احتمال در تناقض آشکار با مکانیک نیوتونی و همین‌طور عقل سلیم است. ولی با این حال، احتمال محدود و قابل محاسبه‌ای وجود دارد که او را بتوان خارج از دیوارهای زندان یافت. برای اجرام بزرگی مثل زندانی، باید مدت زمان طولانی، حتی بیشتر از عمر جهان، صبر کرد تا این رخداد معجزه‌گونه به وقوع بپیوندد. ولی برای ذرات آلفا و ذرات زیراتمی، از آنجا که این ذرات مدام با مقادیر بزرگ انرژی به دیواره‌های هسته برخورد می‌کنند، این پدیده همواره رخ می‌دهد. بسیاری معتقدند که گاموف به خاطر این کشف مهم مستحق دریافت جایزه نوبل بوده است.

در دهه ۱۹۴۰، توجه گاموف از نسبیت به کیهان‌شناسی معطوف شد. از نظر او علم کیهان‌شناسی، تا به آن روز، اقلیمی قدرتمند و کشف نشده به شمار می‌رفت. تمام آنچه که در آن زمان در مورد جهان می‌دانستند این بود که آسمان تاریک است و جهان در حال انبساط. گاموف با این ایده کار خود را آغاز کرد: پیداکردن هر مدرک یا فسیلی که نشان‌دهنده وقوع انفجار بزرگ در میلیاردها سال پیش باشد. از آنجا که کیهان‌شناسی، به معنای واقعی کلمه، یک علم تجربی نیست، این ایده مایوس کننده به‌نظر می‌رسید. هیچ آزمایشی را نمی‌توان برای تائید صحت انفجار بزرگ ترتیب داد. کیهان‌شناسی بیشتر شبیه به یک داستان کارآگاهی است. علمی که برخلاف یک علم تجربی، که در آن می‌توانید آزمایش‌های دقیقی ترتیب دهید، تنها مبتنی بر مشاهده است؛ یعنی شما تنها به‌دنبال آثار یا شواهدی در صحنه جرم هستید.

آشپزخانه هسته‌ای جهان

کار بعدی گاموف، کشف بزرگ او در مورد واکنش‌های هسته‌ای بود.

واکنش‌هایی که منشاء تولد سبک‌ترین عناصر موجود در جهان هستند. گاموف این یافته را «آشپزخانه تاریخی جهان» نامید؛ جایی‌که در آن تمام عناصر جهان، در ابتدا با کمک گرمای شدید ناشی از انفجار بزرگ تولید شده‌اند. امروزه این فرایند «سنتز هسته‌ای» یا محاسبه فراوانی نسبی عناصر در جهان نامیده می‌شود. گاموف عقیده داشت که زنجیره‌ای پیوسته وجود دارد که با عنصر هیدروژن آغاز می‌شود. حلقه‌های دیگر آن را می‌توان تنها با افزودن پی در پی ذرات بیشتر به اتم هیدروژن ایجاد کرد. او عقیده داشت تمام عناصر شیمیایی جدول تناوبی مندلیف، می‌توانند در دمای انفجار بزرگ ایجاد شوند.

گاموف و دانشجویانش معتقد بودند جهان در لحظه آفرینش مجموعه فوق‌العاده داغی از پروتون‌ها و نوترون‌ها بوده است، بنابراین ممکن است با وقوع همجوشی هسته‌ای، اتم‌های هیدروژن با هم ترکیب شده و اتم هلیم را ساخته باشند. در ستارگان، یا به‌عنوان مثال در یک بمب هیدروژنی، دما آنقدر زیاد است که پروتون‌های اتم هیدروژن با شدت به‌هم برخورد کرده و پس از ترکیب، هسته اتم هلیم را می‌سازند. به‌همین ترتیب، برخوردهای بعدی بین هیدروژن و هلیم، عناصر بعدی را شامل لیتیم و برلیم، تولید می‌کنند. گاموف اینطور تصور کرد که عناصر بالاتر، با افزودن پی در پی ذرات زیراتمی به هسته ایجاد می‌شوند. به بیان دیگر، تمام عناصر موجود و هر آنچه که جهان مرئی را تشکیل می‌دهد، در گرمای غیرقابل تصور گوی آتشین اولیه شکل گرفته‌اند.

گاموف پس از رسم نمای کلی برنامه بلندپروازانه خود، به رسم معمول، وظیفه پرداختن به جزئیات آن را به رالف آلفِر، یکی از دانشجویان دکترای خود واگذار کرد. او پس از تکمیل این مقاله، دست از شوخ طبعی برنداشت و نام هانس بِته فیزیکدان را بدون اطلاع خودش زیر مقاله قرار داد. این مقاله آلفا ـ بتا ـ گاما نام گرفت و مورد تحسین واقع شد.

کشف گاموف بیانگر این موضوع بود که انفجار بزرگ برای ایجاد هلیم، که حدود ۲۵ درصد جرم جهان را تشکیل می‌دهد، به اندازه کافی داغ بوده است. اگر در جهت عکس نگاه کنیم، یکی از دلایل بزرگ در تائید وجود

انفجار بزرگ می‌تواند همین مسئله باشد. با نگریستن به بسیاری از ستارگان و کهکشان‌ها در می‌یابیم که آن‌ها از حدود ۷۵ درصد هیدروژن و ۲۵ درصد هلیم و مقادیر ناچیزی از عناصر دیگر تشکیل شده‌اند. (دیوید اِسپرگِل، اخترفیزیکدان دانشگاه پرینستون، گفته است: «هربار که بادکنکی می‌خرید، اتم‌هایی را در دست می‌گیرید که [برخی از آن‌ها] در اولین دقایق انفجار بزرگ ایجاد شده‌اند.»)

اما گاموف در محاسبات خود با مشکلاتی مواجه شد. نظریه او برای عناصر سبک به خوبی عمل می‌کرد. ولی عناصری با ۵ و ۸ نوترون و پروتون، شدیداً ناپایدار بودند و در نتیجه نمی‌توانستند برای ایجاد عناصری با تعداد بیشتری نوترون و پروتون به‌عنوان واسطه عمل کنند. به‌این‌ترتیب این زنجیره، در اجرام ۵ و ۸ گسسته می‌شد. از آنجایی‌که جهان از عناصر سنگین، با نوترون‌ها و پروتون‌های بسیار بیشتر از ۵ یا ۸ تشکیل شده است، این مسئله به معمایی کیهانی بدل شد. شکست نظریه گاموف در تعمیم به اجرام فراتر از ۵ و ۸، سال‌ها با سرسختی تمام، تصور او را مبنی بر اینکه تمامی عناصر جهان در لحظه انفجار بزرگ ایجاد شده‌اند در هم ریخت.

تابش ریز موج زمینه

در همان زمان، ایده دیگری توجه گاموف را به خود جلب کرد: اگر انفجار بزرگ چنان داغ بوده، شاید هنوز مقداری از گرمای باقی مانده از آن، امروز در جهان موجود باشد. انفجار بزرگ شاید آنقدر بزرگ بوده که پس لرزه آن هنوز جهان را با تابشی یکنواخت پر کرده است.

در سال ۱۹۴۶ گاموف فرض کرد که انفجار بزرگ از گلوله‌ای فوق‌العاده داغ حاوی ذرات هسته‌ای آغاز شده است. از آنجا که در آن زمان در مورد ذرات زیراتمی، غیر از الکترونها، پروتون‌ها و نوترون‌ها، اطلاعات زیادی نداشتند، فرضی که گاموف درنظر گرفت منطقی به‌نظر می‌رسید. او دریافت که با محاسبه دمای این توپ هسته‌ای، می‌توان کمیت و کیفیت پرتوافشانی آن را نیز محاسبه کرد. دو سال بعد گاموف نشان داد که تابش گسیل شده از این

هسته اَبَرداغ، درست شبیه به «تابش جسم سیاه»[1] است. تابش جسم سیاه، نوع خاصی از پرتوافشانی است که از یک جسم داغ منتشر می‌شود؛ این جسم تمام نور برخورد کننده با خود را جذب کرده و طبق الگویی مشخص آن‌ها را باز می‌تاباند. به‌عنوان مثال خورشید، گدازه‌های آتشفشان، زغال‌های داغ در آتش یا سرامیک‌های داغ درون کوره همه به رنگ زرد ـ قرمز گداخته می‌شوند دارای تابش جسم سیاه هستند. (تابش جسم سیاه، اولین‌بار در سال ۱۷۹۲، به‌وسیله سازنده مشهور ظروف چینی، توماس وِجوود کشف شد. او مشاهده کرد زمانی که مواد خام درکوره پخته می‌شوند، با افزایش دما، رنگ آن‌ها از سرخ به زرد و سپس به سفید تغییر می‌کند.)

این موضوع از این نظر اهمیت دارد که با اندازه‌گیری طیف رنگی جسم داغ، می‌توان به‌طور تقریبی دمای آن را نیز به‌دست آورد و برعکس. فرمول دقیقی که بیانگر رابطه بین دمای جسم داغ با طیف تابش آن است، اولین‌بار به‌وسیله ماکس پلانک در سال ۱۹۰۰ ارائه شد و به تولد نظریه کوانتوم منجر گردید. (در حقیقت این یکی از روش‌هایی است که دانشمندان به کمک آن دمای خورشید را تعیین می‌کنند. خورشید اساساً نور زرد می‌تاباند. رنگ زرد با دمای حدوداً ۶۰۰۰ درجه کلوین متناظر است. به‌این‌ترتیب دمای اتمسفر خارجی خورشید را تعیین می‌کنیم. همچنین، دمای سطحی ستاره آلفای جبار ـ یک غول سرخ ـ برابر ۳۰۰۰ درجه کلوین است: دمای متناظر با جسم سیاهی به رنگ سرخ یا دمای یک تکه زغال گداخته.)

گاموف، در سال ۱۹۴۸، در مقاله‌ای برای اولین‌بار این فرضیه را مطرح کرد که تابش ناشی از انفجار بزرگ دارای مشخصاتی ویژه، شبیه تابش جسم سیاه است. مهم‌ترین ویژگی تابش جسم سیاه دمای آن است. در مرحله بعدی، گاموف می‌بایست دمای فعلی تابش جسم سیاه را محاسبه می‌کرد.

رالف آلفر، دانشجوی دکترای گاموف، به‌همراه دیگر شاگرد او، رابرت هرمن، تلاش کردند تا محاسبات گاموف را با تعیین دما تکمیل کنند. گاموف نوشت «پس از پیگیری روند طی شده، از زمان لحظات ابتدایی جهان تا به

1. Black body radiation

امروز، دریافتیم که از آن زمان تاکنون، جهان باید تا حدود ۵ درجه بالای صفر مطلق، خنک شده باشد.»

در سال ۱۹۴۸، آلفر و هرمن مقاله‌ای منتشر کردند که در آن با جزئیات به دلائلی پرداختند که نشان می‌داد چرا دمای پس‌تاب ناشی از انفجار بزرگ باید در زمان حال ۵ درجه بالای صفر مطلق باشد. (تخمین آن‌ها به‌طور قابل توجهی نزدیک به آن چیزی است که امروزه می‌دانیم؛ دمای صحیح ۲/۷ درجه بالای صفر مطلق است.) بر طبق ادعای آن‌ها، در زمان حال نیز این تابش ریزموج باید هنوز در سراسر جهان موجود باشد و کیهان را با پس‌تابشی یکنواخت پر کند.

(دلیل این امر چنین است: تا سال‌ها پس از انفجار بزرگ، دمای جهان آنقدر زیاد بوده که یک اتم به محض ایجاد، به‌ناچار از هم متلاشی می‌شده است. بنابراین در این دوره، الکترون‌های آزاد زیادی وجود داشتند که می‌توانستند نور را متفرق سازند. به‌این‌ترتیب جهان می‌بایست مات باشد و نه شفاف. هر پرتوی نوری که در این جهان اَبَرداغ حرکت کند، پس از طی مسیر کوتاهی جذب خواهد شد و بنابراین جهان به صورت مات و مه‌آلود دیده می‌شود. بعد از ۳۸۰,۰۰۰ سال، دما به ۳۰۰۰ درجه افت کرد. در دمای پایین‌تر از این، اتم‌ها دیگر به‌دلیل برخورد با یکدیگر متلاشی نمی‌شدند. در نتیجه اتم‌های پایدار توانستند شکل بگیرند و پرتوهای نوری حالا می‌توانستند بدون اینکه توسط الکترون‌ها جذب شوند برای سال‌ها در طول کیهان سفر کنند. به‌این‌ترتیب برای اولین‌بار، فضای خالی شفاف شد. در نتیجه این تابش که دیگر بی‌درنگ پس از انتشار جذب نمی‌شد، هم‌اکنون سراسر جهان را می‌پیماید.)

زمانی که آلفر و هرمن محاسبات نهایی خود را در مورد دمای جهان به گاموف نشان دادند، او شدیداً مایوس شد. دمای محاسبه شده به اندازه‌ای کوچک بود که اندازه‌گیری آن بسیار مشکل به‌نظر می‌رسید. یک سال طول کشید تا گاموف بالاخره صحت جزئیات محاسبات آن دو را پذیرفت. ولی در عین حال گاموف از اینکه روزی بتواند چنین تابش ضعیفی را اندازه‌گیری کند،

کاملاً مایوس شد. تجهیزات موجود در دهه ۱۹۴۰ برای اندازه‌گیری این پس‌تاب ضعیف، ناکافی بودند. (در محاسبه‌ای دیگر، گاموف با استفاده از یک فرض ناصحیح، توانست دمای تابش را تا ۵۰ درجه بالا آورد.)

گاموف و شاگردانش مجموعه‌ای از سخنرانی‌ها را برای معرفی کار خود ترتیب دادند. ولی بدبختانه نتایج مبتنی بر پیشگویی آن‌ها پذیرفته نشد. آلفر گفته است «ما انرژی زیادی صرف کردیم تا کار خود مطرح کنیم ولی هیچ کس ذره‌ای ارزش قائل نشد؛ هیچ کس نگفت که این دما را می‌توان اندازه گرفت... بنابراین در فاصله سال‌های ۱۹۴۸ تا ۱۹۵۵ به نوعی دچار یاس شدیم.»

گاموف، با جسارت بسیار، از طریق کتاب‌ها و سخنرانی‌های خود تبدیل به شخصیت پیشتازی شد که به تنهایی نظریه انفجار بزرگ را به پیش می‌بُرد. اما در رقابتی آتشین، همتای خود را بسیار همرتبه خود یافت. درحالیکه گاموف می‌توانست مخاطبان را با بذله گویی‌ها و لطیفه‌های خنده‌دار مجذوب کند، فِرد هویل قادر بود با استعداد و زیرکی مطلق و جسارت سلطه جویانه بر مخاطبان خود غالب شود.

فِرد هویل، مخالف‌خوان

تابش پس‌زمینه ریزموج، دومین دلیل برای تائید صحت نظریه انفجار بزرگ محسوب می‌شود. کسی که برخلاف انتظار و از طریق تشریح سنتز هسته‌ای، سومین دلیل قانع‌کننده را برای وجود انفجار بزرگ ارائه کرد، فرد هویل بود. او تمام زندگی تخصصی خود را در تلاش برای رد کردن نظریه انفجار بزرگ سپری کرد.

هویل تجسم شخصیت یک نخاله آکادمیک بود. مخالف‌خوانی با استعداد که دانش مرسوم را با روش ستیزه جویانه خود، به مبارزه می‌طلبید. درحالیکه هابل، با منش یک نجیب‌زاده آکسفوردی رقابت می‌کرد و گاموف، دلقک سرگرم کننده و دانشمندی همه چیزدان بود که می‌توانست شنوندگان را با لطیفه‌ها، شعرها و شوخی‌های خود مجذوب کند، شیوه هویل به یک سگ بولداگ خشن شبیه بود. به‌نظر می‌رسید که او اصلاً به راهروهای قدیمی

دانشگاه کمبریج، یعنی خواستگاه نیوتون، تعلق ندارد.

هویل در سال ۱۹۱۵ در شمال انگلستان متولد شد؛ پسر یک تاجر پارچه، در منطقه‌ای مملو از صنایع پشم. در دوران کودکی، او مبهوت علم بود؛ رادیو تازه به روستا آمده بود و طبق گفته خودش، بیست تا سی تن از افراد روستا مشتاقانه خانه‌های خود را به گیرنده‌های رادیوئی مجهز کرده بودند. ولی نقطه عطف زندگی او زمانی بود که یک تلسکوپ از پدر و مادرش هدیه گرفت.

روش مبارزه‌جویانه هویل از همان دوران کودکی آغاز شد. او در سن سه سالگی جدول ضرب را یاد گرفت. پس از آن معلمش از او خواست که اعداد رومی را هم یاد بگیرد. او به شوخی می‌گوید: «یک نفر چقدر می‌تواند احمق باشد که به‌جای ۸ بنویسد VIII؟» ولی زمانی که فهمید برطبق قانون باید به مدرسه برود، اینگونه نوشت: «در آن زمان من با دلخوری تمام اینگونه نتیجه گرفتم که در دنیایی به دنیا آمده‌ام که به‌وسیله‌ی یک هیولای وحشی بنام قانون احاطه شده که هم کاملاً قدرتمند است و هم کاملاً احمق.»

سرکشی او در مقابل مقامات مسئول در برخوردش با یکی دیگر از معلمانش نیز دیده می‌شود. معلم به دانش آموزان گفت که گل بخصوصی تنها پنج گلبرگ دارد. برای اینکه ثابت کند معلم اشتباه می‌کند، گلی را به کلاس آورد که شش گلبرگ داشت. برای چنین نافرمانی گستاخانه‌ای، معلم سیلی محکمی به گوش چپ او نواخت. (هویل بعدها از ناحیه این گوش ناشنوا شد.)

نظریه حالت پایدار

در دهه ۱۹۴۰، نظریه انفجار بزرگ چیزی نبود که بتواند هویل را قانع کند. یکی از ضعف‌های این نظریه آن بود که هابل به‌دلیل خطا در اندازه‌گیری نور کهکشان‌های دوردست، عمر جهان را به اشتباه ۱/۸ میلیارد سال اندازه گرفته بود. زمین‌شناسان ادعا کردند که زمین و منظومه شمسی احتمالاً میلیاردها سال عمر دارند. چگونه جهان می‌توانست جوان‌تر از سیارگانش باشد؟

هویل مصمم شد به‌همراه توماس گولد و هرمان بوندی، رقیبی برای این نظریه بیابد. شایعاتی وجود دارد مبنی بر اینکه نظریه آن‌ها، یعنی نظریه حالت

پایدار، الهام گرفته از یک فیلم ارواح در سال ۱۹۴۵، به نام مرگ شب و با بازی مایکل رِد گِریو، بوده است. این فیلم مجموعه‌ای از داستان‌های ارواح است. نکته مهیج فیلم این است که در صحنه آخر، گره جالبی وجود دارد: فیلم همانگونه که آغاز شده بود، به پایان می‌رسد. بنابراین فیلم دایره‌وار است؛ بدون ابتدا و انتها. برخی معتقدند که این سه نفر، با الهام از این فیلم، نظریه‌ای را برای جهان ارائه کردند که ابتدا و انتهایی نداشت. (گولد بعدها پرده از این داستان برداشت. او به یاد می‌آورد: «فکر می‌کنم ما آن فیلم را ماه‌ها قبل دیده بودیم و بعد از اینکه من حالت پایدار را ارائه کردم، به آن‌ها گفتم آیا این کمی شبیه به مرگ شب نیست؟»)

در مدلی که این سه نفر از جهان ارائه کردند، بخش‌هایی از جهان در حال انبساط است. با این حال ماده جدید به‌طور مداوم از هیچ تولید می‌شود. بنابراین چگالی جهان ثابت باقی می‌ماند. اگرچه این نظریه نمی‌توانست جزئیاتی از نحوه ظاهر شدن رمز آلود ماده را از هیچ ارائه کند، با این حال به سرعت نظر گروهی از سلطنت‌طلبان را که با نظریه انفجار بزرگ مخالف بودند، بخود جلب کرد. از نظر هویل غیر منطقی به‌نظر می‌رسید که یک انفجار آتشین بتواند از «هیچ» ظاهر شود و کهکشان‌ها را به تمام جهات پرتاب کند؛ او پیدایش نرم و آرام جرم را از «هیچ» ترجیح می‌داد. جهان او مستقل از زمان بود. نه آغازی داشت نه پایانی، بلکه فقط وجود داشت.

(جدال بین انفجار بزرگ و حالت پایدار شبیه به جدال بین زمین‌شناسی و علوم دیگر بود. در علم زمین‌شناسی مناقشه کهنی بین یکسان‌گرایی [باور به این موضوع که زمین با تغییرات تدریجی در گذشته شکل گرفته است] و کاتاستروفیسم [که معتقد است که زمین توسط انقلاب‌های ناگهانی طبیعی به این شکل تغییر یافته است] وجود دارد. اگرچه یکسان‌گرایی هنوز ویژگی‌های زمین‌شناسی و بوم شناختی بیشتری از زمین را توضیح می‌دهد، ولی امروزه هیچ کس نمی‌تواند تاثیر برخورد دنباله‌دارها و خرده سیارات را با زمین انکار کند. برخوردهایی که باعث انقراض دسته جمعی گونه‌های زنده شده‌اند یا با رانش صفحات سازنده پوسته زمین موجبات جدا شدن و حرکت قاره‌ها را

فراهم آورده‌اند.)

گفتگوهای بی بی سی

هویل هرگز از شرکت در یک مبارزه جانانه طفره نمی‌رفت. در سال ۱۹۴۹، هویل و گاموف از طرف بی بی سی دعوت شدند تا در مورد منشاء جهان به مناظره بنشینند. در طول برنامه، هویل ضربه‌ای به نظریه رقیب وارد کرد که تاریخ ساز شد. او صادقانه گفت: «تمام این نظریه‌ها براساس این فرض بنا شده‌اند که تمام مواد در زمان مشخصی در گذشته دور، در یک انفجار بزرگ ایجاد شده‌اند.» نامگذاری انجام شد. نظریه رقیب به‌وسیله بزرگ‌ترین دشمن آن رسماً «انفجار بزرگ» نام گرفته بود. (در طول سال‌ها طرفداران انفجار بزرگ تلاش کردند تا نام آن را تغییر دهند. آن‌ها از معنای عامیانه نام انفجار بزرگ و این حقیقت که به‌وسیله بزرگ‌ترین دشمنش نام نهاده شده بود، ناراضی بودند. از طرف دیگر، افراد حساس نسبت به ادبیات نامگذاری نیز از این اسم به‌دلیل نادرست بودنش ناراضی بودند. نخست اینکه انفجار بزرگ اصلاً بزرگ نبود چون از یک تکینگی[1] فوق‌العاده کوچک، بسیار کوچک‌تر از یک اتم، نشات می‌گرفت و دوم اینکه انفجاری نیز در کار نبود، زیرا که هوایی در فضا وجود نداشت. در آگوست سال ۱۹۹۳، نشریه *Sky and Telescope* مسابقه‌ای ترتیب داد تا نام جدیدی برای نظریه انفجار بزرگ بیابد. در این مسابقه سیزده هزار پیشنهاد ارائه شد، ولی داوران موفق نشدند نام بهتری را در این بین انتخاب کنند.)

مجموعه برنامه‌های تحسین برانگیز هویل در بی بی سی، باعث شد او نزد یک نسل کامل از مردم اعتبار پیدا کند. در دهه ۱۹۵۰، بی بی سی در بعداز ظهر هر جمعه، گفتگوهای زنده‌ای را ترتیب می‌داد. در یکی از این برناه‌ها، مهمان اصلی از حضور انصراف داد و تهیه‌کنندگان مجبور شدند جایگزینی بیابند. آن‌ها با هویل تماس گرفتند و او دعوت‌شان را پذیرفت.

---

1. Singularity

سپس آن‌ها به پرونده هویل مراجعه کردند و یادداشتی دیدند مبنی بر اینکه «از این شخص استفاده نکنید.»

برحسب اتفاق، تهیه‌کنندگان این برنامه اخطار مکتوب تهیه‌کننده پیشین را نادیده گرفتند. به‌این‌ترتیب هویل موفق به اجرای پنج نطق نافذ برای جهانیان گردید. این برنامه کلاسیک توانست عمیقاً مردم را به خود جذب کند و به نوعی، الهام‌بخش نسل بعدی ستاره‌شناسان باشد. ستاره‌شناسی به نام والاس سارجِنت، تاثیر این مجموعه برنامه را بر روی خود اینگونه به یاد می‌آورد: «زمانی که ۱۵ ساله بودم شنیدم که فرد هویل مجموعه سخنانی را با عنوان طبیعت جهان در بی بی سی ایراد می‌کند. تصور اینکه دما و چگالی مرکز خورشید را می‌دانیم بسیار هیجان انگیز و غیرمنتظره بود. در سن ۱۵ سالگی این گونه چیزها فراتر از دانش بشری به‌نظر می‌آمد. مسئله فقط اعداد شگفت‌آور نبود، بلکه موضوع این بود که آیا اصلاً می‌توانیم این گونه چیزها را بدانیم؟»

سنتز هسته‌ای در ستارگان

هویل، تصمیم گرفت نظریه حالت پایدار خود را مورد آزمایش قرار دهد. او این ایده را برگزید که براساس آن عناصر جهان، آن‌طور که گاموف می‌گوید در کوره انفجار بزرگ ساخته نشده، بلکه در مرکز ستارگان ایجاد می‌شوند. اگر تمام عناصر شیمیایی، همه بتوانند در گرمای شدید ستارگان ساخته شوند، آنگاه دیگر نیازی به‌وجود انفجار بزرگ نخواهد بود.

هویل و همراهانش در مجموعه‌ای از مقالات در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰، با جزئیات روشن نشان دادند چگونه واکنش‌های هسته‌ای، نه در انفجار بزرگ، بلکه در مرکز یک ستاره، می‌توانند پروتون‌ها و نوترون‌های بیشتری را به هسته هیدروژن و هلیم بیافزاید، تا جایی‌که امکان ایجاد تمام عناصر سنگین تر، حداقل تا آهن فراهم آید. (به‌این‌ترتیب آن‌ها توانستند به این سوآل پاسخ دهند که چگونه عناصر با جرم اتمی بالاتر از ۵ ساخته می‌شوند؛ سوآلی که گاموف را کلافه کرده بود. جرقه‌ای در ذهن هویل باعث

شد که دریابد اگر حالتی ناپایدار و ناشناخته از کربن، متشکل از سه هسته هلیم وجود داشته باشد، می‌تواند آنقدر دوام بیاورد که به صورت یک پل عمل کرده و امکان ایجاد عناصر سنگین‌تر را فراهم آورد. ممکن است این شکل جدید ناپایدار کربن، بتواند در مرکز ستارگان آنقدر عمر کند که با افزودن پیوسته نوترون‌ها و پروتون‌ها امکان شکل‌گیری عناصر بالاتر از ۵ و ۸ را به‌وجود آورد. کشف این شکل ناپایدار کربن روشن ساخت که سنتز هسته‌ای بیشتر در ستارگان رخ داده است تا در انفجار بزرگ. هویل حتی یک برنامه رایانه‌ای بزرگ نوشت که می‌توانست با کمک اصول اولیه، فراوانی نسبی عناصری را که در طبیعت می‌بینیم، تعیین کند.)

اما حتی گرمای شدید مرکز ستارگان نیز برای ایجاد عناصر فراتر از آهن، مثل مس، نیکل، روی و اورانیم، کافی نیست. (تولید انرژی به وسیله همجوشی عناصر بالاتر از آهن به چند دلیل فوق‌العاده مشکل است، مثلاً دافعه پروتون‌ها در هسته و ضعف انرژی پیوند.) برای این دسته از عناصر سنگین به کوره‌ای بسیار بزرگ‌تر نیاز است: ابرنواختر (انفجار ستارگان غول‌پیکر). از آنجایی‌که در فرایند مرگ یک ستاره غول‌پیکر، زمانی که به شدت از هم می‌پاشد، گرما به میلیاردها درجه می‌رسد، در این حالت انرژی کافی برای «پختن» عناصر بالاتر از آهن مهیا می‌شود. به این معنی که اغلب عناصر فراتر از آهن در حقیقت در اتمسفر ستارگان در حال انفجار یا ابرنواخترها ایجاد شده‌اند.

در سال ۱۹۵۷، هویل به‌همراه مارگارت و جفری بِربیج و ویلیام فاولر، مراحل لازم در ساخت عناصر و پیشگویی فراوانی آن‌ها را، با جزئیات دقیق، منتشر کردند. مسائل مطرح شده چنان دقیق، قدرتمند و متقاعد کننده بود که حتی گاموف نیز تصدیق کرد که هویل موفق به ارائه مهیج‌ترین تصویر از سنتز هسته‌ای شده است. گاموف، در همین رابطه، قطعه زیر را به سبک کتاب مقدس بیان کرده است. در ابتدا زمانی که خدا عناصر را می‌آفرید:

«در هیجان شمارش، او فراموش کرد جرم شماره ۵ را بشمرد و بنابراین، طبیعتاً هیچ عنصر سنگین‌تری شکل نگرفت. خدا بسیار ناراحت شد و خواست که جهان

را دوباره از ابتدا بسازد و همه چیز را از اول شروع کند. ولی این بیش از حد ساده بود. بنابراین از آنجایی‌که خدا بود، تصمیم گرفت اشتباه خود را به غیرممکن‌ترین روش جبران کند. و خدا گفت: «بگذار هویل باشد» و هویل به‌وجود آمد. سپس خدا به هویل نگریست... و به او گفت آن‌طور که دوست دارد عناصر سنگین را درست کند. و هویل تصمیم گرفت عناصر سنگین را در ستارگان درست کند و آن‌ها را از طریق انفجار ابرنواختران به فضا پرتاب کند.»

شاهدی برعلیه حالت پایدار

در طول چندین دهه، آرام آرام شواهد متعددی در مقابل جهان حالت پایدار قد علم کردند. هویل محکوم به شکست بود. در نظریه او جهان تکامل نمی‌یابد، بلکه به‌طور پیوسته ماده جدید ایجاد می‌کند. بنابراین به‌نظر می‌رسد که جهان اولیه باید بسیار شبیه به جهان امروز باشد. کهکشان‌هایی که امروزه می‌بینیم باید بسیار شبیه به کهکشان‌های میلیاردها سال پیش باشند. به‌این‌ترتیب اگر نشانه‌هایی از تحولات چشمگیر در مسیر این میلیاردها سال وجود داشته باشد، می‌توان نظریه حالت پایدار را رد کرد.

در دهه ۱۹۶۰، منابعی ناشناخته از نیرویی عظیم در فضا کشف شدند که به اختروش‌ها یا اجرام شبه‌ستاره‌ای معروف شدند. (این اسم چنان مورد توجه واقع شد که بعدها تلویزیونی به این نام تولید شد.) اختروش‌ها مقادیر فوق‌العاده زیادی انرژی تولید کرده و انتقال به سرخ زیادی داشتند که نشان می‌داد آن‌ها در فواصل میلیاردها سال نوری از ما قرار دارند و زمانی که جهان هنوز خیلی جوان بوده است، آسمان را روشن می‌کرده‌اند. (امروزه ستاره‌شناسان بر این باورند که این‌ها کهکشان‌هایی جوان و غول‌پیکراند که محرک آن‌ها نیروی ناشی از سیاهچاله‌های عظیم است.) ما امروزه هیچ مدرکی دال بر وجود اختروش‌ها نمی‌بینیم؛ درحالی‌که برطبق نظریه حالت پایدار آن‌ها باید وجود داشته باشند. این نشان می‌دهد که آن‌ها، در طول میلیاردها سال، از بین رفته‌اند.

مشکل دیگری نیز در مورد نظریه هویل وجود داشت. دانشمندان

دریافتند که مقدار هلیم موجود در جهان، بیشتر از آن چیزی است که نظریه حالت پایدار پیش‌بینی می‌کند. هلیم، گاز آشنای موجود در بادکنک بچه‌ها و بالن‌ها، در حقیقت در زمین کمیاب است؛ درحالی‌که بعد از هیدروژن دومین عنصر فراوان در جهان محسوب می‌شود. در حقیقت هلیم آنقدر نادر است که اولین‌بار در خورشید یافت شد و نه در زمین. (در سال ۱۸۶۸، دانشمندان نور خورشید عبور داده شده از درون منشور را تحلیل کردند. نور منحرف شده به رنگین کمانی از رنگ‌ها و خطوط طیفی شکسته شد. با این‌حال دانشمندان خطوط طیفی ضعیفی را شناسایی کردند که گمان می‌رفت به‌وسیله عنصر ناشناخته‌ای، که قبلاً دیده نشده بود، ایجاد شده باشد. آن‌ها به اشتباه تصور کردند که این عنصر ناشناخته، یک فلز است. از آنجا که اسم اغلب فلزها به «یم» ختم می‌شود، مثل لیتیم و اورانیم، این فلز ناشناخته را نیز با اقتباس از هلیوس ــ نام یونانی خورشید ــ هلیم نام نهادند. بالاخره در سال ۱۸۹۵، هلیم بر روی زمین نیز، در رسوبات اورانیم، یافت شد و دانشمندان در کمال شرمساری دریافتند که هلیم گاز است، نه فلز.)

اگر هلیم، آن‌طور که هویل عقیده داشت، بیشتر در ستارگان ساخته می‌شد، باید بکلی نایاب می‌بود و تنها در نزدیکی مرکز ستارگان یافت می‌شد. ولی تمام داده‌های ستاره‌شناسی نشان دادند که هلیم واقعا فراوان است و ۲۵ درصد جرم جهان را تشکیل می‌دهد. به‌علاوه دیده شد که هلیم به صورت یکنواخت در سرتاسر کیهان توزیع شده است (همان‌طور که گاموف عقیده داشت).

امروزه، می‌دانیم که گاموف و هویل هردو به بخش‌های مختلفی از حقیقت سنتز هسته‌ای دست یافتند. گاموف تصور می‌کرد که تمام عناصر شیمیایی، گرد و غبار و خاکسترهای ناشی از انفجار بزرگ هستند. ولی نظریه او قربانی شکاف موجود بین ذره ۵ و ذره ۸ گردید. هویل تصور کرد تنها با نشان دادن این موضوع که ستارگان، خود تمام عناصر را بدون نیاز به هیچ انفجار بزرگی، می‌سازند، می‌تواند نظریه انفجار بزرگ را از صحنه خارج کند. اما نظریه او نیز پس از مشاهده فراوانی قابل توجه هلیم منتفی شد.

تصاویر گاموف و هویل از سنتز هسته‌ای مکمل هم هستند. همان‌طور که گاموف عقیده داشت، عناصر بسیار سبک تا اجرام ۵ و ۸، واقعاً به‌وسیله انفجار بزرگ ایجاد شده‌اند. امروزه می‌دانیم که انفجار بزرگ باعث تولید بخش اعظم دوتریم، هلیم-۳، هلیم-۴، و لیتیم-۷ موجود در طبیعت شده است. ولی آن‌طور که هویل عقیده داشت عناصر سنگین تر، تا آهن، بیشتر در مرکز ستارگان ایجاد شده‌اند. اگر ما عناصر بعد از آهن را (مثل مس، روی و طلا) که به‌وسیله گرمای فوق‌العاده ابرنواختران ایجاد شده‌اند به این ماجرا بیافزاییم، آنگاه تصویر کاملی خواهیم داشت که فراوانی نسبی تمام عناصر جهان را توضیح می‌دهد. (بنابراین هرگونه نظریه جایگزین در کیهان‌شناسی مدرن امروزی، کار سختی پیش‌رو خواهد داشت: توضیح فراوانی نسبی بیش از صد عنصر در جهان و ایزوتوپ‌های بیشمار آن‌ها.)

ستارگان چگونه زاده می‌شوند

یکی از نتایج فرعی مجادله بر سر سنتز هسته‌ای، توصیف تقریباً کاملی است که برای دوره زندگی ستارگان به‌دست می‌آید. یک ستاره معمولی، مثل خورشید ما، زندگی خود را به صورت توپ بزرگی از هیدروژن پراکنده، با نام پیش ستاره آغاز می‌کند و به مرور زمان تحت تاثیر نیروی گرانش به درون کشیده می‌شود. با شروع به فروریزش، ستاره آغازین به سرعت شروع به چرخش می‌کند. (که اغلب منجر به شکل‌گیری یک سیستم ستاره دوتایی در مداری بیضی شکل یا ایجاد سیاره‌هایی در صفحه چرخش ستاره می‌شود). دمای هسته ستاره نیز به سرعت بالا می‌رود، تا تقریباً به ۱۰ میلیون درجه یا بیشتر می‌رسد. این همان نقطه‌ای است که در آن همجوشی هسته‌های هیدروژن و تبدیل آن‌ها به هلیم اتفاق می‌افتد.

از این پس ستاره مشتعل، ستاره اصلی نامیده می‌شود و ممکن است در حدود ده میلیارد سال بسوزد تا طی این فرایند به‌آرامی هسته‌اش از هیدروژن به هلیم تبدیل شود. خورشید ما در حال حاضر در میانه این فرایند قرار دارد. پس از اینکه دوره سوختن هیدروژن به پایان برسد، خورشید شروع به

سوزاندن هلیم می‌کند که در نتیجه آن بسیار بزرگ شده و ابعاد آن به مدار مریخ می‌رسد. خورشید در این مرحله به یک «غول سرخ» تبدیل می‌شود. پس از اینکه سوخت هلیم در هسته به پایان رسید، لایه‌های بیرونی خورشید از هم پاشیده می‌شود و هسته ستاره به صورت «کوتوله سفید» در ابعاد حدود کره زمین باقی می‌ماند. ستاره‌های کوچک‌تر مثل خورشید ما در فضا به صورت توده‌ای از مواد هسته‌ای مرده، به شکل ستاره کوتوله سفید، به حیات خود پایان می‌دهند.

ولی در ستاره‌هایی که شاید ده تا چهل برابر خورشید جرم دارند، فرایند همجوشی بسیار سریع‌تر پیش می‌رود. زمانی که ستاره به یک اَبَرغول سرخ تبدیل می‌شود، هسته آن به سرعت عناصر سبک‌تر را ایجاد می‌کند و بنابراین به صورت یک ستاره مرکب به‌نظر می‌آید؛ کوتوله‌ای سفید درون غولی سرخ. در این کوتوله سفید، عناصر سبک‌تر از آهن، در جدول تناوبی عناصر تولید می‌شوند. زمانی که فرایند همجوشی به مرحله‌ای می‌رسد که عنصر آهن تولید شود، دیگر انرژی بیشتری از فرایند همجوشی حاصل نمی‌شود. بدین ترتیب این کوره هسته‌ای پس از میلیاردها سال بالاخره خاموش می‌شود. در این لحظه ستاره ناگهان فرو می‌پاشد و با ایجاد فشار عظیمی الکترون‌ها را به‌درون هسته‌ها می‌راند. (در این حالت چگالی به ۴۰۰ میلیارد برابر چگالی آب می‌رسد.) این امر باعث ایجاد دماهایی بالغ بر میلیاردها درجه می‌گردد. انرژی گرانشی فشرده شده در این جسم کوچک، سبب انفجار و ایجاد یک ابرنواختر می‌شود. گرمای فوق‌العاده شدید این فرایند باعث می‌شود که هم جوشی یکبار دیگر آغاز شده و عناصر بعد از آهن در جدول تناوبی شکل‌گیرند.

به‌عنوان مثال ستاره آلفای جبار، یک اَبَرغول سرخ است که آن را به‌راحتی می‌توان در صورت فلکی شکارچی (جبار) مشاهده کرد. این ستاره ناپایدار است؛ هر لحظه امکان دارد به صورت یک ابرنواختر متلاشی شده و مقادیر زیادی از پرتوهای گاما و ایکس را به اطراف خود گسیل کند. زمانی که این اتفاق بیفتد، این ابرنواختر در طول روز نیز قابل رؤیت خواهد بود و در شب

شاید درخشان‌تر از ماه دیده شود. (زمانی تصور می‌شد که ۶۵ میلیون سال پیش، انرژی عظیم ناشی از یک ابرنواختر، باعث از بین رفتن دایناسورها شده است.) در حقیقت یک ابرنواختر، با فاصله حدود ده سال نوری از ما، می‌تواند به تمام حیات موجود در کره زمین خاتمه دهد. خوشبختانه ستاره‌های غول‌پیکری مثل سماک اعزل (آلفای سنبله) و منکب الجبار (آلفای جبار)، بترتیب در فاصله‌های ۲۶۰ و ۴۳۰ سال نوری از ما قرار دارند و به اندازه کافی دور هستند تا در هنگام انفجارشان زمین آسیب جدی نبیند. ولی برخی دانشمندان معتقدند که انهدام جزئی موجودات دریایی در دو میلیون سال پیش با یک انفجار ابرنواختری، مربوط به ستاره‌ای با فاصله ۱۲۰ سال نوری از ما ایجاد شده است.

با این اوصاف، خورشید در حقیقت مادر واقعی زمین نیست. بسیاری از مردم سال‌ها خورشید را به‌عنوان خدا پرستیده‌اند، چون زمین زاده اوست؛ اما فقط بخشی از این امر صحیح است. اگرچه زمین در اصل از خورشید ایجاد شده است (از ذرات گرد و غباری که ۴/۵ میلیارد سال پیش به‌عنوان بخشی از صفحه دایره البروج به دور خورشید می‌چرخیدند)، اما دمای خورشید ما به سختی تنها برای همجوشی هیدروژن به هلیم کافی است. این امر بدان معناست که مادر حقیقی ما، در واقع ستاره‌ای نامشخص یا مجموعه‌ای از ستارگان بوده است که میلیاردها سال پیش در یک انفجار ابرنواختری سحابی‌های اطراف را با عناصر پس از آهن که بدن ما را ایجاد می‌کنند، بنیان گذاشته است. به تعبیری، بدن ما از گرد و غبار باقی مانده از ستارگان درست شده است؛ ستارگانی که میلیاردها سال پیش از بین رفته‌اند.

آنچه از یک انفجار ابرنواختری بر جای می‌ماند، بازمانده کوچکی به نام ستاره نوترونی است. ستاره نوترونی از مواد هسته‌ای جامدی تشکیل شده که در ابعاد شهر منهتن (تقریباً ۳۰ کیلومتر) فشرده شده‌اند. (وجود ستاره‌های نوترونی اولین‌بار در سال ۱۹۳۳، به‌وسیله ستاره‌شناس سویسی، فریتز زوئیکی، پیش‌بینی شدند. اما این ادعا چنان خیالی به‌نظر می‌رسید که تا ده‌ها سال به‌وسیله دانشمندان نادیده گرفته شد.) از آنجا که ستاره‌های نوترونی

تابش‌های نامنظمی منتشر می‌کنند و به‌علاوه سریعاً به دور خود می‌چرخند، شبیه فانوس دریایی هستند که حین چرخش، به اطراف پرتو گسیل می‌کنند. از کره زمین، ستاره‌های نوترونی به صورت ضربان‌دار دیده می‌شوند و به‌همین دلیل است که تپ اختر نیز نامیده می‌شوند.

زمانی که ستاره‌های فوق‌العاده بزرگ، شاید بزرگ‌تر از ۴۰ برابر جرم خورشید، سرانجام به صورت یک ابرنواختر منفجر می‌شوند، ستاره‌ای نوترونی با سه برابر جرم خورشید باقی می‌گذارند. نیروی گرانش چنین ستاره نوترونی آنقدر قوی است که می‌تواند بر نیروی دافعه بین نوترون‌ها غلبه کرده و موجب فروپاشی نهایی ستاره و ایجاد سیاهچاله ــ هیجان‌انگیزترین جرم جهان ــ شود. در فصل ۵ به سیاهچاله‌ها بیشتر خواهیم پرداخت.

فضله پرندگان و انفجار بزرگ

کشف آرنو پِنزیاس و روبرت ویلسون در سال ۱۹۶۵، تیر آخر را به قلب نظریه حالت پایدار وارد کرد. آن‌ها با استفاده از تلسکوپ رادیویی ۷ متری هولمدِل هورن متعلق به آزمایشگاه‌های بِل در نیوجرسی، در جستجوی سیگنال‌های رادیویی از اجرام آسمانی بودند که به امواجی دائمی، ناخواسته و مزاحم برخورد کردند. در ابتدا تصور کردند که احتمالاً خطای دستگاه‌ها باعث دریافت این امواج شده است، زیرا به‌نظر می‌رسید که این امواج به‌طور یکنواخت از تمام جهات آسمان، و نه فقط از جانب یک ستاره یا کهکشان مشخص دریافت می‌شود. با تصور اینکه این امواج ممکن است ناشی از گرد و غبار و آلودگی باشد، آن‌ها به دقت چیزی را که پنزیاس «پوشش سفید مواد عایق» (معمولاً ناشی از فضله پرندگان) می‌نامید و دهانه تلسکوپ رادیویی را می‌پوشاند، کاملاً پاک کردند. با این حال، این امواج حتی بیشتر هم شدند. با اینکه از ماهیت آن اطلاعی نداشتند ولی کاملاً تصادفی به سمت تابش ریز موج زمینه، که گروه گاموف قبلا در سال ۱۹۴۸ پیش‌بینی کرده بود هدایت شدند.

در این مرحله، تاریخ کیهان‌شناسی کمی به کمدی صامت پلیس‌های کیستون

شباهت پیدا می‌کند که در آن سه گروه برای یافتن پاسخ یک سوآل، بدون اطلاع از حضور یکدیگر، به جستجو می‌پردازند. در گروه اول، گاموف، آلفر و هرمن، در سال ۱۹۴۸، نظریه تابش ریز موج زمینه را مطرح کردند. آن‌ها پیش‌بینی کردند که دمای تابش ریز موج، ۵ درجه بالای صفر مطلق است. این گروه به‌دلیل اینکه تجهیزات آن زمان برای آشکارسازی چنین دمایی، به اندازه کافی دقیق نبودند از تلاش برای اندازه‌گیری دمای‌این تابش دست برداشتند. گروه دوم در سال ۱۹۶۵، پنزیاس و ویلسون همین تابش جسم سیاه را یافتند، ولی ماهیت آن برایشان ناشناخته بود. هم‌زمان، گروه سومی به رهبری رابرت دیک از دانشگاه پرینستون، به‌طور مستقل، نظریه گاموف و همکارانش را بار دیگر کشف کرده و با تلاش بسیار به جستجوی تابش زمینه پرداختند. ولی تجهیزات آن‌ها برای یافتن این تابش، خیلی ابتدایی و پیش پا افتاده بود.

این وضعیت خنده‌دار وقتی به پایان رسید که دوستی مشترک، ستاره‌شناسی به نام برنارد بِرک، پنزیاس را از فعالیت رابرت دیک مطلع ساخت. بالاخره پس از اینکه این دو گروه به‌هم پیوستند، معلوم شد که پنزیاس و ویلسون امواجی را آشکار کرده‌اند که از خود انفجار بزرگ سرچشمه گرفته‌اند. برای این کشف تاریخی، پنزیاس و ویلسون در سال ۱۹۷۸ موفق به کسب جایزه نوبل شدند.

به سال ۱۹۵۶، در ماشین کادیلاک، بین هویل و گاموف، مشهورترین حامیان دو نظریه متضاد، رویارویی مهمی صورت گرفت. ملاقاتی که می‌توانست مسیر کیهان‌شناسی را تغییر دهد. هویل می‌گوید: «به یاد می‌آورم که جورج با یک کادیلاک سفید مرا در اطراف می‌چرخاند.» گاموف بار دیگر عقیده خود را برای هویل بازگو کرد؛ که انفجار بزرگ پس‌تابشی را به‌جای گذاشته است که امروزه نیز باید مشاهده شود. محاسبات اخیر گاموف دمای این پس‌تابش را برابر ۵۰ درجه نشان می‌داد. سپس هویل موضوع حیرت‌انگیزی را افشا کرد. هویل از مقاله گمنامی خبر داشت که در سال ۱۹۴۱ به‌وسیله اندرو مک کلِر منتشر شده بود و نشان می‌داد که دمای فضا

نمی‌تواند از ۳ درجه کلوین فراتر رود. در دماهای بالاتر، واکنش‌های جدیدی رخ می‌دهند که در فضا، رادیکال‌های برانگیخته کربن-هیدروژن (CH) و کربن-نیتروژن (CN) تولید می‌کنند. با اندازه‌گیری طیف نوری این مواد شیمیایی می‌توان دمای فضا را تعیین کرد. در حقیقت او دریافت که چگالی مولکولهای CN که در فضا شناسایی کرده بود، بیانگر دمایی در حدود ۲/۳ درجه کلوین است. به بیان دیگر، بدون اینکه گاموف مطلع باشد، در سال ۱۹۴۱، دمای تابش زمینه که برابر ۲/۷ درجه کلوین است، به‌طور غیرمستقیم مشخص شده بود.

هویل اینگونه به یاد می‌آورد: «نمی دانم به‌دلیل راحتی فوق‌العاده کادیلاک بود که ما را منحرف کرد یا این امر که جورج مصرانه دمایی بالاتر از ۳ درجه کلوین و من دمایی در حد صفر درجه کلوین می‌خواستم؛ به‌هرحال ما شانس کشفی را که ۹ سال بعد آرنو پنزیاس و باب ویلسون انجام دادند، از دست دادیم.» اگر گروه گاموف اشتباه عددی نمی‌کردند و به دماهای پایین‌تر می‌رسیدند یا اگر هویل اینقدر خصمانه به نظریه انفجار بزرگ نمی‌نگریست، شاید تاریخ به‌گونه دیگری نوشته می‌شد.

پیامدهای شخصی انفجار بزرگ

کشف تابش ریزموج پس‌زمینه به‌وسیله پنزیاس و ویلسون تاثیری قطعی بر مسیر کار حرفه‌ای گاموف و هویل داشت. نتیجه کار پنزیاس و ویلسون برای هویل به منزله تجربه نزدیک به مرگ بود. بالاخره، در سال ۱۹۶۵ هویل رسماً در نشریه نیچر، شکست خود را اعلام کرد. او تابش ریز موج زمینه و فراوانی هلیم را دلایلی برای رها کردن نظریه حالت پایدار خود اعلام کرد. اما آن چیزی که حقیقتاً او را آزار می‌داد این بود که نظریه حالت پایدارش قدرت پیش‌بینی خود را از دست داده بود: «تصور شایع این است که تائید وجود تابش ریزموج زمینه، باعث از بین رفتن کیهان‌شناسی حالت پایدار گردید، ولی آنچه واقعاً نظریه حالت پایدار را منهدم کرد، مسائل روانشناسانه بود... اینجا در تابش ریزموج زمینه پدیده مهمی وجود داشت که پیش‌بینی نشده بود... برای سال‌های متمادی این مسئله هوش را از من ربوده بود.» (هویل بعدها

خود را بازیافت و با ارائه نسخه‌های جدید نظریه حالت پایدار، به تلاش برای ترمیم نظریه خود پرداخت؛ ولی باورپذیری هرکدام از نسخه‌های بعدی، کم‌تر و کم‌تر شد.)

متأسفانه، وقتی جایگاه برتر گاموف مورد تهدید واقع شد، احساس بدی به او دست داد. چنانکه از لابلای نوشته‌های گاموف استنباط می‌شود، وی از اینکه کارهای او و آلفر و هرمن به ندرت مطرح شد یا اصلاً مطرح نشد، ناراضی بود. علی‌رغم اینکه گاموف در کمال ادب در مورد این احساسش سکوت اختیار کرد، اما این مسئله در نامه‌های خصوصی او کاملاً مشهود است. او بیان داشت که نادیده گرفته شدن کار آن‌ها به‌وسیله فیزیکدانان و تاریخ نویسان علم، غیرمنصفانه بوده است.

اگرچه کار پنزیاس و ویلسون ضربه بزرگی به نظریه حالت پایدار وارد آورد و از طرف دیگر کمک کرد تا نظریه انفجار بزرگ بر روی پایه‌های تجربی استواری قرار گیرد، اما هنوز خلأهای بزرگی در درک ما از ساختار جهان منبسط شونده وجود داشت. به‌عنوان مثال، در دنیای فریدمن، برای درک سیر تکاملی جهان، باید مقدار اُمگا (توزیع میانگین ماده در جهان) را بدانیم. زمانی که مشخص شد ۹۰ درصد جرم موجود در جهان، نه از اتم‌ها و مولکول‌های شناخته شده بلکه از یک ماده جدید ناشناخته به نام «ماده تاریک» تشکیل شده است، تعیین مقدار اُمگا مشکل ساز شد. این‌بار هم اعضاء جامعه ستاره‌شناسی پیشتازان این امر را جدی نگرفتند.

اُمگا و ماده تاریک

داستان ماده تاریک، شاید یکی از عجیب‌ترین بخش‌های علم کیهان‌شناسی باشد. در دهه ۱۹۳۰، ستاره‌شناس مستقل سویسی، فریتز زوئیکی، از کلتک، مشاهده کرد که حرکت کهکشان‌های موجود در خوشه کهکشانی گیسو، به‌درستی بر قانون گرانش نیوتون منطبق نیست. او دریافت که این کهکشان‌ها چنان سریع حرکت می‌کنند که بر طبق قوانین حرکت نیوتون، اعضاء این مجموعه باید به بیرون پرتاب شده و کل مجموعه از هم بپاشد. او اندیشید که

تنها راه حفظ اعضاء این خوشه کهکشانی در کنار هم و جلوگیری از واپاشی آن، این است که ماده موجود در این خوشه صدها برابر از آنچه با تلسکوپ دیده می‌شود، بیشتر باشد.

بدین ترتیب، یا قوانین نیوتون در فواصل کهکشانی نادرست بودند یا اینکه مقادیر عظیمی از ماده‌ای گم شده و نامرئی در خوشه گیسو وجود داشت که اجرام را در کنار هم نگه می‌داشت.

این اولین‌بار در تاریخ بود که مشاهدات، بیانگر توزیع نادرست ماده در جهان بودند. متأسفانه ستاره‌شناسان در سراسر جهان، کار پیشتازانه زوئیکی را به دلایل متعددی رد کرده یا نادیده گرفتند.

اولاً، برای ستاره‌شناسان تصور اینکه قانون گرانش نیوتون اشتباه باشد، بسیار مشکل بود، چرا که این قانون قلمرو فیزیک را برای قرن‌های متمادی تصرف کرده بود. پیش از این نیز در ستاره‌شناسی، بحران‌های مشابهی وجود داشته است. زمانی که مدار اورانوس در قرن ۱۹ مورد بررسی قرار گرفت، مشاهده شد که این مدار به‌مقدار بسیار کوچکی نسبت به مدار محاسبه شده با معادلات ایزاک نیوتون انحراف دارد. بنابراین یا نیوتون اشتباه می‌کرد یا اینکه سیاره جدیدی آنجا قرار داشت که گرانش آن بر روی اورانوس اثر می‌گذاشت. احتمال دوم درست بود و نپتون در سال ۱۸۴۶، در اولین جستجو در مکانی که به‌وسیله قوانین نیوتون پیش‌بینی شده بود، کشف شد.

مسئله بعد به شخصیت زوئیکی مربوط می‌شد و اینکه ستاره‌شناسان با غیر خودی‌ها چگونه رفتار می‌کنند. زوئیکی خیال‌پردازی بود که در طول زندگی خود اغلب نادیده یا به تمسخر گرفته می‌شد. زوئیکی در سال ۱۹۳۳، به‌همراه والتر باد، نام «ابرنواختر» را ابداع کرد و به‌درستی پیش‌بینی کرد که آنچه از یک ستاره در حال انفجار باقی می‌ماند، یک ستاره نوترونی کوچک، با قطر حدود ۲۰ کیلومتر خواهد بود. این ایده چنان عجیب بود که در ۱۹ ژانویه ۱۹۳۴، در کارتونی در لس‌آنجلس تایم به سخره گرفته شد. زوئیکی از دست گروه کوچکی از برجستگان علم ستاره‌شناسی عصبانی بود؛ کسانی که فکر می‌کرد سعی دارند او را از سرشناس شدن باز دارند، ایده‌هایش را به

سرقت ببرند و از دسترسی او به تلسکوپ‌های ۲/۵ و ۵ متری جلوگیری کنند. (کمی قبل از مرگش، در ۱۹۷۴ فهرستی از کهکشان‌ها را منتشر کرد. در سر آغاز این کتاب نوشته شده بود: «تذکری برای کشیشان عالیرتبه ستاره‌شناسی آمریکایی و متملقان آن‌ها.» این عبارت، بیانگر انتقادی شدید از طبیعت درونگرا و باشگاهی نخبگان ستاره‌شناسی بود که تمایل داشتند افراد تکرویی مثل او را خفه کنند. او اینگونه نوشته است«به‌نظر می‌رسد امروزه متملقان و دزدان غیررسمی، به ویژه در ستاره‌شناسی آمریکایی، آزاد هستند تا کشف‌ها و ابداعات انجام گرفته به وسیله گرگ‌های تنها و تکرو را برای خود بردارند.» او این افراد را «حرامزاده‌های کروی» نامید، زیرا «از هر طرف که به آن‌ها بنگرید، بازهم حرامزاده‌اند.» وقتی، بدون در نظر گرفتن تلاش‌های او، جایزه نوبل برای کشف ستاره نوترونی به شخص دیگری اعطا شد، زوئیکی بسیار رنجید.

در سال ۱۹۶۲، ستاره‌شناس دیگری، به نام خانم وِرا روبین، با مشکل عجیب حرکت کهکشانی مواجه شد. او حرکت وضعی کهکشان راه شیری را مورد مطالعه قرار داد و به همان مشکل برخورد کرد. واضح است که او نیز با برخورد سرد جامعه ستاره‌شناسان مواجه شد. به‌طور معمول، هرچه سیاره از خورشید دورتر باشد کندتر حرکت می‌کند و هرچه نزدیک‌تر باشد حرکتش سریع‌تر خواهد بود. به‌همین دلیل است که نام سیاره تیر یا عطارد (سیاره بادپا) از نام خدای سرعت گرفته شده است، زیرا به خورشید بسیار نزدیک است. به‌علاوه اینکه سرعت پلوتون ده برابر کم‌تر از سرعت عطارد است، به این دلیل است که بیشترین فاصله را از خورشید دارد. به‌هرحال زمانی که ورا روبین ستاره‌های آبی رنگ را در کهکشان ما بررسی کرد، مشاهده کرد که ستارگان دورتادور کهکشان، مستقل از فاصله‌شان تا مرکز کهکشانی، با یک سرعت می‌چرخند (که منحنی چرخش تخت نامیده می‌شود). بموجب این مشاهده قوانین مکانیک نیوتون به‌هم می‌ریزد. در حقیقت او دریافت که کهکشان راه شیری آنچنان سریع می‌چرخد که چاره‌ای ندارد جز اینکه اجزایش به بیرون پرتاب شوند. اما این کهکشان در مدت زمان حدود ۱۰

میلیارد سال کاملاً پایدار بوده است؛ این یک معما بود که چرا منحنی چرخش، تخت است. برای اینکه کهکشان در این حالت از هم پاشیده نشود، جرم آن باید ده برابر سنگین‌تر از چیزی باشد که دانشمندان تصور می‌کردند. واضح بود که ۹۰ درصد جرم کهکشان راه شیری در جایی گم شده بود.

وِرا روبین نیز نادیده گرفته شد؛ شاید بیشتر به خاطر اینکه او یک زن بود. او زمانی را به یاد می‌آورد که به‌عنوان یک کارشناس علوم به کالج سوارتمور مراجعه کرده و تصادفاً به مسئول پذیرش گفت که دوست داشته است نقاشی کند. مصاحبه گر به او گفت: «آیا تاکنون به شغلی فکر کرده‌اید که در آن تصاویری از اجرام نجومی نقاشی کنید؟» او می‌گوید: «این به تکیه کلامی برای خانواده من تبدیل شد؛ تا مدت‌ها هر وقت که مشکلی برای کسی پیش می‌آمد ما می‌گفتیم آیا تاکنون به شغلی فکر کرده‌ای‌که در آن تصاویری از اجرام نجومی نقاشی کنی؟» زمانی که او به معلم فیزیک دبیرستان خود گفت که در واسار پذیرفته شده است، او پاسخ داد: «تا زمانی که از علم دور بمانی خوب عمل خواهی کرد.» او بعدها گفت: «عزت نفس زیادی لازم بود تا به چنین چیزهایی گوش کنی و تخریب نشوی.»

پس از فارغ‌التحصیلی، او برای پذیرش در هاروارد اقدام کرد ولی پس از ازدواج از این تصمیم منصرف شد و به‌همراه همسرش که یک شیمیدان بود به کرنل رفت. (او نامه‌ای از هاروارد دریافت کرد که در زیر آن با دست نوشته شده بود: «لعنت به شما زنان. هربار که یکی از زنان لایق را پیدا می‌کنم، می‌رود و ازدواج می‌کند.») اخیراً او در یک کنفرانس ستاره‌شناسی در ژاپن شرکت کرد و تنها زن حاضر در کنفرانس بود. او اعتراف می‌کند «تا مدت‌ها من واقعاً نمی‌توانستم این داستان را بدون گریه تعریف کنم زیرا مطمئناً با گذشت یک نسل... چیز زیادی تغییر نکرده است.»

علیرغم همه این‌ها، کار دقیق و ارزشمند او و دیگران، به مرور جامعه ستاره‌شناسان را در مورد معمای جرم گم شده متقاعد کرد. تا سال ۱۹۷۸، روبین و همکارانش یازده کهکشان مارپیچی را مورد بررسی قرار داده بودند: تمام آن‌ها سریع‌تر از آن می‌چرخیدند که بتوانند بر طبق قوانین نیوتون در کنار

هم باقی بمانند. در همان سال ستاره‌شناس رادیویی هلندی، آلبرت بوسما، کامل‌ترین بررسی از ده‌ها کهکشان مارپیچی را منتشر کرد: تقریباً تمام آن‌ها همان رفتار غیرعادی را نشان می‌دادند. به‌نظر می‌رسید که این مسئله عاقبت بتواند جامعه ستاره‌شناسان را متقاعد کند که ماده تاریک واقعاً وجود دارد.

ساده‌ترین راه حل برای این مشکل بغرنج این بود که فرض کنیم کهکشان‌ها به‌وسیله هاله‌ای نامرئی احاطه شده‌اند که دارای جرمی ده برابر جرم خود کهکشان است. از آن زمان تاکنون، ابزار پیچیده‌تری برای اندازه‌گیری و محاسبه وجود این ماده نامرئی فراهم آمده است. یکی از موثرترین آن‌ها اندازه‌گیری انحراف نورِ ستاره‌های زمینه است؛ هنگامی که نور آنان از درون این ماده نامرئی عبور می‌کند. درست همانند عدسی عینک، ماده تاریک نیز می‌تواند نور را خم کند (به‌دلیل جرم فوق‌العاده زیاد و درنتیجه کشش گرانشی آن). اخیراً با کمک بررسی‌های دقیق رایانه‌ای روی تصاویر گرفته شده به‌وسیله تلسکوپ فضایی هابل، دانشمندان قادر شدند که نقشه توزیع ماده تاریک را در جهان به تصویر بکشند.

هم‌اکنون جدال سختی بر سر اینکه ماده تاریک از چه ساخته شده در جریان است. برخی دانشمندان گمان می‌کنند که ماده تاریک ممکن است از مواد معمولی تشکیل شده باشد با این تفاوت که این ماده بسیار تیره و تار است. (به‌عنوان مثال از ستاره‌های کوتوله قهوه‌ای، ستاره‌های نوترونی، سیاهچاله‌ها و مانند آن‌ها، که همه تقریباً نامرئی هستند.) چنین اجرامی به صورت «ماده باریونیک» در یک جا جمع می‌شوند، یعنی از باریون‌ها (مثل نوترون‌ها و پروتون‌ها) ساخته می‌شوند. در مجموع آن‌ها را ماخو[1] (مخفف اجرام پر جرم و فشرده هاله) می‌نامند.

گروهی دیگر عقیده دارند که ماده تاریک ممکن است از مواد خیلی داغ غیرباریونیک تشکیل شده باشد؛ مثل نوترینوها (به نام ماده تاریک داغ). با این حال نوترینوها چنان سریع حرکت می‌کنند که نمی‌توانند دلیل قانع‌کننده‌ای برای بیشتر توده‌های ماده تاریک و کهکشان‌هایی که ما در

1. MACHOs (Massive Compact Halo Objects)

طبیعت می‌بینیم باشند. بقیه نیز دست‌ها را به علامت تسلیم بالا برده و فکر می‌کنند که ماده تاریک از نوع کاملاً جدیدی از ماده با نام «ماده تاریک سرد»، یا (WIMPS[1] مخفف ذرات سنگین با برهم‌کنش ضعیف) ساخته شده است که این گزینه در توضیح بخش اعظم ماده تاریک بر دیگران مقدم است.

ماهواره COBE

احتمالاً نمی‌توان با استفاده از یک تلسکوپ معمولی، همان ابزار همیشگی ستاره‌شناسان از زمان گالیله، پرده از راز ماده تاریک برداشت. با اینکه علم ستاره‌شناسی، با کمک ابزارهای نوری زمینی استاندارد، به‌طور قابل توجهی پیشرفت داشته است، با این‌حال در دهه ۱۹۹۰، نسل جدیدی از تجهیزات نجومی شکل گرفت که از جدیدترین فناوری ماهواره‌ای، لیزر و رایانه استفاده کرد و توانست چهره کیهان‌شناسی را تغییر دهد.

یکی از نخستین دست آوردهای این فناوری جدید، ماهواره COBE (مخفف کاوشگر زمینه کیهان) بود که در نوامبر ۱۹۸۹ به فضا پرتاب شد. در حالی‌که داده‌های دریافتی پنزیاس و ویلسون تنها تعداد معدودی نقاط داده سازگار با انفجار بزرگ را تائید می‌کرد، ماهواره COBE قادر بود که نقاط داده بسیاری را اندازه‌گیری کند که دقیقاً با پیش‌گویی‌های تابش جسم سیاه که گاموف و همکارانش در سال ۱۹۴۸ انجام دادند، سازگاری داشتند.

در سال ۱۹۹۰، در جلسه انجمن ستاره‌شناسی آمریکا، ۱۵۰۰ دانشمند حاضر با مشاهده نتایج حاصل از ماهواره COBE در یک نمودار، شادمانه و تحسین‌آمیز از جای خود برخاستند تا وجود تابش پس‌زمینه ریزموج با دمای ۲/۷ کلوین را با توافق نزدیک به اجماع تائید کنند.

ستاره‌شناس پرینستون، ژِرِمی پی اوستریخر، خاطرنشان کرده است: «زمانی که فسیل‌ها در صخره‌ها یافت شدند، منشا گونه‌ها را کاملاً صریح مشخص کردند. خوب، COBE نیز فسیل‌های [جهان] را یافته بود.»

---

1. Weakly Interacting Massive Particles

به‌هرحال نمودارهایی که COBE ارائه کرد، دقیق نبودند. به‌عنوان مثال، دانشمندان مایل بودند که نقاط داغ یا افت و خیزهای دما درون تابش پس‌زمینه کیهانی را تحلیل و بررسی کنند؛ افت و خیزهایی که احتمالاً در آسمان تنها حدود یک درجه قوسی عرض داشتند. اما تجهیزات COBE تنها می‌توانست افت و خیزها را در عرض بیش از حدود ۷ درجه شناسایی کند. این تجهیزات به اندازه کافی حساس نبودند تا بتوانند این نقاط داغ کوچک را آشکار کنند. دانشمندان مجبور بودند که تا حصول نتایج ماهواره WMAP صبر کنند. ماهواره‌ای که قرار بود پس از تغییر قرن به فضا پرتاب شود و امید می‌رفت پاسخی برای این سوآلات و معماها بیاید.

فصل ۴ نظریه تورم و جهان‌های موازی

هیچ چیز نمی‌تواند از هیچ سربرآورد.

ـ لوکرِتیوس

فرض می‌کنیم که جهان ما واقعاً در $۱۰^{۱۰}$ سال پیش، بناگاه از هیچ به‌وجود آمده است.... پیشنهاد ساده من این است: جهان ما یکی از آن چیزهایی است که بندرت رخ می‌دهند.

ـ ادوارد ترایون

جهان، بهترین ناهار مجانی است.

ـ آلن گوث

در رمان علمی تخیلی تاو صفر، اثر پُل اَندرسون، فضاپیمایی به نام لِئونورا کریستین با هدف سفر به ستارگان اطراف به فضا پرتاب می‌شود. این فضاپیما با پنجاه مسافر، قادر است با سرعتی نزدیک به سرعت نور به منظومه‌های ستاره‌ای دیگر سفر کند. مهم‌تر از همه اینکه این فضاپیما، براساس نسبیت خاص از اصلی تبعیت می‌کند که بر طبق آن هرچه فضاپیما سریع‌تر حرکت کند، زمان درون آن کندتر می‌گذرد. بنابراین سفر به ستارگان اطراف که از نظر ساکنین روی زمین ده‌ها سال طول می‌کشد، برای مسافرین این فضاپیما تنها چندین سال به طول می‌انجامد. از دید رصدگری که از روی زمین فضانوردان را با تلسکوپ مشاهده می‌کند، آن‌ها در زمان منجمد شده و فعالیت‌های حیاتی‌شان موقتاً متوقف شده است. ولی از نظر مسافران فضاپیما، زمان کاملاً

طبیعی می‌گذرد. پس از اینکه فضانوردان به مقصد رسیده و قدم به دنیای جدید می‌گذارند، در می‌یابند که مسافتی برابر با ۳۰ سال نوری را، تنها در چندین سال طی کرده‌اند.

این فضاپیما معجزه مهندسی محسوب می‌شود. موتورهای اتمی رام جِت، از طریق استخراج هیدروژن از فضا و سوزاندن آن، به انرژی نامحدود دست یافته و فضاپیما را به پیش می‌رانند. فضاپیما چنان سریع حرکت می‌کند که خدمه حتی می‌توانند تغییرات دوپلر نور ستارگان را مشاهده کنند؛ به‌این ترتیب که ستارگان پیش‌روی آن‌ها آبی رنگ به‌نظر می‌رسند، درحالی‌که ستارگان پشت سر آن‌ها قرمز رنگ دیده می‌شوند.

ناگاه فاجعه‌ای رخ می‌دهد. در فاصله‌ای حدود ۱۰ سال نوری از زمین، فضاپیما هنگام عبور از درون ابری از غبار بین ستاره‌ای دچار تلاطم شده و در گردابی گرفتار می‌شود. در نتیجه مکانیزم کاهش سرعت آن برای همیشه از کار می‌افتد. خدمه وحشت زده خود را اسیر در فضاپیمای افسارگسیخته‌ای می‌یابند که هرچه بیشتر و بیشتر به سرعت نور نزدیک می‌شود. فضاپیما از کنترل خارج شده و تنها در چند دقیقه عرض منظومه‌های ستاره‌ای را طی می‌کند. به‌این‌ترتیب مسافران در مدت زمان یک سال، نیمی از کهکشان راه شیری را با سرعت سرسام‌آوری می‌پیمایند. با افزایش هرچه بیشتر سرعت، به نقطه‌ای می‌رسند که کهکشان‌ها را تنها در عرض چند ماه پشت سر می‌گذارند؛ درحالی‌که در همین مدت، بر روی کره زمین میلیون‌ها سال سپری شده است. به‌زودی سرعت آن‌ها بسیار به سرعت نور نزدیک می‌شود (وضعیت تاو صفر). در این وضعیت، آن‌ها شاهد رخدادهای کیهانی روزهای نخستینِ تولد جهان می‌شوند.

سرانجام آن‌ها شاهد معکوس شدن انبساط اصلی جهان و انقباض آن می‌شوند. با سرعت گرفتن به سمت فروپاشی بزرگ، دما به سرعت بالا می‌رود، کهکشان‌ها در هم می‌شکنند و هسته نخستین کیهانی، در مقابل چشمان‌شان شکل می‌گیرد. در این وضعیت، خدمه فضاپیما در سکوت دعا می‌خوانند. مرگ در این کوره آتشین، اجتناب ناپذیر است.

تنها امید آن‌ها این است که ماده به درون محدوده‌ای کراندار با چگالی کراندار، فروریزد و این امکان را بیابند که با استفاده از سرعت بالا از درون آن بگریزند. پوشش حفاظتی فضاپیما، به‌طور معجزه‌آسایی هنگام عبور از درون هسته نخستین از آن‌ها محافظت کرده و به‌این‌ترتیب آن‌ها نظاره‌گر پیدایش یک جهان جدید می‌گردند. زمانی که جهان بار دیگر منبسط می‌شود، آن‌ها از مشاهده پیدایش ستارگان و کهکشان‌های جدید، درست در مقابل چشمانشان، حیرت زده می‌شوند. سپس مسافران، فضاپیمای‌خود را تعمیر کرده و به دقت مسیر حرکت خود را به سمت کهکشانی تغییر می‌دهند که سن کافی برای ایجاد عناصر سنگین و در نتیجه امکان پذیرایی از حیات را داشته باشد. سرانجام موفق می‌شوند سیاره‌ای بیابند که امکان حیات بر روی آن وجود دارد. در آنجا شروع به ساختن جامعه‌ای می‌کنند تا بتوانند جامعه انسانی از نو بنا کنند.

این داستان در سال ۱۹۶۷ نوشته شده بود، درست زمانی که جدالی سخت بین ستاره‌شناسان بر سر سرنوشت نهایی جهان وجود داشت: اگر سرنوشت جهان فروپاشی بزرگ باشد، تا ابد نوسان کرده و تکرار خواهد شد. اگر جهان با انجماد بزرگ به پایان برسد، برای همیشه در حالت پایدار ادامه خواهد یافت. به‌نظر می‌رسد این جدال، از آن زمان تاکنون، آرام گرفته و نظریه جدیدی به نام تورم پدیدار شده است.

پیدایش تورم

آلن گوث، در سال ۱۹۷۹، در دفترچه یادداشت خود اینگونه نوشت: «تحققی تاثیرگذار.» گوث از اینکه به‌طور تصادفی به سمت یکی از بزرگ‌ترین ایده‌های کیهان‌شناسی هدایت شده بود، احساس شعف می‌کرد. او موفق شد پس از پنجاه سال، تنها با کمک یک رصد معمولی، اولین بازبینی اساسی را در نظریه انفجار بزرگ ارائه کند. گوث اینگونه فرض کرد که جهان درست در لحظه تولد دچار افزایش حجم یا تورم شدید شده است. این تورم، از نظر ستاره‌شناسی بسیار سریع‌تر از آنچه که اغلب فیزیکدانان تصور می‌کردند رخ

داده است. با این فرض، او توانست پاسخی برای برخی از عمیق‌ترین معماهای کیهان‌شناسی بیابد. او دریافت که در صورت پذیرفتن وجود چنین انبساط شدیدی، می‌توان به‌راحتی به مجموعه‌ای از سوآلات عمیق کیهان‌شناسی پاسخ داد. این همان ایده‌ای بود که کیهان‌شناسی را متحول کرد. (داده‌های اخیر کیهان‌شناسی، شامل یافته‌های ماهواره WMAP، با پیش‌بینی‌های نظریه تورم سازگارند.) با اینکه تورم تنها نظریه کیهان‌شناسی موجود نیست، ولی در عین حال می‌توان گفت ساده‌ترین و معتبرترین آن‌هاست.

مسئله قابل توجه این است که چنین ایده ساده‌ای می‌تواند به بسیاری از سوآلات پیچیده کیهان‌شناسی پاسخ دهد. یکی از سوآلاتی که نظریه تورم توانست با ظرافت به آن پاسخ دهد، معمای تخت بودن جهان است. داده‌های ستاره‌شناسی نشان می‌دادند که انحنای جهان بسیار نزدیک به صفر است؛ بسیار نزدیک‌تر به صفر، نسبت به آنچه اغلب ستاره‌شناسان قبلاً عقیده داشتند. این امر را اینگونه می‌توان توضیح داد: اگر فرض کنیم که جهان، مثل سطح بادکنکی که به سرعت باد می‌شود، در طول مدت تورم تخت شود، در این صورت این معما حل می‌شود. ما، مثل مورچه‌هایی که بر روی سطح بادکنک حرکت می‌کنند، برای مشاهده انحنای کم بادکنک، زیادی کوچک هستیم. تورم، فضا ـ زمان را چنان کشیده است که تخت به‌نظر می‌رسد.

چیزی که کشف گوث را به کشفی تاریخی بدل کرد، آن بود که این کشف، نمایانگر کاربرد فیزیک ذرات بنیادین (که به تجزیه و تحلیل کوچک‌ترین ذرات یافت شده در طبیعت می‌پردازد) در علم کیهان‌شناسی است (که به مطالعه کامل جهان شامل منشاء آن می‌پردازد). هم‌اکنون می‌دانیم که بدون وجود فیزیک ابعاد بسیار کوچک، یعنی نظریه کوانتوم و فیزیک ذرات بنیادین، نمی‌توان به عمیق‌ترین اسرار جهان پی برد.

در جستجوی یکپارچگی

گوث، در سال ۱۹۴۷، در نیو بِرنزویک ایالت نیوجرسی متولد شد. برخلاف

اینشتین، گاموف یا هویل، هیچ وسیله یا لحظه خاصی منجر به گرایش او به دنیای فیزیک نشده بود. هیچ کدام از والدین او از فارغ‌التحصیلان کالج نبوده و به علم نیز توجه زیادی نشان نداده بودند. ولی او همواره مجذوب رابطه بین ریاضیات و قوانین طبیعت بود.

در دهه ۱۹۶۰، گوث به‌طور جدی در دانشگاه MIT، به کار در زمینه فیزیک ذرات بنیادی پرداخت. وی تحت تاثیر هیجان ناشی از وقوع انقلاب جدید قرار گرفت؛ یعنی جستجو برای یکپارچه ساختن تمام نیروهای بنیادی. برای سال‌های متمادی، علم فیزیک در جستجوی تعریف واحدی بود که بتواند پیچیدگی‌های جهان را به ساده‌ترین و منسجم‌ترین روش توضیح دهد. از دوران یونانی‌ها، دانشمندان عقیده داشتند جهانی که ما امروز می‌بینیم تکه پاره‌های باقی مانده از یک مفهوم ساده بزرگ‌تر است و هدف ما یافتن این یکپارچگی است.

فیزیکدانان پس از دو هزار سال جستجو در طبیعت ماده و انرژی، بیان کردند که جهان به کمک تنها چهار نیروی بنیادی به پیش رانده می‌شود. (تلاش دانشمندان برای‌یافتن نیروی پنجم تا به امروز بی‌نتیجه بوده است.)

نخست نیروی گرانش است؛ نیرویی که خورشید را در خود متراکم نگاه داشته و گردش سیارگان را در مدارهای خود هدایت می‌کند. اگر گرانش ناگهان از بین برود، ستارگان در آسمان منفجر شده، زمین از هم می‌پاشد و ما همه با سرعت هزاران کیلومتر در ساعت به فضا پرتاب می‌شویم.

دومین نیروی عظیم، نیروی الکترومغناطیسی است؛ نیرویی که شهرهای ما را روشن می‌کند و دنیای ما را از تلویزیون، تلفن‌های ماهواره‌ای، رادیو، پرتو لیزر و اینترنت پر کرده است. اگر نیروی الکترومغناطیسی ناگهان از بین برود، تمدن ناگاه به یک یا دو قرن پیش، به تاریکی و سکوت باز می‌گردد. خاموشی بزرگ سال ۲۰۰۳، که منجر به توقف کل فعالیت‌ها در سراسر شمال شرق ایالات متحده گردید، این مفهوم را به خوبی نمایان ساخت. اگر ما نیروی الکترومغناطیسی را به صورت میکروسکوپی بررسی کنیم، خواهیم دید که در واقع از ذرات ریز کوانتومی به نام فوتون تشکیل شده است.

نیروی سوم، نیروی هسته‌ای ضعیف است که علت اصلی واپاشی پرتوزا است. از آنجایی‌که این نیروی ضعیف آنقدر قوی نیست که هسته‌های اتم را در کنار هم نگه دارد، به هسته اجازه می‌دهد که تجزیه شده یا از هم بپاشد. پزشکی هسته‌ای در بیمارستان‌ها شدیداً متکی بر نیروی هسته‌ای ضعیف است. این نیرو همچنین کمک می‌کند تا از طریق واپاشی مواد رادیواکتیو، مرکز کره زمین گرم شده و مواد مذاب با نیروهای سهمگین ایجاد شوند. نیروی ضعیف به نوبه خود بر این اساس قرار دارد: برهم‌کنش الکترون‌ها و نوترینوها (ذرات شبح مانندی که تقریباً بدون جرم هستند و می‌توانند بدون هیچ اثر متقابلی با ماده، از درون تریلیون‌ها کیلومتر سرب جامد عبور کنند). برهم‌کنش الکترون‌ها و نوترینوها از طریق مبادله ذرات دیگری، به نام بوزون‌های W و Z، صورت می‌پذیرد.

نیروی هسته‌ای قوی، هسته‌های اتم‌ها را در کنار هم به صورت متمرکز نگه می‌دارد. بدون نیروی هسته‌ای، هسته‌ها همگی متلاشی شده، اتم‌ها از هم می‌پاشند و جسمانیت واقعیت اطراف ما از بین می‌رود. نیروی هسته‌ای قوی، عامل وجود عناصری است که در جهان می‌بینیم. منشاء اصلی نور گسیل شده از ستارگان، برطبق معادله اینشتین، نیروهای هسته‌ای قوی و ضعیف هستند. بدون وجود نیروی هسته‌ای، تمام جهان تاریک می‌شود؛ در نتیجه دمای کره زمین پایین آمده و اقیانوس‌ها همه یخ می‌زنند.

ویژگی حیرت‌انگیز این چهار نیرو این است که آن‌ها کاملاً از نظر قدرت و سایر ویژگی‌ها با یکدیگر تفاوت دارند. به‌عنوان مثال، گرانش به مراتب از همه این چهار نیرو ضعیف‌تر است؛ 10^{36} برابر ضعیف‌تر از نیروی الکترومغناطیسی. جرم زمین، ۶ تریلیون تریلیون کیلوگرم است. اما با وجود این جرم زیاد، نیروی گرانش آن می‌تواند به‌راحتی به‌وسیله نیروی الکترومغناطیسی خنثی شود. به‌عنوان مثال می‌توانید با شانه سر خود، قطعات کوچک کاغذ را به کمک الکتریسیته ساکن از زمین بلند کنید و به‌این‌ترتیب گرانش کل زمین را خنثی سازید. به‌علاوه، گرانش نیرویی صرفاً جذب کننده است. درحالی‌که نیروی الکترومغناطیسی می‌تواند متناسب با

بار ذره، هم جذب کننده و هم دفع کننده باشد.

یکپارچگی در انفجار بزرگ

یکی از سوآلات اساسی که فیزیک با آن مواجه است، این است که چرا جهان باید از طریق چهار نیروی مجزا و متمایز اداره شود؟ و دیگر اینکه چرا باید این چهار نیرو تا به این اندازه نامتشابه باشند؛ با قدرت‌های متفاوت، برهم‌کنش‌های متفاوت، و فیزیک متفاوت؟

اینشتین اولین کسی بود که تلاش کرد تا این نیروها را در یک نظریه جامع، با هم یکپارچه کند. او این‌کار را با یکپارچه کردن نیروی گرانش و نیروی الکترومغناطیسی شروع کرد. البته اینشتین موفق نشد، چون بسیار جلوتر از زمان خود گام برداشته بود. در آن زمان برای اینکه بتوان یک نظریه میدان یکپارچه[1] را ارائه کرد، داده‌ها در مورد نیروی هسته‌ای قوی بسیار کم و ناکافی بودند. اما با این‌حال تلاش پیشگامانه اینشتین توجه دنیای فیزیک را به امکان ارائه یک «نظریه همه چیز» معطوف کرد.

در دهه ۱۹۵۰، دستیابی به یک نظریه میدان یکپارچه کاملاً نومیدانه به‌نظر می‌رسید، مخصوصاً زمانی که فیزیک ذرات بنیادی در آشفتگی کامل بسر می‌برد. در آن زمان، اتم‌شکن‌ها هسته‌ها را به‌منظور یافتن اجزای بنیادی مواد، متلاشی می‌کردند و صدها ذره از این آزمایش‌ها سر بر می‌آوردند. «فیزیک ذرات بنیادی» به یک تناقض لفظی، یا یک لطیفه کیهانی بدل شد. یونانی‌ها فکر می‌کردند با شکستن ماده به اجزای ابتدایی تشکیل دهنده آن، می‌توان آن را ساده‌تر کرد. اما چیزی که رخ داد خلاف این واقعیت را نشان داد: فیزیکدانان مجبور بودند برای نامگذاری تعداد بی‌شمار ذرات یافت شده، به‌دنبال حروف کافی در الفبای یونانی بگردند. جِی روبرت اُپنهایمر به طنز گفته که جایزه نوبل فیزیک در آن سال باید به فیزیکدانی اعطا شود که ذره جدیدی را کشف نکرده باشد. این تردید برای استیون واینبِرگ برنده

1. Unified field theory

جایزه نوبل مطرح شد که آیا ذهن انسان اصلاً این ظرفیت را دارد که راز نیروی هسته‌ای را بیابد؟

موری ژِلمن و جورج زوئیگ از کلتک، در سال‌های اولیه دهه ۱۹۶۰، با مطرح کردن ایده کوارک‌ها، همان ذرات تشکیل دهنده پروتون‌ها و نوترون‌ها، این پریشانی دیوانه وار را به نوعی آرام کردند. برطبق این نظریه، یک پروتون یا نوترون از سه کوارک تشکیل شده است و یک کوارک و آنتی‌کوارک، یک مزون (ذره‌ای که اجزاء هسته را کنار هم نگه می‌دارد) را می‌سازند. با اینکه راه حل ارائه شده جزئی و ناکامل بود (زیرا امروزه ما غرق در انواع مختلف کوارک‌ها هستیم)، ولی با این‌حال این ایده، با تزریق انرژی جدید به حوزه‌ای که زمانی در حال سکون بود، کمک بزرگی انجام داد.

در سال ۱۹۶۷، استیون واینبِرگ به‌همراه عبدوالسلام، طی کشف خارق‌العاده‌ای نشان دادند که یکپارچگی نیروی الکترومغناطیسی و نیروی ضعیف امکان‌پذیر است. آن‌ها نظریه جدیدی خلق کردند که بر اساس آن الکترون‌ها و نوترینوها (که لپتون نامیده می‌شوند) از طریق مبادله ذرات جدیدی به نام بوزون‌های W و Z و همین‌طور فوتون‌ها با یکدیگر برهم‌کنش دارند. به‌این‌ترتیب، برخورد با بوزون‌های W و Z و فوتون‌ها بر پایه مشترکی قرار می‌گرفت و نظریه جدید، دو نیرو را یکپارچه می‌ساخت. در سال ۱۹۷۹، استیون واینبِرگ و شِلدون گلاشو، به‌همراه عبدالسلام، مشترکاً، برای موفقیت در یکپارچه ساختن دو تا از این چهار نیرو، یعنی نیروی الکترومغناطیسی و نیروی ضعیف، و همین‌طور تلاش در شناساندن نیروی هسته‌ای قوی، برنده جایزه نوبل شدند.

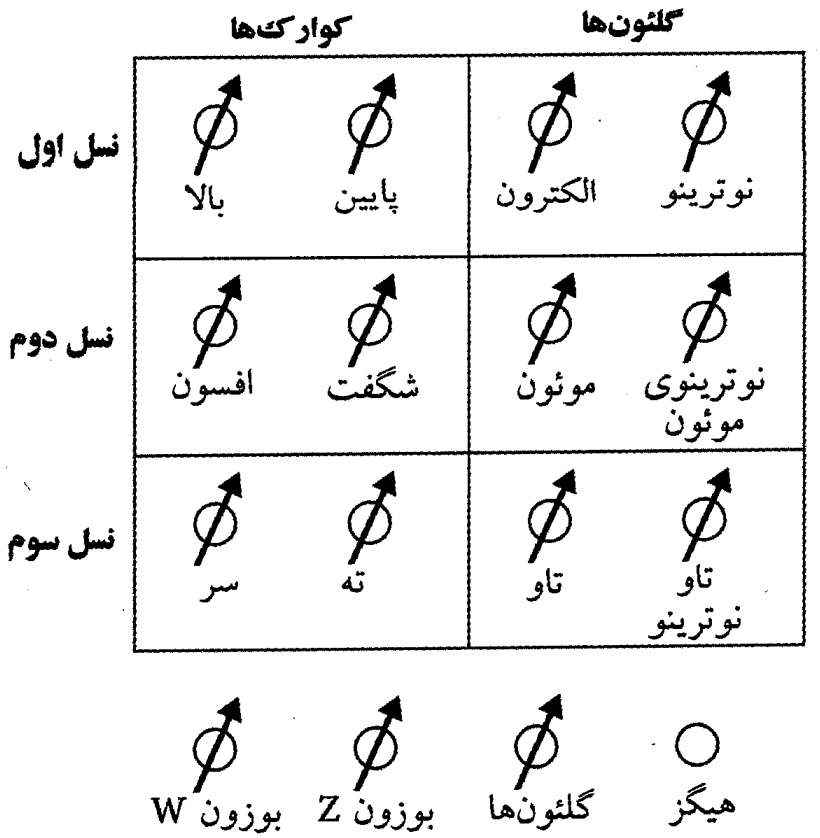
در دهه ۱۹۷۰، فیزیکدانان داده‌های حاصل از شتاب‌دهنده ذره، در مرکز شتاب‌دهنده خطی استانفورد را مورد بررسی قرار دادند. باریکه‌ای پرانرژی از الکترون‌ها به سمت هدف شلیک شد، تا درون پروتون مورد کاوش قرار گیرد. آن‌ها دریافتند نیروی هسته‌ای قوی، که کوارک‌ها را درون پروتون نگاه داشته است، از طریق معرفی ذرات جدیدی با نام گلئون‌ها، که کوانتوم‌های نیروی هسته‌ای قوی هستند، قابل تشریح است. نیروی نگهدارنده‌ای که

پروتون‌ها را در کنار یکدیگر نگاه می‌دارد، با تبادل گلئون‌ها بین کوارک‌های تشکیل دهنده آن‌ها توضیح داده شد. به‌این‌ترتیب نظریه جدیدی با نام کرومودینامیک کوانتومی، برای نیروی هسته‌ای قوی شکل گرفت.

بنابراین در اواسط دهه ۱۹۷۰، سه تا از این چهار نیرو (به غیر از گرانش)، با یکدیگر یکپارچه شدند. این‌کار در جهت دستیابی به یک مدل استاندارد صورت گرفت؛ نظریه‌ای برای کوارک‌ها، الکترون‌ها و نوترینوها که برهم‌کنش آن‌ها همه از طریق تبادل گلئون‌ها، بوزون‌های W و Z و همین‌طور فوتون‌ها صورت می‌گیرد. این یافته، نقطه اوج ده‌ها سال تحقیق و تفحص طاقت فرسا در فیزیک ذرات است. در حال حاضر مدل استاندارد، بدون استثناء با تمام داده‌های آزمایشگاهی مربوط به فیزیک ذرات مطابقت دارد.

اگرچه مدل استاندارد یکی از موفق‌ترین نظریات فیزیکی در همه زمان‌هاست، ولی شکل فوق‌العاده ناهنجاری دارد. باور این مسئله مشکل است که طبیعت، در یک سطح بنیادی، براساس نظریه‌ای عمل می‌کند که ظاهراً قطعاتش به‌هم وصله پینه شده‌اند. به‌عنوان مثال، ۱۹ پارامتر قراردادی در این نظریه وجود دارد که تنها به صورت دستی، بدون هیچ نظم یا دلیلی، کنار هم قرار داده شده‌اند. (یعنی جرم ذرات و قدرت برهم‌کنش‌های مختلف، از طریق نظریه تعیین نشده‌اند بلکه باید به‌وسیله آزمایش و تجربه تعیین شوند. در حالت ایده‌آل، در یک نظریه یکپارچه واقعی این مقادیر ثابت از طریق خودِ نظریه و بدون اتکا به آزمایش‌های بیرونی تعیین می‌شوند.)

وانگهی، سه کپی دقیق از ذرات بنیادی وجود دارند، که نسل‌های مختلف نامیده می‌شوند. باور این مسئله مشکل است که طبیعت، در ابتدایی‌ترین سطح خود شامل سه کپی دقیق از ذرات زیراتمی باشد. بجز در مورد جرم این ذرات، این نسل‌ها دقیقاً نسخه کپی یکدیگر هستند. (به‌عنوان مثال، نسخه کپی الکترون، میون است که ۲۰۰ برابر الکترون جرم دارد و همین‌طور ذره تاو، که ۳۵۰۰ برابر الکترون جرم دارد.) و در آخر، مدل استاندارد هیچ اشاره‌ای به گرانش نمی‌کند؛ با اینکه شاید بتوان گفت گرانش فراگیرترین نیرو در جهان است.



این‌ها ذرات زیر اتمی موجود در مدل استاندارد، موفق‌ترین نظریه ذرات بنیادی، هستند. این نظریه شامل کوارک‌ها (که پروتون‌ها و نوترون‌ها را می‌سازند)، لپتون‌ها، مثل الکترون و نوترینو، و بسیاری ذرات دیگر است. توجه کنید که این مدل، سه کپی یکسان از ذرات زیراتمی را ارائه می‌دهد. از آنجایی‌که این مدل استاندارد، گرانش را در خود جای نداده است (و به‌علاوه غیراستادانه به‌نظر می‌رسد) فیزیکدانان نظری احساس می‌کنند که این نظریه نهایی نخواهد بود.

مدل استاندارد، علی‌رغم موفقیت چشمگیر آزمایشگاهی آن، چنان ساختگی به‌نظر می‌رسید که فیزیکدانان سعی کردند نظریه دیگری را به نام نظریه‌های بزرگ یکپارچگی (گات)[1] ارائه دهند. در این نظریه، کوارک‌ها و لپتون‌ها بر پایه مشترکی قرار می‌گیرند. این نظریه با گلئون‌ها، بوزون‌های W و Z و فوتون‌ها، در یک سطح برخورد می‌کند. (به‌هرحال این نمی‌توانست نظریه نهایی باشد، زیرا واضح است که گرانش در آن از قلم افتاده است؛ همان‌طور که در ادامه می‌بینیم تصور اینکه بتوان گرانش را با دیگر نیروها ادغام کرد، مشکل است.)

1. Grand Unified Theory (GUT)

برنامه دستیابی به یکپارچگی، بنوبه خود، الگوی جدیدی را پیش‌روی علم کیهان‌شناسی قرار داد. ایده، بسیار ساده و ظریف بود؛ درست در لحظه انفجار بزرگ، تمام چهار نیروی بنیادی در یک نیروی مجرد ذاتی با هم متحد می‌شوند؛ یک «اَبَرنیروی» مرموز. تمام چهار نیرو قدرت یکسانی داشتند و بخشی از یک کل منسجم و بزرگ‌تر بودند. به‌این‌ترتیب، جهان در وضعیتی یکپارچه کار خود را آغاز کرد. با این‌حال زمانی که جهان به سرعت شروع به انبساط و خنک شدن نمود، اَبَرنیروی اصلی «شکست» و نیروهای مختلف، یکی پس از دیگری از هم جدا شدند.

بر طبق این نظریه، فرایند خنک شدن جهان بعد از انفجار بزرگ، شبیه به منجمد شدن آب است. آب به صورت مایع، کاملاً یکپارچه و یکنواخت است. ولی زمانی که منجمد می‌شود، میلیون‌ها کریستال کوچک یخ درون آن ایجاد می‌شوند. وقتی مایع آب به‌طور کامل منجمد می‌شود، شکافها، حباب‌ها و کریستال‌های موجود در یخ یکپارچگی آن را بر هم می‌زنند.

به بیان دیگر، امروزه شاهد آن هستیم که یکپارچگی جهان به‌طور ناخوشایندی از هم گسسته است. جهانی که ما می‌بینیم به‌هیچ‌وجه یکپارچه و متقارن نیست، بلکه مملو از رشته کوه‌های ناهموار، آتش فشان‌ها، توفان‌ها، شهاب‌سنگ‌ها، و ستاره‌های در حال انفجار است. علاوه بر این، شاهد حضور چهار نیروی بنیادی، بدون هیچ‌گونه ارتباطی با یکدیگر هستیم. دلیل اینکه چرا جهان را چنین شکسته می‌بینیم، این است که جهان امروز، کاملاً پیر و سرد شده است.

اگرچه جهان در یکپارچگی کامل آغاز شد، ولی در حال حاضر پس از گذرهای فازی متعدد، یا تغییر حالت‌ها، نیروهای جهان طی فرایند خنک شدن، یکی پس از دیگری از یکدیگر جدا شده‌اند. وظیفه یک فیزیکدان این است که با بازگشت به گذشته، به بازسازی مراحل آغازین جهان (در وضعیت یکپارچه) بپردازد؛ مراحلی که جهان شکسته امروزی را پدید آورده‌اند.

بنابراین نکته مهم این است که به‌دقت بفهمیم هنگام شروع جهان، چگونه این گذرهای فازی رخ داده‌اند. فیزیکدانان به این تحولات «شکست

خودبه‌خودی» می‌گویند. در طی تمام گذرهای فازی، مثل ذوب شدن یخ، جوشیدن آب، ایجاد ابرهای باران زا، یا خنک شدن انفجار بزرگ، دو فاز کاملاً متفاوت از ماده به‌هم پیوند می‌خورند. (موسیقی دانی، به نام باب میلِر، قدرت تحولات مرحله‌ای را با طرح این معما به تصویر کشیده است: «چگونه می‌توانید ۲۵۰,۰۰۰ کیلوگرم آب را در هوا بدون هیچ وسیله‌ای نگه دارید؟ پاسخ: یک ابر بسازید.»)

خلأکاذب[1]

فرایند جدا شدن یک نیرو از نیروهای دیگر را می‌توان به شکسته شدن یک سد تشبیه کرد. رودخانه به سمت پایین کوه حرکت می‌کند، زیرا آب در جهت رسیدن به کم‌ترین سطح انرژی، یعنی سطح دریا، جریان می‌یابد. کم‌ترین حالت انرژی، خلأ نامیده می‌شود. به‌علاوه حالتی غیرعادی نیز وجود دارد که به آن خلأکاذب می‌گویند. به‌عنوان مثال، اگر جلوی یک رودخانه سدی بنا کنیم، اینطور به‌نظر می‌رسد که سد در وضعیتی پایدار بسر می‌برد، ولی در واقع اینطور نبوده و سد تحت فشار زیادی قرار دارد. اگر شکاف کوچکی در سد پدید آید، ناگهان این فشار زیاد باعث درهم شکستن سد می‌شود و سیلابی از انرژی را از خلأکاذب (رودخانه پشت سد) آزاد می‌کند و در نتیجه سیل عظیمی به سمت خلأ واقعی (سطح دریا) جاری می‌شود. به‌این‌ترتیب، اگر سد دچار شکست خودبه‌خودی شود و گذری ناگهانی به خلأ واقعی داشته باشیم، روستاها کاملاً در آب غرق می‌شوند.

به‌طور مشابه، در نظریه گات، آغاز جهان در حالت خلأکاذب آغاز شد که در آن، سه تا از نیروها به صورت یک نیروی یکپارچه بوده‌اند. به‌هرحال در نظریه این وضعیت ناپایدار بود و به‌همین دلیل فوراً شکسته شد؛ به‌طوری که نظریه از خلأکاذب، یعنی جایی‌که نیروها همه با هم یکپارچه بودند، به خلأ واقعی، جایی‌که نیروها شکسته شدند، تغییر حالت داد.

---

1. False Vacuum

این مسئله قبل از اینکه گوث شروع به تحلیل و بررسی نظریه گات نماید، شناخته شده بود. اما گوث چیزی را مشاهده کرد که از نگاه دیگران پنهان مانده بود. در حالت خلأکاذب، جهان به صورت نمایی، همانگونه که دِسیتر در سال ۱۹۱۷ پیش‌بینی کرده بود، منبسط می‌شود. در واقع این همان ثابت کیهان‌شناسی، انرژی خلأکاذب، است که جهان را به انبساط با چنین سرعت عظیمی وامی دارد. گوث سوآل مهمی را مطرح می‌کند: آیا انبساط نمایی دِسیتر می‌تواند به حل برخی از مشکلات کیهان‌شناسی کمک کند؟

مسئله تک‌قطبی‌ها

یکی از پیشگویی‌های نظریه‌های متعدد گات، تولید تعداد زیادی تک قطبی در آغاز زمان بوده است. یک تک قطبی، عبارت است از یک تک‌قطب مغناطیسی شمال یا جنوب. در طبیعت این قطب‌ها همواره به صورت جفت یافت می‌شوند. اگر آهن‌ربایی را در دست بگیرید، همواره یک قطب شمال و یک قطب جنوب چسبیده به‌هم خواهید داشت. اگر چکشی بردارید و آهن‌ربا را به دو نیم تقسیم کنید، در این‌صورت به‌جای داشتن دو تک قطبی، دو آهن‌ربای کوچک‌تر خواهید داشت که هرکدام قطب شمال و جنوب خود را دارند.

مشکل اینجا بود که دانشمندان پس از قرن‌ها آزمایش و تجربه، هیچ مدرک قاطعی دال بر وجود تک قطبی‌ها نیافته بودند. از آنجا که هیچ کس تا بحال یک تک قطبی ندیده بود، گوث گیج شده بود؛ پس چرا نظریه‌های گات، وجود آن‌ها را به‌مقدار زیاد پیش‌بینی می‌کردند. گوث گفته است: «علی‌رغم اینکه هیچ نوع مشاهده تائید شده‌ای وجود نداشت، تک قطبی‌ها، درست همانند اسب‌های تک شاخ، ذهن انسان‌ها را به خود مشغول می‌کردند.»

گوث ناگهان متوجه مسئله شد. در یک لحظه، تمام قطعات پازل کنار هم قرار گرفتند. او دریافت که اگر جهان در حالتی از خلأکاذب آغاز شود، می‌تواند به صورت نمایی منبسط شود، همان‌طور که دسیتر ده‌ها سال قبل گفته بود. در حالت خلأکاذب، جهان می‌تواند ناگهان به‌مقدار غیرقابل

تصوری متورم شود، که به موجب آن چگالی تک قطبی‌ها رقیق می‌شود. اگر دانشمندان تاکنون هیچ تک قطبی ندیده‌اند، تنها به این دلیل است که تک قطبی‌ها در سرتاسر جهانی پخش شده‌اند که از آنچه قبلاً تصور می‌شد، بسیار بزرگ‌تر است.

از نظر گوث، این کشف شگفت‌آور و لذت بخش بود. چنین مشاهده ساده‌ای می‌توانست معمای تک قطبی‌ها را به سادگی حل کند. اما گوث دریافت که تعابیر کیهان‌شناسانه این پیشگویی، بسیار فراتر از ایده اولیه او هستند.

معمای تخت بودن جهان

گوث دریافت که نظریه او معمای دیگری را نیز حل می‌کند؛ معمای تخت بودن جهان، که قبلاً نیز به آن اشاره شد. در آن زمان، تصویر استاندارد انفجار بزرگ، نمی‌توانست توضیح دهد که چرا جهان اینقدر تخت است. در دهه ۱۹۷۰، این عقیده وجود داشت که چگالی ماده در جهان، به نام اُمگا، در حدود ۰/۱ است. این حقیقت که این چگالی، میلیاردها سال پس از انفجار بزرگ، به چگالی بحرانی برابر با ۱ نزدیک بود، عمیقاً آزار دهنده بود. با انبساط جهان، اُمگا باید با زمان تغییر کند. متأسفانه این عدد به ۱ نزدیک بود، که نشانگر یک فضای کاملاً هموار و تخت است.

معادلات اینشتین نشان می‌دهند که اُمگا در ابتدای زمان هر مقدار معقولی که داشته باشد، امروز باید تقریباً برابر صفر باشد. برای اینکه میلیارها سال پس از انفجار بزرگ، اُمگا عددی نزدیک به ۱ باشد، تنها به یک معجزه نیاز است. این مسئله در علم کیهان‌شناسی مسئله تنظیم دقیق نامیده می‌شود. خدا یا یک آفریدگار، باید مقدار اُمگا را با دقت اعجاب انگیزی انتخاب کرده باشد، تا امروز بتواند مقداری برابر ۰/۱ داشته باشد. برای اینکه مقدار اُمگا امروز بین ۰/۱ و ۱۰ باشد، یک ثانیه پس از انفجار بزرگ باید مقداری برابر ۱/۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ داشته باشد. به بیان دیگر، در آغاز زمان مقدار اُمگا می‌بایست با دقت یک تریلیونیم، مساوی عدد ۱ بوده باشد، که پذیرش

آن سخت است.

فرض کنید که بخواهید مدادی را بر روی نوک آن ایستاده نگه دارید. شیوه تلاش شما به هر شکلی که باشد، اغلب مداد خواهد افتاد. تنظیم و میزان سازی با دقت فوق‌العاده بالایی مورد نیاز است تا مداد چنان متعادل شود که نیفتد. حال تصور کنید که می‌خواهید مداد را طوری روی نوک آن عمودی نگاه دارید که نه فقط برای یک ثانیه بلکه برای سال‌ها همان‌طور بماند! تنظیم دقیق مورد نیاز برای اینکه اُمگا امروز مقداری برابر ۰/۱ داشته باشد، مشابه همین حالت است. کوچک‌ترین خطا در تنظیم دقیق اُمگا باعث می‌شود که اُمگا به‌مقدار زیادی از ۱ فاصله داشته باشد. پس چرا امروز اُمگا اینقدر به یک نزدیک است، درحالی که در اصل از نظر ستاره‌شناسی باید غیر از این باشد؟

از نظر گوث پاسخ کاملاً مشخص بود. تورم جهان چنان شدید بوده که منجر به تخت شدن آن شده است. همانند شخصی که چون افق را نمی‌بیند، نتیجه می‌گیرد که زمین هموار است، ستاره‌شناسان نتیجه گرفتند اُمگا در حدود یک است، زیرا وقوع تورم منجر به تخت شدن جهان شده است.

معمای افق

تورم، نه تنها مسئله تخت بودن جهان را توضیح می‌دهد، بلکه این نظریه، گره دیگری به نام معمای افق را می‌گشاید. معمای افق بر این مفهوم ساده استوار است که از هر طرف که به آسمان شب بنگرید، تصویر نسبتاً یکنواختی را مشاهده خواهید کرد. کافی است سر خود را ۱۸۰ درجه بچرخانید. خواهید دید که جهان از این منظر نیز به همان شکل قبلی است؛ با اینکه شما دو بخش متفاوت از جهان را که ده‌ها میلیارد سال نوری از هم فاصله دارند، جداگانه مشاهده کرده‌اید. حتی تلسکوپ‌های قدرتمندی که از قسمت‌های بزرگی از آسمان تصویربرداری کرده‌اند، نتوانستند انحراف محسوسی از این یکنواختی و همسانی مشاهده کنند. ماهواره‌های فضایی نشان داده‌اند که تابش ریزموج پس‌زمینه نیز به شدت یکنواخت است. به هر طرف که در فضا

نگاه کنیم، دمای تابش پس‌زمینه بیشتر از یک هزارم درجه تغییرات ندارد.

اما این یک مشکل است. می‌دانیم سرعت نور، حد نهایی سرعت در جهان است. واضح است که در مدت زمان عمر جهان، نور یا اطلاعات از قسمتی به قسمت دیگر آسمان شب سفر کرده‌اند. به‌عنوان مثال، اگر در یک جهت خاص به تابش ریزموج نگاه کنیم، متوجه می‌شویم امواج دریافتی بیش از سیزده میلیارد سال است که از زمان انفجار بزرگ در حرکت اند. اگر سر خود را بچرخانیم و در جهت مخالف نگاه کنیم، این‌بار هم با همان تابش ریزموج که بیش از ۱۳ میلیارد سال در حال حرکت بوده است، مواجه خواهیم شد. از آنجا که هر دو دمای یکسانی دارند، حتماً در آغاز زمان از نظر دما با هم در تماس بوده‌اند. در این‌صورت می‌بایست اطلاعات از نقاط مقابل هم در آسمان شب (که بیش از ۲۶ میلیارد سال نوری از هم فاصله دارند)، از زمان انفجار بزرگ به این سو، مبادله شده باشند.

این وضعیت، در ۳۸۰,۰۰۰ سال بعد از انفجار بزرگ، زمانی که تابش پس‌زمینه برای اولین‌بار شکل گرفت، وخیم‌تر نیز می‌شود. اگر به نقاط مقابل هم، در ۳۸۰,۰۰۰ سال پس از انفجار بزرگ در آسمان نگاه کنیم، می‌بینیم که تابش پس‌زمینه تقریباً یکنواخت است. ولی برطبق محاسبات نظریه انفجار بزرگ، نقاط مقابل هم به اندازه ۹۰ میلیون سال نوری از هم فاصله دارند (به‌دلیل انبساط فضا از زمان انفجار بزرگ) و چاره‌ای نیست جز اینکه نور باید ۹۰ میلیون سال نوری را در عرض تنها ۳۸۰,۰۰۰ سال پیموده باشد. یعنی اطلاعات باید بسیار سریع‌تر از سرعت نور حرکت کرده باشند، که این امر امکان‌پذیر نیست.

به‌این‌ترتیب، وقتی بخش‌های مختلف جهان چنان از یکدیگر دور باشند که نتوانند ارتباط و تماسی با هم برقرار کنند، جهان باید کاملاً غیریکنواخت باشد. چگونه ممکن است جهان تا به این اندازه یکنواخت دیده شود، درحالی‌که نور، زمان لازم برای ترکیب و انتشار اطلاعات را از بخش دوری از جهان به بخش دیگر نداشته باشد؟ (فیزیکدانی به نام رابرت دیک، از پرینستون، این پرسش را معمای افق نامید؛ زیرا افق دورترین جایی است که

می‌توانید ببینید، یا به عبارتی دورترین نقطه‌ای است که نور می‌تواند به آن سفر کند.)

گوث دریافت که در این مورد نیز تورم می‌تواند کلیدی برای حل این معما باشد. او بیان کرد جهان مرئی ما احتمالاً قطعه کوچکی در گوی آتشین اولیه بوده است. خود این قطعه، از نظر چگالی و دما یکنواخت بوده است. اما تورم، ناگهان این قطعه کوچک از ماده یکنواخت را با ضریبی برابر، بسیار سریع‌تر از سرعت نور، منبسط کرده است؛ بدین ترتیب جهان مرئی امروزی، به شدت یکنواخت به‌نظر می‌رسد. بنابراین دلیل اینکه چرا آسمان شب و تابش ریزموج تا به این حد یکنواخت هستند، این است که جهان مرئی، زمانی قطعه کوچک ولی یکنواختی از گوی آتشین اولیه بوده است که ناگهان متورم شده و به جهان فعلی تبدیل شده است.

واکنش به تورم

اگرچه گوث به صحت ایده تورم کاملاً اعتقاد داشت، با این‌حال زمانی که برای اولین‌بار شروع به سخنرانی در برابر عموم کرد، کمی ناآرام به‌نظر می‌رسید. در مورد ارائه نظریه خود در سال ۱۹۸۰ چنین گفته است: «هنوز نگران بودم که ممکن است برخی نتایج نظریه اشتباه باشند. به‌علاوه این ترس نیز وجود داشت که به صورت کیهان‌شناسی ناشی جلوه کنم.» اما نظریه او چنان ظریف و قدرتمند بود که فیزیکدانان سراسر جهان به سرعت به اهمیت آن پی بردند. موری ژِلمن، برنده جایزه نوبل اعلام کرد «تو موفق به حل مهم‌ترین معما در علم کیهان‌شناسی شدی!» شِلدون گِلاشو، برنده جایزه نوبل، به گوث گفته بود که استیون واینبِرگ زمانی که موضوع تورم را شنید، بسیار عصبانی شد. گوث مشتاقانه پرسید: «آیا استیو ایرادی هم به آن گرفت؟» گلاشو پاسخ داد: «نه. مسئله این بود که چرا به فکر خودش نرسیده است.» دانشمندان از خود می‌پرسیدند که چگونه متوجه چنین راه حل ساده‌ای نشده‌اند. فیزیکدانان نظری مشتاقانه نظریه گوث را پذیرفتند؛ کسانیکه از گستره چنین نظریه‌ای متحیر گشته بودند.

طرح این نظریه بر دورنمای شغلی گوث نیز تاثیر گذاشت. در بحبوحه دشوار بازار کار، ترس از بیکاری در چهره او نمایان بود. او اعتراف کرده است که «من در وضعیت خطرناکی در بازار کار به سر می‌بردم.» ناگهان پیشنهادهای کاری جدید از طرف دانشگاه‌های برجسته، البته نه از جانب انتخاب اول او یعنی MIT، سرازیر شدند. اما روزی گوث نوشته روی یک بیسکویت شانس را جدی گرفت که می‌گفت، «فرصت هیجان انگیزی درست در مقابل تو قرار دارد؛ اگر زیاد ترسو و خجالتی نباشی.» این نوشته به او قدرت داد تا جسورانه به MIT تلفن کند و درخواست شغل نماید. زمانی که تنها چند روز بعد، از MIT با او تماس گرفتند و به او پیشنهاد کرسی استادی دادند، واقعاً حیرت زده شد. روی بیسکویت شانس بعدی نوشته بود «نباید آنی عمل کنی.» بدون توجه به این توصیه، گوث تصمیم گرفت موقعیت استادی در MIT را بپذیرد. سپس از خود پرسید: «در هر صورت، مگر یک بیسکویت شانس چینی چقدر می‌داند؟»

علی‌رغم همه این‌ها، هنوز مشکلات مهمی وجود داشت. ستاره‌شناسان کم‌تر تحت تاثیر نظریه گوث قرار گرفتند، زیرا این نظریه در مورد یک مسئله ناقص عمل می‌کرد: پیشگویی آن در مورد مقدار اُمگا نادرست بود. تورم می‌توانست این حقیقت را که اُمگا تقریباً نزدیک به یک بود توضیح دهد، اما از این هم فراتر رفته و پیش‌گویی کرد که اُمگا (یا اُمگای به‌علاوه لاندا) باید دقیقاً برابر با ۱/۰ باشد، که بیانگر جهانی کاملاً تخت است. در سال‌های بعد با جمع‌آوری داده‌های تجربی بیشتر و بیشتر مبنی بر وجود مقادیر زیادی ماده تاریک در جهان، مقدار اُمگا اندکی تکان خورد و به ۳/۰ رسید. اما این عدد هنوز هم برای تورم، مخرب و مهلک بود. اگرچه تورم در دهه بعد، انتشار ۳۰۰۰ مقاله در بین فیزیکدانان را باعث شد، اما هنوز هم برای ستاره‌شناسان عجیب بود. از نظر آنان به‌نظر می‌رسید داده‌های موجود، تورم را رد می‌کنند.

برخی ستاره‌شناسان عقیده داشتند که فیزیکدانان ذرات، چنان محو زیبایی تورم شده‌اند که حقایق تجربی را نادیده می‌گیرند. (رابرت کیرشنر، ستاره‌شناس دانشگاه هاروارد نوشته است : «ایده تورم مسخره به‌نظر می‌آید.

این حقیقت که این نظریه، از جانب آدم‌های صاحب نام جدی گرفته شده، مهر تأیید بر آن نمی‌زند.» راجر پِنروز از آکسفورد، تورم را اینگونه تعریف کرد: «لباس مدی که فیزیکدانان پرانرژی، تن کیهان‌شناسان دیده‌اند.... حتی کفتارها هم فکر می‌کنند فرزندان‌شان زیبا هستند»)

گوث عقیده داشت که بالاخره دیر یا زود، داده‌ها نشان خواهند داد که جهان تخت است. اما او از وجود یک نقص کوچک ولی در عین حال وخیم در تورم نگران بود که حتی هنوز هم کاملاً درک نشده است. تورم به خوبی می‌توانست به برخی از معماهای عمیق کیهان‌شناسی پاسخ دهد. اما مشکل این بود که او نمی‌دانست چگونه باید تورم را متوقف کرد.

فرض کنید آب درون یک کتری تا نزدیکی دمای جوش داغ شود. درست قبل از اینکه آب به جوش آید، به‌طور لحظه‌ای در حالت پرانرژی قرار می‌گیرد. آب در این وضعیت برای بجوش آمدن نیاز به کمی ناخالصی دارد. ولی همین که آب به جوش آمده و حباب‌ها بر روی سطح آب آشکار شوند، سریعاً به حالت انرژی پایین‌تر، یعنی خلأ حقیقی، وارد می‌شود و کتری از حباب پر می‌شود. سرانجام حباب‌ها چنان بزرگ می‌شوند که با هم یکی شده و کتری به‌طور یکنواخت پر از بخار می‌شود. وقتی تمام حباب‌ها ادغام می‌شوند، تغییر حالت از آب به بخار به‌طور کامل صورت گرفته است.

در تصویری که گوث ترسیم کرد، هر حباب بیانگر قطعه‌ای از جهان ماست که از درون خلأ به بیرون آمده و متورم شده است. ولی زمانی که گوث این محاسبات را انجام داد، دریافت که حباب‌ها به‌درستی با هم ادغام نمی‌شوند و بنابراین جهان بسیار ناهنجار است. به عبارت دیگر، نظریه او یک کتری پر از حباب‌های بخار را نشان می‌داد که هیچ‌گاه به یک کتری یکنواخت پر از بخار تبدیل نمی‌شود. به‌نظر می‌رسید مخزن آب جوش گوث نمی‌توانست به جهان امروزی ختم شود.

در سال ۱۹۸۱، آندری لیند، از انستیتوی لِبدوف در روسیه، به‌همراه پُل جِی اِستِینهارت و آندریاس آلبرخت که در آن زمان در دانشگاه پنسیلوانیا بودند، راه حلی برای این معما یافتند. آن‌ها دریافتند که اگر یک حباب از خلأ

کاذب به مدت زمان کافی متورم شود، سرانجام کل کتری را پر کرده و جهان یکنواختی را ایجاد خواهد کرد. به بیان دیگر، کل جهان ما می‌تواند نتیجه فرعی تورم یک تک حباب بوده که پس از تورم کل جهان را پر کرده است. به‌این‌ترتیب، برای ساختن کتری یکنواختی از بخار، نیازی به تعداد زیادی حباب نیست. تنها یک تک حباب، اگر به مدت زمان کافی متورم شود، می‌تواند این‌کار را انجام دهد.

مجدداً سد آب و خلأ کاذب را درنظر بگیرید. هرچه سد ضخیم‌تر باشد، مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا آب بتواند به دیواره سد نفوذ کرده و از درون آن تونل بزند. اگر دیواره سد به اندازه کافی ضخیم باشد، آنگاه تونل زنی خودبه‌خودی، به تعویق خواهد افتاد. اگر جهان بتواند با ضریب 10^{50} متورم شود، آنگاه یک تک حباب، زمان کافی خواهد داشت تا بتواند به هر سه معمای افق، تک قطبی و تخت بودن پاسخ دهد. به بیان دیگر اگر تونل زنی به اندازه کافی به تعویق افتد، جهان آنقدر متورم خواهد شد که نتیجه آن، به‌وجود آمدن جهانی تخت و رقیق شدن تک قطبی‌ها در جهان خواهد بود. ولی هنوز یک سوآل باقی است: چه مکانیزمی قادر است تورم را تا به این حد به تعویق اندازد

سرانجام، این معمای پیچیده به «مشکل خروج مطبوع» معروف شد، به این معنی که چگونه می‌توان جهان را تا این اندازه طولانی متورم کرد، تا یک تک حباب بتواند فرصت ایجاد کل جهان را بیابد. در طول سال‌ها، حداقل پنجاه مکانیزم متفاوت برای حل این مشکل ارائه شدند. (این مسئله بسیار مشکل است. من خود روش‌های متفاوتی را برای آن آزموده‌ام. ایجاد مقدار کمی تورم در جهان اولیه کار نسبتاً ساده‌ای بود، اما چیزی که مشکل است وادار کردن جهان به تورم با ضریب 10^{50} است. البته می‌توان این ضریب 10^{50} را به صورت دستی وارد کرد، ولی کاملاً مشخص است که مصنوعی و ساختگی است.) به بیان دیگر، درست است که فرایند تورم به‌طور گسترده‌ای معماهای تک قطبی، افق، و تخت بودن را حل می‌کرد، ولی هیچ کس دقیقاً نمی‌دانست که چه عاملی باعث ایجاد تورم و در نهایت توقف آن شده است.

تورم آشفته و جهان‌های موازی

این موضوع که برای حل مشکل خروج مطبوع، هیچ توافقی بر روی روشی خاص وجود نداشت، آندرِی لیند را آشفته نکرد. لیند اقرار کرده است، «احساس من این بود که غیرممکن است خدا از چنین امکان خوبی برای ساده کردن کار خود استفاده نکرده باشد.»

در نهایت، لیند نسخه جدیدی از نظریه تورم را ارائه کرد که به‌نظر می‌رسید برخی از اشکالات نسخه‌های قبلی را در خود نداشته باشد. او جهانی را به تصویر کشید که در آن، در نقاط تصادفی در فضا و زمان، شکست خودبه‌خودی رخ می‌دهد. در هر نقطه‌ای که شکستی رخ می‌دهد، جهانی ایجاد می‌شود که کمی متورم می‌گردد. در اغلب موارد، مقدار تورم کم است. اما از آنجا که این فرایند تصادفی است، در نهایت حتماً حبابی وجود خواهد داشت که در آن تورم به اندازه کافی طولانی می‌شود، تا بتواند جهان ما را ایجاد کند. با استناد به نتایج منطقی چنین ادعایی می‌توان گفت تورم، دائمی و ابدی بوده و انفجار بزرگ همواره در حال رخ‌دادن است. بنابراین همواره جهان‌های‌جدیدی از درون دیگر جهان‌ها جوانه می‌زنند. در این تصویر ارائه شده، جهان‌ها می‌توانند از درون جهان‌های دیگر جوانه زده و در نتیجه جهان‌های چندگانه را بسازند.

در این نظریه، شکست‌های خودبه‌خودی ممکن است در هرکجای جهان ما رخ دهند و بنابراین ممکن است که جهان کاملی از درون جهان ما جوانه بزند. حتی خود جهان ما نیز ممکن است از درون جهان قبلی جوانه زده باشد. در مدل تورمی آشفته، وجود جهان‌های چندگانه دائمی و ابدی است؛ حتی اگر تک تک جهان‌ها دائمی و ابدی‌نباشند. برخی جهان‌ها ممکن است اُمگای بزرگی داشته باشند که در این حالت سریعاً پس از رخ‌دادن انفجار بزرگ درون یک فروپاشی بزرگ از بین می‌روند. برخی جهان‌ها اُمگای کوچکی دارند و برای همیشه منبسط می‌شوند. بنابراین جهان‌های چندگانه را جهان‌هایی می‌سازند که به مقدار زیاد متورم می‌شوند.

در نگاه به گذشته، در می‌یابیم که ایده جهان‌های موازی همواره بر ما

تحمیل شده است. در حقیقت می‌توان گفت تورم به نوعی ادغام کیهان‌شناسی مرسوم با پیشرفت‌های اخیر فیزیک ذرات است. فیزیک ذرات، به‌عنوان یک نظریه کوانتومی بیان می‌کند که احتمال محدود و مشخصی برای وقوع رخدادهای غیرمحتمل وجود دارد؛ درست مثل ایجاد جهان‌های موازی. بنابراین به محض اینکه ما احتمال پیدایش یک جهان را بپذیریم، با این‌کار در را به روی امکان پیدایش بی‌نهایت جهان موازی گشوده‌ایم. به‌عنوان مثال، چگونگی توصیف الکترون را در نظریه کوانتوم در نظر بگیرید. به‌دلیل اصل عدم قطعیت، الکترون نمی‌تواند در هیچ نقطه مشخصی وجود داشته باشد، اما می‌توان گفت در تمام نقاط محتمل دور هسته وجود دارد. این ابر الکترونی که هسته را احاطه می‌کند، بیانگر حضور الکترون در مکان‌های متعددی در یک زمان است. این مسئله، اصل اساسی علم شیمی محسوب می‌شود که به الکترون‌ها امکان می‌دهد تا مولکول‌ها را به یکدیگر پیوند دهند. دلیل اینکه چرا مولکول‌ها از هم پاشیده نمی‌شوند، این است که الکترون‌های موازی در اطراف آن‌ها می‌چرخند و آن‌ها را در کنار یکدیگر نگاه می‌دارند. به‌همین ترتیب، جهان روزی کوچک‌تر از یک الکترون بوده است. زمانی که نظریه کوانتوم را در مورد جهان نیز اعمال کنیم، ناچاریم بپذیریم این احتمال وجود دارد که جهان به‌طور هم‌زمان در حالت‌های متعددی وجود داشته باشد. به بیان دیگر، وقتی اعمال تغییرات کوانتومی به جهان را بپذیریم، ناچار مجبور خواهیم شد امکان وجود جهان‌های موازی را نیز بپذیریم. به‌نظر می‌رسد چاره دیگری نداریم.

جهانی برخاسته از هیچ

ممکن است در نگاه اول با نظریه جهان‌های چندگانه مخالفت کنیم، زیرا به‌نظر می‌رسد این نظریه قوانین شناخته شده‌ای مثل قانون بقای ماده و انرژی را به‌هم می‌ریزد. در واقع، مجموع کل ماده به‌علاوه انرژی در جهان احتمالا خیلی کوچک است. درست است که مقدار ماده موجود در جهان شامل تمام ستارگان، سیارات و کهکشان‌ها مقداری مثبت و بزرگ است، با این‌حال

انرژی ذخیره شده در گرانش، ممکن است منفی باشد. اگر انرژی مثبت ماده را با انرژی منفی گرانش جمع کنیم، نتیجه عددی نزدیک به صفر خواهد بود! از بعضی جهات می‌توان گفت چنین جهان‌هایی آزاد هستند. آن‌ها می‌توانند از درون خلأ، تقریباً بدون هیچ تلاشی، بیرون بجهند. (اگر کیهان بسته باشد، مقدار انرژی کل آن باید دقیقاً برابر صفر باشد.)

(برای درک بهتر این موضوع، الاغی را در نظر بگیرید که به چاله بزرگی افتاده است. باید به الاغ انرژی کمکی بدهیم تا از چاله بیرون بیاید. فرض کنیم وقتی الاغ بیرون از چاله روی زمین ایستاده، انرژی صفر داشته باشد. بنابراین به‌دلیل اینکه مجبور شدیم به الاغ انرژی کمکی بدهیم تا او را به حالت انرژی صفر برسانیم، می‌توان گفت الاغ در چاله دارای‌مقدار معینی انرژی منفی است. همین‌طور برای خارج کردن سیاره‌ای از درون یک منظومه ستاره‌ای، مجبوریم به آن انرژی بدهیم. وقتی سیاره در فضای آزاد خارج از منظومه قرار دارد، انرژی صفر خواهد داشت. چون مجبور شدیم به سیاره انرژی بدهیم تا آن را از درون یک سیستم خورشیدی بیرون بیاوریم تا به انرژی صفر دست یابد، بنابراین سیاره هنگام حضور در سیستم خورشیدی دارای انرژی منفی بوده است.)

در حقیقت، برای ایجاد جهانی شبیه آنچه که ما درون آن هستیم، ممکن است به‌مقدار واقعاً کمی ماده، شاید به اندازه چند گرم نیاز داشته باشیم. آن‌طور که گوث می‌گوید، «جهان شاید یک نهار مجانی باشد.» ایده ایجاد جهان از هیچ، اولین‌بار در سال ۱۹۷۳، طی مقاله‌ای در مجله نیچر، توسط ادوارد ترایون، از کالج هانتِر دانشگاه سیتی شهر نیویورک مطرح شد. او تصور کرد که جهان چیزی است که به‌دلیل یک تحول کوانتومی در خلأ، «هرچند وقت یکبار رخ می‌دهد.» (اگرچه مقدار ماده خالص لازم برای‌ایجاد یک جهان ممکن است نزدیک به صفر باشد، این ماده همان‌طور که در فصل ۱۲ خواهیم دید باید تا حد چگالی‌های غیر قابل تصور، فشرده شود.)

همانند افسانه پَن کو، این مثالی است از کیهان‌شناسی وجود از عدم. اگرچه نظریه جهان برخاسته از هیچ را نمی‌توان با روش‌های مرسوم ثابت کرد، اما این نظریه در پاسخ به بسیاری از سوآلات کاربردی در مورد جهان کمک

می‌کند. به‌عنوان مثال، چرا جهان فرفره‌وار به دور خود نمی‌چرخد؟ تمام چیزهایی که در اطراف خود می‌بینیم در حال چرخش‌اند، از توفان‌ها، سیارات و کهکشان‌ها گرفته تا اختروش‌ها. به‌نظر می‌رسد این ویژگی عمومی ماده در جهان باشد. اما چرا خود جهان نمی‌چرخد؟ وقتی در آسمان به کهکشان‌ها نگاه می‌کنیم، مجموع چرخش آن‌ها صفر است. (این کاملاً خوش شانسی ما است، زیرا همان‌طور که در فصل ۵ خواهیم دید، اگر جهان می‌چرخید آن وقت سفر در زمان عادی شده و بنابراین نوشتن تاریخ غیرممکن بود.) دلیل اینکه چرا جهان ما نمی‌چرخد، می‌تواند این باشد که جهان ما از هیچ به‌وجود آمده است. از آنجا که خلأ نمی‌چرخد، انتظار نداریم که هیچ چرخش خالصی در جهان ما به‌وجود آید. در حقیقت تمام جهان‌های حبابی درون جهان چندگانه، چرخش خالصی برابر صفر دارند.

چرا بارهای الکتریکی مثبت و منفی دقیقاً با هم برابرند و یکدیگر را خنثی می‌کنند؟ به‌طور معمول زمانی که به نیروهای کیهانی حاکم بر جهان می‌اندیشیم، بیشتر به گرانش فکر می‌کنیم تا نیروی الکترومغناطیسی؛ حتی اگر نیروی گرانش در مقایسه با نیروی الکترومغناطیسی بسیار کوچک باشد. دلیل این امر تعادل کامل و دقیق بین بارهای مثبت و منفی است. در نتیجه به‌نظر می‌آید بار الکتریکی خالص جهان صفر بوده و این گرانش است که جهان را احاطه کرده و نه نیروی الکترومغناطیسی.

اگرچه این مسئله بسیار بدیهی به‌نظر می‌رسد، اما در اصل خنثی‌سازی بارهای مثبت و منفی کاملاً جالب توجه است و از نظر آزمایشگاهی با دقت ۱ در $۱۰^{۲۱}$ مورد آزمایش واقع شده است. (البته واضح است که عدم تعادل بین بارهای الکتریکی به‌طور محلی وجود دارد و به‌همین دلیل است که رعد و برق به‌وجود می‌آید. اما تعداد کلی بارها، حتی برای توفان‌های رعدآسا، برابر با صفر است.) اگر درون بدن شما، تنها ۰/۰۰۰۰۱ درصد تفاوت در بارهای خالص الکتریکی مثبت و منفی وجود داشته باشد، آناً از هم پاشیده می‌شوید و اجزای بدن شما، به‌وسیله نیروی الکتریکی به خارج پرتاب می‌شوند.

جواب این معمای قدیمی ممکن است این باشد که جهان از هیچ درست

شده است. از آنجا که مقدار چرخش و بار خالص خلأ برابر صفر است، هر جهان کودکی که از هیچ بیرون می‌جهد نیز باید چرخش و بار الکتریکی خالصی برابر صفر داشته باشد.

استثنای آشکاری برای این قانون وجود دارد: جهان بیشتر از ماده تشکیل شده است تا ضد ماده. از آنجا که ماده و ضد ماده مخالف هم هستند (با بار الکتریکی مخالف)، ممکن است تصور کنیم که انفجار بزرگ مقادیر برابری ماده و ضد ماده ایجاد کرده باشد. مشکل این است که ماده و ضد ماده در برخورد با هم، یکدیگر را از بین می‌برند و انفجاری از پرتوهای گاما ایجاد می‌کنند. بنابراین ما نمی‌بایست وجود داشته باشیم.

در این‌صورت، جهان به‌جای اینکه از ماده معمولی پر شده باشد، باید مجموعه تصادفی از پرتوهای گاما باشد. اگر انفجار بزرگ کاملاً متقارن بود (یا از هیچ برمی‌خواست)، آنگاه ما باید انتظار شکل‌گیری مقادیر یکسانی ماده و ضدماده را داشته باشیم. پس چرا ما وجود داریم؟ پاسخی که به‌وسیله فیزیکدان روسی، آندره‌ی ساخاروف ارائه شد این است که انفجار بزرگ اولیه، به‌هیچ‌وجه کاملاً متقارن نبوده است. درست در لحظه پیدایش، مقدار کمی شکست تقارن بین ماده و ضدماده وجود داشته که باعث شده ماده بر ضد ماده غلبه کند و در نتیجه جهان اطراف به‌وجود آید. (تقارنی که در انفجار بزرگ شکسته شده، تقارن CP نامیده می‌شود؛ تقارنی که براساس آن، بار و زوجیت ذرات ماده و ضدماده جابجا می‌شوند.) اگر جهان از هیچ به‌وجود آمده باشد، آنوقت شاید بتوان گفت خلأ کاملاً خالی نیست، بلکه مقدار بسیار کمی شکست تقارن دارد که باعث غلبه ماده به ضد ماده شده است. منشاء این شکست تقارن، هنوز مشخص نیست.

جهان‌های دیگر چه شکلی دارند؟

ایده جهان‌های چندگانه جذاب است زیرا تنها کافی است فرض کنیم شکست‌های خودبه‌خودی، به صورت تصادفی رخ می‌دهند. نیاز به هیچ فرض دیگری نیست. هر بار که جهانی، از درون جهان دیگری جوانه می‌زند،

ثوابت فیزیکی با اصل خود فرق خواهند کرد و بدین ترتیب قوانین جدید فیزیکی ایجاد می‌شوند. اگر این درست باشد، درون هر جهانی می‌تواند جهان کاملاً جدیدی پدیدار شود. ولی اینجا سوآل جالبی مطرح می‌شود: این جهان‌های دیگر، چه شکلی هستند؟ کلید فهمیدن فیزیک جهان‌های‌موازی، فهمیدن این موضوع است که چگونه این جهان‌ها ایجاد می‌شوند، یا به عبارتی فهمیدن دقیق اینکه چگونه شکست‌های خودبه‌خودی رخ می‌دهند.

زمانی که جهانی زاده می‌شود و شکست خودبه‌خودی رخ می‌دهد، تقارن نظریه اصلی نیز درهم می‌شکند. از نظر یک فیزیکدان، زیبایی یعنی تقارن و سادگی. اگر یک نظریه زیبا باشد، به این معنی است که تقارن نیرومندی دارد که می‌تواند مقدار زیادی داده را به خلاصه‌ترین روش توضیح دهد. به بیان بهتر، یک معادله زمانی زیبا فرض می‌شود که وقتی جای اجزایش را با یکدیگر تعویض کنیم، به همان شکل باقی بماند. یکی از فوائد مهم کشف تقارن‌های مخفی طبیعت این است که می‌توانیم نشان دهیم که پدیده‌هایی که مجزا به‌نظر می‌رسند، در حقیقت جلوه‌های مختلف از یک چیز هستند که از طریق تقارن به‌هم پیوند خورده‌اند. به‌عنوان مثال، می‌توان نشان داد که الکتریسیته و مغناطیس در حقیقت دو وجه از یک چیز هستند زیرا تقارنی وجود دارد که امکان جابجایی آن‌ها را در معادلات مکسول فراهم می‌آورد. به‌طور مشابه، اینشتین نشان داد که نسبیت می‌تواند فضا را به زمان تبدیل کند و برعکس، زیرا آن‌ها هردو بخشی از یک چیز هستند، کالبد فضا-زمان.

دانه برفی را در نظر بگیرید که تقارنی زیبا و شش وجهی دارد. زیبایی آن در این است که اگر این دانه برف را ۶۰ درجه بچرخانیم به همان شکل اول خواهد بود. یعنی هر معادله‌ای که برای توصیف دانه برف می‌نویسیم، با چرخشی برابر با ضرائب ۶۰ درجه، باید بدون تغییر باقی بماند. از نظر ریاضی، می‌گوییم که دانه برف دارای‌تقارن است.

بنابراین تقارن‌ها زیبایی نهفته طبیعت را رمزگذاری می‌کنند. اما در دنیای واقعی، امروزه این تقارن‌ها به شدت شکسته شده‌اند. چهار نیروی عظیم جهان، به‌هیچ‌وجه شبیه به‌هم نیستند. در حقیقت جهان پر از بی‌نظمی‌ها و

نقص‌هاست؛ اطراف ما باقی‌مانده‌ها و خرده‌ریزهایی از تقارن اصلی نخستین وجود دارد که از انفجار بزرگ ناشی شده‌اند. بنابراین کلید درک مفهوم محتمل جهان‌های موازی، فهم «شکست تقارن» است، به این معنی که چگونه ممکن است این تقارن‌ها پس از انفجار بزرگ شکسته شده باشند. آن‌طور که فیزیکدانی به نام دیوید گِراس گفته است، «با اینکه راز طبیعت، تقارن آن است، ولی آنچه امروزه از بافت و ترکیب فعلی جهان می‌بینیم، همه از شکست تقارن ناشی شده‌اند.»

به این فکر کنید که چگونه یک آئینه زیبا به هزاران قطعه شکسته می‌شود. آینه اصلی دارای تقارن بزرگی است. آئینه را می‌توان با هر زاویه دلخواه چرخاند، با این حال، هنوز هم به همان روش نور را منعکس کند. اما پس از اینکه قطعه قطعه شد، تقارن اصلی به‌هم می‌ریزد. تعیین دقیق اینکه تقارن چگونه به‌هم ریخته است، تعیین می‌کند که آئینه چگونه شکسته است.

شکست تقارن

مراحل رشد یک جنین را درنظر بگیرید. در مراحل اولیه، درست چند روز پس از لقاح، جنین به صورت کره کاملی از سلول‌هاست. سلول‌ها تفاوتی با هم ندارند. از هر طرف که کره را بچرخانیم، به یک شکل دیده می‌شود. فیزیکدانان عقیده دارند که جنین در این مرحله دارای تقارن است، یعنی آن را حول هر محوری بچرخانیم، یکسان باقی می‌ماند.

گرچه در این مرحله جنین زیبا و ظریف است، ولی تقریباً بلااستفاده است. یک کره کامل، نمی‌تواند کار مفیدی انجام دهد یا با محیط برهم‌کنش داشته باشد. به‌هرحال با گذشت زمان، جنین این تقارن را برهم زده، سر و پیکره کوچکی می‌سازد؛ شبیه به چوب بولینگ. اگرچه تقارن کروی اولیه، در هم می‌ریزد، اما جنین هنوز دارای تقارن است؛ اگر آن را دور محور خود بچرخانیم، شکل آن تغییر نخواهد کرد. بنابراین در این مرحله دارای تقارن استوانه‌ای است. از نظر ریاضی می‌گوییم که تقارن اصلی کره، هم‌اکنون به تقارن استوانه شکسته شده است.

اگرچه به‌هم ریختن تقارن، می‌توانست به روش دیگری رخ دهد. به‌عنوان مثال، ستاره دریایی تقارن استوانه‌ای یا دوطرفه ندارد؛ در عوض، زمانی که تقارن کروی آن شکسته می‌شود، تقارن پیدا می‌کند (که تحت چرخش ۷۲ درجه تغییر نمی‌کند)، که به آن شکل ستاره پنج پر می‌دهد. بنابراین روشی که تقارن شکسته می‌شود، شکل اندام‌ها را حین تولد تعیین می‌کند.

به‌طور مشابه دانشمندان عقیده دارند که جهان در حالتی از تقارن کامل آغاز شده است، و تمام نیروها به یک نیرو منتج می‌شده‌اند. جهان در آن زمان، زیبا و متقارن ولی تا حدودی بی‌استفاده بوده است. همان‌طور که می‌دانیم، حیات در این وضعیت بی‌عیب و نقص نمی‌توانست وجود داشته باشد. برای اینکه امکان حیات به‌وجود آید، با خنک شدن جهان، تقارن باید شکسته شود.

تقارن و مدل استاندارد

به‌همین روش، برای فهمیدن اینکه جهان‌های موازی چه شکل‌هایی دارند، ابتدا باید تقارن برهم‌کنش‌های ضعیف، قوی و الکترومغناطیسی را بدانیم. به‌عنوان مثال نیروی قوی، از سه کوارک تشکیل شده است که دانشمندان آن‌ها را با سه رنگ قراردادی (مثلاً قرمز، سفید و آبی) نام‌گذاری کرده‌اند. هدف این است که با معاوضه این سه کوارک رنگی، معادلات تغییر نکنند. می‌گوییم که این معادلات دارای تقارن $SU(3)$ هستند؛ به این معنی که با معاوضه این سه کوارک، معادلات همان‌طور باقی می‌مانند. دانشمندان عقیده دارند که یک نظریه، با تقارن $SU(3)$، دقیق‌ترین توصیف از برهم‌کنش‌های قوی (به نام کرومودینامیک کوانتومی) را شکل می‌دهد. اگر آبَررایانه غول‌پیکری داشته باشیم، تنها با داشتن جرم کوارک‌ها و توانایی برهم‌کنش آن‌ها، می‌توانیم به‌طور نظری تمام مشخصات پروتون و نوترون و تمام مشخصات فیزیک هسته‌ای را محاسبه کنیم.

به‌طور مشابه فرض کنید دو لپتون داریم؛ الکترون و نوترینو. اگر بتوانیم آن‌ها را در یک معادله با هم تعویض کنیم، تقارن $SU(3)$ خواهیم داشت. در

مورد نور، گروه تقارن $U(1)$ است. (این گروه، اجزاء یا پولاریزاسیون‌های مختلف نور را با یکدیگر جابجا می‌کند.) بنابراین گروه تقارن برهم‌کنش‌های الکترومغناطیسی و ضعیف، برابر است با $SU(2)\times U(1)$.

اگر ما این سه نظریه را به‌هم پیوند دهیم، عجیب نخواهد بود که تقارن $SU(3)\times SU(2)\times U(1)$ حاصل شود: تقارنی که سه کوارک و دو لپتون را در خود، جداگانه ترکیب می‌کند (ولی کوارک‌ها را با لپتون‌ها مخلوط نمی‌کند). نظریه به‌دست آمده، مدل استاندارد است و همان‌طور که قبلاً دیدیم، شاید یکی از موفق‌ترین نظریه‌ها در طول تاریخ باشد. آن‌طور «که گوردون کین از دانشگاه میشیگان می‌گوید: «هر چیزی که در دنیای ما رخ می‌دهد (به جز آنچه به گرانش مربوط می‌شود)، از برهم‌کنش ذرات مدل استاندارد ناشی می‌شود.» برخی از پیشگویی‌های آن در آزمایشگاه با دقت یک در صدمیلیون مورد آزمایش قرار گرفته است. (در حقیقت تاکنون بیست جایزه نوبل به فیزیکدانانی اعطا شده که بخش‌های مختلف مدل استاندارد را به‌هم متصل کرده‌اند.)

سرانجام می‌توان نظریه‌ای بنا کرد که برهم‌کنش‌های قوی، ضعیف، و الکترومغناطیسی را در یک تقارن ترکیب کند. در ساده‌ترین نظریه گات که این‌کار انجام می‌شود، امکان معاوضه تمام پنج ذره (سه کوارک و دو لپتون) به‌طور هم‌زمان وجود دارد. برخلاف تقارن مدل استاندارد، تقارن گات می‌تواند کوارک‌ها و لپتون‌ها را با هم ترکیب کند (به این معنی که پروتون‌ها می‌توانند به الکترون تبدیل شوند). به بیان دیگر نظریه‌های گات، شامل تقارن $SU(5)$ هستند (امکان جابجایی تمام پنج ذره، سه کوارک و دو لپتون بین یکدیگر). در طول سال‌ها، گروه‌های تقارن متعدد دیگری مورد بررسی قرار گرفتند، اما شاید حداقل گروهی باشد که با داده‌های ما جور در می‌آید.

زمانی که شکست خودبه‌خودی رخ می‌دهد، تقارن اصلی نظریه گات، می‌تواند به روش‌های متعددی به‌هم ریخته شود. در یک روش، تقارن گات به $SU(3)\times SU(2)\times U(1)$ شکسته می‌شود؛ با دقیقاً ۱۹ پارامتر آزاد که برای توصیف جهان به آن‌ها نیاز داریم. با استفاده از این روش، دنیایی که ما

می‌شناسیم حاصل می‌شود. با این‌حال در واقع روش‌های بسیاری برای شکستن تقارن وجود دارد. به احتمال زیاد جهان‌های دیگر تقارن کاملاً متفاوتی دارند. حداقل این است که این جهان‌های موازی ممکن است مقادیر مختلفی برای‌این ۱۹ پارامتر داشته باشند. به بیان دیگر، قدرت نیروها در جهان‌های مختلف متفاوت است که منجر به تغییرات وسیعی در ساختار جهان‌ها خواهد شد. به‌عنوان مثال، با تضعیف قدرت نیروی هسته‌ای، می‌توان از شکل‌گیری ستارگان جلوگیری کرد. درنتیجه جهان در تاریکی ابدی بوده و حیات در آن غیرممکن می‌شود. اگر نیروی هسته‌ای بیش از حد قدرتمند شود، ستارگان سوخت هسته‌ای خود را چنان سریع می‌سوزانند که حیات، زمان کافی برای شکل‌گیری پیدا نخواهد کرد.

گروه تقارن نیز می‌تواند تغییر کند، که در نتیجه یک جهان کاملاً متفاوت از ذرات پدید می‌آید. در برخی از این جهان‌ها، ممکن است پروتون‌ها پایدار نبوده و به‌سرعت به آنتی‌الکترون تنزل کنند. چنین جهان‌هایی همان‌طور که می‌دانیم نمی‌توانند شامل حیات باشند و به‌سرعت به غبار بی‌جانی از الکترون‌ها و نوترینوها تجزیه می‌شوند. جهان‌های دیگری می‌توانند وجود داشته باشند که در آن‌ها تقارن گات به روش‌های باز هم متفاوتی شکسته و در نتیجه ذرات پایدار شبه پروتون بیشتری به‌وجود آیند. در چنین جهانی، تنوع عظیمی از مواد شیمیایی عجیب وجود خواهد داشت. زندگی در چنین جهان‌هایی بسیار پیچیده‌تر از جهان ما خواهد بود؛ آن‌ها دارای عناصر شیمیایی بیشتری خواهند بود که از آن‌ها می‌توان مواد شیمیایی شبه DNA بیشتری ساخت.

همچنین می‌توانیم تقارن اصلی گات را به‌گونه‌ای بشکنیم که بیش از یک تقارن $U(1)$ داشته باشیم. بنابراین در چنین جهانی چند نوع نور وجود خواهد داشت. واقعاً دنیای عجیبی خواهد بود که در آن، موجودات نه فقط با استفاده از یک نوع بلکه چندین نوع نیرو، عمل دیدن را انجام می‌دهند. در چنین جهانی، چشمان موجودات زنده برای آشکارسازی اشکال متنوع تابش‌های نوری، باید گیرنده‌های متنوعی داشته باشند.

جای تعجب نیست که صدها و شاید بی‌نهایت روش برای شکستن این تقارن وجود دارد. هرکدام از این روش‌ها، به نوبه خود می‌توانند به جهان کاملاً متفاوتی منجر شوند.

پیش‌بینی‌های قابل آزمایش

متأسفانه، در حال حاضر امکان آزمودن نظریه جهان‌های چندگانه، یعنی جهان‌های متعدد با مجموعه متفاوتی از قوانین فیزیکی، غیرممکن است. برای دسترسی به این جهان‌ها، باید بتوان با سرعتی بیشتر از سرعت نور حرکت کرد. اما یکی از فوائد نظریه تورم این است که پیش‌بینی‌های آن در مورد طبیعت کیهان ما، قابل آزمایش هستند.

از آنجا که نظریه تورم یک نظریه کوانتومی است، براساس اصل عدم قطعیت هایزنبرگ یعنی اساس نظریه کوانتوم، عمل می‌کند. (اصل عدم قطعیت بیان می‌دارد که نمی‌توان با دقت بی‌نهایت، اندازه‌گیری انجام داد؛ مثل اندازه‌گیری سرعت و موقعیت یک الکترون. مهم نیست که تجهیزات شما چقدر حساس باشند، همیشه عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌ها وجود خواهد داشت. اگر سرعت یک الکترون را بدانید، نمی‌توانید مکان دقیق آن را بدانید؛ و اگر مکان آن را بدانید نمی‌توانید سرعت آن را بدانید.) اگر این مسئله را به گوی آتشین ابتدایی که منشاء انفجار بزرگ بوده است اعمال کنیم خواهیم دید که انفجار کیهانی اصلی باید «افت و خیز» کوانتومی داشته باشد. (اگر کاملاً بدون افت و خیز بود، آنوقت به دقت می‌توانستیم خط سیر ذرات زیراتمی منتشر شده از انفجار بزرگ را تعیین کنیم که با اصل عدم قطعیت در تناقض است.) نظریه کوانتوم، ما را قادر می‌سازد تا اندازه این افت و خیزها در گوی آتشین اولیه را محاسبه کنیم. با اعمال تورم به این افت و خیزهای کوچک کوانتومی، می‌توان مقدار کمینه افت خیزهایی را که باید ۳۸۰,۰۰۰ سال بعد از انفجار بزرگ مشاهده شود، محاسبه کرد. (و اگر ما این افت و خیزها را تا امروز دنبال کنیم، باید به توزیع خوشه‌های کهکشانی برسیم. کهکشان ما، خود در یکی از این افت و خیزهای کوچک ایجاد شده است.)

با نگاهی اجمالی به داده‌های ماهواره COBE، در ابتدا هیچ انحراف یا تحولی در تابش پس‌زمینه ریزموج مشاهده نشد که این مسئله در بین فیزیکدانان ایجاد نگرانی کرد، زیرا عدم افت و خیز در تابش پس‌زمینه ریزموج، نه فقط تورم بلکه اصل عدم قطعیت و در نتیجه کل نظریه کوانتوم را به‌هم می‌ریخت و همچنین پایه فیزیک را تا سطوح بنیادی آن تکان می‌داد. بنابراین کل فیزیک کوانتوم قرن بیستم، باید دور ریخته می‌شد.

با نگاهی دقیق‌تر به داده‌های رایانه‌ای ماهواره COBE، مجموعه نامشخصی از تحولات و افت و خیزها یافت شدند؛ تغییرات دمایی یک در ۱۰۰,۰۰۰، یعنی حداقل مقدار افت و خیزی که نظریه کوانتوم می‌تواند تحمل کند. این افت و خیزهای بی‌نهایت کوچک، با نظریه تورم سازگار بودند. گوث اعتراف می‌کند «من کاملاً فریب تابش پس‌زمینه کیهانی را خوردم. تابش آنقدر ضعیف بود که حتی تا سال ۱۹۶۵ آشکار نشد و اکنون آن‌ها قادرند افت و خیزهایی با دقت یک در صدهزار را اندازه‌گیری کنند.»

اگرچه شواهد تجربی جمع‌آوری شده، به تدریج با تورم همراهی می‌کردند، دانشمندان هنوز مجبور بودند مشکل مقدار اُمگا را حل کنند؛ این حقیقت که مقدار اُمگا به‌جای یک، عدد ۰/۳ بود.

ابرنواخترها ــ بازگشت لاندا

با اینکه داده‌های دریافتی از ماهواره COBE با تورم سازگار بودند، ستاره‌شناسان هنوز در دهه ۱۹۹۰ از این مسئله که تورم با داده‌های تجربی مربوط به اُمگا در تناقض آشکار بود، ناراضی بودند. این جریان اولین‌بار در سال ۱۹۹۸، با استفاده از داده‌ای که از یک منبع کاملاً غیرمنتظره به‌دست آمد، تغییر کرد. ستاره‌شناسان یکبار دیگر تلاش کردند تا سرعت انبساط جهان را در گذشته دور محاسبه کنند. به‌جای بررسی متغیرهای قیفاووسی که هابل در دهه ۱۹۲۰ انجام داده بود، آن‌ها به آزمایش بر روی ابرنواخترانی پرداختند که در کهکشان‌های دوردست، میلیاردها سال نوری دورتر، در گذشته کیهان قرار داشتند. آن‌ها به‌طور خاص ابرنواخترهای نوع یک A را

مورد بررسی قرار دادند. از این نوع ابرنواخترها می‌توان به‌طور ایده‌آل، به‌عنوان شمع‌های استاندارد استفاده کرد.

ستاره‌شناسان می‌دانستند که ابرنواخترهایی از این نوع، تقریباً درخشندگی یکسان دارند. (شدت روشنایی ابرنواخترهای نوع یک A با چنان دقتی مشخص شده است که حتی انحرافات کوچک را نیز می‌توان درجه‌بندی کرد: هرچه ابرنواختر درخشنده‌تر باشد، روشنایی آن آهسته‌تر افول می‌کند.) چنین ابرنواخترانی زمانی شکل می‌گیرند که یک کوتوله سفید، در یک سیستم دوتایی، به آهستگی ماده ستاره جفت خود را به درون می‌کشد. با تغذیه از ستاره همزاد، جرم این کوتوله سفید به‌تدریج افزایش می‌یابد تا اینکه وزن آن به ۱/۴ برابر جرم خورشید، یعنی ماکزیمم مقدار ممکن برای یک کوتوله سفید می‌رسد. با فرارفتن از این مرز، کوتوله سفید در خود فرو می‌ریزد و به یک ابرنواختر نوع یک A تبدیل می‌شود. وجود این نقطه انفجار، باعث می‌شود که ابرنواختران نوع یک A درخشندگی یکسانی داشته باشند. این نتیجه طبیعی رسیدن یک کوتوله سفید به یک جرم دقیق مشخص و در نتیجه فروپاشی آن تحت نیروی گرانش است. (همان‌طور که چاندِر اِسخار در سال ۱۹۳۵ نشان داد، در یک کوتوله سفید نیروی گرانشی که ستاره را فشرده می‌کند، با نیروی دافعه بین الکترون‌ها، به نام فشار تبهگنی الکترون، خنثی می‌شود. اگر جرم یک کوتوله سفید بیش از ۱/۴ جرم خورشید باشد، آنگاه گرانش بر این نیرو غلبه کرده، ستاره درهم مچاله می‌شود و ابرنواختر به‌وجود می‌آید.) از آنجا که ابرنواختران دوردست در دنیای جوان‌تر به‌وجود آمده‌اند، با بررسی آن‌ها می‌توان سرعت انبساط جهان را در میلیاردها سال قبل محاسبه کرد.

انتظار دو گروه مستقل از ستاره‌شناسان (به رهبری سائول پِرلماتِر، از پروژه کیهان‌شناسی ابرنواختر و برایان پی اِشمیت، از تیم تحقیقاتی ابرنواختر High-Z)، یافتن این موضوع بود که اگرچه جهان هنوز در حال انبساط است، ولی این انبساط به‌تدریج کند می‌شود. نسل‌های متعددی از ستاره‌شناسان به این باور اعتقاد داشتند و این مسئله که سرعت انبساط جهان به تدریج در حال

کند شدن است، تا مدت‌ها در تمام کلاس‌های درس کیهان‌شناسی تدریس می‌شد.

پس از بررسی حدود دوازده ابرنواختر، مشخص شد که جهان در ابتدا، با آن سرعتی که قبلاً تصور می‌شد، منبسط نشده است (به این معنی که انتقال به سرخ ابرنواختران و بنابراین سرعت آن‌ها کم‌تر از چیزی بود که در اصل تصور می‌شد). وقتی سرعت انبساط جهان امروز را با جهان میلیاردها سال قبل مقایسه کردند، دریافتند که سرعت انبساط در حال حاضر، نسبت به گذشته بیشتر است. در کمال تعجب، این دو گروه به نتیجه حیرت‌آوری دست یافتند؛ سرعت انبساط جهان در حال افزایش است.

شگفتی آن‌ها وقتی دو چندان شد که دریافتند این داده‌ها با هیچ مقداری از اُمگا سازگار نیست. تنها راه برای اینکه داده‌های به‌دست آمده با نظریه سازگار شود، تعریف مجدد لاندا بود. لاندا، انرژی خلأ است که اولین‌بار از سوی اینشتین معرفی شد. به‌علاوه، آن‌ها دریافتند که اُمگا تحت الشعاع یک لاندای بیش از حد بزرگ قرار دارد که باعث می‌شود جهان در یک انبساط از نوع دسیتر سرعت بگیرد. هردو گروه به‌طور مستقل به این کشف حیرت‌انگیز دست یافتند، ولی برای انتشار یافته خود کمی مردد بودند زیرا تعصب تاریخی قدرتمندی وجود داشت مبنی بر اینکه مقدار لاندا برابر صفر است. آن‌طور که جورج جاکوبی، از رصدخانه قله کیت گفته است: «صحبت کردن در مورد لاندا همواره ترسناک بود و هرکس که آنقدر دیوانه بود که بگوید برابر صفر نیست، با او مثل یک احمق برخورد می‌شد.»

اشمیت به خاطر می‌آورد «من هنوز حیرت زده بودم و باور این مسئله برایم مشکل بود، ولی همه چیز را بارها چک کرده بودیم.... من واقعاً مایل نبودم که این مطلب را به مردم اعلام کنیم، زیرا صادقانه فکر می‌کردم که قتل عام می‌شدیم.» با این‌حال، زمانی که هر دو گروه نتایج خود را در سال ۱۹۹۸ منتشر کردند، نمی‌شد انبوه داده‌های جمع‌آوری شده را نادیده گرفت. بزرگ‌ترین اشتباه اینشتین، یعنی لاندا، چیزی که در کیهان‌شناسی مدرن کاملاً فراموش شده بود، پس از ۹۰ سال گمنامی بازگشت چشمگیری داشت.

فیزیکدانان متحیر مانده بودند. ادوارد ویتن از انستیتوی مطالعات پیشرفته پرینستون گفته است: «این عجیب‌ترین یافته تجربی از زمانی بود که من در عالم فیزیک بوده‌ام.» زمانی که مقدار اُمگا برابر ۰/۳، به‌مقدار لاندا برابر ۰/۷، افزوده شد، حاصل جمع (با در نظر گرفتن خطاهای تجربی) برابر ۱ گردید؛ یعنی همان پیش‌بینی نظریه تورم. درست مثل پازلی که در مقابل چشمان ما کامل شود، کیهان‌شناسان قطعه گمشده تورم را یافتند. این قطعه، از خود خلأ بیرون آمد.

بسیار حیرت‌انگیز بود زمانی که این نتیجه به وسیله ماهواره WMAP نیز مورد تائید قرار گرفت. داده‌های دریافتی نشان دادند که انرژی مربوط به لاندا (انرژی تاریک) ۷۳ درصد کل ماده و انرژی جهان را تشکیل داده است و به‌این‌ترتیب آن را به قطعه بزرگ پازل تبدیل می‌کند.

مراحل تحول جهان

یافته‌های ماهواره WMAP، به دانشمندان اطمینان داد که آنان به سمت یک «مدل استاندارد» کیهان‌شناسی، پیش می‌روند. اگرچه هنوز شکاف‌های زیادی وجود دارند، با این حال اخترفیزیکدانان با استفاده از داده‌های دریافتی، در حال ترسیم نمای کلی یک نظریه استاندارد هستند. با استفاده از تصاویری که ما امروز در کنار هم قرار می‌دهیم، می‌بینیم که سیر تکاملی جهان، با خنک شدن آن مراحل متفاوت و مستقلی را پیموده است. گذار از این مراحل مختلف، بیانگر به‌هم ریختن تقارن و تجزیه یک نیروی واحد طبیعت است. در ادامه، مراحلی که تا به امروز شناخته شده‌اند، از این قرارند:

۱) قبل از 10^{-43} ثانیه، عصر پلانک

تقریباً هیچ چیز در مورد عصر پلانک مشخص نیست. در انرژی پلانک (10^{19} میلیارد الکترون ولت)، نیروی گرانش به اندازه دیگر نیروهای کوانتومی قوی بوده است. در نتیجه، چهار نیروی جهان احتمالاً در یک «اَبَرنیرو» متحد بوده‌اند. شاید جهان در فاز کاملی از «هیچ» یا فضای خالی با ابعاد بیشتر، وجود داشته است. تقارن مرموزی که تمام این چهار نیرو را با هم ترکیب

می‌کند و باعث تغییرناپذیری معادلات می‌گردد، بیشتر شبیه «اَبَرتقارن»[1] است (برای مطالعه بیشتر در مورد اَبَرتقارن به فصل ۷ مراجعه کنید). به دلایل ناشناخته، تقارن مرموزی که تمام چهار نیرو را متحد ساخته، شکسته شده و حباب کوچکی شکل گرفته است. این حباب کوچک همان جهان جنینی ما است که شاید در نتیجه یک افت و خیز کوانتومی تصادفی ایجاد شده باشد. اندازه این حباب برابر «طول پلانک»، یعنی $۱۰^{-۳۳}$ سانتیمتر، بوده است.

۲) $۱۰^{-۳۴}$ ثانیه، عصر گات

شکست تقارن حبابی به‌وجود آورد که به سرعت انبساط یافت. با متورم شدن حباب، چهار نیروی بنیادی به سرعت از یکدیگر جدا شدند. گرانش، اولین نیرویی بود که از سه نیروی دیگر جدا شد و به‌این‌ترتیب موج ضربه‌ای را در سراسر جهان آزاد کرد. تقارن اصلی اَبَرنیرو به تقارن کوچک‌تری شکسته شد؛ شاید به تقارن گات $SU(5)$. برهم‌کنش‌های قوی، ضعیف و الکترومغناطیسی باقی مانده، هنوز از طریق تقارن گات با هم متحد بودند. جهان در طی این مرحله، بدلایلی که هنوز مشخص نیست، با ضریب بسیار بزرگی، حدود $۱۰^{۵۰}$ متورم و باعث شد فضا سریع‌تر از سرعت نور منبسط شود. دما در این حالت برابر $۱۰^{۳۲}$ درجه بوده است.

۳) $۱۰^{-۳۴}$ ثانیه، پایان تورم

با جدا شدن نیروی قوی از دو نیروی دیگر، دما به $۱۰^{۲۷}$ درجه کاهش یافت. (گروه تقارن گات، به $SU(3)\times SU(2)\times U(1)$ شکسته شد. دوره تورم پایان یافت، جهان آرام گرفت و از آن پس با انبساط استاندارد فریدمن به‌کار خود ادامه داد. در این حالت، جهان «سوپ» پلاسمای داغ شامل کوارک‌ها، گلئون‌ها و لپتون‌های آزاد بود. کوارک‌های آزاد پس از تراکم به پروتون‌ها و نوترون‌های امروزی تبدیل شدند. جهان ما در این مرحله هنوز بسیار کوچک بود و ابعاد آن تنها به ابعاد فعلی منظومه شمسی می‌رسید. ماده و ضد ماده

1. Supersymmetry

یکدیگر را خنثی کردند، اما مقدار ماده نسبت به ضد ماده کمی بیشتر بود (یک در یک میلیارد) و باعث به‌وجود آمدن ماده‌ای شد که امروزه در اطراف خود می‌بینیم. (امیدواریم طی چند سال آینده با تکمیل برخورد دهنده بزرگ هادرون[1]، انرژی متناظر با این مرحله قابل دستیابی شود.)

۴) سه دقیقه، شکل‌گیری هسته‌ها

دما به اندازه کافی برای شکل گرفتن هسته‌ها کاهش پیدا کرد. طی فرایند همجوشی، هیدروژن به هلیم تبدیل شد. (که نسبت ۷۵ درصد هیدروژن به ۲۵ درصد هلیم را در جهان ایجاد کرد.) مقادیر ناچیزی لیتیم شکل گرفت، ولی فرایند همجوشی عناصر بالاتر، به‌دلیل اینکه هسته‌های دارای ۵ ذره خیلی ناپایدار بودند، متوقف شد. جهان به‌دلیل تفرق نور به‌وسیله الکترون‌های آزاد، غیرشفاف بود. این مرحله، پایان عمر گوی آتشین اولیه محسوب می‌شود.

۵) ۳۸۰,۰۰۰ سال بعد، اتم‌ها متولد می‌شوند

دما به ۳۰۰۰ درجه کلوین کاهش یافت. با جایگیری الکترون‌ها در اطراف هسته‌ها، اتم‌ها شکل گرفتند؛ بدون اینکه به‌دلیل گرما از هم پاشیده شوند. فوتون‌ها هم‌اکنون می‌توانستند بی‌آنکه جذب شوند، آزادانه حرکت کنند. این همان تابشی است که به‌وسیله COBE و WMAP اندازه‌گیری شده است. جهانی که زمانی مات و مملو از پلاسما بود، حالا شفاف شد. آسمان به‌جای سفید، اکنون سیاه بود.

۶) یک میلیارد سال بعد، ستارگان متراکم می‌شوند

دما به ۱۸ درجه کلوین کاهش یافت. اختروش‌ها، کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی، عمدتا به‌عنوان نتایج فرعی افت و خیزهای کوچک کوانتومی در گوی آتشین اولیه، شروع به تراکم نمودند. عناصر سبک، مثل کربن، اکسیژن و نیتروژن در ستارگان ساخته شدند. ستارگان در حال انفجار، عناصر بعد از آهن را در آسمان‌ها پراکندند. این دوره، دورترین دوره‌ای است که به‌وسیله

1. Large Hadron Callider

تلسکوپ فضایی هابل تصویربرداری شده و قابل تجسس و بررسی است.

۷) ۶/۵ میلیارد سال، انبساط دِسیتر

انبساط فریدمن به تدریج پایان یافت و سرعت انبساط جهان رو به افزایش گذاشت. به‌این‌ترتیب، جهان وارد مرحله‌ای به نام انبساط دِسیتر شد. در این مرحله، نیروی مرموز ضدگرانشی که هنوز شناسایی نشده، جهان را به پیش می‌راند.

۸) ۱۳/۷ میلیارد سال، امروز

اکنون دما به ۲/۷ درجه کلوین کاهش یافته است. ما شاهد جهان امروزی، شامل کهکشان‌ها، ستاره‌ها و سیارات هستیم. سرعت جهان، در یک حالت گریز، رو به افزایش است.

آینده

گرچه امروزه نظریه تورم قدرت پاسخگویی به چنین محدوده وسیعی از معماهای جهان را دارد، با این حال ثابت نمی‌شود که این نظریه صحیح است. (به‌علاوه، اخیراً نظریاتی در عرصه رقابت وارد شده‌اند که در فصل ۷ خواهیم دید.) نتیجه حاصل از بررسی ابرنواختران، باید بارها و بارها، با درنظرگرفتن پارامترهایی مثل غبار و دیگر ناهنجاری‌ها در تولید ابرنواخترها، بازبینی شود. شواهد قطعی و مسلمی که در نهایت سناریوی تورم را تائید یا رد می‌کنند، «امواج گرانش» هستند که در لحظه انفجار بزرگ تولید شده‌اند. این امواج گرانش، مثل پس‌زمینه ریزموج، باید هم‌چنان درحال چرخش در کل جهان باشند و ممکن است، همان‌طور که در فصل ۹ خواهیم دید، واقعاً از طریق آشکارسازهای امواج گرانش یافت شوند. تورم، پیش‌بینی‌های مشخصی در مورد این امواج گرانش انجام داده و طبیعتاً آشکارسازهای امواج گرانش باید آن‌ها را بیابند.

اما یکی از جذاب‌ترین پیش‌بینی‌های تورم، که نمی‌توان مستقیماً آن را مورد آزمایش قرار داد، وجود «جهان‌های نوزاد» است که در جهان‌های

چندگانه وجود دارند، و هر کدام از آن‌ها از مجموعه قوانین فیزیکی کمی متفاوت تبعیت می‌کنند. برای درک مفهوم کامل جهان‌های چندگانه، لازم است ابتدا این موضوع را بدانیم که تورم از نتایج عجیب هر دو معادلات اینشتین و نظریه کوانتوم بهره کامل می‌برد. در نظریه اینشتین ما امکان حضور چندین جهان و در نظریه کوانتوم، ابزار لازم برای تونل زنی بین آن‌ها را داریم. امید می‌رود، در چارچوب جدیدی با نام نظریه M، بتوانیم نظریه‌ای نهایی بناکنیم که به سوآلات ما در مورد جهان‌های موازی و سفر در زمان، یکبار برای همیشه پاسخ دهد.

بخش ۲

جهان چندگانه

فصل ۵ دروازه‌های ورود به ابعاد بالاتر و سفر در زمان

احتمال دارد درون هر سیاهچاله‌ای که فرو می‌پاشد، بذر جهان جدیدی، با توانایی انبساط خفته باشد.

ـ سِر مارتین ریس

سیاهچاله‌ها ممکن است پنجره‌هایی برای ورود به زمآن‌های دیگر باشند. هربار که درون سیاهچاله‌ای سقوط کنیم، مجدداً در بخش دیگری از جهان و در دوره دیگری در زمان، بیرون می‌آئیم... سیاهچاله‌ها ممکن است دروازه‌هایی برای ورود به سرزمین عجایب باشند. اما آیا در آنجا، آلیس یا خرگوش‌های سفید وجود خواهند داشت.

ـ کارل ساگان

نسبیت عام، به اسب چوبی تروا شباهت دارد. در ظاهر، این نظریه فوق‌العاده است. با در نظر گرفتن تنها چند فرض ساده، می‌توان ویژگی‌های کلی کیهان، شامل خمیدگی نور ستارگان وخود انفجار بزرگ را با دقت تحسین برانگیزی به‌دست آورد. حتی می‌توان با اعمال یک ثابت کیهان‌شناسی به جهان اولیه، تورم را نیز در این نظریه جا داد. بنابراین، می‌توان گفت جواب‌های معادلات اینشتین، قطعی‌ترین توصیف از تولد و مرگ جهان را به ما ارائه می‌دهند.

وقتی پرده از محتویات این اسب افسانه‌ای برداشته می‌شود، انواع

موجودات عجیب‌الخلقه آشکار می‌گردند؛ سیاهچاله‌ها، سفیدچاله‌ها، کرمچاله‌ها و حتی ماشین‌های زمان، که وجود هیچ‌کدام از نظر عقلی باورپذیر نیست. این عجایب، چنان نامانوس هستند که حتی خود اینشتین نیز تصور می‌کرد هیچ‌کدام از آن‌ها هرگز در طبیعت یافت نخواهند شد. او سال‌های زیادی، مصرانه با جواب‌های عجیب معادلات خود مبارزه کرد. امروزه می‌دانیم که نمی‌توان این مفاهیم را علی‌رغم غیر متعارف بودنشان، به سادگی نادیده گرفت. آن‌ها جزء لاینفک نسبیت عام محسوب می‌شوند و درحقیقت ممکن است همین پاسخ‌ها بتوانند راه نجات موجودات هوشمندی باشند که روزی با انجماد بزرگ مواجه می‌شوند.

اما شاید بتوان گفت عجیب‌ترین این عجایب، احتمال وجود جهان‌های موازی و دروازه‌هایی است که آن‌ها را به یکدیگر متصل می‌کنند. اگر استعاره‌ای را که در آن شکسپیر جهان را به صحنه تئاتر تشبیه کرده بود به خاطر آوریم، آنگاه نسبیت عام بیانگر احتمال وجود دریچه‌های فرار روی صحنه خواهد بود. با این حال، به جای اینکه این دریچه‌ها به طبقه زیرین صحنه باز شوند، به صحنه‌های موازی نمایش و شبیه به صحنه اصلی باز می‌شوند. نمایش زندگی را شامل صحنه‌هایی با چندین داستان مختلف در نظر بگیرید طوری که یکی بر روی دیگری قرار داشته باشد. در هر صحنه، بازیگر با این تصور که صحنه نمایش او تنها صحنه موجود است، متن‌های مربوط به خود را خوانده و به ایفای نقش می‌پردازد؛ بدون اطلاع از احتمال وجود صحنه‌های دیگر. اما اگر یک‌روز بازیگری تصادفاً به درون یکی از این دریچه‌ها سقوط کند، خود را درون یک صحنه کاملاً جدید، با قوانین و مقررات و متن‌های جدید خواهد یافت.

اما اگر واقعاً تعداد جهان‌های موجود نامحدود باشد، آیا در تمام این جهان‌ها با قوانین فیزیکی مختلف، امکان حیات وجود خواهد داشت؟ این همان سوآلی است که ایزاک آسیموف در داستان علمی-تخیلی خود با نام خود خدایان مطرح کرد. ایزاک آسیموف در این داستان، جهانی موازی را به تصویر کشید که قوانین هسته‌ای موجود در آن، با آنچه بر جهان ما

حکمفرماست، تفاوت دارند. زمانی که قوانین معمولی فیزیک منسوخ و به‌جای آن‌ها قوانین جدیدی حاکم شوند، وقایع مهیجی امکان وقوع می‌یابند.

داستان در سال ۲۰۷۰ رخ می‌دهد. زمانی که دانشمندی با نام فردریک هالام مشاهده می‌کند که عنصر معمولی تنگستن-۱۸۶، به‌طور مرموزی به پلوتونیم-۱۸۶ تبدیل می‌شود. پلوتونیم-۱۸۶، پروتون‌های بسیار زیادی داشته و به‌همین دلیل ناپایدار است. هالام پی می‌برد که این پلوتونیم-۱۸۶ عجیب، از جهانی موازی آمده است که در آن نیروی هسته‌ای بسیار قوی‌تر است و به‌همین دلیل این نیرو بر نیروی دافعه پروتون‌ها غلبه کرده است. از آنجا که این پلوتونیم-۱۸۶ عجیب مقادیر زیادی انرژی به شکل الکترون منتشر می‌کرد، می‌توانست تحت کنترل در آید تا مقادیر شگفت‌آوری انرژی تولید کند. به‌این‌ترتیب، پمپ الکترون هالام، به‌منظور برطرف کردن بحران انرژی در کره زمین، ساخته می‌شود و این ابتکار عمل، او را به مردی ثروتمند تبدیل می‌کند. اما نکته داستان اینجاست که بهای این انرژی مجانی باید به نوعی پرداخت شود. اگر به اندازه کافی پلوتونیم-۱۸۶ به جهان ما وارد شود، آنگاه بر قدرت نیروی هسته‌ای به‌طور کلی افزوده خواهد شد. این یعنی انرژی بیشتری از فرایند همجوشی آزاد خواهد شد و در نهایت خورشید درخشان‌تر شده و پس از انفجار آن، کل سیستم منظومه شمسی از بین خواهد رفت!

هم‌زمان، تاثیر چنین مبادله‌ای بر ساکنین دنیای موازی متفاوت است. نیروی هسته‌ای در جهان آن‌ها کاملاً قوی است. به این معنی که ستارگان دنیای آن‌ها، هیدروژن را با سرعت بسیار بالایی مصرف کرده و به‌زودی خواهند مرد. آن‌ها معاوضه‌ای را ترتیب داده‌اند که در آن پلوتونیم-۱۸۶ بلااستفاده را به دنیای ما فرستاده و در عوض تنگستن-۱۸۶ ارزشمند را می‌گیرند. به‌این‌ترتیب آن‌ها توانسته‌اند پمپ پوزیترون بسازند و در نتیجه دنیای رو به مرگ خود را نجات دهند. با اینکه آن‌ها می‌دانند با افزایش قدرت نیروی هسته‌ای در جهان ما ستارگان منفجر می‌شوند، ولی اهمیتی نمی‌دهند.

به‌نظر می‌رسد زمین با فاجعه‌ای روبروست. انسان‌ها به انرژی مجانی هالام عادت کرده‌اند و از پذیرفتن انفجار قریب الوقوع خورشید، سر باز

می‌زنند. دانشمند دیگری، روشی خلاقانه برای حل این مسئله بغرنج ارائه می‌دهد. از نظر او، حتما جهان‌های موازی دیگری نیز وجود دارند. او با ساخت یک اتم‌شکن، موفق می‌شود روزنه‌ای در فضا ایجاد کرده و جهان ما را به تعداد زیادی جهان دیگر متصل کند. با جستجو در بین این جهان‌ها، موفق می‌شود جهانی را بیابد که خالی از سکنه است و فقط «تخم کیهانی» در آن وجود دارد که حاوی مقادیر نامحدودی انرژی، ولی با نیروی هسته‌ای ضعیف‌تر است.

با استخراج انرژی از این تخم کیهانی، می‌تواند پمپ انرژی جدیدی بسازد و هم‌زمان نیروی هسته‌ای را در جهان ما تضعیف کند. به‌این‌ترتیب او خواهد توانست خورشید را از انفجار باز دارد. به‌هرحال، این‌بار نیز بهای آن باید پرداخته شود: در این جهان موازی جدید، قدرت نیروی هسته‌ای افزایش خواهد یافت که موجب انفجار آن خواهد شد. اما به‌نظر او این انفجار صرفاً باعث می‌شود که تخم کیهانی بشکند و در نتیجه انفجار بزرگ جدیدی رخ دهد. به بیان دیگر نقش او در مقابل این جهان جدید، همانند یک قابله است.

داستان علمی ـ تخیلی آسیموف، یکی از معدود مواردی است که در حقیقت از قوانین فیزیک هسته‌ای استفاده می‌کند تا طمع، توطئه و رستگاری را در روایتی داستانی به‌هم پیوند زند. تصور آسیموف مبنی بر اینکه تغییر در قدرت نیروها در جهان ما نتایج فاجعه‌باری به‌دنبال خواهد داشت، کاملاً درست است؛ اینکه در صورت افزایش نیروی‌هسته‌ای، درخشش ستارگان جهان ما بیشتر شده و در نهایت منفجر خواهند شد. حال ناگزیر این سوآل پیش می‌آید: آیا جهان‌های موازی با قوانین فیزیک سازگارند؟ و اگر چنین است برای ورود به یکی از این جهان‌ها به چه چیزی نیاز است؟

برای پاسخ به این سوآلات، ناچاریم نخست طبیعت کرمچاله‌ها، انرژی منفی و البته اجرامی مرموز به نام سیاهچاله‌ها را درک کنیم.

سیاهچاله‌ها

در سال ۱۷۸۳، ستاره‌شناس بریتانیایی، جان میشل، نخستین کسی بود که این

سوآل برایش مطرح شد: اگر ستاره‌ای به اندازه‌ای سنگین باشد که حتی نور نیز نتواند از آن بگریزد، چه اتفاقی خواهد افتاد؟ او می‌دانست که هر جرمی دارای یک «سرعت گریز»[1] است؛ سرعتی که لازم است تا بتوان از نیروی گرانش آن گریخت. (به‌عنوان مثال برای کره زمین، سرعت گریز حدود ۴۰,۰۰۰ کیلومتر بر ساعت است؛ سرعتی که هر پرتابه‌ای، برای گریختن از گرانش زمین باید به آن دست یابد.)

میشل از خود پرسید اگر ستاره‌ای چنان سنگین باشد که سرعت گریز آن با سرعت نور برابر شود، چه اتفاقی می‌افتد؟ در این حالت، نیروی گرانش چنان عظیم خواهد بود که هیچ چیز نمی‌تواند از آن بگریزد، حتی خود نور و درنتیجه این جرم از دید دنیای خارج سیاه دیده می‌شود. یافتن چنین جرمی در فضا به نوعی غیرممکن است، زیرا چنین جرمی قابل رؤیت نیست.

درگیری ذهنی میشل در مورد ستاره‌های تاریک، به مدت یک و نیم قرن به فراموشی سپرده شد. اما این مسئله مجدداً در سال ۱۹۱۶ مورد بررسی قرار گرفت؛ زمانی که کارل شوارتسشیلد، فیزیکدان آلمانی که در ارتش آلمان در جبهه روسیه خدمت می‌کرد، جواب دقیق معادلات اینشتین را برای ستاره‌ای غول‌پیکر یافت. حتی امروزه نیز راه حلی که شوارتسشیلد برای معادلات اینشتین به‌دست آورد، ساده‌ترین و ظریف‌ترین جواب یافت شده محسوب می‌شود. اینشتین از این متحیر بود که چگونه شوارتسشیلد توانسته بود زیر حملات پی در پی توپخانه، پاسخی برای این معادلات تانسوری پیچیده بیابد. به‌علاوه، ویژگی‌های منحصر به‌فرد پاسخ شوارتسشیلد، اینشتین را تحت تاثیر قرار داده بود.

در نگاه اول، راه حل شوارتسشیلد می‌توانست توصیف گرانش ستاره‌ای معمولی باشد. اینشتین به سرعت از این راه حل استفاده کرد تا گرانش اطراف خورشید را محاسبه و یافته‌های تقریبی قبلی خود را بازبینی کند. به‌همین دلیل، او تا ابد مدیون شوارتسشیلد بود. اما شوارتسشیلد در مقاله دوم خود نشان داد که در اطراف یک ستاره غول‌پیکر، یک «کره جادویی» تخیلی با

---

1. Escape Velocity

ویژگی‌های عجیب و نامانوس وجود دارد. این کره جادویی در واقع مرزی است که پس از عبور از آن بازگشتی وجود ندارد. هرکس که از این کره جادویی عبور کند، سریعاً از طریق گرانش به درون ستاره کشیده می‌شود و دیگر هرگز دیده نخواهد شد. حتی نور هم توان گریز از آن را ندارد. شوارتسشیلد متوجه نشد چیزی که او از طریق معادلات اینشتین یافته بود، همان ستاره تاریک میشل است.

در مرحله بعد، او قطر این کره جادویی را (که قطر شوارتسشیلد نام دارد) محاسبه کرد. برای جرمی به ابعاد خورشید ما، قطر جادویی در حدود ۳ کیلومتر (تقریبا ۲ مایل) است. (برای کره زمین، قطر شوارتسشیلد در حدود ۱ سانتیمتر است.) یعنی اگر بتوان خورشید را تا قطر ۳ کیلومتر فشرده کرد، آنگاه به یک ستاره تاریک بدل می‌شود و هر جسمی را که از این مرز بدون بازگشت عبور کند، در خود می‌بلعد.

از نظر تجربی، وجود این کره جادویی مشکلی ایجاد نمی‌کرد، زیرا فشرده کردن خورشید، تا قطر ۳ کیلومتر، غیرممکن بود. برای ایجاد چنین ستاره خارق‌العاده‌ای، مکانیزم شناخته شده‌ای وجود نداشت. ولی به لحاظ نظری، این یک فاجعه بود. نظریه نسبیت عام اینشتین گرچه نتایجی واضح و روشن، مثلا در مورد خمیدگی نور ستارگان در اطراف خورشید، ارائه می‌کرد، اما با نزدیک شدن به خود کره جادویی، جایی‌که گرانش نامحدود می‌شود، نظریه دیگر معنی نداشت.

فیزیکدان هلندی، به نام یوهانس دِروست، بی‌معنی بودن این پاسخ را بیش از پیش آشکار کرد. براساس نسبیت عام، زمانی که پرتوهای نور اطراف جرمی چگال حرکت کنند، به شدت خمیده می‌شوند. او نشان داد که در فاصله ۱/۵ برابر قطر شوارتسشیلد، پرتوهای نوری در دوایری به‌دور ستاره می‌چرخند. دروست نشان داد که اطراف ستارگان غول‌پیکر، اعوجاج زمان ناشی از نسبیت عام، بسیار شدیدتر از آنچه بود که در نسبیت خاص رخ می‌داد. او نشان داد که با نزدیک شدن شما به این کره جادویی، ناظر دوردست مشاهده می‌کند که ساعت شما کندتر و کندتر می‌شود تا اینکه

موقع عبور از مرز، کاملاً از حرکت می‌ایستد. در حقیقت از دید ناظری در بیرون، زمان برای‌شما، با رسیدن به کره جادویی، متوقف می‌شود. از آنجا که خود زمان نیز در این نقطه متوقف می‌شود، برخی فیزیکدانان عقیده داشتند که چنین شیء نامانوسی نمی‌تواند در طبیعت وجود داشته باشد. در ادامه این ماجرا، ریاضیدانی به نام هِرمَن وِیل نشان داد اگر کسی وارد جهان درون کره جادویی شود، شاهد وجود جهانِ دیگری در آن طرف خواهد بود.

این ادعا چنان عجیب بود که حتی خود اینشتین نیز آن را باور نکرد. در سال ۱۹۲۲، حین کنفرانسی در پاریس، ریاضیدانی با نام ژاکوئیز هادامارد از اینشتین پرسید اگر این «تکینگی» واقعی باشد چه می‌شود؟ یعنی اگر گرانش در قطر شوارتسشیلد نامتناهی شود، چه اتفاقی می‌افتد؟ اینشتین اینگونه پاسخ داد، «این فاجعه‌ای حقیقی برای نظریه است و بسیار دشوار خواهد بود که بتوانیم از قبل، آنچه از نظر فیزیکی رخ می‌دهد را پیش‌بینی کنیم، زیرا دیگر فرمول‌ها به‌کار نخواهند آمد.» اینشتین بعدها این مشکل را «فاجعه هادامارد» نامید. با این حال او عقیده داشت که تمام مجادلات حول ستاره‌های تاریک، ذهنی و تخیلی هستند. زیرا اولاً آن‌ها غیرفیزیکی بودند، یعنی هیچ کس تاکنون چنین اشیاء خارق‌العاده‌ای را ندیده بود و شاید اصلاً وجود نداشته باشند. ثانیاً، در صورت سقوط به‌درون یکی از این اجسام، انهدام حتمی است. از آنجا که هیچ کس نمی‌تواند از کره جادویی عبور کند (زیرا زمان متوقف می‌شود)، پس هیچ کس هرگز نمی‌تواند به جهان موازی دیگری وارد شود.

در دهه ۱۹۲۰، فیزیکدانان در مورد این مسئله کاملاً گیج شده بودند. اما در سال ۱۹۳۲، جورج لِمِتره، پدر نظریه انفجار بزرگ، تحولی بزرگ ایجاد کرد. او نشان داد که کره جادویی به‌هیچ‌وجه یک تکینگی نیست، (جایی‌که گرانش بی‌نهایت می‌شود) بلکه تنها خطایی ریاضی است که با انتخاب مجموعه نامناسبی از روابط ریاضی به‌وجود آمده است. (اگر مجموعه متفاوتی از مختصات و متغیرها را برای محاسبه کره جادویی به‌کار گیریم، تکینگی از بین می‌رود.)

کیهان‌شناسی به نام اچ پی رابرتسون، با در نظر گرفتن این نتایج، ادعای اولیه دروست را مبنی بر اینکه زمان در کره جادویی متوقف می‌شود، مجدداً مورد بررسی قرار داد. او دریافت زمان، تنها از دید ناظری که موشک شما را در حال ورود به کره جادویی مشاهده می‌کند، متوقف می‌شود. از منظر خود شما در موشک، تنها کسر کوچکی از ثانیه طول می‌کشد تا گرانش، درست پس از لحظه عبور از کره جادویی، شما را ببلعد. به بیان دیگر، فضانورد بداقبالی که از کره جادویی عبور می‌کند، تقریباً به‌طور آنی خود را در کام مرگ می‌بیند؛ درحالی‌که از نظر شاهدی که از بیرون نگاه می‌کند، به‌نظر می‌آید این امر هزاران سال طول می‌کشد.

این نتیجه مهمی بود. به این معنی که کره جادویی قابل دسترس است و دیگر نمی‌توان از آن، به‌عنوان یک هیولای ریاضی، چشم پوشید. حال می‌توان به‌طور جدی به این مسئله اندیشید که اگر کسی از این کره جادویی عبور کند، برایش چه اتفاقی می‌افتد. سپس فیزیکدانان به این مسئله پرداختند که سفر به درون کره جادویی چگونه می‌تواند باشد. (امروزه کره جادویی، افق رویداد[1] نامیده می‌شود. افق دورترین نقطه قابل مشاهده است. در اینجا افق، به دورترین نقطه‌ای که نور می‌تواند به آن سفر کند، اطلاق می‌شود. قطر افق رویداد، قطر شوارتسشیلد نام دارد.)

با نزدیک شدن موشک به یک سیاهچاله، نوری را خواهید دید که میلیون‌ها سال پیش به‌وسیله سیاهچاله به دام افتاده است. این نور متعلق به زمان شکل‌گیری خود سیاهچاله است. به بیان دیگر، در این حالت تاریخچه زندگی یک سیاهچاله بر شما آشکار خواهد شد. هرچه نزدیک‌تر می‌شوید، نیروهای کششی به‌تدریج اتم‌های بدن شما را از هم می‌پاشند. سفر به افق رویداد، سفری یکطرفه خواهد بود، زیرا گرانش چنان شدید است که به‌ناچار به مرکز و در نهایت به کام مرگ بلعیده می‌شوید. وقتی درون افق رویداد باشید، راه برگشتی وجود ندارد. (برای خروج از افق رویداد، باید بتوان سریع‌تر از نور حرکت کرد که غیرممکن است.)

---

1. Event horizon

در سال ۱۹۳۹، اینشتین مقاله‌ای نوشت و در آن، با این ادعا که چنین ستارگانی نمی‌توانند از طریق فرایندهای طبیعی به‌وجود آیند، سعی کرده بود وجود چنین ستارگان تاریکی را منتفی قلمداد کند. او معتقد بود یک ستاره، از مجموعه چرخانی از گرد و غبار و گاز شکل می‌گیرد که به دور هم می‌چرخند و به‌تدریج به‌دلیل گرانش گرد هم جمع می‌شوند. او سپس نشان داد که این مجموعه از ذرات چرخان، هرگز به اندازه قطر شوارتسشیلد متراکم نمی‌شوند و در نتیجه هیچ‌گاه به یک سیاهچاله تبدیل نخواهند شد. در بهترین حالت، این جرم چرخان از ذرات، به ۱/۵ برابر قطر شوارتسشیلد می‌رسد و بنابراین سیاهچاله‌ها هیچ‌گاه شکل نمی‌گیرند. (برای دستیابی به قطری کم‌تر از ۱/۵ برابر قطر شوارتسشیلد، باید بتوان سریع‌تر از سرعت نور حرکت کرد که غیرممکن است.) اینشتین اینگونه نوشت: «نتیجه اصلی این بررسی، درک واضح این مطلب است که چرا تکینگی شوارتسشیلد واقعیت فیزیکی ندارد.»

آرتور ادینگتون نیز در مورد سیاهچاله‌ها عمیقاً محتاط بود و در تمام مدت عمرش نسبت به‌وجود آن‌ها بدبین بود. او یکبار گفته است: «در طبیعت باید قانونی وجود داشته باشد تا از چنین رفتار نامعقولی برای یک ستاره، جلوگیری کند.»

همان سال، جِی رابرت اوپنهایمر (کسی که بعدها بمب اتم را ساخت)، به‌همراه دانشجویش هارتلند اِسنیدِر، نشان داد که یک سیاهچاله از طریق مکانیزمی کاملاً متفاوت، واقعاً می‌تواند شکل بگیرد. آن‌ها به‌جای اینکه تصور کنند یک سیاهچاله از متراکم شدن مجموعه‌ای از ذرات در حال چرخش و به‌واسطه گرانش به‌وجود می‌آید، ستاره غول‌پیکر پیری را در نظر گرفتند که سوخت هسته‌ای خود را به اتمام رسانده و بنابراین به‌دلیل نیروی گرانش در حال رُمبش است. به‌عنوان مثال، یک ستاره غول‌پیکر در حال مرگ که ۴۰ برابر خورشید ما جرم دارد، می‌تواند پس از اتمام کامل سوخت هسته‌ای خود، به‌واسطه نیروی گرانش تا قطر ۱۳۰ کیلومتر متراکم شود. در این‌صورت به‌ناچار به یک سیاهچاله تبدیل خواهد شد. به‌این‌ترتیب، آن‌ها بیان کردند که سیاهچاله‌ها، نه فقط امکانپذیر هستند، بلکه می‌توانند نقطه

پایان طبیعی برای میلیاردها ستاره غول‌پیکر رو به مرگ در کهکشان باشند. (شاید ایده رمبش، که در سال ۱۹۳۹ به‌وسیله اپنهایمر ابداع شد، تنها چند سال بعد مکانیزمی برای ساختن بمب اتم به او داد.)

پل اینشتین ـ روزن[1]

گرچه بر اساس عقیده اینشتین سیاهچاله‌ها آنقدر عجیب و نامتعارف بودند که نمی‌توان انتظار یافتن آن‌ها را در طبیعت داشت، با این حال او با مطرح کردن احتمال وجود کرمچاله‌ها در قلب یک سیاهچاله، نشان داد که سیاهچاله‌ها می‌توانند از این هم عجیب‌تر باشند. ریاضیدانان آن‌ها را فضاهای متصل چندگانه نامیدند. فیزیکدانان به آن‌ها کرمچاله می‌گویند؛ زیرا همانند سوراخ کرم‌ها در زمین، کرمچاله‌ها نیز مسیری میانبر بین دو نقطه ایجاد می‌کنند. گاهی آن‌ها را دروازه ورود به ابعاد یا درگاه می‌نامند. نام آن‌ها هرچه باشد، ممکن است کرمچاله‌ها سرانجام بتوانند ابزار مناسبی را برای سفر درون ابعاد مختلف فراهم کنند.

اولین کسی که کرمچاله‌ها را بر سر زبان‌ها انداخت چارلز داگسون بود که تحت نام مستعار لویس کارول می‌نوشت. در کتاب او با نام از درون آئینه، کرمچاله به صورت آئینه‌ای توصیف شده است که حومه شهر آکسفورد را به سرزمین عجایب متصل می‌کند. داگسون، به‌عنوان ریاضیدانی متخصص و استاد دانشگاه آکسفورد، با این فضاهای متصل چندگانه آشنا بود. طبق تعریف، یک فضای متصل چندگانه فضایی است که در آن همه حلقه‌ها را نمی‌توان آنقدر تنگ کرد که به یک نقطه تبدیل شوند. معمولاً هر حلقه‌ای را می‌توان به تدریج آنقدر تنگ کرد تا به یک نقطه تبدیل شود. اما اگر یک شیرینی دونات (پیراشکی حلقوی) را در نظر بگیریم، می‌توان نخ را بر روی سطح آن به‌گونه‌ای حلقه کرد که دور سوراخ پیراشکی قرار بگیرد. با تنگ کردن آهسته حلقه می‌بینیم که حلقه نخی نمی‌تواند بدون خارج شدن از

1. Einstein-Rosen bridge

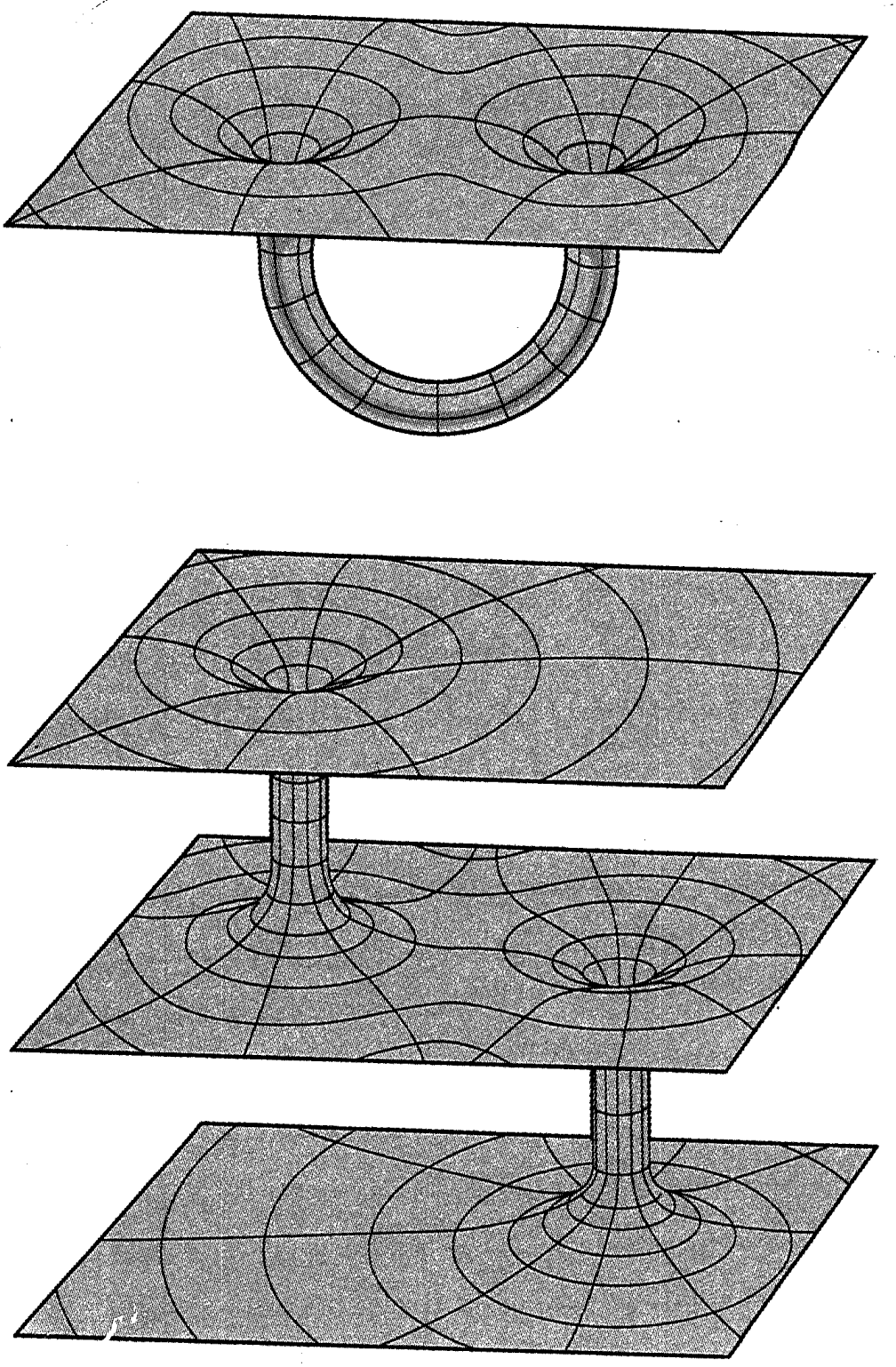
پیراشکی به یک نقطه فشرده شود؛ در بهترین حالت می‌تواند به اندازه محیط سوراخ کوچک شود.

ریاضیدانان از اینکه شکلی را یافته بودند که در توصیف فضا، کاملاً بدون استفاده بود، هیجان زده بودند. ولی در سال ۱۹۳۵، اینشتین و دانشجوی او ناتان روزِن، موفق شدند کرمچاله‌ها را به دنیای فیزیک معرفی کنند. آن‌ها سعی داشتند از پاسخ سیاهچاله، به‌عنوان مدلی برای ذرات بنیادی استفاده کنند. اینشتین هیچ‌گاه از این ایده که گرانش یک ذره، با نزدیک شدن به آن، بی‌نهایت می‌شود، راضی نبود. اینشتین عقیده داشت که این «تکینگی» باید برطرف شود، زیرا بی‌معناست.

ایده جدید اینشتین و روزن توصیف یک الکترون (که اغلب به صورت یک نقطه کوچک بدون ساختار درونی تصور می‌شد) به‌عنوان یک سیاهچاله بود. با استفاده از این روش، این امکان به‌وجود می‌آمد تا بتوان از نسبیت عام، برای توصیف رموز دنیای کوانتوم در یک نظریه میدان یکپارچه، استفاده کرد. آن‌ها با پاسخ استاندارد سیاهچاله شروع کردند که به یک کوزه بزرگ با گلوگاهی دراز شباهت دارد. آنگاه آن را از محل گلوگاه بریده و با سیاهچاله دیگر واژگون شده‌ای، ادغام کردند. اینشتین معتقد بود این ترکیب عجیب ولی در عین حال پیوسته و هموار، در اصل سیاهچاله‌ای مستقل از تکینگی است و شاید بتواند مثل یک الکترون عمل کند.

متأسفانه ایده اینشتین در توصیف یک الکترون به صورت سیاهچاله، با شکست مواجه شد. اما امروزه کیهان‌شناسان عقیده دارند که پل اینشتین-روزن می‌تواند به صورت دروازه‌ای بین دو جهان عمل کند. به‌این ترتیب که احتمال دارد روزی هنگام حرکت آزادانه در یک جهان، تصادفاً درون یک سیاهچاله بیفتیم؛ ناگهان به داخل سوراخ کشیده شویم و از طرف دیگر (از طریق یک سفیدچاله) بیرون بیاییم.

از دید اینشتین، هر پاسخی برای معادلات او، اگر با نقطه شروعی که از نظر فیزیکی پذیرفتنی باشد آغاز شود، حتماً به یک شیء که از نظر فیزیکی محتمل است، منجر می‌شود. اما نگرانی او سقوط به‌درون سیاهچاله و ورود



پل اینشتین-روزن. در مرکز یک سیاهچاله، «گلوگاهی» وجود دارد که فضا-زمان را به جهانی دیگر یا نقطه دیگری در جهان ما ارتباط می‌دهد. گرچه سفر از درون یک سیاهچاله ثابت مرگبار خواهد بود، با این حال سیاهچاله‌های چرخان، دارای تکینگی حلقوی هستند، به نحوی که می‌توان از داخل حلقه و از درون پل اینشتین-روزن عبور کرد؛ گرچه این مسئله هنوز در حد خیال‌پردازی است.

به یک دنیای موازی دیگر نبود. نیروهای کششی در مرکز سیاهچاله بی‌نهایت است و اتم‌های بدن فرد بدشانسی که به درون سیاهچاله سقوط کرده، به‌دلیل میدان گرانش از هم پاشیده می‌شوند. (پل اینشتین-روزن به صورت لحظه‌ای باز شده و چنان سریع بسته می‌شود که هیچ جسمی نمی‌تواند از داخل آن برای رسیدن به سمت دیگر به موقع عبور کند.) اینشتین اینگونه مطرح کرد که گرچه کرمچاله‌ها وجود دارند ولی موجودات زنده هیچ‌گاه نمی‌توانند از درون یکی از آن‌ها عبور کرده و سپس برای صحبت در مورد آنچه بر آن‌ها گذشته است، زنده بمانند.

سیاهچاله‌های چرخان

اما در سال ۱۹۶۳ این دیدگاه تغییر کرد، و آن زمانی بود که ریاضیدان نیوزیلندی، روی کِر موفق شد راه حل دقیقی برای معادلات اینشتین بیابد. شاید بتوان گفت راه حلی که کر یافت، بهترین و واقع بینانه‌ترین توصیف از یک ستاره در حال مرگ بود؛ یک سیاهچاله چرخان. زمانی که ستاره‌ای تحت تاثیر نیروی گرانش می‌رمبد، مطابق اصل بقاء اندازه حرکت زاویه‌ای، به ناچار سریع‌تر می‌چرخد. (این همان دلیلی است که به‌موجب آن کهکشان‌های در حال چرخش به شکل فرفره دیده می‌شوند و اینکه چرا اسکیت بازان زمانی که دست‌های خود را جمع می‌کنند، سریع‌تر می‌چرخند.) یک ستاره در حال چرخش می‌تواند در خود فروپاشیده و به حلقه‌ای از نوترون تبدیل شود. این حلقه می‌تواند پایدار باقی بماند، زیرا نیروی گریز از مرکز رو به بیرون، نیروی گرانش به سمت داخل را خنثی می‌کند. ویژگی حیرت‌انگیز چنین سیاهچاله‌ای این است که سقوط به‌درون سیاهچاله کر، منجر به مرگ نخواهد شد. در عوض از درون پل اینشتین-روزن به جهان موازی دیگری مکیده خواهید شد. کر زمانی که این پاسخ را یافت، به یکی از همکارانش چنین گفت: «اگر از درون این حلقه جادویی عبور کنی، آناً در جهان کاملاً متفاوتی خواهی بود که در آن طول و جرم مقادیری منفی خواهند داشت.»

به بیان دیگر، حلقه چرخان کر، شبیه قاب آئینه آلیس است. با این تفاوت

که سفر از درون حلقه کر سفری یک طرفه خواهد بود. اگر مجبور باشید از درون افق رویداد حلقه کر عبور کنید، با اینکه گرانش آنقدر زیاد نخواهد بود که منجر به مرگ شما شود، اما به اندازه‌ای هست که جلوی بازگشت شما از این سفر را بگیرد. (در حقیقت، سیاهچاله کر دارای دو افق رویداد است. برخی معتقدند که برای بازگشت از این سفر، ممکن است به حلقه کر ثانویه‌ای نیاز باشد که جهان موازی را به جهان ما متصل کند.) از برخی جهات می‌توان سیاهچاله کر را با آسانسور یک آسمانخراش مقایسه کرد. آسانسور بیانگر پل اینشتین-روزن است که طبقات مختلف را به‌هم ارتباط می‌دهد، طوری که هر طبقه یک جهان متفاوت است. در حقیقت تعداد نامحدودی طبقه در این آسمانخراش وجود دارد که هر کدام با دیگری متفاوت است. اما این آسانسور هرگز نمی‌تواند به سمت پایین حرکت کند. تنها یک کلید به سمت بالا وجود دارد. هر بار که شما طبقه یا جهانی را ترک می‌کنید، بازگشتی درکار نخواهد بود، زیرا شما از یک افق رویداد عبور کرده‌اید.

فیزیکدانان در مورد اینکه یک حلقه کر تا چه اندازه می‌تواند پایدار باشد، با هم اختلاف نظر دارند. برخی محاسبات بیان می‌دارند که اگر کسی سعی در عبور از درون حلقه داشته باشد، حضور خود شخص، منجر به ناپایداری سیاهچاله و بسته شدن درگاه می‌شود. به‌عنوان مثال اگر یک پرتو نوری بخواهد از درون یک سیاهچاله کر بگذرد، هنگام سقوط به مرکز، انرژی فوق‌العاده زیادی دریافت می‌کند و دچار انتقال به آبی می‌شود؛ یعنی فرکانس و انرژی آن افزایش می‌یابند. به‌این‌ترتیب زمانی که به افق نزدیک می‌شود، چنان پرانرژی خواهد بود که مسافران پل اینشتین-روزن را به کام مرگ می‌کشد. به‌علاوه، این پرتو نور، میدان گرانشی خود را ایجاد خواهد کرد که به علت تداخل با سیاهچاله اصلی، شاید درگاه را تخریب کند.

به عبارت دیگر، با اینکه برخی فیزیکدانان تصور می‌کنند سیاهچاله کر بهترین توصیف را برای سیاهچاله‌ها ارائه داده و در واقع امکان پیوند جهان‌های موازی را فراهم می‌آورد، ولی هنوز آشکار نیست که ورود به پل اینشتین-روزن تا چه حد امن و این درگاه تا چه حد پایدار خواهد بود.

رصد سیاهچاله‌ها

به‌دلیل ویژگی‌های خارق‌العاده سیاهچاله‌ها، آن‌ها را حتی تا اوایل دهه ۹۰ هنوز اجرامی علمی تخیلی می‌دانستند. ستاره‌شناسی به نام داگلاس ریچستون، از دانشگاه میشیگان، در سال ۱۹۹۸ چنین گفته است: «ده سال پیش اگر جرمی را می‌یافتید و فکر می‌کردید که سیاهچاله‌ای در مرکز یک کهکشان است، نیمی از مردم تصور می‌کردند که شما دیوانه‌اید.» از آن زمان تاکنون ستاره‌شناسان صدها سیاهچاله را در فضا شناسایی کرده‌اند. این امر به کمک تلسکوپ فضایی هابل، تلسکوپ فضایی پرتو X چاندرا (که پرتو X گسیل شده از ستاره‌های قدرتمند و منابع کهکشانی را اندازه‌گیری می‌کند) و آرایه بسیار بزرگ تلسکوپ رادیویی (که شامل مجموعه‌ای از تلسکوپهای رادیویی قدرتمند در نیومکزیکو است) صورت گرفته است. در حقیقت، مطابق عقیده بسیاری از ستاره‌شناسان، اغلب کهکشان‌ها (که وسط قرص خود برآمدگی دارند) در مرکز خود دارای سیاهچاله هستند.

همان‌طور که انتظار می‌رود، تمام سیاهچاله‌های یافت شده در فضا، به سرعت در حال چرخش هستند. سرعت چرخش برخی از آن‌ها که با کمک تلسکوپ فضایی هابل اندازه‌گیری شده برابر با ۱/۶ میلیون کیلومتر در ساعت است. در مرکز، هسته تخت و مدوری دیده می‌شود که غالباً یک سال نوری قطر دارد. درون این هسته مرکزی، افق رویداد و خود سیاهچاله قرار دارند.

از آنجا که سیاهچاله‌ها نامرئی هستند، ستاره‌شناسان ناچارند برای تایید وجود آن‌ها از روش‌های غیرمستقیم استفاده کنند. آن‌ها تلاش می‌کنند در تصاویر، «قرص برافزایشی» ناشی از گازهای چرخان که سیاهچاله را احاطه کرده‌اند، شناسایی شود. در حال حاضر ستاره‌شناسان تصاویر بسیار زیبایی از این قرص‌های برافزایشی جمع‌آوری کرده‌اند. (این قرص‌ها تقریباً در سراسر جهان، در اغلب اجرامی که به سرعت می‌چرخند، یافت می‌شوند. حتی خورشید ما نیز، احتمالاً ۴/۵ میلیارد سال پیش، در زمان شکل‌گیری، قرص مشابهی داشته که بعدها متراکم شده سیارات را تشکیل داده است. دلیل شکل‌گیری این قرص‌ها را می‌توان اینگونه توضیح داد: آن‌ها بیانگر پایین‌ترین

حالت انرژی برای اجرامی هستند که با سرعت زیاد می‌چرخند.) ستاره‌شناسان با اندازه‌گیری سرعت ستارگانی که در اطراف یک شیء در حال چرخش هستند، می‌توانند با استفاده از قوانین حرکت نیوتون جرم شیء مرکزی را محاسبه کنند. اگر شیء مرکزی، سرعت فراری برابر با سرعت نور داشته باشد، دلیل غیرمستقیمی بر حضور یک سیاهچاله به‌دست آمده است.

افق رویداد، در مرکز قرص برافزایشی قرار دارد. (متأسفانه آنقدر کوچک است که با فناوری امروز نمی‌توان آن را تشخیص داد. ستاره‌شناسی به نام مِلیا، معتقد است ثبت تصویر افق رویداد یک سیاهچاله بر روی فیلم، جام مقدس علم سیاهچاله‌ها خواهد بود.) تمام گازهایی که جذب سیاهچاله می‌شوند، از درون افق رویداد عبور نمی‌کنند. برخی از آن‌ها افق رویداد را دور می‌زنند و با سرعت فوق‌العاده زیادی به فضا پرتاب می‌شوند. به‌این‌ترتیب دو فواره بلند گازی در دو قطب شمال و جنوب سیاهچاله شکل می‌گیرند و در نتیجه سیاهچاله شبیه دوک نخ ریسی می‌شود. (دلیل شکل‌گیری فواره‌ها احتمالاً این است که خطوط میدان مغناطیسی ستاره در حال فروپاشی، ضمن اینکه در حال تقویت هستند، بر فراز قطب‌های شمال و جنوب تمرکز بیشتری دارند. زمانی که ستاره به فروپاشی خود ادامه می‌دهد، این خطوط میدان مغناطیسی به صورت دو استوانه در قطب‌های شمال و جنوب متمرکز می‌شوند. ذرات یونیزه، پس از سقوط در ستاره فروپاشیده، مسیر باریک خطوط نیروی مغناطیسی را دنبال می‌کنند و به صورت فواره‌هایی در جهت میدان‌های مغناطیسی قطبی شمال و جنوب خارج می‌شوند.)

تاکنون دو نوع سیاهچاله شناسایی شده‌اند. در نوع نخست، سیاهچاله‌های ستاره‌ای، ستاره در حال مرگی تحت نیروی گرانش می‌رمبد. نوع دوم، سیاهچاله‌های کهکشانی، در قسمت مرکزی کهکشان‌های بزرگ و اختروش‌ها پنهان شده‌اند. تشخیص آن‌ها آسانتر است و میلیون‌ها تا میلیاردها برابر خورشید جرم دارند.

اخیراً به‌طور قطعی مشخص شده که سیاهچاله‌ای در مرکز کهکشان راه

شیری وجود دارد. متأسفانه ابرهای گرد و غبار، مرکز کهکشان را پوشانده و مانع از دید واضح می‌شوند؛ اگر اینگونه نبود هر شب از روی کره زمین، توپ آتشین بزرگی در صورت فلکی قوس دیده می‌شد. بدون وجود این گرد و غبار، احتمالاً مرکز کهکشان راه شیری، ماه را تحت الشعاع قرار داده و به درخشان‌ترین جرم در آسمان شب بدل می‌کرد. در نقطه مرکزی این هسته کهکشانی، سیاهچاله‌ای قرار گرفته که ۲/۵ میلیون برابر خورشید جرم دارد. قطر آن حدود یک دهم قطر مدار عطارد است. این سیاهچاله، در مقایسه با استانداردهای کهکشانی، سیاهچاله بزرگی محسوب نمی‌شود؛ اختروش‌ها می‌توانند سیاهچاله‌هایی با جرمی معادل چندین میلیارد برابر جرم خورشید داشته باشند. در حال حاضر سیاهچاله حیاط پشتی ما تقریباً غیرفعال است.

سیاهچاله کهکشانی نزدیک بعدی، در مرکز کهکشان آندرومدا قرار دارد. جرم آن ۳۰ میلیون برابر جرم خورشید و قطر شوارتسشیلد آن حدود ۱۰۰ میلیون کیلومتر است. (در مرکز کهکشان آندرومدا، حداقل دو جرم سنگین وجود دارند که دیگری احتمالاً باقی مانده کهکشانی است که میلیاردها سال پیش به‌وسیله آندرومدا بلعیده شده است. اگر آن‌طور که به‌نظر می‌رسد، پس از میلیاردها سال، سرانجام راه شیری با آندرومدا برخورد کند، شاید کهکشان ما درون «شکم» آندرومدا ناپدید شود.)

یکی از زیباترین عکس‌ها از سیاهچاله‌های کهکشانی متعلق به کهکشان NGC4261 است که به‌وسیله تلسکوپ فضایی هابل گرفته شده است. در گذشته، تصاویر تلسکوپ رادیویی از این کهکشان، دو فواره را نشان می‌دادند که از قطب‌های شمال و جنوب آن خارج شده‌اند، ولی در آن زمان کسی ماهیت این فواره‌ها را نمی‌دانست. تلسکوپ هابل موفق شد از نقاط مرکزی کهکشان عکس بگیرد و به‌این‌ترتیب قرص زیبایی به قطر حدود ۴۰۰ سال نوری آشکار شد. در بخش مرکزی قرص، نقطه کوچکی به قطر حدود یک سال نوری قرار دارد که همان قرص برافزایشی سیاهچاله است. سیاهچاله مرکزی که به‌وسیله تلسکوپ هابل قابل رؤیت نیست، ۱/۲ میلیارد برابر خورشید جرم دارد.

سیاهچاله‌های کهکشانی از این دست، چنان قدرتمندند که می‌توانند تمام ستارگان را ببلعند. در سال ۲۰۰۴، ناسا و آژانس فضایی اروپا، مشترکاً سیاهچاله عظیمی را شناسایی کردند که در کهکشان دوردستی در حال بلعیدن یک ستاره بود. تلسکوپ پرتو X چاندرا و ماهواره اروپایی XMM نیوتون، هر دو همین رویداد را رصد کردند: درخشش کهکشان RXJ1242-11 در پرتو X، نشان می‌دهد که یک ستاره به‌وسیله سیاهچاله عظیمی در مرکز بلعیده شده است. تخمین می‌زنند که این سیاهچاله، ۱۰۰ میلیون برابر خورشید جرم دارد. محاسبات نشان داده‌اند زمانی که ستاره‌ای به افق رویداد یک سیاهچاله نزدیک می‌شود، نیروی گرانش فوق‌العاده زیاد، ستاره را از شکل طبیعی خارج می‌کند، تا آنجا که آن را از هم می‌پاشد و درخششی از پرتوهای X منتشر می‌کند. استفانی کوموسا، ستاره‌شناس انستیتوی ماکس پلانک در گارچینگ آلمان می‌گوید: «این ستاره بیش از نقطه شکست خود، کشیده شده است. ستاره بد اقبال، اطراف همسایه نامناسبی قدم می‌زده است.»

بسیاری از معماهای قدیمی با وجود سیاهچاله‌ها حل می‌شود. به‌عنوان مثال کهکشان M87 همواره برای ستاره‌شناسان یک معما بوده است، زیرا شکل آن شبیه یک توپ بزرگ از ستارگان است که دم عجیبی از آن بیرون آمده است. از آنجا که این کهکشان مقادیر زیادی تابش منتشر می‌کند، ستاره‌شناسان گمان کردند که این دم نشان‌دهنده جریانی از ضدماده است. ولی امروزه ستاره‌شناسان دریافته‌اند که این کهکشان از یک سیاهچاله عظیم با جرم شاید ۳ میلیارد برابر جرم خورشید، انرژی می‌گیرد و در حال حاضر این عقیده وجود دارد که این دم عجیب، فواره عظیمی از پلاسما است که به بیرون (و نه به درون) کهکشان جریان دارد.

یکی از تماشایی‌ترین یافته‌های مربوط به سیاهچاله‌ها زمانی حاصل شد که تلسکوپ پرتو X چاندرا توانست از داخل روزنه کوچکی در گرد و غبار فضای بیرونی، مجموعه‌ای از سیاهچاله‌ها را نزدیک به لبه جهان مرئی مشاهده کند. در مجموع، ۶۰۰ سیاهچاله دیده شدند. با تعمیم این یافته،

ستاره‌شناسان تخمین می‌زنند که حداقل ۳۰۰ میلیون سیاهچاله در سراسر آسمان شب وجود دارد.

درخشش‌های گاما

سیاهچاله‌های فوق‌الذکر شاید میلیاردها سال عمر داشته باشند. اما در حال حاضر ستاره‌شناسان موقعیت‌های معدودی دارند تا سیاهچاله‌ها را در حال شکل‌گیری مقابل چشمان‌شان ببینند. برخی از این موقعیت‌ها، احتمالاً درخشش‌های مرموز پرتو گاما هستند که بیشترین مقدار انرژی را در جهان آزاد می‌کنند. انفجارات عظیم پرتو گاما، از نظر مقدار انرژی‌ای که آزاد می‌کنند، پس از خود انفجار بزرگ در مرتبه دوم قرار دارند.

درخشش‌های پرتو گاما تاریخچه عجیبی دارند که به دوره جنگ سرد باز می‌گردد. در اواخر دهه ۱۹۶۰، ایالات متحده نگران این موضوع بود که اتحاد جماهیر شوروی یا کشوری دیگر مخفیانه در صحراهای کره زمین یا حتی روی کره ماه، آزمایش هسته‌ای انجام دهد و به‌این‌ترتیب توافقات موجود را زیرپا بگذارد. بنابراین ایالات متحده ماهواره وِلا را به فضا پرتاب کرد تا به ویژه «درخشش‌های هسته‌ای» یا انفجارهای احتمالی بمب هسته‌ای را شناسایی کند. به‌دلیل اینکه انفجارهای هسته‌ای در مراحلی مجزا در حد میکروثانیه رخ می‌دهند، هر درخشش هسته‌ای، یک درخشش دوگانه منحصر به‌فرد منتشر می‌کند که به‌وسیله ماهواره قابل شناسایی است. (ماهواره وِلا دو تا از چنین درخشش‌های هسته‌ای را در دهه ۱۹۷۰، بیرون از سواحل جزیره پرنس ادوارد نزدیک آفریقای جنوبی و در حضور ناوهای جنگی اسرا...، دریافت کرد؛ مشاهداتی که به‌وسیله مجامع اطلاعاتی ایالات متحده، هنوز مورد بحث و مجادله است.)

اما آنچه پنتاگون را وحشت زده کرد این بود که ماهواره ولا نشانه‌هایی از انفجارهای بزرگ هسته‌ای در فضا دریافت می‌کرد. آیا اتحاد جماهیر شوروی با استفاده از یک فناوری پیشرفته ناشناخته، مخفیانه بمب‌های هیدروژنی را در اعماق فضا منفجر می‌کرد؟ با این فرض که شوروی ممکن است موفق

شده باشد در فناوری تسلیحاتی از ایالات متحده پیشی بگیرد، از دانشمندان برجسته خواسته شد تا این نشانه‌های دریافتی از اعماق فضا را تحلیل کنند.

پس از فروپاشی شوروی، دیگر نیازی به طبقه‌بندی این اطلاعات نبود و بنابراین پنتاگون کوهی از داده‌ها را به دنیای ستاره‌شناسی ارائه کرد. برای اولین‌بار در طول چند دهه، یک پدیده ستاره‌شناسی کاملاً جدید با وسعت و قدرتی فوق‌العاده، آشکار شده بود. ستاره‌شناسان به سرعت دریافتند که این درخشش‌های گاما چنان عظیم‌اند که می‌توانند کل انرژی خروجی خورشید را در طول عمر آن (در حدود ۱۰ میلیارد سال) تنها در عرض چند ثانیه آزاد سازند. اما این درخشش‌ها زودگذر بودند؛ هر بار که یکی از آن‌ها به‌وسیله ماهواره ولا شناسایی می‌شد، به محض اینکه تلسکوپ‌های زمینی به سمت آن هدف گیری می‌کردند، سریعاً ناپدید شده و چیزی ثبت نمی‌شد. (اغلب درخشش‌ها بین ۱ تا ۱۰ ثانیه دوام دارند؛ کوتاه‌ترین آن‌ها ۰/۰۱ ثانیه و برخی دیگر تا چندین دقیقه طول می‌کشند.)

امروزه، تلسکوپ‌های فضایی، رایانه‌ها و گروه‌های واکنش سریع، قابلیت ما را برای تعیین مکان درخشش‌های گاما بهبود بخشیده‌اند. هر روز حدود سه درخشش گاما شناسایی می‌شوند که زنجیره پیچیده‌ای از عملیات بعدی را به جریان می‌اندازند. به محض اینکه انرژی ناشی از آن‌ها توسط ماهواره آشکار می‌شود، ستاره‌شناسان با استفاده از رایانه، به سرعت مختصات دقیق آن را یافته و تلسکوپ‌ها و آشکارسازهای بیشتری را به سمت آن هدف گیری می‌کنند.

داده‌های حاصل از این ابزارها، نتایج حیرت‌آوری را آشکار ساخته‌اند. در قلب این درخشش‌های گاما، اغلب جرمی با قطر تنها ده‌ها کیلومتر قرار دارد. به بیان دیگر، قدرت کیهانی غیرقابل تصور یک درخشش گاما، در محدوده‌ای به ابعاد شاید شهر نیویورک متمرکز شده است. برای سال‌ها، علت اصلی چنین رویدادهایی ستاره‌های نوترونی محسوب می‌شدند که در یک سیستم دوتایی با یکدیگر برخورد می‌کنند. برطبق این نظریه، مدار این ستاره‌های نوترونی حول یکدیگر، در طول زمان کوچک شده و آن‌ها سرانجام به

یکدیگر برخورد می‌کنند و مقادیر بی‌کرانی انرژی آزاد می‌شود. چنین رویدادهایی به ندرت اتفاق می‌افتند، ولی از آنجا که جهان بسیار بزرگ است و چنین انفجارهایی تمام کیهان را روشن می‌کنند، باید روزی چند تا از آن‌ها را ببینیم.

اما در سال ۲۰۰۳، دانشمندان شواهد جدیدی جمع‌آوری کردند مبنی بر اینکه درخششهای گاما در حقیقت نتیجه یک «هایپرنوا» (یا اَبَرنواختر) هستند که منجر به ایجاد سیاهچاله‌های عظیم می‌شوند. ماهواره‌ها و تلسکوپ‌ها به سرعت درخشش‌های گاما را نشانه گرفته و مشاهده کردند که آن‌ها به یک ابرنواختر عظیم شباهت دارند. از آنجا که ستاره در حال انفجار، دارای یک میدان مغناطیسی بزرگ است و تابش را از طریق جهت‌های قطبی شمال و جنوب گسیل می‌کند، ممکن است اینطور به‌نظر بیاید که ابرنواختر بیش از اندازه انرژی دارد؛ یعنی ما این درخشش‌ها را تنها در صورتی می‌بینیم که مستقیماً به سمت زمین نشانه رفته باشند و این تصور اشتباه را در ما ایجاد می‌کنند که آن‌ها از آنچه واقعاً هستند قدرتمندترند.

اگر داده‌های دریافتی، مشخص کنند که درخشش‌های گاما در حقیقت سیاهچاله‌ها هستند، آنگاه نسل بعدی تلسکوپ‌های فضایی باید بتوانند آن‌ها را با جزئیات دقیق تحلیل کنند و شاید به برخی از عمیق‌ترین سوآلات ما در مورد فضا و زمان پاسخ دهند. به‌عنوان مثال، اگر سیاهچاله‌ها بتوانند فضا را خمیده کنند، آیا می‌توانند زمان را نیز خم کنند؟

ماشین زمان وَن اِستوکوم

نظریه اینشتین، فضا و زمان را به‌گونه‌ای تفکیک ناپذیر به یکدیگر پیوند می‌دهد. در نتیجه، کرمچاله‌ای که دو نقطه دور در فضا را به‌هم متصل می‌کند، ممکن است همچنین دو نقطه دور در زمان را به‌هم وصل کند. به بیان دیگر، نظریه اینشتین احتمال سفر در زمان را نیز فراهم می‌آورد.

مفهوم زمان، خود در طول قرن‌ها تغییر کرده است. نیوتون زمان را همانند یک پیکان تصور می‌کرد؛ پس از اینکه از کمان رها شود، هرگز تغییر مسیر

نمی‌دهد و مستمر و یکپارچه رو به هدف پیش می‌رود. سپس اینشتین مفهوم فضا-زمان خمیده را مطرح کرد. بنابراین زمان از نظر او بیشتر شبیه رودخانه‌ای بود که در مسیری پر پیچ و خم در جهان، هر لحظه سرعت گرفته یا آرام می‌گیرد. اما آنچه اینشتین را نگران می‌کرد این احتمال بود که شاید روزی رودخانه زمان برخلاف مسیر حرکت خود به عقب باز گردد. شاید گرداب‌ها یا انشعاباتی بتوانند در رودخانه زمان به‌وجود آیند.

در سال ۱۹۳۷، زمانی این احتمال مطرح شد که دبلیو جی وَن اِستوکوم پاسخی برای معادلات اینشتین یافت که در آن، سفر در زمان مجاز بود. او کار را از یک استوانه نا محدود در حال گردش شروع کرد. گرچه از نظر فیزیکی امکان ساخت یک شیء با ابعاد بینهایت وجود ندارد، با این حال او حساب کرد که اگر چنین استوانه‌ای با سرعت نزدیک به نور دور خود بچرخد، بافت فضا-زمان را با خود می‌کشد؛ بسیار شبیه به عسلی که با چرخش تیغه‌های مخلوط کن، کشیده می‌شود. (این پدیده، کشش چارچوب نامیده می‌شود و در حال حاضر عملاً در عکس‌های دقیق سیاهچاله‌های چرخان دیده می‌شود.)

فرد شجاعی که در اطراف این استوانه سفر کند، کشیده شده و سرعتی فوق‌العاده می‌گیرد. در حقیقت، از نظر ناظر دور، فرد از سرعت نور فراتر می‌رود. گرچه ون استوکوم این مسئله را همان موقع در نیافت، ولی اگر شما سفر کاملی به دور استوانه داشته باشید، در حقیقت می‌توانید در زمان به عقب بازگردید. اگر نیمروز حرکت کرده باشید، زمانی که به نقطه شروع خود باز می‌گردید، ممکن است ساعت ۶ بعدازظهر روز قبل باشد. هرچه استوانه سریع‌تر بچرخد، بیشتر می‌توانید در زمان به عقب باز گردید (تنها محدودیت موجود این است که نمی‌توانید به زمانی پیش از زمان ایجاد خود استوانه بازگردید.)

این استوانه شبیه به تیرک‌های آذین‌بندی شده‌ای است که در جشن‌ها در شهر می‌چرخانند و هر بار که دور این تیرک به رقص در آئید، بیشتر و بیشتر در زمان به عقب باز می‌گردید. البته می‌توان چنین پاسخی را به‌راحتی رد کرد؛

زیرا هیچ استوانه‌ای نمی‌تواند بی‌نهایت بلند باشد. به‌علاوه، اگر هم بتوان چنین استوانه‌ای را ساخت، به‌دلیل اینکه نزدیک به سرعت نور می‌چرخد، نیروهای گریز از مرکز در آن بسیار بزرگ خواهند بود که باعث می‌شود ماده سازنده استوانه به اطراف پراکنده شود.

جهان گودِل

در سال ۱۹۴۹، کورت گودِل، متخصص بزرگ منطق ریاضی، پاسخ عجیب‌تری برای معادلات اینشتین یافت. او فرض کرد که کل جهان در حال چرخش است. درست شبیه به حالت استوانه ون استوکوم، طبیعت عسل مانند فضا-زمان، افراد را می‌کشد. اگر با موشک جهان گودل را دور بزنید، پس از یک دور چرخش درست به نقطه شروع خود باز می‌گردید؛ ولی در زمانِ گذشته.

در جهان گودل، اصولاً یک فرد می‌تواند بین هر دو نقطه جهان، در فضا و زمان، سفر کند. می‌توان هر رویدادی را در هر زمانی در گذشته مشاهده کرد. جهان گودل، به خاطر وجود نیروی گرانش، تمایل به فروپاشی به درون دارد. بنابراین نیروی گریز از مرکز ناشی از چرخش، باید بتواند این نیروی گرانش را خنثی کند. به بیان دیگر، سرعت چرخش جهان باید از یک مقدار حداقل بیشتر باشد. هرچه جهان بزرگ‌تر باشد، تمایل برای فروپاشی آن نیز بیشتر خواهد بود و بنابراین برای جلوگیری از فروپاشی، ناچار است سریع‌تر بچرخد.

به‌عنوان مثال، گودل محاسبه کرد که جهانی در ابعاد جهان ما، باید هر ۷۰ میلیارد سال یکبار به‌دور خود بچرخد و در این صورت، شعاع حداقل برای سفر در زمان، ۱۶ میلیارد سال نوری خواهد بود. به هر حال، برای سفر به عقب در زمان باید با سرعتی کم‌تر از سرعت نور سفر کنید.

گودل آگاه بود که چه پارادوکس‌هایی ممکن است در ارتباط با پاسخ او مطرح شود. به‌عنوان مثال، احتمال ملاقات با خود در گذشته و تغییر مسیر تاریخ از جمله پارادوکس‌هایی بودند که مطرح شدند. او نوشته است: «این

امکان وجود دارد که با انجام سفری دایره‌ای با یک موشک فضایی در مسیری با شعاع به حد کافی بزرگ، بتوانید به هر نقطه‌ای در گذشته، حال و آینده سفر کنید و دوباره باز گردید؛ درست همان‌طور که در جهان‌های دیگر این امکان وجود دارد که به مناطق دوردست در فضا سفر کنید. اینگونه امور دور از واقعیت به‌نظر می‌رسند. زیرا به‌این‌ترتیب فرد قادر می‌شود به گذشته‌ای نزدیک، به مکان‌هایی که در آن‌ها زندگی می‌کرده است، باز گردد. او در آنجا خود را در گذشته خواهد یافت و به‌این‌ترتیب می‌تواند با خود کاری کند که می‌داند در گذشته برایش رخ نداده است.»

راه حل گودل که دوست و همسایه اینشتین در انستیتوی مطالعات پیشرفته پرینستون بود، اینشتین را آشفت. عکس‌العمل او این موضوع را نشان می‌دهد:

> از نظر من، مقاله کورت گودل کمک مهمی برای نظریه نسبیت عام محسوب می‌شود؛ مخصوصاً در زمینه تحلیل مفهوم زمان. مشکلی که الان مطرح است، در زمان شکل‌گیری نظریه نسبیت عام نیز مرا آشفته می‌کرد، بدون اینکه در حل آن موفق باشم... از نظر کیهان‌شناسی، تمایز بین مفهوم «زودتر-دیرتر» برای پدیده‌های جهان از بین می‌رود و پارادوکس‌هایی در مورد جهت ارتباط علت و معلولی وقایع از گفته‌های آقای گودل برمی آید... جالب است دریابیم این وقایع نمی‌توانند در صحنه‌های فیزیکی وجود داشته باشند.

پاسخ اینشتین به دو دلیل جالب توجه است. نخست اینکه طبق اظهار خودش، زمانی که برای اولین‌بار نسبیت عام را مطرح می‌کرد، امکان سفر در زمان ذهن او را مشغول کرده بوده است. از آنجا که طبق ادعای اینشتین، زمان و فضا مانند قطعه‌ای لاستیکی می‌توانند خمیده و تابیده شوند، او نگران بود که بافت فضا-زمان آنقدر پیچ و تاب بردارد که امکان سفر در زمان فراهم آید. ثانیاً او راه حل گودل را بر مبنای «دلایل فیزیکی» رد کرد، یعنی جهان نمی‌چرخد، بلکه منبسط می‌شود.

پس از مرگ اینشتین، این مسئله کاملاً آشکار شده بود که معادلات او

می‌توانند منشاء پدیده‌های عجیبی (سفر در زمان، کرمچاله‌ها) باشند. با این حال هیچ کس توجه خاصی به این موارد نشان نداد، زیرا دانشمندان احساس می‌کردند این پدیده‌ها در طبیعت امکان تحقق ندارند. توافق بر این بود که این پاسخ‌ها پایه و اساسی در دنیای واقعی ندارند؛ اینکه تلاش برای سفر به یک جهان موازی از طریق یک سیاهچاله موجب مرگ شما می‌شود؛ جهان نمی‌چرخد و شما نمی‌توانید استوانه‌های بی‌نهایت بلند بسازید، باعث می‌شد سفر در زمان تنها بحثی آکادمیک تلقی شود.

ماشین زمان تورن

مسئله سفر در زمان برای ۳۵ سال راکد باقی ماند، تا اینکه در سال ۱۹۸۵، ستاره‌شناسی به نام کارل ساگان در حال نوشتن رمان خود به نام ارتباط، تصمیم داشت روشی به‌کار گیرد که توسط آن، قهرمان زن داستان بتواند به ستاره نسر واقع (وگا) سفر کند. او سفری دوطرفه لازم داشت که در آن قهرمان زن داستان بتواند به ستاره نسر واقع سفر کرده و سپس به زمین باز گردد؛ چیزی که از طریق یک کرمچاله امکان‌پذیر نبود. او برای حل این مسئله به فیزیکدانی به نام کیپ تورن مراجعه کرد. تورن دنیای فیزیک را با یافتن پاسخ‌های جدید برای معادلات اینشتین تکان داد؛ پاسخ‌هایی که امکان سفر در زمان را فارغ از بسیاری مشکلات پیشین، فراهم می‌کرد. در سال ۱۹۸۸، تورن به‌همراه همکاران خود، مایکل موریس و اُلوی یورت سِوِر، نشان داد که اگر بتوان به شکل عجیبی از ماده و انرژی، مثل «ماده منفی» و «انرژی منفی» دست یافت، امکان ساخت یک ماشین زمان وجود دارد. در ابتدا فیزیکدانان نسبت به این پاسخ جدید مشکوک بودند، زیرا هیچ کس تاکنون این نوع ماده عجیب را ندیده بود و همچنین انرژی‌منفی تنها در مقادیر بسیار جزئی یافت می‌شود. اما این پاسخ روزنه جدیدی به درک ما از سفر در زمان گشود.

امتیاز بزرگ ماده و انرژی منفی این است که باعث می‌شوند یک کرمچاله، قابل عبور شود و امکان انجام سفر دوطرفه از درون آن، بدون نگرانی از افق رویداد فراهم آید. در حقیقت گروه تورن دریافت که سفر از درون این ماشین

زمان، احتمالاً در مقایسه با سفری معمولی با هواپیما کم خطرتر است.

با این حال، مشکل این است که ماده عجیب (یا همان ماده منفی) دارای ویژگی‌های غیرمتعارفی است. برخلاف ضدماده (که می‌دانیم وجود دارد و در میدان گرانش زمین مانند ماده معمولی سقوط می‌کند)، ماده منفی بالا می‌رود و بنابراین، به‌دلیل اثر نیروی ضد گرانش، در میدان گرانش زمین شناور می‌شود. این ماده به‌وسیله ماده معمولی و دیگر مواد منفی دفع می‌شود. یعنی حتی اگر این ماده وجود داشته باشد، یافتن آن در طبیعت بسیار دشوار است. زمانی که کره زمین برای اولین‌بار ۴/۵ میلیارد سال پیش شکل گرفت، مسلماً تمام ماده منفی روی کره زمین به اعماق فضا پرواز کرده‌اند. بنابراین احتمال دارد که ماده منفی تنها در فضا، به دور از هر سیاره‌ای، شناور باشد. (احتمالاً ماده منفی هیچ‌گاه با یک ستاره یا سیاره در حال عبور برخورد نخواهد کرد، زیرا به‌وسیله ماده معمولی دفع می‌شود.)

با اینکه ماده منفی تاکنون هرگز دیده نشده است (و به احتمال زیاد اصلاً وجود ندارد)، ولی از نظر فیزیکی احتمال وجود انرژی منفی هست. در سال ۱۹۳۳، هنریک کاسیمیر نشان داد که دو صفحه فلزی موازی بدون بار می‌توانند انرژی منفی ایجاد کنند. به‌طور معمول انتظار می‌رود که دو صفحه، به‌دلیل عدم وجود بار الکتریکی، ساکن باقی بمانند. با این حال، کاسیمیر نشان داد که نیروی جاذبه بسیار کوچکی بین این دو صفحه فلزی موازی بدون بار وجود دارد. در سال ۱۹۴۸، موفق شدند این نیروی‌بسیار کوچک را اندازه‌گیری کنند و به‌این‌ترتیب مشخص شد که انرژی منفی واقعیت دارد. اثر کاسیمیر[1]، به ویژگی عجیبی از خلأ مربوط می‌شود. طبق نظریه کوانتوم، فضای‌تهی، انباشته از «ذرات مَجازی» است که از هیچ به‌وجود آمده و از بین می‌روند. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، این انحراف از اصل بقای انرژی را امکان‌پذیر می‌کند. این اصل امکان نقض قوانین کلاسیک را، مادامی که بسیار مختصر و موجز رخ دهند، فراهم می‌آورد. به‌عنوان مثال، بر اساس اصل عدم قطعیت، احتمال مشخص کوچکی دارند که الکترون و آنتی‌الکترون، از هیچ

1. Casimir effect

چیز ایجاد شوند، سپس یکدیگر را خنثی کرده و از بین بروند. به‌دلیل اینکه صفحات فلزی بسیار به‌هم نزدیک هستند، این ذرات مجازی نمی‌توانند به‌راحتی بین این دو صفحه وارد شوند. بنابراین ذرات مجازی بیشتری در اطراف صفحات در مقایسه با فضای بین آن‌ها وجود دارد و این امر نیرویی درونی ایجاد می‌کند که باعث رانده شدن خفیف صفحات موازی به داخل می‌شود. این اثر در سال ۱۹۹۶ به‌وسیله استیون لاموركس در آزمایشگاه ملی لوس آلاموس اندازه‌گیری شد. نیروی جاذبه‌ای که او اندازه‌گیری کرد بسیار کوچک بود (برابر با یک سی هزارم وزن یک مورچه). هرچه فاصله بین دو صفحه موازی کم‌تر باشد، نیروی‌جاذبه بیشتر خواهد بود.

بنابراین، ماشین زمانی که تورن تصور کرده بود، می‌تواند به‌این‌ترتیب کار کند. یک تمدن پیشرفته می‌تواند از دو صفحه موازی که در فاصله بسیار اندکی از هم قرار دارند، استفاده کند. این صفحات موازی می‌توانند به صورت یک کره قرار بگیرند، طوری که کره دارای یک پوسته بیرونی و یک پوسته درونی باشد. سپس دو تا از این کره‌ها ساخته می‌شود و به نحوی یک کرمچاله بین آن‌ها قرار می‌گیرد، بدین ترتیب تونلی در فضا دو کره را به‌هم ارتباط می‌دهد. حال هرکدام از کره‌ها شامل یکی از دهانه‌های کرمچاله هستند.

به‌طور معمول، زمان برای هر دو کره به‌طور هماهنگ در جریان است. اما اگر یکی از کره‌ها را درون موشکی قرار دهیم که با سرعتی نزدیک به سرعت نور حرکت کند، زمان برای آن موشک آهسته‌تر خواهد گذشت و بنابراین دو کره دیگر از نظر زمانی هماهنگ نخواهند بود. ساعت درون موشک بسیار آهسته‌تر از ساعت روی کره زمین ضربان خواهد داشت. در این صورت، اگر فردی از زمین به درون کره بپرد، ممکن است به دهانه کرمچاله مکیده شده و در زمانی در گذشته به موشک برسد. (فراموش نکنید که این ماشین زمان نمی‌تواند شما را به زمانی قبل از ساخته شدن خود ماشین باز گرداند.)

مشکلات مربوط به انرژی منفی

گرچه راه حل تورن، زمانی که مطرح شد هیجان زیادی را ایجاد کرد ولی

ساختن آن حتی توسط تمدنی پیشرفته، با موانعی جدی روبروست. اولین مشکل تهیه مقادیر زیاد انرژی منفی است که کاملاً نایاب است. این نوع کرمچاله به مقادیر زیاد انرژی منفی وابسته است تا دهانه‌اش باز بماند. اگر انرژی منفی از طریق اثر کاسیمیر تهیه شود، مقدارش واقعاً اندک است و در این صورت اندازه کرمچاله حتی از ابعاد اتم نیز بسیار کوچک‌تر خواهد بود. به‌این‌ترتیب سفر از درون چنین کرمچاله‌ای غیرممکن است. علاوه بر اثر کاسیمیر، منابع دیگری نیز برای تولید انرژی منفی وجود دارند. اما کار کردن تقریباً با تمام آن‌ها بسیار مشکل است. به‌عنوان مثال، دو فیزیکدانان به نام‌های پُل دیویس و استفان فولینگ نشان داده‌اند آئینه‌ای که با سرعت حرکت می‌کند، می‌تواند انرژی منفی ایجاد کند که در جلوی آئینه حین حرکت انباشته می‌شود. متأسفانه برای به‌دست آوردن انرژی منفی از این روش، باید آئینه را با سرعتی نزدیک به سرعت نور حرکت داد. به‌علاوه، در این حالت نیز همانند اثر کاسیمیر انرژی منفی ایجاد شده بسیار ناچیز خواهد بود.

روش دیگر استخراج انرژی منفی، استفاده از پرتوی لیزر پر قدرت است. در میان حالت‌های انرژی لیزر، تعدادی «حالت فشرده» وجود دارند که در آن‌ها انرژی مثبت و منفی با هم یافت می‌شوند. با این حال، ایجاد این اثر نیز بسیار دشوار است. یک پالس معمولی از انرژی منفی ممکن است به اندازه ثانیه بطول انجامد، که به‌دنبال آن پالسی از انرژی مثبت قرار دارد. علیرغم دشواری بسیار، جداسازی حالت‌های انرژی منفی از مثبت امکان‌پذیر است. در این مورد در بخش دوم بیشتر بحث می‌کنم.

و نهایتاً، یک سیاهچاله نیز در نزدیکی افق رویداد خود، دارای انرژی منفی است. همان‌طور که ژاکوب بِکنشتاین و استیون هوکینگ نشان دادند، یک سیاهچاله کاملاً سیاه نیست و به آهستگی انرژی از دست می‌دهد. به این دلیل که اصل عدم قطعیت، امکان تونل زنی تابش را از درون سد عظیم گرانش یک سیاهچاله فراهم می‌آورد. ولی از آنجا که یک سیاهچاله در حال تبخیر انرژی از دست می‌دهد، با گذشت زمان افق رویداد به‌تدریج کوچک‌تر می‌شود. اغلب، اگر ماده مثبت (مثل یک ستاره) درون یک سیاهچاله پرتاب

شود، افق رویداد گسترده‌تر می‌شود. اما اگر ماده منفی درون سیاهچاله پرتاب کنیم، افق رویداد آن کوچک‌تر خواهد شد. بنابراین تبخیر سیاهچاله، نزدیک افق رویداد انرژی منفی ایجاد می‌کند. (برخی عقیده دارند که برای به‌دست آوردن انرژی منفی می‌توان دهانه کرمچاله را در نزدیکی افق رویداد قرار داد. با این حال، دستیابی به این انرژی منفی بسیار سخت و خطرناک است، چرا که باید خیلی به افق رویداد نزدیک شویم.)

هوکینگ نشان داده است که به‌طور کلی، برای پایدار کردن راه حل‌های کرمچاله‌ای به انرژی منفی نیاز داریم. دلیل آن بسیار ساده است. معمولاً، انرژی مثبت می‌تواند منجر به ایجاد دهانه کرمچاله شود که ماده و انرژی را متمرکز می‌کند. به‌این‌ترتیب، پرتوهای نور با ورود به دهانه کرمچاله، همگرا می‌شوند. اگر این پرتوهای نوری از طرف دیگر خارج شوند، باید جایی در مرکز کرمچاله از هم دور شده یا به عبارتی واگرا شوند. این امر تنها در حضور انرژی منفی امکان‌پذیر است. به‌علاوه انرژی منفی، دفع کننده است و برای جلوگیری از فروپاشی کرمچاله بر اثر نیروی گرانش، ضروری است. بنابراین، کلید ساخت یک ماشین زمان یا یک کرمچاله می‌تواند یافتن مقادیر کافی انرژی منفی برای باز و پایدار نگه داشتن کرمچاله باشد. (تعدادی از فیزیکدانان نشان داده‌اند که وجود انرژی منفی، در حضور میدان‌های شدید گرانش تقریباً شایع است. پس شاید روزی بتوان از انرژی منفی گرانشی برای به‌کار انداختن ماشین زمان استفاده کرد.)

مانع دیگری در ساخت چنین ماشین زمانی وجود دارد: کجا می‌توان یک کرمچاله یافت؟ تورن به این حقیقت استناد کرد که کرمچاله‌ها در آنچه اسفنج فضا-زمان نامیده می‌شود، به‌طور طبیعی به‌وجود می‌آیند. این امر به سوآلی باز می‌گردد که فیلسوف یونانی زِنون، بیش از ۲۰۰۰ سال پیش مطرح کرده بود: کوچک‌ترین مسافتی که می‌توان پیمود چقدر است؟

زنون از نظر ریاضی ثابت کرد که عبور از عرض یک رودخانه غیرممکن است. او ابتدا بیان کرد که مقطع عرضی یک رودخانه را می‌توان به بینهایت نقطه تقسیم کرد. اما از آنجا که بینهایت زمان نیاز است تا از بی‌نهایت نقطه

عبور کنیم، بنابراین پیمودن عرض رودخانه غیرممکن است. به‌این‌ترتیب، حرکت اجسام کلاً غیرممکن بود. (دو هزار سال زمان لازم بود تا ریاضیات پیشرفته از راه برسد و سرانجام این معما حل شود. می‌توان نشان داد که تعداد نامحدودی نقطه را می‌توان در مقدار محدودی زمان پیمود و بالاخره حرکت را از نظر ریاضی امکان‌پذیر شد.)

جان ویلر از پرینستون، معادلات اینشتین را برای یافتن کوچک‌ترین مسافت ممکن، باز بینی کرد. ویلر دریافت در فواصل فوق‌العاده کوچک در مرتبه طول پلانک (سانتیمتر)، نظریه اینشتین پیش‌بینی می‌کند که انحناء فضا می‌تواند کاملاً بزرگ باشد. به بیان دیگر، در طول پلانک، فضا اصلاً صاف نیست و خمیدگی‌های شدیدی دارد؛ یعنی پیچ خورده و «حباب آلود» است. فضا متلاطم و مملو از حبابهای کوچکی است که از خلأ بیرون می‌جهند و سریعاً از بین می‌روند. در فواصل کوچک، حباب‌های فضا-زمان حتی در فضای خالی دائماً در حال جوشش هستند که در واقع کرمچاله‌های کوچک و جهان‌های نوزادند. به‌طور معمول، «ذرات مجازی»، شامل جفت‌های الکترون و آنتی‌الکترون، هر لحظه به‌وجود می‌آیند و محو می‌شوند. اما در فاصله پلانک، ممکن است حباب‌های کوچکی که هر کدام یک جهان کامل یا یک کرمچاله هستند از خلأ بیرون بجهند و سپس ناپدید شوند. جهان ما ممکن است با یکی از همین حباب‌های کوچک آغاز شده باشد که در اسفنج فضا-زمان شناور بوده و ناگهان، به دلایلی که هنوز نمی‌دانیم، متورم شده است.

با دانستن این موضوع که کرمچاله‌ها به‌طور طبیعی در این حباب‌ها یافت می‌شوند، تورن اندیشید که یک تمدن پیشرفته می‌تواند به نوعی کرمچاله‌ها را از درون این اسفنج بیرون آورد، سپس آن‌ها را با کمک انرژی منفی گسترش داده و پایدار سازد. اگرچه این فرایند بسیار دشوار خواهد بود، اما تحقق آن، در قلمرو قوانین فیزیک امکان‌پذیر است.

ماشین زمان تورن به لحاظ نظری امکان‌پذیر است و از نظر مهندسی ساخت آن بسیار مشکل به‌نظر می‌رسد. مسئله دیگری نیز وجود دارد: آیا موضوع سفر در زمان هیچ‌یک از قوانین بنیادین فیزیک را نقض می‌کند؟

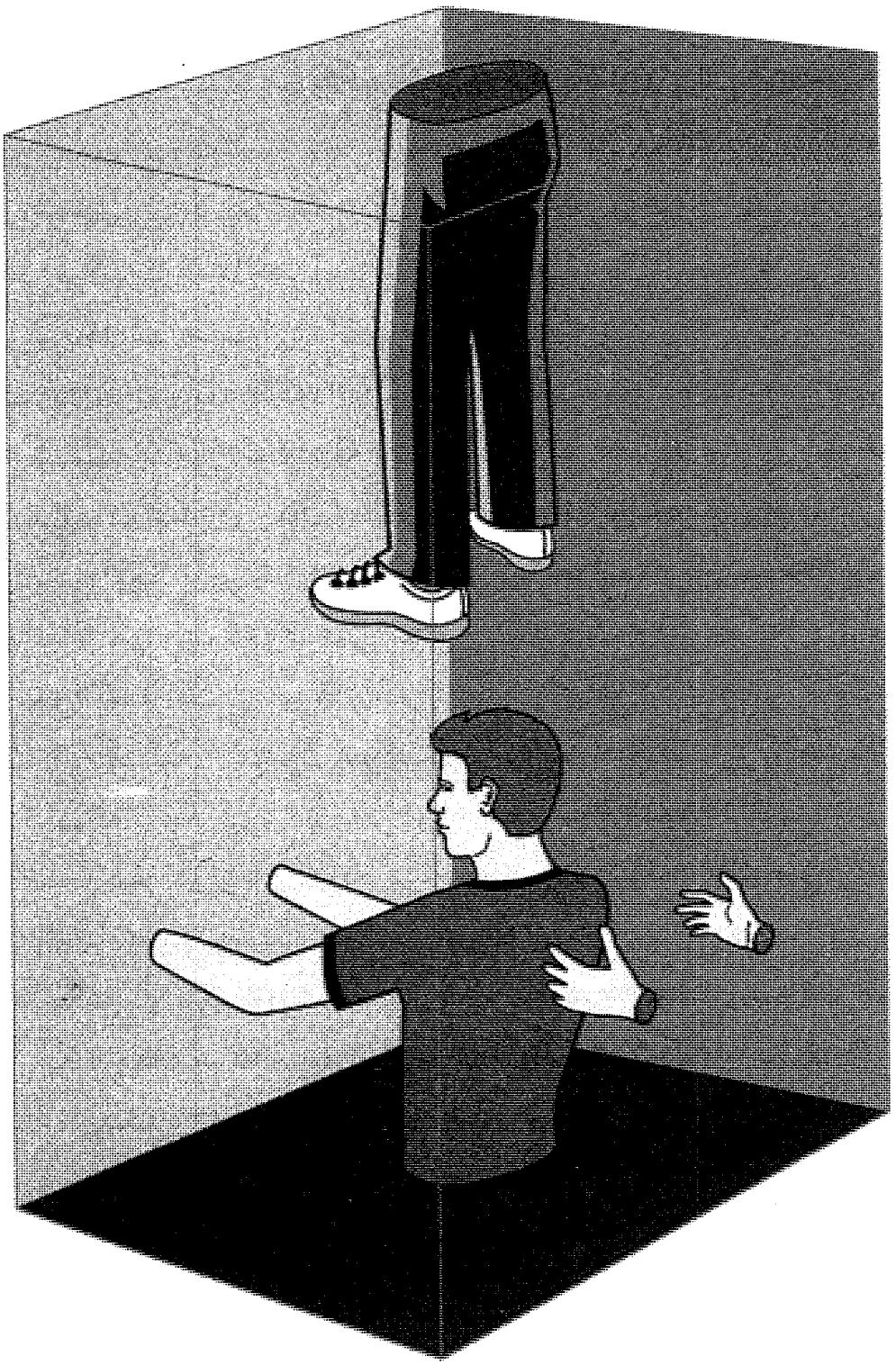
جهانی در اتاق خواب شما

در سال ۱۹۹۲، استیون هوکینگ تلاش کرد تا یکبار و برای همیشه به مسئله سفر در زمان پاسخ دهد. او ذاتاً با ایده سفر در زمان مخالف بود؛ اگر سفر در زمان، به‌راحتی پیک نیک آخر هفته بود، باید امروز شاهد توریست‌هایی از آینده می‌بودیم که به ما خیره شوند و از ما عکس بگیرند.

اما فیزیکدانان اغلب از رمان حماسی تی اِچ وایت، پادشاه اول و آخر اقتباس می‌کنند. در این رمان، جامعه‌ای از مورچگان عقیده دارند: «هرچیزی که ممنوع نیست، الزامی است.» به بیان دیگر، اگر اصلی اساسی در فیزیک وجود ندارد که سفر در زمان را ممنوع کند، بنابراین سفر در زمان ضرورتاً از نظر فیزیکی امکان‌پذیر خواهد بود. (دلیل این مسئله اصل عدم قطعیت است. چیزی اتفاق نمی‌افتد که وقوعش ممنوع باشد و گرنه اگر به اندازه کافی صبر کنیم، تحولات و افت و خیزهای کوانتومی به‌تدریج آن را عملی می‌کنند.) در پاسخ به این مسئله، استیون هوکینگ «فرضیه حفاظت از گاهشماری» را مطرح کرد، که با جلوگیری از سفر در زمان، از تاریخ محافظت می‌کرد. برطبق این فرضیه، سفر در زمان به این دلیل که اصول فیزیکی خاصی را بر هم می‌زند، امکان‌پذیر نیست.

از آنجا که کار با کرمچاله‌ها بسیار دشوار بود، هوکینگ استدلال خود را با بررسی یک جهان ساده شده آغاز کرد؛ جهانی که به‌وسیله چارلز مایسنِر از دانشگاه مریلند، برای اولین‌بار کشف شده بود و تمام ملزومات سفر در زمان را در خود داشت. فضای مایسنر، فضایی آرمانی است که در آن به‌عنوان مثال، اتاق خواب شما به کل جهان تبدیل می‌شود. هر نقطه بر روی دیوار سمت چپ اتاق خواب شما، دقیقاً با نقطه متناظر آن بر روی دیوار سمت راست، یکسان است. به این معنی که اگر شما به سمت دیوار سمت چپ حرکت کنید، با دیوار برخورد نخواهید کرد، بلکه در عوض، به‌درون دیوار رفته و از دیوار سمت راست مجدداً بیرون می‌آئید. به بیان دیگر، دیوارهای چپ و راست به یکدیگر متصلند؛ به نوعی همانند یک استوانه.

همچنین، نقاط روی دیوارهای روبرو و پشت سر نیز به‌همین ترتیب با هم



در یک فضای مایسنر، کل جهان در اتاق خواب شما واقع شده است. دیوارهای مقابل هم تماماً با یکدیگر یکسانند و در نتیجهٔ با وارد شدن از یک دیوار، از دیوار مقابل آن بیرون خواهید آمد. به‌طور مشابه، سقف نیز با کف اتاق یکسان است. فضای مایسنر اغلب به این دلیل مورد مطالعه قرار می‌گیرد که توپولوژی یک کرمچاله را دارد ولی از نظر ریاضیات کار با آن بسیار راحت‌تر است. اگر دیوارها حرکت کنند آنگاه در جهان مایسنر، امکان سفر در زمان به‌وجود می‌آید.

یکسانند؛ همان‌طور که نقاط روی سقف و کف اتاق. بنابراین در هر جهتی که حرکت کنید، از دیوار اتاق خواب عبور کرده و مجدداً به درون آن باز می‌گردید. راه فراری نیست. به بیان دیگر اتاق خواب شما، تمام جهان را شامل می‌شود. مسئله عجیب این است که اگر به دقت به دیوار سمت چپ بنگرید، خواهید دید که در حقیقت شفاف است و نسخه دیگری از اتاق خواب شما در طرف دیگر دیوار وجود دارد. در واقع، همزاد دقیقی از شما در اتاق خواب دیگری قرار دارد. اگرچه شما فقط می‌توانید پشت سر خود را ببینید و هرگز روی خود را نخواهید دید. اگر به بالا یا پایین بنگرید، در این حالت نیز نسخه دیگری را از خود خواهید دید. در حقیقت دنباله نامحدودی از «خود» را در مقابل، پشت سر، زیر و بالا خواهید دید.

برقراری ارتباط با خودتان بسیار دشوار است. هربار که سر بچرخانید تا چهره همزاد خود را شکار کنید، در می‌یابید که او نیز چرخیده است و بنابراین هرگز صورت او را نمی‌بینید. اما اگر اتاق به اندازه کافی کوچک باشد، ممکن است بتوانید دست خود را داخل دیوار برده، شانه همزاد خود را بگیرید. در این حالت متوجه می‌شوید که همزاد شما، از پشت شانه شما را گرفته است. همچنین می‌توانید دست چپ و راست خود را از اطراف به‌درون دیوارها برده و با گرفتن دست همزادان خود، دنباله نامحدودی از «خود» را که دستان یکدیگر را گرفته‌اید، ایجاد کنید. (پیشنهاد نمی‌کنم که سعی در آزار همزاد خود داشته باشید. اگر اسلحه‌ای بردارید و به همزاد مقابل خود نشانه روید، احتمالاً تغییر عقیده داده و از کشیدن ماشه صرفنظر می‌کنید، زیرا همزاد پشت سر شما اسلحه‌ای را در همان زمان به سمت شما نشانه رفته است.)

در فضای مایسنر، فرض کنید که دیوارها به سمت شما حرکت کنند. در این حالت اتفاق جالبی می‌افتد. فرض کنید که اتاق خواب در حال فشرده شدن است طوریکه دیوار سمت راست به آهستگی، با سرعت سه کیلومتر بر ساعت، به شما نزدیک شود. اگر در این حالت به سمت دیوار سمت چپ بروید، از درون دیوار متحرک سمت راست بیرون خواهید آمد، با این تفاوت

که سه کیلومتر بر ساعت به سرعت شما افزوده شده است. در واقع هربار که درون دیوار سمت چپ می‌روید، سرعتی برابر سه کیلومتر بر ساعت از طریق دیوار متحرک سمت راست به شما افزوده می‌شود. پس از تکرار این سفر به دور جهان، سرعتی افزاینده خواهید داشت تا اینکه به‌تدریج به سرعت نور نزدیک می‌شوید.

در نقطه بحرانی مشخصی، سرعت حرکت شما چنان زیاد می‌شود که در زمان به عقب خواهید رفت. در واقع می‌توانید نقاط پیشین را، در فضا ـ زمان ملاقات کنید. هوکینگ فضای مایسنر را به دقت مورد بررسی قرار داد. او دریافت که دیوارهای چپ و راست، از نظر ریاضی، درست با دو دهانه یک کرمچاله برابرند. به بیان دیگر، اتاق خواب شما درست شبیه یک کرمچاله است، دیوارهای چپ و راست یکی هستند؛ درست مشابه دو دهانه یک کرمچاله که آن‌ها نیز یکی هستند.

سپس او تاکید کرد که فضای مایسنر هم از نظر کلاسیک و هم از نظر مکانیک کوانتوم ناپایدار است. به‌عنوان مثال، اگر چراغی را روی دیوار سمت چپ روشن کنید، پرتو نور هر بار که از دیوار سمت راست بیرون می‌آید، انرژی دریافت می‌کند. پرتو نور دچار انتقال به آبی خواهد شد، به این معنی که انرژی می‌گیرد تا جائی که دارای انرژی بی‌نهایت شود که این غیرممکن است. یا اینکه پرتو نور چنان پرانرژی می‌شود که میدان گرانشی عظیمی ایجاد کرده منجر به فروپاشی اتاق خواب یا همان کرمچاله خواهد شد. بنابراین اگر بخواهید به درون کرمچاله بروید، از هم خواهید پاشید. همچنین می‌توان نشان داد به‌دلیل اینکه تابش می‌تواند به دفعات نامتناهی از درون دو دیوار عبور کند، چیزی به نام تانسور انرژی ـ اندازه حرکت که محتویات ماده و انرژی فضا را مشخص می‌کند، نامحدود می‌شود.

این امر از نظر هوکینگ، برای مسئله سفر در زمان به منزله کشتن از روی ترحم بود. تقویت اثرات کوانتومی تابش و نزدیک شدن آن به بی‌نهایت، یک واگرایی ایجاد می‌کند و منجر به مرگ مسافران زمان و بسته شدن کرمچاله می‌شود.

از آن زمان، مسئله واگرایی مطرح شده در مقاله هوکینگ بحث جالب توجهی را در ادبیات فیزیک برانگیخت و دانشمندان، با توجه به مسئله حفاظت از گاهشماری در موافقت یا مخالفت با آن موضع گرفتند. در حقیقت فیزیکدانان متعددی با انتخاب مناسب کرمچاله‌ها از طریق تغییر در ابعاد، طول و... به‌دنبال یافتن نقاط ضعف در استدلال هوکینگ بودند. آن‌ها دریافتند تانسور انرژی ـ اندازه حرکت فقط در برخی کرمچاله‌ها واگرا می‌شود ولی در بقیه به خوبی معین و مشخص است. فیزیکدان روسی سرگئی کراسنیکوف، مسئله واگرایی را برای انواع مختلفی از کرمچاله‌ها مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت: «هیچ دلیلی وجود ندارد مبنی بر اینکه ماشین زمان لزوماً ناپایدار است.»

جریان ایجاد شده، چنان در جهت مخالفت با هوکینگ به پیش رفت که حتی فیزیکدانی به نام لی ژینگ لی از پرینستون، مسئله حفاظت از ضدگاهشماری را مطرح کرد: «هیچ قانونی در فیزیک وجود ندارد که از ظهور منحنی‌های بسته‌ی شبه زمانی جلوگیری کند.»

در سال ۱۹۹۸، هوکینگ مجبور به کناره گیری شد. او نوشته است، «این حقیقت که تانسور انرژی ـ اندازه حرکت [در موارد مشخصی] واگرا نمی‌شود، نشان می‌دهد که واکنش بازگشت، حفاظت از گاهشماری را الزامی نمی‌کند.» معنای این سخن امکان‌پذیر بودن سفر در زمان نیست، بلکه بیان می‌کند که دانسته‌های ما هنوز ناکامل است. فیزیکدانی به نام مَتیو ویسر، عقیده دارد که شکست اظهارات هوکینگ «توجیهی برای علاقه‌مندان به سفر در زمان نیست، بلکه اشاره‌ای است به اینکه تصمیم در مورد مسئله حفاظت از گاهشماری نیاز به یک نظریه تکمیل شده برای گرانش کوانتومی[1] دارد.»

در حال حاضر، هوکینگ عقیده ندارد که سفر در زمان کاملاً غیرممکن است، بلکه می‌گوید شدیداً غیرمحتمل و غیرعملی است. احتمالات موجود به شدت بر ضد سفر در زمان هستند، اما کسی نمی‌تواند آن را کاملاً منتفی بداند. اگر کسی بتواند به‌گونه‌ای مقادیر زیادی انرژی مثبت و منفی تهیه کند و

1. Quantum gravity

به‌علاوه مسئله پایداری را نیز حل کند، ممکن است سفر در زمان واقعاً امکان‌پذیر شود. (شاید دلیل اینکه ما شاهد حضور توریست‌هایی از زمان آینده نیستیم، این است که دورترین زمانی که آن‌ها می‌توانند به آن سفر کنند زمانی است که ماشین زمان در آن ساخته شده و شاید هم ماشین زمان هنوز ساخته نشده باشد.)

ماشین زمان گات

در سال ۱۹۹۱ جِی ریچارد گات سوم از پرینستون، جواب دیگری را برای معادلات اینشتین یافت که امکان سفر در زمان را فراهم می‌آورد. راه حل او بسیار جالب بود زیرا مسیری کاملاً متفاوت، بدون استفاده از اجرام در حال گردش، کرمچاله‌ها و انرژی منفی، پیش گرفته بود.

گات در سال ۱۹۴۷ در لوئیزویل کنتاکی متولد شد و هنوز هم به لهجه جنوبی صحبت می‌کند؛ شیوه‌ای که کمی در دنیای بی‌قاعده فیزیک نظری عجیب به‌نظر می‌رسد. شروع فعالیت او در علوم طبیعی، در زمان کودکی و با عضویت در یک گروه آماتوری نجومی اتفاق افتاد.

در دوره دبیرستان او در مسابقه معتبر جستجو برای استعدادهای علمی وستینگهاوس برنده شد و از آن زمان به‌عنوان رئیس هیات داوران با این انجمن همکاری داشته است. پس از فارغ‌التحصیلی از هاروارد در رشته ریاضی، او به پرینستون رفت و هنوز هم در آن مشغول به‌کار است.

در طول انجام تحقیقات در زمینه کیهان‌شناسی، به «ریسمان‌های کیهانی» علاقه‌مند شد. آن‌ها از اثرات انفجار بزرگ هستند و وجودشان در نظریه‌های متعددی پیش‌بینی شده است. ریسمان‌های کیهانی احتمالا پهنایی کم‌تر از یک هسته اتم، جرمی در حد یک ستاره و طولی برابر با میلیون‌ها سال نوری دارند. گات پاسخی برای معادلات اینشتین یافت که وجود ریسمان‌های کیهانی را امکان‌پذیر می‌ساخت. اما در مرحله بعد، در مورد این ریسمان‌های

کیهانی، به مسئله‌ای غیرمعمول برخورد کرد. اگر دو ریسمان کیهانی[1] را به سمت یکدیگر بفرستید، درست قبل از برخورد با هم، می‌توان از آن‌ها به‌عنوان ماشین زمان استفاده کرد. در مرحله اول، او دریافت که اگر سفر دایره‌واری را به دور ریسمان‌های کیهانی در حال برخورد، انجام دهید، فضا منقبض می‌شود و ویژگی‌های عجیبی از خود نشان می‌دهد. اگر دور چیزی بچرخیم و به نقطه شروع برگردیم، به اندازه ۳۶۰ درجه جابجا شده‌ایم. اما اگر یک موشک حول دو ریسمان کیهانی در حال برخورد یک دور بزند، کم‌تر از ۳۶۰ درجه حرکت کرده است، زیرا در این حالت فضا منقبض شده است. (این به‌دلیل وجود توپولوژی مخروطی است. اگر ما یک دور کامل به دور یک مخروط بچرخیم، خواهیم دید که کم‌تر از ۳۶۰ درجه جابجا شده‌ایم.) بنابر این با حرکت سریع به دور دو ریسمان می‌توانید از سرعت نور پیشی بگیرید (البته از نظر رصدگری در فاصله دور)، زیرا مسافت طی شده در مجموع کم‌تر از آنچه که انتظار می‌رود خواهد بود. این مسئله نسبیت خاص را نقض نمی‌کند، زیرا از نظر شما موشکتان هرگز از سرعت نور پیشی نمی‌گیرد.

این ادعا بدان معناست که اگر دور ریسمان‌های کیهانی در حال برخورد سفر کنید، می‌توانید به گذشته بازگردید. گات به خاطر می‌آورد: «زمانی که این راه حل را یافتم، کاملاً هیجان زده بودم. در این راه حل، فقط از ماده با چگالی مثبت استفاده شده که با سرعتی کم‌تر از سرعت نور حرکت می‌کند. در مقایسه، پاسخ کرمچاله به ماده عجیب با چگالی انرژی منفی (ماده‌ای که وزن آن کم‌تر از هیچ است) نیاز دارد.»

اما انرژی مورد نیاز ماشین زمان فوق‌العاده زیاد است. گات می‌گوید: «برای سفر به گذشته، به ریسمان‌های کیهانی، با جرم واحد طول برابر با حدود ۱۰ میلیون میلیارد تن در سانتیمتر که هرکدام با سرعتی برابر با حداقل ۹۹/۹۹۹۹۹۹۹۶ درصد سرعت نور در جهات مخالف هم حرکت کنند، نیاز داریم. در جهان، پروتون‌های پر انرژی وجود دارند که حداقل با این سرعت حرکت می‌کنند. بنابراین دستیابی به چنین سرعت‌هایی امکان‌پذیر است.»

---

1. Cosmic string

برخی منتقدین به این امر اشاره می‌کردند که خود ریسمان‌های کیهانی، با فرض اینکه اصلاً وجود داشته باشند، بسیار به ندرت یافت می‌شوند و در نتیجه احتمال یافتن ریسمان‌های کیهانی در حال برخورد نیز، بسیار بسیار کم خواهد بود. بنابراین گات بیان کرد که یک تمدن پیشرفته ممکن است روزی یک ریسمان کیهانی را در فضا یافته و با استفاده از فضاپیماهای غول‌پیکر و ابزار فضایی، بتواند ریسمان را به صورت حلقه مستطیل شکل که کمی خم شده است، درآورد (شبیه به صندلی راحتی). او همچنین فرض کرد که این حلقه ممکن است تحت گرانش خود فرو بپاشد، به نحوی که دو قطعه صاف ریسمان کیهانی، با سرعتی نزدیک به سرعت نور از کنار یکدیگر بگذرند و به‌این‌ترتیب یک ماشین زمان ساخته شود. با این وجود گات بیان می‌کند که: «حلقه‌ای از ریسمان کیهانی، آنقدر بزرگ که بتوانید با یک چرخش دور آن، یک سال به عقب برگردید، باید بیش از نصف ماده ـ انرژی یک کهکشان کامل را داشته باشد.»

پارادوکس‌های زمان

دلیل دیگری که فیزیکدانان را از قبول ایده سفر در زمان باز می‌داشت، وجود پارادوکس‌های زمان بود. به‌عنوان مثال، اگر شما به گذشته سفر کنید و پدر و مادر خود را قبل از تولدتان به قتل برسانید، در این صورت تولد شما دیگر غیرممکن خواهد بود. بنابراین هرگز نمی‌توانید به گذشته سفر کنید، تا پدر و مادر خود را به قتل برسانید. این مسئله از این جهت اهمیت دارد که علم براساس ایده‌هایی که منطقاً با هم سازگار باشند، شکل می‌گیرد. وجود یک پارادوکس زمان موثق، کافی است تا بتوان سفر در زمان را بکلی رد کرد.

پارادوکس‌های زمان را می‌توان به گروه‌های متعددی تقسیم کرد:

پارادوکس پدربزرگ. در این پارادوکس گذشته را به‌گونه‌ای تغییر می‌دهیم که اکنون را غیرممکن می‌کند. به‌عنوان مثال، با بازگشت به گذشته بسیار دور، در زمان دایناسورها، تصادفاً پای خود را بر روی

یک پستاندار خزدار کوچک که نیای اصلی انسان است، می‌گذارید. با از بین بردن اجداد خود، مسلماً دیگر وجود نخواهید داشت.

پارادوکس اطلاعات. در این پارادوکس، انتقال اطلاعات از آینده به گذشته، عدم وجود منشاء مشخصی برای اطلاعات را نتیجه می‌دهد. به‌عنوان مثال، فرض کنید که دانشمندی یک ماشین زمان بسازد و سپس به گذشته رفته تا اسرار سفر در زمان را به خودش در زمان جوانی منتقل کند. به‌این‌ترتیب معمای سفر در زمان منشاء و آغازی‌نخواهد داشت، زیرا ماشین زمانی که دانشمند جوان خواهد داشت، به‌وسیله خودش ساخته نشده بلکه به‌وسیله خود پیرترش به او داده شده است.

پارادوکس بیلکر. در این پارادوکس، فرد می‌داند که آینده چگونه خواهد بود و کاری می‌کند که آینده را غیرممکن سازد. به‌عنوان مثال، ماشین زمانی می‌سازید که شما را به آینده ببرد و می‌بینید که تقدیر شما بر این بوده است که با زنی با نام جِین ازدواج کنید، با این وجود عمداً تصمیم می‌گیرید که در عوض با هلن ازدواج کنید و به‌این‌ترتیب آینده خود را غیرممکن می‌کنید.

پارادوکس جنسی. در این پارادوکس، شما پدر خود می‌شوید که از نظر بیولوژیکی پدیده‌ای غیرممکن است. در داستانی که به‌وسیله فیلسوف بریتانیایی، جاناتان هریسون نوشته شده است، قهرمان داستان نه تنها پدر خود می‌شود، بلکه خود را نیز می‌خورد. در داستان کلاسیک رابرت هِینلِین تمام شما زامبی‌ها، قهرمان داستان، هم‌زمان مادر، پدر، دختر و پسر خود است، به عبارتی شجره فامیلی درون خودش است. (حل معمای پارادوکس جنسی واقعاً ظریف و نیازمند آگاهی در مورد سفر در زمان و مکانیک DNA است.)

ایزاک آسیموف در کتاب انتهای ابدیت، نیرویی به نام «پلیس زمان» را به

تصویر می‌کشد که مسئول جلوگیری از وقوع این پارادوکس‌هاست. مجموعه فیلم‌های ترمیناتور، به پارادوکس اطلاعات مربوط می‌شود. دانشمندان ریزتراشه‌ای را مورد مطالعه قرار می‌دهند که روباتی از آینده به اکنون آورده است و توسط آن نسلی از روبات‌ها را می‌سازند که هوشمندند و بر جهان مسلط می‌شوند. به بیان دیگر این اَبرروبات‌ها هرگز به‌وسیله یک مخترع طراحی نشده‌اند بلکه به سادگی از قطعه بجا مانده از یک روبات آینده حاصل آمده‌اند. در فیلم بازگشت به آینده، مایکل جِی فاکس برای جلوگیری از وقوع پارادوکس پدربزرگ مبارزه می‌کند. او در سفر به گذشته، با مادر خود در سن نوجوانی برخورد می‌کند که فوراً عاشق پسرش می‌شود. ولی اگر مادر او، به پیشنهاد پدر آینده فاکس جواب منفی بدهد، وجود فاکس به خطر خواهد افتاد.

درست است که فیلم‌نامه‌نویسان، به‌منظور ساختن فیلم‌های تاثیرگذار هالیوودی، عمداً قوانین فیزیک را زیرپا می‌گذارند، اما در مجامع فیزیکی این پارادوکس‌ها بسیار جدی گرفته می‌شوند. هر گونه راه حلی که برای این پارادوکس‌ها ارائه می‌شود، باید با نظریه کوانتوم و نسبیت سازگار باشد. به‌عنوان مثال برای سازگاری با نسبیت، رودخانه زمان نمی‌تواند مسدود شود. یعنی شما نمی‌توانید بر روی رودخانه زمان سد بزنید. زمان در نسبیت عام، به صورت یک سطح پیوسته و هموار توصیف می‌شود و نمی‌توان آن را پاره کرد. ممکن است توپولوژی خود را تغییر دهد، ولی نمی‌تواند متوقف شود. یعنی، اگر قبل از تولد، پدر و مادر خود را به قتل برسانید، نتیجه آن تنها این نیست که شما از صحنه روزگار ناپدید می‌شوید، بلکه این مسئله قوانین فیزیک را نقض خواهد کرد.

در حال حاضر فیزیکدانان، حول دو راه حل ممکن برای پارادوکس‌های زمان گرد آمده‌اند. نخست، کیهان‌شناس روسی، ایگور نوویکوف، معتقد است که ما مجبوریم به‌گونه‌ای عمل کنیم که هیچ پارادوکسی رخ ندهد. دیدگاه او مکتب قائمیت بالذات[1] نامیده می‌شود. او عقیده دارد اگر رودخانه زمان

1. self-consistency school

به‌آرامی چرخیده و گردابی بسازد، دستی نامرئی، به هر ترتیبی، مداخله کرده و در صورتیکه بخواهیم با سفر به گذشته، منجر به ایجاد یکی از این پارادوکس‌ها شویم، جلوی ما را می‌گیرد. اما از طرفی دیدگاه نوویکوف، تناقضاتی را با مسئله اختیار ایجاد می‌کند. نوویکوف عقیده دارد که قانون ناشناخته‌ای در فیزیک وجود دارد که جلوی هر عملی را که آینده را تغییر دهد، می‌گیرد (مثل کشتن پدر و مادر یا جلوگیری از تولد خود). او نوشته است «ما نمی‌توانیم مسافری را به باغ بهشت بفرستیم، تا حوا را از چیدن سیب منصرف کند.»

این نیروی مرموز که ما را از تغییر گذشته و درنتیجه ایجاد پارادوکس، باز می‌دارد چیست؟ او می‌نویسد: «وجود چنین جبری بر اختیار ما، غیرطبیعی و مرموز است. با این حال، نمی‌توان وجود این دو را به موازات هم منتفی دانست.» او همچنین می‌نویسد: «به‌عنوان مثال، شاید من بخواهم بدون کمک هیچ ابزاری روی سقف راه بروم. قانون گرانش مرا از انجام این‌کار باز می‌دارد؛ اگر سعی کنم، پایین می‌افتم، بنابراین اختیار من محدود می‌شود.»

از طرف دیگر، زمانی که اجسام بی‌جان (بدون هیچ اختیاری) به گذشته منتقل شوند، امکان وقوع پارادوکس‌های زمان باز هم وجود خواهد داشت. فرض کنیم که مسلسل را به سال ۳۳۰ قبل از میلاد، درست قبل از جنگ تاریخی بین اسکندر کبیر و داریوش سوم از ایران، بفرستید و دستور استفاده از آن را هم ضمیمه کنید. در آن صورت به احتمال زیاد تمام تاریخ اروپا بعد از آن زمان تغییر می‌کرد. (و ممکن بود اکنون به‌جای زبان اروپایی، خود را در حال صحبت به زبان فارسی می‌یافتیم.)

در حقیقت، حتی کوچک‌ترین اختلال در گذشته می‌تواند پارادوکس‌های غیرمنتظره‌ای را در زمان حاضر پدید آورد. به‌عنوان مثال، در نظریه آشوب از «اثر پروانه ای» استفاده می‌شود. در اوقات بحرانی شکل‌گیری آب و هوای زمین، حتی لرزش بال‌های یک پروانه اعوجاجاتی را ایجاد می‌کند که می‌تواند تعادل بین نیروها را بر هم بزند و طوفان‌های قدرتمندی ایجاد کند. حتی کوچک‌ترین اجسام بیجانی که به گذشته فرستاده شوند، ناچار گذشته را به

صورت غیرقابل پیش‌بینی تغییر می‌دهند و نتیجه آن، یک پارادوکس زمان است.

روش دوم برای حل پارادوکس زمان این است که رودخانه زمان به‌آرامی دو شاخه شود و به‌این‌ترتیب دو دنیای مجزا را شکل دهد. به بیان دیگر، اگر قرار بود به گذشته سفر کنید و قبل از تولد خود پدر و مادرتان را هدف گلوله قرار دهید، احتمالاً در جهان دیگری، افرادی را که از نظر ژنتیکی درست شبیه پدر و مادر شما هستند خواهید کشت؛ جهانی که در آن شما هرگز متولد نخواهید شد. اما پدر و مادر شما در جهان اصلی آسیبی نخواهند دید

این فرضیه دوم، «نظریه جهان‌های بی‌شمار» نامیده می‌شود؛ این ایده که تمام جهان‌های کوانتومی ممکن، احتمالاً وجود دارند، این امر واگرایی هوکینگ را منتفی می‌کند زیرا در این حالت تابش مثل فضای مایسنر مکرراً وارد کرمچاله نمی‌شود، بلکه فقط تنها یک بار از آن عبور می‌کند. هربار از داخل کرمچاله می‌گذرد، وارد جهان جدیدی می‌شود. و این پارادوکس شاید به عمیق‌ترین پرسش در نظریه کوانتوم منجر شود: چگونه یک گربه می‌تواند در یک زمان، هم مرده و هم زنده باشد؟

برای پاسخ به این سوآل، فیزیکدانان مجبور بوده‌اند به دو راه حل بیندیشند: یا نوعی هوشیاری و خرد کیهانی وجود دارد که ناظر ماست، یا بی‌نهایت جهان کوانتومی وجود دارد.

فصل ۶ جهان‌های کوانتومی موازی

به جرأت می‌توانم بگویم هیچ کس مکانیک کوانتومی را نمی‌فهمد.

ـ ریچارد فاینمَن

هر کس که از شنیدن نظریه کوانتوم حیرت زده نشود، آن را نفهمیده است.

ـ نیلز بور

پیشرانه بیکرانِ عدم احتمال[1]، روش جدید خارق‌العاده‌ای است تا فواصل بی‌کران بین ستاره‌ای را به آسانی تنها در کسر ناچیزی از ثانیه، بدون تمام آن ولگردی‌های کسل کننده در ابرفضا بپیماییم.

ـ داگلاس آدامز

در رمان پرفروش علمی تخیلی راهنمای مسافران مجانی کهکشان نوشته داگلاس آدامز، قهرمان داستان، برحسب تصادف، به مبتکرانه‌ترین روش برای سفر به ستارگان دست می‌یابد. او برای عبور از پهنه فضای بین کهکشانی، به جای استفاده از کرمچاله‌ها، اَبَر پیشرانه‌ها یا دروازه‌های ورود به ابعاد دیگر، به فکر استفاده از اصل عدم قطعیت می‌افتد. اگر به‌گونه‌ای بتوانیم احتمال رویدادهای غیرمحتمل مشخصی را کنترل کنیم، در این صورت هر چیزی،

1. The Infinite Improbability Drive

حتی حرکت با سرعتی بیشتر از سرعت نور یا حتی سفر در زمان امکان‌پذیر خواهد شد. دسترسی به ستاره‌های دوردست، تنها درعرض چند ثانیه، بسیار بعید به‌نظر می‌رسد. اما اگر کسی بتواند احتمالات کوانتومی را به‌دلخواه خود کنترل کند، در این صورت حتی غیرممکن نیز، ممکن خواهد شد.

اساس نظریه کوانتوم بر این ایده بنا شده است که تمام رویدادهای محتمل، هرچقدر عجیب یا احمقانه که باشند، احتمال دارد روزی اتفاق بیفتند. این ایده، به نوبه خود، در قلب نظریه جهان تورمی قرار دارد؛ زمانی که انفجار بزرگ اولیه رخ داد، تغییر حالتی کوانتومی صورت گرفت که در آن ناگهان جهان به‌مقدار بسیار زیادی متورم شد. به‌این‌ترتیب، جهان ما می‌تواند از یک جهش کوانتومی غیرمحتمل بیرون جهیده باشد. آدامز به شوخی می‌گفت: ما فیزیکدان‌ها دریافتیم که اگر به‌گونه‌ای بتوانیم این احتمالات را کنترل کنیم، می‌توانیم شاهکارهایی خلق کنیم که با جادوگری فرقی نداشته باشند. اما در حال حاضر تغییر دادن احتمال رویدادها، بسیار فراتر از فناوری ما است.

من گاهی در دانشگاه، از دانشجویان خود در دوره دکترا، پرسش‌های ساده‌تری می‌پرسم. مثلاً اینکه چقدر احتمال دارد ناگهان محو شده و سپس دوباره در طرف دیگر دیوار ظاهر شوند. بر اساس نظریه کوانتوم، احتمال کوچک ولی در عین حال قابل محاسبه‌ای وجود دارد که این اتفاق بیفتد. یا مثلاً احتمال اینکه ما در اتاق خود از هم پاشیده و بر روی مریخ دوباره سرهم شویم. بر اساس نظریه کوانتوم، این امکان وجود دارد که انسان ناگهان بر روی مریخ ظاهر شود. البته این احتمال چنان کوچک است که برای رخ دادن آن باید زمانی بیشتر از حتی عمر جهان صبر کنیم. در نتیجه در زندگی روزمره ما می‌توان چنین رویدادهای غیرمحتملی را نادیده گرفت. درحالی‌که در سطوح زیراتمی، چنین احتمالاتی برای عملکرد دستگاه‌های الکترونیکی، رایانه‌ها و لیزرها بسیار تعیین‌کننده و حیاتی محسوب می‌شوند.

در حقیقت درون اجزاء رایانه شما الکترون‌ها به‌طور مرتب، شکل مادی خود را از دست داده و مجدداً در طرف دیگر دیوارها ظاهر می‌شوند. باید

اذعان کرد که اگر امکان این وجود نداشت که یک الکترون در هر لحظه در دو مکان حضور داشته باشد، تمدن‌های مدرن کنونی از هم پاشیده می‌شدند. (مولکولهای بدن ما نیز بدون این اصل عجیب از هم فرو می‌پاشند. دو منظومه را در نظر بگیرید که در فضا با هم برخورد می‌کنند و هر دو از قوانین گرانش نیوتون پیروی می‌کنند. این دو منظومه در برخورد با یکدیگر به ترکیب آشفته‌ای از سیارات و خرده سیارک‌ها تبدیل می‌شوند. به‌طور مشابه، اگر اتم‌ها از قوانین نیوتون تبعیت کنند، هر بار که با یکدیگر برخورد می‌کنند متلاشی و از هم پاشیده خواهند شد. چیزی که دو اتم را در یک مولکول پایدار به یکدیگر قفل می‌کند، به این دلیل است که الکترون‌ها می‌توانند به‌طور هم‌زمان در مکان‌های متعددی حضور داشته باشند. به‌این‌ترتیب که با تشکیل ابر الکترونی، باعث مقید شدن اتم‌ها به یکدیگر می‌شوند. بنابراین دلیل اینکه چرا مولکول‌ها پایدارند و جهان از هم نمی‌پاشد، این است که الکترون‌ها در یک زمان می‌توانند در مکان‌های متعددی حضور داشته باشند.)

اما اگر الکترون‌ها بتوانند در حالات موازی، بین بودن و نبودن شناور باشند، چرا جهان نتواند اینگونه باشد؟ مگر نه اینکه جهان در مرحله‌ای از عمر خود حتی کوچک‌تر از یک الکترون بوده است. هربار که احتمال اعمال اصل کوانتوم را به جهان مطرح می‌کنیم، ناچاریم موضوع جهان‌های موازی را بررسی کنیم.

این دقیقاً همان احتمالی است که در داستان علمی تخیلی مرد ساکن قلعه بلند، نوشته فیلیپ کی دیک، مطرح می‌شود. در این کتاب، جهان دیگری وجود دارد که به‌دلیل رخ دادن رویدادی تعیین‌کننده، از جهان ما جدا شده است. هنگامی که در آن جهان، به سال ۱۹۳۳، پرزیدنت روزولت در سال اول ریاست جمهوریش با گلوله یک تروریست در دفتر کارش کشته می‌شود، تاریخ جهان تغییر می‌کند. گارنر، معاون رئیس جمهور، قدرت را در دست می‌گیرد و با اعمال سیاست‌های انزواطلبانه، در نهایت باعث تضعیف ارتش ایالات متحده می‌شود. به‌دلیل عدم آمادگی تسلیحاتی در حمله پِرل هاربر و

ناتوانی در جبران خسارات وارده به ناوگان دریایی ایالات متحده، این کشور در سال ۱۹۴۷ مجبور به تسلیم در مقابل آلمان و ژاپن می‌شود. در نهایت کشور ایالات متحده به سه بخش تقسیم می‌گردد. به‌این‌ترتیب که رایش آلمان، ساحل شرقی و ژاپنی‌ها ساحل غربی را به تصرف در می‌آورند وفقط رشته کوه‌های راکی، بخش میانی صعب‌العبور، در وسط باقی می‌ماند. در این جهان موازی، فرد اسرارآمیزی براساس آیه‌ای از انجیل که مورد غضب نازی‌ها است، اقدام به نوشتن کتابی می‌نماید با نام خواب سنگین گِراس هاپِر. این کتاب در مورد جهان دیگری صحبت می‌کند که در آن روزولت ترور نشده و آمریکا و بریتانیا نازی‌ها را مغلوب می‌کنند. ماموریت قهرمان زن داستان این است که ببیند آیا جهان دیگری وجود دارد که در آن به‌جای استبداد و تبعیض نژادی، دموکراسی و آزادی مستولی گشته باشد.

کمربند شفق

دنیای کتاب مرد ساکن قلعه بلند و دنیای ما، تنها از طریق یک حادثه بسیار کوچک، یعنی گلوله یک تروریست، از هم جدا شده‌اند. به‌این‌ترتیب ممکن است جهان موازی دیگری، تنها به‌دلیل کوچک‌ترین رویداد ممکن ــ مثلاً رویداد کوانتومی برخورد یک پرتو کیهانی با یک ذره ــ از ما جدا شده باشد.

در قسمتی از سریال تلویزیونی کمربند شفق، مردی از خواب بیدار شده و متوجه می‌شود که همسرش او را نمی‌شناسد. همسر او فریاد می‌کشد و از او می‌خواهد قبل از اینکه به پلیس اطلاع دهد آنجا را ترک کند. پس از پرسه زدن در اطراف شهر، در می‌یابد که حتی دوستان صمیمی‌اش نیز او را نمی‌شناسند؛ به‌طوری‌که انگار هیچ وقت وجود نداشته است. در آخر به دیدن خانه پدری خود می‌رود. پدر و مادر او ادعا می‌کنند که هرگز قبلاً او را ندیده و هرگز پسری نداشته‌اند. او، بدون وجود دوستان، خانواده و خانه، بی‌هدف در شهر پرسه می‌زند تا در نهایت بر روی نیمکت پارک، مثل مردی بی‌خانمان، به خواب می‌رود. صبح روز بعد وقتی از خواب بیدار می‌شود، خود را در کمال آرامش در رختخواب کنار همسرش می‌بیند. در کمال تعجب

وقتی همسرش بلند می‌شود، مرد غافلگیر شده و در می‌یابد که او اصلاً همسرش نیست، بلکه زن غریبه‌ای است که هرگز قبلاً او را ندیده است.

آیا چنین داستان‌های عجیبی امکان دارند؟ شاید. اگر بازیگر نقش اول سریال کمربند شفق، چند سوآل کلیدی از مادرش می‌پرسید، شاید در می‌یافت که او یک سقط جنین داشته و هرگز فرزندی به دنیا نیاورده است. گاهی اوقات یک تک پرتو کیهانی، یا یک تک ذره از فضا، به DNA درون یک جنین عمیقاً ضربه زده و تحولی را سبب می‌شود که در نهایت منجر به سقط جنین می‌گردد. در چنین حالتی یک رویداد کوانتومی می‌تواند دو جهان را از یکدیگر جدا سازد؛ در یکی از این جهان‌ها شما به صورت یک شهروند معمولی زندگی می‌کنید، درحالی که در جهان دیگر همه چیز دقیقاً شبیه جهان اول است، بجز اینکه در این جهان شما هرگز متولد نشده‌اید.

جابجایی بین این جهان‌ها مطابق قوانین فیزیک رخ می‌دهد. ولی این جابجایی به شدت غیر محتمل است، یعنی احتمال رخ دادن آن عدد بسیار کوچکی است. همانگونه که می‌بینید، نظریه کوانتوم تصویری از جهان به ما می‌دهد که بسیار عجیب‌تر از آن چیزی است که اینشتین ارائه کرده است. در نسبیت، صحنه‌ای که بر روی آن به ایفای نقش می‌پردازیم، شاید از لاستیک درست شده باشد؛ به‌گونه‌ای که بازیگران در مسیرهای منحنی در طول صحنه حرکت می‌کنند، ولی به هر حال درست مشابه دنیای نیوتون، در دنیای اینشتین نیز بازیگران خطوطی از نمایشنامه را که قبلاً نوشته شده است، طوطی‌وار می‌خوانند. اما در یک نمایش کوانتومی، ناگهان بازیگران متن را به کنار انداخته و از خود شروع به خواندن می‌کنند. عروسک‌های خیمه شب بازی نخ‌های خود را پاره می‌کنند. به‌این‌ترتیب «اختیار» شکل می‌گیرد. بازیگران ممکن است از صفحه ناپدید شده و دوباره ظاهر شوند. حتی عجیب‌تر از این؛ ممکن است در یک زمان، در دو جا، حاضر باشند. بازیگران هنگام خواندن متن‌های خود، مطمئن نیستند کسی که با او صحبت می‌کنند ناگهان غیب نشده و در جای دیگری ظاهر نشود.

ذهن اعجوبه: جان ویلر

شاید به غیر از اینشتین و بور، هیچ کس بیشتر از جان ویلر با فراز و نشیب‌های نظریه کوانتوم دست به گریبان نشده است. آیا تمام حقیقت فیزیکی، تنها یک خیال باطل است؟ آیا جهان‌های موازی کوانتومی وجود دارند؟ درگذشته، ویلر قبل از اینکه ذهن خود را مشغول پارادوکس‌های پیچیده کوانتومی کند، از احتمالات کوانتومی در ساخت بمب هیدروژنی و اتمی استفاده کرد و در مطالعه سیاهچاله‌ها قدم پیش نهاد. آن‌طور که شاگرد او، رابرت فاینمَن گفته است، جان ویلر آخرین غول یا به عبارتی ذهن اعجوبه‌ای بود که با نتایج احمقانه نظریه کوانتوم دست به گریبان شد.

ویلر کسی بود که در سال ۱۹۶۷ در کنفرانسی در انستیتوی مطالعات فضایی گودارد ناسا در شهر نیویورک، پس از کشف اولین تپ اخترها، نام سیاهچاله را پیشنهاد کرد.

ویلر در سال ۱۹۱۱، در جکسون فیلد فلوریدا متولد شد. با اینکه پدر او یک کتابدار بود، ولی مهندسی در خون خانواده‌اش بود. سه تا از عموهای او مهندس معدن بودند و اغلب در کار خود از مواد منفجره استفاده می‌کردند. ایده استفاده از دینامیت او را شیفته کرده بود. او عاشق تماشای صحنه انفجار بود. (یک روز بدون رعایت موارد ایمنی، در حال آزمایش بر روی تکه‌ای دینامیت بود که ناگهان دینامیت در دستانش منفجر شد و در نتیجه بخشی از انگشت شست و نوک یک انگشت دیگرش را از دست داد. جالب است. اینشتین در زمان دانشجویی، انفجار مشابهی به‌دلیل بی‌دقتی در دستانش رِ- داد که چندین بخیه خورد.)

ویلر کودک باهوشی بود. او در حساب و دیفرانسیل استاد بود و هر کتابی را در مورد مکانیک کوانتومی، نظریه جدیدی که از اطراف در مورد آن چیزهایی شنیده بود، به سرعت می‌بلعید. در آن زمان در اروپا، این نظریه جدید به‌وسیله نیلز بور، وِرنِر هایزِنبِرگ و اِروین شِرودینگر در حال شکل‌گیری بود؛ نظریه‌ای که ناگهان اسرار اتم را فاش کرد. تنها چندین سال قبل از آن، پیروان فیلسوفی به نام اِرنست ماخ، با بیان این مطلب که اتم‌ها هرگز

در آزمایشگاه مشاهده نشده‌اند و احتمالاً تخیلی هستند، وجود اتم‌ها را به سخره گرفته بودند. آن‌ها ادعا می‌کردند هر چیزی را که نتوان دید، احتمالاً وجود ندارد. فیزیکدان بزرگ آلمانی، لودویگ بولتسمان، کسی که قوانین ترمودینامیک را بیان کرد، در سال ۱۹۰۶ بیشتر به این دلیل که پس از طرح و توسعه مفهوم اتم با تمسخر مواجه شده بود، اقدام به خودکشی کرد.

سرانجام، بین سال‌های ۱۹۲۵ تا ۱۹۲۷، اسرار اتم‌ها سر از تاریکی بر آوردند. هرگز در تاریخ مدرن (بجز کار اینشتین در سال) ۱۹۰۵ کشفی با چنین ابعادی، در مدت زمانی چنین کوتاه مطرح نشده بود. ویلر تمایل داشت که سهمی در این انقلاب داشته باشد. اما او می‌دانست که ایالات متحده از علم روز فیزیک عقب است؛ حتی یک فیزیکدان در سطح جهانی بین دانشمندان آمریکایی وجود نداشت. بنابراین، مثل جی روبرت اوپنهایمر، ویلر نیز ایالات متحده را ترک و برای تحصیل در محضر نیلز بور به کپنهاگ سفر کرد.

آزمایش‌های قبلی بر روی الکترون‌ها نشان می‌دادند که آن‌ها هم رفتار ذره‌ای دارند هم رفتار موجی. سرانجام فیزیکدانان کوانتومی پرده از راز این دوگانی عجیب بین ذره و موج برداشتند. الکترون در رقص به دور اتم، به صورت یک ذره است، درحالی‌که یک موج عجیب آن را همراهی می‌کند. در سال ۱۹۲۵، فیزیکدان اتریشی اِروین شِرودینگر، معادله‌ای را مطرح کرد ــ معادله موج شرودینگر ــ که به دقت حرکت موج الکترون را توضیح می‌داد. این موج، که با حرف یونانی psi نمایش داده می‌شود، پیشگویی‌های دقیقی برای رفتار اتم‌ها ارائه می‌دهد. این معادله انقلابی را در فیزیک به پا کرد. ناگهان، تقریباً تنها با استفاده از اصول ابتدایی، کاوش درون اتم امکان‌پذیر گردید. جستجویی آغاز شد تا دریابیم که الکترون‌ها به چه ترتیب در مدارهای خود حرکت می‌کنند، چطور جابجا می‌شوند و چگونه اتم‌ها را در مولکول‌ها پایبند می‌کنند.

آن‌طور که فیزیکدان کوانتومی پُل دیراک گفته است، علم فیزیک به‌زودی باعث خواهد شد که علم شیمی تماماً به مهندسی محض تقلیل یابد. او بیان می‌دارد: «بنابراین قوانین فیزیکی پایه مورد نیاز برای صورتبندی ریاضی

بخش بزرگتری از علم فیزیک و همین‌طور کل علم شیمی، کاملاً شناخته شده هستند و مشکل تنها این است که به‌کار گرفتن این قوانین منجر به شکل‌گیری معادلاتی می‌شود که حل آن‌ها بسیار پیچیده است.» با اینکه تابع psi بسیار توجه برانگیز بود، اما اینکه واقعاً بیانگر چه بود، هنوز در پرده ابهام قرار داشت.

بالاخره در سال ۱۹۲۸، فیزیکدانی به نام مَکس بورن این ایده را مطرح کرد، که تابع موج نشان‌دهنده احتمال وجود الکترون در هر نقطه دلخواه است. به بیان دیگر هرگز نمی‌توان با اطمینان جای دقیق الکترون را دانست؛ تنها می‌توان تابع موج آن را محاسبه کرد، که بیانگر احتمال وجود الکترون در آن نقطه است. بنابراین اگر فیزیک اتمی را بتوان به امواجی از احتمال وجود یک الکترون تقلیل داد، و اگر الکترون بتواند در یک زمان در دو جا حضور داشته باشد، بالاخره چگونه می‌توان تعیین کرد که الکترون واقعاً کجا قرار دارد؟

در نهایت بور و هایزنبرگ، به‌همراه هم مجموعه کاملی از دستورالعمل‌ها را در یک کتاب راهنمای کوانتوم فرمول بندی کردند، که در آزمایش‌های اتمی، با دقتی عالی نتیجه دادند. تابع موج، تنها احتمال این را بیان می‌کند که الکترون اینجا یا آنجا قرار داشته است. اگرمقدار تابع موج در نقطه مشخصی بزرگ باشد، به این معنی است که احتمال زیادی وجود دارد که الکترون در آن نقطه باشد. (اگر این مقدار کوچک باشد، بنابراین احتمال کمی وجود دارد که بتوان الکترون را در آن نقطه یافت.) به‌عنوان مثال، اگر می‌توانستیم تابع موج یک انسان را «ببینیم»، به‌طور قابل ملاحظه‌ای شبیه خود فرد می‌بود. با این همه، تابع موج به‌آرامی به‌درون فضا نیز گسترش می‌یابد؛ به این معنی که احتمال کوچکی نیز وجود دارد که این فرد بر روی ماه یافت شود. (در حقیقت تابع موج یک شخص در سراسر جهان گسترش می‌یابد.)

به این معنی که تابع موج یک درخت می‌تواند احتمال اینکه درخت ایستاده یا در حال افتادن باشد را تعیین کند، ولی مطمئناً نمی‌تواند بگوید که واقعاً درخت در چه حالتی قرار دارد. اما ما همه می‌دانیم که اجسام در حالات معین و قطعی هستند. زمانی که به درختی می‌نگرید، درخت قطعاً در مقابل شما قرار دارد، ایستاده یا افتاده؛ نمی‌تواند در هر دو حالت باشد.

برای از بین بردن این ناهمخوانی بین امواج احتمال و مفهوم شناخته شده وجود، بور و هایزنبرگ بیان داشتند، پس از اینکه یک ناظر بیرونی اندازه‌گیری انجام می‌دهد، تابع موج به نحو جادویی فرو می‌پاشد و الکترون به حالت معینی می‌رود؛ یعنی پس از نگاه کردن به یک درخت می‌بینیم که واقعاً ایستاده است. به بیان دیگر، فرایند مشاهده، حالت نهایی یک الکترون را تعیین می‌کند. مشاهده، نقشی حیاتی در وجود ایفا می‌کند. پس از نگریستن به الکترون، تابع موج آن از هم می‌پاشد. بنابراین الکترون هم‌اکنون در حالت معینی قرار داشته و دیگر نیازی به تابع موج نخواهد بود.

اصول اساسی مکتب کپنهاگ بور را می‌توان به‌طور کلی به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. انرژی به صورت بسته‌هایی مجزا است که کوانتوم نامیده می‌شوند. (به‌عنوان مثال، کوانتوم نور، فوتون است. کوانتوم نیروی ضعیف، بوزون‌های W و Z نامیده می‌شوند. کوانتوم نیروی قوی گلئون و کوانتوم نیروی گرانش گراویتون نامیده می‌شوند.)

۲. ماده به صورت ذرات نقطه‌ای مشاهده می‌شود، درحالی‌که احتمال یافتن این ذرات به صورت یک موج بیان می‌گردد. این موج به نوبه خود از یک معادله موج مشخص پیروی می‌کند. (مثل معادله موج شرودینگر)

۳. قبل از اینکه مشاهده‌ای صورت پذیرد، یک جسم در تمام حالات محتمل خود، به‌طور هم‌زمان وجود دارد. برای تعیین اینکه جسم در کدام حالت قرار دارد، باید مشاهده‌ای صورت پذیرد که منجر به از بین رفتن تابع موج شده و جسم به حالت معینی می‌رود. عمل مشاهده، تابع موج را از بین برده و پس از آن جسم موجودیت معینی خواهد داشت. آنچه تابع موج برای ما فراهم آورده است، احتمال دقیق یافتن جسم در آن حالت مشخص است.

جبر یا اختیار؟

نظریه کوانتوم، موفق‌ترین نظریه فیزیکی همه دوران‌ها است. بهترین

صورتبندی نظریه کوانتوم ــ مدل استاندارد ــ ثمره ده‌ها سال آزمایش به کمک شتاب دهنده‌های ذرات است. بخش‌هایی از این نظریه با دقت یک در ده میلیارد مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. اگر مدل استاندارد، جرم نوترینو را نیز شامل شود، آنگاه این نظریه، بدون استثنا با تمام آزمایش‌های انجام گرفته بر روی ذرات زیراتمی سازگار خواهد بود.

اما بدون توجه به اینکه نظریه کوانتوم تا چه حد موفق بوده است، اصول اساسی تجربی آن، مناقشات فلسفی و الهی وسیعی را در طول هشتاد سال گذشته ایجاد کرده است. به ویژه اصل اساسی دوم، خشم مذاهب را برانگیخت، زیرا در مورد اینکه چه کسی تقدیر ما را رقم خواهد زد، پرسش می‌کند. در طول سال‌ها، فیلسوف‌ها، متخصصین الهیات و دانشمندان، شیفته آن بوده‌اند که آیا آینده و سرنوشت ما قابل پیش‌بینی است؟ در نمایشنامه مکبث اثر شکسپیر، بانکو، ناامید از تحمل نقابی که بر سرنوشت ما سایه افکنده است، این کلمات به یاد ماندنی را ادا می‌کند:

اگر به بذرهای زمان بنگری،
و بیاندیشی که کدام دانه رشد خواهد کرد و کدام نه،
آنگاه می‌توانی با من صحبت کنی...
(پرده اول، صحنه سوم)

شکسپیر این کلمات را در سال ۱۶۰۶ نوشته است. هشتاد سال بعد، انگلیسی دیگری به نام ایزاک نیوتون این جسارت را داشت تا ادعا کند که پاسخ به این پرسش قدیمی را می‌داند. اینشتین و نیوتون هردو به مفهومی به نام جبر معتقد بودند، که بیان می‌دارد تمام رویدادهای آینده را می‌توان تعیین کرد. از نظر نیوتون، جهان ساعت غول‌پیکری است که در ابتدای زمان به‌وسیله خدا کوک شده است. از آن زمان به بعد، به روشی که دقیقاً قابل پیش‌بینی است پیش می‌رود و از سه قانون حرکت نیوتون تبعیت می‌کند. ریاضیدان فرانسوی، پیر سیمون دو لاپلاس، که مشاور علمی ناپلئون نیز بوده است، بیان کرد که با استفاده از قوانین نیوتون، آینده را می‌توان با همان دقتی که گذشته را می‌دانیم، پیش‌گویی کرد. او نوشت اگر موجودی، موقعیت و

سرعت تمام ذرات جهان را بداند، «برای چنین خرد هوشمندی، هیچ چیز نا معلوم نبوده و آینده، درست مثل گذشته، در مقابل چشمانش حاضر خواهد بود.» زمانی که لاپلاس نسخه‌ای از شاهکار خود، یعنی مکانیک سماوی، را به ناپلئون ارائه کرد، امپراطور چنین گفت: «تو این کار بزرگ را انجام داده‌ای، بدون اینکه نامی از خدا ببری.» لاپلاس جواب داد: «سرورم، من به چنین فرضی نیاز نداشتم.»

از نظر نیوتون و اینشتین، مفهوم اختیار به این معنی که ما سلطان سرنوشت خود هستیم، خیالی باطل بود. اینشتین این درک عام از نسبیت را، به این معنی که اجسام محسوسی که ما لمس می‌کنیم حقیقت دارند و در حالات معینی وجود دارند، «واقعیت عینی» نامید. او آشکارا موقعیت خود را به این صورت بیان کرده است:

> من جبرگرایی هستم که وادار شدم به گونه‌ای رفتار کنم که انگار اختیار وجود دارد، زیرا اگر می‌خواهم در جامعه‌ای متمدن زندگی کنم باید رفتاری مسئولانه داشته باشم. می دانم که از نظر فلسفی یک قاتل مسئول جرائم خود نیست، اما ترجیح می‌دهم با او چای ننوشم. فعالیت‌های من به‌وسیله نیروهای مختلفی که هیچ کنترلی بر روی آن‌ها ندارم تعیین شده است؛ پیش از همه توسط قیود اسرارآمیزی که طبیعت با آن‌ها ضرورت زندگی را تدارک دیده است. هنری فورد ممکن است آن را ندای درون بنامد، سقراط آن را اهریمن خطاب کند؛ هرکس با روش خود این حقیقت را بیان می‌کند که انسان آزاد نیست... همه چیز از قبل تعیین شده است... از طریق نیروهایی که بر آن‌ها هیچ کنترلی نداریم... برای هر حشره، برای هر ستاره. انسان‌ها، سبزیجات یا گرد و غبار کیهانی، همه تا زمانی نامعلوم با نوای نوازنده‌ای ناپیدا که از دور می‌خواند، خواهند رقصید.

متخصصین الهیات نیز با این مسئله دست به گریبانند. اغلب مذاهب جهان به نوعی فلسفه جبری معتقدند؛ این ایده که خداوند، نه فقط قادر مطلق و حاضر در همه جاست، بلکه به همه امور نیز واقف هست (همه چیز، حتی آینده را می‌داند). در برخی مذاهب، خداوند حتی قبل از تولد ما، می‌داند که کدامیک به بهشت یا جهنم خواهیم رفت. در اصل، تقدیر نوشته شده‌ای

وجود دارد که جایی در آسمان قرار داشته و تمام اسامی ما در آن فهرست شده‌اند؛ اطلاعاتی شامل تاریخ تولد، شکست‌ها و پیروزی‌ها، شادی‌ها و غم‌ها و حتی تاریخ مرگ و اینکه آیا ما در بهشت یا جهنم ابدی خواهیم زیست، در آن منظور شده است.

(این سوآل مهم مربوط به مسئله جبر در علوم الهی، در سال ۱۵۱۷ تا اندازه‌ای به تجزیه کلیسای کاتولیک کمک کرد، زمانی که مارتین لوتر در ویتنبرگ نود و پنج ایده به دستورالعمل‌های کلیسا افزود. او عملکرد کلیسا را مورد حمله قرار داد. کلیسا در آن زمان اقدام به گرفتن رشوه‌هایی می‌نمود که راه را برای رفتن ثروتمندان به بهشت هموار می‌کرد. شاید لوتر با خود می‌اندیشید که خداوند آینده ما را می‌داند و تقدیر ما از پیش تعیین شده است، ولی نمی‌توان خدا را ترغیب کرد که نظر خود را، با بخشش‌های سخاوتمندانه ما به کلیسا، تغییر دهد.)

اما از نظر فیزیکدانانی که مفهوم احتمال را پذیرفته‌اند، جدال انگیزترین اصل اساسی تا به امروز سومین اصل است، که نسل‌های متعددی از فیزیکدانان و فیلسوفان را دچار سردرگمی کرده است. مشاهده، مفهومی است بی‌قاعده با تعریفی نامشخص. به‌علاوه بر این حقیقت تکیه دارد که در اصل دو نوع فیزیک وجود دارد: یکی برای دنیای عجیب زیراتمی، جایی‌که از قرار معلوم الکترون‌ها می‌توانند در یک زمان در دو جا حضور داشته باشند و دیگری برای دنیای ماکروسکوپی که در آن زندگی می‌کنیم، که به‌نظر می‌رسد از قوانین معقول نیوتون تبعیت می‌کند.

بور عقیده دارد که یک دیوار نامرئی، دنیای اتمی را از دنیای آشنا و روزمره ماکروسکوپی ما جدا می‌کند. دنیای اتمی از قوانین خارق‌العاده نظریه کوانتوم تبعیت می‌کند، اما ما بیرون از این دیوار زندگی می‌کنیم، در دنیایی از سیارات و ستارگان که معادلات موج در آن‌ها از هم پاشیده شده‌اند.

ویلر، که مکانیک کوانتومی را در محضر کاشفین آن فراگرفته بود، قصد داشت دو مکتب فکری پاسخگو به این سوآل را، در هم یکی کند. او مثالی می‌آورد که در آن سه داور در بازی بیس بال در مورد بهترین امتیازات بحث

می‌کنند. در تصمیم گیری، سه داور می‌گویند:

شماره ۱: من همان‌طور که آن‌ها را می‌بینم، می‌نامم.

شماره ۲: من آن‌ها را همانگونه که هستند، می‌نامم.

شماره ۳: تا زمانی که آن‌ها را ننامم، وجود ندارند.

از نظر ویلر، داور دوم اینشتین است، که باور داشت، خارج از تجارب انسانی، حقیقت مطلقی وجود دارد. اینشتین آن را واقعیت عینی نامید؛ این ایده که اجسام می‌توانند، بدون دخالت انسان‌ها، در حالات مشخص و معلومی وجود داشته باشند. سومین داور بور است؛ کسی که عقیده داشت ماهیت وجود، تنها پس از رخ دادن یک مشاهده به‌وجود می‌آید.

درختان جنگل

فیزیکدانان گاهی، با نقل قول از رومن سیسرو، فیلسوفان را مشخصاً مورد اهانت قرار می‌دهند. او یکبار گفته است: «حرف‌های خیلی بی‌معنی، که فیلسوفان آن‌ها را نگفته باشند، وجود ندارد.» ریاضیدانی با نام اِستَنیسلاو اولام، کسی که با اعطای اسامی رفیع به مفاهیم احمقانه مخالف بود، گفته است، «جنون عبارت است از قابلیت ایجاد تمایز بین انواع مختلف مهملات.» خود اینشتین نیز در مورد فلسفه اینگونه نوشته است «آیا فلسفه اینگونه نیست که انگار تماماً بر روی عسل نوشته شده باشد؟ زمانی که به آن می‌اندیشید شگفت‌آور است، اما اگر بخواهید دوباره به آن بنگرید تماماً رفته و ناپدید شده و تنها خمیری نرم باقی مانده است.»

فیزیکدانان، داستانی ساختگی را نقل می‌کنند، که در آن یک رئیس دانشگاه، پس از مشاهده بودجه اختصاص یافته به دپارتمان‌های فیزیک، ریاضی و فلسفه، گفته است: «چرا اینگونه است که شما فیزیکدان‌ها همیشه به چنین تجهیزات گران قیمتی نیاز دارید؟ درحالی‌که دپارتمان ریاضی چیزی جز کاغذ و قلم و سطل زباله نیاز ندارد و دپارتمان فلسفه از این هم بهتر است؛ حتی به سطل زباله هم نیاز ندارد.»

با این حال هنوز خنده آخر از آن فیلسوفان است. نظریه کوانتوم ناکامل

است و بر پایه‌های لرزان فلسفی تکیه دارد. این مباحث کوانتومی ما را وادار می‌کنند که کار فیلسوفانی مثل بیشاپ بِرکلی را مجدداً مورد بازبینی قرار دهیم؛ کسی که در قرن هجدهم ادعا کرد که اجسام وجود دارند، تنها به این دلیل که انسان‌هایی هستند تا آن‌ها را مشاهده کنند؛ فلسفه‌ای به نام نفس گرایی یا ایده‌آلیسم. اگر درختی در جنگل فرو افتد و کسی نباشد که آن را ببیند، در این صورت بر طبق ادعای آن‌ها درخت واقعاً نیفتاده است.

حال تفسیر کوانتومی افتادن درختان را مطرح می‌کنیم. قبل از اینکه مشاهده‌ای صورت پذیرد، نمی‌دانیم که آیا درخت افتاده است یا نه. در حقیقت در این حالت درخت در تمام حالات محتمل به‌طور هم‌زمان وجود دارد: ممکن است سوخته، افتاده، هیزم یا خاک شده باشد. وقتی مشاهده صورت گیرد، آنگاه درخت ناگهان به حالت مشخص و معلومی جهش می‌کند و مثلاً می‌بینیم که افتاده است.

فاینمن، با مقایسه مشکل فلسفی نسبیت و نظریه کوانتوم، گفته است، «زمانی بود که روزنامه‌ها نوشتند، تنها دوازده نفر نظریه نسبیت را فهمیده‌اند. معتقد نیستم هیچوقت اینطور بوده باشد... از طرف دیگر به جرات می‌توانم بگویم که هیچ‌کس مکانیک کوانتومی را هرگز نفهمیده است.» او می‌نویسد که مکانیک کوانتومی «طبیعت را به‌گونه‌ای توصیف می‌کند که از دید عامه بی‌معنی است، ولی در عین حال به شدت با آزمایش‌ها مطابقت دارد. بنابراین امیدوارم بتوانید طبیعت را همین‌طور بی‌معنی بپذیرید.» این مسئله احساس ناخوشایندی را در بین فیزیکدانان تجربی ایجاد کرده است. استیون واینبِرگ می‌نویسد، «اقرار می‌کنم که در مراحل مختلف زندگی، حین کار در یک چهارچوب نظری، دچار ناراحتی‌هایی شده‌ام که هیچ کس به‌طور کامل آن‌ها را درک نمی‌کند.»

در علم سنتی، یک مشاهده گر بدون غرض، سعی دارد تا آنجا که ممکن است از دنیا منفصل و جدا باقی بماند. (لطیفی می‌گوید، «در یک باشگاه ورزشی همواره می‌توان یک دانشمند را از دیگران تشخیص داد، زیرا او تنها کسی است که به تماشاچیان توجه دارد.») اما برای اولین‌بار می‌بینیم که

جداکردن مشاهده گر از آنچه مشاهده می‌کند، غیرممکن است. آن‌طور که ماکس پلانک گفته است، «علم نخواهد توانست پرده از راز نهایی طبیعت بگشاید، زیرا در آخرین تحلیل، خود ما نیز بخشی از معمایی خواهیم بود که سعی در حل کردن آن داریم.»

معمای گربه

تصور اِروین شرودینگر، کسی که برای اولین‌بار معادله موج را مطرح کرد، این بود که ایده از مسیر اصلی خود منحرف شده است. او بعدها برای بور اعتراف کرد که اگر مطرح کردن تابع موج، باعث القاء مفهوم احتمال به فیزیک شده، از مطرح کردن آن احساس پشیمانی می‌کند.

برای از بین بردن مفهوم احتمال، او آزمایشی را ترتیب داد. گربه‌ای را در نظر بگیرید که در جعبه‌ای محصور شده است. درون جعبه یک بطری وجود دارد که مملو از گازی سمی است. این بطری به یک چکش متصل است، که آن هم به نوبه خود به یک شمارشگر گایگِر که در مجاورت قطعه‌ای اورانیم قرار دارد، وصل شده است. هیچ کس مخالف این مسئله نیست که واپاشی پرتوزای اتم اورانیم کاملاً یک رویداد کوانتومی است که نمی‌توان آن را از قبل پیش‌بینی کرد. بیایید در نظر بگیریم که ۵۰ درصد این شانس وجود دارد که یک اتم اورانیم طی یک ثانیه بعد واپاشی کند. درصورت واپاشی اتم اورانیم، شمارنده گایگر به‌کار می‌افتد که آن هم به نوبه خود چکش را رها کرده و منجر به شکستن شیشه و در نهایت مرگ گربه می‌شود. قبل از اینکه در جعبه را باز کنید، گفتن اینکه گربه مرده است یا زنده غیرممکن است. در حقیقت به منظور توصیف وضعیت گربه، فیزیکدانان توابع موج گربه زنده و مرده را با هم جمع می‌کنند ــ به این معنی که گربه را در جهانی قرار دادیم که به‌طور هم‌زمان در آن ۵۰ درصد مرده و ۵۰ درصد زنده است.

حال در جعبه را باز می‌کنیم. با نگریستن به داخل جعبه، مشاهده‌ای صورت گرفته، و در نتیجه تابع موج از بین می‌رود و ما خواهیم دید که گربه [در کمال تعجب] زنده است. از نظر شرودینگر این وضعیت احمقانه به‌نظر

می‌رسید. چگونه یک گربه می‌تواند هم‌زمان مرده و زنده باشد، تنها به‌دلیل اینکه به او نگاه نکرده‌ایم. آیا واقعاً به محض اینکه آن را مشاهده می‌کنیم، موجودیت می‌یابد؟ اینشتین نیز از این تفسیر احساس رضایت نمی‌کرد. هربار که مهمانی به خانه او می‌آمد، می‌گفت: به ماه نگاه کنید. آیا ماه وقتی یک موش به آن نگاه می‌کند، ناگهان به‌وجود می‌آید؟ اینشتین عقیده داشت که پاسخ این سوآل نه بود. اما از برخی جهات پاسخ می‌توانست بله باشد.

بالاخره در سال ۱۹۳۰، در برخوردی تاریخی بین اینشتین و بور، در کنفرانس سولوی، نتیجه نهایی حاصل شد. ویلر بعدها گفته است، از نظر او این بزرگ‌ترین مواجهه در تاریخ اندیشه‌ها بوده است. در مدت ۳۰ سال، او هرگز ناظر مناظره‌ای به این مهمی بین دو چهره سرشناس، در مورد مطلبی چنین مهم و با نتایجی چنان عمیق برای درک جهان نبوده است.

اینشتین، فردی همواره جسور و فوق‌العاده سخنور، مجموعه سوآلاتی از «آزمایش‌های ذهنی» را برای تخریب نظریه کوانتوم مطرح کرد. بور هم که پیوسته زیرلب مِن و مِن می‌کرد، پی در پی مورد حملات اینشتین واقع می‌شد. فیزیکدانی به نام پُل اِرنفست، مشاهده خود را اینگونه بیان می‌کند، «برای من بسیار هیجان انگیز بود که در مباحثه بین بور و اینشتین حضور داشته باشم. اینشتین، مثل یک شطرنج باز ماهر، مثال‌های بسیار جدیدی را مطرح می‌کرد. بور همواره، خارج از ابهامات فیلسوفانه، به‌دنبال ابزاری‌بود تا مثال‌ها را یکی پس از دیگری نقض کند. اما اینشتین درست مثل عروسک جهنده از درون جعبه، هر روز صبح، تازه و پر انرژی، بیرون می‌جهید. واقعاً لذت بخش بود. اما من تقریباً آشکارا موافق بور و مخالف اینشتین بودم. او در مقابل بور به‌گونه‌ای رفتار می‌کرد که حامیان مطلق بودن زمان، روزگاری در مقابل او رفتار کرده بودند.»

در آخر اینشتین آزمایشی را مطرح کرد که تصور می‌کرد باعث شود نظریه کوانتوم خود حکم مرگ خویش را امضا کند. جعبه‌ای را در نظر بگیرید که حاوی بخار فوتون باشد. اگر جعبه دارای یک دریچه کرکره‌ای باشد، قادر خواهد بود یک تک فوتون را از آن دریچه رها کند. از آنجا که می‌توان سرعت

دریچه کرکره‌ای و همچنین انرژی‌فوتون را به دقت محاسبه کرد، بنابراین می‌توان حالت فوتون را با دقت نامحدودی تعیین کرد، که منجر به نقض اصل عدم قطعیت می‌گردد.

ارنفست نوشته است: «از نظر بور این ضربه مهلکی بود. در آن لحظه، هیچ پاسخی نداشت. تمام عصر آن روز، شدیداً ناراحت بود و با مراجعه به افراد مختلف تلاش می‌کرد تا آن‌ها را با خود همراه کند. زیرا پذیرش صحت این ادعا به معنی اتمام علم فیزیک بود. اما هیچ راه حلی برای رد این ادعا نمی‌یافت. هرگز چهره دو رقیب را هنگام ترک باشگاه دانشگاه فراموش نخواهم کرد. اینشتین با چهره‌ای با شکوه، با لبخندِ طعنه‌آمیز کم‌رنگی بر لب، حرکت می‌کرد و بور شدیداً ناراحت از گوشه‌ای می‌گذشت.»

زمانی که ارنفست بور را ملاقات کرد، او حرفی نمی‌زد و تنها زیر لب تکرار می‌کرد: «اینشتین... اینشتین... اینشتین»

روز بعد، پس از یک شب بی‌خوابی کامل، بور موفق به یافتن ایراد کوچکی در ادعای اینشتین شد. براساس برابری ماده و انرژی، پس از گسیل فوتون، جعبه کمی سبک‌تر خواهد شد. یعنی، از آنجا که انرژی وزن دارد، بر طبق نظریه گرانش خود اینشتین، جعبه تحت گرانش کمی بالا می‌آید و همین مسئله باعث به‌وجود آمدن عدم قطعیت در انرژی فوتون می‌گردد. در این صورت، با محاسبه عدم قطعیت در وزن و سرعت دریچه، خواهیم دید که جعبه دقیقاً از اصل عدم قطعیت پیروی می‌کند. در عمل، بور از نظریه گرانش خود اینشتین، برای رد ادعای او استفاده کرد! بور پیروز از میدان بیرون آمد. اینشتین شکست خورده بود.

زمانی که بعدها اینشتین ادعا کرد: «خداوند برای جهان تاس نمی‌ریزد»، بور در جواب به او گفت: «از این که به خدا بگویی چکار کند، دست بردار.» سرانجام اینشتین پذیرفت که بور موفق به رد دلایل او شده است. اینشتین نوشت: «من متقاعد شده‌ام که این نظریه بدون شک حاوی بخشی از حقیقت قاطع است.» (با این‌حال اینشتین، فیزیکدانانی را که از درک پارادوکس‌های ماهرانه ذاتی نظریه کوانتوم سرباز زدند، مورد تحقیر قرار داد. او یکبار

نوشت: «البته امروزه هر آدم کم ارزشی نیز فکر می‌کند که پاسخ را می‌داند، اما خود را فریب می‌دهد.»)

پس از این ماجرا و دیگر مناظرات آتشین با فیزیکدانان کوانتومی، اینشتین بالاخره تسلیم شد، اما شیوه متفاوتی را در پیش گرفت. او قبول کرد که نظریه کوانتوم صحیح است، ولی تنها در قلمرو مشخصی؛ یعنی تنها به صورت تقریبی از حقیقت واقعی. همان‌طور که نسبیت، تعمیم یافته نظریه نیوتون بود (و آن را نفی نمی‌کرد)، او قصد داشت نظریه کوانتوم را درون نظریه‌ای عمومی‌تر و قدرتمند تر، به نام نظریه میدان یکپارچه، جای دهد.

(مناظرات، بین اینشتین و شرودینگر از یک طرف، بور و هایزنبرگ از طرف دیگر را نمی‌توان به سادگی نادیده گرفت. زیرا این «آزمایش‌های ذهنی» را می‌توان در حال حاضر در آزمایشگاه ترتیب داد. اگرچه دانشمندان نمی‌توانند کاری کنند که یک گربه هم زنده و هم مرده به‌نظر آید، ولی آن‌ها هم‌اکنون، با استفاده از فناوری نانو، توانایی تولید اتم‌های انفرادی را دارند. اخیراً این آزمایش‌های مهم با استفاده از یک باکی بال (ساختاری ملکولی و کروی شامل ۶۰ اتم کربن) انجام گرفته است. بنابراین دیواری که بور در جدا کردن اجسام بزرگ از اجسام کوانتومی به تصویر کشیده بود، به سرعت در حال از بین رفتن است. فیزیکدانان تجربی در حال حاضر حتی به این می‌اندیشند که برای نشان دادن اینکه یک ویروس (حاوی هزاران اتم) می‌تواند در یک زمان در دو جا باشد، به چه چیزهایی نیاز دارند.)

بمب

متأسفانه بحث در مورد این پارادوکس‌های جالب توجه، با ظهور هیتلر در سال ۱۹۳۳ و تلاش برای ساخت بمب اتمی متوقف شد. برای سال‌ها می‌دانستند که برطبق معادله مشهور اینشتین، ذخیره عظیمی از انرژی در اتم نهفته است. اما اغلب فیزیکدانان نسبت به این ایده که روزی بتوان این انرژی را استخراج کرد، احساس بی‌علاقگی می‌کردند. حتی ارنست رادرفورد، کسی که هسته اتم را کشف کرد، گفت: «انرژی ایجاد شده از شکستن یک اتم،

چیز بسیار کم ارزشی است. هرکس که از تبدیل و دگرگونی اتم‌ها انتظار یک منبع انرژی دارد، حرف بی‌معنی می‌زند.»

در سال ۱۹۳۹، بور سفر مهمی به ایالات متحده کرد، تا در نیویورک شاگرد خود، جان میلر را ملاقات کند. اخبار بدی با خود داشت: اوتو هان و لایز مایتنر نشان داده بودند که در فرایندی به نام شکافت هسته‌ای، می‌توان هسته اورانیم را به دو نیم کرد و انرژی آزاد نمود. بور و ویلر شروع به یافتن و استخراج دینامیک کوانتومی شکافت هسته‌ای نمودند. از آنجا که هر چیزی در نظریه کوانتوم به مسئله احتمال و شانس مربوط می‌شود، آن‌ها احتمال این را که یک نوترون، هسته اورانیم را از هم بشکافد محاسبه کردند. در نتیجه این شکافت، چند نوترون رها شده که منجر به شکافت هسته‌های اورانیم بیشتری می‌شود و در نتیجه نوترون‌های بیشتری آزاد می‌گردند. به‌این‌ترتیب چنین واکنش زنجیره‌ای قادر خواهد بود حتی یک شهر مدرن امروزی را کاملاً با خاک یکسان کند. (در مکانیک کوانتومی، هیچ‌گاه نمی‌توان تعیین کرد که آیا نوترون مشخصی منجر به شکافت هسته‌ای شده است یا نه، اما می‌توان با دقت باورنکردنی احتمال آنرا که میلیاردها اتم اورانیم در یک بمب شکافته شوند، محاسبه کرد. این، قدرت مکانیک کوانتومی است.)

محاسبات کوانتومی آن‌ها نشان داد که، بمب اتمی می‌تواند وجود داشته باشد. دو ماه بعد، بور، اِگن واینر، لئو ژیلارد، و ویلر در دفتر قدیمی اینشتین در پرینستون گرد هم آمدند تا جنبه‌های مختلف ساخت یک بمب اتمی را مورد بررسی قرار دهند. بور عقیده داشت که برای ساخت یک بمب، تمام منابع یک ملت مورد نیاز است. (تنها چند سال بعد ژیلارد، اینشتین را به نوشتن نامه مهمی به رئیس جمهور فرانکلین روزولت ترغیب کرد تا او را به ساخت بمب اتمی تشویق نماید.)

اورانیم می‌تواند سلاحی مهلک را در اختیار آن‌ها قرار دهد، به هایزنبرگ که شاگرد بور بود، سفارش ساخت بمب اتمی را برای هیتلر دادند. تنها در عرض یک شب، مباحث مربوط به احتمال کوانتومی شکافت هسته‌ای اهمیت زیادی یافتند و سرنوشت تاریخ انسان به مخاطره افتاد. بحث در مورد

احتمال یافتن گربه زنده به‌زودی جای خود را به بحث در مورد احتمال شکافت هسته‌ای اورانیم داد.

در سال ۱۹۴۱، درحالی‌که نازی‌ها بخش اعظمی از اروپا را به تاراج می‌بردند، هایزنبرگ سفر مخفیانه‌ای برای ملاقات با استاد قدیمی خود، بور، به کپنهاگ انجام داد. ماهیت دقیق این ملاقات هنوز در پرده‌ای از ابهام قرار دارد، و نمایشنامه‌های تاثیرگذاری در مورد آن نوشته شده است. آیا نظر هایزنبرگ این بود که بمب اتمی نازی‌ها را خراب کنند؟ یا هایزنبرگ تلاش می‌کرد به‌منظور ساخت بمب برای نازی‌ها، بور را به خدمت بگیرد؟ شش دهه بعد، در سال ۲۰۰۲، زمانی که خانواده بور نامه‌ای را که او در دهه ۱۹۵۰ به هایزنبرگ نوشته، ولی هیچ‌گاه فرستاده نشده بود، منتشر کردند، پرده از نیت واقعی هایزنبرگ برداشته شد. در آن نامه، بور خاطرنشان می‌کند که هایزنبرگ در آن ملاقات بیان داشته است که پیروزی نازی‌ها حتمی است. از آنجایی‌که هیچ چیز نمی‌تواند جلوی نیروی عظیم نازی‌ها را بگیرد، منطقی به‌نظر می‌رسید که بور برای نازی‌ها کار کند.

بور وحشت کرده بود. او نپذیرفت که نتایج کارهایش بر روی نظریه کوانتوم، در دستان نازی‌ها قرار گیرد. از آنجا که دانمارک تحت کنترل نازی‌ها بود، به‌طور مخفیانه اقدام به فرار کرد. بور، حین فرار با هواپیما، در اثر کمبود اکسیژن، تجربه نزدیک به مرگ را از سر گذراند.

در همین حین، در دانشگاه کلمبیا، اِنریکو فِرمی نشان داد که واکنش زنجیره‌ای هسته‌ای امکان‌پذیر است. او دریافت که چنین بمبی قادر است هر آنچه که او از بالای شهر نیویورک تا خط افق می‌بیند، نابود کند. ویلر، با اطلاع از اهمیت موضوع، به اراده خود پرینستون را ترک کرده و در زیرزمین استگفیلد در دانشگاه شیکاگو به فِرمی پیوست؛ جایی‌که این دو به‌همراه هم اولین رِاکتور هسته‌ای را ساختند و با این‌کار رسماً عصر هسته‌ای را آغاز کردند.

طی دهه بعد، ویلر شاهد برخی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها در جنگ افزارهای اتمی بود. در طول جنگ جهانی دوم، او به نظارت بر کارهای

ساختمانی تاسیسات هسته‌ای هانفورد، در ایالت واشنگتن کمک کرد؛ ساختمانی که در آن پلوتونیم خام لازم برای ساخت بمبی که ناکازاکی را با خاک یکسان کرد، ساخته شد. تنها چند سال بعد او بر روی بمب هیدروژنی کار کرد و در سال ۱۹۵۲، شاهد انفجار اولین بمب هیدروژنی بود که دامنه تخریب آن مانند فرو افتادن قطعه‌ای از خورشید بر روی جزیره کوچکی در اقیانوس آرام بود. اما بعد از گذشت بیش از یک دهه پیشتازی در تاریخ جهان، در نهایت به سمت عشق اولیه خود، یعنی اسرار نظریه کوانتوم، بازگشت.

جمع مسیرها

یکی از بهترین شاگردان ویلر، بعد از جنگ، ریچارد فاینمن بود که می‌توان گفت شاید به ساده‌ترین اما در عین حال عمیق‌ترین روش برای خلاصه‌سازی پیچیدگی‌های نظریه کوانتوم دست یافت. (در سال ۱۹۶۵، یکی از نتایج این ایده، برای فاینمن جایزه نوبل به ارمغان آورد.) فرض کنید که می‌خواهید عرض اتاق را بپیمایید. از نظر نیوتون مسئله بسیار ساده است؛ کوتاه‌ترین مسیر از نقطه A به نقطه B، به نام مسیر کلاسیک، انتخاب می‌شود. اما از نظر فاینمن، در ابتدا باید تمام مسیرهای ممکن از نقطه A به B را در نظر بگیرید. این به معنی در نظر گرفتن مسیرهایی است که شما را به مریخ، مشتری، و نزدیک‌ترین ستاره‌ها می‌رسانند و حتی مسیرهایی که در زمان به عقب می‌روند و به انفجار بزرگ بر می‌گردند. این مسیرها هر چقدر هم که احمقانه یا عجیب و غریب باشند، باید در نظر گرفته شوند. در مرحله بعد فاینمن به هر مسیر، عددی اختصاص می‌دهد، که این اعداد با کمک مجموعه دقیقی از قوانین محاسبه می‌شوند. به‌طور معجزه‌آسایی با جمع کردن تمام اعداد مربوط به مسیرهای ممکن، احتمال رفتن از نقطه A به نقطه B حاصل ــ مکانیک کوانتومی استاندارد ــ را به‌دست خواهید آورد. این واقعاً قابل توجه است.

فاینمن دریافت که اعداد مربوط به مسیرهای عجیب یا مسیرهایی که با قوانین حرکت نیوتون در تناقض هستند، اغلب یکدیگر را خنثی کرده و

حاصل جمع کوچکی دارند. همین مسیرهایی که حاصل جمع آن‌ها بسیار کوچک بود، منشأ افت و خیزهای کوانتومی بودند. اما او همچنین دریافت که مسیر معقول نیوتونی، تنها مسیری بود که حذف نشده و بنابراین بیشترین مجموع را داشت؛ یعنی مسیری بود با بالاترین احتمال. بنابراین درک معقول ما از جهان فیزیکی، تنها عبارت است از محتمل‌ترین حالت در بین تعداد نامحدودی حالت‌های مختلف. ولی از طرفی، ما با تمام حالت‌های ممکن هم زیستی داریم. برخی از این حالات، ما را به عصر دایناسورها، یا به نزدیک‌ترین ابرنواختر، و حتی به کرانه‌های جهان پیوند می‌دهند. (این مسیرهای نامعقول انحرافات کوچکی را نسبت به مسیر معقول نیوتون ایجاد می‌کنند، ولی خوشبختانه احتمال مربوط به آن‌ها بسیار کوچک است.)

به بیان دیگر، هربار که در عرض اتاق حرکت می‌کنید، بدن شما، به نوعی تمام مسیرهای ممکن را از قبل بو می‌کشد و همه را با هم جمع می‌کند؛ حتی آن‌هایی را که به اختروش‌های دوردست و انفجار بزرگ کشیده می‌شوند. فاینمن، با استفاده از ریاضیات قدرتمند انتگرال‌های تابعی، نشان داد که مسیر نیوتون، محتمل‌ترین مسیر (و نه تنها مسیر ممکن) است. در یک شاهکار ریاضی، فاینمن توانست نشان دهد که این تصویر، همانقدر که به‌نظر می‌رسد حیرت آور بوده و دقیقاً با مکانیک کوانتومی معمولی برابر است. (در حقیقت فاینمن توانست با استفاده از این روش مشتق معادله شرودینگر را بگیرد.)

نکته قابل توجه این است که امروزه وقتی که نظریه‌های گات، تورم و حتی نظریه ریسمان‌ها[1] را فرمول بندی می‌کنیم، از نظریه «انتگرال مسیر» فاینمن استفاده می‌کنیم. در حال حاضر این روش در تمام جهان تدریس می‌شود و تاکنون مناسب‌ترین و قدرتمندترین روش برای فرمول بندی نظریه کوانتوم بوده است.

(من هر روز طی تحقیقات خود، از روش انتگرال مسیر فاینمن استفاده می‌کنم. هر معادله‌ای که می‌نویسم بر حسب جمع مسیرها است. زمانی که به‌عنوان یک دانشجوی کارشناسی ارشد با روش فاینمن آشنا شدم، تصویر

1. Strings theory

ذهنی من از جهان به کلی تغییر کرد. من، از نظر عقلی، ریاضیات نظریه کوانتوم و نسبیت عام را به‌طور خلاصه فهمیدم، اما این ایده که من با عبور از عرض اتاق به نوعی تمام مسیرهایی را که مرا به مریخ یا ستارگان دوردست می‌رساند شناسایی می‌کنم، جهان بینی مرا تغییر می‌دهد. ناگهان تصویر جدید و عجیبی در ذهن من شکل گرفت که خود را در حال زندگی در جهان کوانتومی می‌دیدم. به‌این‌ترتیب، دریافتم که نظریه کوانتوم بسیار عجیب و غریب‌تر از پیامدهای سرگیجه آور نسبیت است.)

زمانی که فاینمن این فرمول بندی عجیب و نامانوس را تهیه کرد، ویلر که در دانشگاه پرینستون بود، به انستیتوی مطالعات پیشرفته در همسایگی خود رفت تا اینشتین را ملاقات کرده و او را نسبت به قدرت و ظرافت این تصویر جدید متقاعد سازد. ویلر، نظریه جدید انتگرال مسیر فاینمن را، با هیجان برای اینشتین توضیح داد. او در آن زمان نفهمید که از نظر اینشتین این ایده چقدر احمقانه به‌نظر می‌رسید.

اینشتین سر خود را تکان داد و این موضوع را تکرار کرد که هنوز هم نمی‌تواند باور کند که خداوند برای جهان تاس بریزد. اینشتین به ویلر اقرار کرد که ممکن است اشتباه کند، اما این را نیز تاکید کرد که حق دارد اشتباه کند.

دوست واینر

اغلب فیزیکدانان در مواجهه با پارادوکس‌های تاثیرگذار مکانیک کوانتومی، شانه‌های خود را بالا انداخته و به علامت تسلیم دست‌های خود را بالا بردند. از نظر اغلب دانشمندان تجربی، مکانیک کوانتومی مجموعه‌ای دستورالعمل است که با دقتی عالی، احتمالات درستی را نتیجه می‌دهد. همانگونه که جان پولکینگورن، فیزیکدانی که بعدها کشیش شد، گفته است: «به‌طور متوسط، مکانیک کوانتومی فیلسوفانه‌تر از مکانیک اتومبیل متوسط نیست.»

برخی از برجسته‌ترین متفکران علم فیزیک با این پرسش‌ها دست و پنجه نرم کرده‌اند. به‌عنوان مثال، راه حل‌های متعددی برای معمای گربه شرودینگر

وجود دارد. اولین آن‌ها که به‌وسیله اِگِن واینر و دیگران مورد تائید قرار گرفته است، این است که آگاهی، ماهیت وجود را تعیین می‌کند. واینر نوشته است: «بدون اشاره به حس آگاهی [فرد مشاهده‌گر] ممکن نبود که بتوان قوانین مکانیک کوانتومی را اینطور پایدار فرمول بندی کرد... مطالعه اولیه جهان بیرونی به این نتیجه منجر شد که حقیقت نهایی، همان مضمون آگاهی است.» یا همانگونه که جان کیتز شاعر گفته است: «هیچ چیز واقعیت نمی‌یابد، مگر اینکه دستان تجربه آن را لمس کند.»

با این حال، در صورتیکه من مشاهده‌ای انجام دهم، چه چیزی این امر را که خود من در چه حالت و وضعیتی هستم، تعیین می‌کند؟ یعنی شخص دیگری، به‌منظور از بین بردن تابع موج من، باید مرا مورد مشاهده قرار دهد. این مسئله گاهی «دوست واینر» نامیده می‌شود. اما این یعنی شخص دیگری نیز باید دوست واینر را مشاهده کند و همچنین دوست دوست واینر و الی آخر. آیا خرد برتری وجود دارد، که با مشاهده کل جهان، به دنباله دوستان واقعیت بخشد؟

یکی از فیزیکدانانی که به‌طور قطع، به نقش محوری آگاهی اعتقاد دارد، آندرِی لیند، یکی از بنیانگذاران جهان تورمی است.

> من به‌عنوان یک انسان، راهی را نمی‌شناسم که به‌وسیله آن بتوانم ادعا کنم در نبود یک مشاهده گر، جهان اینجا وجود دارد. جهان و ما هر دو با هم هستیم. زمانی که می‌گویید جهان بدون هیچ مشاهده گری نیز وجود دارد، هیچ معنی برای من نخواهد داشت. من نمی‌توانم نظریه پایداری را برای همه چیز تصور کنم، که حس آگاهی را انکار کند. یک وسیله ضبط کننده نمی‌تواند نقش یک مشاهده گر را ایفا کند، زیرا در این‌صورت نمی‌توان تعیین کرد چه کسی اطلاعات ضبط شده بر روی دستگاه را می‌خواند. برای اینکه اتفاق افتادن چیزی را ببینید و به دیگران نیز بگویید که چنین چیزی اتفاق افتاده است، نخست به یک جهان، سپس یک وسیله ضبط کننده و درنهایت به انسان‌ها نیاز دارید... در نبود مشاهده گر، جهان مرده است.

بر اساس فلسفه لیند، در حقیقت تا زمانی که شما به فسیل دایناسورها

نگاه نکرده‌اید، آن‌ها وجود ندارند. ولی به محض اینکه به آن‌ها می‌نگرید، به‌وجود می‌آیند؛ به‌گونه‌ای که انگار از میلیون‌ها سال پیش وجود داشته‌اند. (فیزیکدانانی که به چنین دیدگاهی معتقد هستند، به این مسئله اشاره می‌کنند که این ادعا با نتایج آزمایش، در دنیایی که در آن فسیل دایناسورها واقعاً میلیون‌ها سال عمر دارند، سازگار است.)

(برخی افراد که علاقه‌ای به وارد کردن مفهوم آگاهی به فیزیک ندارند، ادعا می‌کنند یک دوربین نیز می‌تواند مشاهده‌ای را از یک الکترون انجام دهد و بنابراین توابع موج را می‌توان بدون پناه بردن به موجودات دارای خرد از بین برد. اما چه کسی می‌تواند بگوید که دوربین وجود دارد؟ دوربین دیگری نیاز است تا دوربین اول را مشاهده کند و دوربین سومی برای دوربین دوم و همین طور الی آخر تا بی‌نهایت. بنابراین دوربین نمی‌تواند به این پرسش پاسخ دهد که چگونه توابع موج از بین می‌روند.)

عدم ارتباط

یک روش برای حل جزئی برخی از این پرسش‌های فلسفی، عدم ارتباط نامیده می‌شود، که روشی مشهور در بین فیزیکدانان محسوب می‌شود. این روش اولین‌بار در سال ۱۹۷۰، به‌وسیله فیزیکدان آلمانی به نام دیتِر زِه مطرح شد. او متوجه شد که در دنیای واقعی نمی‌توان گربه را از محیط جدا کرد. در حقیقت گربه با مولکول‌های هوا، جعبه و حتی پرتوهای کیهانی در تماس مداوم است.

این برهم‌کنش‌ها، هرچقدر هم که کوچک باشند، از اساس بر روی تابع موج اثر می‌گذارند: اگر تابع موج به اندازه ناچیزی دچار اختلال شود، آنگاه ناگهان به دو تابع موج مجزا، مربوط به گربه مرده و گربه زنده، تقسیم می‌شود که دیگر بر هم اثر متقابلی ندارند. زِه نشان داد که تنها برخورد با یک مولکول هوا برای از بین بردن تابع موج کافی است، و منجر به جداشدن دائمی توابع موج گربه زنده و مرده می‌شود (و دیگر با یکدیگر ارتباطی نخواهند داشت). به بیان دیگر حتی قبل از اینکه در جعبه را باز کنید، گربه با مولکول‌های هوا

در تماس بوده و در نتیجه یا مرده یا زنده است.

زِه مشاهده کلیدی را انجام داد که در آن زمان نادیده گرفته شد: برای اینکه گربه هم مرده و هم زنده باشد، تابع موج گربه مرده و تابع موج گربه زنده باید در هم‌زمانی دقیقی با هم در نوسان باشند؛ حالتی که به آن همدوسی می‌گویند. اما از نظر آزمایشگاهی این تقریباً غیرممکن است. ایجاد اجسام همدوس که به صورت هماهنگ نوسان می‌کنند در آزمایشگاه فوق‌العاده مشکل است. (در عمل، به‌دلیل تداخل با دنیای بیرون، واداشتن بیش از تعداد معدودی اتم به نوسان به‌طور همدوس، غیرممکن است.) در دنیای واقعی اجسام با محیط برهم‌کنش دارند و کوچک‌ترین اثر متقابل با دنیای خارجی می‌تواند منجر به برهم زدن دو تابع موج گردد. در نتیجه دو تابع شروع به ناهمدوسی می‌نمایند؛ یعنی هماهنگی آن‌ها از بین رفته و از هم جدا می‌شوند. زه نشان داد زمانی که دو تابع موج به‌طور همدوس نوسان نمی‌کنند، از آن پس با یکدیگر تعامل نخواهند داشت.

دنیاهای متعدد

در ابتدا مسئله ناهمدوسی قانع‌کننده به‌نظر می‌رسید. زیرا در این حالت تابع موج، نه به‌دلیل وجود آگاهی، بلکه از طریق اثرات متقابل تصادفی با دنیای بیرون از هم می‌پاشید. اما از طرفی حتی این توضیح نیز به پرسش اساسی که ذهن اینشتین را به خود مشغول ساخته بود، پاسخ نمی‌داد: طبیعت چگونه حالت نهایی خود را انتخاب می‌کند؟ وقتی که یک مولکول هوا با گربه برخورد می‌کند، چه کسی یا چه چیزی حالت نهایی گربه را تعیین می‌کند؟ در مورد این سوآل، نظریه ناهمدوسی تنها بیان می‌دارد که دو تابع موج از هم جدا شده و دیگر بر هم اثر ندارند، ولی به پرسش اصلی پاسخ نمی‌دهد:گربه زنده است یا مرده؟ به بیان دیگر اگرچه ناهمدوسی، وجود حس آگاهی را در مکانیک کوانتومی غیرضروری می‌کند، اما به پرسش کلیدی اینشتین، پاسخ نمی‌دهد: طبیعت چگونه حالت نهایی گربه را انتخاب می‌کند؟ در مورد این سوآل، نظریه همدوسی پاسخی ندارد.

با این حال، تعمیم طبیعی نظریه ناهمدوسی، که امروزه به‌طور گسترده‌ای بین فیزیکدانان مورد قبول واقع شده است، به این پرسش پاسخ می‌دهد. این روش دوم، اولین‌بار به‌وسیله یکی دیگر از دانشجویان ویلر، به نام هیو اِورِت سوم، ارائه شد؛ او این احتمال را مطرح کرد که شاید گربه بتواند در یک زمان هم مرده و هم زنده باشد، ولی در دو جهان متفاوت. زمانی که تز دکترای اورت در سال ۱۹۵۷ به اتمام رسید، خیلی مورد توجه واقع نشد. با این حال در طول سال‌ها علاقه به این تفسیر، به نام «دنیاهای متعدد»، رو به گسترش نهاد. امروزه این مسئله علاقه به پارادوکس‌های نظریه کوانتوم را به صورت گسترده احیا کرده است.

در این تفسیر جدید، گربه، هم زنده و هم مرده است، زیرا جهان به دو جهان تبدیل شده است. در یک جهان گربه، مرده و در دیگری زنده است. در حقیقت در هر موقعیت کوانتومی، جهان به دو تا تقسیم می‌شود. در این سناریو، تمام جهان‌ها ممکن هستند و هرکدام به اندازه دیگری واقعیت دارند. افرادی که در هرکدام از این جهان‌ها زندگی می‌کنند، ممکن است معتقد باشند که جهان آن‌ها در اصل جهان واقعی است و جهان‌های دیگر توهمی و خیالی هستند. این جهان‌های موازی، جهان‌های خیالی با موجودیت زودگذر نیستند. ما در هرکدام از این جهان‌ها ظهور اجسام جامد و وقایع عینی را به همان اندازه عملی و واقعی داریم.

فایده این نوع تفسیر این است که می‌توانیم شرط شماره ۳، یعنی از بین رفتن تابع موج، را منتفی بدانیم. توابع موج هرگز از بین نمی‌روند، بلکه آن‌ها به رشد خود ادامه داده و تا ابد، در درختی با شاخه‌های بی‌پایان، به توابع موج دیگر تقسیم می‌شوند. هر کدام از شاخه‌های آن درخت نماینده یک جهان کامل و مستقل است. مزیت بزرگ نظریه دنیاهای متعدد این است که از تفسیر کپنهاگ ساده‌تر است: به عبارت دیگر نیازی به از بین رفتن تابع موج نیست. در عوض، جهان‌هایی داریم که دائماً به میلیون‌ها شاخه منشعب می‌شوند. (درک این مسئله که چگونه می‌توان رد پای تمام این جهان‌های تکثیر شده را گرفت، از نظر برخی مشکل است. با این حال معادله موج

شرودینگر این‌کار را به‌طور اتوماتیک انجام می‌دهد. تنها با ترسیم سیر تکاملی معادله موج، می‌توان سریعاً تمام شاخه‌های متعدد موج را به‌دست آورد.)

اگر این تفسیر صحیح باشد، در همین لحظه بدن شما، با تابع موج دایناسورها، همزیستی می‌کند. این همزیستی در اتاقی که درون آن هستید، عبارت است از یک تابع موج شامل جهانی که آلمان‌ها در آن فاتح جنگ جهانی دوم بوده‌اند، جهانی که غریبه‌ها از فضا در آن پرسه می‌زنند و جهانی که شمًا در آن هرگز زاده نشده‌اید. جهان مرد ساکن قلعه بلند و همین‌طور جهان کمربند شفق، در بین جهان‌هایی هستند که در اتاق خود دارید. نکته قابل توجه این است که ما دیگر نمی‌توانیم اثرات متقابل بر روی آن‌ها داشته باشیم، زیرا آن‌ها با ما ناهمدوس شده‌اند.

همان‌طور که آلن گوث گفته است: «جهانی وجود دارد که در آن هنوز الویس زنده است.» فیزیکدانی به نام فرانک ویلچِک نوشته است: «ما متحیر از این هستیم که در حال حاضر تعداد زیادی کپی‌های کمی متفاوت از ما، در دنیاهای موازی با ما زندگی می‌کنند و اینکه در هر لحظه کپی‌های تکثیر یافته بیشتری به‌وجود آمده و تعداد زیادی آینده‌های متفاوت از ما ایجاد می‌کنند.» او اشاره می‌کند که اگر هلن از تروی، چنین زیبایی دلفریبی نمی‌داشت و اگر در عوض زگیل زشتی روی بینی‌اش می‌داشت، ممکن بود تاریخ تمدن یونانی و بنابراین دنیای غرب، سرنوشت دیگری داشته باشد. او ادامه می‌دهد: «خوب، زگیل از تغییراتی در یک سلول به‌وجود می‌آید که اغلب می‌تواند از طریق قرار گرفتن در معرض پرتوهای ماورای بنفش خورشید ناشی شود. نتیجه: دنیاهای بسیار متعددی وجود دارند که در آن‌ها هلن زگیل بزرگی روی بینی خود دارد.»

در بخشی از اثر کلاسیک علمی تخیلی ستاره‌ساز، اولاف استاپلدون می‌نویسد: «هربار که موجودی با مسیرهای متعددی در زندگی خود مواجه می‌شود، همه آن‌ها را در پیش می‌گیرد، و به‌این‌ترتیب تاریخ‌های متعددی رقم می‌خورد.» از آنجا که در سیر تکاملی کیهان، موجودات زیادی وجود

داشته‌اند و هر کدام با شرایط متعددی مواجه شده‌اند و ترکیبات تمام این حالات، غیرقابل شمارش است، اقیانوس بی‌کرانی از جهان‌های مجزا، در هر لحظه از هر شرایط زودگذری ورق می‌خورد و جدا می‌شود.»

حقیقتاً گیج ننده است، وقتی می‌فهمیم که برطبق این تفسیر از مکانیک کوانتومی، تمام جهان‌های محتمل و ممکن، در همین لحظه با ما در حال همزیستی هستند. اگرچه ممکن است برای دسترسی به این جهان‌های دیگر نیاز به کرمچاله داشته باشیم، اما جالب است که بدانیم این حقایق کوانتومی همه در همان اتاقی که در آن زندگی می‌کنیم، وجود دارند. آن‌ها همه جا با ما هستند، هرجا که برویم. سوآل کلیدی این‌است که: اگر این حقیقت دارد، چرا اتاق خود را مملو از جهان‌های دیگر نمی‌بینیم؟ در اینجا ناهمدوسی به کمک ما می‌آید: تابع موج ما با این جهان‌های دیگر ناهمدوس شده است. (یعنی این امواج دیگر با امواج ما همفاز نیستند.) دیگر با آن‌ها ارتباطی نداریم. یعنی حتی کوچک‌ترین آلودگی در محیط، از برهم‌کنش توابع موج مختلف با یکدیگر جلوگیری به عمل می‌آورد. (در فصل ۲، به استثنایی برای این قانون اشاره می‌کنم، که در آن این احتمال وجود دارد که موجودات باهوش بتوانند بین جهان‌های کوانتومی سفر کنند.)

آیا این مسئله عجیب‌تر از آن است که امکان‌پذیر باشد؟ برنده جایزه نوبل، استیون واینبرگ، نظریه جهان‌های چندتایی را به رادیو تشبیه می‌کند. در اطراف شما صدها موج رادیویی مختلف وجود دارند که از ایستگاه‌های دوردست ارسال می‌شوند. در هر لحظه، دفترکار، ماشین یا اتاق شما، مملو از این امواج رادیویی است. با این حال، اگر رادیویی را روشن کنید، در هر زمان تنها می‌توانید به یک فرکانس گوش دهید. فرکانس‌های دیگر ناهمدوس هستند و با یکدیگر هم فاز نیستند. هر ایستگاهی انرژی و فرکانس متفاوتی دارد. به‌این‌ترتیب رادیوی شما در هر زمان تنها می‌تواند بر روی یک ایستگاه تنظیم شود.

به‌طور مشابه، ما در جهان خود بر روی فرکانسی که به واقعیت فیزیکی مربوط می‌شود تنظیم شده‌ایم. یعنی تعداد نامحدودی واقعیت‌های موازی

وجود دارند که اگرچه نمی‌توانیم بر روی آن‌ها تنظیم شویم، ولی با ما در همین اتاق همزیستی می‌کنند. با اینکه این دنیاها بسیار به‌هم شبیه هستند، اما هرکدام انرژی متفاوتی دارند و از آنجایی‌که هر دنیایی شامل میلیاردها میلیارد اتم است، بنابراین تفاوت در انرژی‌ها می‌تواند بسیار زیاد باشد. به این دلیل که فرکانس این امواج با انرژی آن‌ها متناسب است (طبق قانون پلانک)، بنابراین امواج هر دنیایی در فرکانس متفاوتی نوسان می‌کند، و نمی‌توانند بر هم تاثیر متقابل داشته باشند. به‌این‌ترتیب امواج این جهان‌های متفاوت، با یکدیگر تعامل نداشته و بر هم اثری نمی‌گذارند.

دانشمندان با پذیرفتن این ایده عجیب، درکمال شگفتی، مجدداً می‌توانند تمام نتایج حاصل از روش کپنهاگ را بدون اینکه مجبور باشند تابع موج را از بین ببرند، استنتاج کنند. به بیان دیگر، آزمایش‌های که با کمک تفسیر کپنهاگ یا با بسیاری تفاسیر دیگر از جهان صورت می‌گیرد، با دقت بالایی به همان نتایج تجربی منجر می‌شوند. فروپاشی تابع موج بور، از نظر ریاضی با آلودگی محیط معادل است. به بیان دیگر، اگر بتوانیم به‌گونه‌ای گربه را از آلودگی از هر اتم یا پرتو کیهانی حفظ کنیم، گربه شرودینگر می‌تواند هم‌زمان زنده و مرده باشد. البته این عملاً غیرممکن است. وقتی که گربه در تماس با پرتو کیهانی قرار دارد، تابع موج گربه زنده و مرده ناهمدوس می‌شوند و اینطور به‌نظر می‌آید که تابع موج از بین رفته است.

وجود از داده[1]

ویلر، به‌دلیل علاقه وافر به معمای اندازه‌گیری در نظریه کوانتوم، به‌عنوان چهره پیر علم فیزیک کوانتوم با عزت و افتخار در مجامع مختلف حاضر می‌شد. (با این‌حال، او همیشه از چنین انجمن‌هایی خوشش نمی‌آمد. او حتی یکبار ناراحتی خود را از شرکت در برنامه مشابهی، با حضور سه فراروانشناس، ابراز کرد. او به سرعت بیانیه‌ای تهیه کرد حاوی این مطلب که:

1. It from Bit

«جایی که دود وجود دارد، دود وجود دارد.»)

پس از هفتاد سال تفکر در مورد پارادوکس‌های نظریه کوانتوم، ویلر اولین کسی بود که اعتراف کرد تمام جواب‌ها را ندارد. او همواره فرضیات خود را مورد پرسش قرار می‌داد. زمانی که از او در مورد معمای اندازه‌گیری در مکانیک کوانتومی پرسیده شد، پاسخ داد: «این سوآل مرا دیوانه کرده است. اعتراف می‌کنم که گاهی اوقات صد در صد به این ایده معتقد می‌شوم که جهان، افسانه‌ای خیالی است، درحالی‌که در مواقع دیگر باور می‌کنم که جهان، در بیرون، مستقل از ما وجود دارد. با این حال از صمیم قلب با حرف‌های لایب‌نیتس موافقم که می‌گوید: این دنیا ممکن است یک تصویر ذهنی و مسئله وجود صرفاً یک رویا باشد، اما این تصویر ذهنی یا رویا برای من به اندازه کافی واقعی است. اگر از عقل خود به خوبی استفاده کنیم، هرگز فریب آن را نخواهیم خورد.»

امروزه نظریه جهان‌های متعدد/ناهمدوسی در بین فیزیکدانان شهرت کسب کرده است. اما ویلر از این جهت ناراحت است که این نظریه به «بار و بنه زیادی» احتیاج دارد. او به یافتن توضیح دیگری برای معمای گربه شرودینگر مشغول است. ویلر نظریه خود را «وجود از داده» می‌نامد. نظریه او نظریه‌ای نامتعارف است و با این فرض آغاز می‌شود که اطلاعات سرچشمه وجودند. او ادعا می‌کند زمانی که به ماه، یک کهکشان یا یک اتم می‌نگریم، ماهیت وجودی آن‌ها اطلاعاتی است که درون‌شان ذخیره شده است. اما این اطلاعات زمانی پا به عرصه وجود گذاشتند که جهان، خود را مورد مشاهده قرار داد. او نقشه مدوری را رسم کرده است، که نشان‌دهنده تاریخ جهان است. در ابتدا، جهان به عرصه وجود آمد، زیرا مورد مشاهده واقع شد. یعنی «ماده موجود در جهان» زمانی به عرصه وجود آمد که «داده‌های» مربوط به آن مورد مشاهده واقع شدند. او این جهان را «جهان مشارکتی»[1] می‌نامد؛ این ایده که جهان همانگونه که ما خود را با آن سازگار می‌کنیم، خود را با ما سازگار می‌کند، و اینکه حضور اولیه ما، وجود جهان را

1. Participatory Universe

ممکن ساخته است. (از آنجا که در مورد معمای اندازه‌گیری در مکانیک کوانتوم، اتفاق آراء جهانی وجود ندارد، اغلب فیزیکدانان در مقابل نظریه وجود از داده، سیاست تا ببینیم چه می‌شود را اتخاذ می‌کنند.)

رایانه کوانتومی و دورفرستی[1]

شاید چنین مباحث فیلسوفانه‌ای، با دانستن این موضوع که هیچ گونه کاربرد عملی در جهان ما ندارند، کاملاً بی‌فایده به‌نظر برسند. فیزیک کوانتومی به‌جای اینکه در مورد این مسئله بحث کند که چند فرشته می‌توانند نوک یک سوزن برقصند، باید به این مسئله بپردازد که یک الکترون در یک زمان می‌تواند در چند نقطه وجود داشته باشد.

با این حال، چنین مباحثی، افسانه‌ای نبوده و ممکن است روزی عملی‌ترین کاربرد را داشته باشند: یعنی به حرکت درآوردن اقتصاد جهان. یک روز ممکن است ثروت و دارایی کل ملت‌ها به زیرکی گربه شرودینگر بستگی داشته باشد. در آن زمان شاید رایانه‌های ما، در جهان‌های موازی، محاسبات را انجام دهند. امروزه تقریباً تمام شالوده رایانه‌های ما براساس ترانزیستورهای سیلیکونی هستند. تحقق قانون مور که بیان می‌دارد قدرت رایانه‌ها هر هجده ماه دوبرابر می‌شود، به‌دلیل توانایی ما در قرار دادن ترانزیستورهای کوچک‌تر و کوچک‌تر درون تراشه‌های سیلیکونی، از طریق تابش پرتوهای ماورای بنفش بوده است. اگرچه قانون مور انقلابی را در چشم‌انداز فناوری ایجاد کرده است، ولی برای همیشه نمی‌تواند ادامه داشته باشد. پیشرفته‌ترین تراشه پنتیم دارای لایه‌ای به ضخامت بیست اتم است. در طول پانزده تا بیست سال آینده، ممکن است بتوان روی لایه‌هایی با ضخامت تنها پنج اتم عملیات انجام داد. در این ابعاد کوچک غیرقابل باور، مجبوریم مکانیک نیوتونی را رها کرده و مکانیک کوانتومی را بپذیریم؛ جایی که اصل عدم قطعیت هایزنبرگ تعیین‌کننده است. در نتیجه ما دیگر نمی‌دانیم الکترون

1. Teleportation

دقیقاً کجا قرار دارد. به عبارت دیگر، زمانی که الکترون‌ها به‌جای ماندن در عایق‌ها و نیمه هادی‌ها به خارج از آن‌ها رانده می‌شوند، ارتباط الکتریکی برقرار می‌شود.

در آینده، ما به حد نهایی توانایی خود در حکاکی بر روی ویفرهای سیلیکونی خواهیم رسید. عصر سیلیکون به‌زودی به پایان می‌رسد. شاید این طلیعه عصر کوانتوم باشد. دره سیلیکون به یک منطقه از کار افتاده تبدیل خواهد شد. روزی ممکن است مجبور شویم بر روی خود اتم‌ها عملیات را انجام دهیم. امروزه رایانه‌ها بر اساس سیستم باینری عمل می‌کنند، به‌این‌ترتیب که هر عددی در این سیستم با صفر و یک نمایش داده می‌شود. اتم‌ها نیز می‌توانند در هر زمان اسپینی به سمت بالا، پایین یا به اطراف داشته باشند. بیت‌های رایانه‌ای (صفرها و یک‌ها) را می‌توان با کیوبیت‌ها (هرچیزی بین صفر و یک) جایگزین کرد، که باعث می‌شود محاسبات کوانتومی بسیار قدرتمندتر از رایانه‌های معمولی گردند.

به‌عنوان مثال، استفاده از یک رایانه کوانتومی، حفاظت بین‌المللی را از اساس متحول خواهد کرد. امروزه، بانک‌های بزرگ، موسسات چند ملیتی، و کشورهای صنعتی، اسرار خود را با الگوریتم‌های رایانه‌ای پیچیده کدگذاری می‌کنند. بسیاری از کدگذاری‌ها با عامل گیری (تجزیه به اعداد اول) از اعداد بزرگ انجام می‌پذیرد. به‌عنوان مثال برای یک رایانه معمولی، عامل گیری از یک عدد صد رقمی مدت زمانی برابر قرن‌ها طول می‌کشد. ولی برای یک رایانه کوانتومی چنین محاسباتی ممکن است کاملاً بدون زحمت انجام پذیرد و بنابراین بتوانند کدهای مختلف جهان را به‌راحتی رمزگشایی کنند

برای مشاهده اینکه یک رایانه کوانتومی چگونه کار می‌کند، فرض کنید دنباله‌ای از اتم‌ها را که در یک میدان مغناطیسی دارای اسپین هم جهتی هستند، درکنار هم می‌چینیم. سپس پرتو لیزری را بر آن‌ها می‌تابانیم. بسیاری از اسپین‌ها با انعکاس لیزر از اتم، تغییر جهت می‌دهند. با اندازه‌گیری نور لیزر بازتابیده، در حقیقت یک عملیات ریاضی پیچیده، یعنی نحوه تفرق نور از اتم به بیرون، را ضبط کرده‌ایم. اگر این فرایند را با استفاده از نظریه کوانتوم

محاسبه کنیم، براساس آنچه فاینمن می‌گوید، باید تمام حالات ممکن برای اتم را با هم جمع کنیم. حتی یک محاسبه کوانتومی ساده که کسری از ثانیه طول می‌کشد، انجام آن بر روی یک رایانه معمولی، هرچقدر هم که زمان اختصاص دهیم، تقریباً غیرممکن است.

همان‌طور که دیوید داچ از آکسفورد گفته است، زمانی که ما از رایانه‌های کوانتومی استفاده می‌کنیم، باید تمام جهان‌های موازی ممکن را با هم جمع کنیم. اگرچه نمی‌توانیم با این جهان‌های دیگر مستقیماً ارتباط برقرار کنیم، اما یک رایانه اتمی می‌تواند با استفاده از حالات اسپین موجود در جهان‌های موازی آن‌ها را مورد محاسبه قرار دهد. (با اینکه در اتاق خواب خود با جهان‌های دیگر همدوس نیستیم، اما اتم‌های درون یک رایانه کوانتومی به‌طور همدوس در حال ارتعاش هستند.)

اگرچه رایانه‌های کوانتومی بالقوه حیرت آور هستند، مشکلات‌شان در عمل قابل توجه‌اند. در حال حاضر تعداد اتم‌های به‌کار رفته در رایانه کوانتومی برابر عدد هفت گزارش شده است. در بهترین حالت می‌توان با ضرب کردن عدد سه در پنج در یک رایانه کوانتومی به عدد پانزده رسید. اگر بخواهیم یک رایانه کوانتومی داشته باشیم که بتواند حتی با یک لپ تاپ معمولی رقابت کند، به صدها یا شاید میلیون‌ها اتم نیاز داریم که به صورت همدوس ارتعاش کنند. به‌دلیل اینکه حتی برخورد با تنها یک مولکول هوا می‌تواند اتم‌ها را از همدوسی خارج کند، باید بتوان شرایط فوق‌العاده تمیزی را برای ایزوله کردن اتم‌ها از محیط به‌کار برد. (برای ساختن رایانه کوانتومی که بتواند از سرعت رایانه‌های مدرن پیشی بگیرد، نیاز به هزاران تا میلیون‌ها اتم است و بنابراین محاسبات کوانتومی هنوز چندین دهه از ما فاصله دارند.)

دورفرستی کوانتومی

ممکن است روزی بتوان کاربرد عملی دیگری برای جهان‌های موازی کوانتومی یافت: دورفرستی کوانتومی. «انتقال دهنده»ای که در سریال پیشتازان فضا و دیگر برنامه‌های علمی ـ تخیلی، برای انتقال افراد و تجهیزات

در فضا استفاده می‌شود، بیشتر شبیه به روش مرموزی برای کوتاه کردن فواصل زیاد به‌نظر می‌رسد. ولی به‌نظر می‌رسد در عین امیدوارکننده بودن این ایده، یعنی انتقال به دور، با اصل عدم قطعیت در تناقض است. با اعمال فرایند اندازه‌گیری بر روی یک اتم، حالت اتم خراب می‌شود، و بنابراین دیگر نمی‌توان کپی دقیقی از آن ساخت.

اما دانشمندان در سال ۱۹۹۳، از طریق مفهومی به نام وابستگی کوانتومی[1]، موفق به یافتن راه حلی برای این مسئله شدند. این مسئله براساس آزمایش قدیمی که در سال ۱۹۳۵ به‌وسیله اینشتین و همکارانش بوریس پودولسکی و ناتان روزن ترتیب داده شده بود (پارادوکس EPR)، بناشده است. هدف از انجام این آزمایش نشان دادن احمقانه بودن نظریه کوانتوم بود. فرض کنید انفجاری رخ می‌دهد و دو الکترون در جهات مخالف و تقریباً نزدیک به سرعت نور، پرتاب می‌شوند. از آنجایی‌که الکترون‌ها می‌توانند دور خود بچرخند یا اسپین داشته باشند، فرض کنید که اسپین آن‌ها به‌هم وابسته باشد. یعنی اگر یکی از الکترون‌ها جهت محور چرخشش به سمت بالا باشد، جهت چرخش الکترون دیگر به سمت پایین خواهد بود. (به‌گونه‌ای که مجموع اسپین‌ها برابر صفر است.) با این حال قبل از اینکه اندازه‌گیری انجام دهیم، نمی‌دانیم که هر یک از الکترون‌ها در چه جهتی در حال چرخش هستند.

حال، سال‌های متمادی صبر کنید. در این زمان الکترون‌ها چندین سال نوری از هم فاصله گرفته‌اند. حال اگر اسپین یکی از الکترون‌ها را اندازه بگیریم، و مشاهده کنیم که اسپین آن به سمت بالاست، سپس فوراً در می‌یابیم که اسپین الکترون دیگر به سمت پایین است (و برعکس). در واقع این حقیقت که یکی از الکترون‌ها اسپینش به سمت بالاست، الکترون دیگر را مجبور می‌کند که اسپینی به سمت پایین اختیار کند. یعنی فوراً می‌توانیم در مورد الکترونی با فاصله چندین سال نوری اطلاع حاصل کنیم. (اینطور به‌نظر می‌رسد که اطلاعات سریع‌تر از سرعت نور منتقل شده‌اند، که در تناقض

1. Quantum entanglement

آشکار با نسبیت خاص اینشتین است.) با استفاده از دلایل هوشمندانه، اینشتین موفق شد نشان دهد که با انجام دادن اندازه‌گیری موفقیت‌آمیز بر روی یکی از جفت‌ها، می‌توان اصل عدم قطعیت را زیر سوآل برد. مهم‌تر از این او نشان داد که مکانیک کوانتومی از آنچه که قبلاً تصور می‌شد بسیار عجیب‌تر بود.

تا آن زمان فیزیکدانان عقیده داشتند که جهان مفهومی محلی است و تحولات در یک بخش از جهان، تنها به صورت محلی از منبع خود منتشر می‌شوند. اینشتین نشان داد که مکانیک کوانتومی ضرورتاً غیرمحلی است و تحولات ناشی از یک منبع می‌تواند آناً بخش‌های دوردست جهان را نیز متاثر کند. اینشتین نام آن را «تاثیر شبح وار از فاصله دور» نامید که البته گمان می‌کرد نامعقول و بی‌معنی است. بنابراین اینشتین اندیشید که نظریه کوانتوم باید اشتباه باشد.

(متخصصین مکانیک کوانتومی توانستند پارادوکس اینشتین-پودولسکی-روزن را با این فرض حل کنند که اگر تجهیزات ما تنها به اندازه کافی حساس بودند، واقعاً می‌توانستند جهت چرخش الکترون‌ها را تعیین کنند. وجود ظاهری عدم قطعیت به‌دلیل ناکارآمدی تجهیزات ما و امری تخیلی است. آن‌ها مفهومی را با عنوان متغیر نهانی معرفی کردند، به این معنی که یک نظریه نهانی زیرکوانتومی وجود دارد که در آن هیچ عدم قطعیتی نیست و براساس متغیرهای جدیدی به نام متغیرهای نهانی بنا شده است.)

در سال ۱۹۶۴، زمانی که فیزیکدانی به نام جان بِل، پارادوکس EPR و متغیرهای نهانی را در معرض تست قرار داد، خیلی چیزها آشکار شد. او نشان داد که درآزمایش EPR، وابستگی عددی بین اسپین‌های دو الکترون به‌نظریه مورد استفاده بستگی دارد. اگر نظریه متغیرهای نهانی، همان‌طور که برخی عقیده داشتند درست باشد، اسپین‌ها به یک روش به‌هم وابسته هستند و اگر مکانیک کوانتومی درست باشد، اسپین‌ها به روش دیگری به‌هم وابسته خواهند بود. به بیان دیگر، مکانیک کوانتومی (اساس تمام فیزیک اتمی مدرن)، با استناد به تنها یک آزمایش دچار فراز و نشیب می‌شد.

اما آزمایش‌ها به‌طور قطع ثابت کردند که اینشتین اشتباه می‌کرده است. در اوایل دهه ۱۹۸۰، آلن اَسپِکت و همکارانش در فرانسه آزمایش EPR را با استفاده از دو آشکارساز، با فاصله ۱۳ متر از یکدیگر، ترتیب دادند. در این آزمایش اسپین فوتون‌های منتشر شده از اتم‌های کلسیم، مورد اندازه‌گیری قرار می‌گرفت. در سال ۱۹۹۷، آزمایش EPR با کمک آشکارسازهایی، با فاصله ۱۱ کیلومتر، انجام گرفت. در هر دو مورد، نظریه کوانتوم برنده شد. نوع مشخصی از اطلاعات، سریع‌تر از نور حرکت می‌کنند. (اگرچه اینشتین در مورد آزمایش EPR اشتباه می‌کرد، ولی او در مورد مسئله مهم‌تر مخابرات سریع‌تر از نور درست می‌گفت. آزمایش EPR، اگرچه به شما امکان می‌دهد اطلاعاتی را آناً از طرف دیگر کهکشان کسب کنید، ولی به شما امکان نمی‌دهد که از این طریق پیغامی را ارسال کنید. به‌عنوان مثال نمی‌توانید کد مورس را از این طریق بفرستید. در حقیقت یک «فرستنده EPR» تنها سیگنال‌های تصادفی را می‌فرستد، زیرا هر بار که اسپین را اندازه‌گیری می‌کنید، به‌طور تصادفی می‌تواند متفاوت باشد. درست است که آزمایش EPR به شما امکان می‌دهد داده‌هایی را در ارتباط با طرف دیگر کهکشان کسب کنید ولی به شما امکان نمی‌دهد که اطلاعات مفیدی را، که تصادفی نیستند، ارسال کنید.)

بل این اثر را با استفاده از مثالی از یک ریاضیدان به نام بِرتِلزمان توضیح داده است. این ریاضیدان دارای عادت عجیبی بود که بر طبق آن هر روز به صورت تصادفی یک لنگه جوراب آبی و یک لنگه جوراب سبز می‌پوشید. اگر روزی می‌دیدید که لنگه پای چپ او آبی است، با سرعتی سریع‌تر از نور می‌فهمیدید که لنگه دیگر سبز است. اما دانستن این موضوع به این معنی نیست که می‌توانید این اطلاعات را به‌همین روش انتقال دهید. آشکارسازی اطلاعات با ارسال آن تفاوت دارد. آزمایش EPR به این معنی نیست که می‌توانیم اطلاعات را از طریق تله پاتی، سفر سریع‌تر از زمان، یا سفر در زمان مخابره کنیم. غیرممکن است خودمان را از یکتایی جهان جدا کنیم.

به‌این‌ترتیب تصویر متفاوتی از جهان برای ما شکل می‌گیرد. در این

تصویر، بین هر اتم از بدن ما و اتم‌هایی که چندین سال نوری با ما فاصله دارند، «وابستگی» کیهانی وجود دارد. از آنجایی‌که تمام مواد، از یک انفجار (همان انفجار بزرگ) ناشی شده‌اند، اتم‌های بدن ما به نوعی با اتم‌های دیگری در طرف دیگر جهان، در نوعی شبکه کوانتومی کیهانی، پیوند دارند. ذرات مقید به هم، به نوعی شبیه به دوقلوهایی هستند که هنوز از طریق بند ناف (تابع موج آن‌ها)، که می‌تواند طولی برابر چندین سال نوری داشته باشد، به‌هم اتصال دارند. اتفاقی که برای یکی از این زوج بیفتد به‌طور خودکار بر روی دیگری نیز اثر می‌گذارد و بنابراین دانش مربوط به یک ذره می‌تواند آناً دانش مربوط به دیگری را آشکار کند. زوج‌های مقید به‌گونه‌ای رفتار می‌کنند که انگار یکی هستند، اگرچه ممکن است از هم فاصله بسیاری گرفته باشند. (می‌توان گفت توابع موج ذرات در انفجار بزرگ زمانی متصل و همدوس بوده‌اند و بنابراین تابع موج آن‌ها ممکن است هنوز هم میلیاردها سال پس از انفجار بزرگ تا اندازه‌ای به‌هم متصل باشند. به‌گونه‌ای که، تحولات در یک بخش از تابع موج می‌تواند بخش دیگری را در فاصله دور تحت تاثیر قرار دهد.)

در سال ۱۹۹۳، دانشمندان با استفاده از مفهوم وابستگی EPR، مکانیزمی را برای دورفرستی کوانتومی ارائه کردند. در سال ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸، دانشمندان کلتک، دانشگاه آرهوس در دانمارک و دانشگاه ولز، اولین نمایش آزمایشگاهی دورفرستی کوانتومی را ارائه کردند. در این آزمایش یک فوتون تنها، در عرض یک میز منتقل گردید. یکی از اعضای این تیم به نام ساموئل براونشتین از دانشگاه ولز، زوج‌های مقید را به عاشقانی تشبیه کرده است که «یکدیگر را آنقدر خوب می‌شناسند که می‌توانند حتی زمانی که از هم دور هستند به سوآلاتی در مورد معشوق خود پاسخ دهند.»

(در آزمایش دورفرستی کوانتومی به سه جسم نیاز داریم: A، B و C. فرض کنید A و B دوقلوهایی هستند که نسبت به‌هم مقیدند. اگرچه ممکن است B و C از هم فاصله گرفته باشند، اما هنوز هم نسبت به‌هم مقیدند. حال فرض کنید که B با A، که جسمی است که باید به دور منتقل شود، برخورد

داشته باشد. B، A را بررسی کرده و بنابراین اطلاعات موجود در A به B منتقل می‌شود. آنگاه این اطلاعات به‌طور اتوماتیک به C منتقل می‌شود. بنابراین C به نسخه رونوشت A بدل خواهد شد.)

پیشرفت در دورفرستی کوانتومی، به‌سرعت در حال شکل‌گیری است. دانشمندان دانشگاه ژنو در سویس توانستند از طریق کابل فیبر نوری، فوتون‌ها را در فاصله ۲ کیلومتر، به راه دور منتقل کنند. فوتون‌های نوری (با طول موج ۱/۳ میلی‌متر) در آزمایشگاهی، به فوتون‌های نوری با طول موج (۱/۵۵ میلی‌متر)، به آزمایشگاهی که به‌وسیله یک کابل بلند به‌هم متصل شده بودند، منتقل شدند. نیکولاس گیسین، یکی از فیزیکدانان این پروژه گفته است، «احتمالاً در مدت زمان حیات من، اجرام بزرگتری‌مثل مولکول، به دور منتقل خواهند شد، اما اجرام بزرگ واقعی را نمی‌توان با استفاده از فناوری های قابل تصور، به دور منتقل کرد.»

در سال ۲۰۰۴، زمانی که دانشمندان در انستیتوی ملی استانداردها و فناوری، موفق شدند که نه فقط کوانتومی از نور (فوتون)، بلکه یک اتم کامل را به دور انتقال دهند، پیشرفت مهم دیگری صورت گرفت. آن‌ها موفق شدند سه اتم برلیم را به یکدیگر مقید کرده و به‌این‌ترتیب مشخصات یک اتم را به دیگری منتقل کنند.

کاربردهای عملی دورفرستی کوانتومی، بالقوه عظیم هستند. با این حال نباید از خاطر برد که مشکلات عملی متعددی در مسیر دورفرستی کوانتومی قرار دارد. نخست اینکه جرم اصلی در طول فرایند از بین می‌رود، و بنابراین نمی‌توانید کپی دیگری، از جرم منتقل شده، بسازید. تنها امکان یکبار کپی برداری وجود دارد. دوم اینکه شما نمی‌توانید جرمی را سریع‌تر از نور، به دور منتقل کنید. نسبیت هنوز هم حاکم است؛ حتی برای دورفرستی کوانتومی. (برای دورفرستی جرم A به جرم C، هنوز هم به جرم واسط B نیاز است که آن دو را به‌هم متصل کرده و آهسته‌تر از سرعت نور حرکت می‌کند.) سوم اینکه، شاید مهم‌ترین محدودیت دورفرستی کوانتومی همان مشکلی است که در محاسبات کوانتومی با آن مواجه می‌شویم: اجرام مورد نظر باید

همدوس باشند. وجود کوچک‌ترین آلودگی در محیط، دورفرستی کوانتومی را با مشکل مواجه خواهد کرد. اما با وجود همه این‌ها ممکن است که در قرن بیست و یکم شاهد دورفرستی اولین ویروس باشیم.

دورفرستی انسان‌ها ممکن است مشکلات دیگری را نیز برانگیزد. برانشتین می‌گوید: «در این مورد، مسئله کلیدی در حال حاضر مقدار خالص اطلاعات است. چنین انتقالی حتی با کمک بهترین کانال‌های مخابراتی امروزی، بیش از عمر جهان طول می‌کشد.»

تابع موج جهان

اما شاید تحقق نهایی نظریه کوانتوم زمانی رخ دهد که مکانیک کوانتومی را نه فقط بر روی فوتون‌های مستقل، بلکه بر کل جهان اعمال کنیم. استیون هوکینگ به طنز گفته است، هر بار به معمای گربه می‌اندیشم، به‌دنبال اسلحه خود می‌گردم. او راه حل خود را برای این معما ارائه کرده است؛ داشتن تابع موجی برای کل جهان. اگر کل جهان بخشی از تابع موج باشد، آنگاه دیگر نیازی به یک مشاهده‌گر (کسی که باید بیرون از جهان وجود داشته باشد) نخواهد بود.

در نظریه کوانتوم، هر ذره‌ای، با یک موج همراه است. موج نیز به نوبه خود، احتمال یافتن ذره را در هر نقطه نشان می‌دهد. جهان، زمانی که بسیار جوان بوده است، از یک ذره زیراتمی نیز کوچک‌تر بوده است. بنابراین شاید خود جهان نیز تابع موجی داشته باشد. از آنجاکه الکترون می‌تواند به‌طور هم‌زمان در حالات متعددی وجود داشته باشد و از آنجاکه جهان از یک الکترون هم کوچک‌تر بوده است، بنابراین شاید جهان نیز به‌طور هم‌زمان در حالات متعددی وجود داشته است، که از طریق یک اَبَر تابع موج تعریف می‌شود.

این شکل دیگری از نظریه جهان‌های متعدد است: به یک ناظر کیهانی، که بتواند کل جهان را به یکباره مشاهده کند، نیازی نیست. اما تابع موج هوکینگ کاملاً با تابع موج شرودینگر متفاوت است. در تابع موج شرودینگر، در هر

نقطه در فضا ـ زمان، یک تابع موج وجود دارد. در تابع موج هوکینگ، برای هر جهان یک موج وجود دارد. به‌جای تابع *psi* شرودینگر، که تمام حالات ممکن الکترون را توصیف می‌کند، هوکینگ تابع *psi*ای را معرفی می‌کند که بیانگر تمام حالات ممکن جهان است. در مکانیک کوانتومی معمولی، الکترون در فضای معمولی وجود دارد. با این حال در تابع موج جهان، تابع موج در «اَبَر فضا» وجود دارد؛ فضای تمام جهان‌های ممکن که ویلر معرفی کرده است.

این تابع موج اصلی (مادر تمام توابع موج)، از معادلات شرودینگر (که فقط برای الکترون تنها صادق است) تبعیت نمی‌کند، بلکه از معادلات ویلر ـ دِویت پیروی می‌کند، که برای تمام جهان‌های محتمل صادق است. در اوایل دهه ۱۹۹۰، هوکینگ نوشت که قادر است تا اندازه‌ای تابع موج خود را از جهان، حل کرده و نشان دهد که محتمل‌ترین جهان، جهانی است که دارای یک ثابت کیهانی نزدیک به صفر باشد. این مقاله، به‌دلیل اینکه وابسته به حاصل جمع تمام جهان‌های محتمل بود، بحث انگیز شد. هوکینگ، کرمچاله‌هایی که جهان ما را به تمام جهان‌های محتمل دیگر متصل می‌کنند را نیز در این حاصل جمع، منظور کرد. (دریای بی‌نهایتی از حباب‌های صابون شناور در هوا را در نظر بگیرید که همه آن‌ها از طریق رشته‌های باریکی یا همان کرمچاله‌ها به‌هم متصل هستند، سپس همه را با هم جمع کنید.)

سرانجام تردیدهایی در مورد روش بلندپروازانه هوکینگ به‌وجود آمد. مشخص شد که حاصل جمع تمام جهان‌های محتمل از نظر ریاضی نامعتبر و غیرقابل اطمینان است؛ حداقل تا زمانی که «نظریه همه چیز» برای به پیش راندن ما، وجود داشته باشد. منتقدان عقیده داشتند قبل از اینکه نظریه همه چیز ساخته شود، نمی‌توان در واقع به هیچ یک از محاسبات مربوط به ماشین زمان، کرمچاله‌ها، لحظه انفجار بزرگ و توابع موج جهان، اعتماد کرد.

به‌هرحال امروزه، تعداد زیادی از فیزیکدانان عقیده دارند بالاخره توانسته‌ایم نظریه همه چیز، یا همان نظریه M را بیابیم. آیا این نظریه همان‌طور که اینشتین عقیده داشت به ما این امکان را می‌دهد که «ذهن خدا را بخوانیم»؟

فصل ۷ نظریه M مادر تمام ریسمان‌ها

از نظر کسی که بتواند از یک دیدگاه یکپارچه، مفهوم جهان را درک کند، کل آفرینش به صورت یک حقیقت و ضرورت منحصر به‌فرد به‌نظر می‌رسد.

– ژان لورون دالامبر

احساس می‌کنم چنان به نظریه ریسمان‌ها نزدیک شده‌ایم که شکل نهایی نظریه روزی از آسمان جلوی پای یک نفر بیفتد. اما اگر واقع بینانه‌تر بگویم، احساسم بر این است که هم‌اکنون در طول فرایند شکل دادن به نظریه‌ای بسیار عمیق‌تر از هر آنچه تاکنون داشته‌ایم، قرار داریم و با پیشروی در قرن بیست و یکم، زمانی که من آنقدر پیر هستم که دیگر نمی‌توانم ایده مفیدی را در این زمینه ارائه کنم، این فیزیکدانان جوان‌تر هستند که تصمیم می‌گیرند، آیا واقعاً نظریه نهایی را یافته‌اند یا نه.

– ادوارد ویتن

رمان کلاسیک مرد نامرئی، نوشته اِچ جی وِلز، در سال ۱۸۹۷، با داستان عجیبی آغاز می‌شود. در یک روز سرد زمستانی، غریبه‌ای با لباس‌هایی عجیب از درون تاریکی بیرون می‌آید. صورتش کاملاً پوشیده شده است. عینک آبی تیره‌ای به چشم داشته و باندهای سفید رنگ کل صورتش را پوشانده‌اند.

در ابتدا روستائیان، با تصور اینکه تصادف وحشتناکی را پشت سر

گذاشته، نسبت به او احساس ترحم می‌کنند. اما با گذشت زمان اتفاقات عجیبی در روستا به وقوع می‌پیوندد. یک روز زمانی که زن صاحبخانه وارد اتاق خالی او می‌شود، در کمال تعجب می‌بیند که لباس‌های او به اطراف حرکت می‌کنند. کلاه در اتاق به این طرف و آن طرف رفته، رختخواب به هوا بلند شده، صندلی‌ها حرکت کرده و آن‌طور که زن صاحبخانه، با وحشت تعریف می‌کند: «لوازم خانه دیوانه شده بودند.»

به‌زودی شایعاتی در مورد این اتفاقات غیرمعمول در دهکده شنیده می‌شود. بالاخره، گروهی از روستائیان جمع شده و با این غریبه مرموز روبرو می‌شوند. در کمال شگفتی، او آهسته شروع به باز کردن باندهای صورت خود می‌کند. افراد مبهوت می‌شوند. بدون باندها، مرد غریبه صورت ندارد. در حقیقت او نامرئی است. روستائیان نعره زده و شهر دچار آشوب می‌شود. آن‌ها سعی می‌کنند مرد نامرئی را دستگیر کنند، اما او به‌راحتی از دست آن‌ها می‌گریزد.

او پس از ارتکاب چند جرم پیش پا افتاده، تصمیم می‌گیرد نزد یکی از آشنایان قدیمی رفته و داستان جالب خود را برای او تعریف کند. نام واقعی او آقای گریفین، از کالج دانشگاه است. او حین آموزش علم پزشکی در دانشگاه، اتفاقاً به روشی بر می‌خورد که به کمک آن می‌توان ویژگی‌های انعکاسی و انکساری گوشت بدن را تغییر داد. راز نهفته او، استفاده از بعد چهارم است. او به دکتر کمپ می‌گوید: «من موفق به یافتن یک اصل کلی شده‌ام... یک فرمول یا یک عبارت هندسی مربوط به چهار بعد.»

متأسفانه، به‌جای استفاده از این کشف بزرگ برای کمک به انسان‌ها، در عوض افکار او حول سرقت اندوخته‌های شخصی چرخ می‌زند. او در این کار به دوستش پیشنهاد شراکت می‌دهد. گریفین معتقد است که هر دو به کمک هم می‌توانند جهان را به تاراج ببرند. اما دوست او وحشت کرده، و پلیس را از وجود آقای گریفین مطلع می‌سازد. به‌این‌ترتیب در آخر داستان تعقیب و گریزی بین پلیس و مرد نامرئی در می‌گیرد که در نهایت مرد نامرئی تا سرحد مرگ زخمی می‌شود.

درست همانند دیگر رمان‌های برجسته علمی ـ تخیلی، در بسیاری از داستان‌های اِچ جی وِلز، ریشه علمی وجود دارد. اگر کسی بتواند به درون این بعد فضایی چهارم (یا چیزی که امروزه با احتساب زمان به‌عنوان بعد چهارم، بعد پنجم نامیده می‌شود) وارد شود، واقعاً می‌تواند نامرئی شده و حتی قدرت‌هایی را به‌دست آورد که به‌طور معمول به ارواح و خدایان نسبت داده می‌شوند. برای لحظه‌ای فرض کنید، درست همانند رمان سرزمین تخت، نوشته اِدوین آبوت در سال ۱۸۸۴، نسلی از موجودات افسانه‌ای در دنیای دو بعدی روی میز زندگی کنند. این موجودات بدون آنکه بدانند جهان کامل دیگری، یعنی بعد سوم، آن‌ها را فراگرفته است، به کار و زندگی خود مشغولند.

اما اگر دانشمندی در این سرزمین تخت بتواند آزمایشی ترتیب دهد که به کمک آن چند سانتی‌متر بالاتر از میز به پرواز در آید، به‌این‌ترتیب می‌تواند نامرئی گردد. زیرا نور در این حالت، از زیر او عبور کرده و انگار اصلاً وجود نداشته است. او درحالی‌که بالای میز شناور است، می‌تواند به‌راحتی و بی‌پرده، بدون اینکه دیده شود، شاهد رویدادهای روی میز باشد. شناور بودن در فرافضا فوائد قطعی در پی دارد، زیرا کسی که از آن منظر به پایین می‌نگرد، قدرت خداگونه خواهد داشت.

این مسئله که او در بالای میز شناور است، نه فقط باعث می‌شود که نور از زیر پای او عبور کند، بلکه امکان گذشتن از بالای اجسام روی میز را نیز برای او فراهم می‌آورد. به بیان دیگر، او می‌تواند هروقت که بخواهد نامرئی شده و از درون دیوارها و اجسام عبور کند. به‌این‌ترتیب، جهش به بعد سوم به معنی نامرئی شدن در دنیای دو بعدی روی‌میز است. و اگر دوباره بر روی سطح میز بازگردد، ناگهان به‌نظر می‌رسد که از «هیچ» ظاهر شده است. با استفاده از این روش، او می‌تواند به‌راحتی از هر زندانی فرار کند. در سرزمین تخت یک زندان عبارت است از خطی که به دور فرد زندانی می‌کشند، و تنها با رفتن به بعد سوم به‌راحتی می‌توان از روی خط پریده و فرار کرد.

به‌راحتی قابل تصور است که مخفی نگاه داشتن اسرار از یک فراموجود غیرممکن است. از منظر بعد سوم، طلایی که در غاری در دنیای دو بعدی

مخفی شده است به‌راحتی دیده می‌شود. زیرا در این دنیا، غار تنها یک چهارگوش باز است. برای بیرون آوردن طلا، حتی نیازی به وارد شدن به چهارگوش نخواهد بود. جالب‌تر اینکه، انجام عملیات جراحی بدون بریدن پوست امکان‌پذیر می‌شود.

اِچ جی وِلز قصد دارد، به‌طور مشابه، این ایده را به دنیای چهار بعدی تعمیم دهد. از نظر ما انسان‌های ساکن سه بعد، دنیا عبارت است از تمام آنچه که می‌توانیم ببینیم؛ غافل از اینکه ممکن است جهان‌های کامل دیگری، درست در بالای سر ما وجود داشته باشند. اگرچه آن جهان دیگر ممکن است تنها چندین سانتیمتر بالای سر ما باشد، ولی می‌دانیم که شناور شدن در بعد چهارم، منجر به ناپدید شدن می‌گردد.

از آنجایی‌که فراموجودات دارای قدرت‌های اَبَرانسانی‌اند (که اغلب به ارواح و اشباح نسبت داده می‌شوند)، در داستان علمی ـ تخیلی دیگری، اِچ جی ولز به این مسئله پرداخته است که شاید موجودات اَبَرطبیعی وجود دارند که در ابعاد بالاتری زندگی می‌کنند. سوآلی که او طرح کرد، امروزه موضوع تحقیقات و تفکرات عمیقی گشته است: آیا در این ابعاد بالاتر، قوانین فیزیکی جدیدی وجود دارند؟ در رمان ملاقات شگفت‌انگیز سال ۱۸۹۵ وِلز، گلوله اسلحه کشیشی تصادفاً به فرشته‌ای که از درون دنیای ما عبور می‌کرده است، اصابت می‌کند.

به خاطر برخی دلایل کیهانی، برخورد اتفاقی جهان ما و جهان موازی دیگری، باعث شده است که این فرشته به ابعاد دنیای ما وارد شود. در این داستان، ولز اینگونه می‌نویسد: «بی نهایت جهان سه بعدی می‌توانند در کنار یکدیگر قرار گرفته باشند.» کشیش، از فرشته زخمی سوآلاتی می‌پرسد. او، در کمال تعجب، در می‌یابد قوانین طبیعت ما در دنیای فرشته صادق نیستند. به‌عنوان مثال، در دنیای فرشته صفحه وجود ندارد، بلکه در عوض استوانه‌هایی وجود دارند و بنابراین فضا منحنی است. (بیست سال قبل از نظریه نسبیت عام اینشتین، وِلز با ایده جهان‌هایی که بر روی صفحات منحنی وجود دارند، دست و پنجه نرم می‌کرده است.) آن‌طور که کشیش بیان می‌کند:

«هندسه آن‌ها با ما متفاوت است. زیرا فضای آن‌ها منحنی است؛ به‌گونه‌ای که تمام صفحات آن‌ها به صورت استوانه هستند. بنابراین قانون گرانش در آنجا دیگر بر اساس عکس مجذور عمل نمی‌کند. به‌علاوه، در آنجا به‌جای سه رنگ اصلی، بیست و چهار رنگ اصلی وجود دارد.» بیش از یک قرن پس از نوشته شدن این داستان، امروزه فیزیکدانان می‌دانند واقعاً این امکان وجود دارد که در جهان‌های موازی دیگر، قوانین جدید فیزیکی، با مجموعه متفاوتی از ذرات زیراتمی، اتم‌ها و واکنش‌های شیمیایی، حکمفرما باشند. (همان‌طور که در فصل ۹ خواهیم دید، هم‌اکنون آزمایش‌ها متعددی ترتیب داده شده‌اند، تا بتوان به کمک آن‌ها، وجود جهان‌های موازی شناور بالای سرما را آشکار کرد.)

مفهوم فرافضا، مخصوصاً در ابتدای قرن بیستم، الهام بخش بسیاری از هنرمندان، موسیقیدانان، عرفا، خداشناسان، و فیلسوفان بوده است. تاریخ‌نویس هنری، لیندا دالریمپل هندرسون، معتقد است که شکل‌گیری سبک کوبیسم، متاثر از علاقه پابلو پیکاسو به بعد چهارم بوده است. (چشمان زنانی که او نقاشی کرده است، مستقیماً به ما می‌نگرند ولو اینکه صورت‌شان به سمت دیگری چرخیده باشد. به‌این‌ترتیب قادریم آن‌ها را به‌طورکامل ببینیم. به‌طور مشابه زمانی که یک اَبَرموجود از بالا به ما می‌نگرد، ما را کامل می‌بیند؛ از جلو، پشت و اطراف به‌طور هم‌زمان.) سالوادور دالی در نقاشی معروفش، مصلوب کردن،[1] حضرت مسیح را مصلوب در مقابل یک فرامکعب چهاربعدی از هم باز شده یا یک تِسِرکت (همتای چهار بعدی یک مکعب)، نقاشی کرده است. در نقاشی دیگری به نام تداوم حافظه، او سعی کرده است با کمک ساعت‌های ذوب شده، مفهوم زمان را، به‌عنوان بعد چهارم نشان دهد. در نقاشی مارسل دوشان، برهنه از پلکان پایین می‌آید (شماره ۲)، در تلاش دیگری برای گیرانداختن بعد چهارم زمان بر روی سطح دو بعدی، برهنه‌ای را می‌بینیم که در حرکت گذار زمان از پله‌ها پایین می‌آید.

---

1. *Christus Hypercubus*

نظریه M

امروزه، اسرار مربوط به بعد چهارم، به‌دلیلی کاملاً متفاوت مجدداً احیا شده‌اند؛ ظهور نظریه ریسمان‌ها و آخرین نسخه آن، یعنی نظریه. M از نظر تاریخی فیزیکدانان مصرانه با مفهوم فرافضا مقابله کرده‌اند. آن‌ها با تمسخر بیان می‌کردند که ابعاد بالاتر در حیطه فکری معتقدان به ماوراءالطبیعه قرار دارد. به‌این‌ترتیب دانشمندانی که به‌طور جدی وجود دنیاهای نادیدنی را مطرح می‌کردند، همواره مورد تمسخر واقع می‌شدند.

با ورود نظریه M، این وضعیت تغییر کرد و مسئله ابعاد بالاتر، در مرکز انقلاب عظیم فیزیک قرار گرفت. فیزیکدانان مجبورند با بزرگ‌ترین معمایی که علم فیزیک امروزه با آن دست و پنجه نرم می‌کند، مواجه شوند؛ یعنی شکاف موجود بین نسبیت عام و نظریه کوانتوم. این دو نظریه، با هم، شامل مجموع تمام دانش فیزیکی جهان، در سطح بنیادی آن هستند. در حال حاضر تنها نظریه M قادر است این دو نظریه در ظاهر متناقض و بزرگ را به یک مجموع یکپارچه تبدیل ساخته، رویای «نظریه همه چیز» را محقق کند. از بین تمام نظریه‌هایی که در قرن گذشته ارائه شده‌اند، تنها نظریه‌ای که از نظر اینشتین قابلیت «خواندن ذهن خدا» را دارد، نظریه M است.

می‌توان گفت تنها در فرافضای ده یا یازده بعدی، به اندازه کافی فضای خالی برای یکپارچه کردن تمام نیروهای طبیعت در یک نظریه زیبا و شکیل داریم. چنین نظریه شگفت‌آوری قادر خواهد بود به سوآلات همیشگی ما پاسخ دهد: قبل از آغاز جهان، چه اتفاقی افتاده است؟ آیا می‌توان زمان را معکوس کرد؟ آیا بُعدگذرها می‌توانند ما را در جهان جابجا کنند؟ (اگرچه منتقدین به درستی بیان می‌کنند که مورد آزمایش قرار دادن این نظریه، بسیار فراتر از قابلیت‌های آزمایشگاهی حال حاضر ما است، با این حال هم‌اکنون برخی آزمایش‌ها در حال طرح و برنامه‌ریزی هستند که ممکن است، همان‌طور که در بخش ۹ خواهیم دید، بتوانند این وضعیت را تغییر دهند.)

در طول پنجاه سال گذشته، تمام تلاش‌ها برای ایجاد یک توصیف کاملاً یکپارچه از جهان، به شکست منتهی شده است. از نظر مفهومی درک این

مسئله آسان است. نسبیت عام و نظریه کوانتوم از هر نظر شدیداً با هم در تضاد هستند. نسبیت عام نظریه‌ای است برای اجرام بزرگ: سیاهچاله‌ها، انفجارهای بزرگ، اختروش‌ها و جهان در حال انبساط.

این نظریه براساس ریاضیات صفحات هموار بنا شده است؛ مثل ملحفه تخت یا تور آکروبات. از طرف دیگر، نظریه کوانتوم کاملاً در نقطه مقابل قرار دارد. این نظریه، توصیف کننده جهان اجرام بسیار کوچک است: اتم‌ها، پروتون‌ها، نوترون‌ها و کوارک‌ها. اساس نظریه کوانتوم وجود بسته‌های مجزایی از انرژی به نام کوانتوم است. برخلاف نسبیت، نظریه کوانتوم بیان می‌کند که تنها احتمال رویدادها را می‌توان محاسبه کرد. بنابراین هیچ‌گاه نمی‌توانیم با اطمینان مکان دقیق یک الکترون را بدانیم. این دو نظریه بر مبنای ریاضیات متفاوت، فرضیات متفاوت، اصول فیزیکی متفاوت و در قلمروهای متفاوتی بنا شده‌اند. عجیب نیست که تمام تلاش‌ها برای یکپارچه کردن آن‌ها بی‌نتیجه مانده است.

غول‌های فیزیک، مثل اِروین شرودینگر، وِرنِر هایزنبرگ، ولفگانگ پائولی، و آرتور اِدینگتون، کسانی که دنباله روی اینشتین بوده‌اند، همگی دستی بر نظریه میدان یکپارچه زده‌اند و البته همه شکست خورده‌اند. در سال ۱۹۲۸، اینشتین با ارائه نسخه زودهنگام نظریه خود برای همه چیز، باعث ایجاد توفانی در رسانه‌ها گردید. مجله نیویورک تایمز حتی بخش‌هایی از این مقاله را، حاوی معادلات او، منتشر کرد. بیش از صدها خبرنگار اطراف خانه او ازدحام کردند. ادینگتون از انگلستان برای اینشتین نوشت: «شاید برایتان جالب باشد بدانید یکی از فروشگاه‌های بزرگ ما در لندن مقاله شما را روی شیشه خود نصب کرده است (هر شش صفحه را در کنار هم)؛ به‌گونه‌ای که عابرین پیاده بتوانند آن را کامل بخوانند. جالب اینجاست که جمعیت زیادی برای خواندن آن جمع می‌شوند.»

در سال ۱۹۴۶، اِروین شرودینگر نیز خود را درگیر این مسئله کرد و آنچه را گمان می‌کرد همان نظریه افسانه‌ای میدان یکپارچه باشد، مطرح کرد. به‌دلیل عجله زیاد، شرودینگر در زمان خود کار تقریباً نامتعارفی را انجام داد

(که امروزه زیاد نامتعارف نیست): او کنفرانس خبری را ترتیب داد که حتی نخست وزیر ایرلند، ایمون دی والِرا، برای گوش دادن به صحبت‌های شرودینگر، در جلسه حضور پیدا کرد. زمانی که از او پرسیده شد تا چه حد اطمینان دارد که توانسته است سرانجام نظریه میدان یکپارچه را بیابد، پاسخ داد: «من ایمان دارم که درست می‌گویم. اگر اشتباه می‌کردم باید شبیه یک دلقک زشت می‌بودم.» سرانجام نیویورک تایمز از این کنفرانس خبری مطلع شد و نسخه چاپ شده آن را به اینشتین و دیگران، برای دریافت اظهار نظرهای‌شان، ارسال کرد. متأسفانه اینشتین دریافت که شرودینگر نظریه‌ای قدیمی را که اینشتین سال‌ها پیش مطرح کرده و رد شده بود، مجدداً کشف کرده است. اینشتین در پاسخ خود مودبانه برخورد کرد، اما عکس‌العمل شرودینگر اهانت‌آمیز بود.)

در سال ۱۹۵۸، فیزیکدانی به نام ژِرمی بِرنشتِین، در یک سخنرانی در دانشگاه کلمبیا شرکت کرد. در این گردهم‌آیی، ولفگانگ پائولی نسخه خود را از نظریه میدان یکپارچه، که آن را با کمک ورنر هایزنبرگ تهیه کرده بود، مطرح کرد. نیلز بور که در جمع مخاطبین قرار داشت، متقاعد نشد. بالاخره بور بلند شد و گفت: «ما در این طرف، متقاعد شدیم که نظریه شما احمقانه است. اما آن چیزی که ما را از هم متمایز می‌سازد این است که آیا نظریه شما به اندازه کافی احمقانه است یا نه.»

پائولی سریعاً منظور بور را فهمید. اینکه نظریه هایزنبرگ ـ پائولی بسیار سنتی‌تر و معمولی‌تر از آن بود که بتواند نظریه میدان یکپارچه باشد. «خواندن ذهن خدا» به معنی ارائه ریاضیات و ایده‌هایی است که از ریشه متفاوت باشند.

بسیاری از فیزیکدانان متقاعد شده‌اند که در پس هر چیز، نظریه‌ای ساده، زیبا و قاطع وجود دارد که با این‌حال به اندازه کافی بی‌معنی و احمقانه هست که به‌نظر صحیح نیاید. جان ویلر از پرینستون، اشاره می‌کند که در قرن نوزدهم توصیف تنوع بی‌کران حیات بر روی کره زمین به‌طور نومیدکننده‌ای غیرممکن به‌نظر می‌رسید. اما بعد چارلز داروین نظریه انتخاب طبیعی را

مطرح کرد؛ نظریه مستقلی که ساختاری را برای توضیح منشاء و گوناگونی تمام حیات بر روی زمین ارائه می‌کرد.

استیون واینبرگ، دارنده جایزه نوبل، از مثال متفاوتی استفاده می‌کند. پس از کریستف کلمب، نقشه‌های به‌دست آمده از سفرهای جسورانه او و همراهانش نشان می‌دادند که باید «قطب شمالی» وجود داشته باشد، ولی دلیل محکمی برای این ادعا وجود نداشت. به این دلیل که نقشه‌های موجود از کره زمین همه دارای شکاف بزرگی بودند که گمان می‌رفت باید در آن قطب شمال وجود داشته باشد، اگرچه جستجوگران اولیه هرگز چنین چیزی را ندیده بودند، اما فرض کردند که قطب شمال وجود دارد. به‌طور مشابه فیزیکدانان امروزی، مثل جستجوگران اولیه، شواهد غیرمستقیم زیادی را دال بر وجود نظریه همه چیز یافته‌اند؛ اگرچه در حال حاضر هیچ توافق عمومی بر روی اینکه این نظریه چیست، وجود ندارد.

تاریخچه نظریه ریسمان‌ها

یکی از نظریه‌هایی که به اندازه کافی احمقانه است تا نظریه میدان یکپارچه باشد، نظریه ریسمان‌ها یا نظریه M است. شاید بتوان گفت نظریه ریسمان‌ها عجیب‌ترین سرگذشت را در تاریخ علم فیزیک داشته است. نه تنها کشف این نظریه کاملاً تصادفی بوده، بلکه در مورد مسئله اشتباهی به‌کار گرفته شده و در پرده‌ای از ابهام باقی مانده است و در آخر، ناگهان به‌عنوان نظریه همه چیز مطرح شده است. در بررسی نهایی، از آنجا که انجام اصلاحات کوچک بدون تخریب نظریه امکان‌پذیر نیست، به‌نظر می‌رسد که نظریه ریسمان‌ها هم می‌تواند «نظریه همه چیز» و هم «نظریه هیچ چیز» باشد.

دلیل این تاریخچه عجیب این است که تکامل نظریه ریسمان‌ها برعکس بوده است. به‌طور معمول در نظریه‌ای مثل نسبیت، در ابتدا کار بر اساس اصول بنیادی فیزیک آغاز می‌شود. سپس این اصول به مجموعه‌ای از معادلات ابتدایی تبدیل می‌شوند. سرانجام تغییرات کوانتومی به این معادلات اعمال می‌شود. نظریه ریسمان‌ها برعکس تکامل یافته و این‌بار در

ابتدا نظریه کوانتومی آن به‌طور تصادفی کشف شده است. فیزیکدانان هنوز نمی‌دانند که کدامیک از اصول فیزیکی ممکن است نظریه را هدایت کرده باشد.

نقطه شروع نظریه ریسمان‌ها به سال ۱۹۶۸ باز می‌گردد، زمانی که دو فیزیکدان جوان در آزمایشگاه هسته‌ای در سِرن ژنو، به نام‌های گابریل وِنتزیانو و ماهیکو سوزوکی، به‌طور مستقل هنگام ورق زدن یک کتاب ریاضی به تابع بِتای اویلر برخورد کردند؛ یک عبارت مبهم ریاضی مربوط به قرن هجدهم که به‌وسیله لئونارد اویلر کشف شد و به‌طور عجیبی به‌نظر می‌رسید که بتواند توصیف‌گر دنیای زیراتمی باشد. آن‌ها حیرت زده شدند، زیرا به‌نظر می‌رسید این فرمول ریاضی خلاصه شده، توصیف گر برخورد دو ذره مزون پای در انرژی‌های بسیار زیاد باشد. مدل ونتزیانو به‌سرعت شور و شعفی در فیزیک ایجاد کرد و در تلاش برای تعمیم این مفهوم به توصیف نیروهای هسته‌ای، صدها مقاله منتشر شدند.

به بیان دیگر، این نظریه کاملاً تصادفی کشف شد. ادوارد ویتن از انستیتوی مطالعات پیشرفته، (کسی که بسیاری عقیده دارند موتور خلاق پشت پرده بسیاری از یافته‌های مهم در این نظریه بوده است) گفته است: «به حق فیزیکدانان قرن بیستم، نباید امتیاز مطالعه این نظریه را به خود اختصاص دهند. در حقیقت قرار نبوده است نظریه ریسمان‌ها در آن زمان اختراع شود.»

من، جنبشی را که نظریه ریسمان‌ها ایجاد کرد، کاملاً به خاطر دارم. من در آن زمان هنوز دانشجوی فوق لیسانس فیزیک در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی بودم و به خاطر می‌آورم که چگونه فیزیکدانان با تاسف سر خود را تکان داده و بیان می‌کردند که قرار نبود فیزیک به اینجا کشیده شود. در گذشته، مطالعات فیزیکی اغلب بر اساس انجام مشاهدات با جزئیات زیاد از طبیعت، فرمول بندی کردن بخشی از فرضیات، آزمایش دقیق ایده‌های مخالف با داده‌ها و سپس تکرار خسته کننده چندباره این فرایند انجام می‌گرفت. نظریه ریسمان‌ها روشی بی‌قاعده بود که تنها بر اساس حدس زدن پاسخ بنا شده بود. تصور نمی‌شد که به‌هیچ‌وجه چنین میان‌برهای مهیجی امکانپذیر و موثر

باشند.

دانشمندان، به‌دلیل اینکه ذرات زیراتمی را نمی‌توان حتی با قدرتمندترین تجهیزات مشاهده کرد، برای تحلیل و بررسی آن‌ها به روشی خشن اما در عین حال موثر روی‌آورده‌اند. آن‌ها این ذرات را در انرژی‌های بسیار زیادی به‌هم می‌کوبند. تاکنون میلیاردها دلار برای ساخت اتم‌شکن‌ها یا شتاب دهنده‌های ذره، به بزرگی چندین کیلومتر هزینه شده است. این تجهیزات پرتوهایی را از ذرات زیراتمی پدید می‌آورند که با یکدیگر برخورد می‌کنند. سپس فیزیکدانان با دقت زیاد باقی مانده‌های این برخورد را مورد بررسی قرار می‌دهند. هدف از انجام این فرایند دشوار و پر زحمت، ایجاد دنباله‌ای از اعداد، به نام ماتریس تفرق، یا ماتریس S است. این مجموعه از اعداد از اهمیت بالایی برخور دارند. زیرا این دنباله، تمام اطلاعات مربوط به ذرات زیراتمی را درون خود کدگذاری کرده است. به این معنی که اگر ماتریس S را بدانیم، می‌توانیم تمام ویژگی‌های ذرات بنیادی را استخراج کنیم.

یکی از اهداف فیزیک ذرات بنیادی پیشگویی ساختار ریاضی ماتریس S، برای فعل و انفعالات قوی است. رسیدن به این هدف چنان مشکل به‌نظر می‌رسید که برخی فیزیکدانان عقیده داشتند که فراتر از هر فیزیک شناخته شده‌ای است. در این صورت می‌توان تصور کرد ونتزیانو و سوزوکی تنها با حدس زدن ماتریس، از طریق ورق زدن یک کتاب ریاضی، چه شور و شعفی به پا کردند.

مدلی که آن‌ها پیشنهاد کردند، جانوری بود از نوعی کاملاً متفاوت با هر آنچه که قبلاً دیده شده بود. اغلب زمانی که کسی نظریه جدیدی را ارائه می‌کند (مثل کوارک‌ها)، فیزیکدانان با تغییر پارامترهای کوچک (مثل جرم ذرات یا قدرت تزویج)، سعی در اصلاح و بهبود نظریه می‌کنند. اما مدل ونتزیانو چنان عالی شکل داده شده بود، که حتی کوچک‌ترین اختلال در تقارن اولیه آن، کل فرمول را ویران می‌کرد. درست همانند قطعه کریستالی که با ظرافت ساخته شده است؛ هر تلاشی برای تغییر شکل آن منجر به شکستن می‌شود.

از صدها مقاله‌ای که در آن به‌طور عوامانه پارامترهای این مدل را بهبود بخشیدند، و در نتیجه زیبایی آن را از بین بردند، در حال حاضر هیچ‌کدام باقی نمانده است. تنها مواردی که هنوز در خاطر مانده‌اند، آن‌هایی هستند که به فهمیدن اینکه چرا این نظریه اصلاً کار کرده است پرداخته‌اند؛ یعنی آن‌هایی که سعی در آشکار کردن تقارن‌های مدل نمودند. سرانجام فیزیکدانان فهمیدند که این نظریه ابداً هیچ پارامتر تعدیل‌پذیری ندارد.

مدل ونتزیانو، در عین اینکه بسیار قابل توجه بود، هنوز مشکلات متعددی داشت. نخست اینکه فیزیکدانان دریافتند این نظریه، تقریب اولیه ماتریس نهایی S بوده و تصویر کلی نیست. بانجی ساکیتا، میگوئل ویراسورو، و کیجی کیکاوا، در دانشگاه ویسکانسین دریافتند که ماتریس S را می‌توان به صورت دنباله نامتناهی از عبارات ریاضی نشان داد و اینکه مدل ونتزیانو تنها اولین و در عین حال مهم‌ترین جمله این دنباله است. (هر یک از جملات دنباله، بیانگر تعداد روش‌هایی است که ذرات می‌توانند به یکدیگر برخورد کنند. این سه نفر قوانینی را فرض کردند که به کمک آن‌ها می‌توان جملات بالاتر را با تقریب به‌دست آورد. من برای تز دکترای خود، تصمیم گرفتم این برنامه را، با دقت زیاد، کامل کنم و تمام تصحیحات ممکن را برای مدل ونتزیانو انجام دهم. و به‌این‌ترتیب به‌همراه هم کلاسی خود، اِل پی یو، مجموعه‌ای نامتناهی از جملات اصلاحی را برای مدل محاسبه کردم.)

سرانجام، یوپچیرو نامبو، از دانشگاه شیکاگو و تتسو گوتو از دانشگاه نیهون، موفق به تعیین ویژگی کلیدی این مدل، یعنی ریسمان مرتعش، گشتند. این ویژگی همان چیزی‌بود که باعث می‌شد مدل به خوبی کار کند (کارهایی نیز به‌وسیله لئونارد ساسکیند و هولگِر نیلسِن به موازات این انجام شد). زمانی که ریسمانی با ریسمان دیگری برخورد می‌کند، ماتریس Sای ایجاد می‌کند که به‌وسیله مدل ونتزیانو تعریف می‌شود. در این تصویر، ذره چیزی نیست جز یک لرزش یا نتی نواخته شده بر روی یک ریسمان. (این مفهوم بعداً با جزئیات بیشتر مطرح می‌شود.)

پیشرفت در این زمینه بسیار سریع صورت گرفت. در سال ۱۹۷۱، جان

شوارتز، اندرو نوو، و پیر رامونـد مدل ریسمان را به‌گونه‌ای تـغییر دادنـد کـه پارامتر جدیدی به نام اسپین را شامل شد. به‌این‌ترتیب آن‌ها این مـدل را بـه کاندیدایی واقع گرایانه برای برهم‌کنش ذرات تبدیل کـردند. (هـمان‌طور کـه می‌دانیم به‌نظر می‌رسد تمام ذرات زیراتمی، مانند یک فرفره کوچک در حال چرخش باشند. مقدار اسپین هر ذره زیراتمی، در واحد کوانتومی، می‌تواند مقداری صحیح مثل ۰، ۱، ۲ یا یک مقدار نیم صحیح مثل ۱/۲ و ۳/۲ باشد. ریسمان نوو-شوارتز-رامونـد، با دقت قابل مـلاحظه‌ای، الگـوی اسـپین‌ها را برای ما فراهم آورده است.)

با این حال، من هنوز راضی نشده بودم. مدل تشدید دوگانه، مجموعه‌ای بی‌قاعده از فرمول‌های عجیب و روش‌های تجربی بود. علم فیزیک در ۱۵۰ سال گذشته، تماماً بر اساس «میدان» بنا شده است؛ از زمانی که اولین‌بار این مفهوم به‌وسیله فیزیکدان بریتانیایی، مـایکل فـارادی، مـطرح شـد. خـطوط میدان مغناطیسی را که به‌وسیله یک آهن‌ربای میله‌ای ایجاد شـده است، در نظر بگیرید. همانند تار عنکبوت، خطوط نیرو در تمام فضا گسترش می‌یابند. در هر نقطه‌ی فضا، می‌توان قدرت و جهت خطوط نیروی مغناطیسی را اندازه گرفت. به‌طور مشابه می‌توان گفت یک میدان، جسمی ریاضی است که در هر نقطه‌ی فضا مقادیر متفاوتی را اختیار می‌کند. بنابراین میدان، قدرت نیروهای مغناطیسی، الکتریکی یا هسته‌ای را، در هـر نـقطه‌ی جـهان تـعیین مـی‌کند. به‌همین دلیل تعریف بنیادی نیروی الکتریکی، مغناطیسی، هسته‌ای و گرانش، بر پایه میدان‌ها شکل می‌گیرد. حال این سـوآل پـیش مـی‌آید کـه چـرا بـاید ریسمان‌ها متفاوت باشند؟ برای پاسخ به این سوآل، بـه یک «نـظریه مـیدان برای ریسمان‌ها» نیاز بود، تا امکان خلاصه کردن کل محتویات نظریه، تنها در یک معادله فراهم آید.

در سال ۱۹۷۴، تصمیم گرفتم خود را در ایـن مسـئله درگـیر کـنم. مـن و همکارم، کیجی کیکاوا از دانشگاه اوزاکا، با موفقیت توانستیم نظریه مـیدان ریسمان‌ها را استخراج کنیم. ما موفق شدیم در معادله‌ای به طول حدود چهار سانتیمتر، تمام اطلاعات موجود در نظریه ریسمان‌ها را جای دهـیم. پس از

اینکه نظریه میدان ریسمان‌ها فرمول بندی‌شد، مجبور بودم مجامع فیزیکی بزرگ‌تر را نیز نسبت به قدرت و زیبایی این فرمول متقاعد کنم. در تابستان همان سال، در یک کنفرانس فیزیک نظری در مرکز اَسپِن در کلرادو، شرکت کردم و در مقابل گروهی کوچک، ولی در عین‌حال منتخب از فیزیکدانان به سخنرانی پرداختم. من کاملاً مضطرب بودم. در میان مخاطبان دو نفر از برندگان جایزه نوبل قرار داشتند؛ موری ژِلمن و ریچارد فاینمن. هر دوی آن‌ها به‌دلیل سوآلات زیرکانه‌شان معروف بودند. آن‌ها سوآلاتی می‌پرسیدند که اغلب سخنران را دستپاچه می‌کرد. (یکبار زمانی که استیون واینبرگ در جایی سخنرانی می‌کرد، بر روی تخته‌سیاه زاویه‌ای را به نام W نشان داد که به خاطر نام خودش زاویه واینبرگ نامیده می‌شد. سپس فاینمن از او پرسید که این W نشانگر چیست. وقتی واینبرگ پاسخ داد، فاینمن فریاد زد: «اشتباه است» که مخاطبین را به خنده انداخت. اگرچه فاینمن با این‌کار مخاطبین را سرگرم کرده بود، ولی برنده نهایی واینبرگ بود. این زاویه نقش مهمی در نظریه واینبرگ ایفا می‌کرد. نظریه‌ای که نیروی الکترومغناطیسی را با برهم‌کنش‌های ضعیف یکپارچه می‌کرد. سرانجام همین زاویه توانست برای او جایزه نوبل را به ارمغان آورد.)

من در سخنرانی خود بر این مسئله تاکید کردم که نظریه میدان ریسمان‌ها، ساده‌ترین و جامع‌ترین برداشت از نظریه ریسمان‌ها را ارئه می‌دهد ولی در عین‌حال تا اندازه زیادی مجموعه‌ای آمیخته از فرمول‌های بی‌ربط و از هم گسیخته است. با استفاده از این نظریه، می‌توان کل نظریه را در یک معادله به طول در حدود چهار سانتیمتر خلاصه کرد. تمام ویژگی‌های مدل ونتزیانو، تمام جملات تقریب بی‌نهایت‌ها و تمام ویژگی‌های ریسمان‌های در حال چرخش را می‌توان تنها از یک معادله، که درون یک آدامس شانسی جا می‌گیرد، نتیجه گرفت. تاکید من بر روی تقارن‌های موجود در نظریه ریسمان‌ها بود که به آن زیبایی و قدرت می‌بخشید. زمانی که ریسمان‌ها در فضا ـ زمان حرکت می‌کنند، سطوح دوبعدی شبیه به نوار را جاروب می‌کنند. استفاده از دستگاه‌های مختصات مختلف برای توصیف این فضای دو بعدی،

نظریه را تغییر نخواهد داد. هیچ‌گاه فراموش نمی‌کنم که بعد از آن فاینمن نزد من آمد و گفت: «ممکن است من با نظریه ریسمان‌ها کاملاً موافق نباشم، ولی سخنرانی شما یکی از زیباترین سخنرانی‌هایی بود که تاکنون شنیده بودم.»

ابعاد دهگانه

اما درست زمانی که نظریه ریسمان‌ها در حال اوج گرفتن بود، ناگهان از هم پاشیده شد. کلاود لاولِس از روتگرز، کشف کرد که مدل اصلی ونتزیانو ایراد ریاضی کوچکی دارد که تنها در صورتی که فضا-زمان بیست و شش بعد داشته باشد، این مشکل از بین می‌رود. به‌طور مشابه، مدل اَبَر-ریسمان‌های نوو-شوارتز-راموند تنها می‌تواند در فضای ده بعدی وجود داشته باشد. این مسئله فیزیکدانان را تکان داد. چنین مسئله‌ای هرگز در تمام تاریخ علم دیده نشده بود. هیچ کجا نظریه دیگری نمی‌یابیم که ابعاد خود را انتخاب کند. به‌عنوان مثال، نظریه‌های نیوتون و اینشتین را می‌توان در تمام ابعاد فرمول بندی کرد. همین‌طور قانون معروف عکس مجذور گرانش را می‌توان در چهار بعد به قانون عکس مکعب تبدیل کرد. اما، نظریه ریسمان‌ها تنها در ابعاد مشخصی می‌تواند وجود داشته باشد.

از نقطه نظر عملی، این یک فاجعه محسوب می‌شد. طبق باور عمومی، دنیای ما در سه بعد فضا (طول، عرض و ارتفاع) و یک بعد زمان وجود دارد. پذیرش یک جهان ده بعدی، نظریه را به داستانی علمی-تخیلی شبیه می‌کند. به‌این‌ترتیب، نظریه‌پردازان ریسمان‌ها مورد تمسخر واقع شدند. (جان شوارتز به خاطر می‌آورد زمانی را که به‌همراه فاینمن در آسانسور بوده، فاینمن به حالت تمسخرآمیز به او گفته: «خوب جان، بگو ببینم امروز در چند بعد زندگی می‌کنی؟») علی‌رغم تمام تلاش‌هایی که فیزیکدانان حامی نظریه ریسمان‌ها برای نجات این مدل انجام دادند، این نظریه محکوم به فنا گردید. تنها گروهی با پشتکار، به تنهایی به تلاش‌های خود ادامه دادند.

دو تن از افراد با پشتکاری که در طول این سال‌های غمبار، به‌کار بر روی نظریه ادامه دادند، جان شوارتز از دانشگاه کلتک و جوئل شِرِک از مدرسه

عالی اِکول نرمال در پاریس بودند. تا آن زمان تصور می‌شد که نظریه ریسمان‌ها تنها فعل و انفعالات هسته‌ای قوی را توصیف می‌کند. اما یک مشکل وجود داشت: مدل ارائه شده، ذره‌ای را پیش‌بینی می‌کرد که در فعل و انفعالات قوی وجود نداشت. ذره عجیبی با جرم صفر که دارای اسپین ـ۲ بود. تمام تلاش‌ها برای خلاص شدن از این ذره مزاحم بی‌نتیجه ماند. هربار که برای حذف این ذره اسپین ـ۲ تلاشی صورت می‌گرفت، مدل از هم پاشیده شده و ویژگی‌های جادویی خود را از دست می‌داد. به‌نظر می‌رسید این ذره ناخواسته با اسپین ـ۲، به نوعی راز کل مدل را در بر داشته باشد.

شِرک و شوارتز حدس جسورانه‌ای زدند. شاید این مشکل، در حقیقت یک موهبت بوده است. اگر آن‌ها این ذره مزاحم اسپین ـ۲ را این‌بار به صورت یک گراویتون تفسیر می‌کردند (ذره‌ای از جنس گرانش که از نظریه اینشتین بر می‌آید)، آنگاه در حقیقت می‌توانستند نظریه گرانش اینشتین را نیز در این مدل جای دهند! (به بیان دیگر، نظریه نسبیت عام اینشتین به شکل پایین‌ترین ارتعاش یا نت موسیقی از ابرریسمان‌ها پدید می‌آید.) درحالی‌که در دیگر نظریه‌های کوانتومی فیزیکدانان اصرار دارند تا از هر گونه اشاره‌ای به گرانش بپرهیزند، نظریه ریسمان‌ها به گرانش نیاز دارد. (این در حقیقت یکی از ویژگی‌های جذاب نظریه ریسمان‌هاست ـ اینکه باید گرانش را نیز شامل شود وگرنه نظریه درست از آب در نمی‌آید.) با توجه به این یافته، دانشمندان دریافتند که مدل ریسمان‌ها، به اشتباه، به مسئله نادرستی سوق داده شده است. این نظریه تنها نظریه‌ای برای فعل و انفعالات هسته‌ای قوی نبوده، و در عوض نظریه‌ای است برای همه چیز. همان‌طور که ویتن گفته است، یکی از ویژگی‌های جذاب نظریه ریسمان‌ها این است که نیاز به‌وجود گرانش دارد. درحالی‌که دیگر نظریه‌های میدان استاندارد، برای چندین دهه، از به کارگرفتن گرانش مایوس شده‌اند، با این حال، وجود گرانش در نظریه ریسمان‌ها الزامی است.

ولی ایده اصلی شرک و شوارتز از طرف جهانیان مورد قبول واقع نشد. برای اینکه نظریه ریسمان‌ها بتواند هم گرانش و هم دنیای زیراتمی را

توصیف کند، ریسمان‌ها باید طولی تنها برابر 10^{-33} سانتی‌متر (طول پلانک) داشته باشند؛ یعنی میلیاردها میلیاردها برابر کوچک‌تر از یک پروتون. پذیرش این مسئله از طرف فیزیکدانان بسیار سخت بود.

در اواسط دهه ۱۹۸۰، تلاش‌های دیگری در جهت یافتن نظریه میدان یکپارچه صورت گرفت. نظریه‌هایی که تلاش داشتند، به روش‌هایی بسیار ابتدایی، گرانش را به مدل استاندارد پیوند دهند، کم کم از میدان خارج می‌شدند. هر تلاشی که به‌طور ساختگی سعی داشت گرانش را با دیگر نیروهای کوانتومی یکپارچه سازد، منجر به ایجاد تناقضات ریاضی شده و نظریه از هم می‌پاشید. (اینشتین عقیده داشت، شاید خدا در ساختن جهان حق انتخابی نداشته است. دلیل این امر می‌تواند این مسئله باشد که تنها یک نظریه از تمام این تناقضات ریاضی آزاد است.)

این تناقضات ریاضی دو نوع هستند. اولین مشکل، وجود بی‌نهایت‌ها است. اغلب، افت و خیزهای کوانتومی، مقادیر کوچکی دارند. در اکثر موارد، اثرات کوانتومی، تنها جبران‌سازی کوچکی برای قوانین حرکت نیوتون محسوب می‌شوند. به‌همین دلیل است که در اغلب موارد می‌توانیم، در دنیای بزرگ مقیاس خود، از آن‌ها چشم پوشی کنیم. با این حال، زمانی که گرانش به یک نظریه کوانتومی تبدیل می‌شود، این تحولات کوانتومی نیز بی‌نهایت می‌شوند، که بی‌معنی است. دومین تناقض ریاضی مربوط می‌شود به‌وجود «ناهنجاری‌ها»؛ ناهنجاری‌های کوچکی در نظریه که در زمان افزودن تحولات کوانتومی به آن به‌وجود می‌آیند. این ناهنجاری‌ها، تقارن اصلی نظریه را از بین برده و در نتیجه قدرت اصلی آن را می‌گیرند.

به‌عنوان مثال مهندسی را در نظر بگیرید که قصد دارد موشک صیقلی و آیرودینامیکی بسازد تا به‌راحتی درون اتمسفر حرکت کند. این موشک باید دارای تقارن بالایی بوده تا بتواند اصطکاک با هوا را به حداقل برساند (در این حالت موشک دارای تقارن استوانه‌ای است؛ یعنی با چرخاندن آن حول محور خود، شکل آن تغییر نمی‌کند). این تقارن O(2) نامیده می‌شود. اما اینجا، دو مشکل بالقوه وجود دارند. نخست، به‌دلیل سرعت بسیار زیاد

موشک، امکان رخ دادن ارتعاش در بال‌ها وجود دارد. اغلب این ارتعاشات در هواپیماهایی که زیر سرعت صوت حرکت می‌کنند، ناچیز هستند. با این‌حال در سرعت‌های فراصوتی، شدت این لرزش‌ها می‌تواند چنان زیاد شود که در نهایت منجر به کنده شدن بال گردد. واگرایی‌های مشابه از این دست، می‌تواند هر نظریه کوانتومی گرانش را با اشکال مواجه کند. در حالت نرمال، این مقادیر آنقدر کوچک هستند که می‌توان از آن‌ها چشم پوشی کرد، اما در یک نظریه کوانتومی گرانش، این مقادیر تاثیرگذار خواهند بود.

دومین مشکل در مورد موشک این است که ممکن است ترک‌های کوچکی در بدنه پدید آیند. این ترک‌ها تقارن اصلی O(2) موشک را از بین می‌برند و هرچقدر هم که کوچک باشند، در نهایت می‌توانند گسترش یافته و موشک را متلاشی کنند. به‌طور مشابه، چنین شکاف‌هایی قادرند تقارن یک نظریه گرانش را از بین ببرند.

دو راه برای حل مشکلات مذکور وجود دارد. نخست استفاده از روش‌های بندزنی است؛ مثل بند زدن ترک‌ها با چسب و محکم کردن بال‌ها با تخته، به امید اینکه موشک در اتمسفر منفجر نشود. این روش، راه حلی تاریخی است که اغلب فیزیکدانان، در تلاش برای همگرایی نظریه کوانتوم با گرانش، از آن استفاده کرده‌اند. دومین روش برای جلوگیری از متلاشی شدن موشک، این است که همه چیز را از اول شروع کنیم؛ موشکی با یک شکل جدید و مواد ناشناخته جدید که بتواند فشار سفر فضایی را تحمل کند.

فیزیکدانان، چندین دهه سعی کردند، با استفاده از همان روش بندزنی، یک نظریه کوانتوم گرانش را سرهم کنند. تنها دستاورد آن‌ها نظریه‌هایی سردرگم با واگرایی‌ها و ناهنجاری‌های جدید بوده است. آن‌ها به تدریج دریافتند که شاید بهتر باشد این روش را رها کرده و از ابتدا بنیان جدیدی را اتخاذ کنند.

ارکستر ریسمانی

در سال ۱۹۸۴، اوضاع به نفع نظریه ریسمان‌ها تغییر کرد. جان شوارتز از

دانشگاه کلتک و مایک گرین که در آن زمان در کالج مری کوئین در لندن به سر می‌برد، نشان دادند که نظریه ریسمان‌ها خالی از تمام تناقضاتی است که نظریه‌های دیگر را درگیر کرده بود. البته، فیزیکدانان می‌دانستند که نظریه ریسمان‌ها، خالی از واگرایی‌های ریاضی است. همین طور شوارتز و گرین نشان دادند که علاوه بر آن، در این نظریه ناهنجاری نیز وجود ندارد. در نتیجه، نظریه ریسمان‌ها تبدیل به تنها کاندید پیشتاز برای نظریه همه چیز گردید.

ناگهان نظریه‌ای که در اصل مرده پنداشته می‌شد، مجدداً احیا شد. نظریه ریسمان‌ها، ناگهان از نظریه هیچ به نظریه همه چیز تبدیل شد. فیزیکدانان بسیاری، به خواندن مقالات مربوط به نظریه ریسمان‌ها روی آوردند. سیل عظیمی از مقالات، از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، در سراسر جهان فوران کردند. مقالات قدیمی که در کتابخانه‌ها خاک می‌خوردند، ناگهان وارد داغ‌ترین مباحث در فیزیک شدند. ایده جهان‌های موازی که زمانی بسیار دور از واقعیت تصور می‌شد، با صدها کنفرانس و ده‌ها هزار مقاله، به سوژه اصلی جامعه فیزیک بدل شد.

(البته در مواقعی، این ایده از میدان خارج شد؛ زمانی که فیزیکدانان دچار «تب نوبل» شدند. در آگوست ۱۹۹۱، مجله دیسکاور بر روی جلد خود این عنوان را نوشت: «نظریه جدید همه چیز: یک فیزیکدان با معمای نهایی کیهانی دست و پنجه نرم می‌کند.» در مقاله‌ای، از یک فیزیکدان در تعقیب شهرت و اعتبار، نقل قول شده بود: «من کسی نیستم که فروتن باشم. اگر این درست کار کند، برنده جایزه نوبل خواهد شد.» زمانی که وی با این انتقاد مواجه شد که نظریه ریسمان‌ها هنوز در نوباوگی خود قرار دارد، پاسخ داد: «بزرگ‌ترین حامیان نظریه ریسمان‌ها عقیده دارند که چهارصد سال برای اثبات این نظریه زمان لازم است، ولی من می‌گویم که آن‌ها باید دهان‌شان را ببندند.»)

عاقبت واکنش شدیدی در مقابل «ارکستر ابرریسمان‌ها» به‌وجود آمد. یکی از فیزیکدانان هاروارد با تمسخر بیان کرده است که نظریه ریسمان‌ها

به هیچ‌وجه شاخه‌ای از فیزیک محسوب نمی‌شود، بلکه در حقیقت شاخه‌ای از ریاضیات محض یا فلسفه (اگر نگوییم مذهب) محسوب می‌شود. شلدون گلاشو، دارنده جایزه نوبل، از هاروارد فرماندهی این جریان را بعهده گرفت. او، ارکستر ابرریسمانی را با برنامه جنگ‌های فضایی (که منابع عظیمی را مصرف می‌کنند درحالیکه هیچ‌گاه نمی‌توان آن‌ها را مورد آزمایش قرار داد) مقایسه کرده است. گلاشو گفته است، واقعاً خوشحال است که فیزیکدانان جوان بسیاری بر روی نظریه ریسمان‌ها کار می‌کنند، زیرا به‌این‌ترتیب از شر آن‌ها خلاص می‌شود. زمانی که از او پرسیده شد، آیا با نظر ویتن، مبنی بر اینکه احتمال دارد نظریه ریسمان‌ها، در پنجاه سال آینده، علم فیزیک را به تصرف خود در آورد، همانگونه که مکانیک کوانتومی در پنجاه سال گذشته این‌کار را انجام داده، موافق است یا نه، او پاسخ داد نظریه ریسمان‌ها علم فیزیک را همانگونه که نظریه کالوزا-کلین (که او آن را کوکی می‌نامد)، در طول پنجاه سال گذشته، فیزیک را قبضه کرده (که نکرده است) به تصرف خود در خواهد آورد. او تلاش می‌کرد تا از ورود نظریه‌پردازان ریسمانی به هاروارد جلوگیری کند. اما با تغییر جهت نسل بعدی فیزیکدانان به سمت نظریه ریسمان‌ها، صدای تنهای این دارنده جایزه نوبل نیز به خاموشی گرایید. (هاروارد از آن زمان تاکنون نظریه‌پردازان جوان زیادی را در زمینه ریسمان‌ها به خدمت گرفته است.)

موسیقی کیهانی

اینشتین یک بار گفته بود، اگر نظریه‌ای نتواند تصویری فیزیکی ارائه دهد که حتی یک کودک نیز آن را بفهمد، احتمالاً بلااستفاده است. خوشبختانه در پس نظریه ریسمان‌ها تصویر فیزیکی ساده‌ای قرار دارد؛ تصویری بر اساس مفهوم موسیقی.

براساس نظریه ریسمان‌ها، اگر یک اَبَرمیکروسکوپ داشته باشیم و بتوانیم به دقت به قلب یک الکترون بنگریم، نه یک ذره نقطه‌ای، بلکه ریسمانی مرتعش را مشاهده خواهیم کرد. (این ریسمان بسیار کوچک است،

به اندازه طول پلانک برابر با $۱۰^{-۳۳}$ سانتی‌متر، میلیاردها میلیارد بار کوچک‌تر از یک پروتون، بنابراین تمام ذرات زیراتمی به صورت نقطه‌ای دیده می‌شوند.) اگر بخواهیم این ریسمان را به ارتعاش در آوریم، صدای آن تغییر خواهد کرد؛ مثلاً الکترون ممکن است به یک نوترینو تبدیل شود. و اگر دوباره آن را به ارتعاش در آوریم، ممکن است به یک کوارک تبدیل شود. در حقیقت اگر ریسمان را با شدت‌های مختلف به لرزه در آوریم، می‌توانیم آن را به هرکدام از ذرات زیراتمی شناخته شده تبدیل کنیم. به‌این‌ترتیب نظریه ریسمان‌ها می‌تواند به‌راحتی این موضوع را توضیح دهد که چرا تعداد ذرات زیراتمی تا به این حد زیاد است. آن‌ها چیزی نیستند جز نت‌های متفاوتی که می‌توان بر روی یک آبَرریسمان نواخت. به‌عنوان یک مثال، در یک ویولن، ریسمان‌های نوت لا ـ دِیز، سی ـ دِیز و دو ـ دِیز نت‌های اصلی نیستند. تنها با به لرزه در آوردن ریسمان در روش‌های مختلف می‌توان تمام نت‌های موسیقی را ایجاد کرد. به‌عنوان مثال سی ـ بِمُل اصلی‌تر از نت سُل نیست. همه آن‌ها نت‌های موسیقی ویولون هستند. به‌همین ترتیب، الکترون‌ها و کوارک‌ها اصلی نیستند، اما ریسمان اصلی است. در حقیقت تمام زیرذرات موجود در جهان را می‌توان به صورت ارتعاشات متفاوت یک ریسمان نشان داد که «هارمونی»های ریسمان همان قوانین فیزیک هستند.

ریسمان‌ها می‌توانند از طریق شکافتن و دوباره پیوند خوردن با یکدیگر برهم‌کنش داشته باشند. این‌ها همان برهم‌کنش‌هایی هستند که بین الکترون‌ها و پروتون‌ها در اتم شاهد آن هستیم. به‌این‌ترتیب، با کمک نظریه ریسمان‌ها می‌توانیم تمام قوانین فیزیک هسته‌ای و اتمی را ایجاد کنیم. «آهنگ»هایی را که می‌توان برای ریسمان‌ها نوشت، به قوانین شیمی مربوط می‌شوند. اکنون می‌توان جهان را به شکل سمفونی عظیمی از ریسمان‌ها تعبیر کرد.

نظریه ریسمان‌ها، علاوه بر اینکه ذرات نظریه کوانتوم را به صورت نت‌های موسیقی جهان معرفی می‌کند، قادر است نظریه نسبیت اینشتین را نیز توضیح دهد. پایین‌ترین ارتعاش ریسمان، یعنی ذره اسپین ـ۲ با جرم صفر، را می‌توان به صورت گراویتون (کوانتوم گرانش) تفسیر کرد. اگر برهم‌کنش این

گراویتون‌ها را محاسبه کنیم، می‌توانیم به دقت نظریه قدیمی گرانش اینشتین را، به شکل کوانتومی آن، به‌دست آوریم. وقتی ریسمانی حرکت می‌کند، یا پاره می‌شود، یا مجدداً ترمیم می‌شود، محدودیت‌های‌زیادی بر روی فضا ـ زمان اعمال می‌کند. با تحلیل و بررسی مجدد این محدودیت‌ها، دوباره به نظریه قدیمی نسبیت عام اینشتین خواهیم رسید. بنابراین نظریه ریسمان‌ها به سادگی نظریه اینشتین را، بدون نیاز به هیچ کار اضافی، توضیح می‌دهد. ادوارد ویتن گفته است که حتی اگر اینشتین هم نسبیت را کشف نکرده بود، نسبیت می‌توانست به‌عنوان محصول ثانویه نظریه ریسمان‌ها کشف شود.

زیبایی نظریه ریسمان‌ها این است که می‌توان آن را به موسیقی تشبیه کرد. موسیقی، استعاره‌ای است که از طریق آن طبیعت جهان را می‌فهمیم؛ هم در سطوح زیراتمی و هم در سطوح کیهانی. همانگونه که ویولون نواز مشهور به نام یهودی منوهین نوشته است «موسیقی، از آشفتگی نظم می‌سازد؛ زیرا که ریتم، هم آوازی را بر واگرایی تحمیل می‌کند؛ آهنگ، پیوستگی را بر جدایی تحمیل می‌کند؛ و هارمونی، سازگاری را بر ناهماهنگی تحمیل می‌کند.»

اینشتین عقیده داشت که تحقیقات او در مورد نظریه میدان یکپارچه، سرانجام به او این امکان را می‌دهد که «ذهن خدا را بخواند.» اگر نظریه ریسمان‌ها درست باشد، می‌بینیم که ذهن خدا بیانگر موسیقی کیهانی است که در فرافضای ده بعدی طنین انداخته است. گوتفرید لایب‌نیتس گفته است: «موسیقی، تمرین ریاضی مخفیانه‌ای است که روح انجام می‌دهد و خود از انجام آن بی‌خبر است.»

از نظر تاریخی، پیوند بین موسیقی و علم، پانصد سال قبل از میلاد اتفاق افتاد؛ زمانی که فیثاغوریان یونانی قوانین هارمونی را کشف کرده و آن‌ها را به صورت ریاضی درآوردند. آن‌ها دریافتند که صدایی که از ریسمان نواخته شده چنگ به گوش می‌رسد، به طول ریسمان بستگی دارد. اگر طول ریسمان چنگ را دوبرابر کنیم، آنگاه صدا به اندازه یک اُکتاو کامل پایین می‌آید. اگر طول ریسمان به اندازه دو سوم کاهش یابد، آنگاه صدا به یک پنجم تقلیل می‌یابد. بنابراین، قوانین موسیقی و هارمونی را می‌توان به صورت روابط

دقیق بین اعداد نشان داد. تعجبی ندارد که شعار فیثاغوریان در آن زمان این بود که «همه چیز به صورت عدد است.» در ابتدای امر، آن‌ها چنان از این نتایج راضی بودند که به خود اجازه دادند این قوانین هارمونی را به کل جهان اعمال کنند. البته تلاش آن‌ها به‌دلیل پیچیدگی عظیم ماده بی‌نتیجه ماند. از برخی جهات می‌توان گفت فیزیکدانان با طرح نظریه ریسمان‌ها، به رویای فیثاغوریان بازگشته‌اند.

ژِمی جِیمز درباره این ارتباط تاریخی گفته است: «موسیقی و علم [زمانی] چنان عمیق شده بودند، هرکسی که تصور می‌کرد بین آن‌ها تفاوتی اساسی وجود دارد، آدم نادانی محسوب می‌شد. [اما امروزه] اگر کسی بیان کند که این دو با هم اشتراک دارند، احتمال اینکه از طرف برخی بی‌سواد و از طرف برخی دیگر غیرحرفه‌ای خوانده شود را به جان خریده است ــ و بدتر از همه اینکه از طرف هردو عوام فریب خوانده شود.»

معماهای فرافضا

اما اگر ابعاد بالاتر، نه فقط در ریاضیات محض، بلکه واقعاً در طبیعت وجود داشته باشند، بنابراین نظریه‌پردازان ریسمانی با همان مشکلاتی مواجه خواهند بود که در سال ۱۹۲۱، تئودور کالوزا و فلیکس کلِین، زمانی که اولین نظریه ابعاد بالاتر را فرمول بندی کردند، با آن درگیر شدند؛ این ابعاد بالاتر کجا هستند؟ ریاضیدان گمنامی به نام کالوزا، در نامه‌ای به اینشتین، فرمول‌بندی معادلات او را در پنج بعد انجام داد (یک بعد زمان و چهار بعد فضا). از نظر ریاضی مشکلی وجود نداشت، زیرا معادلات اینشتین این قابلیت را دارند که می‌توان آن‌ها را در هر بعدی نوشت. اما نامه حاوی اظهار نظر تکان‌دهنده‌ای بود: اگر به صورت دستی، چهار بعد موجود در معادلات پنج بعدی را از هم تفکیک کنیم، به‌طور اتوماتیک به نظریه نور مکسول خواهیم رسید! به بیان دیگر، اگر تنها یک بعد پنجمی را به معادلات گرانش اینشتین بیافزاییم، نظریه نیروی الکترومغناطیسی مکسول حاصل می‌شود. اگرچه نمی‌توان بعد پنجم را دید، ولی ارتعاشات مربوط به امواج نوری

می‌توانند در بعد پنجم شکل بگیرند! از آنجایی‌که نسل‌هایی از فیزیکدانان و مهندسین، در طول ۱۵۰ سال گذشته، مجبور بودند معادلات سخت مکسول را به خاطر بسپارند، این نتیجه، واقعاً لذت بخش بود. از این پس، این معادلات پیچیده، بدون هیچ زحمتی، به شکل ساده‌ترین ارتعاشاتی که می‌توان در بعد پنجم یافت، ظاهر می‌شدند.

دست‌های ماهی را تصور کنید که در گودال کم عمقی، زیر برگ‌های شناور نیلوفر آبی، شنا می‌کنند. فرض کنید دنیای آن‌ها تنها دو بعد دارد. ممکن است دنیای سه بعدی ما فراتر از درک آن‌ها باشد. اما روشی وجود دارد که به‌وسیله آن، آن‌ها می‌توانند حضور بعد سوم را شناسایی کنند. اگر باران ببارد، آن‌ها بوضوح می‌توانند سایه‌های ارتعاشات را در سطح گودال آب ببینند. به‌طور مشابه درست است که ما نمی‌توانیم بعد پنجم را ببینیم، ولی اعوجاجات و تغییرات در بعد پنجم را می‌توانیم به صورت نور ببینیم.

(نظریه کالوزا، از نیروی قدرتمند و زیبای تقارن پرده برمی‌داشت. بعدها نشان داده شد که اگر ما حتی ابعاد بیشتری را به نظریه قدیمی اینشتین بیافزاییم، و آن‌ها را به ارتعاش وادار‌یم، آنگاه این ارتعاشات در ابعاد بالاتر، بوزون‌های W و Z و گلئون‌ها را که در نیروهای هسته‌ای قوی و ضعیف یافت می‌شوند، ایجاد می‌کنند! اگر ایده کالوزا صحت می‌داشت، جهان ظاهراً بسیار ساده‌تر از چیزی بود که قبلاً تصور می‌شد. تنها ارتعاش در ابعاد بالاتر و بالاتر، می‌تواند بسیاری از نیروهای حاکم بر جهان را تولید کند.)

اگرچه اینشتین از مواجهه با این نتایج سخت متعجب شد، اما خیلی خوب بود اگر این نتایج صحت می‌داشتند. با گذشت سال‌ها، ایده کالوزا با مشکلاتی برخورد کرد که در نهایت منجر به کم رنگ شدن آن گردید. نخست اینکه، نظریه با واگرایی‌ها و ناهنجاری‌هایی که در نظریه‌های گرانش کوانتومی شایع هستند، به‌هم می‌ریخت. دوم اینکه این سوآل همواره وجود داشت: چرا نمی‌توانیم بعد پنجم را ببینیم؟ مثلاً وقتی به سمت آسمان تیری پرتاب می‌کنیم، هنگام ورود به بعد دیگر شاهد ناپدید شدن آن نیستیم. دود را در نظر بگیرید که چگونه به آهستگی به تمام نقاط فضا سرایت می‌کند. از

آنجایی که هیچ‌گاه شاهد این نیستیم که دود به درون ابعاد بالاتری فرو رفته و ناپدید شود، فیزیکدانان دریافتند که ابعاد بالاتر، البته اگر وجود داشته باشند، باید از ابعاد یک اتم نیز کوچک‌تر باشند. در طول قرن گذشته، عرفا و ریاضیدانان به مسئله ابعاد بالاتر پرداخته‌اند، اما فیزیکدانان این امر را به تمسخر گرفته و بیان می‌دارندکه هرگز دیده نشده که یک شیء به‌درون ابعاد بالاتر فرو رود.

یک راه نجات برای نظریه این بود که فیزیکدانان بیان کنند این ابعاد بالاتر چنان کوچک هستند که در طبیعت قابل مشاهده نیستند. دنیای ما یک دنیای چهار بعدی است و بنابراین بعد پنجم به شکل یک دایره، کوچک‌تر از یک اتم، روی هم جمع شده است؛ کوچک‌تر از آنکه بتوان از طریق آزمایش آن را مشاهده کرد.

نظریه ریسمان‌ها نیز به‌ناچار با این مشکل مواجه می‌شود. ما باید این ابعاد بالاتر ناخواسته را به صورت یک توپ کوچک لوله کنیم (در فرایندی به نام متراکم‌سازی). بر طبق نظریه ریسمان‌ها، جهان در اصل دارای ده بعد بوده و تمام نیروها در آن از طریق ریسمان با یکدیگر یکپارچه شده‌اند. اما فرافضای ده بعدی ناپایدار بوده و شش تا از این ده بعد به یک توپ کوچک لوله شدند. و سرانجام چهار بعد باقی مانده در انفجار بزرگ انبساط یافتند. دلیل اینکه ما نمی‌توانیم ابعاد دیگر را ببینیم این است که ابعاد آن‌ها بسیار کوچک‌تر از یک اتم است و بنابراین هیچ چیز نمی‌تواند به‌درون آن‌ها وارد شود. به‌عنوان مثال شیلنگ آب یا یک نی، از فاصله دور یک بعدی به‌نظر می‌رسند و با طول‌شان تعیین می‌شوند. ولی در صورتیکه از نزدیک مورد بررسی قرار بگیرند، در می‌یابیم که صفحات یا استوانه‌هایی دو بعدی هستند و بعد دوم آن‌ها به‌گونه‌ای لوله شده که از دور دیده نمی‌شود.)

چرا ریسمان‌ها؟

اگرچه تمام تلاش‌های گذشته در رابطه با یافتن یک نظریه میدان یکپارچه با شکست مواجه شدند، ولی نظریه ریسمان‌ها از این مبارزه سربلند بیرون آمد.

در حقیقت این نظریه رقیبی ندارد. دو دلیل وجود دارد برای اینکه چرا نظریه ریسمان‌ها از بین تعداد متعددی نظریه دیگر شانس موفقیت را به‌دست آورد.

نخست اینکه این نظریه بر اساس یک شیء دارای طول (ریسمان) بنا شده است و به‌این‌ترتیب با بسیاری از واگرایی‌های مربوط به ذرات نقطه‌ای مواجه نخواهد بود. طبق مشاهده نیوتون، نیروی گرانشی که یک ذره نقطه‌ای را احاطه کرده است با نزدیک شدن به ذره بی‌نهایت می‌گردد. (در قانون مشهور عکس مجذور نیوتون، نیروی گرانش برطبق رابطه $1/r^2$ افزایش می‌یابد و بنابراین با نزدیک شدن به ذره نقطه‌ای، این عدد به سمت یک تقسیم بر صفر می‌رود که در حقیقت همان بی‌نهایت است.)

حتی در یک نظریه کوانتومی، با نزدیک شدن به ذره نقطه‌ای کوانتومی، مقدار نیرو بی‌نهایت می‌شود. در طول چندین دهه، فاینمن و دیگران مجموعه‌ای از تردستی‌ها را وضع کردند تا به کمک آن‌ها بتوان از شر این واگرایی‌ها خلاصی یافت. اما برای یک نظریه کوانتومی گرانش، حتی کوله باری از این ترفندها نیز برای حذف مقادیر بی‌نهایت کافی نیست. مشکل از اینجا ناشی می‌شود که ذرات نقطه‌ای، بی‌نهایت کوچک هستند؛ به این معنی که نیروها و انرژی‌های آن‌ها نیز بالقوه بی‌نهایت است.

اما در صورتیکه نظریه ریسمان‌ها را به دقت مورد بررسی قرار دهیم، دو مکانیزم را می‌یابیم که می‌توانند منجر به حذف این واگرایی‌ها شوند. مکانیزم اول به توپولوژی ریسمان‌ها مربوط می‌شود و دومی ناشی از تقارن ریسمان‌هاست که اَبَرتقارن نامیده می‌شود.

توپولوژی نظریه ریسمان‌ها کاملاً با توپولوژی ذرات نقطه‌ای متفاوت است و بنابراین واگرایی‌های آن نیز بسیار متفاوتند. (به این دلیل که طول ریسمان‌ها متناهی و محدود است، با نزدیک شدن به ریسمان نیروها به سمت بی‌نهایت نمی‌روند. در نزدیکی ریسمان نیروها براساس رابطه $1/L^2$ افزایش می‌یابند. L برابر با طول ریسمان است، که در مرتبه طول پلانک (10^{-33} سانتی‌متر) می‌باشد. طول L برای از بین بردن واگرایی‌ها به‌کار می‌رود.) با اینکه ریسمان یک ذره نقطه‌ای نیست، ولی ابعاد مشخصی دارد و بنابراین

می‌توان نشان داد که واگرایی‌ها در تمام طول ریسمان از بین رفته و بنابراین تمام مقادیر فیزیکی متناهی می‌گردند.

با اینکه از نظر حسی بسیار واضح است که واگرایی‌های نظریه ریسمان‌ها از بین رفته‌اند، عبارات ریاضی دقیق این مسئله بسیار مشکل بوده و از طریق «تابع ماژولار بیضی» به‌دست می‌آیند. این تابع یکی از عجیب‌ترین توابع در ریاضیات است و چنان تاریخچه جالبی دارد که نقشی کلیدی در یکی از فیلم‌های هالیوود داشته است. ویل هانتینگ نابغه، داستان پسر بچه خشنی مربوط به طبقه کارگر از کوچه پس کوچه‌های کمبریج است که نقش او را مَت دامون بازی می‌کند. این پسربچه استعداد حیرت‌آوری در ریاضیات دارد. او به دور از درگیری‌ها و خشونت‌های همسایگی خود، در دانشگاه MIT به عنوان سرایدار مشغول به‌کار می‌شود. اساتید دانشگاه MIT وقتی می‌بینند این پسر خشن خیابانی در حقیقت یک نابغه ریاضیات است و می‌تواند به‌راحتی مسائل سخت ریاضی را حل کند، متحیر می‌شوند. زمانی‌که در می‌یابند این پسر خیابانی ریاضیات پیشرفته را خود یادگرفته است، یکی از آن‌ها می‌گوید که «او رامانوجان دیگری است.»

در حقیقت این فیلم تا اندازه‌ای براساس زندگی اسرینیواسا رامانوجان، بزرگ‌ترین نابغه ریاضی قرن بیستم ساخته شده است. او، در آستانه شروع قرن جدید، در فقر و انزوا در حوالی مَدرَس بزرگ شد. تحت این شرایط، او ناچار بود بیشتر ریاضیات اروپایی قرن نوزدهم را بیاموزد. کار او شبیه به یک ابرنواختر بود که آسمان‌ها را با درخشش استعداد ریاضی خود روشن می‌ساخت. متأسفانه در سال ۱۹۲۰، در سن سی و هفت سالگی بر اثر بیماری سل فوت کرد. مثل مت دامون در فیلم ویل هانتینگ نابغه، او نیز رویای معادلات ریاضی را در سر می‌پروراند. در همین رابطه، تابع ماژولار بیضی که ویژگی‌های ریاضی عجیب ولی بسیار زیبایی دارد، مورد توجه او واقع شد. جالب اینجاست که تمام این ویژگی‌های زیبا و عجیب تنها در بیست و چهار بعد محقق می‌شوند. ریاضیدانان هنوز در تلاش برای رمزگشایی «دست نوشته‌های رامانوجان» هستند که پس از مرگش پیدا شدند. با نگاه به‌کار

رامانوجان در می‌یابیم، این تابع را می‌توان به هشت بعد تعمیم داد، که مستقیماً آن را قابل اعمال به نظریه ریسمان‌ها می‌گرداند. فیزیکدانان برای ساخت یک نظریه فیزیکی، دو بعد دیگر را نیز خود به آن افزوده‌اند. (به‌عنوان مثال عینک‌های آفتابی پولاریزه، از این حقیقت استفاده می‌کنند که نور دارای دو پولاریزاسیون فیزیکی است؛ می‌تواند به صورت چپ-راست یا بالا-پایین ارتعاش کند. اما از طرفی فرمول ریاضی نور در معادلات مکسول با چهار مولفه مشخص شده است. دو تا از این چهار ارتعاش در حقیقت اضافی هستند.) زمانی که دو بعد دیگر را به توابع رامانوجان می‌افزاییم، «اعداد جادویی» ۱۰ و ۲۶ حاصل می‌شوند، که دقیقاً با «اعداد جادویی» نظریه ریسمان‌ها برابر هستند. بنابراین از برخی جهات می‌توان گفت رامانوجان قبل از جنگ جهانی اول با نظریه ریسمان‌ها دست و پنجه نرم می‌کرده است.

ویژگی‌های شگفت‌آور توابع ماژولار بیضی، توضیح می‌دهند که چرا نظریه باید در ده بعد وجود داشته باشد. تنها در ابعادی برابر با این عدد واگرایی‌هایی که گریبانگیر نظریه‌های دیگر شده‌اند، به‌طور جادویی از بین می‌روند. اما توپولوژی ریسمان‌ها به تنهایی برای حذف تمام واگرایی‌ها قدرت کافی را ندارد. واگرایی‌های باقی مانده این نظریه از طریق ویژگی دوم نظریه ریسمان‌ها، یعنی تقارن، از بین می‌روند.

آبَر تقارن

یک ریسمان، دارای برخی از بزرگ‌ترین تقارن‌هایی است که تاکنون در علم شناخته شده‌اند. در فصل چهارم، در بحث مربوط به تورم و مدل استاندارد، دیدیم که وجود تقارن باعث می‌شود تا بتوان ذرات زیراتمی را به شکل الگوهای زیبا و مطلوبی آراست. سه نوع کوارک موجود می‌توانند بر طبق تقارن $SU(3)$ در کنار هم قرار گرفته و به‌راحتی با یکدیگر تعویض شوند. در نظریه گات می‌توان پنج نوع کوارک و لپتون را بر طبق تقارن $SU(5)$ در کنار هم قرار داد.

در نظریه ریسمان‌ها، این تقارن‌ها، واگرایی‌ها و ناهنجاری‌های باقی مانده

نظریه را حذف می‌کنند. از آنجایی‌که تقارن یکی از قدرتمندترین و زیباترین ابزار در دسترس ما است، می‌توان انتظار داشت که نظریه جهان باید دارای زیباترین و قدرتمندترین تقارن شناخته شده در علم باشد. منطقی است گزینه انتخابی باید دارای تقارنی باشد که نه فقط برای کوارک‌ها، بلکه امکان جابجایی را برای تمام ذرات یافت شده در طبیعت فراهم آورد. یعنی اگر ما تمام ذرات زیراتمی را با یکدیگر جابجا کنیم، معادله به همان صورت باقی بماند. این توصیف صحیح تقارن اَبَر ریسمان‌ها، یا اَبَر تقارن است. اَبَرتقارن، تنها تقارنی است که در آن امکان جابجایی تمام ذرات زیراتمی شناخته شده در فیزیک وجود داشته باشد. واضح است که چنین تقارنی بهترین کاندیدا برای تقارنی است که باعث می‌شود تمام ذرات جهان با یکدیگر به صورت یک کل یکپارچه، ظریف و زیبا متحد شوند.

اگر به نیروها و ذرات جهان بنگریم، همه آن‌ها بر اساس جهت چرخش‌شان به دو دسته تقسیم می‌شوند: فرمیون‌ها و بوزون‌ها. تمام آن‌ها همانند فرفره‌های کوچک چرخان رفتار می‌کنند که قادرند با سرعت‌های مختلفی بچرخند. به‌عنوان مثال فوتون، ذره‌ای از نور که نیروی الکترومغناطیسی را حمل می‌کند، دارای اسپینی برابر ۱ است. نیروهای هسته‌ای ضعیف و قوی از طریق بوزون‌های W و گلئون‌ها حمل می‌شوند، که آن‌ها نیز اسپینی برابر ۱ دارند. گراویتون، ذره‌ای است از نوع گرانش، با اسپین-۲. تمام این ذرات که عدد اسپین آن‌ها صحیح است، بوزون نامیده می‌شوند. به‌طور مشابه، ذرات ماده به‌وسیله ذرات زیراتمی با اسپین نیمه توصیف می‌شوند، ۱/۲، ۳/۲، ۵/۲ و الی آخر. (ذرات با اسپین نیمه، فرمیون نامیده می‌شوند و شامل الکترون‌ها، نوترینوها و کوارک‌ها هستند.) بنابراین ابر تقارن به زیبایی نشانگر دوگانگی بین بوزون‌ها و فرمیون‌ها، همچنین بین نیروها و مواد است.

در نظریه اَبَرمتقارن، تمام ذرات زیراتمی دارای یک زوج هستند: هر فرمیون با یک بوزون زوج می‌شود. اگرچه ما هرگز چنین زوج‌های ابرمتقارنی را در طبیعت ندیده‌ایم، با این حال فیزیکدانان زوج الکترون را به نام

«سِلِکترون» و با اسپین صفر معرفی کرده‌اند. (فیزیکدانان با افزودن یک S به ابتدای نام هر ذره، اَبَرزوج آن را نامگذاری می‌کنند.) برهم‌کنش‌های ضعیف از طریق ذراتی به نام لپتون صورت می‌گیرد و به‌این‌ترتیب اَبَرزوج آن اِسلپتون نامیده می‌شود. به‌همین ترتیب کوارک نیز می‌تواند زوجی با اسپین صفر به نام اسکوارک داشته باشد. به‌طور کلی، زوج‌های ذرات شناخته شده (کوارک‌ها، لپتون‌ها، گراویتون‌ها، فوتون‌ها...) اِس ذرات یا اَبَرذرات نامیده می‌شوند. این اَبَرذرات هنوز در اتم‌شکن‌ها مشاهده نشده‌اند (شاید به این دلیل که ماشین‌های ما برای ساختن آن‌ها هنوز قدرت کافی ندارند).

اما از آنجاکه تمام ذرات زیراتمی، یا بوزون هستند یا فرمیون، بنابراین یک نظریه ابرمتقارن این قابلیت را دارد که تمام ذرات زیر اتمی شناخته شده را تنها با استفاده از یک نوع تقارن یکپارچه سازد. ما هم‌اکنون تقارنی داریم که برای در بر گرفتن کل جهان به اندازه کافی بزرگ است.

دانه برفی را در نظر بگیرید. فرض کنید که هر کدام از شش قسمت دانه برف بیانگر یک ذره زیراتمی باشند، به‌این‌ترتیب که هر شاخه یک بوزون و شاخه بعدی آن فرمیون باشد. زیبایی این دانه «اَبَربرف» در این است که با چرخاندن آن شکلش تغییری نمی‌کند. به‌این‌ترتیب این اَبَربرف تمام ذرات و زوج‌های آن‌ها را با هم متحد می‌سازد. بنابراین اگر قصد داشته باشیم یک نظریه میدان یکپارچه فرضی با تنها شش ذره بسازیم، دانه اَبَربرف کاندیدای طبیعی برای این‌کار محسوب می‌شود.

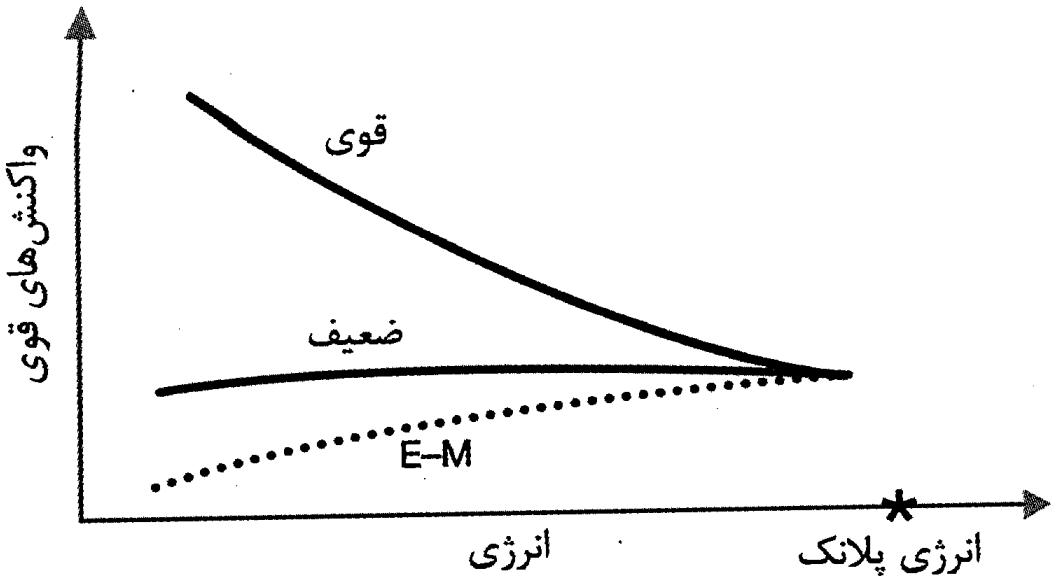
اَبَرتقارن به حذف بی‌نهایت‌های باقی مانده در نظریه کمک می‌کند. از قبل دیدیم که اغلب واگرایی‌ها به‌دلیل توپولوژی ریسمان خودبخود حذف می‌شوند. از آنجایی‌که ریسمان طول محدودی دارد، نیروها با نزدیک شدن به ریسمان نامتناهی نمی‌گردند. بررسی‌ها نشان می‌دهند واگرایی‌های باقی مانده از دو نوع بوده که ناشی از برهم‌کنش بوزون‌ها و فرمیون‌ها هستند. به‌هرحال این دو نوع برهم‌کنش همواره با علامت‌های مخالف رخ می‌دهند، بنابراین سهم بوزون دقیقاً سهم فرمیون را خنثی می‌کند! به بیان دیگر، از آنجایی‌که برهم‌کنش فرمیونی و بوزونی همواره علامت‌های مخالف

داشته‌اند، بی‌نهایت‌های باقی مانده در نظریه یکدیگر را خنثی می‌کنند. بنابراین اَبَرتقارن چیزی بیش از یک نمایش کالا در ویترین است؛ این نظریه، نه فقط به‌دلیل اینکه تمام ذرات طبیعت را با هم یکپارچه می‌کند، زیبا و مطلوب است بلکه به‌منظور خنثی کردن واگرایی‌های نظریه ریسمان‌ها، وجودش ضروری است.

مثال طراحی یک موشک صاف و صیقلی را به خاطر آورید، که در آن لرزش بال‌ها می‌توانست رفته رفته بیشتر شده و منجر به کنده شدن بال‌ها گردد. یک راه حل برای جلوگیری از این فاجعه، استفاده از قدرت تقارن است. به‌این‌ترتیب که بال‌ها را به‌گونه‌ای طراحی کنیم که لرزش در یک بال، لرزش در بال دیگر را خنثی کند. وقتی یکی از بال‌ها در جهت ساعتگرد ارتعاش می‌کند، بال دیگر در جهت پاد ساعتگرد مرتعش شده و بنابراین لرزش اولی را خنثی می‌کند. به‌این‌ترتیب تقارن موشک، به‌جای اینکه تنها یک ویژگی ساختگی و زیبایی هنرمندانه باشد، برای خنثی‌سازی و متعادل کردن فشارهای بر روی بال ضروری است. به‌طور مشابه، اَبَرتقارن با استفاده از این حقیقت که ذرات بوزونی و فرمیونی یکدیگر را خنثی می‌کنند، واگرایی‌ها را حذف می‌کند.

(به‌علاوه، نظریه اَبَرتقارن به حل مجموعه‌ای از مشکلات شدیداً تکنیکی که برای نظریه گات مهلک هستند کمک می‌کند. درحقیقت، نظریه گات برای رهایی از تناقضات پیچیده ریاضی نیاز به اَبَرتقارن دارد.)

اگرچه اَبَرتقارن ایده قدرتمندی است، ولی در حال حاضر هیچ‌گونه شواهد تجربی در تائید آن وجود ندارد. دلیل آن می‌تواند این باشد که اَبَرزوج الکترون‌ها و پروتون‌ها سنگین‌تر از آن هستند که بتوان آن‌ها را در شتاب‌دهنده‌های امروزی ذرات تولید کرد. با این حال واقعیت آزاردهنده‌ای وجود دارد که به ابرتقارن منتهی می‌شود. ما هم‌اکنون می‌دانیم که قدرت‌های سه نیروی کوانتومی کاملاً با هم متفاوت هستند. در حقیقت در انرژی‌های کم، نیروی قوی ۳۰ برابر قوی‌تر از نیروی ضعیف است و ۱۰۰ برابر قدرتمندتر از نیروی الکترومغناطیسی. البته همواره به‌این‌ترتیب نبوده است.



قدرت نیروهای ضعیف، قوی و الکترومغناطیسی، در زندگی روزمره ما با هم کاملاً متفاوتند. با این حال در انرژی‌هایی در مقیاس انفجار بزرگ، قدرت این نیروها دقیقاً باید نزدیک به‌هم باشد. این نزدیکی تنها در صورتی رخ می‌دهد که نظریه اَبَرمتقارنی وجود داشته باشد. بنابراین شاید بتوان گفت اَبَرتقارن در هر نظریه میدان یکپارچه عنصر کلیدی محسوب می‌شود.

احتمال می‌دهیم که درست در لحظه انفجار بزرگ، تمام سه نیرو از نظر قدرت با هم برابر بوده باشند. با بازگشت به عقب در زمان، فیزیکدانان می‌توانند قدرت این سه نیرو را در ابتدای زمان محاسبه کنند. با بررسی مدل استاندارد، فیزیکدانان در می‌یابند که به‌نظر می‌رسد در نزدیکی انفجار بزرگ این سه نیرو از نظر قدرت به‌هم نزدیک باشند. اما دقیقاً با هم برابر نیستند. زمانی که اَبَرتقارن را بیافزاییم این سه نیرو دقیقاً دارای قدرت برابر می‌شوند؛ دقیقاً همان چیزی که یک نظریه میدان یکپارچه مطرح می‌کند. اگر چه این دلیل اصلی برای وجود اَبَرتقارن محسوب نمی‌شود، ولی حداقل نشان می‌دهد که اَبَرتقارن با فیزیک شناخته شده ما سازگار است.

استخراج مدل استاندارد

اگرچه اَبَرریسمان هیچ پارامتر تعدیل پذیری ندارد، با این حال نظریه ریسمان‌ها می‌تواند، با مجموعه درهم آمیخته‌ای از ذرات زیراتمی عجیب و

نوزده پارامتر آزاد (مثل جرم ذرات و قدرت تزویج آن‌ها)، پاسخ‌هایی را ارائه دهد که به‌طور حیرت‌آوری نزدیک به مدل استاندارد هستند. به‌علاوه مدل استاندارد دارای سه کپی برابر و تکراری از تمام کوارک‌ها و لپتون‌ها است که کاملاً غیرضروری به‌نظر می‌رسند. خوشبختانه نظریه ریسمان‌ها می‌تواند بسیاری‌از ویژگی‌های کیفی مدل استاندارد را به‌راحتی استخراج کند. معنی این امر، به‌دست آوردن چیزی بدون پرداخت بهای آن است. در سال ۱۹۸۴، فیلیپ کندِلاس از دانشگاه تکزاس، گَری هورویتس و اندرو استرومینگر از دانشگاه کالیفرنیا در سانتا باربارا، و ادوارد ویتن به کمک هم نشان دادند که اگر شما شش تا از ده بعد نظریه ریسمان‌ها را حذف کنید، و هنوز هم اَبَرتقارن را در چهار بعد باقی مانده داشته باشید، آنگاه دنیای کوچک شش بعدی را می‌توان از طریق آنچه که ریاضیدانان به آن چند لایه‌ی Calabi-Yau می‌گویند، توصیف کرد. با انجام تعداد کمی انتخاب ساده از فضاهای Calabi-Yau، نشان دادند که تقارن نظریه ریسمان‌ها را می‌توان به نظریه‌ای که بسیار به مدل استاندارد نزدیک است، شکست.

به‌این‌ترتیب نظریه ریسمان‌ها می‌تواند به این سوآل که چرا مدل استاندارد دارای سه نسل اضافی دیگر است به‌راحتی پاسخ دهد. در نظریه ریسمان‌ها، تعداد نسل‌ها یا نسخه‌های موجود در مدل کوارک، به تعداد «سوراخ»هایی که در چند لایه‌ی Calabi-Yau داریم، مربوط می‌شود. (به‌عنوان مثال، یک پیراشکی، یک لاستیک تیوب اتومبیل، و یک فنجان قهوه، هر سه، سطوحی با یک سوراخ هستند. فریم‌های عینک دارای دو سوراخ هستند. سطوح Calabi-Yau می‌توانند به تعداد دلخواه سوراخ داشته باشند.) بنابراین تنها با انتخاب چند لایه‌ی Calabi-Yau که تعداد مشخصی سوراخ داشته باشد، می‌توانیم مدل استانداردی بسازیم که دارای نسل‌های متفاوتی از کوارک‌های اضافی باشد. (از آنجایی‌که ما هرگز نمی‌توانیم فضای Calabi-Yau را ببینیم (زیرا بسیار کوچک است)، هرگز نخواهیم توانست شاهد وجود سوراخ‌های آن باشیم.) در طول سال‌ها گروه‌های مختلفی از فیزیکدانان، با علم به این موضوع که توپولوژی این فضای شش بعدی، کوارک‌ها و لپتون‌های جهان

چهار بعدی ما را تعیین می‌کند، به سختی تلاش کردند تا فهرستی از تمام فضاهای ممکن Calabi-Yau تهیه کنند.

نظریه M

هیجان ناشی از ظهور نظریه ریسمان‌ها که در سال ۱۹۸۴ بپا خاسته بود، تا ابد ادامه نیافت. در اواسط دهه ۱۹۹۰، ارکستر ابرریسمان‌ها به مرور زمان اهمیت خود را در بین فیزیکدانان از دست داد. مواجهه با مشکلات ساده دانشمندان را از پرداختن به مشکلات عمقی‌تر بازداشت. یکی از این مشکلات وجود میلیاردها پاسخ برای معادلات ریسمان بود. با فشردن و حلقه کردن ساختار فضا-زمان به روش‌های مختلف، می‌توان پاسخ‌های ریسمان را در هر بعدی (و نه فقط در چهار بعد) نوشت. هرکدام از میلیاردها پاسخ ریسمان، به یک جهان از نظر ریاضی خود سازگار، مربوط می‌شوند.

فیزیکدانان با انبوهی از پاسخ‌های ریسمان‌ها مواجه شدند. بسیاری از آن‌ها به‌طور قابل توجهی شبیه به جهان ما به‌نظر می‌رسیدند. با انتخاب مناسب فضای Calabi-Yau، ایجاد مجدد بسیاری از ویژگی‌های کلی مدل استاندارد، با مجموعه عجیبش از کوارک‌ها و لپتون‌ها حتی با وجود مجموعه نادر نسخه‌های کپی، نسبتاً ساده خواهد بود. با این حال یافتن دقیق مدل استاندارد، با مقادیر مشخص نوزده پارامتر آن و سه نسل تکراری، بسیار مشکل بود (و حتی امروزه هم در بین دانشمندان به صورت مبارزه‌ای در جریان است). (تعداد زیاد پاسخ‌های ریسمان‌ها از جانب فیزیکدانانی که به ایده جهان‌های چندگانه معتقد بودند مورد استقبال واقع شد، زیرا هر پاسخی نمایانگر یک جهان موازی کاملاً خود سازگار است. اما باعث تاسف بود که فیزیکدانان در یافتن دقیق جهان ما در بین این جنگل از جهان‌ها دچار مشکل بودند.)

یکی از دلایل دشواری این مسئله این است که چون ما در دنیای کم انرژی خود ابرتقارن را نمی‌بینیم، سرانجام باید جایی ابرتقارن شکسته شود. به‌عنوان مثال ما در طبیعت سلکترون، یعنی همان اَبَرزوج الکترون، را

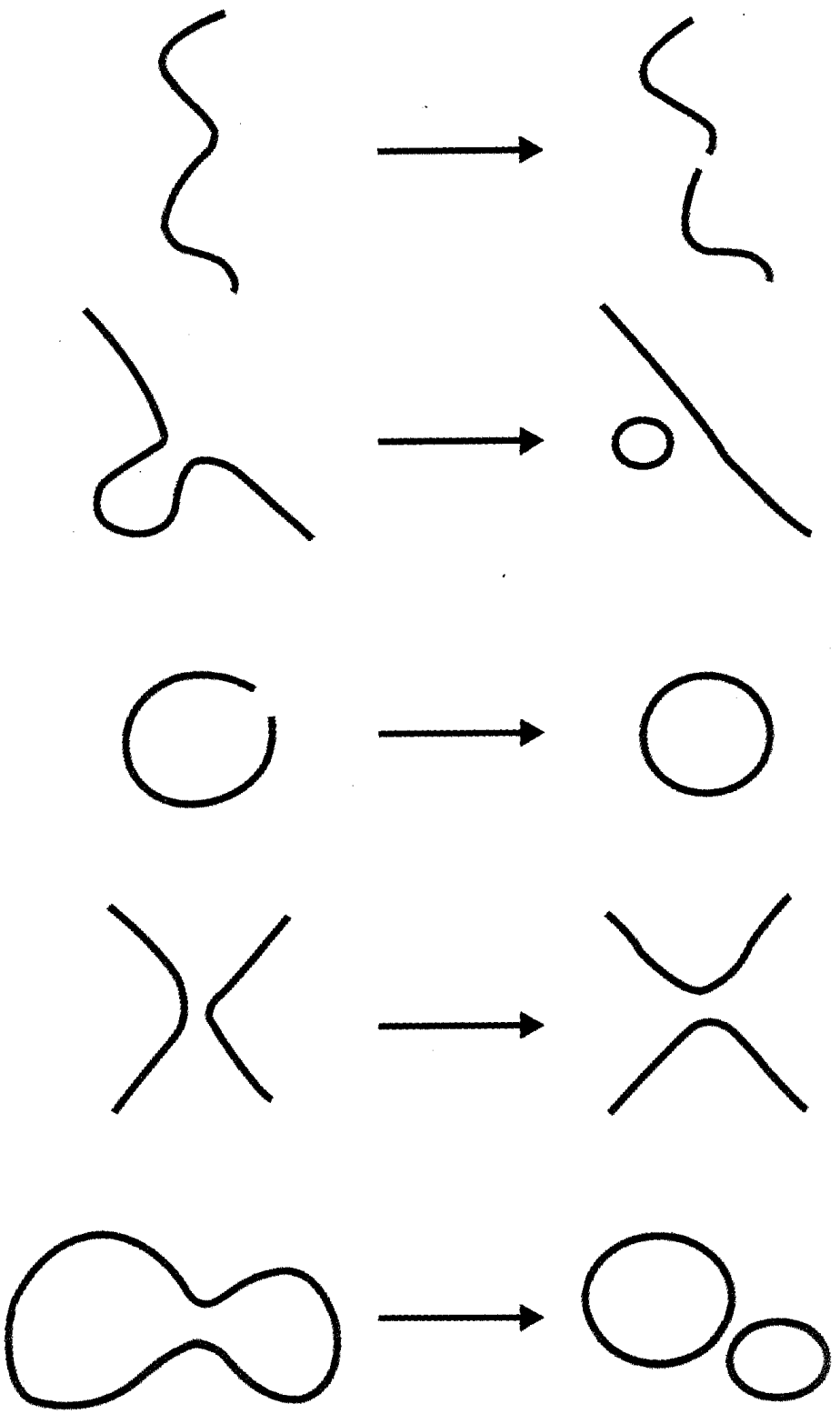
نمی‌بینیم. اگر اَبَرتقارن شکسته نشود آنگاه جرم هر ذره باید با جرم اَبَرزوج آن برابر باشد. فیزیکدانان عقیده دارند که اَبَرتقارن شکسته و در نتیجه جرم اَبَرذرات بسیار بیشتر شده است؛ یعنی فراتر از محدوده شتابدهنده‌های امروزی ذرات. اما تاکنون هیچ کس مکانیزم معتبری را برای‌شکستن اَبَرتقارن پیشنهاد نکرده است.

دیوید گراس، از انستیتوی کاولی فیزیک نظری در سانتا باربارا، خاطرنشان کرده است که در سه بعد فضایی، میلیون‌ها میلیون پاسخ برای نظریه ریسمان‌ها وجود دارد و این مسئله شرم‌آور است زیرا که روش مناسبی برای انتخاب از بین آن‌ها وجود ندارد.

ابهامات دیگری نیز وجود دارند. یکی از پر رنگ‌ترین آن‌ها این حقیقت بود که پنج نظریه ریسمانی خود سازگار وجود داشت. تصور اینکه جهان بتواند پنج نظریه مجزای میدان یکپارچه را تحمل کند بسیار مشکل بود. اینشتین عقیده داشت که خداوند در خلق جهان حق انتخابی نداشته است، پس چرا باید پنج تا از آن‌ها را خلق کند؟

نظریه اصلی که براساس فرمول ونتزیانو شکل گرفته است، توصیف گر نظریه ریسمانی نوع ۱ است. نظریه نوع ۱، بر پایه هر دو نوع ریسمان باز (ریسمان‌هایی با دو انتهای باز) و بسته (ریسمان‌های حلقه‌ای) بنا شده است. این نظریه بیشتر در اوایل دهه ۱۹۷۰ مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. (کیکاوا و من، با استفاده از نظریه میدان ریسمان‌ها، موفق شدیم تا فهرستی از مجموعه کامل برهم‌کنش‌های ریسمانی نوع ۱ تهیه کنیم. ما نشان دادیم که ریسمان‌های نوع ۱ دارای پنج شکل مختلف برهم‌کنش هستند؛ و برای ریسمان‌های بسته نشان دادیم که تنها یک نوع برهم‌کنش کافی است.)

کیکاوا و من همچنین نشان دادیم که ایجاد نظریه‌های کاملاً خود سازگار تنها با استفاده از ریسمان‌های بسته (شبیه به حلقه) امکان‌پذیر است. امروزه این‌ها به نام نظریه‌های ریسمانی نوع ۲ شناخته شده‌اند، که در آن‌ها برهم‌کنش ریسمان‌ها از طریق تبدیل یک ریسمان دایره شکل به دو ریسمان کوچک‌تر (شبیه به تقسیم سلولی) صورت می‌گیرد.



در ریسمان‌های نوع ۱ پنج برهم‌کنش ممکن وجود دارد، که در هرکدام از آن‌ها ریسمان‌ها می‌توانند شکسته، به‌هم متصل یا تجزیه شوند. برای ریسمان‌های بسته تنها آخرین برهم‌کنش ضروری است. (شبیه به تقسیم سلولی)

واقع بینانه‌ترین نظریه ریسمانی به نام نظریه ریسمان هتروتیک[1] شناخته می‌شود که به‌وسیله گروهی از دانشمندان در پرینستون (دیوید گراس، یل مارتینِک، رایان رام، و جفری هاروِی) فرمول بندی شده است. ریسمان‌های هتروتیک می‌توانند شامل گروه‌های تقارن یا $E(8)\times E(8)$ یا $O(32)$ باشند که آنقدر بزرگ هستند که بتوانند نظریه‌های گات را در خود ببلعند. نظریه ریسمان هتروتیک کاملاً براساس ریسمان‌های بسته بنا شده است. در دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰، زمانی که دانشمندان برای اولین‌بار ابرریسمان‌ها را مطرح کردند، به‌طور ضمنی منظور آن‌ها ریسمان هتروتیک بوده است. زیرا چنین نظریه ریسمانی به‌اندازه کافی قدرت داشت تا امکان بررسی مدل استاندارد و نظریه‌های گات را فراهم کند. به‌عنوان مثال گروه تقارن $E(8)\times E(8)$ را می‌توان به $E(8)$ و سپس $E(6)$ شکست که بنوبه خود برای $SU(3)\times SU(2)\times U(1)$ اینکه شامل تقارن شود، به اندازه کافی بزرگ است.

راز اَبَرگرانش

علاوه بر پنج نظریه اَبَرریسمان‌ها، مسئله حل نشده دیگری وجود داشت که در هجوم برای یافتن نظریه ریسمان‌ها به فراموشی سپرده شده بود. در سال ۱۹۷۶، سه فیزیکدان به نام‌های پیتر وَن نیووِنهایزِن، سرژیو فِرارا، و دانیل فریدمن که در آن زمان در دانشگاه ایالتی نیویورک در استونی بروک کار می‌کردند، دریافتند که نظریه اصلی گرانش اینشتین را می‌توان تنها با معرفی یک میدان جدید، یعنی یک اَبَرزوج برای میدان اصلی گرانش (به نام گراویتینو، به معنی گراویتون کوچک، با اسپین ۳/۲)، اَبَرمتقارن ساخت. این نظریه جدید اَبَرگرانش نام گرفت. اساس این نظریه، به‌جای ریسمان‌ها، ذرات نقطه‌ای بودند. برخلاف اَبَرریسمان، با زنجیره نامتناهی از نت‌ها و رزونانس‌ها، اَبَرگرانش تنها دو ذره داشت. در سال ۱۹۷۸، اوگِن کرِمِر، جوئل شِرک و برنارد جولیا از مدرسه عالی اکول نرمال، نشان دادند که جامع‌ترین

1. Heterotic string theory

نظریه اَبَرگرانش را می‌توان در یازده بعد نوشت. (در صورتی که بخواهیم نظریه ابرگرانش را در دوازده یا سیزده بعد بنویسیم، تناقضات ریاضی به‌وجود می‌آیند.) در اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوائل دهه ۱۹۸۰ تصور بر این بود که ابرگرانش ممکن است همان نظریه افسانه‌ای میدان یکپارچه باشد. حتی زمانی که استیون هوکینگ در میهمانی افتتاحیه کسب کرسی لوکاسین ریاضیات در دانشگاه کمبریج (همان کرسی که زمانی در اختیار ایزاک نیوتون بود) سخنرانی می‌کرد، به نزدیک شدن «انتهای فیزیک نظری» اشاره کرد. اما اَبَرگرانش نیز به‌زودی با همان مشکلاتی که دیگر نظریه‌های پیشین را از پای در آورده بود مواجه شد. اگرچه این نظریه بی‌نهایت‌های کم‌تری نسبت به یک نظریه میدان معمولی داشت، در بررسی‌های نهایی مشخص شد که اَبَرگرانش متناهی نیست و احتمالاً ناهنجاری‌های موجود در آن منجر به از بین رفتن نظریه می‌شود. این نظریه نیز، مثل تمام دیگر نظریه‌های میدان (به جز نظریه ریسمان‌ها) ناگهان از چشم دانشمندان افتاد.

نظریه اَبَرمتقارن دیگری که می‌تواند در یازده بعد وجود داشته باشد، نظریه اَبَرپوسته‌ها است. اگرچه ریسمان تنها یک بعد دارد که طول آن را مشخص می‌کند، یک اَبَرپوسته می‌تواند دو بعد یا بیشتر داشته باشد، زیرا نشانگر یک سطح است. به‌علاوه مشخص شد که دو نوع از پوسته‌ها (پوسته دو بعدی و پنج بعدی) نیز در یازده بعد، خود سازگار هستند.

با این وجود اَبَرپوسته‌ها نیز دارای مشکلاتی بودند؛ آشکارا کار با آن‌ها سخت بوده و نظریه‌های کوانتومی آن‌ها از یکدیگر واگرا می‌شوند. درحالی‌که ریسمان‌های ساز ویولون چنان ساده هستند که فیثاغوریان یونانی توانستند قوانین هارمونی آن را در ۲۰۰۰ سال پیش استخراج کنند، از طرف دیگر، کار با پوسته‌ها چنان دشوار است که حتی امروزه نیز نتوانسته‌اند نظریه رضایت بخشی براساس مدل موسیقی برای آن‌ها ارائه دهند. به‌علاوه نشان داده شد که این پوسته‌ها ناپایدارند و سرانجام به شکل ذرات نقطه‌ای در می‌آیند.

بنابراین در اواسط دهه ۱۹۹۰، فیزیکدانان با اسرار متعددی مواجه بودند.

به چه علت در ده بعد پنج نظریه ریسمانی مختلف وجود دارد؟ و چرا در یازده بعد دو نظریه، اَبَرگرانش و اَبَرپوسته‌ها، وجود دارند؟ جالب اینجاست که همه دارای اَبَرتقارن هستند.

بعد یازدهم

در سال ۱۹۹۴، اتفاق مهمی افتاد. کشف تازه‌ای، بار دیگر، چشم انداز موجود را تغییر داد. ادوارد ویتن به‌همراه پل تاوسند از دانشگاه کمبریج، از نظر ریاضی نشان دادند که نظریه ده بعدی ریسمان‌ها در حقیقت تقریبی از یک نظریه بزرگ‌تر یازده بعدی با یک منشأ ناشناخته است. به‌عنوان مثال ویتن نشان داد که اگر نظریه پوسته‌ای را در فضای یازده بعدی در نظر بگیریم، و سپس یکی از ابعاد را لوله کنیم، آنگاه به نظریه ریسمانی ده بعدی نوع IIa تبدیل می‌شود

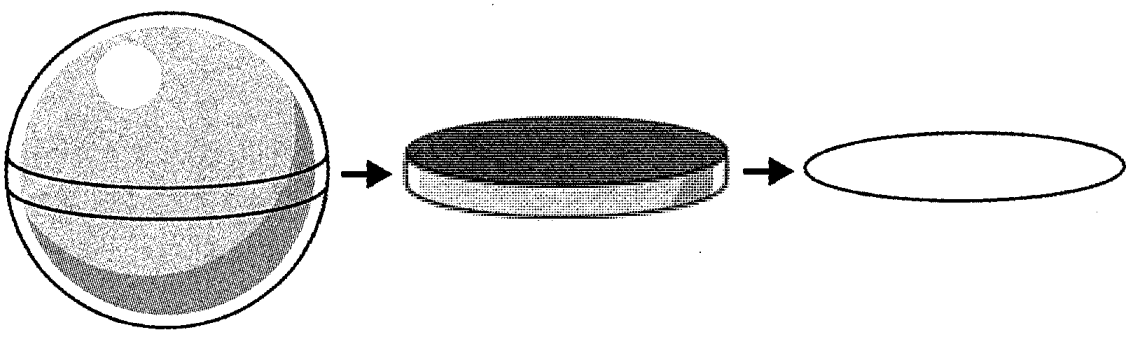
پس از آن به سرعت دریافتند که تمام پنج نظریه ریسمان‌ها را می‌توان به یک شکل نشان داد و آن‌ها تنها تقریب‌های متفاوتی از همان نظریه یازده بعدی ریسمان‌ها هستند. از آنجا که در یازده بعد انواع مختلف پوسته‌ها می‌توانند وجود داشته باشند، ویتن این نظریه جدید را نظریه M نامید. اما این نظریه نه تنها پنج نظریه متفاوت ریسمان‌ها را با یکدیگر یکپارچه می‌ساخت، بلکه پرده از راز اَبَرگرانش نیز بر می‌داشت.

اگر به خاطر داشته باشید، اَبَرگرانش یک نظریه یازده بعدی تنها شامل دو ذره با جرم صفر بود که یکی از این دو ذره همان گراویتون اصلی اینشتین و دیگری زوج اَبَرمتقارن آن (به نام گراویتینو) است. از طرف دیگر، نظریه M دارای تعداد نامحدودی از ذرات با جرم‌های مختلف است (که مربوط می‌شوند به ارتعاشات نامحدودی که می‌توان بر روی نوعی پوسته یازده بعدی ایجاد کرد). ولی اگر ما فرض کنیم که بخش کوچکی از نظریه M (شامل تنها ذرات بدون جرم) همان نظریه قدیمی اَبَرگرانش است، آنگاه این نظریه می‌تواند وجود اَبَرگرانش را نیز توضیح دهد. به بیان دیگر، نظریه اَبَرگرانش زیرمجموعه کوچکی از نظریه M است. به‌طور مشابه اگر نظریه پوسته‌ای

یازده بعدی را در نظر بگیریم و یک بُعد از آن را لوله کنیم، آنگاه مفهوم پوسته به یک ریسمان تبدیل خواهد شد. در حقیقت دقیقاً به نظریه نوع II ریسمان‌ها تبدیل می‌شود. به‌عنوان مثال اگر به کره‌ای در یازده بعد بنگریم و سپس یک بعد آن را لوله کنیم، شکل کره از بین رفته و دایره استوایی آن به یک ریسمان بسته تبدیل می‌شود. می‌بینیم که اگر بعد یازدهم را به دایره کوچکی لوله کنیم، نظریه ریسمانی را می‌توان به‌عنوان تکه‌ای از یک پوسته در یازده بعد نشان داد.

بنابراین ما موفق شده‌ایم روش زیبا و ساده‌ای را برای یکپارچه ساختن تمام فیزیک ده و یازده بعدی، در یک نظریه مستقل، بیابیم. این مسئله از نظر فکری کار بسیار بزرگی محسوب می‌شد.

من هنوز شوک ناشی از این کشف ناگهانی را به خاطر دارم. در آن زمان در دانشگاه کمبریج سخنرانی داشتم. پاول تانسند از سر لطف مرا به مستمعین معرفی کرد. اما قبل از اینکه من شروع به صحبت کنم، او با هیجان زیاد به توضیح نتایج جدید پرداخت، مبنی بر اینکه در بعد یازدهم نظریه‌های ریسمانی مختلف را می‌توان در یک نظریه مستقل با یکدیگر یکپارچه کرد.



یک ریسمان ده بعدی را می‌توان، از طریق تکه کردن یا لوله کردن یک بعد، از یک پوسته یازده بعدی به‌دست آورد. دایره استوای یک پوسته پس از حذف یک بعد به ریسمان تبدیل می‌شود. پنج روش برای این کاهش بعد وجود دارد که باعث می‌شود پنج نظریه ابرریسمانی مختلف در ده بعد پدید آیند.

عنوان سخنرانی من به ده بعد اشاره داشت. قبل از اینکه من شروع به صحبت کنم، او خاطرنشان کرد اگر این ادعا ثابت شود، دیگر عنوان سخنرانی من بی‌معنی خواهد بود.

من با خودم فکر کردم: «اوه اوه.» یا او دیوانه شده بود یا اینکه جامعه فیزیک به سمتی می‌رفت که کاملاً زیر و رو شود.

نمی‌توانستم چیزی را که می‌شنیدم باور کنم. بنابراین رگباری از سولات را به سویش سرازیر کردم. من نشان دادم که یک اَبَرپوسته یازده بعدی، نظریه‌ای که او خودش به فرمول بندی آن کمک کرده بود، بلااستفاده است زیرا از نظر ریاضی غیرقابل کنترل است و بدتر اینکه ناپایدار هم هست. او تصدیق کرد این مشکلات وجود دارد ولی دلگرم بود از اینکه این مشکلات در آینده برطرف خواهند شد.

من همچنین گفتم که اَبَرگرانش یازده بعدی متناهی نبوده و درست مثل دیگر نظریه‌ها، البته به غیرا از نظریه ریسمان‌ها، از هم می‌پاشد. او با آرامش پاسخ داد که آن مسئله دیگر یک مشکل محسوب نمی‌شود، زیرا که اَبَرگرانش چیزی نیست جز تقریبی از یک نظریه بزرگ‌تر ولی درعین حال هنوز مبهم، به نام نظریه که خود متناهی است. در حقیقت همان نظریه ریسمان‌ها بود که این‌بار در بعد یازدهم برحسب پوسته‌ها فرمول بندی شده بود.

سپس من بیان کردم که وجود اَبَرپوسته‌ها غیرقابل قبول است، زیرا هیچ کس هرگز نتوانسته است توضیح دهد که چگونه پوسته‌ها هنگام برخورد با هم یا شکل‌گیری مجدد، با یکدیگر برهم‌کنش دارند (کاری که من سال‌ها پیش در پایان نامه دکترای خود برای نظریه ریسمان‌ها انجام داده بودم). او این‌بار هم تصدیق کرد که این مشکل وجود دارد ولی باز هم دلگرم بود از اینکه حل خواهد شد.

در آخر من گفتم که نظریه در حقیقت اصلاً یک نظریه نیست، زیرا که معادلات اساسی آن مشخص نیستند. برخلاف نظریه ریسمان‌ها (که می‌توانست به صورت عباراتی از معادلات ساده میدان ریسمان که سال‌ها پیش نوشته بودم و کل نظریه را در بر می‌گرفت، بیان شود.)، پوسته‌ها هیچ نظریه میدانی نداشتند. او این مسئله را نیز تائید کرد. با این حال هنوز هم دلگرم بود به اینکه معادلات نظریه بالاخره پیدا می‌شوند.

ذهن من عاجز شد. اگر حرف‌های او حقیقت داشت، نظریه ریسمانی بار

دیگر دچار یک تغییر شکل بنیادی می‌گردید. پوسته‌ها که یکبار به سطل زباله تاریخ فیزیک انداخته شده بودند، ناگهان بار دیگر احیا شدند.

منشاء این تحول آن است که نظریه ریسمان‌ها هنوز رو به عقب تکامل می‌یابد. حتی امروزه نیز هیچ کس اصول فیزیکی ساده‌ای را که زمینه یک نظریه کامل است، نمی‌شناسد. مایلم این موضوع را به این صورت به تصویر بکشم که فردی در حال راه رفتن در بیابان است و کاملاً تصادفی به سنگ کوچک زیبایی برخورد می‌کند. وقتی شن‌های روی سنگ را پاک می‌کند در می‌یابد که سنگ در حقیقت قسمت فوقانی یک هرم غول‌پیکر است که در زیر تن‌ها شن مدفون شده است. پس از ده‌ها سال استخراج شن و خاکبرداری، به خط اسرارآمیز هیروگلیف و حجره‌ها و تونل‌های مخفی برخورد می‌کند. سرانجام یک‌روز به طبقه همکف رسیده و دروازه ورودی را باز می‌کند.

دنیای پوسته‌ها[1]

یکی از ویژگی‌های بدیع نظریه M این است که نظریه، تنها ریسمان‌ها را معرفی نمی‌کند، بلکه مجموعه کاملی از پوسته‌ها با ابعاد مختلف را نیز معرفی می‌کند. در این تصویر، ذرات نقطه‌ای پوسته صفر بعدی نامیده می‌شوند. زیرا آن‌ها بی‌نهایت کوچک هستند و بعد ندارند. در این صورت یک ریسمان یک پوسته یک بعدی نامیده می‌شود، زیرا یک شیء یک بعدی است که با طولش تعیین می‌شود. پوسته همان پوسته دو بعدی است، درست مثل سطح زمین بسکتبال، که با طول و عرض تعیین می‌شود. (زمین بسکتبال می‌تواند در سه بعد شناور باشد ولی می‌توان گفت سطح آن دو بعدی است.) جهان ما می‌تواند به نوعی یک پوسته سه بعدی باشد؛ یک شیء سه بعدی که دارای طول و عرض و ارتفاع است. (اگر فضا دارای بعد باشد، که عددی صحیح است، آنگاه جهان ما یک پوسته بعدی خواهد بود. جدولی که تمام ابعاد پوسته‌ها را نشان می‌دهد جدول پوسته‌ها نامیده می‌شود.)

---

1. Brane

روش‌های متعددی برای فروشکستن یک پوسته به یک ریسمان وجود دارد. به‌جای لوله کردن بعد یازدهم، می‌توان ناحیه استوایی یک پوسته یازده بعدی را برش داده و روبان دایره‌ای شکلی ایجاد کنیم. هرچه بیشتر روبان دایره‌ای را باریک کنیم، در این‌صورت روبان به یک ریسمان ده بعدی تبدیل خواهد شد. پتر هوراوا و ادوارد ویتن نشان دادند با استفاده از این روش می‌توان ریسمان هتروتیک را تهیه کرد.

می‌توان نشان دادکه پنج روش مختلف وجود دارد که به کمک آن‌ها می‌توان نظریه M یازده بعدی را به ده بعد کاهش داده و به‌این‌ترتیب پنج نظریه مختلف ابرریسمانی را نتیجه گرفت. نظریه M، به این سوآل که چرا پنج نظریه مختلف برای ریسمان‌ها وجود دارد، پاسخی سریع و قابل فهم داده است. تصور کنید که بر قله کوه بلندی ایستاده‌اید و به دشت‌ها نگاه می‌کنید. از دیدگاه بعد سوم، بخش‌های مختلف به صورت یکپارچه در یک تصویر منسجم دیده می‌شوند. به‌همین ترتیب از دیدگاه بعد یازدهم، با نگاه کردن به بعد دهم، هر کدام از پنج نظریه ابرریسمانی را به صورت تکه‌های مختلف بعد یازدهم می‌بینیم.

دوگانی

اگرچه در آن زمان پاول تانسند نتوانست به اغلب سوآلاتی که از او پرسیدم پاسخ دهد، اما آنچه که در نهایت مرا نسبت به صحت این ایده متقاعد کرد، وجود تقارن قدرتمند دیگری بود. نظریه M نه فقط بزرگ‌ترین مجموعه از تقارن‌های شناخته شده در فیزیک را داراست، بلکه مسئله عجیب دیگری نیز در آن مشاهده می‌شود: دوگانی موجود در نظریه M این امکان را فراهم می‌آورد که تمام پنج نظریه اَبَرریسمان در یک نظریه ادغام شود.

الکتریسیته و مغناطیس را که بر طبق معادلات مکسول عمل می‌کنند، در نظر بگیرید. مدت‌ها پیش مشاهده شده بود که با جابجایی میدان مغناطیسی و الکتریکی، شکل معادلات تقریباً تغییری نمی‌کند. این تقارن را می‌توان با افزودن تک قطبی‌ها (قطب‌های تکی از مغناطیس) به معادلات مکسول کامل

کرد. در این صورت اگر در معادله به‌دست آمده مکسول، میدان الکتریکی را با میدان مغناطیسی و بار الکتریکی M را نیز با عکس بار مغناطیسی g جابجا کنیم، معادله دقیقاً بدون تغییر باقی خواهد ماند. یعنی الکتریسیته (اگر بار الکتریکی کم باشد)، دقیقاً با مغناطیس (اگر بار مغناطیسی زیاد باشد) یکسان است. این یکسان بودن را دوگانی می‌نامند.

در گذشته وجود چنین دوگانی را تنها به‌عنوان یک کنجکاوی علمی تعبیر می‌کردند، زیرا هیچ کس حتی امروز نیز یک تک قطبی مغناطیسی را ندیده است. با این حال، فیزیکدانان دریافتند که معادلات مکسول دارای تقارن نهفته‌ای هستند که طبیعت ظاهراً از آن استفاده‌ای نمی‌کند (حداقل در بخشی از جهان که ما در آن زندگی می‌کنیم).

به‌طور مشابه، تمام پنج نظریه ریسمان‌ها با یکدیگر دوگان هستند. نظریه نوع I و نظریه ریسمانی SO(32) هتروتیک را در نظر بگیرید. در حالت معمولی این دو نظریه حتی شبیه به‌هم نیز نیستند. نظریه نوع I بر اساس ریسمان‌های باز و بسته‌ای که به پنج روش مختلف برهم‌کنش دارند بنا شده است. از طرف دیگر، نظریه ریسمان SO(32) کاملاً براساس ریسمان‌های بسته بنا شده است، که تنها یک روش ممکن برای برهم‌کنش دارند (شبیه تقسیم سلولی). ریسمان نوع I در فضای ده بعدی به‌طور کامل تعریف می‌شود. درحالی‌که ریسمان SO(32)، از طریق مجموعه‌ای از ارتعاشات تعریف شده در فضای بیست و شش بعدی مشخص می‌شوند.

بنابراین همان‌طورکه مشاهده می‌شود نمی‌توان دو نظریه را یافت که اینقدر به‌هم بی‌شباهت باشند. با این حال، درست مشابه الکترومغناطیس، این نظریه‌ها دارای دوگانی قدرتمندی هستند: با افزایش قدرت برهم‌کنش‌ها، به‌طور جادویی ریسمان‌های نوع I به ریسمان‌های SO(32) تبدیل می‌شوند. (این نتیجه چنان غیر منتظره است که زمانی که اولین‌بار آن را دیدم سر خود را به نشانه بُهت تکان دادم. در فیزیک به ندرت دو نظریه را می‌بینیم که از تمام جهات کاملاً متفاوت به‌نظر برسند و نشان داده شود که از نظر ریاضی با هم معادلند.)

لیزا رَندال

شاید بتوان گفت بزرگ‌ترین مزیتی که نظریه M نسبت به نظریه ریسمان‌ها دارد این است که در این نظریه، ابعاد بالاتر به‌جای اینکه بسیار کوچک باشند، در واقع می‌توانند کاملاً بزرگ بوده و در آزمایشگاه قابل مشاهده باشند. در نظریه ریسمان‌ها شش تا از ابعاد بالاتر باید به یک توپ کوچک، یعنی یک چند لایه‌ی Calabi-Yau، جمع شده و البته برای اینکه با ابزار امروزی قابل مشاهده باشند بسیار کوچکند. این شش بعد، همگی فشرده شده‌اند و بنابراین ورود به بعد بالاتر غیرممکن است. این مسئله کسانی را که امیدوار بودند روزی بتوانند، به‌جای صرفاً استفاده از کرمچاله‌ها برای عبور از درون فرافضای فشرده، به درون یک اَبَرفضای متناهی صعود کنند، مایوس ساخت.

علاوه براین نظریه M از پوسته‌ها استفاده می‌کند؛ یعنی می‌توان کل جهان ما را به صورت پوسته‌ای درنظر گرفت که در جهانی بسیار بزرگ‌تر شناور است. در نتیجه لازم نیست که تمام ابعاد بالاتر در یک توپ جمع شوند. در حقیقت اندازه برخی از آن‌ها می‌تواند بزرگ و بی‌نهایت باشد.

لیزا رَندال از هاروارد، فیزیکدانی بود که تلاش کرد تا از این تصویر جدید جهان بهره برداری کند. رَندال، شبیه به جودی فاستر هنرپیشه، به‌نظر می‌رسید در حرفه فیزیک نظری که سخت رقابتی، برانگیخته از تستوسترون و شدیداً مردانه است، جایی نداشته باشد. او این ایده را دنبال می‌کرد که اگر جهان واقعاً در فضای ابعاد بالاتر شناور باشد، شاید به کمک این مسئله بتوان توضیح داد که چرا گرانش تا به این حد از سه نیروی دیگر ضعیف‌تر است.

رندال در کوئینز نیویورک بزرگ شده بود (شهری که با نام آرچی بانکر جاودانه شد). او عاشق ریاضیات بود و در دوران کودکی خود علاقه خاصی به فیزیک نشان نمی‌داد. اگرچه معتقدم که تمام ما در هنگام تولد کودکان دانشمندی هستیم، ولی متأسفانه همه ما در دوران بزرگسالی موفق به پیگیری علاقه خود به علم نمی‌شویم. یکی از دلائل این امر برخورد با دیوار ریاضیات است.

باید این واقعیت را پذیرفت که اگر قصد داشته باشیم کار خود را در زمینه

علم ادامه دهیم، عاقبت مجبوریم که «زبان طبیعت» را بیاموزیم؛ یعنی ریاضیات. بدون ریاضیات ما در حقیقت، به‌جای اینکه خود به رقص درآییم، تنها تماشاگران منفعل رقص طبیعت هستیم. آن‌طور که اینشتین یکبار گفته است، «ریاضیات محض، کلام موزونی از ایده‌های منطقی به روش خود است.» مثالی را مطرح می‌کنم. ممکن است کسی عاشق تمدن و ادبیات فرانسه باشد، اما برای اینکه به‌درستی تفکر فرانسوی را بفهمد باید زبان فرانسه و چگونگی صَرف افعال آن را بیاموزد. همین مسئله برای علم و ریاضیات نیز صادق است. گالیله یکبار نوشت: «[جهان] را نمی‌توان مورد مطالعه قرار داد، مگر اینکه زبان آن را بیاموزیم و با حروفی که با آن نوشته شده است آشنا شویم. جهان به زبان ریاضی نوشته شده است و حروف الفبای آن مثلث‌ها، دایره‌ها و دیگر اشکال هندسی هستند که بدون آن‌ها انسان حتی قادر به فهم یک کلمه نیز نخواهد بود.»

اما ریاضیدانان اغلب به این موضوع افتخار می‌کنند که غیرعملی‌ترین علم را دارند. هرچه ریاضیات انتزاعی‌تر و بلااستفاده‌تر، بهتر. در اوایل دهه ۱۹۸۰ رَندال که در هاروارد دانشجوی لیسانس بود، مسیر خود را تغییر داد. او مجذوب این ایده بود که فیزیک می‌تواند «مدل»هایی برای جهان ارائه دهد. زمانی که ما فیزیکدان‌ها در ابتدا یک نظریه جدید را مطرح می‌کنیم، تنها بر اساس دسته‌ای از معادلات نیست. نظریه‌های فیزیکی جدید اغلب بر اساس مدل‌های ساده شده و بهبود یافته‌ای هستند که یک پدیده را شبیه‌سازی می‌کنند. این مدل‌ها اغلب ترسیمی و تصویری بوده و فهمیدن آن‌ها آسان است. به‌عنوان مثال، مدل کوارک براساس این ایده بنا شده است که درون یک فوتون سه جزء تشکیل دهنده به نام کوارک قرار دارند. رَندال تحت تاثیر این موضوع قرار گرفت که مدل‌های ساده‌ای که براساس تصاویر فیزیکی تهیه می‌شوند، می‌توانند بخش قابل توجهی از جهان را توضیح دهند.

در دهه ۱۹۹۰، او به نظریه M و این احتمال که کل جهان یک پوسته باشد علاقه‌مند شد. سپس او تلاش خود را بر روی معمای حل نشده گرانش متمرکز کرد. نه نیوتون و نه اینشتین، هیچ‌کدام به این سوآل اساسی و در عین

حال اسرارآمیز پاسخ نداده بودند؛ درحالی‌که سه نیروی دیگر جهان (الکترومغناطیس، نیروی هسته‌ای ضعیف، و نیروی هسته‌ای قوی) تقریباً از نظر قدرت با هم برابرند، چرا گرانش کاملاً متفاوت است.

به‌طور خاص، جرم کوارک‌ها بسیار کوچک‌تر از جرم مربوط به گرانش کوانتومی است. رندال می‌گوید: «این اختلاف کم نیست؛ این دو جرم ۱۶ برابر با هم تفاوت دارند! احتمالاً تنها نظریه‌هایی که قادر به توضیح این نسبت بزرگ باشند، می‌توانند به‌عنوان زیرمجموعه‌هایی از مدل استاندارد مطرح شوند.»

این حقیقت که گرانش تا به این اندازه ضعیف است، این مسئله را که چرا ستارگان تا این اندازه بزرگ هستند، توضیح می‌دهد. کره زمین با اقیانوس‌ها، کوه‌ها، و قاره‌ها در مقایسه با ابعاد بزرگ خورشید چیزی جز یک نقطه کوچک نیست. ولی به‌دلیل اینکه گرانش بسیار ضعیف است، برای اینکه بتوانیم هیدروژن را آنقدر فشرده کنیم که بر نیروی دافعه الکتریکی پروتون غلبه کند، به جرمی برابر با جرم یک ستاره نیاز است. بنابراین ستارگان به این دلیل اینقدر بزرگ هستند که گرانش در مقایسه با نیروهای دیگر بسیار کوچک است.

هیجان ناشی از ظهور نظریه M در دنیای فیزیک، گروه‌های متعددی را بر این داشت تا در جهت اعمال این نظریه به جهان ما تلاش کنند. فرض کنید جهان ما یک پوسته سه بعدی شناور در یک جهان پنج بعدی باشد. این‌بار ارتعاشات روی سطح پوسته سه بعدی، به اتم‌هایی که در اطراف خود می‌بینیم مربوط می‌شوند. بنابراین چنین ارتعاشاتی هرگز پوسته سه بعدی را ترک نکرده و نمی‌توانند به بعد پنجم رانده شوند. با اینکه جهان ما در بعد پنجم شناور است، اتم‌های ما نمی‌توانند جهان را ترک کنند. زیرا آن‌ها نمایانگر ارتعاشات روی سطح پوسته سه بعدی هستند. این مسئله می‌تواند پاسخگوی سوآلی باشد که کالوزا و اینشتین در سال ۱۹۲۱ مطرح کرده بودند؛ بعد پنجم کجاست؟ پاسخ این است: ما در بعد پنجم شناور هستیم، ولی نمی‌توانیم به آن وارد شویم. زیرا بدن‌های ما به سطح یک پوسته سه

بعدی چسبیده‌اند.

اما این تصویر نیز خود دچار اشکالاتی است. گرانش بیانگر انحنای فضا است. بنابراین ممکن است انتظار داشته باشیم گرانش بتواند به‌جای اینکه تنها در پوسته سه بعدی‌وجود داشته باشد، تمام فضای پنج بعدی را اشغال کند. در این حالت، زمانی که نیروی گرانش از پوسته سه بعدی خارج شود، رقیق خواهد شد. این امر باعث تضعیف قدرت نیروی گرانش می‌شود. چنین تعبیری باعث تحکیم نظریه می‌شود، زیرا در عمل ما شاهد ضعف قدرت نیروی گرانش هستیم. اما از طرفی این تعبیر، گرانش را بیش از حد تضعیف می‌کند: با احتساب چنین فرضی، قانون عکس مجذور نیوتون به‌هم می‌ریزد، درحالی‌که قانون عکس مجذور برای سیارات، ستارگان و کهکشان‌ها به خوبی کار می‌کند. در هیچ کجای فضا برای گرانش به قانون عکس مکعب برخورد نمی‌کنیم. (چراغی را در نظر بگیرید که فضای اتاق را روشن می‌کند. نور به صورت کروی پخش می‌شود. قدرت نور در طول این کره‌ها، با دور شدن از مرکز، کم می‌شود. بنابراین اگر شعاع کره را دو برابر کنید، آنگاه همان مقدار نور در کره‌ای با مساحت چهار برابر پخش خواهد شد. به‌طور کلی اگر یک چراغ در فضای n بعدی داشته باشیم، قدرت نور آن متناسب با فاصله به توان $n-1$ کم می‌شود.)

به‌منظور پاسخ به این سوآل گروهی از فیزیکدانان شامل حامد ارکانی، اِس دیموپولوس، و جی دیوالی، پیشنهاد کردند که شاید بعد پنجم نامحدود نبوده و تنها یک میلی متر با ما فاصله دارد و درست مثل داستان علمی ـ تخیلی اچ جی ولز، بالای سر ما شناور است. (اگر فاصله بعد پنجم از ما بیشتر از یک میلیمتر باشد، آنگاه باید بتواند نسبت به قانون عکس مجذور نیوتون انحرافات قابل اندازه‌گیری ایجاد کند.) اگر بعد پنجم تنها یک میلیمتر از ما فاصله داشته باشد، می‌توان صحت این ادعا را از طریق جستجو برای یافتن انحرافات کوچک در قانون گرانش نیوتون، در فواصل خیلی کوچک، مورد آزمایش قرار داد. قانون گرانش نیوتون در فواصل کیهانی به خوبی عمل می‌کند، اما هرگز در ابعاد کوچک مثل یک میلیمتر مورد آزمایش قرار نگرفته

است. دانشمندان در حال حاضر به آزمایش برای یافتن انحرافات کوچک از قانون عکس مجذور نیوتون پرداخته‌اند. هم‌اکنون این مسئله موضوع آزمایش‌ها متعددی است که در حال اجرا هستند (در فصل ۹ به برخی از آن‌ها اشاره خواهیم کرد).

رَندال به‌همراه هم کلاسی خود، رامان ساندرام تصمیم گرفتند روش جدیدی را اتخاذ کنند. آن‌ها با استفاده از این روش مجدداً این احتمال را مورد بررسی قرار دادند که شاید بعد پنجم در فاصله یک میلیمتری ما قرار نگرفته ولی هم‌چنان نامحدود است. برای این‌کار آن‌ها باید توضیح می‌دادند که چگونه بعد پنجم می‌تواند بدون آسیب رساندن به قانون گرانش نیوتون نامحدود باشد. رَندال پاسخی برای این معما یافت. او دریافت که پوسته سه بعدی دارای کششی گرانشی است که از وارد شدن آزادانه گراویتون‌ها به بعد پنجم جلوگیری می‌کند. بنابراین گراویتون‌ها به‌دلیل گرانشی که پوسته سه بعدی اعمال می‌کند باید به آن چسبیده باشند. (مثل حشراتی که در کاغذ سمی مگس کش گیر افتاده باشند.) بنابراین با اندازه‌گیری درمی یابیم که قانون نیوتون در جهان ما تقریباً صحیح است. گرانش با ترک خوردن پوسته سه بعدی و ورود به بعد پنجم تضعیف می‌شود، ولی نه به‌مقدار خیلی زیاد؛ می‌توان گفت قانون عکس مجذور هنوز صادق است، زیرا گراویتون‌ها هنوز جذب پوسته سه بعدی می‌شوند. (رَندال همچنین احتمال وجود پوسته دومی را مطرح کرد که به صورت موازی با ما وجود دارد. اگر ما برهم‌کنش دقیق گرانش را در سرتاسر پوسته‌ها محاسبه کنیم، می‌توانیم از نظر عددی تضعیف گرانش را توضیح دهیم.)

رَندال می‌گوید: «زمانی که برای اولین‌بار پیشنهاد شد که ابعاد اضافی می‌توانند برای مسئله سلسله مراتب[1] راه حل‌های جایگزین ارائه دهند، هیجان زیادی به‌وجود آمد. در ابتدا ممکن است ابعاد فضایی اضافی ایده مضحکی به‌نظر آید، ولی دلایل قدرتمندی وجود دارند که نشان می‌دهند واقعاً ابعاد دیگری در فضا وجود دارند.»

1. Hierarchy Problem

اگر این ادعا صحت داشته باشد، آنگاه قدرت گرانش نیز به همان اندازه قدرت دیگر نیروها خواهد بود. اما به‌دلیل اینکه بخشی از گرانش به فضاهای با بعد بالاتر نشت می‌کند، قدرت آن تضعیف شده است. یکی از نتایج عمیق این نظریه این است که ممکن است برخلاف تصور قبلی، انرژی‌ای که در آن این اثرهای کوانتومی قابل اندازه‌گیری می‌شوند، برابر انرژی پلانک نباشد ($۱۰^{۱۹}$ میلیارد الکترون ولت). شاید تنها با کمک تریلیون‌ها الکترون ولت بتوان این‌کار را انجام داد. در این صورت ممکن است با استفاده از برخورد دهنده بزرگ هادرون بتوان در این دهه آثار کوانتومی گرانش را به‌دست آورد. این مسئله باعث شد که فیزیکدانان تجربی، در ورای مدل استاندارد ذرات زیراتمی، به شکار ذرات نادر روی آورند. شاید آثار کوانتومی گرانش درست در مقابل ما قرار داشته باشند.

از طرف دیگر، همچنین پوسته‌ها برای معمای ماده تاریک پاسخ قابل قبول، ولی در عین حال ذهنی را فراهم می‌آورند. در رمان مرد نامرئی، نوشته اچ جی ولز، قهرمان داستان با شناور شدن در بعد چهارم، از نظرها پنهان می‌گشت. به‌طور مشابه تصور کنید که دنیای موازی وجود دارد که بالای سر دنیای ما شناور است. هر کهکشانی که در آن دنیای موازی باشد، از نظر ما نامرئی است. اما از آنجا که گرانش از طریق خم شدن فرافضا به‌وجود می‌آید، می‌تواند بر جهان‌های دیگر تاثیر کند. یک کهکشان بزرگ در آن جهان، از طریق فرافضا به کهکشانی در دنیای ما جذب می‌شود. بنابراین زمانی که مشخصات کهکشان‌های خود را اندازه می‌گیریم، می‌بینیم که کشش گرانشی آن‌ها بیش‌تر از آن است که قانون نیوتون پیش‌بینی می‌کند. زیرا کهکشان دیگری درست پشت آن مخفی شده و در پوسته نزدیکی شناور است. این کهکشان مخفی که در پشت کهکشان ما قرار گرفته است، کاملاً نامرئی است و در بعد دیگری شناور است، اما در جهان ما به صورت یک هاله در اطراف کهکشان ما اثر می‌کند که شامل ۹۰ درصد کل جرم است. به‌این‌ترتیب ماده تاریک را می‌توان به صورت حضور یک جهان موازی تعبیر کرد.

جهان‌های برخوردکننده

شاید تصور کنید هنوز زمان آن نرسیده است که بتوان نظریه M را به‌طور جدی به حیطه کیهان‌شناسی وارد کرد. با این وجود فیزیکدانان تلاش کرده‌اند به‌منظور ایجاد تغییری جدید در شیوه معمول تورمی جهان، از «فیزیک پوسته‌ها» استفاده کنند. در همین راستا سه فلسفه مختلف کیهان‌شناسی مورد توجه واقع شده‌اند.

اولین فلسفه کیهان‌شناسی سعی دارد به این سوآل پاسخ دهد: چرا ما در فضا ـ زمان چهار بعدی زندگی می‌کنیم؟ در اصل، نظریه M را می‌توان در تمام ابعاد، تا یازده بعد فرمول بندی کرد. بنابراین انتخاب چهار بعد، خود سوآل برانگیز است. رابرت بِرَندِنبِرگِر و کامران وفا، تصور کردند که شاید این به‌دلیل هندسه خاص ریسمان‌ها باشد.

در سناریوی آن‌ها، جهان در تقارن کامل شروع شده و تمام ابعاد بالاتر در مقیاس پلانک لوله شده‌اند. آنچه که جهان را از انبساط بازداشته حلقه‌هایی از ریسمان‌ها بوده که به دور ابعاد مختلف محکم حلقه شده اند. فنر فشرده‌ای را در نظر بگیرید که به‌دلیل اینکه به‌وسیله ریسمان‌ها محکم بسته شده است نمی‌تواند باز شود. اگر بهر ترتیبی ریسمان‌ها پاره شوند، فنر ناگهان آزاد شده و انبساط می‌یابد.

در این ابعاد کوچک، به‌دلیل وجود پیچه‌هایی از هر دو ریسمان و ضدریسمان، جهان از انبساط بازداشته می‌شود (جهت پیچش ضد ریسمان‌ها در خلاف جهت ریسمان‌ها است). اگر یک ریسمان و یک ضدریسمان با هم برخورد کنند، آنگاه می‌توانند یکدیگر را خنثی کرده و از بین بروند؛ درست مثل از هم باز شدن یک گره. در ابعاد بسیار بزرگ، آنقدر فضا گسترده است که ریسمان‌ها و ضد ریسمان‌ها به ندرت با یکدیگر برخورد کرده و هرگز از هم باز نمی‌شوند. برندنبرگر و وفا نشان دادند که در ابعاد فضایی سه یا کم‌تر، احتمال بیشتری وجود دارد که ریسمان‌ها و ضد ریسمان‌ها با یکدیگر برخورد کنند. هربار که این تصادم رخ دهد، ریسمان‌ها از هم باز شده و ابعاد مختلف به بیرون می‌جهند، و در نتیجه انفجار بزرگ رخ می‌دهد. ویژگی جالب توجه

این سناریو این است که با استفاده از توپولوژی ریسمان‌ها می‌توان به‌طور تقریبی توضیح داد که چرا ما در اطراف خود، این فضا ـ زمان چهار بعدی آشنا را می‌بینیم. با اینکه جهان‌های با ابعاد بالاتر، محتمل هستند اما احتمال کمی وجود دارد که شاهد وجود آن‌ها باشیم، زیرا هنوز به‌وسیله ریسمان‌ها و ضد ریسمان‌ها به سختی بسته و محکم شده‌اند.

اما در نظریه M احتمالات دیگری نیز وجود دارند. اگر جهان‌ها بتوانند یکدیگر را دربر بگیرند یا از درون هم جوانه زده و به‌این‌ترتیب جهان‌های جدیدی را تولید کنند، آنگاه شاید عکس آن نیز بتواند رخ دهد؛ جهان‌ها با یکدیگر برخورد کرده، جرقه زده و جهان‌های جدید تولید کنند. در چنین سناریویی شاید انفجار بزرگ به‌جای اینکه از درون یک جهان جوانه بزند، به‌دلیل برخورد دو جهان پوسته‌ای موازی رخ دهد.

پل استینهارت از پرینستون، برت اِورت از دانشگاه پنسیلوانیا و نیل توروک از دانشگاه کمبریج به‌همراه هم نظریه دوم را مطرح کردند. آن‌ها جهان اکپیروتیک (در زبان یونانی به معنی آتش‌سوزی) را مطرح کردند تا بتوانند ویژگی‌های جدید تصویر پوسته M بُعدی را به‌کار گیرند. در چنین تصویری برخی از ابعاد می‌توانند بزرگ و حتی از نظر اندازه نامتناهی باشند. آن‌ها دو پوسته سه بعدی هموار، همگن و موازی را درنظر گرفتند که بیانگر پایین‌ترین حالت انرژی هستند. در ابتدا آن‌ها به صورت جهان‌های موازی و سرد بوده ولی گرانش به‌تدریج آن‌ها را به سمت هم می‌کشاند. سرانجام آن‌ها با یکدیگر برخورد می‌کنند و انرژی جنبشی عظیم ناشی از برخورد آن‌ها به تابش ماده‌ای تبدیل می‌شود که جهان ما را می‌سازند. برخی ترجیح می‌دهند که به‌جای نظریه انفجار بزرگ به این نظریه برخورد بزرگ بگویند؛ زیرا در این حالت مسئله مربوط می‌شود به برخورد دو پوسته.

نیروی ناشی از برخورد، دو جهان را از هم دور می‌کند. وقتی این دو پوسته از یکدیگر دور می‌شوند، به سرعت خنک شده، و جهانی را که امروز می‌بینیم ایجاد می‌کنند. این خنک شدن و انبساط برای تریلیون‌ها سال ادامه داشته، تا زمانی که دمای جهان‌ها به صفر مطلق نزدیک می‌شود و چگالی

ماده به تنها یک الکترون در کادریلیون سال نوری مکعب می‌رسد. در نتیجه جهان خالی و راکد می‌گردد. اما گرانش به‌کار خود برای جذب دو پوسته ادامه می‌دهد، تا اینکه تریلیون‌ها سال بعد، آن‌ها بار دیگر با یکدیگر برخورد کرده و این چرخه دوباره تکرار می‌شود.

این سناریوی جدید قادر است نتایج خوب ناشی از تورم (تختی وهمواری) را نتیجه دهد. همچنین قادر است به این پرسش پاسخ دهد که چرا جهان تخت است. دلیل این امر این است که دو پوسته در اصل تخت بوده‌اند. این مدل همچنین می‌تواند معمای افق را نیز حل کند. اینکه چرا جهان در تمام جهات تا به این اندازه هموار است. زیرا در این حالت پوسته مدت زمان زیادی دارد تا به آهستگی به حالت پایدار برسد. تورم معمای افق را به این صورت که جهان ناگهان متورم شده است توجیه می‌کند، ولی این سناریو به این معما به روش کاملاً مخالفی پاسخ می‌دهد؛ اینکه جهان با حرکت آهسته به وضعیت پایدار رسیده است.

(این یعنی احتمالاً پوسته‌های دیگری نیز در فرافضا شناور هستند که ممکن است در آینده با ما برخورد کرده و برخورد بزرگ دیگری را ایجاد کنند. با دانستن این موضوع که سرعت جهان ما رو به افزایش است، احتمال برخورد دیگری وجود دارد. استینهارت می‌افزاید: «شاید سرعت گرفتن انبساط جهان مقدمه چنین برخوردی باشد. این فکر خوشایندی نیست.»)

هر سناریویی که تصویر متداول تورم را به‌طور برجسته به چالش بکشد، عکس‌العمل‌های غضبناکی را در پی خواهد داشت. در حقیقت در عرض یک هفته پس از انتشار مقاله در اینترنت، آندری لیند و همسرش، رناتا کالوش (که خود نظریه‌پردازی ریسمانی است) و لِف کوفمَن، از دانشگاه تورنتو مقاله‌ای انتقادی بر علیه این سناریو منتشر کردند. لیند، به این دلیل که هر چیز فاجعه‌آمیز، مثل برخورد دو جهان، ممکن است تکینگی ایجاد کرده و چگالی به بی‌نهایت نزدیک شود، این مدل را مورد انتقاد قرار داد. لیند گفته است: «درست مثل این است که یک صندلی را به درون سیاهچاله پرتاب کنیم، که منجر به بخار شدن ذرات صندلی می‌شود، و آنگاه بگوییم که شکل صندلی

به نوعی حفظ شده است.»

استینهارت می‌گوید: «چیزی که در چهار بعد شبیه به یک تکینگی به‌نظر می‌رسد، ممکن است در پنج بعد اینگونه نباشد.... وقتی پوسته‌ها با یکدیگر برخورد می‌کنند، بعد پنجم موقتاً ناپدید می‌شود، ولی خود پوسته‌ها ناپدید نمی‌شوند. بنابراین چگالی و دما به سمت بی‌نهایت نرفته و زمان به مسیر خود ادامه می‌دهد. اگرچه در این حالت نسبیت عام نقض می‌شود، ولی برای نظریه ریسمان‌ها اینگونه نخواهد بود. و آنچه که زمانی در مدل ما یک فاجعه محسوب می‌شد، هم‌اکنون کنترل پذیر به‌نظر می‌رسد.»

قدرت نظریه M در حذف کردن تکینگی‌ها، به استینهارت کمک می‌کرد. در حقیقت همین مسئله است که باعث می‌شود فیزیکدانان نظری برای شروع به یک نظریه کوانتومی گرانشی نیاز داشته باشند تا بتوانند تمام بی‌نهایت‌ها را حذف کنند. با این وجود، لیند به یک آسیب‌پذیری مفهومی در این تصویر اشاره می‌کند مبنی بر اینکه پوسته‌ها در ابتدا در یک حالت تخت و هموار وجود دارند. لیند می‌گوید: «اگر با کمال آغاز کنید، شاید بتوانید آنچه را که می‌بینید توضیح دهید.... اما هنوز این پرسش باقی می‌ماند: چرا جهان باید در کمال آغاز به‌کار کرده باشد؟» استینهارت در پاسخ می‌گوید: «تخت به‌علاوه تخت، برابراست با تخت.» به بیان دیگر مجبورید فرض کنید که پوسته‌ها در پایین‌ترین حالت انرژی یعنی تخت بودن آغاز شده‌اند.

آلن گوث ذهن خود را باز نگه داشته است. او می‌گوید: «گمان نمی‌کنم که پل و نیل موفق به اثبات ادعای خود شوند. ولی مطمئناً ایده آن‌ها ارزش تامل را دارد.» او جریان را تغییر داده و نظریه‌پردازان ریسمانی را برای توضیح تورم به مبارزه می‌طلبد: «گمان می‌کنم که این مسئله غیرقابل گریز است که نظریه ریسمانی و نظریه M مجبورند با نظریه تورم پیوند بخورند، زیرا به‌نظر می‌رسد که تورم راه حلی واضح برای مشکلاتی است که به آن‌ها پاسخ می‌گوید، اینکه چرا جهان تا این اندازه تخت و هموار است؟» بنابراین او می‌پرسد: آیا نظریه M می‌تواند تصویر استاندارد تورم را نتیجه دهد؟

درآخر، نظریه رقیب دیگری وجود دارد که از نظریه ریسمانی کمک

می‌گیرد؛ نظریه «پیش از انفجار بزرگ» گابریل ونتزیانو؛ کسی که در سال ۱۹۶۸ به شروع نظریه ریسمانی کمک کرد. اگر بخواهیم بدانیم که درون یک سیاهچاله شبیه چیست، تنها کاری که باید انجام دهیم این است که به بیرون بنگریم.

در این نظریه عمر جهان در حقیقت بسیار زیاد بوده و در گذشته دور به صورت تقریباً تهی و سرد آغاز به‌کار کرده است. گرانش توده‌هایی از ماده را در سراسر جهان ایجاد کرده و به مرور زمان در برخی نواحی چنان متمرکز شده که به سیاهچاله تبدیل شده‌اند. افق‌های رویداد در اطراف سیاهچاله‌ها شکل گرفته که به‌این‌ترتیب برای همیشه بخش خارجی افق رویداد از بخش داخلی آن جدا شده است. درون افق رویداد، ماده از طریق گرانش به فشرده شدن ادامه داده تا اینکه سیاهچاله در نهایت به طول پلانک می‌رسد.

در این نقطه، نظریه ریسمانی جانشین می‌شود. طول پلانک حداقل فاصله مجاز در نظریه ریسمانی است. سیاهچاله در انفجاری بزرگ شروع به بازگشت به حالت اولیه می‌نماید. از آنجا که این فرایند ممکن است خود را در سرتاسر جهان تکرار کند، این امکان وجود دارد که سیاهچاله‌ها/جهان‌های دیگر در دوردست‌ها وجود داشته باشند.

(به‌نظر می‌رسد بعید نیست که جهان ما یک سیاهچاله باشد. تصور حسی ما این است که یک سیاهچاله باید شدیداً چگال باشد، با یک میدان گرانش عظیم و خردکننده. اما همیشه اینطور نیست. ابعاد افق رویداد یک سیاهچاله با جرم آن متناسب است. هرچقدر که سیاهچاله جرم بیشتری داشته باشد، افق رویداد آن بزرگ‌تر است. اما در عین حال افق رویداد بزرگ‌تر نشاندهنده این است که جرم در حجم بزرگ‌تری گسترده شده است؛ در نتیجه با افزایش جرم، چگالی کاهش می‌یابد. در حقیقت اگر سیاهچاله‌ای به جرم جهان ما وجود می‌داشت، سایز آن تقریباً برابر با سایز جهان ما بوده و چگالی آن نیز مشابه جهان ما کم می‌بود.

با این حال برخی اخترفیزیکدانان با به‌کارگیری نظریه ریسمانی و نظریه M در کیهان‌شناسی موافق نیستند. جوئل پریماک از دانشگاه کالیفرنیا در

سانتاکروز، از بقیه سختگیرتر است؛ «ایده‌های موجود در این مقالات لزوماً ناپایدار هستند.» تنها زمان می‌تواند تعیین کند که پریماک درست گفته است یا نه. اما از آنجا که حرکت نظریه ریسمان‌ها سرعت گرفته است، احتمالاً به‌زودی شاهد تحلیل‌های جدیدی برای حل این معما خواهیم بود، تحلیل‌هایی که به احتمال زیاد براساس داده‌هایی هستند که از ماهواره‌های فضایی به‌دست می‌آیند. همان‌طور که در فصل ۹ خواهیم دید، در سال ۲۰۲۰، نسل جدیدی از آشکارسازهای امواج گرانشی، مثل لیزا، به فضا فرستاده خواهند شد و به ما این امکان را می‌دهند که برخی از این نظریه‌ها را مورد بازبینی قرار داده یا حتی رد کنیم. به‌عنوان مثال اگر نظریه تورم درست باشد، لیزا باید بتواند امواج گرانشی شدیدی را آشکار کند که از طریق فرایند تورم ابتدایی ایجاد شده‌اند. از طرف دیگر، در جهان اکپیروتیک بین جهان‌ها برخوردهای آهسته‌ای به‌وجود آمده و در نتیجه امواج گرانشی بسیار ملایم‌تر خواهند بود. لیزا باید بتواند یکی از این نظریه‌ها را از راه تجربه رد کند. به بیان دیگر امواج گرانشی ایجاد شده از طریق انفجار بزرگ اولیه، حاوی داده‌های رمزگذاری شده‌ای هستند که می‌توانند صحت یکی از این نظریات را تائید کنند. ممکن است لیزا برای اولین‌بار بتواند نتایج تجربی محکمی را در تائید تورم، یا نظریه ریسمان‌ها و نظریه M ارائه کند.

سیاهچاله‌های کوچک

از آنجاکه نظریه ریسمان‌ها واقعاً نظریه‌ای برای کل جهان است، برای آزمایش کردن آن لازم است که جهانی را در آزمایشگاه ایجاد کنیم (به فصل ۹ مراجعه کنید). به‌طور معمول انتظار داریم که اثرات کوانتومی ناشی از گرانش، در انرژی پلانک رخ دهند، که کادریلیون بار قوی‌تر از انرژی موجود در قوی‌ترین شتاب‌دهنده‌های ذره‌ای ماست. به‌این‌ترتیب آزمایش مستقیم نظریه ریسمان‌ها غیرممکن به‌نظر می‌رسد. اما اگر واقعاً جهانی موازی در کم‌تر از یک میلی متری جهان ما وجود داشته باشد، آنگاه انرژی‌ای‌که در آن یکپارچه‌سازی و اثرات کوانتومی رخ می‌دهند، می‌تواند بسیار کوچک بوده و

بنابراین در توان نسل بعدی شتاب‌دهنده‌های ذره، مثل برخورد دهنده بزرگ هادرون باشد. این مسئله منجر به جاری شدن سیلی از توجه و علاقه به سمت فیزیک سیاهچاله‌ها و متعاقب آن هیجان‌انگیزترین چیز به نام سیاهچاله کوچک گردید. سیاهچاله‌های کوچک که رفتار آن‌ها مشابه ذرات زیراتمی است، در حقیقت آزمایشگاهی هستند که در آن می‌توان برخی از پیش‌بینی‌های نظریه ریسمان‌ها را مورد آزمایش قرار داد. فیزیکدانان احتمال می‌دهند بتوانند چنین اجرامی را در برخورد دهنده بزرگ هادرون بسازند. (سیاهچاله‌های کوچک، در ابعاد تنها یک الکترون، چنان کوچک هستند، که به‌هیچ‌وجه تهدیدی برای زمین محسوب نمی‌شوند. به‌طور معمول پرتوهای کیهانی با انرژی‌هایی بیشتر از این سیاهچاله‌های کوچک با کره زمین برخورد می‌کنند، بدون آنکه اثر مخربی بر روی سیاره ما بگذارند.)

ایده انقلابی تغییر شکل یک سیاهچاله به صورت یک ذره زیراتمی، ایده‌ای قدیمی است که اولین‌بار در سال ۱۹۳۵ به‌وسیله اینشتین مطرح شد. در تصویری که اینشتین به نمایش می‌گذارد باید بتوان در یک نظریه میدان یکپارچه، ماده را، که از ذرات زیراتمی تشکیل شده است، به نوعی به صورت اعوجاجات موجود در بافت فضا-زمان نشان داد. از نظر او ذرات زیراتمی مثل الکترون در حقیقت «پیچ خوردگی‌ها» یا کرمچاله‌هایی در فضای منحنی هستند که از دور شبیه به ذره به‌نظر می‌آیند. اینشتین و ناتان روزن خود را با این ایده که یک الکترون ممکن است در حقیقت یک سیاهچاله کوچک استتار شده باشد، مشغول کردند. به‌این‌ترتیب، اینشتین سعی کرد که ماده را در این نظریه میدان یکپارچه شرکت داده و به‌این‌ترتیب ذرات زیراتمی را به هندسه محض تقلیل دهد.

سیاهچاله‌های کوچک یکبار دیگر به‌وسیله استیون هوکینگ معرفی شدند؛ کسی که ثابت کرد سیاهچاله‌ها باید تبخیر شده و تابش انرژی ضعیفی را از خود منتشر کنند. در طول قرن‌های متمادی، یک سیاهچاله چنان انرژی زیادی منتشر می‌کند که به مرور زمان کوچک شده و در نهایت به ابعاد یک ذره زیراتمی بدل می‌شود. نظریه ریسمان‌ها در حال حاضر مفهوم سیاهچاله‌های کوچک را مجدداً

مطرح کرده است. بیاد آورید که سیاهچاله‌ها زمانی شکل می‌گیرند که مقدار زیادی ماده تا اندازه قطر شوارتسشیلد فشرده شود. از آنجا که ماده و انرژی می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند، بنابراین سیاهچاله‌ها می‌توانند از فشرده شدن انرژی نیز حاصل آیند. در حال حاضر دانشمندان در پی یافتن سیاهچاله‌های کوچک در باقی‌مانده‌های برخورد دو پروتون با انرژی ۱۴ تریلیون الکترون ولت در برخورد دهنده بزرگ هادرون هستند. این سیاهچاله‌ها دارای‌وزنی تنها هزار برابر جرم الکترون بوده و طول عمر آن‌ها تنها $۱۰^{-۲۳}$ ثانیه است. اما آن‌ها در بین مسیرهای ذرات زیراتمی که به‌وسیله برخورد دهنده بزرگ هادرون تولید می‌شوند، باید به وضوح قابل رؤیت باشند.

همچنین فیزیکدانان امید دارند که پرتوهای کیهانی که از فضا به سمت ما می‌آیند حاوی سیاهچاله‌های کوچک باشند. رصدخانه پرتوهای کیهانی پیِر اوژه در آرژانتین چنان حساس است که می‌تواند برخی از بزرگ‌ترین انفجارات پرتوهای کیهانی را که تاکنون به‌وسیله علم ثبت شده‌اند، آشکار کند. امید می‌رود که سیاهچاله‌های کوچک را بتوان به‌طور طبیعی در بین پرتوهای کیهانی که منجر به تشعشع رگباری مخصوصی حین برخورد به اتمسفر بالایی زمین می‌شوند، یافت. طبق محاسبه می‌توان نشان داد آشکارساز پرتو کیهانی اوژه ممکن است بتواند در هر سال تا ۱۰ بارش پرتو کیهانی را که از طریق یک سیاهچاله کوچک تحریک شده باشند، مشاهده کند.

شاید در همین دهه، با یافتن یک سیاهچاله کوچک در برخورد دهنده بزرگ هادرون در سویس یا آشکارساز پرتو کیهانی اوژه در آرژانتین، بتوان شواهد قابل قبولی برای وجود جهان‌های موازی ارائه کرد. اگرچه این مسئله قطعاً نمی‌تواند صحت نظریه ریسمانی را ثابت کند ولی می‌تواند کل جامعه فیزیک را متقاعد سازد که نظریه ریسمانی با تمام نتایج تجربی سازگار بوده و در مسیر صحیح قرار دارد.

سیاهچاله‌ها و پارادوکس اطلاعات

نظریه ریسمان‌ها ممکن است پرده از راز عمیق‌ترین پارادوکس‌های فیزیک

سیاهچاله‌ها بردارد، مثل پارادوکس اطلاعات. اگر به خاطر بیاورید سیاهچاله‌ها کاملاً سیاه نیستند بلکه از طریق پدیده تونل زنی مقادیر کمی تابش از خود متصاعد می‌کنند. برطبق نظریه کوانتوم همواره شانس کوچکی وجود دارد که تابش بتواند از چنگ گرانش سیاهچاله فرار کند. به این نشت آهسته از یک سیاهچاله، تابش هوکینگ[1] می‌گویند.

این تابش به نوبه خود، دارای دمایی اختصاصی است (که با مساحت افق رویداد یک سیاهچاله متناسب است). هوکینگ نسخه‌ای کلی از این معادله ارائه داد که با اقبال زیادی مواجه شد. به‌هرحال یک نسخه دقیق از این نتیجه نیاز به استفاده از قدرت کامل مکانیک آماری دارد (براساس شمارش حالات کوانتومی سیاهچاله‌ها). اغلب محاسبات مکانیکی آماری از طریق شمارش تعداد حالاتی که یک اتم یا مولکول می‌تواند داشته باشد، صورت می‌گیرد. اما چگونه می‌توان حالات کوانتومی یک سیاهچاله را شمارش کرد؟ در نظریه اینشتین، سیاهچاله‌ها کاملاً آرام هستند، بنابراین شمردن حالات کوانتومی آن‌ها بسیار مشکل خواهد بود.

نظریه‌پردازان ریسمانی مشتاق بودند تا این فاصله را از بین ببرند. بنابراین اَندرو استرومینگر و کامران وفا از هاروارد تصمیم گرفتند با استفاده از نظریه M یک سیاهچاله را مورد تحلیل و بررسی قرار دهند. از آنجا که کار با سیاهچاله به خودی خود سخت بود، آن‌ها مسیر دیگری را در پیش گرفتند و پرسش هوشمندانه‌ای را مطرح ساختند: دوگان یک سیاهچاله چیست؟ (به خاطر دارید که یک الکترون، دوگان یک تک قطبی مغناطیسی است. بنابراین تنها با آزمایش کردن یک الکترون در یک میدان الکتریکی ضعیف، که کار ساده‌ای است، می‌توانیم آزمایش بسیار مشکل‌تری را بررسی کنیم: یعنی یک تک قطبی که در میدان مغناطیسی بسیار بزرگی قرار گرفته است.) انتظار می‌رفت که تحلیل و بررسی دوگان یک سیاهچاله از خود سیاهچاله آسان‌تر باشد، اگرچه در نهایت هر دو نتایج یکسانی را حاصل می‌کنند. استرومینگر و وفا با انجام مجموعه‌ای از عملیات ریاضی، توانستند نشان دهند که

1. Hawking radiation

سیاهچاله‌ها دوگان مجموعه‌ای از پوسته‌های یک بعدی و پنج بعدی هستند. این مسئله دانشمندان را آسوده خاطر ساخت زیرا نحوه شمارش حالات کوانتومی این پوسته‌ها از قبل شناخته شده بود. زمانی که استرومینگر و وفا حالات کوانتومی را محاسبه کردند، دریافتند که پاسخ به‌دست آمده به دقت نتایج هوکینگ را مجدداً استخراج می‌کند.

این خبری خوشایند بود. نظریه ریسمان‌ها، همان چیزی که برخی مواقع به‌دلیل عدم ارتباط با دنیای واقعی مورد تمسخر واقع می‌شود، شاید بتواند زیباترین راه حل را برای ترمودینامیک سیاهچاله‌ها ارائه دهد.

در حال حاضر نظریه‌پردازان ریسمانی تلاش می‌کنند تا با سخت‌ترین مشکل در فیزیک سیاهچاله‌ها دست و پنجه نرم کنند، یعنی: «پارادوکس اطلاعات.» هوکینگ معتقد است اگر چیزی را به‌درون یک سیاهچاله پرتاب کنیم، اطلاعاتی که با خود حمل می‌کند، برای همیشه از دست می‌روند و هرگز باز نمی‌گردند. (این روش هوشمندانه‌ای برای ارتکاب جرم است. یک مجرم می‌تواند از یک سیاهچاله برای از بین بردن تمام مدارک جرم استفاده کند.) تنها پارامترهایی را که می‌توان از راه دور از یک سیاهچاله اندازه گرفت، جرم، اسپین و بار آن هستند. اینکه چه چیزی را به‌درون سیاهچاله پرتاب می‌کنیم مهم نیست، به‌هرحال تمام اطلاعات مربوط به آن را از دست خواهیم داد. (این مسئله با این جمله بیان می‌شود که «سیاهچاله‌ها مو ندارند»، یعنی تمام اطلاعات را از دست داده‌اند، تمام موها، بجز اطلاعات مربوط به این سه پارامتر.)

به‌نظر می‌رسد از بین رفتن اطلاعات جهان ما، پیامد اجتناب ناپذیر نظریه اینشتین باشد. اما از طرفی این مسئله با اصول مکانیک کوانتومی که بیان می‌دارند اطلاعات هرگز نمی‌توانند گم شوند، در تناقض است. اطلاعات باید جایی در جهان ما شناور باشند، حتی اگر خود جسم به درون یک سیاهچاله فرو رفته باشد.

هوکینگ نوشته است: «اغلب فیزیکدانان تمایل دارند باور کنند که اطلاعات از بین نرفته‌اند. زیرا این باور جهان را امن و قابل پیش‌بینی می‌کند.

اما من عقیده دارم اگر نسبیت عام اینشتین را جدی بگیریم، باید این احتمال را در نظر بگیریم که فضا-زمان خود را در گره‌هایی مقید کرده و اینکه اطلاعات در پیچ و تاب‌ها گم شوند. امروزه تعیین اینکه آیا اطلاعات واقعاً گم می‌شوند یا نه، یکی از پرسش‌های اصلی فیزیک نظری است.»

این پارادوکس که هوکینگ را در مقابل اغلب نظریه‌پردازان ریسمانی قرار می‌دهد، هنوز حل نشده است. اما نظریه‌پردازان ریسمانی ادعا می‌کنند که بالاخره خواهند فهمید که اطلاعات گم شده کجا رفته‌اند. (به‌عنوان مثال، اگر یک کتاب را به‌درون سیاهچاله‌ای پرتاب کنیم، می‌توان تصور کرد که اطلاعات درون کتاب، در فرم نوسانات کوچکی که در تابش هوکینگ یک سیاهچاله تبخیرشونده وجود دارند، به‌تدریج به‌درون جهان ما رسوخ می‌کنند. یا شاید این اطلاعات از درون یک سفید چاله در طرف دیگر سیاهچاله مجدداً بیرون بیایند.) به‌همین دلیل است که من شخصاً احساس می‌کنم زمانی که پرده از این راز برداشته شود، در می‌یابیم که اطلاعات در حقیقت گم نشده‌اند، بلکه زیرکانه در جای دیگری مجدداً ظاهر می‌شوند.

سرمقاله نیویورک تایمز در سال ۲۰۰۴، به استیون هوکینگ اختصاص یافت. او در مقابل دوربین‌های تلویزیونی اعلام کرد که در مورد پارادوکس اطلاعات اشتباه کرده است. (سی سال قبل او با دیگر فیزیکدانان شرط بسته بود که اطلاعات هرگز نمی‌توانند از یک سیاهچاله به بیرون نشت کنند. بازنده این شرط‌بندی موظف به تهیه دائرةالمعارفی بود که اطلاعات آن به‌راحتی قابل اصلاح و بازیابی باشند.) او با انجام مجدد برخی از محاسبات پیشین خود دریافت که اگر یک شیء مثلاً یک کتاب به‌درون سیاهچاله بیفتد، ممکن است میدان تابش منتشر شده را مختل سازد، و به‌این‌ترتیب اطلاعات به جهان ما بازگردند. اطلاعات کتاب، درون تابش کدگذاری شده و به شکلی پاره پاره به آهستگی به بیرون سیاهچاله نشت می‌کنند.

این مسئله هوکینگ را در گروه فیزیکدانان کوانتومی قرار داد؛ کسانی که عقیده دارند اطلاعات نمی‌تواند گم شود. اما به‌علاوه این سوآل مطرح شد: آیا اطلاعات می‌توانند به یک جهان موازی انتقال یابند؟ در ظاهر به‌نظر

می‌رسید که نتیجه او، این ایده را که اطلاعات ممکن است از طریق یک کرمچاله به یک جهان موازی انتقال یابند، دچار شبهه کند. با این حال هیچ کس عقیده ندارد که او در این باره حرف آخر را زده است. تا زمانی که نظریه ریسمان‌ها کامل نشده است و محاسبات کامل گرانش کوانتومی انجام نگرفته است، هیچ کس باور نخواهد کرد که پارادوکس اطلاعات کاملاً حل شده باشد.

جهان هولوگرافیک

در آخر، نظریه M یک پیش‌بینی تا اندازه‌ای اسرارآمیز دارد که هنوز کاملاً درک نشده، ولی می‌تواند نتایج عمیق فیزیکی و فلسفی در بر داشته باشد. این سوآل مطرح می‌شود: آیا جهان یک هولوگرام است؟ آیا «جهان سایه‌ای» وجود دارد که در آن بدن‌های ما در یک فرم فشرده دو بعدی قرار دارند؟ این مسئله خود پرسش دیگری را برمی‌انگیزد: آیا جهان یک برنامه رایانه‌ای است؟ آیا می‌توان محتویات جهان را بر روی یک سی دی قرار داده و در زمان مناسب آن را پخش کرد؟

هم‌اکنون هولوگرام‌ها بر روی کارت‌های اعتباری، در موزه‌ها و در پارک‌های تفریحی استفاده می‌شوند. نکته قابل توجه در مورد آن‌ها این است که می‌توانند یک تصویر سه بعدی کامل را بر روی سطح دو بعدی ضبط کنند. در حالت عادی اگر به عکسی نگاه کرده و سپس سر خود را اندکی بچرخانید، تصویر روی عکس تغییری نخواهد کرد. اما در مورد هولوگرام مسئله متفاوت است. اگر به یک عکس هولوگرافیک نگاه کنید و سپس سر خود را بچرخانید، می‌بینید که تصویر تغییر می‌کند، به شکلی که انگار شما از درون یک پنجره یا سوراخ کلید به تصویر نگاه کرده‌اید. استفاده از هولوگرام می‌تواند سرانجام به تلویزیون‌ها و فیلم‌های سه بعدی منتهی گردد. در آینده شاید بتوانیم در اتاق نشیمن راحت نشسته و به تصویری کاملاً سه بعدی از مکان‌های دور بنگریم، طوری که پرده دیواری تلویزیون در حقیقت پنجره‌ای باشد که به چشم انداز جدیدی باز می‌شود. به‌علاوه اگر پرده دیواری به شکل

یک استوانه بزرگ باشد که اتاق ما در مرکز آن قرار گرفته باشد، اینطور به‌نظر می‌رسد که به‌درون دنیای جدیدی منتقل شده‌ایم. به هر طرف که نگاه کنیم تصویر سه بعدی از چیزهای جدیدی را می‌بینیم، که از اشیاء واقعی غیرقابل تشخیص‌اند.)

ماهیت هولوگرام به‌این‌ترتیب است که سطح دو بعدی آن تمام اطلاعات لازم برای تولید مجدد یک تصویر سه بعدی را در خود کدگذاری می‌کند. (در آزمایشگاه، هولوگرام‌ها از طریق تاباندن نور لیزر بر روی یک کلیشه حساس عکاسی ساخته می‌شوند. نور لیزر با نور تابیده شده از موضوع اصلی تداخل کرده وموجب پدید آمدن یک الگوی تداخلی و ثبت موضوع بر روی سطحی دو بعدی می‌شود.)

برخی کیهان‌شناسان تصور می‌کنند که شاید بتوان چنین ایده‌ای را در مورد خود جهان نیز به‌کار برد، اینکه شاید ما در یک هولوگرام زندگی می‌کنیم. منشاء این تفکر عجیب از فیزیک سیاهچاله‌ها بر می‌خیزد. بکنشتاین و هوکینگ حدس می‌زنند که مقدار کلی اطلاعات موجود درون یک سیاهچاله با مساحت افق رویداد آن (که یک کره است) متناسب است. این نتیجه عجیبی است. زیرا اطلاعات ذخیره شده در یک شیء اغلب با حجم آن متناسب است. به‌عنوان مثال مقدار اطلاعات ذخیره شده در یک کتاب با حجم آن متناسب است، و نه با سطح جلد آن. زمانی که می‌گوییم نمی‌توان در مورد یک کتاب از روی جلد آن قضاوت کرد به‌طور غیرارادی به‌همین مسئله اشاره می‌کنیم. اما این کشف درمورد سیاهچاله‌ها صادق نیست: برای سیاهچاله‌ها می‌توان از روی جلد آن‌ها قضاوت کرد.

ممکن است چنین فرضیه نادری را رد کنیم، زیرا سیاهچاله‌ها خود موجودات عجیب و غریبی هستند و مشاهدات ما را درهم می‌شکنند. با این حال، این نتیجه به نظریه M نیز اعمال می‌شود که ممکن است بتواند بهترین توصیف را از جهان به ما بدهد. در سال ۱۹۷۷، در انستیتوی مطالعات پیشرفته پرینستون ژوان مالداسِنا، با نشان دادن این موضوع که نظریه ریسمان‌ها منجر به ایجاد نوع جدید جهان هولوگرافیک می‌شود، شور و شوق

فراوانی ایجاد کرد. او با یک ضد-جهان دسیتر پنج بعدی آغاز کرد که اغلب در نظریه ریسمان‌ها و نظریه ابرگرانش ظاهر می‌شود. جهان دسیتر جهانی است که دارای ثابت کیهان‌شناسی مثبت است و به‌این‌ترتیب جهانی است که با گذشت زمان سرعت می‌گیرد. (به یاد می‌آوریم که بهترین تعبیر برای جهان ما همان جهان دسیتر است؛ با ثابت کیهانی که کهکشان‌ها را با سرعت بیشتر و بیشتر از هم دور می‌کند. یک جهان ضد-دسیتر دارای یک ثابت کیهانی منفی است و بنابراین می‌تواند از داخل منفجر شود.) مالداسنا نشان داد که بین این جهان پنج بعدی و «مرز» آن که جهانی چهار بعدی است، دوگانی وجود دارد. هر موجودی که در این فضای پنج بعدی زندگی می‌کند، از نظر ریاضی با موجوداتی که در فضای چهار بعدی زندگی می‌کنند معادل هستند. راهی وجود ندارد که آن‌ها را از هم جدا بدانیم.

تعدادی ماهی را درون تنگی در نظر بگیرید. این ماهی‌ها تصور می‌کنند که تنگ آن‌ها واقعی است. حال تصویری هولوگرافیک دو بعدی را از این ماهی‌ها تصور کنید که بر روی سطح تنگ منعکس شده است. این تصویر یک کپی دقیق از ماهی‌هاست، جز اینکه آن‌ها تخت شده‌اند. هر حرکتی که ماهی‌ها در تنگ انجام می‌دهند، در تصویر تخت بر روی سطح تنگ منعکس می‌شود. هم ماهی‌هایی که در تنگ شنا می‌کنند و هم ماهی‌های تخت شده که بر روی سطح تنگ زندگی می‌کنند، تصور می‌کنند که ماهی‌های واقعی بوده و آن بقیه وهم و خیال هستند. هردو گروه ماهی‌ها زنده بوده و به‌گونه‌ای رفتار می‌کنند که انگار آن‌ها ماهی‌های واقعی اند. کدام تعریف صحیح است؟ در حقیقت هردو. زیرا از نظر ریاضی با هم معادل و غیرقابل تفکیک‌اند.

چیزی که نظریه‌پردازان ریسمانی را به هیجان می‌آورد این حقیقت است که محاسبه در فضای ضد-دسیتر پنج بعدی نسبتاً آسان است. درحالی‌که کار با نظریه‌های میدان چهار بعدی آشکارا دشوار است. (حتی امروزه پس از ده‌ها سال کار سخت، قدرتمندترین رایانه‌های ما نیز نمی‌توانند معادله مدل کوارک چهار بعدی را حل کرده و جرم پروتون و نوترون را استخراج کنند. معادلات مربوط به خود کوارک‌ها به خوبی درک شده‌اند، اما ثابت شده است

حل کردن آن‌ها در چهار بعد به‌منظور به‌دست آوردن ویژگی‌های پروتون‌ها و نوترون‌ها بسیار سخت‌تر از آن چیزی است که قبلاً تصور می‌شد.) یکی از اهداف دانشمندان محاسبه جرم و مشخصات پروتون و نوترون با استفاده از این دوگانی عجیب است.

این دوگانی هولوگرافیک ممکن است کاربردهای عملی نیز داشته باشد، مثل حل کردن معمای اطلاعات در فیزیک سیاهچاله‌ها. اثبات این مسئله که با پرتاب اشیاء به‌درون سیاهچاله، اطلاعات گم نمی‌شوند در چهار بعد شدیداً مشکل است. اما چنین فضایی دوگان یک جهان پنج بعدی است که درون آن اطلاعات شاید هیچ‌گاه گم نشوند. امید می‌رود معماهایی که در چهار بعد قابل حل شدن نیستند (مثل معمای اطلاعات، محاسبه اجرام مدل کوارک و از این دست)، در نهایت بتوانند در پنج بعد حل شوند. همواره این امکان وجود دارد که این شباهت در حقیقت انعکاس جهان حقیقی باشد و اینکه ما در واقع به صورت هولوگرام وجود داشته باشیم.

آیا جهان یک برنامه رایانه‌ای است؟

همان‌طور که قبلاً دیدیم، جان ویلر عقیده داشت که تمام واقعیات فیزیکی را می‌توان به اطلاعات خالص تقلیل داد. بکنشتاین ایده اطلاعات سیاهچاله را با پرسیدن این سوآل یک قدم فراتر برد: آیا کل جهان یک برنامه رایانه‌ای است؟ آیا ما تنها بیت‌هایی بر روی سی دی کیهانی هستیم؟

این سوآل که آیا ما درون یک برنامه رایانه‌ای هستیم، در فیلم ماتریکس به خوبی بر پرده سینما به تصویر کشیده شده است. در این فیلم بیگانگان تمام واقعیات فیزیکی را در یک برنامه رایانه‌ای خلاصه کرده‌اند. میلیاردها انسان تصور می‌کنند که اختیار زندگی روزمره خود را در دست دارند، درحالیکه تمام این‌ها یک فانتزی ایجاد شده به‌وسیله رایانه بوده و بدن‌های واقعی آن‌ها درون غلاف‌هایی خوابیده‌اند و بیگانگان از بدن‌های‌شان به‌عنوان منابع انرژی استفاده می‌کنند.

در فیلم این امکان وجود دارد که برنامه‌های رایانه‌ای کوچکی را اجرا کرده

و به‌این‌ترتیب واقعیات کوچک مصنوعی ایجاد کرد. اگر کسی بخواهد استاد کونگ فو، یا خلبان هلیکوپتر شود، برنامه آن تنها با قراردادن یک سی دی در رایانه درون مغز ما ریخته می‌شود و کار تمام است! هرکسی می‌تواند آناً این مهارت‌های تخصصی را کسب کند. با اجرا کردن سی دی، یک زیرواقعیت جدید کامل ایجاد می‌شود. اما در اینجا سوآلی مطرح می‌شود: آیا می‌توان تمام واقعیات را بر روی یک سی دی قرار داد؟ قدرت رایانه‌ای لازم برای شبیه‌سازی واقعیت برای میلیاردها فرد خوابیده واقعاً گیج کننده است. اما به لحاظ نظری: آیا می‌توان تمام جهان را در یک برنامه رایانه‌ای محدود، دیجیتالی کرد؟

ریشه این سوآل به قوانین حرکت نیوتون و کاربردهای بسیار عملی آن در تجارت و زندگی‌های ما باز می‌گردد. مشهور است که مارک تواین گفته است، «همه از هوا شکایت می‌کنند ولی کسی کاری برای آن نمی‌کند.» تمدن مدرن نمی‌تواند حتی مسیر حرکت یک توفان را تغییر دهد. ولی فیزیکدانان سوآل خود را اندکی تخفیف داده‌اند: آیا می‌توان وضعیت هوا را پیش‌بینی کرد؟ آیا می‌توان برنامه رایانه‌ای را تهیه کرد که مسیر حرکت الگوی پیچیده تغییرات آب و هوایی را بر روی کره زمین پیش‌گویی کند؟ این کاربرد برای کسانی که فعالیت‌های آن‌ها به آب و هوا مربوط می‌شود، مثل کشاورزان که می‌خواهند بدانند چه زمانی باید محصول خود را برداشت کنند یا هواشناسانی که به‌دنبال یافتن روند گرم شدن زمین در این قرن هستند، بسیار اهمیت دارد.

در اصل رایانه‌ها می‌توانند از قوانین حرکت نیوتون استفاده کنند تا تقریباً با دقت خوبی مسیر حرکت مولکول‌های تشکیل دهنده هوا را محاسبه کنند. اما در عمل برنامه‌های رایانه‌ای شدیداً بی‌دقت هستند و در بهترین حالت بیشتر از چند روز برای پیش‌بینی هوا قابل اطمینان نیستند. برای پیش‌بینی هوا باید بتوان حرکت هرکدام از مولکولهای هوا را تعیین کرد، چیزی که بسیار فراتر ازتوانایی قدرتمندترین رایانه‌های ماست؛ همچنین مشکل نظریه آشوب و اثر پروانه‌ای نیز وجود دارند، طوری که کوچک‌ترین لرزش ناشی از بالهای پروانه می‌تواند اثر اعوجاج گونه‌ای ایجاد کند که در مواقع بحرانی هوای صدها

کیلومتر آن طرف‌تر را به‌طور قطع تحت تاثیر قرار دهد.

ریاضیدانان معتقدند مختصرترین مدلی که می‌تواند به دقت رفتار هوا را توصیف کند، خود هوا است. به‌جای تحلیل جزئی هر مولکول، بهترین کاری که می‌توان انجام داد این است که در جستجوی برآوردهایی از آب و هوای فردا و همچنین وقایع و الگوهای بزرگ‌تر (مثل اثر گلخانه‌ای) باشیم.

بنابراین بسیار مشکل است بتوان یک دنیای نیوتونی را در برنامه‌ای رایانه‌ای خلاصه کرد، زیرا متغیرهای بسیار زیاد و «پروانه‌های» فراوانی وجود دارند. اما در دنیای کوانتومی، اتفاقات عجیب به وقوع می‌پیوندند.

همان‌طور که قبلاً دیدیم بکنشتاین نشان داد که تمام محتویات اطلاعات یک سیاهچاله با مساحت سطح افق رویداد آن متناسب است. برای مشاهده این مطلب روشی حسی وجود دارد. بسیاری از فیزیکدانان عقیده دارند که کوچک‌ترین فاصله ممکن برابر طول پلانک، یعنی $۱۰^{-۳۳}$ سانتی‌متر است. در این فاصله فوق‌العاده کوچک، دیگر فضا هموار نبوده و شبیه به مایعی متشکل از حباب‌ها، کف آلود می‌شود. ما می‌توانیم سطح کروی افق را به مربع‌های کوچک تقسیم کنیم، به‌گونه‌ای که هرکدام طولی برابر طول پلانک داشته باشند. اگر هرکدام از این مربع‌ها شامل یک بیت اطلاعات باشند، و تمام مربع‌ها را با هم جمع کنیم، به‌طور تقریبی مجموع اطلاعات درون یک سیاهچاله را به‌دست آورده‌ایم. به این معنی که «مربع‌های پلانک»، کوچک‌ترین واحد اطلاعات هستند. اگر این درست باشد، بر طبق ادعای بکنشتاین شاید اطلاعات زبان حقیقی فیزیک باشند، نه نظریه میدان. آن‌طور که او می‌گوید، «نظریه میدان، علی‌رغم نامحدود بودن، نمی‌تواند داستان نهایی باشد.»

از زمان کار مایکل فارادی در قرن نوزدهم، فیزیک به زبان میدان‌ها فرمول‌بندی شده است. میدان‌ها، هموار و پیوسته بوده و به ما کمک می‌کنند تا قدرت مغناطیس، الکتریسیته، گرانش و غیره را در هر نقطه از فضا-زمان اندازه‌گیری کنیم. اما نظریه میدان براساس ساختارهای پیوسته و نه دیجیتالی بنا شده است. یک میدان می‌تواند هر مقداری داشته باشد، درحالی‌که یک

عدد دیجیتال تنها می‌تواند اعداد گسسته را براساس صفر و یک نشان دهد. به‌عنوان مثال، این مسئله همانند تفاوت بین یک ورق لاستیکی هموار در نظریه اینشتین و یک شبکه فلزی ظریف است. یک ورق لاستیکی را می‌توان به تعداد نامحدودی نقطه تقسیم کرد، درحالی‌که یک شبکه فلزی دارای محدودیت کوچک‌ترین فاصله، یعنی همان طول شبکه است.

بکنشتاین توصیه می‌کند که «یک نظریه نهایی به‌جای ارتباط داشتن با میدان‌ها یا حتی با فضا-زمان باید در عوض با مبادله اطلاعات بین فرایندهای فیزیکی سر و کار داشته باشد.»

اگر بتوان جهان را دیجیتالی کرده و به صفر و یک خلاصه کرد، آنگاه این سوآل پیش می‌آید که مجموع اطلاعات موجود در جهان چه خواهد بود؟ بکنشتاین تخمین می‌زند که یک سیاهچاله با عرض در حدود یک سانتیمتر می‌تواند 10^{66} بیت اطلاعات را در خود جای دهد. اما اگر واقعاً یک شیء وجود داشته باشد که با ابعاد تنها یک سانتیمتر بتواند چنان تعداد زیادی بیت اطلاعات را در خود نگه دارد، بنابراین جهان مرئی ما احتمالاً شامل اطلاعات بسیار بیشتری است؛ حداقل 10^{100} بیت اطلاعات. (این مقدار می‌تواند در یک کره با قطر یک دهم سال نوری جای داده شود. این عدد بسیار بزرگ، یعنی یک با صد صفر به‌دنبال آن، یک گوگل نامیده می‌شود.)

اگر این تصویر صحیح باشد، ما موقعیت عجیبی داریم. یعنی درحالی‌که یک دنیای نیوتونی را نمی‌توان به‌وسیله رایانه شبیه‌سازی کرد (یا تنها می‌تواند از طریق سیستمی به بزرگی خودش شبیه‌سازی شود)، در یک دنیای کوانتومی شاید بتوان خود جهان را درون یک سی دی جای داد! در چنین نظریه‌ای، اگر بتوانیم بیت اطلاعات را بر روی یک سی دی جای دهیم، می‌توانیم هر رویدادی را در جهان‌مان به‌راحتی در اتاق نشیمن خود شاهد باشیم. اصولاً می‌توان بیت‌های روی این سی دی را مرتب یا مجدداً برنامه‌ریزی کرد، به نوعی که واقعیت فیزیکی به روش دیگری اتفاق افتد. از برخی جهات، تنها یک قدرت خداگونه می‌تواند متن چنین نمایشی را مجدداً باز نویسی کند.

(بکنشتاین همچنین تصدیق می‌کند که محتویات اطلاعات جهان حتی از این هم بزرگ‌تر است. درحقیقت کوچک‌ترین حجمی که بتواند اطلاعات یک جهان را در خود جای دهد باید به اندازه خود جهان باشد. اگر این حقیقت داشته باشد، آنگاه ما به نقطه آغاز بازگشته‌ایم: کوچک‌ترین سیستمی که می‌تواند جهان را مدل کند، خود جهان است.)

با این حال نظریه ریسمان‌ها، تعبیر کمی متفاوت از کوچک‌ترین فاصله و اینکه آیا می‌توانیم جهان را بر روی یک سی دی دیجیتالی کنیم یا نه، ارائه می‌دهد. نظریه M دارای چیزی است که دوگانی T نامیده می‌شود. فیلسوف یونانی زنو، اندیشید که یک خط را می‌توان بدون هیچ محدودیتی، به تعداد نامحدودی نقطه تقسیم کرد. امروزه فیزیکدانان کوانتومی مثل بکنشتاین عقیده دارند که کوچک‌ترین فاصله ممکن است فاصله پلانک، یعنی $۱۰^{-۳۳}$ سانتی‌متر باشد، جایی‌که بافت فضا-زمان کف آلود و حبابی می‌شود. اما نظریه M، چرخش جدیدی به این مفهوم می‌دهد. بیایید فرض کنیم که یکی از نظریه‌ای ریسمان را گرفته و یک بُعد آن را به یک دایره با شعاع R خم کنیم. سپس نظریه ریسمان دیگری را گرفته و یک بعد آن را به یک دایره با شعاع $۱/R$ جمع می‌کنیم. با مقایسه این دو نظریه کاملاً متفاوت، در می‌یابیم که آن دو دقیقاً یکی هستند.

حال R را بسیار کوچک، یعنی بسیار کوچک‌تر از طول پلانک در نظر می‌گیریم. این یعنی فیزیک درون طول پلانک با فیزیک بیرون طول پلانک معادل است. در طول پلانک، ممکن است فضا-زمان ناصاف و کف آلود شوند، اما فیزیک درون طول پلانک و فیزیک فواصل بسیار بزرگ می‌توانند در حقیقت یکسان باشند.

این دوگانی اولین‌بار در سال ۱۹۸۴، به‌وسیله همکار قدیمی من، کیجی کیکاوا، و دانشجوی او ماسامی یاماساکی، از دانشگاه اوزاکا کشف شد. اگرچه نظریه ریسمانی به وضوح نتیجه می‌دهد که «کوچک‌ترین فاصله» یعنی طول پلانک، وجود دارد، ولی فیزیک ناگهان در طول پلانک متوقف نمی‌شود. تغییر جدید این است که فیزیک در ابعاد کوچک‌تر از طول پلانک با

فیزیک ابعاد بزرگ‌تر از طول پلانک برابر است.

اگر این تفسیر تقریباً وارونه صحیح باشد، آنگاه به این معنی است که حتی درکوچک‌ترین فاصله نظریه ریسمانی، یک جهان کامل می‌تواند وجود داشته باشد. به بیان دیگر ما هنوز می‌توانیم از نظریه میدان با ساختارهای پیوسته آن (نه دیجیتالی شده) برای تشریح جهان استفاده کنیم، حتی در فواصلی که تماماً در انرژی پلانک قرار دارند. بنابراین شاید جهان اصلاً یک برنامه رایانه‌ای نباشد. به هر حال، از آنجا که این یک مسئله خوش تعریف است، زمان پاسخگوی آن خواهد بود.

(این دوگانی T توجیهی برای سناریوی «پیش از انفجار بزرگ» ونتزیانو است که من قبلاً به آن اشاره کردم. در آن مدل، یک سیاهچاله به طول پلانک فروپاشیده و سپس انفجار بزرگ دیگری از آن بیرون می‌جهد. این بازگشت مجدد نه رویدادی ناگهانی، بلکه دوگانی ظریف T بین یک سیاهچاله کوچک‌تر از طول پلانک و جهانی رو به انبساط بزرگ‌تر از طول پلانک است.)

پایان؟

اگر نظریه M موفق باشد، و اگر واقعاً نظریه‌ای برای همه چیز باشد، آیا این پایان فیزیک است؟ پاسخ این پرسش نه است. بگذارید مثالی برای شما بیاورم. حتی اگر قوانین شطرنج را نیز بدانیم، صرف دانستن قوانین از ما یک استاد بزرگ شطرنج نمی‌سازد. به‌طور مشابه دانستن قوانین جهان به این معنی نیست که ما استادانی بزرگ در زمینه درک تنوع غنی پاسخ‌های آن هستیم.

اگرچه نظریه M تصویر جدید شگفت انگیزی از شیوه‌ای که جهان ممکن است آغاز شده باشد به ما می‌دهد، اما شخصاً فکر می‌کنم هنوز کمی زود است که این نظریه را به کیهان‌شناسی وارد کنیم. من فکر می‌کنم مشکل اصلی این است که این مدل هنوز شکل نهایی خود را پیدا نکرده است. ممکن است نظریه M واقعاً نظریه‌ای برای همه چیز باشد، اما عقیده دارم که تا شکل نهایی آن هنوز بسیار فاصله دارد.

از سال ۱۹۶۸ این نظریه به عقب تکامل یافته و معادلات نهایی آن هنوز

کشف نشده‌اند. (به‌عنوان مثال نظریه ریسمانی را می‌توان، همان‌طور که کیکاوا و من سال‌ها پیش نشان دادیم، از طریق نظریه میدان ریسمانی فرمول بندی کرد. همتای این معادلات در نظریه M ناشناخته هستند.)

هم‌اکنون نظریه M با مشکلات متعددی مواجه است. یکی از این مشکلات غرق شدن فیزیکدانان در پوسته‌های P بعدی است. در مقالات متعدد منتشر شده، تنوع بسیار زیاد پوسته‌های موجود در ابعاد مختلف، فهرست‌وار ارائه شده‌اند. پوسته‌هایی به شکل پیراشکی با یک سوراخ یا با چندین سوراخ، پوسته‌های متقاطع و الی آخر.)

یکی از این مشکلات ما را به یاد داستان افسانه‌ای می‌اندازد که در آن مردان فرزانه نابینا با یک فیل مواجه می‌شوند. پس از لمس فیل هرکدام نظریه خود را ارائه می‌دهند. یکی از آن‌ها که دم فیل را لمس کرده است می‌گوید که فیل یک پوسته یک بعدی است (یک ریسمان). مرد دیگری که گوش فیل را لمس کرده می‌گوید فیل یک پوسته دو بعدی است. سرانجام، آخرین مرد می‌گوید که آن دو اشتباه کرده‌اند و با لمس پاها که شبیه به تنه درخت است، می‌گوید که فیل در حقیقت پوسته سه بعدی‌است. به‌دلیل اینکه آن‌ها نابینا هستند نمی‌توانند ببینند مجموع یک پوسته یک بعدی، دوبعدی و سه بعدی، چیزی نیست مگر یک حیوان به نام فیل.

به‌طور مشابه، باور این مسئله مشکل است که صدها پوسته یافت شده در نظریه M به نوعی بنیادی باشند. در حال حاضر ما هیچ درک جامعی از نظریه M نداریم. دیدگاه خود من، که در تحقیقات اخیرم راهبر بوده است، این است که این پوسته‌ها و ریسمان‌ها نشان‌دهنده «انقباضات» فضا هستند. اینشتین سعی کرد که ماده را در شرایط کاملاً هندسی، به صورت نوعی پیچش در بافت فضا-زمان توصیف کند. به‌عنوان مثال اگر ملحفه‌ای داشته باشیم و یک چروکیدگی کوچک در قسمتی از آن ایجاد کنیم، این چروکیدگی به نوعی رفتار می‌کند که انگار زندگی خودش را دارد. اینشتین سعی کرد که الکترون و دیگر ذرات بنیادی را به صورت نوعی اختلال در هندسه فضا-زمان مدل کند. اگر چه او بالاخره شکست خورد، این ایده ممکن است در نظریه M در

یک سطح بسیار بالاتر مجدداً احیا شود.

من عقیده دارم که اینشتین در مسیر درستی قرار داشته است. ایده او در حقیقت ایجاد فیزیک زیراتمی از طریق هندسه بوده است. به‌جای تلاش برای یافتن شباهت هندسی به ذرات نقطه‌ای، که راهبرد اینشتین بود، می‌توان با تجدید نظر سعی کرد تا یک شباهت هندسی بین ریسمان‌ها و پوسته‌هایی که از فضا-زمان محض ساخته شده‌اند ایجاد کرد.

یک راه برای یافتن منطق این روش، نگریستن به تاریخ فیزیک است. در گذشته هر زمان که فیزیکدانان با طیفی از اشیا مواجه می‌شدند، همواره در می‌یافتند که چیزی بنیادی تر در ریشه وجود دارد. به‌عنوان مثال، زمانی که خطوط طیفی منتشر شده از گاز هیدروژن دیده شدند، دانشمندان سرانجام دریافتند که آن‌ها از اتم، یعنی از جهش‌های کوانتومی که به‌وسیله الکترون حین چرخش به دور هسته ایجاد می‌شوند، ناشی شده‌اند. به‌طور مشابه هنگامیکه در دهه ۱۹۵۰ با تکثیر ذرات قوی مواجه شدیم، فیزیکدانان در نهایت دریافتند که آن‌ها چیزی نیستند جز حالات مرزی کوارک‌ها. و در حال حاضر فیزیکدانان عقیده دارند تکثیر کوارک‌ها و دیگر ذرات بنیادی مدل استاندارد، از لرزش‌های ریسمان‌ها ناشی شده‌اند.

در نظریه M، ما با تکثیر انواع پوسته‌های P بعدی مواجه هستیم. باور این مسئله که این‌ها می‌توانند بنیادی باشند، تنها به این دلیل ساده که پوسته‌های P بعدی زیادی وجود دارند و یا اینکه به‌طور ذاتی ناپایدار و واگرا هستند، مشکل است. راه حل ساده‌تری که با روش تاریخی مطابقت دارد، این است که تصور کنیم نظریه M از تنها یک نمونه ساده‌تر، شاید خود هندسه، نشأت گرفته باشد.

برای پاسخ به این پرسش اصولی، لازم است علاوه بر ریاضیات اسرارآمیز، اصول فیزیکی نهفته در نظریه را نیز بدانیم. همان‌طور که فیزیکدانی به نام برایان گرین گفته است: «در حال حاضر نظریه‌پردازان ریسمانی در وضعیتی مشابه اینشتین، اما این‌بار خالی از اصل هم ارزی، قرار دارند. از زمان حدس راهگشای ونتزیانو در سال ۱۹۶۸، قطعات نظریه از

کشفی به کشف دیگر به یکدیگر پیوند خورده‌اند. اما هنوز جایگاه یک اصل سازمانده مرکزی که این کشفیات و تمام دیگر ویژگی‌های نظریه را درون یک چارچوب روشمند قرار دهد خالی است، چارچوبی که موجودیت هرکدام از عوامل را قطعی کند. کشف این اصل از آنجا که احتمالاً طرزکار داخلی نظریه را به خوبی به نمایش می‌گذارد، می‌تواند نشانگر نقطه عطفی در تهیه نظریه ریسمان‌ها باشد.»

به‌این‌ترتیب میلیون‌ها روشی که تاکنون برای نظریه ریسمان‌ها یافت شده‌اند و هرکدام معرف یک جهان کاملاً خود سازگار هستند، معنی پیدا می‌کنند. در گذشته تصور می‌شد از بین انبوه پاسخ‌ها، تنها یکی بیانگر راه حل حقیقی نظریه ریسمان‌ها باشد. اما امروزه این طرز فکر تغییر کرده است. تاکنون هیچ روشی برای انتخاب یک جهان از بین میلیون‌ها جهان کشف شده، پیدا نکرده‌ایم. هم‌اکنون طرز فکر جدیدی رو به گسترش است که بیان می‌دارد اگر ما نتوانیم راه حل منحصربفردی برای نظریه ریسمان‌ها بیابیم، احتمالاً به این دلیل است که چنین چیزی وجود ندارد. به‌این‌ترتیب شاید بتوان گفت تمام پاسخ‌ها با هم برابرند. جهان چندگانه‌ای شامل چندین جهان وجود دارد که هرکدام با تمام قوانین فیزیک سازگارند. این طرز فکر ما را به چیزی به نام اصل انسانی واحتمال وجود یک «جهان طراح» رهنمون می‌سازد.

فصل ۸ جهان طراح؟

قبل از پدید آمدن این سیستم، ممکن است در طول ابدیت، جهان‌های متعددی سرهم شده باشند. اتلاف نیرو فراوان، آزمون و خطا بسیار، و بهبود در هنر ساخت جهان، آهسته اما پیوسته، در طول اعصار لایتناهی، صورت واقع پذیرفت.

ـ دیوید هیوم

در دوران کودکی، زمانی که در کلاس دوم درس می‌خواندم، برحسب تصادف معلم اظهار نظری کرد که من هرگز فراموش نمی‌کنم. او گفت: «خداوند آنقدر زمین را دوست داشته، که آن را درست در فاصله مناسب از خورشید قرار داده است.» من به‌عنوان یک کودک شش ساله شدیداً تحت تاثیر سادگی و در عین حال قدرت این استدلال قرار گرفتم. اگر خداوند زمین را بسیار دورتر از خورشید قرار می‌داد، اقیانوس‌ها منجمد می‌شدند. از طرف دیگر، اگر زمین را در فاصله بسیار نزدیک‌تری قرار می‌داد، در این صورت اقیانوس‌ها بخار شده و از بین می‌رفتند. از نظر معلم من، این یعنی نه تنها خداوند وجود دارد، بلکه بسیار بخشنده نیز هست. او آن‌قدر زمین را دوست داشته که آن را درست در فاصله مناسب از خورشید قرار داده است. این مسئله تاثیر عمیقی بر من گذاشت.

امروزه فیزیکدانان بیان می‌کنند که زمین در ناحیه گولدیلاکس از خورشید قرار دارد؛ درست در فاصله‌ای که آب، این «حلال عالمگیر»، به‌منظور ایجاد مواد شیمیایی لازم برای حیات، به صورت مایع وجود داشته باشد. اگر زمین

در فاصله دورتری از خورشید قرار داشت، ممکن بود سطح زمین مانند مریخ به صورت یک «صحرای منجمد» باشد؛ سطحی خشک و بی‌حاصل که بر روی آن آب و حتی دی اکسید کربن نیز اغلب به صورت جامد وجود دارند. حتی در زیر سطح خاک مریخ، لایه‌ای دائمی از یخ وجود دارد.

اگر زمین نزدیک‌تر از این به خورشید بود، در این صورت بیشتر شبیه به سیاره زهره بود. زهره، از نظر اندازه تقریباً با زمین برابر است. این سیاره به «سیاره گلخانه‌ای» معروف شده است. به‌دلیل اینکه زهره بسیار به خورشید نزدیک بوده و اتمسفر آن نیز از دی اکسید کربن تشکیل شده است، جو زهره انرژی خورشید را جذب کرده، تا جائی که دما به ۴۸۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. به‌همین دلیل، رویهمرفته زهره داغ‌ترین سیاره در منظومه شمسی است. زهره را می‌توان، به‌دلیل وجود باران‌های اسید سولفوریک، فشار جوی معادل صدها برابر بیشتر از آنچه در روی زمین می‌بینیم، و حرارت سوزان، جهنمی‌ترین سیاره منظومه شمسی دانست. این‌ها همه به این دلیل است که این سیاره از زمین به خورشید نزدیک‌تر است.

فیزیکدانان در تحلیل استدلال معلم من خواهند گفت که جمله او مصداقی از اصل انسانی (یا اصل آنتروپیک)[1] است که بیان می‌دارد قوانین طبیعت به‌گونه‌ای تنظیم شده‌اند که امکان وجود حیات و آگاهی در آن فراهم آید. این قوانین، چه در پس آن‌ها طراح بزرگی قرار داشته باشد و چه کاملاً تصادفی باشند، به‌دلیل وجود تعداد زیاد «حوادث» که وجود حیات و آگاهی را امکان‌پذیر ساخته‌اند، مخصوصاً در سال‌های اخیر موضوع مجادلات بسیاری بوده‌اند. از نظر برخی، این دلیلی است برای وجود خدایی که از روی فکر، قوانین طبیعت را به‌گونه‌ای تنظیم کرده است، که وجود حیات و درنتیجه وجود ما را امکان‌پذیر سازد. اما از نظر دیگر دانشمندان، این بدان معناست که یا ما از روی خوش شانسی در نتیجه رخ دادن دنباله‌ای از اتفاقات به‌وجود آمده‌ایم یا در صورت اعتقاد به نسخه‌های مختلف نظریه تورم و نظریه M، جهان چندگانه‌ای متشکل از چندین جهان در آن واحد وجود خواهد داشت.

---

1. Anthropic principle

برای درک بهتر این دلایل، ابتدا اتفاقاتی را که منجر به بروز حیات بر روی کره زمین شده‌اند، در نظر بگیرید. ما تنها در محدوده گولدیلاکس خورشید قرار نداریم، بلکه همچنین در مجموعه‌ای از نواحی گولدیلاکس دیگر بسر می‌بریم. به‌عنوان مثال ابعاد ماه برای اینکه در مدار زمین به صورت پایدار حرکت کند، کاملاً درست و مناسب است. اگر ماه بسیار کوچک‌تر از ابعاد فعلی‌اش بود، حتی وجود اختلالات بسیار کوچک در چرخش زمین، به مرور زمان در طول صدها میلیون سال، بر روی هم انباشته شده و باعث می‌گردید که زمین به‌طور مصیبت باری در چرخش خود دچار لنگی شود و بنابراین چنان تغییرات شدیدی در آب و هوا ایجاد شود که وجود حیات را غیرممکن سازد. برنامه‌های رایانه‌ای نشان می‌دهند که بدون وجود این ماه بزرگ (در حدود یک سوم ابعاد زمین)، احتمالاً محور زمین در مدت زمان میلیون‌ها سال به اندازه ۹۰ درجه تغییر پیدا می‌کرد. از آنجا که دانشمندان عقیده دارند که پیدایش DNA به صدها میلیون سال پایداری آب و هوایی نیاز داشته است، بنابراین زمینی که محور آن مرتباً جابجا شود، چنان تغییرات فاجعه‌باری در آب و هوا ایجاد خواهد کرد که پیدایش DNA را غیرممکن می‌سازد. خوشبختانه ابعاد ماه درست به همان اندازه‌ای است که مدار زمین را پایدار گرداند؛ به‌طوری که چنان فاجعه‌ای هرگز رخ ندهد. (اقمار مریخ به اندازه کافی بزرگ نیستند تا چرخش آن را تثبیت کنند. در نتیجه مریخ در حال حاضر به آهستگی در حال ورود به عصر دیگری از ناپایداری است. ستاره‌شناسان عقیده دارند، محور مریخ نسبت به گذشته به اندازه ۴۵ درجه تغییر کرده است.)

به‌علاوه، به‌دلیل وجود نیروهای کوچک جذر و مدی، ماه در هر سال به اندازه ۴ سانتی‌متر از زمین فاصله می‌گیرد؛ به‌این‌ترتیب در حدود دو میلیارد سال بعد، فاصله آن بسیار زیادتر از آن خواهد بود تا بتواند چرخش زمین را پایدار سازد. این مسئله می‌تواند برای حیات روی کره زمین خطرناک باشد. میلیاردها سال بعد، نه تنها به‌دلیل به‌هم خوردن مدار چرخش زمین آسمان شب بدون ماه خواهد بود، بلکه احتمالاً مجموعه صور فلکی دیده شده در آسمان نیز تغییر خواهند کرد. در این صورت، آب و هوای کره زمین غیرقابل

پیش‌بینی بوده و بنابراین ادامه حیات غیرممکن می‌گردد.

زمین‌شناسی به نام پیتر وارد و ستاره‌شناسی به نام دونالد براون لی از دانشگاه واشنگتن می‌نویسند: «بدون وجود ماه، دیگر نه مهتابی خواهد بود، نه دوازده ماه سالی، نه جنونی، نه برنامه آپولویی، و نه دیگر شعرسرایی، و از آن پس جهان، به جایی با شب‌های تاریک و غم‌افزا بدل خواهد شد. همچنین بدون ماه احتمال دارد که هیچ پرنده‌ای، درختی، نهنگی، خرچنگی، یا دیگر حیات پیشرفته‌ای هرگز در روی زمین افسونگری نکند.»

به‌طور مشابه، مدل‌های رایانه‌ای منظومه شمسی ما نشان می‌دهند که وجود سیاره مشتری در منظومه شمسی، برای حیات کره زمین به نوعی خوش شانسی محسوب می‌شود. به این دلیل که گرانش شدید آن به بیرون راندن خرده سیارک‌ها از منظومه کمک می‌کند. در طول عصر شهاب‌سنگ‌ها، از ۳/۵ میلیارد سال تا ۴/۵ میلیارد سال پیش، تقریباً میلیاردها سال طول کشید تا منظومه شمسی ما از باقی مانده‌های خرده سیارک‌ها و دنباله‌دارها پاک شود. اگر مشتری بسیار کوچک‌تر از این و گرانش آن ضعیف‌تر می‌بود، در این صورت هنوز منظومه شمسی ما مملو از خرده سیارک‌ها بوده و به‌این‌ترتیب با سقوط خرده سیارک‌ها بر روی زمین و اقیانوسها، حیات غیرممکن می‌گشت. بنابراین مشتری نیز درست در اندازه صحیح و مناسب برای حیات قرار دارد.

از طرف دیگر، ما همچنین در ناحیه گولدیلاکس جرم سیاره‌ای قرار داریم. اگر جرم زمین قدری کم‌تر بود، گرانش آن چنان ضعیف می‌بود که نمی‌توانست اکسیژن را در خود نگاه دارد. اگر بسیار زیاد می‌بود، بسیاری از گازهای نخستین سمی را هنوز در خود داشت و به‌این‌ترتیب حیات را غیرممکن می‌ساخت. این یعنی وزن کره زمین برای نگهداری یک ترکیب جوی مناسب برای حیات کاملاً متعادل است.

به‌طور مشابه، می‌توان گفت ما در منطقه گولدیلاکس مدارهای مجاز سیاره‌ای قرار داریم. به‌طور قابل ملاحظه‌ای، مدار سیارات دیگر، بجز مدار پلوتو، تقریباً دایره‌ای هستند؛ به این معنی که برخوردهای سیاره‌ای در منظومه شمسی کاملاً نادر است. به بیان دیگر، زمین در نزدیکی هیچ‌کدام از غول‌های

گازی، که گرانش آن‌ها می‌تواند به‌راحتی مدار زمین را مختل کند، قرار نمی‌گیرد. این نیز برای حیات که نیاز به صدها میلیون سال پایداری دارد، مناسب است.

به‌علاوه زمین همچنین در ناحیه گولدیلاکس کهکشان راه شیری، در حدود دو سوم فاصله از مرکز کهکشان، قرار دارد. اگر منظومه شمسی به مرکز کهکشان، جایی‌که سیاهچاله‌ها در کمین هستند، بسیار نزدیک بود، میدان تابش چنان شدید می‌بود که حیات را غیرممکن می‌ساخت. و اگر منظومه شمسی بسیار بیشتر از این از مرکز فاصله داشت، آنگاه به اندازه کافی عناصر سنگین‌تر به‌منظور ساختن مواد لازم برای حیات، وجود نداشتند.

دانشمندان قادرند مثال‌های متعددی ارائه کنند که بر طبق آن‌ها زمین درون هزارها ناحیه گولدیلاکس مختلف قرار دارد. ستاره‌شناسان وارد و براون لی، استدلال می‌کنند که تعداد نوارهای باریک و نواحی گولدیلاکسی که درون آن‌ها قرار داریم چنان زیاد است، که می‌توان گفت وجود حیات هوشمند بر روی کره زمین، در کل کهکشان یا شاید در کل جهان، منحصربفرد است. این دو نفر فهرست جالبی تهیه کرده‌اند که در آن نشان می‌دهد زمین برای داشتن یک حیات هوشمند دارای مقادیر کاملاً مناسبی از اقیانوس‌ها، لایه‌های زمین‌شناسی، محتویات اکسیژن، دما، انحراف محور چرخش، و... است. اگر زمین تنها از یکی از این ناحیه‌های باریک خارج می‌شد، ما هم‌اکنون اینجا نبودیم تا در این مورد صحبت کنیم.

آیا کره زمین، تنها به این خاطر که خداوند آن را دوست داشته، درست در بین تمام این شرایط مناسب قرار گرفته است؟ شاید. البته، می‌توان نتایج دیگری را در نظر گرفت که نیازی به تکیه بر وجود خدا نداشته باشد. شاید میلیون‌ها سیاره مرده در فضا وجود داشته باشند که به خورشید منظومه خود بیش از حد نزدیک بوده‌اند، یا قمرشان بسیار کوچک، مشتری‌شان بسیار کوچک، یا به مرکز کهکشانی خود بسیار نزدیک باشند. وجود نواحی گولدیلاکس در مورد زمین لزوماً به این معنی نیست که خداوند بر ما موهبت خاصی ارزانی داشته است؛ این مسئله به سادگی می‌تواند تنها یک تصادف باشد؛ یک نمونه نادر در بین میلیون‌ها سیاره مرده در فضا که در بیرون از این

نواحی گولدیلاکس قرار دارند.

فیلسوف یونانی دموکریتوس، کسی که برای اولین‌بار وجود اتم‌ها را مطرح کرد، نوشته است: «جهان‌های مختلفی وجود دارند که از نظر تعداد، نامحدود و از نظر ابعاد با هم متفاوتند. در برخی از آن‌ها، نه خورشید وجود دارد و نه ماه. در برخی دیگر، بیش از یک ماه و خورشید وجود دارد. فاصله بین جهان‌ها متفاوت، و در برخی مناطق تعداد آن‌ها بیشتر است.... انهدام آن‌ها از طریق برخوردشان با یکدیگر رخ می‌دهد. برخی از جهان‌ها، عاری از حیوانات، زندگی گیاهی و رطوبت هستند.»

در سال ۲۰۰۲، ستاره‌شناسان موفق شدند صدها سیاره را بیابندکه در خارج از منظومه شمسی به دور ستارگان دیگر می‌چرخیدند. در حال حاضر تقریباً در هر دو هفته، یک سیاره غیرخورشیدی جدید کشف می‌شود. از آنجا که سیارات غیر خورشیدی هیچ نوری از خود متصاعد نمی‌کنند، ستاره‌شناسان آن‌ها را از روش‌های غیرمستقیم شناسایی می‌کنند. قابل اطمینان‌ترین روش برای این‌کار جستجو برای یافتن لنگی در چرخش ستاره مادر است؛ به‌این ترتیب که حین چرخش سیاره‌ای در ابعاد مشتری به‌دور آن، ستاره به جلو و عقب می‌رود. با تحلیل انتقال دوپلری نور منتشر شده از ستاره، می‌توان سرعت حرکت آن را محاسبه کرده و برای محاسبه جرم سیاره نیز می‌توان از قوانین نیوتون کمک گرفت.

کریس مک کارتی، از انستیتوی کارنگی می‌گوید: «یک ستاره و سیاره بزرگی که به‌دور آن می‌چرخد را می‌توان به صورت دو رقصنده همراه تصور کرد. درحالی‌که آن دو دست‌های خود را به‌درون هم جفت کرده‌اند، به‌دور هم می‌چرخند. رقصنده کوچک‌تر، فاصله بیشتری را در دایره بزرگ‌تری می‌پیماید. درحالی‌که رقصنده بزرگ‌تر که در دایره درونی قرار دارد، تنها در دایره کوچکی می‌چرخد ــ حرکت به‌دور دایره کوچک داخلی همان لرزش و لنگی کمی است که ما در این ستارگان می‌بینیم.» در حال حاضر، این فرایند چنان دقیق است که قادریم تغییرات بسیار کوچکی در سرعت را، برابر ۳ متر در ثانیه (برابر با سرعت تند راه رفتن)، در فاصله‌ای برابر صدها سال نوری از ما، تعیین کنیم.

هم‌اکنون روش‌های خلاقانه متعددی برای یافتن سیارات غیرخورشیدی ارائه شده‌اند. یکی از این روش‌ها، جستجو برای یافتن سیاره، درست در زمانی است که از مقابل ستاره مادر عبور می‌کند. به‌این‌ترتیب که حین عبور سیاره از مقابل ستاره مادر، درخشندگی کمی کاهش می‌یابد. در طول پانزده الی بیست سال آینده، ناسا ماهواره تداخل‌سنجی فضایی خود را در مدار قرار داده تا سیارات کوچک‌تر شبه زمینی را در فضا بیابد. (از آنجا که درخشندگی ستاره مادر می‌تواند سیاره را تحت الشعاع قرار دهد، این ماهواره از تداخل نور برای خنثی کردن هاله نور شدید ستاره مادر، استفاده می‌کند و به‌این‌ترتیب سیاره شبه زمینی آشکار می‌شود.)

تاکنون هیچ کدام از سیارات غیرخورشیدی یافت شده در ابعاد مشتری، به زمین شباهت نداشته‌اند و احتمالاً تمام آن‌ها خالی از حیات هستند. ستاره‌شناسان این سیارات را یا در مدارهای خیلی بیرون از مرکز یا در مدارهایی که بسیار به ستاره مادر نزدیک هستند، یافته‌اند؛ در هر دو صورت امکان وجود شرایط مشابه با زمین در آن‌ها وجود نداشته است. در این منظومه‌ها، سیاره با ابعاد مشتری در ناحیه گولدیلاکس قرار گرفته و بنابراین هر سیاره کوچکی را در ابعاد زمین به بیرون می‌راند و در نتیجه مانع از شکل‌گیری حیات به شکل شناخته شده آن می‌گردد.

مدارات خیلی بیرون از مرکز، در فضا بسیار دیده می‌شوند ــ در حقیقت چنان شایع‌اند که وقتی در سال ۲۰۰۳، منظومه شمسی «نرمالی» در فضا یافت شد، سر و صدای زیادی بپا کرد. ستاره‌شناسان در ایالات متحده و استرالیا در یک زمان کشف یک سیاره در ابعاد مشتری را اعلام کردند که به‌دور ستاره HD 70642 در حال چرخش بود. نکته غیرعادی در مورد این سیاره (با ابعادی برابر حدوداً دو برابر ابعاد مشتری ما) این بود که در مداری دایره‌ای، با تقریباً همان نسبت مشتری به خورشید ما، در حال چرخش بود.

در آینده، ستاره‌شناسان باید بتوانند به‌منظور یافتن منظومه‌های خورشیدی، اطلاعات مربوط به تمام ستارگان نزدیک را، جمع‌آوری و فهرست کنند. پل باتلر، از انستیتوی کارنگی در واشنگتن، کسی که در کشف

اولین سیاره غیرخورشیدی در سال ۱۹۹۵ نقش داشته می‌گوید: «تلاش ما بر این است تا کل نزدیک‌ترین ۲۰۰۰ ستاره شبه خورشیدی را تحت بررسی قرار دهیم؛ یعنی تمام ستاره‌های شبه خورشیدی که در فاصله ۱۵۰ سال نوری ما قرار دارند. ما دو هدف داریم؛ یکی شناسایی و انجام یک سرشماری اولیه از نزدیک‌ترین همسایگانمان در فضا و دیگری فراهم آوردن اطلاعات اولیه برای پاسخ گویی به این سوآل اساسی که منظومه شمسی ما تا چه حد شایع یا نادر است؟»

حوادث کیهانی

به‌منظور پیدایش حیات بر روی کره زمین، سیاره ما باید برای مدت زمان صدها میلیون سال در وضعیت پایداری بوده باشد. اما ساختن جهانی که برای صدها میلیون سال پایدار باشد، به‌طور حیرت‌آوری مشکل است.

با نحوه شکل‌گیری اتم‌ها آغاز کنیم، با این حقیقت که یک پروتون کمی کم‌تر از یک نوترون وزن دارد. این بدان معناست که نوترون‌ها در نهایت به پروتون، که حالت انرژی پایین‌تری را اشغال می‌کند، تنزل می‌یابند. اگر پروتون، تنها ۱ درصد سنگین‌تر بود، به یک نوترون تبدیل شده و به‌این‌ترتیب تمام هسته‌ها ناپایدار شده و از هم می‌پاشیدند. به بیان دیگر تمام اتم‌ها تجزیه شده و حیات غیرممکن می‌گردید.

تصادف کیهانی دیگری که حیات را ممکن ساخته، این است که پروتون پایدار است و به یک ضدالکترون تنزل نمی‌یابد. آزمایش‌ها نشان داده‌اند که عمر یک پروتون بسیار زیاد است؛ بسیار طولانی‌تر از عمر خود جهان. به‌منظور ایجاد DNA، پروتون‌ها باید برای مدت زمان حداقل صدها میلیون سال پایدار بوده باشند.

اگر نیروی هسته‌ای قوی، کمی ضعیف‌تر بود، هسته‌هایی مثل دوتریم از هم پاشیده می‌شدند و هیچ کدام از عناصر جهان نمی‌توانستند از طریق سنتز هسته‌ای به‌طور پیوسته درون ستارگان ایجاد شوند. اگر نیروی هسته‌ای قوی کمی قوی‌تر بود، ستارگان سوخت هسته‌ای خود را بسیار سریع می‌سوزاندند

و حیات فرصت تکامل نمی‌یافت.

اگر قدرت نیروی هسته‌ای ضعیف را نیز تغییر دهیم، این‌بار هم در می‌یابیم که حیات غیرممکن می‌گردد. نوترینوها، که از طریق نیروی هسته‌ای ضعیف عمل می‌کنند، برای انتقال انرژی یک ابرنواختر در حال انفجار ضروری هستند. این انرژی به نوبه خود مسئول ایجاد عناصر سنگین‌تر از آهن است. اگر نیروی هسته‌ای ضعیف کمی ضعیف‌تر می‌بود، نوترینوها به ندرت با هم برهم‌کنش داشتند، به این معنی که ابرنواخترها نمی‌توانستند عناصر بالاتر از آهن را ایجاد کنند. اگر نیروی هسته‌ای ضعیف کمی قوی‌تر بود، ممکن بود که نوترینوها نتوانند از مرکز ستاره به خوبی فرار کنند، که این هم باز از ایجاد عناصر بالاتر که منجر به ایجاد جسم و جهان ما می‌گردند جلوگیری می‌کرد.

دانشمندان فهرست بلندی از چنین «تصادفات کیهانی خوشایند» تهیه کرده‌اند. وقتی با این لیست پر ابهت مواجه می‌شویم، حیرت‌آور است وقتی می‌بینیم که چه تعداد زیادی از ثابت‌های شناخته شده جهان، درون ناحیه‌های بسیار باریکی قرار دارند که حیات را ممکن می‌سازند. اگر تنها یکی از این تصادفات به‌گونه دیگری اتفاق می‌افتاد، ستارگان هرگز شکل نمی‌گرفتند، جهان از هم می‌پاشید، DNA وجود نمی‌داشت، حیات آن‌طور که می‌شناسیم غیرممکن می‌بود، زمین زیر و زبر یا منجمد می‌شد و الی آخر.

ستاره‌شناسی به نام هیو راس، برای تاکید بر قابل توجه بودن این شرایط، این مسئله را با شرایطی مقایسه کرده است که در آن در نتیجه برخورد یک توفان با یک هواپیمای اوراق، یک هواپیمای بوئینگ ۷۴۷ به‌طور کامل سرهم و ساخته شود.

اصل انسانی

این‌بار هم تمام استدلالات ارائه شده در بالا، در سایه اصل انسانی قرار می‌گیرند. می‌توان دیدگاه‌های متفاوتی را در قبال این اصل بحث انگیز اختیار کرد. معلم کلاس دوم من احساس می‌کرد که این اتفاقات و تصادفات خوشایند، همه دلیلی بر وجود یک برنامه یا طرح بزرگ از پیش تعیین شده هستند.

همان‌طورکه فیزیکدانی به نام فریمن دِیسون گفته است: «به‌نظر می‌رسد که جهان از قبل می‌دانسته ما می‌آئیم.» این نمونه‌ای از اصل انسانی قوی است؛ این ایده که تنظیم دقیق ثابت‌های فیزیکی تصادفی نبوده، بلکه بیانگر وجود یک برنامه یا چیزی از این دست است. (اصل انسانی ضعیف، بیان می‌کند که ثابت‌های فیزیکی جهان به‌گونه‌ای‌هستند، که حیات و آگاهی را ممکن می‌سازند.)

فیزیکدانی به نام دان پیج، انواع مختلف اصول انسانی مطرح شده در طول سال‌ها را اینگونه خلاصه کرده است:

اصل انسانی ضعیف: «آنچه که از جهان مشاهده می‌کنیم، به نیازهای وجودی ما به‌عنوان یک نظاره گرمحدود می‌شود.»

اصل انسانی قوی ـ ضعیف: «حیات باید در حداقل یک جهان... از جهان چند دنیایی، وجود داشته باشد.»

اصل انسانی قوی: «جهان باید درون خود ویژگی‌هایی برای حیات داشته باشد، تا بالاخره زمانی درون آن به‌وجود آید.»

اصل انسانی قطعی: «هوش باید در جهان به‌وجود آید و هرگز از بین نرود.»

بر طبق ادعای یکی از فیزیکدانان معتقد به اصل انسانی قوی، وِرا کیستیاکوفسکی در MIT، این اصل نشانه‌ای برای وجود خدا است. او می‌گوید: «ترتیب دقیقی که در یافته‌های علمی ما از دنیای فیزیکی دیده می‌شود، مستلزم وجود نیرویی یزدانی است.» جان پولکینگهورن، دانشمندی که از طرفداران این طرز فکر است، یک فیزیکدان ذره‌ای بود که موقعیت خود را در دانشگاه کمبریج رها کرده و در کلیسای انگلستان ردای کشیشی بر تن کرد. او می‌نویسد: «این جهانی که می‌بینیم، جهان معمولی نیست، بلکه ویژه است و به‌دقت برای حیات تنظیم شده است، زیرا خالق خلاقی وجود دارد که مایل است اینگونه باشد.» در حقیقت خود ایزاک نیوتون، کسی که مفهوم قوانین تغییرناپذیر را مطرح کرد که سیارات و ستارگان را بدون دخالت الهی هدایت می‌کردند، عقیده داشت که زیبایی این قوانین، خود به‌وجود خدا اشاره دارند.

اما استیون واینبرگ، فیزیکدان و دارنده جایزه نوبل، متقاعد نشده است. او به جذابیت اصل انسانی اعتراف می‌کند: «باور این مسئله برای انسان‌ها سخت است که با جهان خویشاوندی خاصی داشته باشیم. اینکه زندگی انسان تنها یک خروجی کم و بیش مضحک از زنجیره‌ای از اتفاقات تصادفی مربوط به سه دقیقه اول نیست، بلکه ما به نوعی از ابتدا ساخته شده بودیم.» با این حال او اینطور نتیجه می‌گیرد که اصل انسانی قوی «کمی بیشتر از یک کلام اسرارآمیز است».

دیگران نیز کم‌تر به قدرت اصل انسانی اعتقاد دارند. فیزیکدان مرحوم، هاینز پِیگلز، در دوره‌ای از عمر خود تحت تاثیر این اصل قرار گرفت، ولی به مرور زمان علاقه خود را از دست داد. زیرا این اصل قدرت پیش‌بینی نداشت. این نظریه نه قابل آزمون است و نه راهی وجود دارد تا بتوان اطلاعات جدیدی را از درون آن استخراج کرد. در عوض جریان بی‌پایانی است از تکرار مکررات ــ اینکه ما اینجا هستیم، زیرا اینجا هستیم.

گوث نیز اصل انسانی را قبول ندارد و بیان می‌کند که: «برای من باور این مسئله سخت است که کسی توضیح بهتری برای چیزی داشته باشد و با این حال از اصل انسانی استفاده کند. به‌عنوان مثال من هنوز منتظرم که یک اصل انسانی از تاریخ جهان بشنوم... اصل انسانی چیزی است که افراد، درصورتیکه شیوه بهتری به فکرشان نرسد، به آن متوسل می‌شوند.»

جهان چندگانه

دانشمندان دیگر، مثل لرد مارتین ریس از دانشگاه کمبریج، عقیده دارند که این تصادفات کیهانی دلایلی برای وجود جهان چندگانه هستند. ریس عقیده دارد که تنها راه بیان این حقیقت که ما درون یک ناحیه بسیار باریک از صدها «اتفاق» زندگی می‌کنیم، مسلم فرض کردن وجود میلیون‌ها جهان موازی است. در این جهان متشکل از چندین جهان، اغلب جهان‌ها مرده‌اند. پروتون پایدار نیست. اتم‌ها هرگز متراکم نمی‌شوند. DNA هیچ‌گاه شکل نمی‌گیرد. جهان، نابهنگام (قبل از بلوغ) از هم فروپاشیده یا تقریباً آناً از حرکت باز

می‌ایستد. اما در جهان ما دنباله‌ای از حوادث کیهانی رخ داده‌اند؛ نه لزوماً به‌دلیل دخالت خداوند بلکه به‌دلیل قانون میانگین.

از برخی جهات، شاید بتوان تصور کرد لرد مارتین ریس آخرین کسی باشد که از ایده جهان‌های موازی حمایت کند. او ستاره‌شناس سلطنتی انگلستان است و برای ارائه نقطه نظر این موسسه، در مقابل جهان مسئول است. ریس، با موهای نقره‌ای و لباس‌های مرتب، به همان اندازه در مورد نگرانی‌های عامه مردم به شیوایی صحبت می‌کند که در مورد شگفتی‌های کیهان.

او عقیده دارد، تنظیم دقیق جهان به‌گونه‌ای که حیات در آن امکان‌پذیر گردد، تصادفی نیست. مسئله این است که تصادفات بسیار زیادی رخ داده‌اند تا جهان در چنین نوار باریکی قرار گرفته و در نتیجه حیات امکان‌پذیر شده. ریس می‌نویسد: «تنظیم دقیقی که وجود ما به آن وابسته است، می‌توانست یک اتفاق باشد. من زمانی اینگونه فکر می‌کردم. اما اینک چنین دیدگاهی کوته فکرانه به‌نظر می‌رسد... اگر این را بپذیریم، ویژگی‌های مختلف جهان ما ــ آن‌هایی که برخی خداشناسان به‌عنوان دلیلی برای مشیت الهی یا تدبیر اقامه کرده‌اند ــ تعجبی را برنمی‌انگیزند.»

ریس تلاش کرده است تا با مقداردهی به برخی از این مفاهیم، استدلالات خود را قوت بخشد. بر طبق ادعای او، این جهان تحت حکومت و کنترل شش عدد می‌باشد، که هرکدام از آن‌ها قابل اندازه‌گیری بوده و مقادیر دقیقی دارند. این شش عدد باید به‌گونه‌ای باشند که شرایط حیات را فراهم کنند، وگرنه منجر به ایجاد جهان‌های عاری از حیات می‌گردند.

اولین آن‌ها اِپسیلون، برابر ۰/۰۰۷ است. اپسیلون، مقدار نسبی هیدروژنی است که در انفجار بزرگ از طریق همجوشی به هلیم تبدیل می‌شود. اگر این عدد به‌جای ۰/۰۰۷ برابر ۰/۰۰۶ بود، منجر به تضعیف نیروی هسته‌ای می‌گردید و به‌این‌ترتیب پروتون‌ها و نوترون‌ها به یکدیگر وابسته نمی‌شدند. دوتریم (دارای یک پروتون و یک نوترون)، نمی‌توانست شکل بگیرد و بنابراین عناصر سنگین‌تر هرگز در ستاره‌ها ایجاد نمی‌شدند، اتم‌های بدن ما هرگز شکل نمی‌گرفتند، و کل جهان به هیدروژن تبدیل می‌شد. حتی یک کاهش جزئی در

نیروی هسته‌ای، منجر به ایجاد ناپایداری در جدول تناوبی عناصر می‌گردید و آنگاه عناصر پایدار کم‌تری برای شکل‌گیری حیات وجود داشتند.

اگر اپسیلون برابر ۰/۰۰۸ می‌بود، آنگاه همجوشی چنان سریع صورت می‌گرفت که هیچ هیدروژنی از انفجار بزرگ باقی نمی‌ماند و امروزه ستاره‌ای وجود نداشت که به سیارات انرژی بدهد. یا شاید دو پروتون به یکدیگر وابسته می‌شدند، که این نیز همجوشی در ستارگان را غیرممکن می‌ساخت. ریس بیان می‌دارد که فرد هویل دریافته بود که حتی یک تغییر کوچک ۴ درصدی در نیروی هسته‌ای، شکل‌گیری کربن را در ستاره‌ها غیرممکن ساخته و به‌این‌ترتیب ایجاد عناصر بالاتر و در نتیجه حیات را منتفی کرد. هویل دریافت که تغییر بسیار کمی در نیروی هسته‌ای باعث می‌شود که برلیم چنان ناپایدار باشد که هرگز نتواند پلی برای شکل‌گیری اتم‌های کربن گردد.

دومین عدد N است؛ برابر با 10^{36}، که برابر است با قدرت نیروی الکتریکی تقسیم بر قدرت گرانش. این عدد نشان می‌دهد گرانش تا چه حد ضعیف است. اگر گرانش حتی از این هم ضعیف‌تر می‌بود، آنگاه ستارگان نمی‌توانستند متراکم شده و دماهای زیاد مورد نیاز برای همجوشی را ایجاد کنند. بنابراین ستارگان نمی‌درخشیدند، و سیارات به‌درون سیاهی سردی فرو می‌رفتند.

اما اگرگرانش کمی قوی‌تر می‌بود باعث می‌شد که ستارگان بسیار سریع داغ شوند و سوخت خود را چنان سریع بسوزانند که حیات هرگز فرصت آغاز پیدا نکند. همچنین گرانش قوی‌تر به این معنی است که کهکشان‌ها زودتر شکل گرفته و بنابراین کوچک‌تر باشند. در این صورت ستارگان متراکم‌تر بوده و برخوردهای فاجعه‌باری بین ستارگان و سیارات مختلف رخ می‌داد.

سومین عدد اُمگا (Ω) است؛ چگالی نسبی جهان. اگر امگا خیلی کوچک می‌بود، آنگاه جهان بسیار سریع منبسط شده و خنک می‌شد. ولی اگر امگا خیلی بزرگ می‌بود، جهان قبل از اینکه حیات فرصت شروع پیدا کند از هم فرو می‌پاشید. ریس می‌نویسد: «برای اینکه جهان، هم‌اکنون پس از ۱۰ میلیارد سال، هنوز در حال انبساط بوده و مقدار امگا نیز زیاد با ۱ تفاوت

نداشته باشد، این مقدار نمی‌توانسته در یک ثانیه پس از انفجار بزرگ، بیشتر از مقدار یک میلیون میلیاردم (یک در 10^{15}) با ۱ تفاوت داشته باشد.»

چهارمین عدد لاندا (λ) است، ثابت کیهانی که سرعت جهان را تعیین می‌کند. اگر این عدد تنها به مقدار کمی بزرگ‌تر بود، نیروی ضد گرانشی که ایجاد می‌کرد، جهان از هم می‌پاشید و سریعاً به یک حالت انجماد بزرگ فرو می‌رفت که در نتیجه حیات را غیرممکن می‌ساخت. اما اگر ثابت کیهانی عددی منفی می‌بود، جهان به شدت متراکم شده و قبل از اینکه حیات شکل بگیرد دچار فروپاشی بزرگ می‌گردید. به بیان دیگر ثابت کیهانی، مثل امگا، نیز باید درون یک ناحیه باریک معین باشد تا حیات را امکان‌پذیر سازد.

عدد پنجم Q است. دامنه اختلالات موجود در تابش ریزموج پس‌زمینه، که برابر 10^{-5} است. اگر این عدد کمی کوچک‌تر از این بود، آنگاه جهان به شدت یکنواخت می‌بود؛ توده بی‌جانی از گاز و غبار، که هرگز به شکل ستارگان و کهکشان‌های امروزی در نمی‌آمد. در این‌صورت جهان، تاریک، یکنواخت، بی‌معنی و عاری از حیات بود. اگر Q بزرگ‌تر از این مقدار می‌بود، آنگاه در تاریخ جهان، ماده زودتر به شکل ساختارهای بزرگ اَبَرکهکشانی متراکم می‌گردید. ریس می‌گوید: «مقادیر زیاد ماده، به شکل سیاهچاله‌های بزرگ متراکم می‌شدند.» این سیاهچاله‌ها از یک خوشه کهکشانی کامل نیز سنگین‌تر می‌شدند. ستارگانی که در این خوشه بزرگ گازی شکل بگیرند، چنان محکم به‌هم فشرده می‌شوند که وجود سیستم‌های سیاره‌ای را غیرممکن می‌سازند.

آخرین عدد D است؛ تعداد ابعاد فضا. فیزیکدانان به‌دلیل علاقه به نظریه M، به این سوآل پرداخته‌اند که آیا حیات در ابعاد بالاتر یا پایین‌تر امکان‌پذیر هست یا نه. اگر فضا یک بعدی باشد، احتمالاً حیات نمی‌تواند وجود داشته باشد، زیرا در این صورت محتویات جهان چیز قابل توجهی نخواهد بود. اغلب زمانی که فیزیکدانان تلاش می‌کنند نظریه کوانتوم را به جهان‌های یک بعدی اعمال کنند، می‌بینیم که ذرات بدون هیچ برهم‌کنشی از یکدیگر عبور می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت که جهان‌هایی که در یک بعد وجود دارند،

نمی‌توانند حیات داشته باشند، زیرا ذرات در آن‌ها نمی‌توانند برای ایجاد اشیاء مرکب به یکدیگر بچسبند.

در فضاهای دو بعدی نیز با این مشکل مواجه هستیم که احتمالاً شکل‌های مختلف حیات در این فضا در نهایت متلاشی یا تجزیه می‌شوند. گونه‌ای از موجودات تخت دو بعدی را، به نام سطح نشینان، در نظر بگیرید که بر روی سطح یک میز زندگی می‌کنند. تصور کنید آن‌ها چگونه برای خوردن تلاش می‌کنند. مسیری که از دهان به پشت آن‌ها امتداد یافته است، بدن سطح نشین را به دو نیم تقسیم می‌کند و به‌این‌ترتیب او متلاشی خواهد شد. بنابراین تصور این مسئله مشکل است که یک سطح نشین بتواند به صورت یک موجود پیچیده، بدون اینکه تجزیه یا متلاشی شود، به زندگی خود ادامه دهد.

استدلال دیگری در علم زیست‌شناسی وجود دارد که نشان می‌دهد هوش نمی‌تواند در کم‌تر از سه بعد وجود داشته باشد. مغز ما، حاوی تعداد زیادی سلول‌های عصبی هم پوشان است که از طریق یک شبکه الکتریکی گسترده به‌هم متصل هستند. اگر جهان یک یا دو بعدی می‌بود، آنگاه ایجاد شبکه عصبی پیچیده مشکل می‌نمود. مخصوصاً در حالتی که با قرار دادن آن‌ها بر روی یکدیگر اتصال کوتاه رخ می‌دهد. در ابعاد کم‌تر، ما شدیداً از نظر تعداد مدارات منطقی پیچیده و سلول‌های عصبی که می‌توانیم در مساحت کوچکی جای دهیم دچار محدودیت هستیم. به‌عنوان مثال، مغز خود ما از ۱۰۰ میلیارد سلول عصبی تشکیل شده است ــ در حدود تعداد ستارگان کهکشان راه شیری ــ که هرکدام از سلول‌ها به حدود ۱۰,۰۰۰ سلول عصبی دیگر متصل هستند. تکثیر این پیچیدگی در ابعاد پایین‌تر مشکل خواهد بود.

در فضای چهار بعدی، مشکل دیگری وجود دارد: سیارگان، دیگر در مدارات خود به‌دور خورشید پایدار نیستند. قانون جذر معکوس نیوتون با قانون مکعب معکوس جایگزین می‌شود. در سال ۱۹۱۷، پل اِرنفست، یکی از همکاران نزدیک اینشتین به بررسی این مسئله که فیزیک در ابعاد دیگر چه شکلی می‌تواند داشته باشد پرداخت. او معادله پواسون ـ لاپلاس (مربوط به

حرکت اجرام سیاره‌ای و همین‌طور بارهای الکتریکی در اتم) را مورد بررسی قرار داد و دریافت که مدارها در ابعاد فضایی چهار یا بیشتر پایدار نیستند. از آنجا که الکترون‌ها در اتم‌ها درست همانند سیارات، با برخوردهای تصادفی مواجه هستند، اتم‌ها و همچنین منظومه‌های خورشیدی احتمالاً نمی‌توانند در ابعاد بالاتر وجود داشته باشند. به بیان دیگر عدد سه، در ابعاد فضایی، عددی ویژه است.

از نظر ریس، اصل انسانی یکی از مستدل‌ترین دلایل برای وجود جهان چندگانه است. به همان ترتیب که وجود نواحی گولدیلاکس برای کره زمین، وجود سیارات غیرخورشیدی دیگر را نشان می‌دهد، وجود مناطق گولدیلاکس برای جهان نیز نشان‌دهنده وجود جهان‌های موازی است. ریس اینگونه توضیح می‌دهد: «در صورتیکه انبوهی از لباس داشته باشید، تعجب نمی‌کنید اگر از بین آن‌ها بلوزی را بیابید که دقیقاً اندازه شما باشد. اگر جهان‌های زیادی وجود داشته باشند که در هرکدام مجموعه متفاوتی از اعداد حاکم باشند، حتماً در یکی از آن‌ها مجموعه‌ای از اعداد حاکم خواهند بود که مناسب برای حیات باشند. ما در آن جهان هستیم.» به بیان دیگر جهان ما، تنها به‌دلیل قانون میانگین حاکم بر جهان‌های متعدد موجود در جهان چندگانه، به این شکل است و نه به‌دلیل یک تدبیر بزرگ.

به‌نظر می‌رسد واینبرگ با این نظر موافق باشد. در حقیقت ایده جهان‌های چندگانه، از نظر منطقی به‌نظر او خوشایند می‌آید. او هرگز موافق این ایده نبود که زمان، بتواند ناگهان در انفجار بزرگ به عرصه وجود وارد شود و اینکه زمان، قبل از آن وجود نداشته است. در یک جهان چندگانه، ما با پیدایش مکرر جهان‌ها مواجه هستیم.

دلیل دیگری وجود دارد که ریس ایده جهان‌های چندگانه را ترجیح می‌دهد. او دریافته است که جهان دارای مقادیر کمی «زشتی» است. به‌عنوان مثال مدار زمین کمی بیضی است. اگر دقیقاً کروی بود، ممکن بود همان‌طور که خداشناسان بیان می‌کنند گفته شود که این نتیجه دخالت خداگونه است. اما اینگونه نیست و تنها نشان‌دهنده مقادیر مشخصی بی‌نظمی در ناحیه باریک گولدیلاکس است. به‌طور مشابه، ثابت کیهانی دقیقاً برابر صفر نیست، بلکه

بسیار کوچک است. این نشان می‌دهد که جهان ما: «استثنایی‌تر از آن چیزی که وجود ما نیاز دارد نیست.» تمام این‌ها با این مسئله سازگاری دارند که جهان ما پیشامدی تصادفی است.

سیر تکاملی جهان‌ها

ریس، که بیشتر یک ستاره‌شناس بود تا یک فیلسوف، بیان می‌کند برای دستیابی به یک نتیجه نهایی، تمام این نظریه‌ها باید مورد آزمایش قرار گیرند. در حقیقت این همان دلیلی است که او به خاطر آن به ایده جهان‌های چندگانه التفات بیشتری نشان می‌دهد. به عقیده او، نظریه جهان چندگانه در طول بیست سال آینده سرانجام می‌تواند مورد آزمایش قرار گیرد.

در حقیقت یکی از اشکال مختلف ایده جهان چندگانه را امروز نیز می‌توان مورد آزمایش قرار داد. فیزیکدانی به نام لی اسمولین، حتی از ریس نیز فراتر رفته و اینگونه می‌پندارد که جهان‌ها پس از عبور از سیر تکاملی خود، درست مثل تکامل داروین، به این جهان که ما در آن زندگی می‌کنیم رسیده‌اند. به‌عنوان مثال در نظریه تورم پرآشوب[1]، ثابت فیزیکی جهان‌های «دختر»، با ثابت فیزیکی جهان مادر کمی متفاوت است. اگر جهان‌ها بتوانند همان‌طور که برخی فیزیکدانان معتقدند از سیاهچاله‌ها جوانه بزنند، آنگاه جهان‌های غالب در جهان چندگانه، آن‌هایی خواهند بود که بیشترین سیاهچاله را دارند. این بدان معناست که درست مثل جهان جانوران، جهان‌هایی که بیشترین «فرزند» را به‌وجود می‌آورند، در نهایت به‌منظور گسترش و انتشار «اطلاعات ژنتیکی» خود ــ محتویات فیزیکی طبیعت ــ زنده می‌مانند. اگر این حقیقت داشته باشد، آنگاه جهان ما باید در گذشته تعداد نامحدودی جهان‌های اجدادی داشته و جهان ما نتیجه تریلیون‌ها سال انتخاب طبیعی باشد. به بیان دیگر، جهان ما محصول فرعی بقای اصلح است. به این معنی که جهان ما، فرزند جهان‌هایی با بیشترین تعداد سیاهچاله است.

---

1. Chaotic inflation

اگرچه به‌کارگرفتن سیر تکاملی داروین در بین جهان‌ها ایده‌ای عجیب و نو است، اسمولین عقیده دارد که صحت این ایده را می‌توان تنها با شمردن تعداد سیاهچاله‌ها مورد آزمایش قرار داد. جهان ما باید مساعدترین گزینه برای ایجاد سیاهچاله‌ها باشد. (با این حال هنوز این مسئله اثبات نشده باقی می‌ماند که آیا جهان‌هایی با بیشترین تعداد سیاهچاله، آن‌هایی هستند که برای حیات مناسب‌اند (مثل جهان ما) یا نه.)

از آنجا که این ایده قابل آزمون است، مثال‌های نقض قابل توجه است. به‌عنوان نمونه، شاید بتوان از طریق تنظیم فرضی پارامترهای فیزیکی جهان نشان داد سرعت ایجاد سیاهچاله‌ها، در جهان‌هایی که فاقد حیات هستند، از همه بیشتر است. شاید بتوان نشان داد جهانی با نیروی هسته‌ای بسیار بزرگ‌تر، ستارگانی دارد که بسیار سریع می‌سوزند و تعداد زیادی ابرنواختر ایجاد می‌کند که در مرحله بعد به سیاهچاله‌ها تبدیل می‌شوند. در چنین جهانی مقدار بزرگ‌تر نیروی هسته‌ای به این معنی است که ستارگان عمر کوتاهی دارند و بنابراین حیات فرصت شکل‌گیری نمی‌یابد. اما با این حال، این جهان می‌تواند سیاهچاله‌های بیشتری داشته باشد که به این وسیله ایده اسمولین رد می‌شود. نکته مثبت این ایده این است که می‌تواند مورد آزمایش قرار گرفته، تایید یا ابطال (نشانه‌ای برای هر نظریه علمی صحیح) شود. زمان خواهد گفت آیا این ایده پا بر جا میماند یا نه.

اگرچه هر نظریه‌ای که با کرمچاله‌ها، آبَرریسمان‌ها، و ابعاد بالاتر سر و کار داشته باشد، فراتر از قابلیت‌های آزمایشگاهی فعلی ماست، با این حال در حال حاضر آزمایش‌های جدیدی در حال انجام هستند یا حتی برای آینده برنامه‌ریزی شده‌اند که ممکن است روزی بتوانند صحت این نظریات را تعیین کنند. هم‌اکنون با در دست داشتن قدرت کامل ماهواره‌ها، تلسکوپ‌های فضایی، آشکارسازهای موج گرانش، و لیزرها، در قلب انقلابی در علوم آزمایشگاهی به سر می‌بریم. ماحصل این آزمایش‌ها به خوبی می‌توانند به برخی از عمیق‌ترین پرسش‌های کیهان‌شناسی پاسخ دهند.

فصل ۹
در جستجوی شواهدی از بعد یازدهم

ادعای جالب توجه، نیازمند اثبات جالب توجه است.
ـ کارل ساگان

جهان‌های موازی، بُعد گذرها و ابعاد بالاتر، به همان اندازه که جالب توجه هستند، نیازمندند که وجودشان به‌طور قطعی اثبات شود. ستاره‌شناسی به نام کن کراسوِل می‌گوید: «جهان‌های دیگر می‌توانند هوش‌ربا باشند: تا زمانی‌که ستاره‌شناسان آن‌ها را مشاهده نکرده‌اند، آنچه بخواهید می‌توانید درباره این جهان‌ها بگویید و هرگز عدم صحت گفته‌هایتان ثابت نشود.» سابق بر این، آزمودن بسیاری از این پیشگویی‌ها به‌دلیل ابتدایی بودن تجهیزات آزمایشگاهی نومیدانه به‌نظر می‌رسید. اما با پیشرفت‌های اخیر در زمینه رایانه، لیزر و فناوری ماهواره‌ای، بسیاری از این نظریه‌ها در معرض بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته‌اند.

بررسی صحت این ایده‌ها به‌طور مستقیم ممکن است فوق‌العاده مشکل باشد، اما اثبات آن‌ها به روش‌های غیرمستقیم، در دسترس ما است. گاهی از یاد می‌بریم که بخش عمده علم ستاره‌شناسی به روش غیرمستقیم محقق شده است. تاکنون کسی خورشید یا دیگر ستارگان را از نزدیک مشاهده نکرده است، با این‌حال ما از طریق تجزیه و تحلیل تابش این اجسام نورانی به

ماهیت آن‌ها پی برده‌ایم. با تحلیل طیف نور ستارگان دریافته‌ایم که ستارگان عمدتاً از هیدروژن و مقداری هلیم ساخته شده‌اند.

به طریق مشابه، هیچ‌کس تا به حال یک سیاهچاله را مشاهده نکرده است، چون در اصل آن‌ها به‌طور مستقیم غیر قابل دیدن هستند. ولی با جستجوی قرص‌های برافزایشی و محاسبه جرم این ستارگان خاموش، ما شواهد غیرمستقیمی دال بر وجود آن‌ها به‌دست می‌آوریم. در تمامی این آزمایش‌ها به‌دنبال شواهدی از ستارگان و سیاهچاله‌ها به منظور تعیین ماهیت آن‌ها هستیم. به‌همین ترتیب، بعد یازدهم ممکن است فراسوی دسترسی مستقیم ما به‌نظر برسد، اما راه‌هایی هستند که در آن‌ها با استفاده از ابزارهای جدید تحول‌آفرینی که اکنون در دسترس داریم، امکان اثبات نظریه‌هایی چون تورم و ابر ریسمان‌ها فراهم آمده است.

GPS و نسبیت

ساده‌ترین نمونه تاثیری که ماهواره‌ها روی پژوهش‌های مربوط به نسبیت بر جای نهادند، سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) است که در آن مجموعه‌ای از ۲۴ ماهواره که پالس‌های دقیق و هماهنگی گسیل می‌کنند، این امکان را فراهم آورده‌اند تا از طریق مثلث‌بندی، موقعیت فرد روی زمین با دقت تعیین شود. GPS اکنون برای ناوبری، تجارت و جنگ ضروری است. تمام وسایل، از نقشه‌های رایانه‌ای داخل اتومبیل گرفته تا موشک‌های هدایت شونده، به قدرت هم‌زمان‌سازی سیگنال‌ها در حد پنجاه میلیاردم ثانیه نیاز دارند تا موقعیت جسمی را روی زمین با دقت ۱۵ متر تعیین کنند. اما برای تضمین چنین دقتی، دانشمندان می‌بایست تصحیحات ظریف نسبیتی بر قوانین نیوتون انجام دهند. نسبیت بیان می‌دارد که امواج رادیویی ماهواره‌ها حین گردش به دور زمین، اندکی تغییر فرکانس می‌دهند. در واقع اگر تصحیحات نسبیتی را ساده‌لوحانه کنار بگذاریم، ساعت‌های GPS هر روز یک ۴۰,۰۰۰ میلیاردم ثانیه جلو خواهند رفت و در نتیجه کل سیستم فاقد اعتبار خواهد شد. بنابراین نظریه نسبیت برای مقاصد تجاری و نظامی مطلقاً ضروری

است. فیزیکدانی به نام کلیفورد ویل که اولین‌بار یک ژنرال نیروی هوایی ایالات متحده را از لزوم اصلاحات نسبیتی در GPS مطلع کرد، یکبار گفت که بلوغ نظریه نسبیت وقتی رخ داد که حتی مقامات بلندپایه پنتاگون هم باید با آن آشنا می‌شدند.

آشکارسازهای امواج گرانشی

تا امروز تقریبا آنچه از ستاره‌شناسی می‌دانیم با بررسی امواج الکترومغناطیسی به‌دست آمده است: به شکل نور ستارگان، امواج رادیویی و تابش ریز موج اعماق فضا. هم‌اکنون دانشمندان نخستین ابزار جدید اکتشاف علمی را معرفی می‌کنند که عبارت است از خودِ گرانش. گری ساندرز، از کلتک و معاون مدیر پروژه موج گرانشی می‌گوید: «هر گاه به طریقی تازه به آسمان نگریسته‌ایم، جهانی تازه مشاهده کرده‌ایم.»

اینشتین بود که در سال ۱۹۱۶، اولین‌بار وجود امواج گرانش را مطرح کرد. در نظر آورید ناپدید شدن خورشید چه پیامدهایی خواهد داشت. مثال افتادن توپ بولینگ روی تشک را به خاطر دارید؟ تمثیل بهتر تور آکروبات را چه طور؟ اگر توپ به‌طور ناگهانی برداشته شود، تور آکروبات به سرعت به حالت اولیه برگشته موجی ایجاد می‌کند که در سطح تور منتشر می‌شود. اگر توپ بولینگ را خورشید فرض کنیم، شاهد حرکت موج گرانشی با سرعت معینی برابر سرعت انتشار نور خواهیم بود.

گرچه اینشتین بعدها پاسخی دقیق برای معادلاتش یافت که امواج گرانشی را مجاز می‌شمرد، اما هیچ‌گاه اثبات پیشگویی‌هایش را ندید. امواج گرانش فوق‌العاده ضعیف هستند. حتی امواج ناگهانی حاصل از تصادم ستارگان نیز آنقدر قوی نیستند که بتوان آن‌ها را در آزمایش‌ها کنونی اندازه‌گیری کرد.

امروزه امواج گرانشی تنها به شیوه غیرمستقیم آشکار شده‌اند. دو فیزیکدان به نام‌های راسل هالس و جوزف تیلور، بر این گمانند که بررسی ستارگان دوتایی نوترونی که در فضا دور هم می‌چرخند، نشان می‌دهد که هر ستاره، جریانی از امواج گرانشی را گسیل می‌کند، شبیه به‌هم زدن مَلاس، و

مدارشان به آهستگی تحلیل می‌رود. آن‌ها حرکت دو ستاره نوترونی رو به زوال را که به صورت مارپیچی به تدریج به‌هم نزدیک می‌شدند، بررسی کردند. این دو فیزیکدان تحقیقات‌شان را بر ستاره دوتایی نوترونی PSR 1913+16 متمرکز کردند که تقریباً ۱۶,۰۰۰ سال نوری از زمین فاصله دارند، هر ۷ ساعت و ۴۵ دقیقه یکبار دور هم می‌چرخند و در این فرآیند امواج گرانشی به فضا گسیل می‌کنند.

آن‌ها با استفاده از نظریه اینشتین دریافتند که دو ستاره در هر دور کامل باید یک میلیمتر به‌هم نزدیک‌تر شوند. گرچه این فاصله بسیار اندک است، اما طی یک سال به یک متر می‌رسد و طول ۷۰۰,۰۰۰ کیلومتری مدار آن‌ها را به تدریج کاهش می‌دهد.

این کار پیشرو نشان داد که مدار، دقیقاً مطابق پیش‌بینی اینشتین بر پایه امواج گرانشی، تحلیل می‌رود. (معادلات اینشتین پیش‌بینی می‌کنند که دو ستاره به‌دلیل اتلاف انرژی گسیل شده در فضا به شکل امواج گرانشی، در نهایت بعد از ۲۴۰ میلیون سال به‌هم برخورد خواهند کرد.) آن‌ها در سال ۱۹۹۳ برای کارهای‌شان برنده جایزه نوبل فیزیک را شدند.

همچنین می‌توانیم به عقب برگردیم و از این آزمایش دقیق برای سنجش دقت خود نسبیت عام استفاده کنیم. پس از انجام محاسبات معکوس، درمی‌یابیم که دقت نسبیت عام دست‌کم ۹۹/۷ درصد است.

آشکارساز امواج گرانشی لیگو[1]

برای به‌دست آوردن داده‌های سودمند در رابطه با جهان ابتدایی باید امواج گرانشی را مستقیماً رصد کرد، نه غیرمستقیم. در سال ۲۰۰۳، اولین آشکارساز عملیاتی موج گرانشی که لیگو (رصد خانه موج گرانشی با تداخل سنج لیزری) نام دارد، سرانجام به‌کار افتاد و رویای دیرین کاوش در اسرار جهان به وسیله امواج گرانش را تحقق بخشید. هدف لیگو آشکارسازی

1. LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory)

رخدادهای کیهانی مانند برخورد سیاهچاله‌ها یا ستارگان نوترونی است که برای رصد با تلسکوپ‌های زمینی بسیار دور یا خیلی کوچکند.

لیگو شامل دو مجموعه تاسیسات لیزری غول‌پیکر است که یکی در هانفورد واقع در واشنگتن و دیگری در لیوینگ اِستون پَریش واقع در لوئیزیانا قرار دارد. هر مجموعه دو لوله دارد؛ هریک به طول ۴ کیلومتر که شکل L بسیار بزرگی را تشکیل می‌دهند. داخل هر لول یک لیزر روشن می‌شود. در محل تقاطع L، دو اشعه لیزر به‌هم برخورد می‌کنند و امواج‌شان تداخل می‌کند. در حالت عادی وقتی اختلالی وجود ندارد، دو موج طوری بر هم منطبق می‌شوند که یکدیگر را حذف کنند. اما هنگامی که حتی ضعیف‌ترین موج گرانشی ساطع شده از برخورد سیاهچاله‌ها یا ستارگان نوترونی به دستگاه اصابت کند، منجر به انقباض و انبساط متفاوت در دو انشعاب لوله می‌شود. کافی است این اعوجاج رخ دهد تا حذف پرتوهای لیزر توسط یکدیگر مختل شود. در نتیجه، دو پرتوی لیزر به جای حذف یکدیگر، یک الگوی تداخلی موج مانند مخصوص ایجاد می‌کنند که جزء به جزء با رایانه قابل تحلیل است. هرچه موج گرانشی شدیدتر باشد، انطباق دو پرتو لیزر کم‌تر می‌شود و الگوی تداخلی گسترده‌تری خواهیم داشت.

لیگو یک اعجاز مهندسی است. از آنجا که مولکول‌های هوا ممکن است نور لیزر را جذب کنند، باید خلائی معادل یک تریلیونیم فشار جو در لوله‌های عبور دهنده نور ایجاد شود. هرآشکارساز فضایی بالغ بر ۹۰,۰۰۰ متر مکعب را اشغال می‌کند؛ و این یعنی لیگو بزرگ‌ترین خلأ مصنوعی در دنیاست. بخشی از حساسیت لیگو به‌دلیل طراحی آینه‌های آن است که با ۶ آهن‌ربای کوچک، هر یک به اندازه یک مورچه، کنترل می‌شوند. سطح آینه‌ها بسیار صیقلی است؛ با دقت ۱۲ میلیاردم سانتی‌متر. گاریلین بیلینگزلی که بر آینه‌ها نظارت دارد، می‌گوید: «زمین را به اندازه آینه‌ها صیقلی تصور کنید. در این صورت میانگین ارتفاع کوه‌ها بیش از ۳ سانتی‌متر نخواهد بود.» آینه‌های لیگو آنقدر حساسند که می‌توان آن‌ها را کم‌تر از یک میلیونیم متر حرکت داد. آن‌ها شاید حساس‌ترین آینه‌ها در جهان باشند. یکی از دانشمندان لیگو به نام

مایکل زوکر می‌گوید: «بیشتر مهندسان کنترل و ابزار دقیق، با شنیدن آنچه سعی داریم انجام دهیم، دهان‌شان باز می‌ماند.»

تعادل بدیع لیگو، گاهی با لرزش‌های خفیف و ناخواسته دچار اختلال می‌شود. به‌عنوان مثال آشکارساز لوئیزیانا، در طول روز به‌دلیل لرزش ناشی از قطع درختان در فاصله ۵۰۰ متری قادر به‌کار نیست. حتی شب هنگام، لرزش ناشی از عبور قطارهای باربری در نیمه شب یا ساعت ۶ صبح، مدت زمان کار مداوم لیگو را محدود می‌کند.

حتی لرزشی به خفیفی لرزش حاصل از برخورد امواج اقیانوس به خط ساحلی در فاصله چند کیلومتری بر نتایج تاثیر می‌گذارد. امواج اقیانوس در آمریکای شمالی به‌طور میانگین هر ۶ ثانیه یک بار به ساحل برخورد می‌کنند و این امر صدای بَمی ایجاد می‌کند که عملاً توسط لیزرها دریافت می‌شود. فرکانس این صدا خیلی کم است، طوری که عملاً در زمین نفوذ می‌کند. زوکر درباره این صدای ناشی از امواج می‌گوید: «حس غرولند را القا می‌کند، که سر دردی شدید در طول فصل گردبادهای لوئیزیاناست.» همچنین اثرگرانشی ماه و خورشید روی زمین که منشاء جذر و مد است، در حد چند میلیونیم سانتیمتر در لیگو اختلال ایجاد می‌کند.

برای حذف این اختلالات فوق‌العاده کوچک، مهندسان لیگو راهی طولانی پیموده‌اند تا به بهترین وجه دستگاه را ایزوله کنند. هر سیستم لیزری در راس چهار جایگاه عظیم از جنس فولاد ضد زنگ قرار داده شده که هر کدام روی دیگری گذاشته شده‌اند؛ برای حذف هر گونه لرزش، هر سطح توسط فنرهایی جدا شده است. هر ابزار نوری حساس سیستم ضد لرزش مستقل دارد؛ کف، قطعه‌ای بتنی است به قطر ۸۰ سانتی‌متر که به دیواره‌ها متصل نیست.

لیگو در واقع بخشی از یک کنسرسیم بین‌المللی است شامل آشکارساز فرانسوی ـ ایتالیایی ویرگو (VIRGO) واقع در پیزای ایتالیا، آشکارساز ژاپنی تاما (TAMA) در نزدیکی توکیو و یک آشکارساز انگلیسی ـ آلمانی به نام GEO600 در هانوفر آلمان. هزینه نهایی ساخت لیگو جمعاً ۲۹۲ میلیون دلار خواهد بود (به اضافه ۸۰ میلیون دلار برای حق‌الزحمه‌ها و هزینه‌های ارتقاء)،

که گرانترین پروژه‌ای است که بنیاد ملی علم تا به حال تامین مالی کرده است.

اما حتی با چنین حساسیتی بعضی دانشمندان معتقدند که لیگو احتمالاً آنقدر حساس نیست که در طول عمرش پدیده‌های قابل توجهی را به درستی آشکار کند. دستگاه ارتقاء یافته بعدی که لیگو II نام دارد در صورت تامین بودجه در سال ۲۰۰۷ راه‌اندازی خواهد شد. اگر لیگو امواج گرانشی را کشف نکند، پیش‌بینی می‌شود که لیگو II حتما این کار را خواهد کرد. کِنِت لیبِرخ، مهندس لیگو، مدعی است تجهیزات لیگو II، هزار برابر حساس‌تر هستند. وی می‌گوید: «شما از [آشکارسازی] یک پدیده در هر ۱۰ سال، که نسبتاً دردناک است، به یک پدیده در هر ۳ روز می‌رسید که واقعاً عالی است.»

یک دانشمند برای کشف برخورد دو سیاهچاله (در محدوده‌ای به فاصله ۳۰۰ میلیون سال نوری) به‌وسیله لیگو، باید بین یک تا هزار سال انتظار بکشد. بسیاری از ستاره‌شناسان احتمالاً نظرات دیگری در رابطه با جستجوی رویداد فوق به وسیله لیگو دارند، چرا که نوادگان‌شان در چندین نسل بعد شاهد آن خواهند بود. اما همان‌طور که پیتر سالسون، دانشمند لیگو می‌گوید: «افراد از حل این چالش‌های تکنیکی لذت می‌برند، درست مانند سازندگان کلیساهای قرون وسطی که با اینکه می‌دانستند ممکن است هرگز کلیسای تکمیل شده را نبینند، به‌کار خود ادامه می‌دادند. اما اگر می‌دانستم من شانسی برای مشاهده یک موج گرانشی درطول زندگی شغلی خود ندارم، در این رشته فعالیت نمی‌کردم. موضوع فقط تب نوبل نیست... سطح دقتی که برای انجام درست کارمان به خرج می‌دهیم؛ اگر چنین کنید، نتیجه صحیح به‌دست می‌آورید.» با استفاده از لیگو II، شانس ما برای یافتن یک رویداد حقیقتاً جالب در طول زندگی‌مان خیلی بیشتر است. لیگو II شاید برخورد سیاهچاله‌ها را در محدوده خیلی بزرگ‌تری به فاصله ۶ میلیارد سال نوری آشکار کند و میزان آن را از ده سال یکبار به ده روز یکبار برساند.

به هر حال، حتی لیگو II برای کشف امواج گرانشی لحظه تولد جهان، به اندازه کافی قدرتمند نیست. به‌همین دلیل ناچاریم ۱۵ الی ۲۰ سال دیگر منتظر لیزا بمانیم.

آشکارساز موج گرانشی[1] لیزا (LISA)

لیزا[2] (آنتن فضایی تداخل سنج لیزری) نماینده نسل بعدی آشکارسازهای امواج گرانشی می‌باشد. این دستگاه برخلاف لیگو در فضا مستقر خواهد شد. حوالی سال ۲۰۱۰، ناسا و آژانس فضایی اروپا، ۳ ماهواره به فضا خواهند فرستاد که تقریبا در فاصله ۵۰ میلیون کیلومتری زمین، گرد خورشید خواهند چرخید. این سه آشکارساز لیزری، در فضا مثلثی متساوی الاضلاع تشکیل خواهند داد (طول هر ضلع ۵ میلیون کیلومتر خواهد بود). هر ماهواره دو لیزر خواهد داشت که به آن اجازه می‌دهد پیوسته با دو ماهواره دیگر در ارتباط باشد. با اینکه هر لیزر، باریکه‌ای به قدرت تنها نیم وات شلیک می‌کند، تجهیزات نوری آنقدر حساسند که قادرند لرزش‌های ناشی از امواج گرانشی را با دقتی معادل یک تقسیم بر یک میلیارد تریلیون آشکار کنند (معادل حرکتی برابر یک صدم قطر یک اتم). لیزا باید بتواند امواج گرانشی را از فاصله ۹ میلیارد سال نوری که بیشتر فضای جهان مرئی را شامل می‌شود، آشکار کند.

دقت لیزا به قدری بالاست که می‌تواند امواج ضربه‌ای ناشی از خود انفجار بزرگ را کشف کند. این امر دقیق‌ترین تصویر را از لحظه پیدایش هستی به ما خواهد داد. اگر همه چیز طبق برنامه پیش رود، لیزا باید قادر به بررسی یک تریلیونم ثانیه بعد از انفجار بزرگ باشد و شاید به قوی‌ترین ابزار کیهان‌شناسی تبدیل شود. این باور وجود دارد که لیزا ممکن است قادر به یافتن اولین داده‌های تجربی در مورد ماهیت دقیق نظریه میدان یکپارچه باشد: نظریه همه چیز.

یک هدف مهم لیزا، فراهم آوردن شواهدی قطعی برای نظریه تورم است. تورم با تمام داده‌های کیهان‌شناسی موجود، سازگار است (تختی جهان، افت و خیزهای زمینه کیهانی و غیره). اما این بدان معنی نیست که نظریه صحیح است. دانشمندان می‌خواهند برای سنجش قطعی آن، امواج گرانشی ناشی از

---

1. Gravity Wave detector
2. LISA (Laser Interferometry Space Antenna)

خود فرایند تورم را آزمایش کنند. «انگشت نگاری» از امواج گرانشی پدید آمده در لحظه انفجار بزرگ، باید تفاوت میان تورم و هر نظریه رقیب را بیان کند. برخی افراد مانند کیپ تورن از کلتک، بر این باورند که امکان دارد لیزا بتواند بگوید برخی نسخه‌های نظریه ریسمان صحیح هستند. همان‌طور که در فصل ۷ توضیح دادم، نظریه جهان تورمی پیش‌بینی می‌کند که امواج گرانشی برآمده از انفجار بزرگ باید خیلی شدید و متناظر با گسترش سریع و نمایی جهان ابتدایی باشند، درحالی‌که مدل اِکپیروتیک گسترش آرام‌تری را به‌همراه امواج گرانشی بسیار خفیف‌تر پیش‌بینی می‌کند. لیزا باید قادر به حذف نظریات رقیبِ انفجار بزرگ و آزمایش قاطع نظریه ریسمان باشد.

حلقه‌ها و عدسی‌های اینشتین

استفاده از عدسی‌های گرانشی و «حلقه‌های اینشتین»، در حال حاضر ابزار قدرتمند کاوش در کیهان است. ستاره‌شناسی از برلین به نام جان جرج وُن سِلدنِر، در سال ۱۸۰۱ توانست انحراف نور ستارگان توسط گرانش خورشید را محاسبه کند (گرچه سلدنر بی‌کم و کاست از استدلال‌های نیوتون استفاده کرد، اما یک ضریب اساسی برابر ۲ کم داشت. اینشتین نوشت: «نیمی از این انحراف نور، توسط میدان نیوتونی گرانش خورشید ایجاد می‌شود و نیم دیگر آن به‌دلیل تغییر هندسی [انحناء] فضا توسط خورشید، رخ می‌دهد.»)

اینشتین در سال ۱۹۱۲، حتی پیش از آن که نسخه نهایی نسبیت عام را تکمیل کند، احتمال استفاده از این اثر به‌عنوان یک «عدسی» را در نظر گرفت؛ درست مانند حالتی که عینک، نور را قبل از رسیدن به چشم شما خم می‌کند. در سال ۱۹۳۶، یک مهندس چک به نام رودی مانذِل، کتباً از اینشتین پرسید که آیا یک عدسی گرانشی می‌تواند نور ستاره نزدیکش را تقویت کند. پاسخ مثبت بود، اما آشکارسازی آن فراتر از سطح فناوری آنان بود.

مشخصاً، اینشتین دریافت که می‌توان خطاهای دید، مانند تصویر دوگانه از جسم واحد یا اعوجاج حلقوی نور را مشاهده کرد. به‌عنوان مثال، نور یک کهکشان بسیار دور حین عبور از کنار خورشید، از هردو سمت چپ و راست

خورشید ما می‌گذرد و به چشم می‌رسد. هنگامی که به یک کهکشان دوردست می‌نگریم، الگویی حلقوی می‌بینیم که خطای دید ناشی از نسبیت عام است. اینشتین نتیجه گرفت که: «امید چندانی برای مشاهده مستقیم این پدیده» وجود ندارد. در واقع نوشت که این‌کار: «ارزش کمی دارد، اما مرد بیچاره [ماندل] را خوشحال می‌کند.»

چهل سال بعد، در سال ۱۹۷۹، اولین مدرک در تایید عدسی گرانشی با کشف اختروش دوتایی Q0957+561 توسط دِنیس والش از رصدخانه جُردِل بانک انگلستان پیدا شد. اولین حلقه اینشتین در سال ۱۹۸۸ از منبع رادیویی MG1131+0465 رصد شد. در سال ۱۹۹۷، تلسکوپ فضایی هابل و آرایه تلسکوپ رادیویی بریتانیایی مِرلین، اولین حلقه کاملاً دایره‌ای اینشتین را از طریق بررسی کهکشان دوردست 1938+666 شکار کردند و نظریه اینشتین بار دیگر تایید شد. (این حلقه خیلی کوچک است، تنها یک ثانیه قوس، تقریباً به اندازه سکه‌ای که از فاصله سه کیلومتری دیده شود.) یان براون از دانشگاه منچستر، هیجان ستاره‌شناسان را هنگام مشاهده این واقعه تاریخی، اینگونه توصیف کرده است: «در اولین نگاه، مصنوعی به‌نظر می‌رسید و فکر کردیم اشکالی در تصویر پیش آمده است، ولی سپس دریافتیم که یک حلقه کامل اینشتین را مشاهده می‌کنیم!» امروزه حلقه‌های اینشتین سلاحی ضروری در زرادخانه اخترفیزیکدانان است. در حدود ۶۴ اختروش دوتایی، سه تایی و چند تایی (خطای‌دید ناشی از عدسی‌های اینشتین) در فضا مشاهده شده‌اند؛ تقریباً یکی از هر ۵۰۰ اختروش مشاهده شده.

حتی اشکال نامرئی ماده مانند ماده تاریک، با بررسی انحرافی که در امواج نوری ایجاد می‌کنند، «قابل رویت» هستند. به‌این‌ترتیب، می‌توان نقشه توزیع ماده تاریک را در جهان به‌دست آورد. از آنجا که عدسی‌های اینشتین شکل ظاهری خوشه‌های کهکشانی را با ایجاد کمان‌های بزرگ (به‌جای حلقه‌ها) تغییر می‌دهند، امکان تخمین تمرکز اجسام تیره در این خوشه‌ها وجود دارد. در سال ۱۹۸۶ اولین کمان کهکشانی عظیم در رصدخانه ملی ستاره‌شناسی نوری واقع در دانشگاه اِستنفورد و رصدخانه میدی-پیرِنیس

فرانسه، توسط ستاره‌شناسان کشف شد. تابحال، تقریباً صد کمان کهکشانی کشف شده‌اند که چشمگیرترین آن‌ها متعلق به خوشه کهکشانی Abell 2218 است.

عدسی‌های اینشتین همچنین می‌توانند به‌عنوان شیوه‌ای مستقل برای اندازه‌گیری مقدار ماخوها در جهان (که از ماده معمولی مانند ستارگان خاموش، کوتوله‌های قهوه‌ای و ابرهای گرد و غبار تشکیل شده‌اند) به‌کار گرفته شوند. در سال ۱۹۸۶ بودان پازینسکی از پرینستون دریافت که اگر ماخوها از مقابل ستاره‌ای عبور کنند، درخشندگی آن را افزایش می‌دهند و تصویری ثانویه به‌وجود می‌آورند.

در اوایل دهه ۱۹۹۰، گروه‌های متعددی از دانشمندان (از جمله گروه فرانسوی اِرو، گروه آمریکایی ـ استرالیایی ماخو و گروه آمریکایی ـ لهستانی اوگل) این شیوه را در مورد مرکز کهکشان راه شیری به‌کار بردند و بیش از ۵۰۰ رویداد ریز عدسی گرانشی یافتند (بیش از حد انتظار، زیرا برخی شامل ستارگانی کم جرم بودند و نه ماخوهای حقیقی). همین روش را می‌توان برای یافتن سیاره‌های فرا خورشیدی در مدار دیگر ستارگان، به‌کار برد. از آنجا که سیاره‌ها بر نور ستاره‌های مادر اثر گرانشی کوچک اما قابل توجه‌ای دارند، عدسی‌های اینشتین اصولاً می‌توانند آن‌ها را بیابند. این شیوه تاکنون تعدادی نامزد سیاره فراخورشیدی را معرفی کرده است که برخی از آن‌ها در نزدیکی مرکز کهکشان راه شیری قرار دارند.

حتی ثابت هابل و ثابت کیهان‌شناسی را می‌توان با استفاده از عدسی‌های اینشتین اندازه‌گیری کرد. ثابت هابل با انجام یک رصد زیرکانه اندازه‌گیری می‌شود. درخشندگی اختروش‌ها در طول زمان نوسان می‌کند؛ ممکن است انتظار رود اختروش‌های دوتایی که تصویر جسم واحدی هستند، شبیه هم نوسان کنند. عملاً نوسان این اختروش‌های دوقلو به‌طور کامل هماهنگ نیست. با استفاده از توزیع شناخته شده ماده، ستاره‌شناسان می‌توانند نسبت زمان تاخیر به کل زمان رسیدن نور به زمین را محاسبه کنند. با اندازه‌گیری زمان تاخیر در درخشندگی اختروش‌های دوتایی، می‌توان فاصله آن را از

زمین حساب کرد. با داشتن انتقال به سرخ اختروش، می‌توان ثابت هابل را حساب کرد. (این روش در مورد اختروش Q0957+561 که در فاصله ۱۴ میلیارد سال نوری از زمین کشف شده بود، اعمال شد. از آن پس، ثابت هابل با تحلیل هفت اختروش دیگر محاسبه شده است. با احتساب خطا، این محاسبات با نتایج شناخته شده مطابقت دارند. جالب توجه است که این شیوه، برخلاف متغیرهای قیفاووسی و ابرنواختر نوع Ia، کاملا از درخشندگی ستارگان مستقل است و روشی مستقل برای تطبیق نتایج به‌دست می‌دهد.)

همچنین، ثابت کیهانی که تعیین‌کننده آینده جهان ما است، با این شیوه قابل اندازه‌گیری است. محاسبه کمی ابتدایی است، اما هم‌چنان با دیگرروش‌ها مطابقت دارد. از آنجاکه حجم جهان میلیاردها سال پیش کم‌تر بوده است، احتمال وجود اختروش‌هایی که عدسی اینشتین بسازند، در گذشته بیشتر بوده است. بنابراین با اندازه‌گیری شمار اختروش‌های دوتایی در دوره‌های مختلف سیر تکاملی جهان، می‌توان به‌طور تقریبی حجم کل جهان وسپس ثابت کیهانی را که به انبساط جهان کمک می‌کند، محاسبه کرد. در سال ۱۹۹۸، ستاره‌شناسان در مرکز اخترفیزیک هاروارد ـ اسمیت سونیَن، اولین برآورد تقریبی ثابت کیهانی را انجام داده و نتیجه گرفتند که احتمالاً این مقدار چیزی بیشتر از ۶۲ درصد کل محتوای ماده ـ انرژی جهان را تشکیل نمی‌دهد. (نتیجه واقعی ماهواره WMAP، ۷۳ درصد است.)

ماده تاریک در اتاق شما

ماده تاریک در جهان فراوان است، اما نه فقط در خلأ سرد فضا، بلکه در واقع باید در اتاق شما نیز وجود داشته باشد. هم‌اکنون چندین تیم تحقیقاتی در حال رقابت هستند تا ببینند چه کسی اولین ذره ماده تاریک را در آزمایشگاه شکار می‌کند. رقابت بسیار شدید است؛ تیمی که در آشکارسازهای خود موفق به ثبت یک ذره ماده تاریک شود، پس از دو هزارسال، برای اولین‌بار شکل جدیدی از ماده را آشکار کرده است.

ایده اصلی اجرایی این آزمایش‌ها آن است که توده بزرگی از ماده خالص (مانند یُدید سدیم، اکسید آلومینیم، فریون، ژرمانیم یا سیلیسیم) داشته باشیم که در آن ذرات ماده تاریک می‌توانند برهمکنش کنند. به‌طور اتفاقی، یک ذره ماده تاریک می‌تواند به هسته یک اتم برخورد کرده و الگوی واپاشی ویژه‌ای پدید آورد. با عکس برداری از مسیر حرکت ذرات در این واپاشی، دانشمندان می‌توانند حضور ماده تاریک را تایید کنند.

آزمایش‌ها محتاطانه و خوش‌بینانه‌اند، چرا که حساسیت فوق‌العاده تجهیزات، بهترین فرصت برای مشاهده ماده تاریک را به‌دست می‌دهند. منظومه شمسی ما با سرعت ۲۲۰ کیلومتر بر ثانیه گرد سیاهچاله‌ای که در مرکز کهکشان راه شیری قرار دارد، می‌چرخد. به‌این‌ترتیب سیاره ما در حال عبور از میان مقدار قابل توجهی از ماده تاریک است. فیزیک دانان برآورد کرده‌اند که در هر ثانیه، یک میلیارد ذره جسم تاریک از هر متر مربع از منظومه ما، از جمله از درون بدن ما، می‌گذرد.

با اینکه در مسیر «باد ماده تاریک» زندگی می‌کنیم که به منظومه شمسی ما می‌وزد، آشکارسازی ماده تاریک در آزمایشگاه بسیار مشکل است، زیرا ماده تاریک با ماده معمولی برهمکنشی بسیار ضعیف دارند. به‌عنوان مثال، دانشمندان تنها انتظار یافتن سالانه ۰/۰۱ تا ۱۰ رویداد را در یک کیلوگرم ماده آزمایشگاهی دارند. به عبارت دیگر، باید مقادیر بزرگی از ماده را طی چندین سال تحت نظر بگیرید تا رویدادهایی شامل برخوردهای ماده تاریک را ببینید.

تا بحال، آزمایش‌های مانند UKDMC در انگلستان، ROSEBUD در اسپانیا، SIMPLE در راسترل فرانسه و Edelweiss در فریجوس فرانسه، هنوز چنین رویدادهایی را آشکار نکرده‌اند. در سال ۱۹۹۹ دانشمندان در آزمایشی تحت عنوان DAMA، در حومه رم، مشاهده ذرات ماده تاریک را با هیجانی وصف ناشدنی گزارش کردند. در DAMA از ۱۰۰ کیلوگرم یُدید سدیم استفاده می‌شود، از این رو، بزرگ‌ترین آشکارساز دنیاست. به هر حال، هنگامی که آشکارسازهای دیگر تلاش کردند نتایج DAMA را باز تولید کنند،

چیزی نیافتند که سبب تردید در یافته‌های DAMA شد.

فیزیکدانی به نام دیوید کلین می‌گوید: «اگر آشکارسازها نشانه‌ای را ثبت و تایید کنند، این بزرگ‌ترین دستاورد قرن بیست و یکم خواهد بود... بزرگ‌ترین راز در اخترفیزیک مدرن، به‌زودی فاش خواهد شد.»

اگر ماده تاریک به‌زودی پیدا شود، همانگونه که اغلب فیزیک دانان انتظار دارند، این امر اَبَرتقارن (و شاید بعداً نظریه ابر ریسمان) را بدون استفاده از اتم‌شکن‌ها تایید خواهد کرد.

ماده تاریک اَبَرمتقارن

نگاهی گذرا به ذرات پیش‌بینی شده توسط ابرتقارن نشان می‌دهد که نامزدهای مشابه متعددی از این نوع ذرات وجود دارند که می‌توانند ماهیت ماده تاریک را توضیح دهند. یکی از آن‌ها عبارت است از نوترالینو؛ خانواده‌ای از ذرات که شامل ابرهمتای فوتون است. از جنبه نظری، نوترالینو با داده‌های مربوط در این زمینه، سازگار است. از نظر الکتریکی، خنثی و بنابراین نامرئی است. جرم دارد (بنابراین فقط گرانش بر آن موثر است) و مهم‌تر اینکه پایدار است. (دلیلش آن است که کم‌ترین جرم را در خانواده‌اش دارد و بنابراین نمی‌تواند به هیچ سطح پایین‌تری واپاشی کند.) آخرین و شاید مهم‌ترین مطلب اینکه جهان باید مملو از نوترالینوها باشد که آن‌ها را به نامزدی ایده‌آل برای ماده تاریک تبدیل می‌کند.

نوترالینوها یک مزیت بزرگ دارند: آن‌ها ممکن است پرده از این راز بردارند که چرا ماده تاریک ۷۳ درصد محتوای ماده/انرژی جهان را تشکیل می‌دهند، درحالی‌که این مقدار برای هیدروژن و هلیم، مقداری ناچیز برابر با ۴ درصد است.

به خاطر آورید هنگامی که ۳۸۰,۰۰۰ سال از عمر جهان می‌گذشت، درجه حرارت کاهش یافت، طوریکه دیگر اتم‌ها بر اثر تصادم در گرمای شدید ناشی از انفجار بزرگ ازهم نمی‌پاشیدند. توپ آتشین رو به انبساط شروع کرد به سرد شدن، تراکم وتشکیل اتم‌های کامل و پایدار. فراوانی اتم‌ها

در زمان کنونی کاملاً به‌دلیل رخدادهای آن زمان است. پس فراوانی ماده در جهان به زمانی برمی‌گردد که جهان به اندازه کافی سرد شد تا ماده بتواند پایدار باشد.

همین استدلال را می‌توان برای محاسبه فراوانی نوترالینوها به کار برد. اندکی بعد از انفجار بزرگ، دما چنان به شدت بالا بود که حتی نوترالینوها نیز در برخوردها نابود می‌شدند. اما جهان سرد شد و در زمان خاصی، دما به قدر کافی کاهش یافت تا نوترالینوها بتوانند بی‌آنکه نابود شوند، شکل بگیرند. فراوانی نوترالینوها به آن دوران اولیه بر می‌گردد. با این روش محاسبه، درمی یابیم که فراوانی نوترالینوها خیلی بیشتر از اتم‌هاست و در حقیقت تقریباً با فراوانی واقعی ماده تاریک در زمان حال برابر است. بنابراین ذرات ابرمتقارن می‌توانند توضیح دهند که چرا سراسر جهان مملو از ماده تاریک است.

نقشه‌بردار آسمان اِسلون

گرچه در قرن بیست و یکم ابزارهای اندازه‌گیری ماهواره‌ای پیشرفت‌های چشمگیری خواهند داشت، اما این به معنی کنار گذاشتن تحقیقات به وسیله تلسکوپ‌های نوری و رادیویی زمینی نیست. در واقع انقلاب دیجیتالی شیوه کاربرد تلسکوپ‌های نوری و رادیویی را با ایجاد امکان بررسی‌های آماری میلیون‌ها کهکشان، تغییر داده است. در نتیجه این فناوری نو، فناوری تلسکوپ نیز ناگهان حیاتی دوباره یافته است.

ستاره‌شناسان همواره بر سر زمان محدود و کوتاه استفاده از بزرگ‌ترین تلسکوپ‌های جهان، جنگیده‌اند. آن‌ها با تنگ چشمی وقت گرانبهای‌شان از این ابزارها را غنیمت شمرده‌اند و سراسر شب، ساعت‌های متوالی را در اتاق‌های سرد و نمناک کنار این ابزارها به سختی سپری کرده‌اند. چنین شیوه قدیمی رصد بازدهی کمی داشت و اغلب عداوتی تلخ میان ستاره‌شناسان برمی‌انگیخت که احساس می‌کردند توسط مسئول تعیین وقت تلسکوپ، تحقیر شده‌اند. تمام این مشکلات با ورود اینترنت و محاسبات سریع در حال

دگرگونی است.

اکنون بسیاری تلسکوپ‌ها تمام خودکار هستند و می‌توانند از هزاران کیلومتر دورتر، توسط ستاره‌شناسانی در دیگر قاره‌ها، برنامه‌ریزی شوند. نتایج این نقشه‌برداری‌های گسترده ستارگان را می‌توان به صورت دیجیتال در اینترنت گذاشت و سپس به وسیله اَبَررایانه‌های قدرتمند مورد تحلیل قرار داد. یک مثال برای نشان دادن برتری این شیوه دیجیتالی SETI@home است، پروژه‌ای برای تحلیل امواج دریافت شده از فضا در جستجوی نشانه‌های هوش فرازمینی که در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی مستقر است. داده‌های انبوه به‌دست آمده از تلسکوپ رادیویی آرسیبو در پورتوریکو، به قطعات کوچک دیجیتال تقسیم شده و سپس از طریق اینترنت به رایانه‌های شخصی در سراسر جهان، به ویژه برای آماتورها، ارسال می‌گردد. یک نرم افزار، مشابه نرم‌افزارهای محافظ صفحه نمایش، وقتی از رایانه شخصی استفاده نمی‌شود، داده‌ها را در پی نشانه‌های هوش، تحلیل می‌کند. به این روش، گروه تحقیقاتی بزرگ‌ترین شبکه رایانه‌ای جهان را بنا نهاده که در حدود ۵ میلیون رایانه شخصی را در سراسر جهان به‌هم مرتبط می‌کند.

برجسته‌ترین مثال کاوش دیجیتال امروزی در جهان، نقشه‌بردار آسمان اسلون است که بلند پروازانه‌ترین نقشه‌برداری از آسمان ــ که تاکنون صورت گرفته ــ به شمار می‌رود. مانند نقشه‌بردار قبلی به نام پالومار که از صفحه‌های عکاسی استفاده می‌کرد و آن‌ها را به صورت انبوه ذخیره می‌کرد، نقشه‌بردار اسلون، نقشه‌ای دقیق از اجرام کیهانی آسمان شب، ایجاد خواهد کرد. نقشه‌برداری از کهکشان‌های دور در سه بعد و ۵ رنگ، در حال انجام است. حاصل نقشه‌بردار اسلون نقشه‌ای در مقیاس بزرگ از ساختار جهان است که چند صد برابر بزرگ‌تر از کارهای قبلی است. این نقشه جزئیات دقیق یک چهارم از کل آسمان را در بر دارد و موقعیت و درخشندگی ۱۰۰ میلیون جرم کیهانی را تعیین می‌کند.

در این نقشه، فاصله بیش از یک میلیون کهکشان و در حدود یکصد هزار اختروش تعیین خواهد شد. حجم کل اطلاعاتی که نقشه‌بردار تولید می‌کند،

۱۵ ترابایت (تریلیون بایت) است، برابر با کل اطلاعات ذخیره شده در کتابخانه کنگره.

قلب نقشه‌بردار اسلون یک تلسکوپ ۲/۵ متری واقع در نیومکزیکوی جنوبی است و مجهز به یکی از پیشرفته‌ترین دوربین‌هایی است که تاکنون تولید شده است. این دستگاه شامل ۳۰ حسگر نوری ظریف الکترونیکی به نام CCD[1] (قطعه جفت کننده بار) است که هریک ۱۲ سانتی‌متر مربع مساحت دارند و در خلأ قرار گرفته‌اند. هر حسگر با استفاده از نیتروژن مایع تا دمای منفی ۸۰ درجه سانتیگراد سرد می‌شود و شامل ۴ میلیون جزء تصویری (پیکسل) است. بنابراین تمام نوری که تلسکوپ جمع‌آوری می‌کند، فوراً با استفاده از CCDها دیجیتال شده، سپس برای پردازش وارد رایانه می‌گردد. نقشه‌بردار، تصویری بسیار عالی از جهان را با هزینه کم‌تر از ۲۰ میلیون دلار ارائه می‌دهد که یک صدم هزینه تلسکوپ فضایی هابل است.

نقشه‌بردار سپس برخی از این داده‌های دیجیتالی را در اینترنت قرار می‌دهد که ستاره‌شناسان تمام دنیا به آن دسترسی دارند. به‌این‌ترتیب می‌توانیم از توان ذهنی دانشمندان دنیا استفاده کنیم. در گذشته اغلب دانشمندان جهان سوم از دسترسی به آخرین داده‌های تلسکوپی و جدیدترین مجلات محروم بودند. این امر سبب اتلاف وحشتناک استعدادهای علمی می‌شد. امروزه با استفاده از اینترنت، دانشمندان قادرند داده‌های حاصل از نقشه‌بردارهای آسمان را به‌دست آورند، مقالات را هم‌زمان با انتشار در اینترنت مطالعه کنند و مقالات را با سرعت نور در وِب منتشر کنند.

نقشه‌بردار اسلون راهبرد ستاره‌شناسی را با نتایج جدید بر پایه تحلیل صدها هزار کهکشان، تغییر می‌دهد که تا همین چند سال پیش ناممکن بود. به‌عنوان مثال در بهار سال ۲۰۰۳، گروهی از دانشمندان اسپانیایی، آلمانی و آمریکایی، اعلام کردند که ۲۵۰,۰۰۰ کهکشان را به منظور یافتن شواهد ماده تاریک، مورد بررسی قرار داده‌اند. از میان این تعداد زیاد، آن‌ها بر ۳۰۰۰ کهکشان و خوشه‌های ستاره‌ای، که در اطراف آن‌ها در گردش بودند، تمرکز

1. Charge-Coupled Device

کردند. با اعمال قوانین حرکت نیوتون بر گردش این خوشه‌ها، آن‌ها مقدار ماده تاریکی را که باید کهکشان مرکزی را احاطه کند، محاسبه کردند. در واقع این دانشمندان، نظریه رقیب را رد کرده‌اند. (این نظریه جایگزین که اولین‌بار در سال ۱۹۸۳ مطرح شد، سعی داشت مدار غیرعادی ستارگان در کهکشان‌ها را، با اصلاح خود قوانین نیوتون، توضیح دهد. شاید ماده تاریک در واقع اصلاً وجود نداشت و علت، وجود خطا در قوانین نیوتون بود. داده‌های نقشه‌بردار، این نظریه را دستخوش تردید کرد.)

در جولای ۲۰۰۳، گروه دیگری از دانشمندان آلمانی و آمریکایی، اعلام کردند که ۱۲۰,۰۰۰ کهکشان نزدیک را با استفاده از نقشه‌بردار اسلون، برای تشخیص رابطه میان کهکشان‌ها و سیاهچاله‌های درون آن‌ها مورد بررسی قرار داده‌اند. پرسشی که مطرح می‌شود این است : کدام یک اول شکل گرفت؟ سیاهچاله یا کهکشانی که آن را در خود جای داده است؟ نتیجه این تحقیقات نشان می‌دهد که شکل‌گیری کهکشان‌ها و سیاهچاله‌ها شدیداً به یکدیگر وابسته‌اند و احتمالاً هم‌زمان به‌وجود می‌آیند. بررسی نشان داد از ۱۲۰,۰۰۰ کهکشانی که در نقشه‌بردار مورد تحلیل قرار گرفتند، دست کم ۲۰,۰۰۰ کهکشان، سیاهچاله‌هایی دارند که هم‌چنان رو به رشد هستند (برخلاف سیاهچاله کهکشان راه شیری که غیرفعال به‌نظر می‌رسد). نتایج نشان می‌دهند که کهکشان‌های دارای سیاهچاله‌های رو به رشد، خیلی از کهکشان راه شیری بزرگ‌تر هستند و سیاهچاله‌های آن‌ها، با جذب گاز نسبتاً خنک از کهکشان، رشد می‌کنند.

جبران تغییرات دمایی

راه دیگری که سبب احیای تلسکوپ‌های نوری شده است، جبران انحرافات جوی با استفاده از لیزر است. علت چشمک زدن ستارگان، لرزیدن آن‌ها نیست، بلکه ستارگان عمدتاً به‌دلیل نوسانات جزئی دما در جو، چشمک می‌زنند. بدین معنی که در فضای خارج از جو زمین، در فاصله دور از جو، ستارگان به‌طور مداوم در چشم فضانوردان می‌درخشند. گرچه این چشمک

زدن، به آسمان شب زیبایی فراوان می‌بخشد، اما برای یک ستاره‌شناس، این یک کابوس است که نتیجه‌اش، عدم وضوح در تصاویر تهیه شده از اجرام آسمانی است. (به خاطر دارم در کودکی، هنگام نگاه کردن به تصاویر تیره مریخ، آرزو می‌کردم راهی برای گرفتن تصاویر واضح از سیاره سرخ وجود داشته باشد. فکر می‌کنم اگر فقط اختلالات جوی از طریق تصحیح پرتوهای نور، حذف شوند، پرده از راز حیات غیر زمینی، برداشته خواهد شد.)

یک راه برای جبران این عدم وضوح، استفاده از لیزر و رایانه‌های پرسرعت برای کاستن از اغتشاشات است. این روش از «اپتیک سازگار» استفاده می‌کند که پیشگام آن یکی از همکلاسی‌های من به نام کِلیر مَکس از آزمایشگاه ملی لارِنس لیورِ مور هاروارد و عده‌ای دیگر بودند که از تلسکوپ غول‌پیکر کک در هاوایی (بزرگ‌ترین تلسکوپ دنیا) و همچنین تلسکوپ کوچک‌تر ۳ متری شین در رصدخانه لیک کالیفرنیا، استفاده می‌کردند. برای مثال، با ارسال یک باریکه لیزر به سوی آسمان، می‌توان نوسانات اندک دمای هوا را در جو اندازه‌گیری کرد. این اطلاعات توسط رایانه تحلیل می‌شود و بر مبنای آن، تنظیمات ظریفی در آینه تلسکوپ اعمال می‌شود که اعوجاج نور ستارگان را خنثی می‌کند. به‌این‌ترتیب می‌توان اغتشاشات جوی را تقریباً از بین برد.

این شیوه در سال ۱۹۹۶ با موفقیت آزمایش شد و از آن به بعد تصاویر کاملا واضحی از سیارات، ستارگان و کهکشان‌ها ارائه گردید. سیستم، یک پرتو لیزر رنگی با توان قابل تنظیم ۱۸ وات، به آسمان می‌فرستد. لیزر به یک تلسکوپ ۳ متری متصل است که آینه‌های قابل انعطافش برای جبران اغتشاشات جوی تنظیم شوند. تصویر توسط یک دوربین CCD گرفته شده و دیجیتال می‌شود. این سیستم با صرف هزینه‌ای نسبتا اندک، تصاویری می‌گیرد که تا حد زیادی با تصاویر تلسکوپ فضایی هابل قابل قیاسند. نگریستن به جزئیات ظریف سیارات و حتی مشاهده دقیق قلب یک اختروش به وسیله این روش که زندگی تازه‌ای به تلسکوپ‌های نوری بخشیده، امکان‌پذیر است.

به علاوه، این شیوه قدرت تفکیک تلسکوپ کک را ۱۰ برابر افزایش داده است. رصدخانه کک، واقع در قله آتشفشان خاموش ماناکیا در هاوایی که در ارتفاع تقریبی ۴۵۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد، دارای دو تلسکوپ همسان هریک با وزن ۲۷۰ تن می‌باشد. هر آینه که ده متر قطر دارد، متشکل از ۳۶ قطعه شش ضلعی است که هرکدام به‌طور جداگانه توسط رایانه کنترل می‌شوند. در سال ۱۹۹۹، یک سیستم اپتیک سازگار روی تلسکوپ‌های کک II نصب شد که شامل یک آینه کوچک و قابل انعطاف، با قابلیت ۶۷۰ بار تغییر شکل در هر ثانیه است. این سیستم از ستارگان در حال چرخش در اطراف سیاهچاله کهکشان راه شیری تصویربرداری کرده است، همچنین از سطح سیاره نپتون و قمر تیتان (ماه زحل)، و حتی سیاره‌ای برون خورشیدی که از مقابل ستاره مادر در فاصله ۱۵۳ سال نوری از زمین عبور می‌کند. نور ستاره HD209458 هنگامی که سیاره از مقابل آن می‌گذرد، درست مطابق پیش‌بینی‌ها کاهش می‌یابد.

آرایه تلسکوپ‌های رادیویی

تلسکوپ‌های رادیویی نیز با انقلاب رایانه‌ای احیا شده‌اند. در گذشته، تلسکوپ‌های رادیویی به خاطر اندازه بشقاب‌شان دچار محدودیت بودند. هرچه قطر آنتن بشقابی بزرگ‌تر بود، علائم رادیویی بیشتری از فضا گرفته و بررسی می‌شدند. اما آنتن بشقابی بزرگ‌تر، گران‌تر هم بود. یک راه برای غلبه بر این مشکل کنار هم گذاشتن چند بشقاب به صورت یک آرایه، به منظور شبیه‌سازی یک اَبرتلسکوپ رادیویی در قابلیت جمع‌آوری علائم رادیویی است. (بزرگ‌ترین تلسکوپ رادیویی با این روش، به اندازه خود زمین است.) تلاش‌های قبلی در جهت آرایه‌سازی تلسکوپ‌های رادیویی در آلمان، ایتالیا و آمریکا، تا حدی موفقیت‌آمیز بوده است.

یک مشکل این روش آن است که علائم دریافتی از یکایک تلسکوپ‌های رادیویی، باید با دقت با هم ترکیب شده، وارد یک رایانه شوند. در گذشته، این امر بسیار مشکل و پرهزینه بود. اما با ظهور اینترنت و رایانه‌های پرسرعت ارزان‌قیمت،

هزینه‌ها تا حد قابل توجهی کاهش یافت. امروزه ساخت تلسکوپ‌های رادیویی با سطح موثری به اندازه سیاره زمین، دیگر تنها یک آرزو نیست.

در ایالات متحده، پیشرفته‌ترین ابزاری که از این فناوری تداخل سنجی بهره می‌گیرد، VLBA[1] است، مجموعه‌ای از ۱۰ آنتن بشقابی رادیویی که در مکان‌های مختلف از جمله نیومکزیکو، آریزونا، نیوهمپشایر، واشنگتن، تکزاس، جزایر ویرجین و هاوایی واقع شده‌اند. هر ایستگاه VLBA شامل یک آنتن بشقابی بزرگ با قطر حدود ۳۰ متراست که ۲۴۰ تن وزن دارد و ارتفاع آن به بلندی یک ساختمان ده طبقه است. علائم رادیویی در هر ایستگاه به دقت بر روی نوار ثبت می‌شوند که بعداً به مرکز عملیات سُکرو در نیو مکزیکو فرستاده می‌شوند و در آنجا به‌هم می‌پیوندند و تحلیل می‌شوند. این سیستم در سال ۱۹۹۳ با صرف ۸۵ میلیون دلار راه‌اندازی شد.

نتیجه ارتباط دادن اطلاعات این ۱۰ ایستگاه، ایجاد یک تلسکوپ رادیویی غول آسا است که ۸۰۰۰ کیلومتر وسعت دارد و می‌تواند واضحترین تصاویر را تهیه کند. مثل این که در نیویورک بایستیم و روزنامه‌ای را در لس‌آنجلس مطالعه کنیم. VLBA، «فیلم»هایی از فوران‌های کیهانی و انفجارهای ابرنواختری گرفته و دقیق‌ترین محاسبه فاصله یک جسم خارج از کهکشان راه شیری را انجام داده است.

در آینده، ممکن است حتی تلسکوپ‌های نوری هم از قدرت تداخل سنجی استفاده کنند، گرچه این امر به‌دلیل طول موج کوتاه نور بسیار مشکل است. برنامه‌ای برای به‌دست آوردن اطلاعات نوری از دو تلسکوپ و سپس تداخل آن‌ها در رصدخانه کک در هاوایی وجود دارد که تلسکوپ غول‌آسایی بزرگ‌تر از هر دوی آن‌ها ایجاد خواهد کرد.

اندازه‌گیری بعد یازدهم

علاوه بر جستجوی ماده تاریک و سیاهچاله‌ها، چالش برانگیزترین امر برای

---

1. Very Long Baseline Array

فیزیکدانان جستجوی ابعاد بالاتر در فضا-زمان است. یکی از بلند پروازانه‌ترین کوشش‌ها برای اثبات وجود جهانی در همسایگی، در دانشگاه کلرادو در بولدِر صورت گرفت. در آنجا دانشمندان تلاش کردند انحرافاتی از قانون مشهور عکس مجذور نیوتون را اندازه‌گیری کنند.

با توجه به نظریه گرانش نیوتون، نیروی جذب کننده میان هر دو جسم، متناسب با مجذور فاصله‌ای که آن دو از هم دارند، کاهش می‌یابد. اگر فاصله زمین از خورشید را ۲ برابر کنید، نیروی گرانش به نسبت ۲ به توان ۲، یعنی ۴، کاهش خواهد یافت. این امر، به نوبه خود، ابعاد فضا را اندازه‌گیری می‌کند.

تا آنجا که می‌دانیم، قانون گرانش نیوتون در مورد فواصل کیهانی شامل خوشه‌های بزرگ کهکشانی معتبر است. اما تاکنون کسی این قانون را در مورد فواصل خیلی کوچک با دقت کافی مورد آزمایش قرار نداده است، چرا که انجام چنین آزمایشی در حد غیرممکن بودن مشکل است. از آنجا که جاذبه نیروی ضعیفی است، کوچک‌ترین اغتشاش هم می‌تواند آزمایش را کاملاً مختل کند. حتی لرزش ناشی از عبور یک کامیون، برای لغو آزمایش اندازه‌گیری گرانش بین دو جسم کوچک کافی است.

فیزیکدان‌های کلرادو ابزاری دقیق به نام تشدیدگر فرکانس بالا ساختند که قادر به سنجش قانون گرانش در فاصله کم تا یک دهم میلیمتر بود؛ تست گرانش در چنین مقیاس کوچکی برای اولین‌بار انجام شد. آزمایش شامل دو میله تنگستنی باریک بود که در یک فضای خالی آویزان بودند. یکی از لوله‌ها با فرکانس ۱۰۰۰ بار در ثانیه ارتعاش می‌کرد، چیزی شبیه به یک تخته شیرجه. سپس فیزیکدان‌ها هر لرزشی را که درخلأ به میله دوم منتقل می‌شد، تحت نظر گرفتند. دستگاه به قدری حساس بود که می‌توانست حرکت میله دوم در اثر نیرویی معادل یک میلیاردیم وزن یک دانه ماسه را آشکار کند. اگر انحرافی در قانون گرانش نیوتون وجود داشت، می‌بایست اختلالاتی خفیف در میله دوم ثبت می‌شدند. اما بعد از بررسی فاصله‌ها توسط فیزیکدانان تا ۱۰۸ میلیونیم متر چنین انحرافی یافت نشد. طبق گفته هویل، از دانشگاه ترنتو در ایتالیا که این آزمایش را در مجله نیچر مورد تحلیل قرار داد: «نیوتون

هم‌چنان پیروز است.»

نتیجه منفی بود، اما این آزمایش رغبت دیگر فیزیکدانان را برای سنجش انحرافات در گرانش نیوتون در مقیاس‌های میکروسکوپی برانگیخت.

هم‌اکنون یک آزمایش دیگر در دانشگاه پِردیو در حال انجام است. فیزیکدانان در آنجا در صدد اندازه‌گیری انحرافات ناچیز گرانش نیوتون، نه در مقیاس میلیمتری بلکه در مقیاس اتمی هستند. آنان قصد دارند این عمل را با استفاده از فناوری نانو برای اندازه‌گیری اختلاف میان نیکل ۵۸ و نیکل ۶۴ انجام دهند. این دو ایزوتوپ در ویژگی‌های الکتریکی و شیمیایی کاملاً یکسانند، اما یکی از آن‌ها ۶ نوترون بیشتر دارد. در اصل تنها تفاوت میان این دو ایزوتوپ در وزن‌شان است.

این دانشمندان خیال دارند یک وسیله کاسیمیر متشکل از دو صفحه بی‌بار از جنس دو ایزوتوپ بسازند. در حالت عادی هنگامی که این صفحه‌ها کنار هم قرار داده شوند، هیچ اتفاقی روی نمی‌دهد، زیرا هیچ باری ندارند. اما اگر آن‌ها را فوق‌العاده به‌هم نزدیک کنیم، اثر کاسیمیر که در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده است، نمایان می‌شود و دو صفحه اندکی یکدیگر را جذب می‌کنند. اما از آنجاکه هر صفحه موازی متشکل از ایزوتوپی متفاوت از نیکل است، بسته به میزان گرانش‌شان اندکی متفاوت جذب می‌شوند.

به منظور بیشینه کردن اثر کاسیمیر، صفحه‌ها باید تا حد امکان به‌هم نزدیک شوند. (این اثر متناسب است با معکوس توان چهارم فاصله بین دو صفحه، بنابراین نیروی آن با کاهش فاصله، خیلی سریع افزایش می‌یابد.) فیزیکدانان پردیو، فناوری نانو را برای ایجاد فاصله اتمی میان صفحه‌ها به کار خواهند برد. آن‌ها از فناوری جدید نوسانگرهای پیچشی میکرو-الکترومکانیکی برای اندازه‌گیری نوسانات جزئی در صفحه‌ها استفاده می‌کنند. هر تفاوتی میان صفحه نیکل ۵۸ و نیکل ۶۴ می‌تواند به گرانش تعبیر شود. به‌این ترتیب فیزیکدانان امیدوارند انحرافاتی از قوانین حرکت نیوتون را در فواصل بسیار اندک اتمی اندازه‌گیری کنند. اگر آن‌ها به وسیله این دستگاه هوشمند، انحرافی از قانون مشهور عکس مجذور نیوتون بیابند، این ممکن

است علامتی از وجود جهانی با ابعاد بالاتر باشد که از جهان ما به اندازه یک اتم فاصله دارد.

برخورد دهنده بزرگ هادرون

تنها ابزاری که ممکن است بسیاری از این پرسش‌ها را پاسخ دهد (LHC برخورد دهنده بزرگ هادرون) می‌باشد که هم‌اکنون ساخت آن در آزمایشگاه هسته‌ای مشهور سِرن در ژنو سویس رو به اتمام است. برخلاف آزمایش‌های قبلی روی اشکال عجیب ماده که به‌طور طبیعی در دنیای ما پدیدار می‌شوند، LHC از انرژی کافی برای خلق آن‌ها در خود فضای آزمایشگاه برخوردار است. LHC قادر خواهد بود فواصل بسیار کم تا حد 10^{-19} متر یا ۱۰,۰۰۰ بار کوچک‌تر از یک پروتون را کاوش کند و به دمایی که از انفجار بزرگ تاکنون دیده نشده است، دست یابد. کریس لِولین اِسمیت، مدیر کل سابق سرن و رئیس جدید کالج دانشگاه در لندن، می‌نویسد: «فیزیکدانان اطمینان دارند که طبیعت حقه‌ای تازه در آستین دارد که می‌بایست در این برخوردها آشکار شود، شاید ذراتی مرموز به نام بوزون هیگز، شاید مدرکی از اثری معجزه‌آسا به نام ابرتقارن یا شاید چیزی دور از انتظار که فیزیک نظری ذرات را دگرگون کند. «اکنون ۷۰۰۰ نفر از تجهیزات سرن استفاده می‌کنند که این تعداد بیش از نیمی از کل فیزیکدانان تجربی ذرات در جهان را تشکیل می‌دهد و بسیاری از آن‌ها مستقیماً در آزمایش‌ها LHC درگیرند.

LHC، دستگاه مدور قوی به قطر ۲۷ کیلومتر است که به اندازه کافی برای احاطه کردن بسیاری از شهرهای دنیا بزرگ است. تونل آن بسیار طولانی است، به‌طوری‌که واقعاً مرز فرانسه ـ سویس را دربرگرفته است. LHC، آنقدر هزینه‌بردار است که چند کشور اروپایی برای ساخت آن مشترکاً سرمایه‌گذاری کرده‌اند. وقتی که در سال ۲۰۰۷ کاملا راه‌اندازی شود، آهن‌رباهای قوی مستقر در تونل مدورآن، باریکه‌ای از پروتون‌ها را به حرکت در می‌آورند، تا با افزایش انرژی ضمن چرخش، تقریبا به ۱۴ تریلیون الکترون ولت انرژی برسند.

دستگاه شامل یک لوله بزرگ خلأ به شکل دایره است که آهن‌رباهای عظیم در سراسر طول آن با تدابیر خاص طوری قرار داده شده‌اند که مسیر باریکه ذرات را در داخل آن به شکل یک دایره خم کنند. هم‌زمان که ذرات در داخل لوله می‌چرخند، انرژی به ذرات تزریق می‌شود و سرعت اولیه پروتون‌ها افزایش می‌یابد. زمانی که باریکه ذرات سرانجام به هدف برخورد می‌کند، درخشش عظیمی از تشعشع آزاد می‌کند. اجزائی که در اثر این برخورد ایجاد می‌شوند، توسط مجموعه‌ای از آشکارسازها تصویربرداری می‌شوند تا برای یافتن شواهدی از ذرات زیر اتمی جدید و نا آشنا، مورد بررسی قرار بگیرند.

LHC واقعاً یک دستگاه غول‌پیکر است. درحالی‌که لیگو و لیزا به خاطر حساسیت معروفند، LHC در قدرت و عظمت، یگانه است. میدان مغناطیسی قوی آن، که باریکه پروتون را در قوسی دقیق منحرف می‌کند، شدتی برابر با ۸/۳ تِسلا دارد، که ۱۶۰,۰۰۰ بار از میدان مغناطیسی زمین قوی‌تر است. فیزیکدان‌ها برای ایجاد چنین میدان مغناطیسی عظیمی ۱۲۰۰ آمپر جریان الکتریکی را به داخل سیم پیچ‌هایی می‌رانند که باید تا ۲۷۱- درجه سانتی‌گراد سرد شوند، دمایی که سیم پیچ‌ها در آن مقاومت الکتریکی خود را از دست می‌دهند و به اَبر رسانا تبدیل می‌شوند. در کل دارای ۱۲۳۲ میدان مغناطیسی هر یک به طول ۱۵ متر می‌باشد که در امتداد ۸۵ درصد از کل محیط مدور دستگاه قرار گرفته‌اند.

داخل تونل پروتون‌ها شتاب گرفته و سرعت‌شان به ۹۹/۹۹۹۹۹ درصد سرعت نور می‌رسد، تا زمانی که به هدف برخورد کنند؛ اهدافی که در ۴ نقطه در اطراف لوله قرار دارند و بدین وسیله هر ثانیه میلیاردها برخورد رخ می‌دهد. آشکارسازهای بسیار بزرگی در آنجا نصب شده‌اند، (اندازه بزرگ‌ترین‌شان برابر با یک ساختمان ۶ طبقه است) تا بقایای برخوردها را تحلیل کنند و ذرات زیر اتمی گریزان را شکار کنند.

همان‌طور که پیشتر اسمیت اشاره کرده است، یکی از اهداف LHC یافتن بوزون هیگز گریز پا است که آخرین بخش مدل استاندارد است که هنوز

کشف نشده است. اهمیت این موضوع از آن روست که این ذره مسئول شکست خودبه‌خودی تقارن در نظریه ذرات است و جرم ذرات در دنیای کوانتوم را موجب می‌شود. برآورد جرم بوزون هیگز بین ۱۱۵ تا ۲۰۰ میلیارد الکترون ولت است. (در مقابل، پروتون حدود ۱ میلیارد الکترون ولت وزن دارد). ماشین بسیار کوچک‌تری به نام تواترون که در آزمایشگاه فِرمی خارج از شیکاگو مستقر شده است، می‌تواند درواقع اولین شتاب‌دهنده کاشف بوزون گریزپای هیگز باشد، به شرطی که جرم ذره واقعی خیلی زیاد نباشد. به‌طورکلی، اگر تواترون آنگونه که برنامه‌ریزی شده عمل کند، می‌تواند تا ۱۰,۰۰۰ بوزون هیگز تولید کند. اما LHC ذراتی با ۷ برابر انرژی بیشتر تولید می‌کند. LHC با ۱۴ تریلیون الکترون ولت، می‌تواند به «کارخانه» بوزون‌های هیگز تبدیل شود و میلیون‌ها عدد از آن‌ها را در برخورد پروتون‌ها تولید کند.)

هدف دیگر LHC ایجاد شرایطی است که از زمان انفجار بزرگ تاکنون دیده نشده‌اند. فیزیکدانان به ویژه اعتقاد دارند که انفجار بزرگ در اصل شامل مجموعه‌ای از کوارک‌ها و گلوئون‌های به شدت گرم بوده است که به آن پلاسمای کوارک ـ گلوئون گفته می‌شود. LHC قادر به تولید این نوع پلاسمای کوارک ـ گلوئون است که جهان را در ۱۰ میکرو ثانیه اول پیدایش‌اش تشکیل می‌داد. در LHC می‌توان هسته‌های اتم سرب را با انرژی ۱/۱ تریلیون الکترون ولت به یکدیگر کوبید. با این برخورد شدید، می‌توان ۴۰۰ پروتون و نوترون را ذوب و کوارک‌ها را در داخل این پلاسمای داغ آزاد کرد. بدین ترتیب کیهان‌شناسی با آزمایش‌های دقیق روی پلاسماهای کوارک ـ گلوئون که در آزمایشگاه صورت می‌گیرد، رفته رفته به یک علم کم‌تر نظری و بیشتر تجربی تبدیل می‌شود.

این امید هم وجود دارد که LHC قادر به یافتن حفره‌های سیاه کوچک در میان بقایایی است که بر اثر تصادم پروتون‌ها در انرژی‌های خارق‌العاده ایجاد می‌شوند، همانگونه که در فصل ۷ ذکر شد. حفره‌های سیاه کوانتومی معمولاً در انرژی پلانک ایجاد می‌شوند، که کوادریلیون برابر انرژی LHC است. اما اگر جهانی موازی در یک میلی‌متری جهان ما باشد، انرژیی که در آن اثرات

گرانش کوانتومی قابل اندازه‌گیری می‌شود، کاهش می‌یابد و حفره‌های سیاه کوچک را در محدوده دسترسی LHC قرار می‌دهد.

و بالاخره امید می‌رود که LHC قادر به یافتن شواهد ابرتقارن باشد، که پیشرفتی تاریخی در فیزیک ذرات خواهد بود. گفته می‌شود که ذرات ابرمتقارن، همتای ذرات عادی هستند که در طبیعت می‌بینیم. هرچند پیش‌بینی نظریه ریسمان و ابرتقارن این است که هر ذره زیر اتمی یک «دوقلو» با اسپین متفاوت دارد، ابرتقارن هرگز در طبیعت مشاهده نشده است، چرا که دستگاه‌های ما قدرت کافی برای نمایان ساختن آن را ندارند.

وجود ابرذره‌ها به ما در پاسخ به دو سوآل آزار دهنده کمک می‌کند. اول اینکه آیا نظریه ریسمان صحیح است؟ هرچند آشکارسازی ریسمان‌ها به‌طور مستقیم بینهایت مشکل است، این امکان وجود دارد که اُکتاوها یا تشدیدهای پایین‌تر نظریه ریسمان‌ها را آشکار کنیم. اگر ذرات شناسایی شوند، راه درازی را در راستای ارائه دلایل آزمایشگاهی برای نظریه ریسمان پیموده‌ایم (هر چند این نیز هنوز اثبات مستقیم صحت آن نخواهد بود).

دوم اینکه این نظریه ممکن است باورنکردنی‌ترین نامزد را برای ماده تاریک در اختیار ما قرار دهد. اگر ماده تاریک متشکل از ذرات زیراتمی باشد، آن ذرات باید پایدار و از نظر بار الکتریکی خنثی باشند. (در غیر اینصورت قابل مشاهده می‌شوند.) و آن‌ها باید برهمکنش گرانشی داشته باشند. هر سه مورد این خواص در میان ذراتی یافت می‌شوند که در نظریه ریسمان پیش‌بینی شده‌اند.

LHC که در زمان آغاز به کارش قوی‌ترین شتاب‌دهنده ذرات خواهد بود، در واقع برای اکثر فیزیکدانان دومین انتخاب است. به سال ۱۹۸۰ باز می‌گردیم که رونالد ریگان رئیس جمهور وقت، ساخت اَبربرخورد دهنده اَبررسانا (SSC) را تصویب کرد. دستگاهی غول‌پیکر با محیط ۸۰ کیلومتر که باید در حومه دالاس در تکزاس ساخته می‌شد: LHC در مقابل آن کوتوله می‌بود. در حالی که LHC قادر است از برخورد ذرات ۱۴ تریلیون الکترون ولت انرژی آزاد کند، SSC طوری طراحی شده که برخوردهایی را با ۴۰

تریلیون الکترون ولت انرژی ایجاد می‌کند. پروژه در ابتدا تایید شد، اما در روزهای پایانی گزارش، کنگره آمریکا به‌طور ناگهانی آن را متوقف کرد. این تصمیم ضربه‌ای مهیب برای فیزیک انرژی بالا بود و نسلی کامل را از حوزه مذکور محروم کرد.

در ابتدا بحث بر سر ۱۱ میلیارد دلار هزینه ماشین و الویت‌های علمی مهم‌تر بود. در مورد SSC میان خود اعضای جامعه علمی هم شکاف عمیقی افتاد، چرا که برخی از فیزیکدان‌ها معتقد بودند که هزینه‌های SSC از تحقیقات آن‌ها تامین می‌شود. این مجادله آنقدر شدت گرفت که حتی نیویورک تایمز هم سر مقاله‌ای انتقادی در مورد خطرات «علم بزرگ» در خاموش کردن «علم کوچک»، نوشت. (این بحث‌ها گمراه کننده بودند، زیرا منبعی متفاوت از هزینه‌های علم کوچک تامین بودجه SSC را به عهده داشت. جدی‌ترین رقیب این اعتبارات مالی ایستگاه فضایی بود، که اکثر دانشمندانش احساس می‌کنند سرمایه گذاری روی چنین پروژه‌ای فقط هدر دادن سرمایه‌های مالی است.)

با نگاهی به گذشته، مجادله همچنین بر سر این بود که بیاموزیم با عموم به زبانی که می‌توانند بفهمند، سخن بگوییم. در پاره‌ای از موارد، دنیای فیزیک از اتم‌شکن‌های بزرگی که مورد تایید کنگره بود، استفاده می‌کرد چراکه روس‌ها هم در حال ساخت نمونه مشابه آن بودند. در واقع روس‌ها در حال ساخت شتابدهنده UNK خود جهت رقابت با SSC بودند. شرافت و اعتبار ملی در خطر بود. اما اتحاد جماهیر شوروی از هم پاشید و پروژه ساخت دستگاه متوقف شد و باد به‌تدریج از بادبان کشتی SSC روی برگرداند.

شتاب‌دهنده‌های رومیزی

با LHC فیزیکدان‌ها رفته‌رفته به سقف انرژی قابل حصول از شتاب دهنده‌های نسل موجود می‌رسند. شتاب دهنده‌های بزرگ نسل حاضر، از بسیاری از شهرهای مدرن بزرگ‌ترند و ده‌ها میلیارد دلار هم هزینه داشته‌اند. آنقدر بزرگند که تنها کنسرسیوم‌های بزرگ چند ملیتی از پس هزینه‌های آن

برمی‌آیند. اگر قصد داریم موانع پیش روی شتاب دهنده‌های معمول را برداریم، به ایده‌ها و اصول جدیدی نیازمندیم. جام مقدس فیزیکدانان ذرات، ساخت شتاب دهنده‌های رومیزی است که قادر باشند باریکه‌هایی از ذرات با میلیاردها الکترون ولت انرژی را با کسری از اندازه و هزینه شتاب دهنده‌های معمول ایجاد کنند.

برای فهم مسئله، یک مسابقه دوی امدادی را در نظر بگیرید که شرکت کنندگان دورِ پیست مسابقه پخش شده‌اند. شرکت کنندگان قسمتی از پیست را می‌دوند و چوب امداد را به‌هم رد می‌کنند. اکنون تصور کنید هر بار که چوب امداد از یک شرکت‌کننده به شرکت‌کننده بعدی می‌رسد، نفر جدید انرژی انفجاری فوق‌العاده‌ای می‌گیرد و آن‌ها پی در پی در طول مسیر سریع‌تر می‌دوند.

عملکرد شتابدهنده ذرات هم دقیقاً همین‌گونه است، فقط به جای چوبهای امداد این باریکه‌های ذرات زیر اتمی هستند که در پیرامون مسیر مدور در حال حرکتند. هر بار که باریکه به شرکت‌کننده بعدی می‌رسد، مقداری انرژی با فرکانس رادیویی (RF) به آن تزریق می‌شود که سرعت اولیه آن را بیشتر و بیشتر می‌کند. طریقه ساخت شتاب دهنده‌های ذرات در نیم قرن گذشته اینگونه بوده است. مشکل شتاب دهنده‌های معمول ذرات این است که به سقف انرژی RF که می‌تواند برای تحریک شتاب دهنده‌ها مورد استفاده قرار گیرد، برخورد می‌کنیم.

برای حل این مشکل رنج‌آور، دانشمندان برای تزریق انرژی به باریکه، روش‌های اساساً متفاوتی را آزمایش کرده‌اند. یکی از این روش‌ها استفاده از پرتوهای لیزر است که قدرت‌شان به‌طور نمایی افزایش می‌یابد. یک مزیت عمده نور لیزر همدوس بودن آن است، یعنی همه موج‌ها در نور لیزر دقیقاً هماهنگ هستند که ایجاد پرتوی فوق‌العاده قدرتمند را ممکن می‌سازد. امروزه پرتوهای لیزر می‌توانند انفجاری از انرژی به قدرت تریلیون‌ها وات (تِراوات) در بازه کوتاهی از زمان تولید کنند. (برعکس، یک نیروگاه هسته‌ای فقط می‌تواند چند میلیارد وات نیرو تولید کند، اما به صورت پایدار) لیزرهایی

به قدرت ۱۰۰۰ تریلیون وات (یک کوادریلیون وات یا یک پتاوات) به‌زودی در دسترس خواهند بود.

شتاب دهنده‌های لیزری با اصل تعقیب کار می‌کنند. نور لیزر به قدر کافی داغ است تا پلاسما (سوپی از اتم‌های یونیزه) تولید کند و آنرا موج گونه شبیه سیلاب با سرعت زیاد به حرکت درآورد. سپس باریکه‌ای از ذرات زیراتمی بر امواج پلاسما سوار می‌شود. با تزریق انرژی بیشتر توسط لیزر، موج پلاسما سریع‌تر حرکت می‌کند و انرژی باریکه ذرات افزایش می‌یابد. اخیراً، با استفاده از یک لیزر ۵۰ تراواتی، دانشمندان در آزمایشگاه رادِرفورد اَپلتون در انگلیس، باریکه متمرکزی از پروتون‌ها با انرژی ۴۰۰ میلیون الکترون ولت (Mev) از یک هدف جامد خارج کردند. در مدرسه پلی تکنیک پاریس، فیزیکدانان به الکترون‌ها در طول یک میلیمتر تا Mev ۲۰۰ شتاب دادند.

تاکنون شتاب دهنده‌های لیزری بسیار کوچک و ضعیف بوده‌اند. اما یک لحظه فرض کنید که مقیاس چنین شتابدهنده‌ای به‌جای یک میلی‌متر به یک متر افزایش یابد. در این صورت قادر خواهد بود الکترون‌ها را تا ۲۰۰ گیگا الکترون ولت در بازه‌ای یک متری شتاب دهد. و به هدف شتابدهنده رومیزی جامه عمل بپوشاند. پیشرفت مهم دیگری‌در سال ۲۰۰۱ صورت گرفت که طی آن فیزیکدانان (SLAC مرکز شتاب‌دهنده خطی استنفورد) توانستند به الکترون‌ها در طول ۱/۴ متر شتاب بدهند. آن‌ها با تزریق باریکه‌ای از ذرات باردار به‌جای لیزر، موج پلاسما ایجاد کردند. با اینکه انرژی حاصله کم بود، معلوم شد که امواج پلاسما می‌توانند به ذرات باردار در طول یک متر شتاب بدهند.

پیشرفت در این زمینه تحقیقاتی بسیار سریع است. انرژی حاصله در این نوع شتاب دهنده‌ها هر ۵ سال ۱۰ برابر می‌شود. با این سرعت، شاید نمونه‌های اولیه شتابدهنده رومیزی به‌زودی عرضه شوند. در این صورت، LHC شبیه آخرین بازمانده دایناسورها خواهد بود. گرچه خوشبین هستیم، ولی هنوز مشکلات متعددی سر راه این شتاب دهنده‌های رومیزی قرار دارند. بارها سرنگون شدن موج سوارها را دیده‌اید؛ پس تصور کنید حفظ

باریکه ذرات روی موج پلاسما چقدر دشوار است (حفظ تمرکز، پایداری و قدرت باریکه مشکل است). اما هیچ‌یک از این مشکلات غیر قابل حل نیستند.

آینده

بختی اندک برای اثبات نظریه ریسمان وجود دارد. ادوارد ویتن، امیدوار است که در لحظه انفجار بزرگ، جهان چنان به سرعت منبسط شده باشد که شاید یک ریسمان به‌همراه آن گسترش یافته، ریسمانی عظیم در مقیاس کیهانی در فضا به‌جای گذارده باشد. او می‌اندیشد: «گرچه تا حدی خیالی است، اما این سناریوی مورد علاقه من برای تایید نظریه ریسمان است، زیرا هیچ چیز جز رصد یک ریسمان در تلسکوپ‌ها، نمی‌تواند موضوع را فیصله دهد.»

برایان گرین، پنج مثال ممکن از داده‌های تجربی که می‌توانند نظریه ریسمان را تایید کنند یا دست کم به آن اعتبار بدهند، فهرست می‌کند:

۱. جرم ناچیز نوترینوی گریزپا و شبح‌گون به‌طور تجربی اندازه‌گیری شود و نظریه ریسمان بتواند آنرا توضیح دهد.
۲. انحرافات کوچکی از مدل استاندارد، مثلاً واپاشی ذرات معینی، فیزیک ذرات نقطه‌ای را به چالش بکشد.
۳. نیرویی موثر در فواصل بزرگ (غیر از گرانش و الکترومغناطیس) کشف شود که نشانی از یک چند لایه‌ی معین Calabi-Yau باشد.
۴. ذرات ماده تاریک در آزمایشگاه شکار شوند و با پیش‌بینی‌های نظریه ریسمان مقایسه گردند.
۵. نظریه ریسمان مقدار انرژی تاریک در جهان را محاسبه کند.

من شخصاً عقیده دارم اثبات نظریه ریسمان شاید به‌جای تجربه، از ریاضیات محض حاصل آید. نظریه ریسمان باید هم انرژی‌های روزمره و هم انرژیهای کیهانی را به خوبی توضیح دهد، چون امیدواریم نظریه همه چیز باشد. پس اگر بتوانیم نظریه را به‌طور کامل تحلیل کنیم، باید قادر باشیم نه

فقط ویژگی‌های اشیاء عجیب و غریب واقع در عمق فضا، بلکه خواص اجسام معمولی را هم محاسبه کنیم. مثلاً اگر نظریه ریسمان بتواند جرم پروتون نوترون و الکترون را در صدر جدول ذرات حساب کند، این پیشرفتی درجه اول به حساب خواهد آمد. در تمام مدل‌های فیزیکی (غیر از نظریه ریسمان) جرم این اجرام آشنا به صورت دستی در معادلات وارد می‌شوند. از بعضی جهات، برای اثبات نظریه به یک LHC نیاز نداریم، چون نظریه باید بتواند جرم برخی از ذرات زیراتمی را که برای ما معلومند، بدون نیاز به پارامترهای قابل تنظیم، تعیین کند.

همانگونه که اینشتین گفت: «من متقاعد شده‌ام که ما از طریق ریاضیات خالص می‌توانیم قوانین و اصول را کشف کنیم... که کلید فهم پدیده‌های طبیعی هستند. آزمایش ممکن است ایده‌های ریاضی مناسب را پیشنهاد کند، اما قطعاً این ایده‌ها را نمی‌توان به‌طور کامل از آزمایش استنباط کرد... بنابراین احساس قطعی من این است که مطابق رویای پیشینیان، تفکر محض می‌تواند واقعیت را فراچنگ آورد.»

نظریه M (یا هر نظریه دیگری که سرانجام ما را به سمت نظریه کوانتومی گرانش هدایت کند)، در صورت صحت، شاید سفر پایانی حیات هوشمند را ممکن سازد؛ فرار از جهان در حال مرگ تریلیون‌ها تریلیون سال بعد به یک خانه جدید.

بخش ۳

فرار به فرافضا

فصل ۱۰ پایان همه چیز

تصویری که امروزه اغلب فیزیکدانان در ذهن خود دارند این است که در زمانی معین، خورشید با تمام سیاراتش، آنچنان سرد خواهند شد که ادامه حیات در آن‌ها غیرممکن می‌شود. مگر اینکه یک جرم سماوی بزرگ با خورشید برخورد کرده و مجدداً به آن حیات تازه بخشد. اگر مثل من عقیده داشته باشید که انسان در آینده دور موجودی بسیار کامل‌تر از آنچه امروز هست خواهد بود، این فکر که انسان و دیگر موجودات هوشمند، پس از چنان سیر پیشرفت آهسته و پیوسته‌ای، محکوم به فنا هستند، برای شما غیرقابل تحمل می‌شود.

ـ چارلز داروین

برطبق افسانه اسکاندیناوی، روز حساب، یا راگناروک، یا همان صبح روشن خدایان، با تحولات عظیمی همراه خواهد بود. درست مثل آسمان‌ها، میدگارد (وسط زمین) در چنگ یخبندان استخوان سوزی خواهد افتاد. بادهای نافذ، کولاک‌های کورکننده، زلزله‌های ویرانگر و قحطی و خشکسالی بر زمین حاکم خواهند شد؛ زمانی که زنان و مردان بیچاره دسته دسته از بین می‌روند و هلاک می‌شوند. زمین، پس از پشت سر گذاشتن سه زمستان سخت، از حیات تهی خواهد شد. ستارگان آسمان فرومی ریزند، زمین به لرزه در خواهد آمد و کوه‌ها از هم پاشیده می‌شوند. وقتی که خدای آشوب،

لوکی، از بند رها می‌شود، هیولاها آزاد شده و جنگ و اغتشاش همه جا را فرا می‌گیرد. به‌این‌ترتیب، نزاع در سرزمین متروک در می‌گیرد.

اُدین، پدر خدایان، جنگجویان شجاع خود را برای نبرد آخر، در سرسرای والهالا (نام سالن پذیرایی خدای اُدین)، جمع می‌کند. سرانجام وقتی خدایان یکی پس از دیگری می‌میرند، خدای بدی‌ها (شیطان)، سارتر، آتش و گوگرد از دهان خود بیرون می‌فرستد و به‌این‌ترتیب شعله جهنمی عظیمی را بر می‌افروزد که آسمان و زمین را در بر می‌گیرد. تمام جهان در شعله‌ها فرورفته، زمین در اقیانوس‌ها غرق شده و زمان متوقف می‌شود.

اما بیرون از این خاکستر بزرگ، جنبش جدیدی آغاز می‌شود. زمین جدیدی، بی‌شباهت به زمین قدیمی، به‌تدریج از درون دریا بیرون می‌آید. میوه‌های جدید و گیاهان عجیب از درون خاک حاصلخیز جوانه می‌زنند و به نسل جدیدی از انسان‌ها امکان حیات می‌دهند.

افسانه وایکینگ‌ها، از پایان ترسناکی برای جهان حکایت دارد؛ یخبندانی بزرگ که به‌دنبال آن شعله‌های آتش همه جا را فرا می‌گیرند و سرانجام نبرد نهایی شکل می‌گیرد. در اساطیر سراسر جهان، موضوعات مشابهی را از این دست می‌توان یافت. پایان جهان اغلب به بلایای به اوج رسیده منتهی می‌شود؛ آتشی بزرگ، زمین لرزه یا کولاکی شدید، که سرانجام به نبرد نهایی میان خیر و شر می‌انجامد. اما در اغلب موارد پیام امیدوارکننده‌ای وجود دارد. از درون خاکسترها، دنیای نویی سر بر می‌آورد.

دانشمندانی که با قوانین خشک فیزیک مواجه هستند، حال باید با موضوعاتی از این دست مواجه شوند. دانشمندان برای شکل دادن به تصویر پایانی جهان، به جای‌استفاده از افسانه‌های متداول، از داده‌های نادقیق خود کمک می‌گیرند. اما این امکان وجود دارد که موضوعات مشابهی در دنیای علمی نیز شایع شود. در بین پاسخ‌های معادلات اینشتین، ما شاهد آینده‌های محتملی هستیم که درگیر یخبندان، آتش، فاجعه و در نهایت یک پایان برای جهان هستند. اما آیا تولد مجددی در کار خواهد بود؟

بر طبق تصاویر ماهواره WMAP، یک نیروی ضدگرانش مرموز، انبساط

جهان را سرعت می‌بخشد. اگر این شتاب برای میلیاردها تریلیون سال ادامه یابد، جهان ناگزیر دچار یک یخبندان بزرگ[1] خواهد شد، مشابه کولاکی که خبر از صبح روشن خدایان می‌دهد و همان‌طور که می‌دانیم به حیات پایان می‌دهد. این نیروی ضدگرانش که جهان را از هم دور می‌کند، با حجم جهان متناسب است. بنابراین هرچه جهان بزرگ‌تر شود، ضدگرانش بیشتری برای راندن کهکشان‌ها از هم وجود خواهد داشت، که به نوبه خود حجم جهان را بیشتر افزایش می‌دهد. این چرخه معیوب تا ابد تکرار می‌شود، تا اینکه جهان به حالت گریز وارد شده و به‌سرعت به صورت نمایی منبسط می‌شود.

در این زمان تنها سی و شش کهکشان، در یک گروه از کهکشان‌های محلی، کل جهان مرئی را تشکیل می‌دهند، چرا که میلیاردها کهکشان همسایه از افق رویداد ما فراتر رفته‌اند. زمانی که فضای بین کهکشان‌ها سریع‌تر از سرعت نور گسترش یافته و انرژی باقی مانده در فضا رقیق‌تر و رقیق‌تر می‌گردد، جهان شدیداً تنها می‌شود. با نزدیک شدن دما به صفر مطلق، گونه‌های هوشمند با سرنوشت نهایی خود، یعنی مرگ، مواجه می‌شوند.

سه قانون ترمودینامیک

اگر جهان همان‌طور که شکسپیر گفته است یک صحنه نمایش باشد، بنابراین در آخر باید منتظر پرده سومی نیز باشیم. در پرده اول انفجار بزرگ و طلوع حیات و آگاهی را بر روی کره زمین داشتیم. در پرده دوم، شاید آنقدر زندگی کنیم تا موفق به کاوش در ستارگان و کهکشان‌ها شویم. سرانجام در پرده سوم، در یخ‌بندان پایانی شاهد مرگ نهایی جهان خواهیم بود.

اینطور که به‌نظر می‌رسد متن نمایشنامه باید از قوانین ترمودینامیک تبعیت کند. در قرن نوزدهم، فیزیکدانان سه قانون ترمودینامیک، مربوط به فیزیک گرما، را فرمول بندی کردند و سپس با استفاده از آن‌ها به مسئله مرگ

1. Big freeze

تدریجی جهان پرداختند. در سال ۱۸۵۴، فیزیکدان بزرگ آلمانی، هرمان فان هِلمهولتز، دریافت که قوانین ترمودینامیک را باید به صورت کلی بر جهان اعمال کرد. به این معنی که همه چیزهای اطراف ما، شامل ستارگان و کهکشان‌ها، در نهایت باید متوقف شوند.

قانون اول بیان می‌کند که مقدار کلی ماده و انرژی ثابت باقی می‌ماند. با اینکه انرژی و ماده می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند (از طریق معادله مشهور اینشتین $E=mc^2$)، مقدار مجموع ماده و انرژی هرگز نمی‌تواند کم یا زیاد شود.

دومین قانون، بیشتر از همه اسرارآمیز و عمیق است. این قانون بیان می‌دارد که مقدار کلی آنتروپی (بی‌نظمی) در جهان همواره افزایش می‌یابد. به بیان دیگر، همه چیز در نهایت پیر شده و از نفس می‌افتند. آتش گرفتن جنگل‌ها، زنگ زدن ماشین‌ها، سقوط امپراطوری‌ها و پیر شدن بدن انسان، تماماً بیانگر افزایش آنتروپی در جهان هستند. به‌عنوان مثال سوزاندن یک ورق کاغذ کار آسانی است. این کار نشان‌دهنده افزایش در بی‌نظمی کلی است. با این حال، دوباره باز گرداندن دود به درون کاغذ و بازسازی آن غیرممکن است. (با افزودن کار مکانیکی می‌توان آنتروپی را کاهش داد؛ اما تنها در یک همسایگی کوچک، مثل یخچال. مجموع آنتروپی برای کل سیستم ــ یخچال به‌علاوه تمام آنچه در اطرافش وجود دارند ــ همواره افزایش می‌یابد.)

آرتور ادینگتون، در مورد قانون دوم ترمودینامیک گفته است: «من معتقدم این قانون که آنتروپی همواره افزایش می‌یابد (قانون دوم ترمودینامیک)، در بین قوانین طبیعت از بیشترین اهمیت برخوردار است... اگر نظریه شما با قانون دوم ترمودینامیک در تناقض باشد، هیچ امیدی نمی‌توان به شما داشت؛ هیچ راهی وجود ندارد و نظریه شما سرانجام از هم خواهد پاشید.»

(در ابتدا به‌نظر می‌رسد که وجود شکل پیچیده حیات بر روی کره زمین با قانون دوم ترمودینامیک در تناقض است. این مسئله قابل توجه است که از درون آشوب ابتدایی زمین، تنوع باورنکردنی از شکل‌های پیچیده حیات بیرون آمده‌اند. آن‌ها حتی در خود، هوش و آگاهی را نیز پرورش داده‌اند که

همه این‌ها مقدار آنتروپی را کاهش می‌دهد. برخی این معجزه را دلیلی بر دخالت دست‌های خیراندیش یک خالق می‌دانند. اما به خاطر داشته باشید که حیات، از طریق قوانین طبیعی تکامل به جلو رانده می‌شود و به‌این‌ترتیب مجموع آنتروپی در حال افزایش است. زیرا انرژی اضافی که حیات را تغذیه می‌کند، به‌طور پیوسته از طریق خورشید به مجموعه افزوده می‌شود. اگر زمین و خورشید را با هم در نظر بگیریم، آنگاه می‌بینیم که مجموع آنتروپی هنوز در حال افزایش است.)

قانون سوم ترمودینامیک بیان می‌کند که هیچ یخچالی نمی‌تواند به دمای صفر مطلق برسد. ممکن است بتوان به کسر کوچکی از یک درجه بالای صفر مطلق دست یافت ولی هرگز نخواهید توانست به حالت عدم تحرک کامل برسید. (اگر از اصل کوانتوم استفاده کنیم، به این معنی است که مولکول‌ها همواره مقدار کمی انرژی دارند. زیرا انرژی صفر به معنای دانستن مکان و سرعت دقیق هر مولکول است که با اصل عدم قطعیت در تناقض است.)

اگر قانون دوم را به کل جهان اعمال کنیم، نتیجه می‌گیریم که جهان سرانجام از نفس خواهد افتاد. ستارگان سوخت هسته‌ای خود را سوزانده، کهکشان‌ها دیگر آسمان‌ها را روشن نخواهند کرد و جهان به صورت مجموعه مرده‌ای از کوتوله‌ها، ستاره‌های نوترونی و سیاهچاله‌های بی‌جان در خواهد آمد. جهان، در تاریکی ابدی فرو خواهد رفت.

برخی از کیهان‌شناسان با گرایش به سمت یک جهان نوسانگر، تلاش کرده‌اند تا از این «مرگ گرمایی» سر باز زنند. زمانی که جهان منبسط شده و در نهایت منقبض می‌شود، مقدار آنتروپی به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد. اما پس از فروپاشی بزرگ معلوم نیست که چه بلایی سر آنتروپی جهان می‌آید. برخی معتقدند شاید جهان خود را دقیقاً در دوره بعدی تکرار کند. احتمال انتقال آنتروپی به دوره بعدی عاقلانه‌تر به‌نظر می‌رسد. این بدان معناست که عمر جهان رفته‌رفته در هر چرخه طولانی‌تر می‌شود. اما نکته مهم این است که جهان نوسان کننده نیز، درست مثل جهان‌های باز و بسته، در نهایت منجر به از بین رفتن تمام حیات هوشمند می‌شود.

فروپاشی بزرگ

یکی از اولین تلاش‌ها برای استفاده از فیزیک در توضیح پایان جهان، مقاله‌ای بود که در سال ۱۹۶۹ به‌وسیله لرد مارتین ریس با عنوان «فروپاشی جهان: مطالعه‌ای رستاخیزی» منتشر شد. در آن زمان مقدار امگا هنوز کاملاً ناشناخته بود. بنابراین او فرض کرد که این مقدار برابر ۲ باشد؛ به این معنی که جهان در نهایت از انبساط باز ایستاده و به‌جای مواجهه با یک یخبندان بزرگ، در یک فروپاشی بزرگ به زندگی خود پایان می‌دهد.

او محاسبه کرد زمانی که فاصله کهکشان‌ها دو برابر فاصله فعلی شود، یعنی زمانی که گرانش بالاخره بر انبساط اصلی جهان غلبه کند، فرایند انبساط متوقف می‌شود. وقتی که کهکشان‌ها به سمت ما سرعت می‌گیرند، انتقال به سرخ دیده شده در آسمان به انتقال به آبی تغییر پیدا می‌کند.

در این مدل، حدود پنجاه میلیارد سال بعد، رویدادهای فاجعه‌باری رخ می‌دهند که گویای مرگ دردناک جهان خواهند بود. صد میلیون سال قبل از فروپاشی بزرگ، کهکشان‌های درون جهان، شامل کهکشان راه شیری، شروع به برخورد با یکدیگر نموده و در نهایت در هم فرو می‌روند. ریس دریافت که ستاره‌های منفرد، به‌طور عجیبی حتی قبل از اینکه شروع به برخورد با یکدیگر نمایند، به دو دلیل از بین می‌روند. اول اینکه با متراکم شدن جهان، تابش منتشر شده از ستارگان آسمان، قوی‌تر می‌شود؛ بنابراین ستارگان، در گرمای نور دیگر ستارگان که دچار انتقال به آبی شده است، شدیداً داغ می‌شوند. دوم اینکه، با بالارفتن سریع دمای جهان، دمای تابش ریزموج پس‌زمینه به‌مقدار زیادی افزایش می‌یابد. ترکیب این دو اثر، دماهایی را ایجاد می‌کند که از دمای سطح ستارگان نیز فراتر رفته و گرما را قبل از آنکه بتوان از شر آن خلاص شد، جذب می‌کنند. به بیان دیگر، احتمالاً ستارگان متلاشی شده و به صورت ابرهای گازی فوق‌العاده داغ از هم می‌پاشند.

تحت این شرایط، حیات هوشمند به‌ناچار از بین رفته و در گرمای کیهانی که از جانب ستارگان و کهکشان‌های همسایه سرازیر می‌شود، می‌سوزد. راه فراری وجود ندارد. آن‌طور که فریمن دیسون نوشته است: «متأسفانه باید

اعتراف کنم که در این مورد هیچ راهی برای فرار از سوختن نداریم. هر چقدر هم که به‌درون زمین نقب بزنیم تا از خودمان در مقابل تابش پس‌زمینه‌ای که دچار انتقال به آبی شده است محافظت کنیم، تنها می‌توانیم چند میلیون سال دیگر مرگ دردناک خود را بتعویق بیاندازیم.»

اگر بپذیریم که جهان به یک فروپاشی بزرگ منتهی می‌شود، آنگاه این سوآل باقی می‌ماند که آیا پس از فروپاشی، جهان ما، شبیه به حالت جهان نوسانی، مجدداً باز برمی‌خیزد؟ این همان سناریویی است که در رمان پل اندرسون، تاو صفر، مطرح شده است. اگر جهان، نیوتونی بود و اگر هنگامیکه کهکشان‌ها به‌درون یکدیگر فشرده می‌شدند، به‌اندازه کافی حرکات جانبی وجود داشت، ممکن بود این امکان‌پذیر باشد. در این مورد ممکن است ستارگان به‌جای اینکه در یک نقطه منفرد فشرده شوند، در حالت بیشترین فشردگی با یکدیگر برخورد نکرده، از کنار هم عبور کنند و سپس مجدداً به حالت اول باز گردند.

با این‌حال جهان، نیوتونی نیست و از معادلات اینشتین تبعیت می‌کند. راجر پنروز و استیون هوکینگ نشان داده‌اند که تحت شرایط بسیار کلی، مجموعه‌ای از کهکشان‌ها در حال فروپاشی، لزوماً تا یک تکینگی فشرده می‌شوند. (به این دلیل که حرکت جانبی کهکشان‌ها، حاوی انرژی بوده و بنابراین با گرانش برهم‌کنش خواهد داشت. کشش گرانش در نظریه اینشتین بسیار بزرگ‌تر است از آنچه در نظریه نیوتون برای فروپاشی جهان‌ها یافت می‌شود، و بنابراین جهان به یک نقطه منفرد فرو می‌پاشد.)

پنج مرحله از عمر جهان

داده‌های اخیر ماهواره WMAP، یخ‌بندان بزرگ را تائید می‌کنند. به‌منظور بررسی تاریخ زندگی جهان، دانشمندانی مثل فرد آدامز و گِرگ لاولین از دانشگاه میشیگان، تلاش کرده‌اند که عمر جهان را به پنج مرحلهٔ مجزا تقسیم کنند. از آنجاکه مقیاس‌های زمانی مورد بحث ما مقیاس‌های نجومی هستند، برای این‌کار از یک چارچوب زمانی لگاریتمی استفاده می‌کنیم. در این

چارچوب، $۱۰^{۲۰}$ سال به صورت ۲۰ نمایش داده می‌شود. (این تقسیم‌بندی زمانی، هنگامی طرح شد که دلایل مربوط به‌وجود یک جهان شتابدار هنوز کاملاً درک نشده بودند. اما با این حال، تفکیک کلی مراحل عمر جهان، به همان ترتیب باقی مانده است.)

سوآلی که برای ما مطرح است، این است که: آیا حیات هوشمند می‌تواند، با به کارگیری نبوغ خود در هر یک از این مراحل، در بین مجموعه‌ای از فجایای طبیعی و حتی مرگ جهان، به اشکال مختلف زنده بماند؟

مرحله اول: عصر نخستین

در مرحله اول (بین ۵۰- و ۵۰، یا بین $۱۰^{-۵۰}$ و $۱۰^{۵۰}$ ثانیه)، جهان متحمل انبساطی سریع گردید. همراه با این انبساط، مسلماً دمای جهان نیز به‌سرعت پایین آمد. با خنک شدن جهان، نیروهای مختلف که زمانی به صورت یک «اَبرنیروی» اصلی با یکدیگر یکپارچه بودند، به‌تدریج از هم جدا شده و چهار نیروی شناخته شده امروزی را به‌وجود آوردند. گرانش، اول از همه جدا شد، سپس نیروی هسته‌ای قوی و در آخر نیروی هسته‌ای ضعیف. به‌دلیل اینکه نور بلافاصله پس از تولید جذب می‌شد، در ابتدا جهان کدر و مات و آسمان سفید بود. اما در ۳۸۰,۰۰۰ سال پس از انفجار بزرگ، جهان به اندازه‌ای خنک شده بود که اتم‌ها بتوانند بدون اینکه به‌دلیل شدت گرما در هم کوبیده شده و از هم بپاشند شکل بگیرند. آسمان تاریک شد. منشاء تابش ریزموج پس‌زمینه به این زمان باز می‌گردد.

در طول این عصر، هیدروژن اولیه از طریق همجوشی به هلیم تبدیل شد که به‌این‌ترتیب ترکیب حاضر از سوخت ستاره‌ای که در سراسر جهان گسترش یافته است، مهیا گردید. در این مرحله از تکامل جهان، حیاتی که ما می‌شناسیم، غیرممکن بوده است. شدت گرما آنقدر زیاد بوده که هر DNA یا هر مولکول خود تحریک دیگری، در صورت شکل‌گیری، از طریق برخوردهای تصادفی با دیگر اتم‌ها از هم شکافته شده و بنابراین شکل‌گیری مواد شیمیایی پایدار برای ایجاد حیات غیرممکن بوده است.

مرحله دوم: عصر پرستاره

امروزه ما در مرحله دوم زندگی می‌کنیم (بین ۶ و ۱۴، یا بین 10^6 و 10^{14} ثانیه). در این دوره، گاز هیدروژن فشرده شده و ستارگان شعله‌ور آسمان‌ها را روشن کرده‌اند. در این عصر، ما ستارگان غنی از هیدروژنی را می‌بینیم که برای میلیاردها سال می‌درخشند تا جایی‌که سوخت هسته‌ای خود را به اتمام برسانند. تلسکوپ فضایی هابل، از ستارگان در تمام مراحل تکامل‌شان، تصویربرداری کرده است؛ به‌عنوان مثال، ستارگان جوانی که با دوایری از گرد و غبار باقی مانده احاطه شده‌اند و احتمالاً اجداد سیارگان و منظومه شمسی هستند.

در این مرحله، شرایط برای پیدایش DNA و حیات مهیا شد. ستاره‌شناسان تلاش کرده‌اند تا با آگاهی از تعداد زیاد ستارگان جهان مرئی، براساس قوانین شناخته شده علمی، دلائل محکمی را برای به‌وجود آمدن حیات هوشمند بر روی دیگر منظومه‌های ستاره‌ای ارائه کنند. اما هر نوع حیات هوشمندی ناگزیر با تعدادی موانع کیهانی مواجه می‌شود که بسیاری از آن‌ها را خود ایجاد کرده است؛ مثل آلودگی محیط زیست، گرم شدن جهان و سلاح‌های هسته‌ای. به‌علاوه با فرض اینکه حیات هوشمند، خود باعث تخریب خود نشود، با این حال به‌ناچار با مجموعه‌ای از بلایای طبیعی مواجه می‌شود که هر کدام از آن‌ها ممکن است به یک فاجعه بیانجامند.

در مدت زمان ده‌ها هزار سال، ممکن است مشابه آنچه که آمریکای شمالی را در زیر کیلومترها یخ مدفون کرد، عصر یخبندانی اتفاق بیفتد که تمدن بشری را از بین ببرد. قبل از ده هزار سال پیش، انسان‌ها مثل گرگ‌ها در گله‌هایی زندگی می‌کردند و برای یافتن غذا در قبائل کوچک و منزوی به تلاش می‌پرداختند. در آن زمان، فراگیری علم و دانش به‌هیچ‌وجه مطرح نبود. هیچ کلام نوشته‌ای هم یافت نشده است. انسان در آن زمان تنها به یک هدف می‌اندیشید: زنده ماندن. سپس به دلایلی که هنوز نمی‌دانیم، عصر یخبندان پایان یافت و انسان‌ها پیشرفت خود را به سرعت آغاز کردند. با این حال وجود این دوره کوتاه، بین دو عصر یخ‌بندان، نمی‌تواند برای همیشه ادامه

داشته باشد. شاید در ده هزار سال آینده، یخبندان دیگری کل جهان را فرا بگیرد. زمین‌شناسان عقیده دارند که آثار تغییرات کوچک در چرخش زمین به‌دور محور خود در نهایت بر روی هم انباشته شده و باعث می‌شود تندبادهای کلاهک‌های یخی قطب‌ها به عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر راه یافته و زمین را با یخ بپوشانند. در آن زمان ممکن است برای گرم ماندن مجبور شویم به زیر سطح زمین برویم. زمانی در گذشته، زمین کاملاً از یخ پوشیده بوده است. ممکن است این اتفاق دوباره تکرار شود.

در یک مقیاس زمانی بین هزاران تا میلیون‌ها سال آینده، باید خود را برای برخورد با دنباله‌دارها و شهاب‌سنگ‌ها آماده کنیم. به احتمال زیاد برخورد یک دنباله‌دار یا یک شهاب‌سنگ، در ۶۵ میلیون سال پیش، باعث از بین رفتن دایناسورها شده است. دانشمندان عقیده دارند که یک جسم غیر زمینی، شاید با عرض کم‌تر از پانزده کیلومتر، در یوکاتان پنسیلوانیای مکزیکو با زمین برخورد کرده که در نتیجه گودالی با دهانه ۲۸۰ کیلومتر از آن بجا مانده است. این برخورد آنقدر گرد و غبار به اتمسفر فرستاده که مانع از ورود نور خورشید شده و زمین را کاملاً تاریک کرده است. به‌این‌ترتیب دما تا حد انجماد پایین آمده و در نتیجه زندگی گیاهی و شکل غالب حیات آن زمان، یعنی دایناسورها، از بین رفته‌اند. در طول کم‌تر از یک سال دایناسورها و اغلب گونه‌های زنده کره زمین کاملاً از بین رفتند.

با مطالعه تعداد برخوردهای گذشته می‌توان دریافت، احتمالی برابر یک در صدهزار وجود دارد که در پنجاه سال آینده برخوردی با یک خرده سیاره رخ داده و منجر به آسیب جهانی شود. احتمال یک برخورد بزرگ، در طول میلیون‌ها سال، تقریباً نزدیک به صد درصد خواهد بود.

(در درون منظومه شمسی، جایی‌که زمین قرار دارد، شاید بتوان گفت ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ خرده سیارک، با قطری برابر یک کیلومتر یا بیشتر و همین‌طور میلیون‌ها خرده سیارک، با قطری برابر ۵۰ متر یا بیشتر، وجود دارند. در رصدخانه اخترفیزیک اسمیت سونین در کمبریج، در هر روز در حدود ۱۵۰۰۰ خرده سیارک رصد می‌شود. خوشبختانه تنها چهل و دو خرده

سیارک شناخته شده، احتمال کم ولی در عین حال مشخصی دارند که با زمین برخورد کنند. درگذشته، نشانه‌های گمراه‌کننده‌ای مربوط به برخورد با برخی از این خرده سیارک‌ها دریافت کرده‌ایم. مشهورترین آن‌ها مربوط به خرده سیارک 1997XF11 بود که ستاره‌شناسان به اشتباه اعلام کردند ممکن است در طول سی سال آینده با زمین برخورد کند؛ که منجر به بروز نگرانی‌های جهانی گردید. اما دانشمندان پس از بررسی دقیق مدار یک خرده سیارک به نام 1950DA، محاسبه کرده‌اند که احتمال بسیار کوچک ولی غیر صفری وجود دارد که این خرده سیارک در ۱۶ مارچ ۲۸۸۰ با زمین برخورد کند. شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای انجام گرفته در دانشگاه کالیفرنیا در سانتاکروز نشان می‌دهند که اگر این خرده سیارک به اقیانوس برخورد کند، موجی به ارتفاع ۱۲۰ متر ایجاد خواهد کرد، که اغلب مناطق ساحلی را در سیلابی ویرانگر فروخواهد برد.)

طی میلیاردها سال آینده باید نگران بلعیده شدن زمین به‌وسیله خورشید باشیم. خورشید در حال حاضر، از زمان کودکی خود سی درصد گرم‌تر شده است. مطالعات رایانه‌ای نشان داده‌اند که در طول ۳/۵ میلیارد سال آینده خورشید از وضعیت فعلی خود ۴۰ درصد درخشان‌تر می‌شود. این یعنی زمین به‌تدریج گرم می‌شود. در آسمان روز، خورشید بزرگ‌تر و بزرگ‌تر می‌شود تا اینکه بخش اعظم آسمان را از افق تا افق می‌پوشاند. در مدت کوتاهی موجودات زنده با ناامیدی تلاش می‌کنند تا از گرمای سوزان خورشید بگریزند. ممکن است به اقیانوس‌ها بازگردند و به‌این‌ترتیب گام‌های تاریخی تکامل بر روی این سیاره به عقب بازگردد. در نهایت خود اقیانوس‌ها نیز بجوش آمده و حیات را به‌طور کامل غیرممکن می‌سازند. در پنج میلیارد سال آینده، هسته خورشید ذخیره گاز هیدروژن خود را کاملاً سوزانده و به یک غول سرخ تبدیل می‌شود. برخی غول‌های سرخ چنان بزرگ هستند که اگر در مکان فعلی خورشید ما قرار بگیرند تا مدار مریخ را اشغال می‌کنند. با این حال احتمالاً خورشید ما تنها تا مدار زمین پیش خواهد آمد؛ عطارد و زهره را در خود فرو برده و کوه‌های زمین را ذوب می‌کند. بنابراین کره زمین

به‌جای اینکه دچار یخبندان شود، در آتش به کام مرگ خواهد رفت و به زغالی تبدیل می‌شود که به‌دور خورشید می‌چرخد.

برخی فیزیکدانان معتقدند که احتمالاً قبل از مواجهه با این رویداد، با استفاده از فناوری پیشرفته قادر خواهیم بود زمین را به مدار بزرگ‌تری دور خورشید منتقل کنیم. البته این درصورتی است که تا آن زمان، با استفاده از فضاپیماهای غول‌پیکر، به سیارات دیگر مهاجرت نکرده باشیم. ستاره‌شناس و نویسنده‌ای به نام کن کراسوِل، بیان می‌کند: «تازمانی که هوشمندی انسان‌ها سریع‌تر از درخشان‌تر شدن خورشید پیشرفت می‌کند، جهان به کار خود ادامه می‌دهد.»

دانشمندان روش‌های متعددی را برای انتقال زمین از مدار فعلی‌اش به مداری دورتری به‌دور خورشید، ارائه کرده‌اند. یک راه ساده این است که مجموعه‌ای از خرده سیارک‌ها را از نوار سیارک‌ها به‌دقت طوری منحرف کنیم که به‌دور زمین بچرخند. این اثر قلاب سنگی، انرژی مداری زمین را افزایش می‌دهد و باعث می‌شود مدار زمین از خورشید فاصله بگیرد. با اینکه چنین تغییراتی به صورت پله‌ای رخ می‌دهند، اما زمان کافی وجود خواهد داشت تا بتوانیم صدها خرده سیارک را برای انجام این هدف بزرگ منحرف کنیم. کراسوِل می‌افزاید: «میلیاردها سال قبل از اینکه خورشید به یک غول سرخ تبدیل شود، فرزندان ما می‌توانند ستاره در حال عبور دیگری را در مداری‌دور خورشید به دام انداخته و سپس زمین را از مدار خورشیدی خود به مداری دور ستاره جدید منتقل کنند.»

به‌این‌ترتیب سرنوشت خورشید از زمین جدا می‌شود. خورشید، به‌جای آتش، در یخ خواهد مرد. سرانجام پس از اینکه خورشید در طول ۷۰۰ میلیون سال، به صورت یک غول سرخ هلیم خود را سوزاند، بخش اعظم سوخت هسته‌ای خود را از دست داده و در نتیجه نیروی گرانش خود به یک کوتوله سفید در ابعاد زمین تبدیل می‌شود. البته خورشید ما کوچک‌تر از آن است که سرنوشتی به شکل ابرنواختر را تجربه کند. پس از اینکه خورشید به یک کوتوله سفید تبدیل شد، به تدریج خنک شده و در نتیجه رنگ آن به قرمز کم

رنگ، سپس قهوه‌ای و در نهایت سیاه در می‌آید. سرانجام خورشید، به شکل قطعه‌ای از خاکستر هسته‌ای مرده، در فضا رها می‌شود. تقریباً تمام اتم‌هایی که در اطراف خود می‌بینیم، شامل اتم‌های بدن ما و همه‌ی کسانی است که دوست‌شان داشته‌ایم، همه در نهایت بر روی زغالی نیم سوز که به‌دور یک کوتوله سیاه می‌چرخد، به پایان عمر خود می‌رسند. به‌دلیل اینکه وزن این کوتوله تنها برابر ۰/۵۵ جرم خورشیدی است، بنابراین آنچه از زمین باقی می‌ماند، در مداری حدود هفتاد درصد دورتر از مدار فعلی قرار خواهد گرفت.

در این مقیاس می‌بینیم که شکوفایی گیاهان و جانوران بر روی کره زمین، تنها چند میلیارد سال دوام می‌یابد (و در حال حاضر ما در نیمه راه این عصر طلایی هستیم). ستاره‌شناسی به نام دونالد براون لی می‌گوید: «مادر طبیعت، طوری طراحی نشده است که ما را خشنود سازد.» در مقایسه با عمر کل جهان، حیات تنها برای یک لحظه دوام دارد.

مرحله سوم: عصر انحطاط

در مرحله ۳ (بین ۱۵ و ۳۹)، سرانجام انرژی ستارگان موجود در جهان تحلیل می‌رود. فرایند ظاهراً دائمی سوزاندن هیدروژن و تبدیل آن به هلیم، بالاخره متوقف می‌شود و توده‌های بی‌جانی از مواد هسته‌ای مرده را به شکل کوتوله‌ها، ستاره‌های نوترونی، و سیاهچاله‌ها باقی می‌گذارد. ستارگان آسمان از درخشش باز می‌ایستند و جهان به‌تدریج به تاریکی فرو می‌رود.

در مرحله سوم با از دست رفتن مولدهای هسته‌ای ستارگان، دما به‌مقدار زیادی افت پیدا می‌کند. هر سیاره‌ای که به‌دور ستاره مرده‌ای می‌چرخد ناچار محکوم به انجماد است. با فرض اینکه زمین تا آن زمان به‌همین ترتیب باقی مانده باشد، تشکیل لایه‌ای سطحی از یخ، به‌ناچار حیات هوشمند را مجبور به یافتن خانه جدیدی برای خود می‌کند.

برخلاف ستاره‌های غول‌پیکر که ممکن است تنها چند میلیون سال عمر داشته باشند و ستاره‌هایی که هیدروژن می‌سوزانند، مثل خورشید ما، که

عمری برابر میلیاردها سال دارند، کوتوله‌های سرخ کوچک می‌توانند برای تریلیون‌ها سال به سوختن ادامه دهند. به‌همین دلیل است که قرارگرفتن مدار زمین به‌دور یک ستاره کوتوله سرخ از لحاظ نظری اهمیت می‌یابد. نزدیک‌ترین همسایه خورشیدی منظومه شمسی، آلفا قنطورس، یک ستاره کوتوله سرخ است که تنها ۴/۳ سال نوری با زمین فاصله دارد. نزدیک‌ترین همسایه ما، تنها به‌اندازه ۱۵ درصد خورشید جرم دارد و ۴۰۰ بار از خورشید تاریک‌تر است. بنابراین سیاراتی که به‌دور آن می‌چرخند باید بسیار به آن نزدیک باشند تا بتوانند از نور کم آن بهره‌مند شوند. زمین برای دریافت همین مقدار نور خورشید ناچار است در مداری بیست برابر نزدیک‌تر از مدارش به‌دور خورشید، به‌دور آن ستاره بچرخد. اما از طرف دیگر، یک سیاره در مدار یک کوتوله سرخ می‌تواند برای تریلیون‌ها سال انرژی لازم را کسب کند.

در نهایت، کوتوله‌های سرخ تنها ستارگانی خواهند بود که به سوزاندن سوخت هسته‌ای خود ادامه می‌دهند. با این حال حتی آن‌ها نیز روزی تاریک خواهند شد. پس از صدها تریلیون سال، کوتوله‌های سرخ باقی مانده نیز سرانجام از بین می‌روند.

مرحله چهارم: عصر سیاهچاله

در مرحله ۴ (بین ۴۰تا ۱۰۰)، تنها منبع انرژی موجود، تبخیرآهسته انرژی سیاهچاله‌ها خواهد بود. آن‌طور که ژاکوب بکنشتاین و استیون هوکینگ نشان دادند، سیاهچاله‌ها واقعاً سیاه نیستند؛ آن‌ها در حقیقت مقدار ناچیزی انرژی منتشر می‌کنند که تبخیر نامیده می‌شود. (در عمل، مقدار تبخیر سیاهچاله آنقدر کوچک است که مشاهده آن از نظر آزمایشگاهی غیرممکن است. اما در مقیاس‌های بلند زمانی، همین تبخیر سرانجام سرنوشت یک سیاهچاله را تعیین می‌کند.)

سیاهچاله‌های تبخیرشونده طول عمرهای متفاوتی دارند. یک سیاهچاله کوچک به ابعاد یک پروتون، می‌تواند ۱۰ میلیارد وات انرژی در طول زمانی معادل عمر منظومه شمسی، منتشر کند. تبخیر یک سیاهچاله با جرم

خورشید، به مدت $۱۰^{۶۶}$ سال تداوم خواهد داشت. همچنین، سیاهچاله‌ای به جرم یک خوشه کهکشانی، به مدت $۱۰^{۱۱۷}$ سال تبخیر خواهد کرد. با این حال وقتی یک سیاهچاله به انتهای عمر خود نزدیک می‌شود، یعنی پس از اینکه به‌آرامی تابش خود را به پایان می‌رساند، ناگهان منفجر می‌شود. این احتمال وجود دارد که حیات هوشمند، درست مثل افراد بی‌خانمانی که در اطراف خاکسترهای آتش جمع می‌شوند، به‌دور گرمای ضعیف منتشر شده از سیاهچاله‌های تبخیرشونده جمع شوند تا بتوانند حداقل تا زمانی که تبخیر صورت می‌پذیرد، از آن‌ها گرمای کمی دریافت کنند.

مرحله پنجم: عصر تاریک

در مرحله پنجم (فراتر از ۱۰۱)، قدم به عصر تاریک جهان می‌گذاریم؛ زمانی که تمام منابع گرما سرانجام به اتمام می‌رسند. در این مرحله، با نزدیک شدن دما به صفر مطلق، جهان به آهستگی به سمت مرگ گرمایی پیش می‌رود. در این نقطه، اتم‌ها نیز تقریباً از حرکت باز می‌ایستند. شاید حتی خود پروتون‌ها نیز متلاشی شده و دریای شناوری از فوتون‌ها را به‌همراه سوپ رقیقی از ذراتی که برهم‌کنش ضعیفی با هم دارند (نوترینوها، الکترون‌ها، و ضدذرات آن‌ها، پوزیترون) برجای گذارند. جهان در این مرحله ممکن است حاوی نوع جدیدی از اتم با نام پوزیترونیم باشد، که شامل الکترون‌ها و پوزیترون‌هایی است که به دور هم می‌چرخند.

برخی فیزیکدانان عقیده دارند که این اتم‌های شامل الکترون‌ها و ضد الکترون‌ها، ممکن است بتوانند زیربنای جدیدی برای ایجاد حیات هوشمند در این عصر تاریک باشند. با این حال چنین ایده‌ای با مشکلات سهمگینی مواجه است. یک اتم پوزیترونیمی، از نظر ابعاد با یک اتم معمولی قابل مقایسه است. اما همین اتم در عصر تاریک، قطری برابر $۱۰^{۱۲}$ مگاپارسک خواهد داشت که میلیون‌ها برابر بزرگ‌تر از ابعاد جهان قابل مشاهده فعلی ماست. بنابراین در این عصر تاریک که احتمال شکل‌گیری این نوع اتم وجود دارد، احتمالاً هرکدام در ابعاد یک جهان کامل خواهند بود. از آنجا که ابعاد

جهان در طول این عصر تاریک به‌مقدار زیادی توسعه می‌یابد، بنابراین جای دادن این اتم‌های عظیم‌الجثه مشکلی ایجاد نخواهد کرد. اما به این دلیل که اتم‌های پوزیترونیمی خیلی بزرگ هستند، علم شیمی مربوط به این اتم‌ها، با مقیاس‌های بزرگ زمانی مواجه بوده و با آنچه ما از علم شیمی می‌دانیم کاملاً متفاوت خواهد بود.

آن‌طور که کیهان‌شناسی به نام تونی روتمَن می‌نویسد: «و به‌این‌ترتیب سرانجام، پس از سال، کیهان از تعداد کمی الکترون و پوزیترون که در مدارهای بسیار سنگین به‌هم قفل شده‌اند و همین‌طور نوترینوها و فوتون‌های باقی مانده از واپاشی باریون، به‌علاوه پروتون‌های سرگردانی که از نابودی پوزیترونیم و سیاهچاله‌ها برجای مانده‌اند، تشکیل می‌شود. تنها به این دلیل که، این نیز در کتاب سرنوشت نوشته شده است.»

آیا حیات هوشمند ادامه می‌یابد؟

دانشمندان، با بررسی شرایطی که در پایان یخ‌بندان بزرگ منجر به از کار افتادن ذهن و فکر موجودات هوشمند می‌شود، به این مسئله پرداخته‌اند که آیا هیچ گونه‌ای از حیات هوشمند تحت این شرایط می‌تواند زنده بماند؟ در نگاه اول، بحث در این مورد در شرایطی که دما به صفر مطلق نزدیک می‌شود، بی‌معنی به‌نظر می‌رسد. ولی با این حال دانشمندان با جدیت تمام، تلاش خود را به بررسی این موضوع معطوف کرده‌اند.

این بحث دو پرسش کلیدی دارد. اول اینکه: آیا موجودات هوشمند، با نزدیک شدن دما به صفر مطلق، هنوز هم قادر به استفاده از دستگاه‌ها و تجهیزات خود خواهند بود؟ برطبق قوانین ترمودینامیک، از آنجا که انرژی از دمای بالاتر به دمای پایین‌تر جاری می‌شود، از حرکت انرژی می‌توان برای انجام کارهای مکانیکی استفاده کرد. به‌عنوان مثال کار مکانیکی را می‌توان از طریق یک موتور گرمایی که دو منطقه با دماهای متفاوت را به‌هم متصل می‌کند، به‌دست آورد. هرچه تفاوت دماها بیشتر باشد، بازده موتور بیشتر خواهد بود. این، اساس کار ماشین‌هایی مثل موتور بخار و لوکوموتیو است که

انقلاب صنعتی را قدرت بخشیدند. در نگاه اول استخراج کار از موتور گرمایی در مرحله پنجم غیرممکن به‌نظر می‌رسد زیرا در این مرحله تمام دماها یکسان بوده و تفاوت دمایی وجود ندارد.

پرسش دوم این است که: آیا در این مرحله حیات هوشمند می‌تواند به نوعی اطلاعات را ارسال یا دریافت کند؟ برطبق نظریه اطلاعات، کوچک‌ترین واحدی که می‌تواند ارسال یا دریافت شود، با دما متناسب است. با افت دما تا نزدیکی صفر مطلق، قابلیت پردازش اطلاعات به شدت تضعیف می‌شود. بیت‌های اطلاعات، با خنک شدن هرچه بیشتر دما، کوچک‌تر و کوچک‌تر می‌گردند.

فریمن دیسون و دیگران، فیزیک حیات هوشمند را در جهانی رو به مرگ مورد تحلیل و بررسی مجدد قرار داده‌اند. سوآل آن‌ها این است که آیا می‌توان راه‌های ابتکاری را یافت که حیات هوشمند بتواند به کمک آن‌ها حتی در دماهای نزدیک به صفر مطلق نیز زنده بماند؟

در ابتدا ممکن است موجودات با استفاده از مهندسی ژنتیک، همراه با کاهش دما، سعی در پایین آوردن دمای بدن خود نمایند. با کمک این روش، استفاده از منابع انرژی رو به اتمام، بهتر انجام می‌پذیرد. اما سرانجام دمای بدن به نقطه انجماد آب خواهد رسید. در این زمان، موجودات هوشمند ممکن است مجبور شوند بدن‌های نحیف ساخته شده از گوشت و خون خود را رها کرده و بدن‌های روباتیک را جایگزین آن کنند. بدن‌های مکانیکی، بهتر از گوشت می‌توانند سرما را تحمل کنند. اما ماشین‌ها نیز باید از قوانین نظریه اطلاعات و ترمودینامیک تبعیت کنند و بنابراین زمانی می‌رسد که زندگی حتی برای روبات‌ها نیز بسیار سخت خواهد شد.

حتی اگر موجودات هوشمند بدن‌های روباتیک خود را رها کرده و خود را به آگاهی خالص تبدیل کنند، هنوز مشکل پردازش اطلاعات باقی خواهد ماند. با ادامه کاهش دما تنها راه برای زنده ماندن آهسته‌تر فکر کردن خواهد بود. دیسون معتقد است با طولانی‌تر کردن زمان مورد نیاز برای پردازش اطلاعات و همچنین با استفاده از حالت خواب برای صرفه‌جویی در انرژی،

گونه‌ای از حیات هوشمند قادر خواهد بود تحت این شرایط نیز به فکر کردن ادامه دهد. اگرچه زمان فیزیکی لازم برای فکر کردن و پردازش اطلاعات ممکن است به میلیاردها سال افزایش یابد، اما «زمان درونی» که خود موجودات هوشمند متوجه آن می‌شوند، تغییری نخواهد کرد. آن‌ها هرگز متوجه تفاوت نخواهند شد. این موجودات، هنوز قادر خواهند بود به مسائل بسیار عمیق بیندیشند؛ اما این‌بار در مقیاس زمانی بسیار آهسته‌تر. دیسون در تفسیری عجیب ولی در عین‌حال خوشبینانه، نتیجه می‌گیرد که به‌این‌ترتیب حیات هوشمند قادر خواهد بود اطلاعات را پردازش کرده و تا ابد بیندیشد. پردازش یک فکر ممکن است تریلیون‌ها سال طول بکشد اما با توجه به «زمان درونی»، فرایند فکر کردن به‌طور معمول پیش خواهد رفت.

اما اگر موجودات هوشمند آهسته‌تر فکر کنند، در این‌صورت شاید بتوانند شاهد تحولات کوانتومی کیهانی باشند که در جهان رخ می‌دهند. به‌طور معمول، این تحولات کیهانی، مثل پیدایش جهان‌های نوپا یا گذار به جهان کوانتومی دیگر، طی تریلیون‌ها سال رخ می‌دهد و بنابراین کاملاً نظری هستند. به‌هرحال در مرحله پنجم، تریلیون‌ها سال، در «زمان درونی» فشرده شده و ممکن است از دید موجودات تنها چند ثانیه به‌نظر آید؛ آن‌ها احتمالاً چنان آهسته فکر می‌کنند که ممکن است شاهد وقوع رویدادهای کوانتومی بسیار عجیب در مقابل چشمان‌شان باشند. ممکن است به‌طور مداوم جهان‌های حبابی را ببینند که از هیچ ظاهر شده یا شاهد جهش‌های کوانتومی به جهان‌های دیگر باشند.

اما در پرتو کشف اخیر، مبنی بر اینکه جهان در حال سرعت گرفتن است، فیزیکدانان کار دیسون را مجدداً مورد آزمایش قرار داده و مطلب جدیدی را نتیجه گرفته‌اند: در یک جهان شتاب دار، حیات هوشمند، ناچار از بین خواهد رفت. دو فیزیکدان، به نام‌های لارنس کراس و گِلن اِستارکمن، نتیجه گرفته‌اند که: «میلیاردها سال پیش، جهان برای حیات بسیار داغ بوده است. مطابق سرنوشت، جهان چنان سرد و خالی خواهد شد که حیات، هرچقدر هم که هوشمند باشد، از بین خواهد رفت.»

دیسون، فرض کرد که تابش میکروموج ۲/۷ درجه، تا ابد در جهان به افت خود ادامه خواهد داد. بنابراین موجودات هوشمند احتمالاً می‌توانند از این تفاوت‌های دمایی کوچک، کار مفید استخراج کنند. مادامی که دما به افت خود ادامه می‌دهد، همواره می‌توان کار مفید استخراج کرد. با این حال کراس و استارکمن بیان کردند که اگر جهان دارای یک ثابت کیهانی باشد، آنگاه دما آن‌طور که دیسون فرض کرده بود تا ابد کاهش نخواهد یافت، بلکه در نهایت به یک حد پایینی، به نام دمای گیبونز-هوکینگ (در حدود 10^{-29} درجه)، خواهد رسید. وقتی دما به این مقدار برسد، آنگاه دما در سراسر جهان یکسان خواهد بود و بنابراین موجودات هوشمند دیگر قادر نیستند انرژی قابل استفاده را، با بهره‌برداری از تفاوت دمایی، استخراج کنند. زمانی که کل جهان به دمای یکسانی برسد، پردازش اطلاعات تماماً از بین خواهد رفت.

(ر دهه ۱۹۸۰، دانشمندان دریافتند سیستم‌های کوانتومی مشخصی، مثل حرکت براونی در سیال، علی‌رغم سرمای هوا، می‌توانند به‌عنوان اساس کار یک رایانه عمل کنند. بنابراین با افت دما، این رایانه‌ها هنوز می‌توانند با انرژی پایین‌تر و پایین‌تر به محاسبه بپردازند. این برای دیسون خبر خوبی محسوب می‌شد. اما یک مسئله وجود داشت. سیستم باید دو شرط را برآورده می‌ساخت: اول اینکه باید با محیط خود در حالت تعادل باقی بماند و دوم اینکه هرگز نباید اطلاعات را دور بریزد. اما اگر جهان منبسط شود، حالت تعادل با محیط غیرممکن است. زیرا تابش رقیق شده و طول موجش کشیده می‌شود. تغییرات شتابدار جهانی، چنان سریع اتفاق می‌افتند که سیستم نمی‌تواند با محیط اطراف تعادل برقرار کند. و مسئله دوم این است که سیستم هرگز نباید اطلاعات را از بین ببرد؛ به این معنی که یک موجود هوشمند هرگز نباید چیزی را فراموش کند. در نهایت، یک موجود هوشمند که قادر نیست خاطرات قدیمی خود را به‌دور بریزد، بارها و بارها در خاطرات قدیمی زندگی می‌کند. سوآل کراسوس و استارکمن این است که: «ابدیت، به‌جای اینکه یک افق پیش‌رونده بی‌پایان از خلاقیت و اکتشاف باشد، یک زندان خواهد بود. این احتمال وجود دارد که نیروانا وجود داشته باشد، ولی آیا زنده

است؟»)

به‌طور خلاصه می‌بینیم که اگر ثابت کیهانی نزدیک به صفر باشد، با خنک شدن جهان حیات هوشمند قادر خواهد بود از طریق رفتن به حالت خواب و آهسته‌تر فکر کردن، تا ابد تفکر کند. اما در جهان شتابداری مثل جهان ما، این غیرممکن است. بر طبق قوانین فیزیک، تمام حیات هوشمند محکوم به فناست.

با این چشم‌انداز، می‌بینیم که ایجاد شرایط برای حیات آن‌طور که ما می‌شناسیم، پرده‌های کوتاه یک نمایش بسیار بزرگ‌تر هستند. تنها محدوده بسیار کوچکی وجود دارد که در آن، دما برای پشتیبانی از حیات «دقیقاً مناسب» است؛ نه زیاد گرم و نه زیاد سرد.

ترک کردن جهان

مرگ را می‌توان اینگونه تعریف کرد: توقف نهایی هرگونه پردازش اطلاعات. هر نوع هوش در جهان، وقتی شروع به درک قوانین بنیادی فیزیک می‌کند، به‌ناچار با مرگ نهایی جهان و هرگونه حیات هوشمندی که ممکن است در آن وجود داشته باشد، مواجه می‌شود.

خوشبختانه برای جمع‌آوری انرژی لازم برای فرار از این شرایط، زمان کافی وجود دارد و همان‌طور که در فصل بعد خواهیم دید گزینه‌های دیگری نیز وجود دارند. سوآلی که به آن می‌پردازیم این است که: آیا قوانین فیزیک به ما اجازه فرار به جهان‌های موازی دیگر را خواهند داد؟

فصل ۱۱ فرار از جهان

هر فناوری که بقدر کافی پیشرفته باشد، تشخیص آن از جادو غیرممکن است.

ـ آرتور سی کلارک

در رمان قدرت ازلی، نویسنده علمی تخیلی، گِرِگ بیِر، داستان دلخراشی را نقل می‌کند که در آن انسان‌ها از یک جهان ویران به جهان موازی دیگری فرار می‌کنند. یک خرده سیارک بسیار بزرگ با نزدیک شدن به کره زمین ساکنین آن را مورد تهدید قرار داده و باعث به‌وجود آمدن وحشت و تشنج عمومی می‌شود. با این حال، جالب اینجاست که به‌جای برخورد با کره زمین به‌طور عجیبی در مداری به‌دور آن می‌چرخد. گروهی از دانشمندان برای بررسی اوضاع به فضا فرستاده می‌شوند. آن‌ها به‌جای یافتن سطحی متروک و بی‌جان در می‌یابند که خرده سیارک در حقیقت حفره‌ای توخالی است. در واقع این خرده سیارک سفینه فضایی بزرگی است که به‌وسیله یک نژاد با فناوری برتر در فضا رها شده است. قهرمان زن داستان، پاتریشیا واسکوئز که یک فیزیکدان نظری است، درون سفینه متروک هفت حجره بزرگ می‌یابد که هرکدام ورودی‌هایی به جهان‌های مختلفی با دریاچه‌ها، جنگل‌ها، درختان و حتی شهرهای کامل هستند. او حین جستجوی خود به کتابخانه بزرگی برخورد می‌کند که حاوی تاریخ کامل انسان‌های عجیب صاحب سفینه است. او به کتابی برمی‌خورد و در کمال تعجب در می‌یابد که کتاب مذکور همان

کتاب تام سایر اثر مارک تواین بوده که در سال ۲۱۱۰ تجدید چاپ شده است. پاتریشیا در می‌یابد که این خرده سیارک اصلاً مربوط به یک تمدن بیگانه نیست، بلکه اثری است از خود زمین؛ اما در ۱۳۰۰ سال آینده. او با حقیقت تلخی مواجه می‌شود: این اسناد قدیمی، گویای جنگ هسته‌ای است که در گذشته دور واقع شده و منجر به مرگ میلیاردها انسان گشته است. این جنگ هسته‌ای باعث به‌وجود آمدن زمستان هسته‌ای شده که مرگ میلیاردها انسان دیگر را درپی داشته است.

زمانی که او به تاریخ این جنگ نظر می‌کند، در کمال شگفتی در می‌یابد که تا زمان وقوع آن تنها دو هفته باقی مانده است. پاتریشیا برای متوقف ساختن این جنگ حتمی که به‌زودی کل سیاره و تمام کسانی که دوست‌شان دارد را از پا درخواهد آورد، تنها است.

او از مشاهده تاریخ زندگی خود در این اسناد دچار وحشت می‌شود. پاتریشیا در می‌یابد که تحقیقات آینده او در زمینه فضا ـ زمان، منجر به ساخت تونل بزرگی به نام راه در خرده سیارک شده که انسان‌ها را قادر می‌سازد از طریق خرده سیارک به جهان‌های دیگر وارد شوند. نظریه‌های او ثابت کرده‌اند که تعداد نامحدودی جهان‌های کوانتومی وجود دارند که نشان‌دهنده تمام واقعیت‌های محتمل هستند. به‌علاوه نظریه‌های او امکان ساخت دروازه‌هایی را برای ورود به این جهان‌ها، که هرکدام دارای یک تاریخ متفاوت هستند، فراهم آورده است. سرانجام او به تونل وارد شده و از میان راه سفر کرده و با افرادی که از خرده سیارک فرار کرده‌اند، یعنی فرزندان خود، ملاقات می‌کند.

پاتریشیا با جهان عجیبی مواجه می‌شود. در این دنیا قرن‌ها است که انسان‌ها شکل انسانی خود را ترک کرده و هم‌اکنون می‌توانند شکل‌ها و بدن‌های مختلفی را انتخاب کنند. حتی افرادی که سال‌هاست مرده‌اند، هویت و خاطرات مربوط به آن‌ها در بانک‌های رایانه‌ای ذخیره شده و می‌توان آن‌ها را به زندگی بازگرداند. انسان‌های مرده را می‌توان به دفعات متعدد به زندگی باز گرداند و در بدن‌های جدید قرار داد. اگرچه افراد ساکن در این جهان

می‌توانند تقریباً هرچه را که بخواهند داشته باشند، با این حال قهرمان داستان ما در این بهشت فناوری تنها و بیچاره است. او دلش برای خانواده، دوست پسرش و زمین تنگ شده است؛ درحالی‌که می‌داند همه در جنگ هسته‌ای از بین رفته‌اند. سرانجام موفق می‌شود تا در بین جهان‌های چندگانه‌ای که در طول راه قرار دارند به جستجو پرداخته تا بلکه یک جهان موازی بیابد که در آن جنگ هسته‌ای اتفاق نیفتاده و در نتیجه کسانی که دوست‌شان داشته است، هنوز زنده‌اند. سرانجام چنین جهانی را یافته و به آن وارد می‌شود. (متأسفانه او مرتکب خطای ریاضی کوچکی می‌شود. پاتریشیا وارد جهانی می‌شود که در آن امپراتوری مصر هرگز سقوط نکرده است. به‌این‌ترتیب او روزهای باقی مانده عمر خود را در تلاش برای ترک این جهان موازی و یافتن خانه حقیقی خود سپری می‌کند.)

اگرچه بعد گذرهای مطرح شده در رمان قدرت ازلی کاملاً تخیلی هستند، اما سوآل جالبی را مطرح می‌کنند که به ما مربوط می‌شود: اگر روزی شرایط در جهان ما غیرقابل تحمل گردد، آیا می‌توان پناهگاه دیگری در یک جهان موازی یافت؟

به‌نظر می‌رسد سرنوشت نهایی حیات هوشمند، با فروپاشی جهان ما به غبار بی‌جانی از الکترون‌ها، نوترینوها و فوتون‌ها دست به گریبان باشد. می‌دانیم که زندگی در مقیاس کیهانی تا چه حد آسیب‌پذیر و زودگذر است. عصری که در آن حیات امکان رشد پیدا می‌کند، در یک باند بسیار باریک متمرکز شده است؛ دوره کوتاهی از حیات ستارگانی که آسمان شب را روشن می‌کنند. با پیر شدن و خنک شدن جهان، ادامه حیات غیرممکن به‌نظر می‌رسد. قوانین فیزیک و ترمودینامیک در این مورد کاملاً روشن هستند: اگر فرایند انبساط جهان به روند خود ادامه دهد، هوشی که ما می‌شناسیم نمی‌تواند زنده بماند. اما وقتی دمای جهان کاهش می‌یابد، آیا یک تمدن پیشرفته می‌تواند برای نجات خود کاری انجام دهد؟ آیا می‌تواند با به‌کار گرفتن تمام فناوری خود و فناوری هر تمدن دیگری که ممکن است در جهان وجود داشته باشد، از یخ‌بندان بزرگ پیش‌رو بگریزد؟

از آنجا که مراحل تکاملی جهان طی میلیاردها تا تریلیون‌ها سال رخ می‌دهند، برای یک تمدن هوشمند صنعتی زمان کافی وجود خواهد داشت تا به این چالش بپردازد. اگرچه تصور این که یک تمدن پیشرفته چه نوع فناوری‌هایی را می‌تواند به‌منظور طولانی‌تر کردن زندگی خود اختراع کند، تنها تفکر محض است، ولی با این حال می‌توان از قوانین شناخته شده فیزیک برای بحث در مورد گزینه‌های گسترده‌ای که ممکن است میلیاردها سال آینده موجود باشند، بهره گرفت. فیزیک نمی‌تواند به ما بگوید که یک تمدن پیشرفته ممکن است چه برنامه‌های مشخصی را اتخاذ کند، اما می‌تواند محدوده پارامترهای ممکن را برای چنین فراری در اختیار ما قرار دهد.

از نظر یک مهندس مشکل اساسی برای ترک جهان این است که آیا ما منابع کافی برای ساختن ماشینی خواهیم داشت که بتواند چنین شاهکاری را انجام دهد. اما از نظر یک فیزیکدان مشکل اصلی چیز دیگری است: در وهله اول آیا اصلاً قوانین فیزیک، وجود چنین ماشین‌هایی را امکان‌پذیر می‌داند؟ فیزیکدانان به‌دنبال یک «دلیل قانع‌کننده» هستند؛ ما می‌خواهیم نشان دهیم که اگر فناوری به اندازه کافی پیشرفته‌ای داشته باشیم، بر طبق قوانین فیزیک فرار به جهان دیگر امکان‌پذیر خواهد بود. اینکه آیا ما منابع کافی در اختیار داریم یا نه، از اهمیت کم‌تری برخوردار است و باید به عهده تمدن‌های میلیاردها سال آینده که با انجماد بزرگ مواجه خواهند شد، سپرده شود.

از نظر ستاره‌شناس سلطنتی، لرد مارتین ریس: «مفاهیمی مثل کرمچاله‌ها، ابعاد بالاتر و رایانه‌های کوانتومی در را به روی طرح‌های ذهنی باز می‌کنند که می‌توانند سرانجام کل جهان ما را به یک «کیهان زنده» تبدیل کنند.»

تمدن‌های نوع ۱، ۲ و ۳

گاهی اوقات دانشمندان برای به تصویر کشیدن فناوری‌های آینده، تمدن‌های هزاران تا میلیون‌ها سال پس از ما را بر اساس مصرف انرژی و قوانین ترمودینامیک تقسیم‌بندی می‌کنند. فیزیکدانان هنگام جستجو در آسمان‌ها برای یافتن نشانه‌هایی از حیات هوشمند، به‌دنبال مردان سبزرنگ نیستند

بلکه در جستجوی تمدن‌هایی با انرژی‌های خروجی نوع ۱، ۲ و ۳ هستند. این طبقه‌بندی در دهه ۱۹۶۰ به‌وسیله فیزیکدان روسی، نیکولای کارداشِف، با طبقه‌بندی علائم رادیویی تمدن‌های ممکن ارائه شد. هر تمدنی شکل مشخصی از تابش را گسیل می‌کند که می‌توان آن را آشکارسازی و اندازه‌گیری کرد. (حتی تمدن‌های پیشرفته که سعی در پنهان کردن خود داشته باشند، با تجهیزات ما قابل شناسایی هستند. بر طبق قانون دوم ترمودینامیک، هر تمدن پیشرفته‌ای آنتروپی ایجاد می‌کند که به‌ناچار به شکل گرمای تلف شده به فضا نشت می‌کند. حتی اگر آن‌ها تلاش کنند حضور خود را مخفی نگاه دارند قادر نخواهند بود اندک گرمای ایجاد شده از طریق آنتروپی را پنهان کنند.)

تمدن نوع ۱، تمدنی است که از انرژی ستاره‌ای استفاده می‌کند. مصرف انرژی این نوع تمدن را می‌توان به دقت اندازه‌گیری کرد: بنا به تعریف، آن‌ها قادرند تمام انرژی دریافتی از ستاره خود، یعنی 10^{16} وات، را مورد استفاده قرار دهند. با استفاده از این انرژی ستاره‌ای احتمالاً قادرند وضعیت آب و هوا را کنترل کرده، بهبود بخشیده، مسیر حرکت توفان‌ها را تغییر داده یا شهرهایی را بر روی اقیانوس بنا کنند. بنابراین چنین تمدن‌هایی بر سیاره خود تسلط یافته و تمدنی سیاره‌ای ایجاد خواهند کرد.

تمدن نوع ۲، انرژی سیاره‌ای را به‌طور کامل مصرف کرده و انرژی ستاره کاملی، تقریباً در حدود 10^{26} وات را در کنترل خود در آورده است. آن‌ها قادرند تمام انرژی خارج شده از ستاره خود را مصرف کنند. همچنین ممکن است بتوانند با تحت کنترل در آوردن شعله‌های خورشیدی، ستارگان دیگر را نیز مشتعل کنند.

تمدن نوع ۳، انرژی کامل منظومه شمسی را به اتمام رسانده و بخش‌های بزرگی از کهکشان را تحت کنترل خود در آورده است. چنین تمدنی قادر است انرژی ۱۰ میلیارد ستاره، یعنی در حدود 10^{36} وات، را مورد استفاده قرار دهد.

تفاوت هرکدام از انواع تمدن‌ها با نوع پایین‌تر خود در یک ضریب ۱۰

میلیارد است. بنابراین تمدن نوع ۳، که انرژی میلیاردها سیستم ستاره‌ای را برداشت می‌کند، می‌تواند ۱۰ میلیارد برابر انرژی خروجی تمدن نوع ۲ را مورد استفاده قرار دهد، که به نوبه خود ۱۰ میلیارد برابر خروجی تمدن نوع ۱ را مورد استفاده قرار می‌دهد. اگرچه فاصله بین این تمدن‌ها بسیار زیاد است، ولی زمان لازم برای رسیدن به تمدن نوع ۳ قابل تخمین و اندازه‌گیری است. فرض کنید انرژی خروجی تمدنی با سرعت نسبتاً کم ۲ تا ۳ درصد در هر سال افزایش یابد. (این فرض محتملی است، زیرا رشد اقتصادی به نوعی مستقیماً با مصرف انرژی متناسب است. هرچه اقتصاد بزرگ‌تر باشد، تقاضا برای انرژی نیز بیشتر خواهد بود. از آنجا که رشد ناخالص محصولات داخلی، یا همان GDP در بسیاری از کشورها بین ۱ تا ۲ درصد در سال است، می‌توان انتظار داشت که رشد مصرف انرژی نیز تقریباً برابر با همین نرخ باشد.)

با این سرعت نسبتاً کم، می‌توان تخمین زد که تمدن فعلی ما تقریباً ۱۰۰ تا ۲۰۰ سال با تمدن نوع ۱ فاصله دارد. می‌توان گفت که تقریباً ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ سال طول خواهد کشید تا به تمدن نوع ۲ رسیده و شاید ۱۰۰,۰۰۰ تا ۱,۰۰۰,۰۰۰ سال با تمدن نوع ۳ فاصله داشته باشیم. با چنین مقیاسی تمدن فعلی ما را شاید بتوان در رتبه تمدن نوع ۰ طبقه‌بندی کرد. زیرا ما انرژی خود را از گیاهان مرده (نفت و زغال سنگ) کسب می‌کنیم. حتی کنترل یک توفان که برابر با صدها سلاح هسته‌ای انرژی‌دارد، هنوز فراتر از فناوری ماست.

برای توصیف تمدن فعلی ما، ستاره‌شناسی به نام کارل ساگان، رتبه بندی دقیق‌تری را بین انواع تمدن‌ها پیشنهاد کرد. تمدن‌های نوع ۱، ۲ و ۳ همان‌طور که دیدیم به ترتیب انرژی خروجی برابر تقریباً 10^{16}، 10^{26} و 10^{36} وات دارند. ساگان به‌عنوان مثال تمدنی از نوع ۱/۱ را معرفی کرد که 10^{17} وات انرژی تولید می‌کند. همین‌طور تمدنی از نوع ۱/۲ که وات انرژی تولید می‌کند و به‌همین ترتیب الی آخر. با تقسیم تمدن نوع ۱ به ده زیرتمدن کوچک‌تر، قادر خواهیم بود تمدن خود را رتبه بندی کنیم. در این مقیاس، تمدن فعلی ما بیشتر شبیه به تمدنی از نوع ۰/۷ است. (تمدن نوع ۰/۷، هنوز از نظر تولید انرژی

هزار بار کوچک‌تر از نوع ۱ است.)

اگرچه تمدن ما هنوز کاملاً ابتدایی است، اما قبل از این نشانه‌هایی از یک تحول را مشاهده کرده‌ایم. وقتی به تیتر روزنامه‌ها نگاه می‌کنم، دائماً به نشانه‌هایی از این تکامل تاریخی بر می‌خورم. در حقیقت خوشحالم از اینکه زنده‌ام تا شاهد این تحولات باشم:

- اینترنت به‌عنوان سیستم تلفن نوع ۱ پدیدار شده و این قابلیت را دارد که اساس یک شبکه مخابراتی سیاره‌ای در جهان باشد.
- اقتصاد جامعه نوع ۱ در احاطه ملت‌ها نبوده، بلکه از طریق اتحادهای بازرگانی بزرگی مشابه اتحادیه اروپا، که خود برای رقابت با نَفتا (کشورهای آمریکای شمالی) شکل گرفته است، هدایت می‌گردد.
- زبان جامعه نوع ۱ احتمالاً انگلیسی خواهد بود، که در حال حاضر شایع‌ترین زبان دوم مردم دنیاست. امروزه در بسیاری از کشورهای جهان سوم، افراد سطح بالا و تحصیل کرده مایلند که به هردو زبان محلی خود و انگلیسی صحبت کنند. به‌این ترتیب احتمالاً تمام افراد یک تمدن نوع ۱ دو زبانه خواهند بود؛ که هم به یک زبان محلی و هم زبان سیاره‌ای صحبت خواهند کرد.
- با سقوط مرزهای تجاری و وابستگی هرچه بیشتر کشورها به یکدیگر از نظر اقتصادی، احتمالاً در قرن‌های آینده مرزبندی بین کشورها از اهمیت کم‌تری برخوردار خواهد بود. (امروزه کشورهای مدرن تا اندازه‌ای به‌وسیله سرمایه‌دارها و کسانی که به‌منظور پیشبرد اهداف تجاری خود به‌دنبال یک پول رایج، مرز، ملیت، و قوانین یکپارچه هستند، هدایت می‌شوند. با بین‌المللی شدن هرچه بیشتر تجارت، مرز کشورها معنی خود را از دست می‌دهد.) هیچ کشوری آنقدر قدرتمند نیست که بتواند حرکت به سوی تمدن نوع ۱ را متوقف سازد.

- جنگ همواره با ما خواهد بود، اما با ظهور یک طبقه متوسط سیاره‌ای ـ که بیشتر به جهانگردی و جمع‌آوری ثروت و منابع علاقه‌مند است تا غلبه بر دیگر افراد و کنترل بازارها یا مناطق جغرافیایی ـ طبیعت جنگ تغییر خواهد کرد.
- مسئله آلودگی به‌طور فزاینده‌ای در مقیاس سیاره‌ای مطرح خواهد شد. گازهای گلخانه‌ای، باران‌های اسیدی، آتش‌سوزی در جنگل‌های پر باران و از این قبیل چیزها تنها به ملیتی خاص مربوط نیست و از سوی کشورهای همسایه فشار بر روی نهادهای خاطی وارد خواهد شد تا از اعمال و رفتار ناهنجار خود دست بردارند. مشکلات جهانی محیط زیست، راه حل‌های جهانی را سرعت می‌بخشند.
- زمانی که منابع موجود (مثل محصولات دریایی، گیاهی و منابع آب) به‌دلیل پرورش و مصرف بیش از حد به پایان برسند، فشار فزاینده‌ای برای مدیریت منابع وجود خواهد داشت. درغیر این صورت با قحطی و خشکسالی مواجه خواهیم شد.
- اطلاعات تقریباً آزاد بوده و جامعه را به سمت مردم‌سالاری هرچه بیشتر تشویق می‌کنند. به‌این‌ترتیب کسانی که تاکنون از انتخاب محروم بوده‌اند، حق انتخاب داشته و فشارها بر روی سیستم‌های دیکتاتوری افزایش می‌یابد.

این نیروها فراتر از قدرت کنترل افراد یا کشورها هستند. اینترنت را نمی‌توان محدود و غیرقانونی اعلام کرد. در حقیقت، هر حرکتی برای جلوگیری از این جریان بیشتر با خنده مواجه خواهد شد تا ترس و وحشت. همان‌طور که اینترنت راهی به سمت رونق اقتصادی و علوم است، برای فرهنگ و تفریحات نیز هست.

اما گذار از تمدن نوع صفر به نوع ۱ بسیار خطرناک است. زیرا ما هنوز وحشیگری ناشی از دوره زندگی در جنگل را با خود به‌همراه داریم. از برخی جهات پیشرفت تمدن ما در حقیقت مسابقه با زمان است. از یک طرف

حرکت به‌سوی تمدن سیاره‌ای نوع ۱ ممکن است به ما نوید دوره‌ای بی‌مانند از شکوفایی و صلح را بدهد. از طرف دیگر، نیروهای آنتروپی (اثر گلخانه‌ای، آلودگی محیط زیست، جنگ هسته‌ای، بنیادگرایی و بیماری) ممکن است منجر به نابودی ما شوند. لرد مارتین ریس به این گونه تهدیدها به‌علاوه تروریسم، میکروب‌های مهندسی شده بیولوژیکی و دیگر کابوس‌های فناوری به‌عنوان برخی از بزرگ‌ترین چالش‌هایی که انسان با آن مواجه خواهد شد اشاره می‌کند. به‌نظر می‌رسد از نظر او تنها یک شانس پنجاه درصدی برای موفقیت در عبور از این چالش وجود دارد.

شاید به همین علت است که در فضا شاهد وجود تمدن‌های غیر زمینی نیستیم. مسئله این است که اگر آن‌ها واقعاً وجود داشته باشند، شاید آنقدر پیشرفته‌اند که توجه و علاقه کمی به جامعه ابتدایی نوع ۰/۷ ما نشان می‌دهند. شاید آن‌ها به‌دلیل جنگ یا از طریق آلودگی که حین تلاش برای رسیدن به تمدن نوع ۱ ایجاد کرده‌اند، از بین رفته و مرده‌اند. (از این نظر، نسلی که در حال حاضر زنده هستند شاید یکی از مهم‌ترین نسل‌هایی باشد که تاکنون بر روی سطح زمین قدم گذاشته‌اند؛ شاید این نسل بتواند بدون خطر نحوه گذار به یک تمدن نوع ۱ را برنامه‌ریزی کند.)

اما همان‌طور که فردریش نیچه گفته است، آنچه که ما را نمی‌کشد، قوی‌تر می‌سازد. گذار دردناک ما از نوع صفر به نوع ۱ مطمئناً تجربه آتشینی خواهد بود. اگر بتوانیم از این چالش با موفقیت بیرون آییم، قوی‌تر خواهیم شد؛ به همان روشی که چکش‌کاری فولاد گداخته، آن را سخت‌تر می‌کند.

تمدن نوع ۱

وقتی تمدنی به وضعیت نوع ۱ دست می‌یابد، بعید است که سریعاً به ستارگان تسلط پیدا کند؛ احتمالاً چنین تمدنی برای قرن‌ها در سیاره خانه باقی می‌ماند، تا زمان کافی داشته باشد تا از ملی‌گرایی، بنیادگرایی، نژاد پرستی، و فرقه گرایی باقی مانده از گذشته خلاصی یابد. نویسنده‌های علمی تخیلی بارها و بارها، بدون اشاره به دشواری‌های سفر و مهاجرت‌های فضایی به داستان

سرایی پرداخته‌اند. امروزه باید در حدود ۲۰,۰۰۰ تا ۸۰,۰۰۰ دلار پرداخت تا بتوان یک کیلوگرم ماده را در مداری نزدیک به زمین قرار داد. (تصور کنید مجسمه جان گلِن را از طلای ناب بسازید. حال می‌توانید هزینه هنگفت یک سفر فضایی را تصور کنید.) ماموریت شاتل فضایی، هربار تا ۸۰۰ میلیون دلار هزینه در بر دارد (با تقسیم هزینه‌های مربوط به برنامه فضایی شاتل بر تعداد ماموریت‌های فضایی انجام گرفته). این احتمال وجود دارد که در آینده هزینه سفر فضایی کاهش یابد. اما در طول چند دهه آینده، با ورود وسائل نقلیه قابل استفاده مجدد (RLV)[1] که بلافاصله پس از اتمام یک ماموریت می‌توانند دوباره مورد استفاده قرار گیرند، هزینه‌ها به یک دهم کاهش خواهند یافت. در قرن بیست و یکم، چنین سفری هنوز هم بسیار پرهزینه بوده و فقط برای افراد و کشورهای بسیار ثروتمند مقدور است.

(یک راه حل برای این مسئله وجود دارد: تهیه «بالابرهای فضایی». پیشرفت‌های اخیر در فناوری نانو، تولید طناب از نانولوله‌های بسیار کم وزن و فوق‌العاده قوی را امکان‌پذیر ساخته است. در اصل ممکن است این طناب‌های ساخته شده از اتم کربن آنقدر قوی باشند که بتوانند یک ماهواره‌ای که بیش از سی هزار کیلومتر بالای کره زمین در حال چرخش است را به زمین وصل کنند. درست مثل جک و لوبیای سحرآمیز، باید بتوان از این نانولوله کربن بالارفت تا با تنها کسری از هزینه معمول به فضا رسید. از نظر تاریخی دانشمندان فضایی هیچ‌گاه بالابرهای فضایی را جدی نگرفته‌اند، زیرا کشش وارد بر روی ریسمان آنقدر زیاد خواهد بود که منجر به پاره شدن تقریباً هر الیاف شناخته شده‌ای می‌شود.

با این حال، فناوری نانولوله کربن ممکن است این وضعیت را تغییر دهد. در حال حاضر ناسا مطالعات ابتدایی بر روی این فناوری را بنیان گذاشته است و این فناوری در طول چندین سال به دقت مورد بررسی و تحلیل قرار خواهد گرفت. اما آیا چنین فناوری واقعاً موثر است؟ یک بالابر فضایی در بهترین حالت تنها ما را به مداری دور زمین منتقل می‌کند، نه به دیگر

1. Reusable Launch Vehicles

سیارات.)

رویای ساخت مجتمع‌های فضایی باید رها شود تنها به‌دلیل وجود این حقیقت که هزینه ماموریت‌های انسانی به ماه و دیگر سیارات بسیار بیشتر از هزینه ماموریت‌های نزدیک به زمین است. برخلاف ماموریت‌های کریستف کلمب به دور زمین و سفرهای اکتشافی اسپانیایی‌ها در سده‌های گذشته که هزینه آن‌ها در آن زمان تنها کسر کوچکی از تولید ناخالص داخلی اسپانیا بود، امروزه تاسیس مجتمع‌های مسکونی بر روی ماه و مریخ می‌تواند بسیاری از کشورها را ورشکست کند، درحالی‌که هیچ نفع اقتصادی مستقیمی در بر نخواهد داشت.

همچنین خطری که انسان‌های مسافر را تهدید می‌کند، باید در نظر گرفته شود. پس از نیم قرن تجربه با موشک‌های سوخت مایع، احتمال رخ‌دادن مشکلات فاجعه‌بار در ماموریت‌های موشکی در حدود یک در هفتاد است. (در حقیقت تلفات تاسف‌بار دو شاتل فضایی در این نسبت می‌گنجد.) ما همواره این موضوع را فراموش می‌کنیم که سفر فضایی با توریسم متفاوت است. با وجود چنین سوخت فرّار و چنین تهدیدهای کشنده متعدد برای زندگی بشر، این رویا در طول دهه‌های آینده به صورت یک طرح پیشنهادی پرمخاطره باقی خواهد ماند.

با این حال در طول قرن‌های آینده ممکن است وضعیت به‌تدریج تغییر کند. با کاهش هزینه‌های سفر فضایی ممکن است روزی شاهد ساخت مجتمع‌های فضایی بر روی‌سطح مریخ باشیم. در این زمان برخی دانشمندان حتی مکانیزم‌های مبتکرانه‌ای را پیشنهاد کرده‌اند تا مریخ را هرچه بیشتر به زمین شبیه سازند. مثلاً از طریق منحرف کردن یک دنباله‌دار و تبخیر شدن آن در اتمسفرمریخ، می‌توان به جو مریخ آب اضافه کرد. برخی دیگر طرحی را پیشنهاد کرده‌اند که در آن گاز متان را به اتمسفر مریخ تزریق می‌شود تا یک اثر گلخانه‌ای مصنوعی بر روی سیاره سرخ ایجاد کنند. به‌این‌ترتیب دما را بالا رفته، لایه یخی زیر سطح مریخ آب می‌شود و برای اولین‌بار پس از میلیاردها سال دریاچه‌ها پر آب و بر سطح آن آب جاری می‌شود. برخی دیگر نیز تدابیر

شدیدتر و خطرناک‌تری را اندیشیده‌اند. مثل انفجار یک کلاهک هسته‌ای زیر سطح یخ برای آب کردن آن (که می‌تواند خطراتی را برای ساکنین آینده مجتمع‌های فضایی ایجاد کند). اما تمام این پیشنهادات هنوز کاملاً ذهنی هستند.

به احتمال زیاد تمدن نوع ۱، ساخت مجتمع‌های فضایی را در اولویت دور خود قرار خواهد داد. اما برای ماموریت‌های دوردست بین سیاره‌ای، که از نظر زمانی فشاری بر روی آن وجود ندارد، تهیه یک موتور خورشیدی/یونی احتمالاً شکل جدیدی از نیروی محرکه برای سفر بین ستارگان خواهد بود. چنین موتورهای آرامی، رانش کمی ایجاد می‌کنند، اما از طرفی می‌توانند نیروی رانشی خود را برای سال‌ها نگاه دارند. این موتورها انرژی تابشی خورشید را متمرکز کرده، سزیم شبه‌گازی را گرم می‌کنند و سپس گاز را از اگزوز به بیرون پرتاب می‌کنند و به‌این‌ترتیب نیروی محرکه ناچیزی ایجاد می‌کنند که تقریباً می‌تواند تا ابد باقی بماند. وسائل نقلیه‌ای که با چنین موتورهایی کار می‌کنند، برای ایجاد یک بزرگراه بین سیاره‌ای که سیارات را به‌هم متصل می‌کند مناسب هستند.

سرانجام تمدن نوع ۱ ممکن است ردیاب‌های آزمایشگاهی متعددی را به ستارگان نزدیک بفرستد. از آنجا که سرعت موشک‌های شیمیایی به‌وسیله سرعت ماکزیمم گازهای موجود در اگزوز موشک محدود می‌شوند، فیزیکدانان اگر می‌خواهند به فواصل دورتر در حدود صدها سال نوری دست یابند، مجبور خواهند بود شکل‌های دیگری‌از نیروی محرکه را بیابند. یک راه حل می‌تواند ساخت یک رَم جت هسته‌ای باشد، موشکی که هیدروژن را از فضای بین ستاره‌ای استخراج کرده و با همجوشی هسته‌ای از آن انرژی می‌گیرد. به‌این‌ترتیب مقدار نامحدودی انرژی در طول فرایند آزاد می‌شود. به‌هرحال دستیابی به همجوشی پروتون-پروتون حتی بر روی زمین نیز بسیار سخت و دشوار است، چه برسد به یک سفینه فضایی در فضا. در بهترین حالت این فناوری در یک قرن آینده قابل دسترسی است.

تمدن نوع ۲

تمدن نوع ۲ که قادر به برداشت انرژی یک ستاره کامل است، باید شبیه اتحادیه سیارات در سریال پیشتازان فضا باشد؛ البته بدون ماشین Wrap drive. آن‌ها بخش کوچکی از کهکشان راه شیری را تحت تسلط خود در آورده و می‌توانند ستارگان را شعله‌ور سازند. به‌این‌ترتیب در وضعیت تمدن نوع ۲ قرار می‌گیرند.

فریمن دِیسون اینگونه تصور کرده است که تمدن نوع ۲ برای استفاده کامل از انرژی خروجی خورشید، می‌تواند کره‌ای عظیم به دور خورشید بسازد تا پرتوهای آن را به‌طور کامل جذب کند. به‌عنوان مثال این تمدن ممکن است سیاره‌ای در ابعاد مشتری ساخته و جرم آن را در کره‌ای دور خورشید توزیع کند. براساس قانون دوم ترمودینامیک، کره در نهایت گرم شده و از خود تابش فروسرخ معینی گسیل خواهد کرد که در فضا قابل رویت است. جان جاگاکو، از انستیتوی تحقیقات تمدن در ژاپن، و همکارانش آسمان‌ها را تا فاصله ۸۰ سال نوری جستجو کرده‌اند تا چنین تمدن‌هایی را بیابند و تاکنون هیچ شاهدی دلیل بر وجود این تابش‌های فروسرخ نیافته‌اند (به خاطر داشته باشید که عرض کهکشان ما صدهزار سال نوری است).

تمدن نوع ۲، ممکن است برخی از سیارات منظومه خورشیدی خود را تحت تسلط در آورده و حتی سفرهای بین ستاره‌ای را شروع کرده باشد. به‌دلیل منابع گسترده‌ای که در دسترس تمدن نوع ۲ قرار دارد، احتمال دارد که آن‌ها بتوانند شکل‌های عجیبی از نیروی محرکه مثل پیشرانه ضدماده/ماده برای سفینه‌های فضایی خود تهیه کنند، تا سفرهای نزدیک به سرعت نور را امکان‌پذیر سازند. در اصل این شکل از انرژی بازده صد درصد دارد. این نیز از نظر آزمایشگاهی امکان‌پذیر است ولی برای تمدن نوع ۱ بسیار پرهزینه و گران قیمت است (ایجاد پرتویی از ضد پروتون‌ها برای ایجاد ضد اتم، به یک اتم‌شکن نیاز دارد).

ما تنها می‌توانیم در مورد چگونگی عملکرد تمدن نوع ۲خیال‌پردازی کنیم. با این حال هزاران سال زمان لازم است تا بتوانیم اختلافات موجود بر

سر دارایی‌ها، منابع و انرژی را طبقه‌بندی کنیم. تمدن نوع ۲ احتمالاً جاودانه است. به احتمال زیاد هیچ چیز شناخته شده‌ای از نظر علم نمی‌تواند چنین تمدنی را از بین ببرد؛ مگر با حماقت خود ساکنین آن. شهاب‌سنگ‌ها و دنباله‌دارها را می‌توان منحرف کرد، عصر یخبندان را می‌توان با تغییر الگوهای آب و هوایی به تعویق انداخت و حتی تهدید ناشی از یک انفجار ابرنواختری نزدیک را می‌توان تنها از طریق ترک سیاره وطن و منتقل کردن تمدن از سر راه گزند، نجات داد یا شاید از طریق دستکاری موتور هسته‌ای گرمازای ستاره در حال مرگ.

تمدن نوع ۳

زمانی که جامعه به سطح تمدن نوع ۳ دست می‌یابد، به انرژی‌های خارق‌العاده‌ای می‌اندیشد که در آن‌ها فضا و زمان ناپایدار می‌شوند. می‌دانید در انرژی پلانک اثرات کوانتومی حاکمند و فضا-زمان مملو از حباب‌ها و کرمچاله‌های کوچک است. به‌دلیل اینکه ما از دیدگاه یک تمدن نوع ۰/۷ به مسئله انرژی می‌نگریم، در حال حاضر انرژی پلانک بسیار فراتر از دسترس ماست. درحالیکه یک تمدن نوع ۳، به انرژی‌هایی دسترسی پیدا می‌کنند که برابر با ۱۰ میلیارد ۱۰ میلیارد (10^{20}) برابر انرژی‌هایی هستند که امروزه بر روی کره زمین یافت می‌شوند.

ستاره‌شناسی به نام یان کرافورد، از کالج دانشگاهی لندن، در مورد تمدن نوع ۳ اینگونه می‌نویسد: «اگر یک مجتمع مهاجرنشین معمولی فضایی را در فاصله ۱۰ سال نوری از زمین در نظر بگیریم و به‌علاوه سفینه‌ای با سرعت ده درصد سرعت نور در اختیار داشته باشیم، همچنین اگر دوره زمانی بین تاسیس مجتمع و توسعه و ارسال مجتمع‌های مهاجرنشین جدید از آن برابر ۴۰۰ سال باشد، آنگاه جبهه موج ایجاد چنین مجتمع‌های مهاجرنشینی با سرعت میانگین ۰/۰۲ سال نوری در سال توسعه خواهد یافت. از آنجا که عرض کهکشان برابر صدهزار سال نوری است، تسلط کامل بر آن بیش از پنج میلیون سال طول نخواهد کشید. اگرچه از نظر انسان این زمان طولانی است

ولی این تنها ۰/۰۵ عمر کهکشان است.»

دانشمندان تلاش‌های جدی انجام داده‌اند تا بتوانند تابش‌های رادیوئی ناشی از تمدن‌های نوع ۳ را در کهکشان ما آشکار کنند. تلسکوپ بزرگ رادیویی آرسیبو در پورتوریکو بخش اعظم کهکشان را به‌دنبال این تابش‌های رادیوئی با فرکانس ۱/۴۲ گیگاهرتز، یعنی نزدیک به خط تابش گاز هیدروژن، مورد پویش قرار داده است. هیچ‌گونه مدرکی دال بر وجود تابش رادیویی در باند انرژی تا $۱۰^{-۱۸}$ تا $۱۰^{۳۰}$ وات (یعنی از تمدن‌های نوع ۱/۲ تا ۱۱/۴) از هیچ تمدنی یافت نشد. با این حال این مسئله احتمال وجود تمدن‌هایی فراتر از فناوری ما، مثلاً از نوع ۰/۸ تا ۱/۱ یا بسیار بیشتر از این، مثل نوع ۱۱/۵ و فراتر از آن را منتفی نمی‌سازد.

همچنین احتمال وجود دیگر شکل‌های ارتباطی نیز منتفی نیست. به‌عنوان مثال، ممکن است تمدنی پیشرفته به‌جای امواج رادیویی، سیگنال‌ها را با استفاده از لیزر منتقل کند. یا در صورت استفاده از امواج رادیویی، ممکن است از فرکانس‌هایی غیر از ۱/۴۲ گیگاهرتز استفاده کند. مثلاً ممکن است سیگنال‌ها را در پهنای فرکانس‌های زیاد فرستاده و سپس در مقصد آن‌ها را مجدداً بر هم سوار کند. با استفاده از این روش، برخورد با یک ستاره در حال عبور یا توفان کیهانی، کل پیغام را مختل نمی‌سازد. این پیغام گسترده، تنها از حروف شکسته و نامفهوم تشکیل شده است. (مشابه پست الکترونیکی که در آن پیغام به بخش‌های متعددی شکسته شده و هر قطعه از طریق یک شهر متفاوت ارسال می‌شود. سپس در آخر، کل پیغام در رایانه شما مجدداً سرهم می‌شود.)

یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های تمدن نوع ۳، راه‌اندازی سیستم مخابراتی و ارتباطی است که بتواند کل کهکشان را به‌هم ارتباط دهد. این مسئله کاملاً به اینکه انسان‌های ساکن در یک جامعه دارای تمدن نوع ۳ به‌گونه‌ای (مثلاً از طریق کرمچاله‌ها) بتوانند به فناوری سریع‌تر از نور دست یابند وابسته است. اگر فرض کنیم به این فناوری دست نیابند، آنگاه به شدت از رشد باز خواهند ماند. فیزیکدانی به نام فریمن دیسون، با استناد به کار ژان مارک لِوی لِبلوند،

نتیجه می‌گیرد که چنین جامعه‌ای احتمالاً در جهان «کارول» زندگی می‌کند؛ که از نام لوئیس کارول گرفته شده است. دیسون می‌نویسد، در گذشته جوامع انسانی از قبائل کوچکی تشکیل می‌شدند که در آن‌ها فضا مطلق و زمان نسبی بود. یعنی برقراری ارتباط بین قبائل پراکنده غیرممکن بود و از زمان تولد، انسان‌ها تنها می‌توانستند در نزدیکی محل زندگی خود فعالیت کنند. قبائل مختلف به‌واسطه وسعت فضای مطلق از هم جدا می‌شدند. با ظهور انقلاب صنعتی، انسان وارد دنیای نیوتونی شد. در چنین دنیایی مفهوم زمان و فضا مطلق شدند. به‌این‌ترتیب انسان با اختراع چرخ و کشتی توانست ارتباط بین قبائل پراکنده در کشورهای مختلف را امکان‌پذیر سازد. در قرن بیستم، ما به جهان اینشتین وارد شدیم. در جهان اینشتین، فضا و زمان هردو نسبی هستند. به‌این‌ترتیب تلگراف، تلفن، رادیو و تلویزیون را اختراع کردیم که در نتیجه ارتباطات آنی به‌وجود آمد. یک تمدن نوع ۳ ممکن است یکبار دیگر به وضعیت جهان کارول بازگردد؛ مجتمع‌های فضایی که با فواصل گسترده بین ستاره‌ای از هم جدا شده و به‌دلیل محدودیت سرعت نور قادر به برقراری ارتباط با یکدیگر نیستند. برای جلوگیری از جدا و قطع شدن ارتباط این جهان‌های کارول، شاید لازم باشد تمدنی از نوع ۳ کرمچاله‌هایی بسازد و به‌این‌ترتیب ارتباطات سریع‌تر از نور را در سطوح زیراتمی امکان‌پذیر سازد.

تمدن نوع ۴

زمانی که یکبار در آسمان‌نمای شهر لندن سخنرانی می‌کردم، پسربچه‌ای ده ساله نزد من آمد و اصرار داشت که تمدن نوع ۴ باید وجود داشته باشد. وقتی که به او یادآوری کردم که سیارات، ستارگان و کهکشان‌ها تنها پایگاه‌های موجود هستند که شکل‌گیری حیات هوشمند را امکان‌پذیر می‌سازند، او ادعا کرد که تمدن نوع ۴ می‌تواند از قدرت پیوستگی استفاده کند.

دریافتم که او درست می‌گوید. در صورت وجود تمدن نوع ۴، منبع انرژی آن می‌تواند فراکهکشانی باشد؛ مثل انرژی تاریک که ۷۳ درصد محتویات ماده/انرژی جهان ما را تشکیل می‌دهد. اگرچه این انرژی به‌طور بالقوه

ذخیره‌ای هنگفت و تاکنون بزرگ‌ترین منبع انرژی جهان محسوب می‌شود، با این حال این میدان ضدگرانش در تمام فضای جهان گسترده شده و بنابراین در هر نقطه از فضا بسیار ضعیف است.

نیکولا تِسلا، نابغه الکتریسیته و رقیب ادیسون، یادداشت‌های بسیار زیادی در مورد برداشت انرژی خلأ نگاشته است. او عقیده داشت خلأ ذخایر هنگفتی از انرژی را در خود پنهان کرده است. به‌عقیده او اگر ما بتوانیم به نوعی از این انرژی نهفته بهره‌برداری کنیم، تغییرات اساسی در جامعه انسانی ایجاد خواهد شد. لازم به ذکر است که استخراج این انرژی شگفت‌آور شدیداً مشکل است. جستجوی طلا در اقیانوس‌ها را تصور کنید. احتمالاً نسبت به تمام طلاهای موجود در فورت ناکس و دیگر خزانه‌های جهان، طلای بیشتری در اقیانوس‌ها پراکنده شده است. با این حال هزینه استخراج این طلا در چنین پهنه وسیعی عاملی بازدارنده محسوب می‌شود. بنابراین طلای مدفون در اعماق اقیانوس‌ها هرگز استخراج نشده است.

به‌طور مشابه، انرژی پنهان تاریک، از محتوای کل انرژی ستارگان و کهکشان‌ها بیشتر است. با این حال این انرژی در طول میلیاردها سال نوری گسترده شده و جمع‌آوری آن مشکل است. اما از نظر قوانین فیزیک هنوز می‌توان تصور کرد که تمدن نوع ۳، که انرژی ستارگان را در کهکشان مصرف کرده است، ممکن است به نوعی سعی در بهره برداری از این انرژی کرده تا به تمدن نوع ۴ دست یابد.

طبقه‌بندی اطلاعات

نوع دیگری از طبقه‌بندی تمدن‌ها را می‌توان براساس فناوری‌های جدید انجام داد. شخصی به نام کارداشِف، در دهه ۱۹۶۰، این طبقه‌بندی اصلی را انجام داد؛ یعنی در زمان قبل از ظهور پدیده‌هایی مثل کوچک‌سازی رایانه، پیشرفت در فناوری نانو و اطلاع از مشکلات تخریب محیط زیست. یک تمدن پیشرفته می‌تواند، در پرتو این پیشرفت‌ها، با استفاده کامل از انقلاب اطلاعاتیِ که امروزه شاهد آن هستیم، به روشی کمی متفاوت راه پیشرفت را

در پیش بگیرد.

یک تمدن پیشرفته، در طول روند رشد نمایی خود، ممکن است با اتلاف گرما به‌طور خطرناکی دمای اتمسفر سیاره را بالابرده و مشکلاتی بحرانی ایجاد کند. کلونی‌های باکتری در یک ظرف کشت، به‌طور نمایی رشد می‌کنند، تا جایی‌که منابع غذایی را به اتمام رسانده و در زباله‌هایی که خود ایجاد کرده‌اند غرق می‌شوند. به‌طور مشابه، از آنجا که سفر فضایی برای قرن‌ها به‌همین شکل پرهزینه باقی خواهد ماند و همین‌طور تلاش برای تبدیل سیاره‌های نزدیک‌مان به چیزی شبیه زمین (البته در صورت امکان)، از نظر علمی و اقتصادی پردردسر است، بنابراین می‌توان گفت تمدن نوع ۱ که سعی در پیشرفت دارد، یا در گرمایی که خود ایجاد کرده از بین می‌رود یا چاره‌ای ندارد جز اینکه فرآورده‌های اطلاعاتی خود را کوچک و موثر سازد.

برای درک بهتر تاثیر این نوع کوچک‌سازی، مغز انسان را در نظر بگیرید. مغز انسان شامل ۱۰۰ میلیارد سلول عصبی است (به تعداد کهکشان‌های موجود در جهان مرئی) و تقریباً هیچ گرمایی ایجاد نمی‌کند. در حقیقت اگر یک مهندس رایانه بخواهد رایانه‌ای بسازد که بتواند همانند مغز ما به‌راحتی کوادریلیون‌ها بایت را در هر ساعت پردازش کند، احتمالاً به چندین متر مکعب فضا و یک مخزن آب برای خنک کردن نیاز خواهد داشت. جالب است که مغز ما می‌تواند در مورد مهم‌ترین افکار بدون نیاز به حتی یک قطره آب بیندیشد.

ساختار مولکولی و سلولی مغز این قابلیت را فراهم آورده است. نخست اینکه مغز ما به‌هیچ‌وجه یک رایانه نیست (به صورت یک ماشین تورینگ با نوار ورودی، نوار خروجی و یک پردازشگر مرکزی). مغز هیچ‌کدام از مواردی مثل سیستم عامل، ویندوز، پردازشگر مرکزی و تراشه پنتیم که ما اغلب در رایانه‌ها داریم، را ندارد. در عوض یک شبکه عصبی موثر است. ماشینی فراگیر، به این معنی که حافظه و الگوهای فکری، به‌جای اینکه در یک واحد پردازشگر مرکزی متمرکز شده باشند، در طول مغز توزیع شده‌اند. مغز حتی خیلی سریع هم محاسبه نمی‌کند، زیرا ماهیت پیام‌های الکتریکی

که به سلول‌های عصبی فرستاده می‌شوند، شیمیایی است. این امر جبران می‌شود، زیرا مغز می‌تواند پردازش موازی انجام دهد و کارهای جدید را با سرعت فوق‌العاده‌ای یاد بگیرد.

دانشمندان، برای بهبود بازده خالص رایانه‌های الکترونیکی، از ایده‌های بدیع استفاده می‌کنند. بسیاری از این ایده‌های بدیع که به ساخت نسل‌های بعدی رایانه‌های کوچک شده منجر می‌شوند، از طبیعت الهام گرفته می‌شوند. هم‌اکنون دانشمندان در پرینستون توانسته‌اند بر روی مولکول‌های DNA محاسبات انجام دهند (با DNA به‌عنوان بخشی از نوار رایانه‌ای رفتار می‌کنند که براساس صفر و یک نبوده، بلکه براساس چهار اسید نوکلئیک A، T، C و G بناشده است). این رایانه DNA توانست معمای فروشنده دوره‌گرد را برای شهرهای متعددی حل کند (بر طبق این معما کوتاه‌ترین مسیر متصل کننده N شهر به یکدیگر محاسبه می‌شود.) به‌طور مشابه هم‌اکنون در آزمایشگاه ترانزیستورهای مولکولی و حتی اولین رایانه‌های کوانتومی (که می‌توانند بر روی اتم‌های منفرد محاسبه کنند) نیز ساخته شده‌اند.

احتمالاً تمدن‌های پیشرفته با گسترش فناوری نانو، در مسیر رشد و توسعه راه‌های موثرتری را انتخاب می‌کنند تا دیگر مقادیر زیاد گرمای تلف شده حیات‌شان را به مخاطره نیندازد.

انواع مختلف A تا Z

ساگان، بر طبق محتویات اطلاعات تمدن‌های پیشرفته، روش دیگری را برای طبقه‌بندی آن‌ها ارائه کرده است. این طبقه‌بندی برای تمدن‌هایی که در اندیشه ترک این جهان هستند ضروری به‌نظر می‌رسد. به‌عنوان مثال تمدن نوع A، تمدنی است که 10^6 بیت اطلاعات را پردازش می‌کند. این تمدن ابتدایی است؛ هنوز دارای زبان نوشتاری‌نیست، اما زبان گفتاری دارد. برای فهمیدن اینکه در تمدن نوع A چه مقدار اطلاعات وجود دارد، ساگان از مثال‌های بازی بیست سوآلی استفاده کرده است. در این بازی شما باید یک شیء ناشناخته را با پرسیدن تنها بیست سوآل شناسایی کنید؛ سوآلاتی که

جواب آن‌ها تنها می‌تواند بله یا خیر باشد. یک روش این است که سوآل‌هایی بپرسید که جهان را به دو بخش بزرگ تقسیم کند. مثل اینکه «زنده است یا نه؟» به‌این ترتیب، پس از پرسیدن بیست سوآل، جهان را به، $۲^{۲۰}$، یا $۱۰^{۶}$ بخش، تقسیم کرده‌ایم. این همان مجموع محتوای اطلاعات تمدن نوع A است.

هربار که یک زبان نوشتاری جدید کشف می‌شود، مجموع محتوای اطلاعات به صورت انفجاری افزایش می‌یابد. بر طبق تخمین فیزیکدانی به نام فیلیپ موریسون از دانشگاه MIT، مجموع میراث نوشتاری که از زمان یونان باستان تاکنون باقی مانده است، در حدود $۱۰^{۹}$ بیت است؛ یعنی تمدن نوع C در طبقه‌بندی ساگان.

به‌همین ترتیب ساگان محتوای اطلاعات امروز ما را نیز تخمین زده است. با محاسبه تقریبی تعداد کتاب‌هایی که در تمام کتابخانه‌های جهان وجود دارند (در حدود ده‌ها میلیون) و تعداد صفحاتی که در هر کتاب وجود دارد، او محتوای اطلاعات فعلی ما را در حدود $۱۰^{۱۳}$ بیت تخمین زده است. اگر عکس‌ها را نیز در نظر بگیریم این عدد ممکن است به $۱۰^{۱۵}$ بیت نیز برسد. این نتیجه ما را در رده یک تمدن نوع H قرار می‌دهد. با در نظرگرفتن خروجی ناچیز انرژی و اطلاعات، می‌توان گفت ما در رده تمدن نوع ۰/۷ H قرار داریم.

ساگان عقیده دارد اولین برخورد ما با تمدن ماورای زمینی، احتمالاً با تمدنی از رده حداقل نوع ۱/۵ J یا ۱/۸ K خواهد بود. زیرا چنین تمدن‌هایی قبلاً به دینامیک سفرهای بین ستاره‌ای دست یافته‌اند. چنین تمدنی حداقل قرن‌ها تا هزاره‌ها، پیشرفته‌تر از ما خواهد بود. به‌طور مشابه می‌توان تمدن کیهانی نوع ۳ را از طریق ضرب محتوای اطلاعات هر سیاره در تعداد سیاره‌های موجود در کهکشان که قابلیت پشتیبانی از حیات را دارند، تعیین کرد. برطبق برآورد ساگان تمدن نوع ۳، در رده‌بندی جدید تمدن نوع Q خواهد بود. به‌این ترتیب، تمدنی پیشرفته که می‌تواند محتوای اطلاعات یک میلیارد کهکشان را به‌دست آورد (که بیانگر بخش بزرگی از جهان مرئی است)، دارای تمدنی از نوع Z خواهد بود.

محاسبه طبقه‌بندی تمدن‌های مختلف تنها یک تمرین دانشگاهی معمولی نیست. هر تمدنی که قصد ترک این جهان را داشته باشد، لزوماً باید بتواند شرایط موجود در طرف دیگر جهان را مورد محاسبه قرار دهد. حل معادلات اینشتین به وضوح دشوار است. زیرا برای محاسبه انحناء فضا در هر نقطه، باید مکان تمام اشیاء موجود در جهان را بدانیم که هرکدام به نوعی در انحنای فضا شرکت دارند.

همچنین لازم است تصحیحات کوانتومی[1] مربوط به سیاهچاله‌ها را بدانیم که در حال حاضر محاسبه آن‌ها مشکل است. از آنجا که محاسبه این تصحیحات برای رایانه‌های ما فوق‌العاده دشوار است، فیزیکدانان امروزی اغلب یک سیاهچاله را به صورت جهانی شامل یک ستاره فروپاشیده، تقریب می‌زنند. برای درک بهتر دینامیک موجود در افق رویداد یک سیاهچاله یا نزدیک به دهانه یک کرمچاله، لزوماً باید مکان و محتوای انرژی تمام ستارگان اطراف را بدانیم و سپس افت و خیزهای کوانتومی آن‌ها را محاسبه کنیم. در این مورد همچنین محاسباتی بسیار مشکل هستند. حل چنین معادلاتی برای یک ستاره تنها در یک جهان خالی به اندازه کافی مشکل است، چه برسد به وضعیتی که میلیاردها کهکشان در یک جهان متورم شناور باشند.

به‌همین دلیل هر تمدنی که تلاش دارد تا از درون یک کرمچاله سفر کند باید قدرت محاسباتی بسیار فراتر از یک تمدن نوع ۰/۷ H (مثل ما) داشته باشد. حداقل تمدن لازم، که محتویات اطلاعات و انرژی آن برای اندیشیدن به چنین سفری کافی باشد، یک تمدن نوع Q۳ است.

البته این امکان نیز وجود دارد که هوش بتواند فراتر از حدود طبقه‌بندی کارداشِف در جهان گسترش یابد. همان‌طور که لرد مارتین ریس می‌گوید: «با اینکه حیات در حال حاضر تنها اینجا بر روی کره زمین وجود دارد، کاملاً قابل درک است که در نهایت روزی در سراسر کهکشان و حتی فراتر از آن گسترده شود. بنابراین حیات برای همیشه یک اثر آلوده کننده کم اهمیت باقی نخواهد

1. Quantum Corrections

ماند؛ با اینکه الان هست. به‌نظر من اگر این دیدگاه به‌طور گسترده‌ای مورد پذیرش واقع شود، سودمند خواهد بود.» اما در عین حال او هشدار می‌دهد: «اگر خودمان را نابود کنیم، آنگاه استعدادهای واقعی کیهانی را از بین برده‌ایم. بنابراین حتی اگر عقیده داشته باشیم که در حال حاضر حیات در کره زمین منحصر به‌فرد است، به این معنی نخواهد بود که حیات قرار است برای همیشه بخش کم ارزشی از جهان باشد.»

یک تمدن پیشرفته چگونه به ترک جهان در حال مرگ می‌اندیشد؟ چنین تمدنی ناچار باید بر مجموعه‌ای از موانع بزرگ غلبه کند.

قدم اول: ایجاد و آزمایش یک نظریه برای همه چیز

اولین مانع برای تمدنی که در آرزوی ترک جهان است، تکمیل یک نظریه برای همه چیز است. چنین نظریه‌ای باید روشی را برای محاسبه مطمئن تصحیحات کوانتومی معادلات اینشتین در اختیار داشته باشد وگرنه هیچ‌کدام قابل استفاده نخواهند بود. خوشبختانه به‌دلیل سرعت بسیار بالای پیشرفت نظریه M و اینکه برخی از بهترین مغزها بر روی آن متمرکز شده‌اند، احتمالاً در طول چند دهه یا حتی کم‌تر به این واقعیت پی خواهیم برد که آیا این نظریه واقعاً نظریه‌ای برای همه چیز است یا برای هیچ چیز.

هر وقت نظریه همه چیز یا نظریه گرانش کوانتومی یافت شود، باید نتایج آن را با استفاده از فناوری پیشرفته مورد بررسی قرار دهیم. به این منظورکارهای مختلفی می‌توان انجام داد؛ مثلاً: ساخت اتم‌شکن‌های بزرگ برای تولید اَبَرذرات یا ساخت آشکارسازهای عظیم امواج گرانشی که در فضا یا بر روی اقمار مختلف منظومه شمسی قرار داده می‌شوند. (اقمار مختلف برای مدت زمان‌های طولانی، به دور از فرسایش و مزاحمت‌های جوی، کاملاً پایدار هستند. بنابراین یک آشکارساز سیاره‌ای امواج گرانشی، قادر خواهد بود جزئیات انفجار بزرگ را مورد بررسی قرار داده و به‌این‌ترتیب به پرسش‌های ما در مورد گرانش کوانتومی و ساخت یک جهان جدید پاسخ

دهد.)

هرگاه یک نظریه گرانش کوانتومی یافت شده و اتم‌شکن‌های عظیم به‌همراه آشکارسازهای امواج گرانشی، صحت آن را مورد تائید قرار دادند، آنگاه می‌توانیم به برخی از سوآلات مهم در ارتباط با معادلات اینشتین و کرمچاله‌ها، پاسخ دهیم:

۱. آیا کرمچاله‌ها پایدار هستند؟

در مواجهه با یک سیاهچاله چرخان کر، مشکل اینجاست که حضور شما، پایداری سیاهچاله را بر هم می‌زند. به‌این‌ترتیب ممکن است، قبل از عبور از درون یک پل اینشتین-روزن سیاهچاله فرو بپاشد. محاسبات مربوط به پایداری باید در پرتو تصحیحات کوانتومی مجدداً مورد بازبینی قرار گیرند، که ممکن است خود منجر به تغییر کلی محاسبات شوند.

۲. آیا واگرایی‌هایی نیز وجود دارند؟

اگر از درون دو کرمچاله گذرپذیر که دو دوره زمانی را به‌هم متصل می‌کند عبور کنیم، ممکن است انباشتگی تابش اطراف ورودی کرمچاله نامحدود شود که می‌تواند فاجعه‌بار باشد. (به این دلیل که تابش می‌تواند با عبور از درون یک کرمچاله در زمان به عقب بازگردد و پس از گذشت سال‌های زیادی باز گشته تا بار دیگر وارد کرمچاله شود. این فرایند می‌تواند به تعداد نامحدودی تکرار شود و بنابراین باعث انباشتگی نامحدود تابش شود. راه حل این مشکل می‌تواند اینگونه باشد که اگر نظریه جهان‌های‌متعدد برقرار باشد، آنگاه هربار که تابش از درون یک کرمچاله عبور کند جهان، خود به دو جهان منشعب شده و دیگر انباشتگی نامحدود تابش اتفاق نخواهد افتاد. برای پاسخ به چنین سوآل ظریفی به نظریه همه چیز نیاز داریم.)

۳. آیا می‌توان مقادیر زیادی انرژی منفی یافت؟

انرژی منفی که از عوامل کلیدی در ایجاد و پایدارسازی کرمچاله‌ها محسوب

می‌شود، در حقیقت در مقادیر بسیار کوچکی وجود دارد. آیا بالاخره خواهیم توانست برای باز کردن و پایدار نگاه داشتن یک کرمچاله به اندازه کافی انرژی منفی جمع آوری کنیم؟

با فرض اینکه بالاخره روزی به این پرسش‌ها پاسخ داده خواهد شد، می‌توان گفت که یک تمدن پیشرفته احتمالاً به اینکه چگونه می‌تواند جهان را ترک کند به‌طور جدی خواهد اندیشید.

قدم دوم: یافتن کرمچاله‌ها و سفیدچاله‌هایی که به‌طور طبیعی رخ می‌دهند

این امکان وجود دارد که کرمچاله‌ها، بُعدگذرها و ریسمان‌های کیهانی به‌طور طبیعی در فضا ایجاد شده باشند. ممکن است در لحظه انفجار بزرگ، زمانی که مقادیر عظیمی از انرژی در جهان آزاد گردید، کرمچاله‌ها و ریسمان‌های کیهانی، به‌طور طبیعی شکل گرفته باشند. سپس این امکان وجود دارد که در طی فرایند تورم این کرمچاله‌ها تا ابعاد بزرگ مقیاس گسترش یافته باشند. به‌علاوه، این احتمال نیز وجود دارد که ماده نا آشنا، یا ماده منفی، به‌طور طبیعی در فضا وجود داشته باشد. این مسئله به‌مقدار زیادی به هرگونه تلاش برای ترک یک جهان رو به مرگ کمک می‌کند. با این حال، هیچ تضمینی وجود ندارد که چنین اجسامی حتماً در طبیعت وجود داشته باشند. هیچ کس تاکنون هیچ کدام از آن‌ها را ندیده است. بنابراین نمی‌توان در مورد سرنوشت نهایی تمام حیات هوشمند، بر روی این فرض حساب کرد

احتمال دیگری نیز وجود دارد که با جستجو در آسمان‌ها بتوان «سفیدچاله» یافت. سفیدچاله، یکی از پاسخ‌های معادله اینشتین است که در آن، زمان برعکس شده است؛ به‌این‌ترتیب که همانگونه که اشیاء به درون یک سیاهچاله کشیده می‌شوند، از درون یک سفیدچاله به بیرون رانده می‌شوند. یک سفیدچاله احتمالاً در انتهای دیگر یک سیاهچاله یافت می‌شود. بنابراین ماده‌ای که به یک سیاهچاله وارد می‌شود، در نهایت از درون یک سفیدچاله بیرون می‌آید. تاکنون در تمام جستجوهای نجومی هیچ مدرکی دال بر وجود

سفیدچاله‌ها یافت نشده است، اما احتمالاً نسل آینده با استفاده از آشکارسازهای فضایی بالاخره وجود یا عدم وجود آن‌ها را مشخص خواهد کرد.

قدم سوم: ارسال یک کاوشگر به درون سیاهچاله

فواید مسلمی در استفاده از چنین سیاهچاله‌هایی به‌عنوان کرمچاله وجود دارد. آن‌طور که دریافته‌ایم سیاهچاله‌ها در جهان به وفور یافت می‌شوند. بنابراین هر تمدن پیشرفته‌ای پس از غلبه بر مشکلات متعدد فنی به سیاهچاله‌ها جداً به‌عنوان یک دریچه فرار از جهان ما خواهد نگریست. همچنین در هنگام عبور از درون یک سیاهچاله، دیگر با این مسئله که نمی‌توانیم به زمانی قبل از ساخت ماشین زمان برگردیم محدود نمی‌شویم. سیاهچاله موجود در وسط حلقه کر می‌تواند جهان ما را به جهان‌های دیگر کاملاً متفاوت یا به نقاط مختلف در همین جهان متصل کند. تنها راه برای مشخص کردن این موضوع انجام آزمایش با استفاده از کاوشگر و همچنین استفاده از یک ابَررایانه برای انجام محاسبات مربوط به توزیع اجرام در جهان‌ها و محاسبه تصحیحات کوانتومی مربوط به معادلات اینشتین از درون کرمچاله است.

در حال حاضر اغلب فیزیکدانان عقیده دارند که انجام سفر از درون یک سیاهچاله می‌تواند مرگبار باشد. با این حال، درک ما از فیزیک سیاهچاله‌ها هنوز در مراحل ابتدایی خود قرار دارد و این مفهوم تاکنون هیچ‌گاه مورد آزمایش قرار نگرفته است. فرض کنید که سفر از درون یک سیاهچاله و به‌طور خاص از درون یک سیاهچاله چرخان کر امکانپذیر باشد. در این صورت هر تمدن پیشرفته‌ای به‌طور جدی به مسئله کاوش در بخش‌های داخلی سیاهچاله خواهد اندیشید.

از آنجا که سفر به درون یک سیاهچاله، سفری بدون بازگشت بوده و همچنین به‌دلیل وجود خطرات متعدد در نزدیکی سیاهچاله، یک تمدن پیشرفته احتمالاً سعی می‌کند پس از یافتن یک سیاهچاله نزدیک، نخست

کاوشگری را به‌درون آن بفرستد. کاوشگر می‌تواند تا قبل از اینکه از افق رویداد عبور کند اطلاعات ارزشمندی را ارسال کند. اما پس از عبور از افق رویداد تمام ارتباطات قطع می‌شود. (به احتمال زیاد به‌دلیل وجود میدان تابش شدید، سفر در ورای افق رویداد مرگبار خواهد بود. پرتوهای نوری که به درون سیاهچاله سقوط می‌کنند، دچار انتقال به آبی شده و بنابراین با نزدیک شدن به مرکز، انرژی بیشتری کسب می‌کنند.) هر کاوشگری که از نزدیک افق رویداد عبور کند باید پوششی برای محافظت در مقابل این سد شدید تابش داشته باشد. به‌علاوه، این امر احتمالاً سیاهچاله را ناپایدار می‌کند؛ طوری که افق رویداد به یک تکینگی تبدیل شده، کرمچاله بسته می‌شود. کاوشگر می‌تواند به دقت تعیین کند چه مقدار تابش در نزدیکی افق رویداد وجود دارد و اینکه آیا کرمچاله می‌تواند علی‌رغم وجود تمام این جریان انرژی پایدار بماند یا نه.

اطلاعات ارسال شده قبل از اینکه کاوشگر وارد افق رویداد شود باید به فضاپیمای مجاور مخابره شود. اما از این بابت نیز مشکل دیگری وجود دارد. از نظر ناظری که در فضاپیما قرار دارد به‌نظر می‌رسد که کاوشگر با نزدیک شدن به افق رویداد در زمان آهسته‌تر به پیش می‌رود. در واقع به‌نظر می‌رسد در زمان ورود به افق رویداد کاوشگر در زمان متوقف شده است. برای جلوگیری از این مشکل، کاوشگر ناچار است داده‌های خود را تا فاصله مشخصی قبل از افق رویداد مخابره کند. در غیر اینصورت، حتی سیگنالهای رادیویی چنان دچار انتقال به سرخ می‌شوند که داده‌ها غیرقابل استفاده می‌گردند.

قدم چهارم: ساخت یک سیاهچاله به صورت حرکت آهسته

وقتی با استفاده از کاوشگر مشخصات سیاهچاله در نزدیکی افق رویداد آن معلوم شد، قدم بعدی احتمالاً ساخت یک سیاهچاله به صورت حرکت آهسته برای اهداف آزمایشگاهی خواهد بود. احتمالاً تمدنی از نوع ۳ تلاش

خواهد کرد تا نتایج پیش‌بینی شده در مقاله اینشتین را به‌دست آورد ــ اینکه سیاهچاله‌ها هرگز نمی‌توانند از ذرات و غبار در حال چرخش ایجاد شوند. اینشتین سعی کرد نشان دهد که مجموعه‌ای از ذرات چرخان، به خودی خود به قطر شوارتسشیلد دست نمی‌یابند (و بنابراین امکان شکل‌گیری سیاهچاله از این طریق غیرممکن است).

اجرام در حال چرخش، به خودی خود متراکم نمی‌شوند و در نتیجه سیاهچاله نمی‌سازند. اما این امکان وجود دارد که به‌طور مصنوعی ماده و انرژی جدیدی را به آهستگی به‌درون سیستم در حال چرخش تزریق کرده و به‌این‌ترتیب باعث شد که ماده به‌تدریج از قطر شوارتسشیلد عبور کند. یک تمدن، با استفاده از این روش می‌تواند شکل‌گیری سیاهچاله‌ای را به صورت کنترل شده انجام دهد.

به‌عنوان مثال، تمدن نوع ۳ را در نظر بگیرید که مجموعه‌ای از ستاره‌های نوترونی را در کنترل و تصرف خود دارد. فرض کنید این ستاره‌های نوترونی در حدود ابعاد شهر منهتن بوده، اما جرم آن‌ها بیشتر از جرم خورشید ما باشد. فرض کنید مجموعه در حال چرخشی از این ستاره‌ها شکل گرفته باشد. به‌تدریج گرانش، این ستاره‌ها را به یکدیگر نزدیک می‌کند. اما همان‌طور که اینشتین نشان داده است، هیچ‌گاه به قطر شوارتسشیلد نخواهند رسید. در این نقطه، دانشمندان تمدن پیشرفته به دقت ستاره‌های نوترونی جدیدی را به این ترکیب تزریق می‌کنند. این‌کار تعادل را بر هم زده و باعث می‌شود که این جرم در حال چرخش از مواد نوترونی، به قطر شوارتسشیلد فرو بریزد. در نتیجه مجموعه ستارگان به حلقه‌ای چرخان، به نام سیاهچاله کر، تبدیل می‌شوند. چنین تمدنی با کنترل سرعت و قطر ستاره‌های نوترونی مختلف می‌تواند سیاهچاله کر را وادار کند تا با سرعت دلخواه باز شود.

در حالت دیگری، ممکن است تمدن پیشرفته‌ای ستاره‌های نوترونی کوچک را با هم یکی کرده تا به ابعاد سه برابر جرم خورشیدی برسند؛ این ابعاد با دقت کمی برابر با حد چاندراشکر برای ستاره‌های نوترونی است. پس از این حد، ستاره به‌واسطه گرانش خود از درون منفجر شده و به

سیاهچاله تبدیل می‌شود. (این تمدن پیشرفته باید مراقب باشد که ساخت سیاهچاله به‌این‌ترتیب منجر به ایجاد انفجار شبه ابرنواختری نشود. تراکمی که به ایجاد سیاهچاله منجر می‌شود باید به دقت و آهستگی صورت پذیرد.

البته برای هرکسی که از افق رویداد عبور می‌کند شکی وجود ندارد که سفری بی‌بازگشت را در پیش گرفته است. اما برای تمدنی پیشرفته که با انهدام مسلم مواجه است، انجام سفری بی‌بازگشت ممکن است تنها راه موجود باشد. این‌بار هم مشکل تابش حین عبور از افق رویداد وجود دارد. پرتوهای نوری که ما را همراهی می‌کنند، در هنگام عبور از افق رویداد، با افزایش فرکانس پر انرژی‌تر می‌گردند. این خود منجر به ایجاد رگباری از تابش می‌شود که برای فضانورد در حال عبور از افق رویداد، مرگبار است. بنابراین تمدن پیشرفته ناچار است مقدار دقیق این تابش را محاسبه کرده و محفظه‌های مناسبی برای جلوگیری از اثرات آن بر روی فضانورد تهیه کند.

در آخر، مشکل پایداری وجود دارد: آیا کرمچاله موجود در مرکز حلقه کر، به اندازه کافی پایدار هست تا بتوان به‌طور کامل از میان آن عبور کرد؟ از آنجا که ناچاریم از نظریه کوانتومی گرانش برای انجام محاسبات مناسب استفاده کنیم، ریاضیات این پرسش کاملاً مشخص نیست. ممکن است اینطور به‌دست آید که حلقه کر، هنگامی که ماده به‌درون کرمچاله سقوط می‌کند، تنها تحت شرایط مشخص بسیار محدودی، پایدار باشد. این مسئله باید با استفاده از ریاضیات گرانش کوانتومی و آزمایش‌های انجام گرفته بر روی خود سیاهچاله به دقت پاسخ داده شود.

به‌طور خلاصه، عبور از میان سیاهچاله بدون شک سفری بسیار مشکل و پرمخاطره خواهد بود. تا زمانی که آزمایش‌های گسترده و محاسبات مربوط به تمام تصحیحات کوانتومی انجام نگرفته باشد، به‌طور نظری نمی‌توان این احتمال را رد کرد.

قدم پنجم: ساخت جهان نوزاد

تاکنون فرض بر این بود که عبور از میان سیاهچاله امکان‌پذیر است. حال

فرض کنیم که سیاهچاله‌ها آنقدر ناپایدار و مملو از تابش‌های مهلک باشند که این‌کار امکان‌پذیر نباشد. در این‌صورت ممکن است روش حتی مشکل‌تری مطرح شود: ساخت جهان نوزاد. این عقیده که تمدنی پیشرفته راه گریزی به جهان دیگر می‌یابد، فیزیکدانانی مثل آلن گوث را تحت تاثیر خود قرار داده است. می‌دانیم که نظریه تورم به شدت به ایجاد خلأ کاذب متکی است. به‌همین دلیل گوث با خود اندیشید که شاید برخی تمدن‌های آتی بتوانند به‌طور ساختگی خلأ کاذب ایجاد کنند و به‌این ترتیب در آزمایشگاه، جهان نوزادی بسازند.

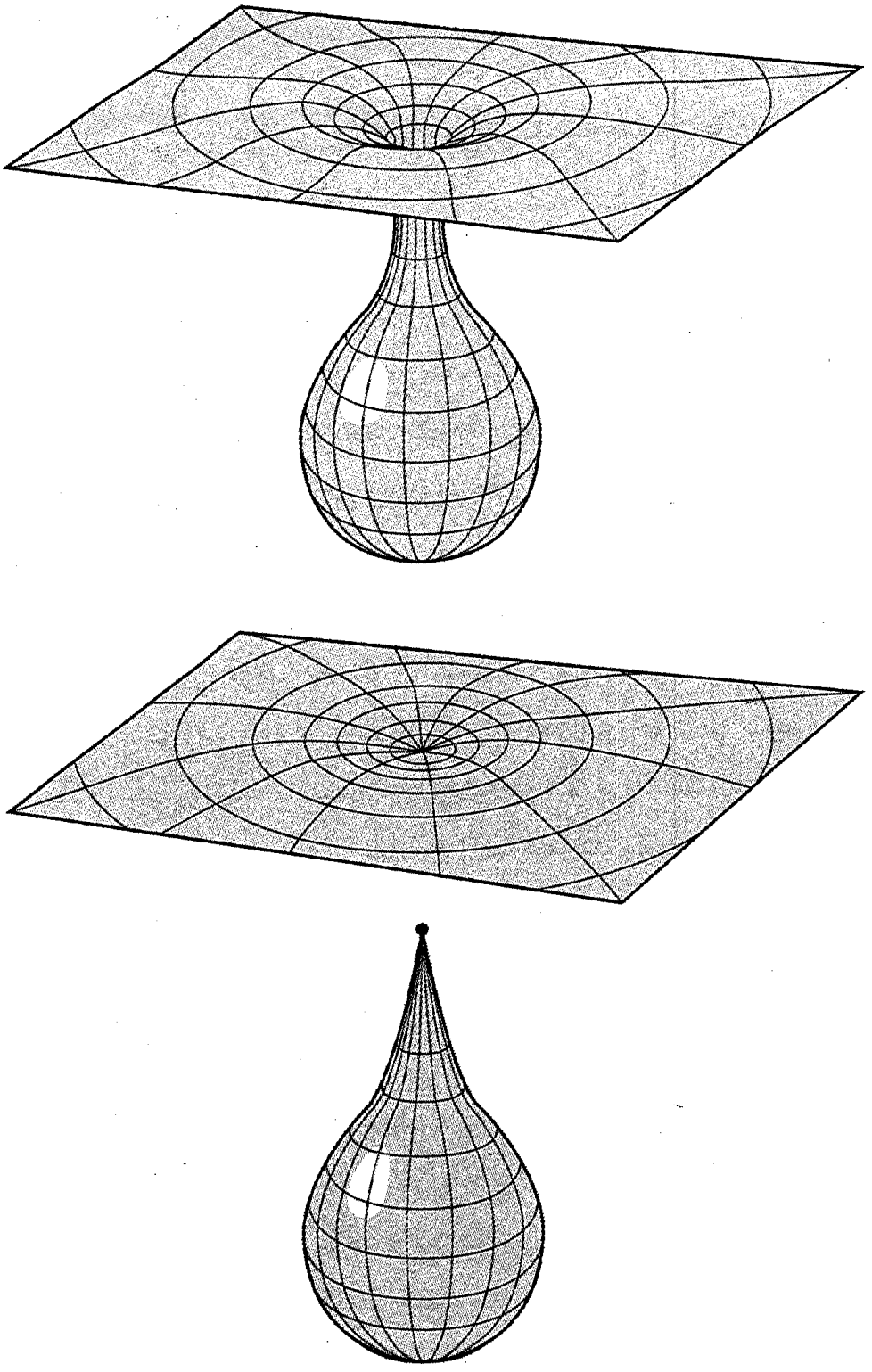
در نگاه اول ممکن است ایده ساخت جهان نامعقول به‌نظر آید. با این وجود، آن‌طور که گوث نشان داده است، برای ساخت جهانی مثل جهان ما نیاز به 10^{89} فوتون، 10^{89} الکترون، 10^{89} پوزیترون، 10^{89} نوترینو، 10^{89} ضدنوترینو، 10^{89} پروتون و 10^{89} نوترون خواهد بود. درحالی‌که انجام این‌کار سخت و بعید به‌نظر می‌رسد، گوث به ما یادآوری می‌کند که اگرچه محتویات ماده/انرژی یک جهان مقدار زیادی است، ولی به‌وسیله انرژی منفی ناشی از گرانش متعادل می‌شود. به‌این‌ترتیب، کل مقدار خالص ماده/انرژی می‌تواند به‌مقدار تنها چند گرم باشد. گوث گوشزد می‌کند که: «آیا قوانین فیزیک ما را قادر می‌سازند تا به‌دلخواه خود جهانی جدید بسازیم؟ برای این‌کار متأسفانه بلافاصله با مانع مزاحمی مواجه خواهیم شد: از آنجا که کره‌ای از خلأ کاذب به قطر 10^{-26} سانتی‌متر، دارای جرمی برابر ۳۰ گرم است، چگالی آن برابر 10^{80} گرم بر سانتی‌متر مکعب خواهد بود! اگر جرم تمام دنیای مرئی ما را بتوان تا اندازه چگالی خلأ کاذب فشرده نمود، آنگاه جهان تماماً در حجمی کوچک‌تر از یک اتم جای خواهد گرفت!» خلأ کاذب، ناحیه‌ای از فضا-زمان است که در آن یک ناپایداری رخ داده و شکافی در فضا-زمان رخ می‌دهد. احتمالاً تنها چند ده گرم ماده، درون خلأ کاذب برای ساخت یک جهان نوزاد کافی خواهد بود. اما این مقدار کم ماده باید تا ابعاد بسیار بسیار کوچک متراکم و فشرده شود.

با این حال هنوز روش دیگری برای ساخت جهانی نوزاد وجود دارد.

بخش کوچکی از فضا را می‌توان تا دمای $۱۰^{۲۹}$ درجه کلوین گرم کرده و سپس سریعاً آن را خنک نمود. می‌توان حدس زد که در این دما، فضا ـ زمان ناپایدار می‌شود؛ جهان‌های حبابی کوچک شروع به شکل‌گیری نموده و یک خلأ کاذب ایجاد می‌شود. این جهان‌های کوچک، که البته همواره شکل می‌گیرند ولی عمر کوتاهی دارند، ممکن است در آن دما تبدیل به جهان‌های حقیقی گردند. این پدیده، در میدان‌های الکتریکی معمولی نیز مشاهده می‌شود. (به‌عنوان مثال، اگر میدان الکتریکی به اندازه کافی بزرگی ایجاد کنیم، زوج مجازی الکترون ـ ضدالکترون که دائماً در خلأ ایجاد شده و از بین می‌روند، می‌توانند ناگهان حقیقی شده و وارد دنیای واقعی شوند. بنابراین انرژی متمرکز، در فضایی خالی می‌تواند ذرات مجازی را وارد دنیای واقعی کند. به‌طور مشابه، اگر به اندازه کافی انرژی به نقطه‌ای اعمال کنیم، به‌طور نظری استدلال می‌شود که جهان‌های نوزاد مجازی ممکن است از هیچ ظاهر شده و وارد دنیای واقعی شوند.)

فرض کنید که دستیابی به چنان دما و چگالی غیرقابل تصوری امکان‌پذیر باشد. در این‌صورت شکل‌گیری جهان نوزاد ممکن است به‌این ترتیب رخ دهد: در جهان ما، می‌توان از قدرت پرتوهای لیزر و ذرات برای فشرده ساختن و بالا بردن دمای مقدار کوچکی ماده تا حد انرژی‌ها و دماهای خارق‌العاده استفاده کرد. ما احتمالاً هرگز شاهد شکل‌گیری جهان نوزادی نخواهیم بود. زیرا چنین جهانی بیشتر در «طرف دیگر» تکینگی شروع به رشد می‌کند، تا در جهان ما. این جهان نوزاد جدید قادر است از طریق نیروی ضدگرانش خود، در فرافضا متورم شده و از درون جهان ما جوانه بزند. بنابراین ما هرگز شکل‌گیری جهان جدید را در طرف دیگر تکینگی نخواهیم دید. اما از طرفی یک کرمچاله می‌تواند، مثل بند ناف، ما را به جهان نوزاد متصل کند.

به‌هرحال، در فرایند ساخت یک جهان در کوره، خطراتی وجود دارد. بندنافی که جهان ما را به جهان نوزاد متصل می‌کند عاقبت تبخیر شده و تابش هوکینگ آن معادل یک انفجار هسته‌ای ۵۰۰ کیلوتنی، تقریباً ۲۵ برابر انرژی



یک تمدن پیشرفته می‌تواند به روش‌های متعددی به‌طور مصنوعی جهانی نوزاد بسازد. در روشی، تنها چند ده گرم ماده را می‌توان تا چگالی‌ها و انرژی‌های فوق‌العاده زیاد متراکم کرد و در روش دیگر، می‌توان ماده را تا نزدیکی دمای پلانک گرم نمود.

بمب هیروشیما، خواهد بود. بنابراین طبیعی است که باید بهای ساخت

جهانی جدید در کوره را پرداخت کرد.

آخرین مشکلی که در ایده ساخت خلأ کاذب با آن مواجه هستیم این است که جهان در این حالت به‌راحتی می‌تواند به سیاهچاله تبدیل شود. سیاهچاله‌ای که می‌دانیم مهلک است. دلیل این امر، قضیه پِنروز است، که بیان می‌دارد برای طیف گسترده‌ای از شرایط، هر جرم متراکم به اندازه کافی بزرگی به‌ناچار رُمبش کرده به یک سیاهچاله تبدیل می‌شود. از آنجا که معادلات اینشتین، معکوس‌پذیر زمانی هستند، یعنی می‌توانند در زمان هم به جلو رفته و هم به عقب باز گردند، نتیجه می‌گیریم هر ماده‌ای که از جهان نوزاد به بیرون بیفتد، می‌تواند در زمان به عقب رفته و در نتیجه منجر به ایجاد یک سیاهچاله شود. بنابراین برای ساخت جهانی نوزاد، باید به اندازه کافی دقت کرد تا از رخ دادن قضیه پِنروز جلوگیری شود.

قضیه پِنروز بر این فرض استوار است که ماده در حال رمبش، دارای انرژی مثبت است (مثل مواد آشنایی که در اطراف خود می‌بینیم). اما اگر انرژی یا ماده منفی داشته باشیم، این قضیه درهم می‌شکند. بنابراین حتی در طرح تورمی برای ساخت یک جهان نوزاد، همانند مورد کرمچاله گذرپذیر، نیاز به تهیه انرژی منفی داریم.

قدم ششم: ساخت اتم‌شکن‌های غول‌پیکر

چگونه می‌توانیم با دسترسی نامحدود به فناوری برتر ماشینی بسازیم که بتواند این جهان را ترک کند؟ در چه نقطه‌ای می‌توانیم انتظار داشته باشیم که نیروی انرژی پلانک را در تصرف خود در آوریم؟ زمانی که تمدنی بتواند به وضعیت تمدن نوع ۳ دست یابد، حتماً قدرت تولید انرژی پلانک را نیز داراست. در آن زمان دانشمندان بر کرمچاله‌ها تسلط داشته و قادرند انرژی کافی را برای باز کردن کرمچاله در فضا و زمان جمع‌آوری کنند.

روش‌های متعددی برای انجام این کار توسط تمدنی پیشرفته وجود دارند. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره کردم، جهان ما می‌تواند پوسته‌ای باشد که با جهان موازی شناور در ابرفضا تنها یک میلی متر فاصله داشته باشد. اگر این درست

باشد، آنگاه برخورد دهنده بزرگ هادرون در سال‌های آینده قادر خواهد بود آن را شناسایی کند. زمانی که ما به تمدن نوع ۱ برسیم، حتی ممکن است فناوری لازم برای کاوش در طبیعت این جهان همسایه را داشته باشیم. بنابراین مسئله برقراری ارتباط با یک جهان موازی، دیگر ایده‌ای دور از ذهن نخواهد بود.

اما فرض کنید اثرات کوانتومی گرانش که در انرژی پلانک ظاهر می‌شوند، کوادریلیون‌ها بار بزرگ‌تر از انرژی برخورد دهنده بزرگ هادرون باشد. برای دستیابی به انرژی پلانک، تمدن نوع ۳ باید اقدام به ساخت اتم‌شکنی در مقیاس فوق‌العاده بزرگ کند. در اتم‌شکن‌ها یا شتابدهنده‌های ذره، ذرات زیراتمی درون یک لوله حلقوی حرکت داده می‌شوند. با تزریق انرژی به درون لوله، ذرات تا انرژی‌های بسیار بالایی شتاب می‌گیرند. اگر از آهن‌ربای بزرگی استفاده کنیم تا مسیر ذرات را به شکل دایره بزرگی خم کنیم، آنگاه می‌توانیم ذرات را تا انرژی تریلیون‌ها الکترون ولت شتاب دهیم. هرچه قطر این دایره بزرگ‌تر باشد، انرژی باریکه بیشتر خواهد بود. طول دایره برخورد دهنده بزرگ هادرون برابر ۲۷ کیلومتر است که مرز انرژی در دسترس را به سمت تمدن نوع ۰/۷ به جلو می‌راند.

اما برای تمدن نوع ۳ این امکان به‌وجود می‌آید که بتواند اتم‌شکنی در ابعاد منظومه خورشیدی یا حتی سیستم ستاره‌ای بسازد. این امکان وجود دارد که تمدن نوع ۳ بتواند باریکه‌ای از ذرات زیراتمی را به‌درون فضا شلیک کرده و تا حد انرژی پلانک به آن‌ها سرعت دهد. همان‌طور که گفتیم با استفاده از نسل جدید شتاب‌دهنده‌های لیزری، در عرض تنها چندین دهه فیزیکدانان قادر خواهند بود شتابدهنده رومیزی بسازند که بتواند در فاصله‌ای برابر ۱ متر، به ۲۰۰ گیگا الکترون ولت (۲۰۰ میلیارد الکترون ولت) دست یابد. با پشت سرهم قرار دادن این شتاب دهنده‌های رومیزی، امکان دستیابی به انرژی‌هایی که در آن‌ها ساختار فضا ـ زمان ناپایدار می‌شود به‌وجود می‌آید.

اگر فرض کنیم که شتاب دهنده‌های رومیزی در آینده بتوانند تنها در هر متر انرژی ذرات را به اندازه ۲۰۰ گیگا الکترون ولت افزایش دهند، که البته فرضی محافظه‌کارانه است، در این‌صورت برای دستیابی به انرژی پلانک به

شتابدهنده‌ای با طول ده سال نوری نیاز خواهیم داشت. اگرچه این عدد از نظر تمدن نوع ۱ یا حتی نوع ۲ قابل دست‌یابی نیست ولی در محدوده توانایی‌های تمدن نوع ۳ قرار می‌گیرد. تمدن نوع ۳ به‌منظور ساخت چنین اتم‌شکن غول‌پیکری هم می‌تواند مسیر باریکه را به صورت دایره خم کرده و در نتیجه در فضا به‌طور قابل توجهی صرفه‌جویی کند و هم می‌تواند مسیر خطی را حفظ کند که در این‌صورت به‌راحتی تا نزدیک‌ترین ستارگان کشیده خواهد شد.

به‌عنوان مثال ممکن است بتوان اتم‌شکنی ساخت که ذرات زیراتمی را در یک مسیر دایره‌ای درون کمربند خرده سیارک‌ها به‌حرکت درآورد. در این صورت دیگر نیازی به ساخت پرهزینه لوله حلقوی نخواهد بود. زیرا خلأ موجود در فضا، از هر خلأی که بتوانیم روی زمین بسازیم بهتر است. اما در این صورت لازم است آهن‌رباهای بسیار بزرگی ساخته شود تا در فواصل منظم بر روی اقمار و خرده سیارک‌های منظومه شمسی یا هر سیستم ستاره‌ای قرار گیرند، تا به‌طور پیوسته مسیر باریکه را خم کنند.

وقتی باریکه به نزدیکی یکی از این اقمار یا خرده سیارک‌ها می‌رسد، آهن‌رباهای بزرگ واقع روی آن‌ها به آن ضربه زده، به‌مقدار کمی مسیر حرکت باریکه را تغییر می‌دهند. (این ایستگاه‌های واقع بر اقمار یا خرده سیارک‌ها، همچنین باید مجدداً باریکه را در فواصل معینی متمرکز نمایند، زیرا باریکه در طول مسیر حرکت خود به‌تدریج واگرا می‌شود.) مسیر باریکه پس از عبور از اقمار متعدد به‌تدریج قوس برداشته و در نهایت به شکل تقریباً دایره‌ای در می‌آید. همچنین می‌توان دو باریکه را در نظر گرفت که یکی در جهت عقربه‌های ساعت و دیگری در خلاف جهت عقربه‌های ساعت به‌دور منظومه شمسی حرکت می‌کنند. پس از برخورد این دو باریکه، انرژی آزاد شده از طریق برخورد ماده/ضدماده، می‌تواند به انرژی پلانک نزدیک شود. (میدان مغناطیسی لازم برای خم کردن چنین باریکه قدرتمندی بسیار فراتر از فناوری امروز ما است. با این‌حال این امکان وجود دارد که تمدن پیشرفته‌ای بتواند با استفاده از مواد منفجره موج قدرتمندی از انرژی را گسیل کرده، یک پالس مغناطیسی قوی ایجاد کند. این انفجار عظیم انرژی مغناطیسی تنها

می‌تواند برای یکبار اتفاق بیفتد. زیرا به احتمال زیاد آزاد شدن انرژی، سیم پیچ‌ها را تخریب خواهد کرد و بنابراین باید قبل از اینکه باریکه ذرات در دور بعدی مجدداً بازگردد، آهن‌رباها را به سرعت باید تعویض کرد.

علاوه بر مشکلات فراوان مهندسی برای ساخت چنین اتم‌شکن‌هایی این سوآل ظریف نیز وجود دارد که آیا مرزی برای انرژی یک باریکه ذره وجود دارد یا نه. هر باریکه پر انرژی از ذرات سرانجام با فوتون‌های تابش پس‌زمینه ۲/۷ درجه کلوین برخورد کرده و بنابراین انرژی خود را از دست خواهد داد. در حقیقت ممکن است این کاهش انرژی به حدی باشد که بتوان برای انرژی کسب شده در فضا یک سقف محاسبه کرد. این مسئله هنوز آزمایش نشده است. (در حقیقت نشانه‌هایی وجود دارد که برخوردهای پر انرژی پرتو کیهانی از این سقف فراتر رفته‌اند و به‌این‌ترتیب تمام محاسبات با شک و تردید مواجه شده است.) با این حال اگر این موضوع حقیقت داشته باشد، در این‌صورت نیاز به بهبود پرهزینه لوازم و تجهیزات خواهد بود. نخست اینکه برای محافظت در مقابل تابش پس‌زمینه ۲/۷ درجه باید کل باریکه را در یک تیوب خلأ قرار داد. از طرف دیگر اگر آزمایش در آینده دور صورت پذیرد، ممکن است در آن زمان تابش پس‌زمینه به حدی ضعیف شده باشد که دیگر مشکلی ایجاد نکند.

قدم هفتم: ساخت مکانیزم‌های انفجار از داخل

می‌توان ابزار دیگری تصور کرد که براساس پرتو لیزر و مکانیزم انفجار از داخل عمل می‌کند. در طبیعت دماها و فشارهای بسیار زیاد از طریق روش انفجار از داخل حاصل می‌شوند؛ همانگونه که ستاره رو به مرگی ناگهان تحت نیروی گرانش می‌رمبد. دلیل آن این است که گرانش همیشه نیروی جذب کننده است و نه دفع کننده. بنابراین رمبش به صورت یکنواخت رخ می‌دهد و در نتیجه ستاره به‌طور یکنواخت تا حد چگالی‌های فوق‌العاده زیاد فشرده می‌شود. بازسازی روش انفجار از داخل بر روی کره زمین بسیار مشکل است. به‌عنوان مثال بمب‌های هیدروژنی باید همانند یک ساعت سویسی

طراحی شوند؛ به‌گونه‌ای که لیتیم دوتراید، عنصر فعال بمب هیدروژنی، تا ده‌ها میلیون درجه فشرده شود تا به حد لاوسون، که در آن فرایند همجوشی (گداخت) اتفاق می‌افتد، برسد. (این کار از طریق منفجر کردن یک بمب اتمی در مجاورت لیتیم دوتراید و سپس متمرکز کردن پرتو X بر روی قطعه‌ای از لیتیم دوتراید انجام می‌پذیرد.) با این حال این فرایند تنها می‌تواند انرژی را به صورت انفجاری آزاد کند نه کنترل شده.

تلاش برای متراکم کردن گاز هیدروژن غنی شده با استفاده از مغناطیس روی کره زمین با شکست مواجه شده است. زیرا مغناطیس، گاز را به‌طور یکنواخت فشرده و متراکم نمی‌کند. میدان‌های مغناطیسی مثل میدان مغناطیسی کره زمین همه دو قطبی هستند و ما هرگز در طبیعت با یک تک قطبی مواجه نشده‌ایم. در نتیجه میدان‌های مغناطیسی به شدت غیریکنواخت هستند. استفاده از آن‌ها برای فشردن گاز، مثل تلاش برای فشردن یک بادکنک است. هر طرف بادکنک را که بفشارید، طرف دیگر آن باد می‌کند.

یک راه دیگر برای تحت کنترل در آوردن فرایند همجوشی می‌تواند استفاده از تعدادی تابشگر لیزر باشد که بر سطح یک کره قرار گرفته و به صورت شعاعی بر روی قرصی از لیتیم دوتراید به سمت مرکز شلیک می‌کنند. به‌عنوان مثال در آزمایشگاه ملی لیورمور، دستگاه لیزر/همجوشی قدرتمندی وجود دارد که برای شبیه‌سازی سلاح‌های هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه دنباله‌ای از پرتوهای لیزر را به صورت افقی به‌درون تونلی شلیک می‌کند. آنگاه آئینه‌های قرار گرفته در انتهای تونل به دقت هر پرتو را منعکس کرده، به نحوی که پرتوها به صورت شعاعی بر روی یک قرص کوچک هدایت می‌شوند. سطح قرص سریعاً تبخیر شده و باعث می‌شود قرص از درون منفجر شود. این انفجار منجر به ایجاد دماهای بسیار بالا می‌شود. در حقیقت با استفاده از این روش فرایند همجوشی در نزدیکی مرکز قرص مشاهده شده است. (البته این ماشین بیشتر از آنچه تولید می‌کند انرژی مصرف می‌نماید و در نتیجه توجیه اقتصادی ندارد.

به‌طور مشابه می‌توان تصور کرد که تمدن نوع ۳ بتواند بر روی خرده

سیارک‌ها و اقمار سیستم‌های ستاره‌ای مختلف، تابشگرهای قدرتمند لیزر تاسیس کند. این مجموعه به‌طور هم‌زمان دنباله‌ای از پرتوهای قدرتمند لیزری شلیک می‌کند که در یک نقطه همگرا می‌شوند. به‌این ترتیب دماهایی را ایجاد می‌کنند که در آن‌ها فضا و زمان ناپایدار می‌گردند.

به لحاظ نظری محدودیتی برای انرژی پرتو لیزر وجود ندارد. با این حال در مسیر ساخت لیزرهای پر انرژی، مشکلات عملی متعددی وجود دارد. یکی از این مشکلات اساسی، پایداری ماده تابشگر لیزر است که اغلب در انرژی‌های بالا برافروخته شده و ترک بر می‌دارد. (چاره آن ایجاد پرتو لیزر از طریق انفجارهایی است که مثل انفجارهای هسته‌ای تنها یکبار رخ می‌دهند.)

هدف از افروختن این مجموعه کروی شکل تابشگر لیزر، گرم کردن محفظه است تا درون آن خلأ کاذب ایجاد شود، یا فشردن انفجاری مجموعه‌ای از صفحات است تا بتوان از طریق اثر کاسیمیر انرژی منفی ایجاد کرد. برای ساخت چنین وسیله‌ای به منظور تهیه انرژی منفی، باید مجموعه‌ای از صفحات کروی را تا ابعاد طول پلانک (10^{-33} سانتی‌متر) فشرده کرد. با توجه به اینکه حداقل فاصله بین اتم‌ها برابر 10^{-8} سانتی‌متر و فاصله بین پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته برابر 10^{-13} سانتی‌متر است، می‌بینیم که فشرده‌سازی این صفحات باید فوق‌العاده زیاد باشد. از آنجا که توان کل که می‌توان بر روی یک پرتو لیزر انباشته کرد نامحدود است، مشکل اصلی ساخت ابزاری است که این فشردگی فوق‌العاده را تحمل کند. (از آنجا که اثر کاسیمیر بین صفحات یک نیروی جاذبه قوی ایجاد می‌کند، ناچاریم به صفحات بار الکتریکی اضافه کنیم تا از فروپاشی آن‌ها جلوگیری کنیم.) در اصل، درون این لایه‌های کروی که جهان رو به مرگ ما را به جهانی جوان‌تر و بسیار گرم‌تر متصل می‌کند، کرمچاله‌ای ایجاد خواهد شد.

قدم هشتم: ساخت یک ماشین Warp drive

یکی از موارد کلیدی لازم برای ساخت تجهیزاتی که در بالا توضیح داده شد، قابلیت سفر در فواصل بی‌کران بین ستاره‌ای است. یک راه برای انجام این‌کار

استفاده از ماشین Warp drive آلکوبیر است. این ماشین اولین‌بار به‌وسیله فیزیکدانی به نام مارگوئل آلکوبیر در سال ۱۹۹۴ پیشنهاد شد. ماشین Warp drive توپولوژی فضا را تغییر نمی‌دهد و به ابرفضا وارد نمی‌شود؛ این ماشین فضای مقابل شما را منقبض و فضای پشت سر شما را گسترش داده از هم باز می‌کند. فرض کنید می‌خواهید برای رسیدن به یک میز از روی فرش عبور کنید. به‌جای عبور از روی فرش می‌توانید طنابی را به میز قلاب کرده و آن را به طرف خود بکشید. با این کار فرش جلوی پای شما چروک می‌شود. به‌این‌ترتیب شما تنها به‌مقدار کمی جابجا شده‌اید ولی در عوض فضای مقابل شما منقبض شده است.

فراموش نکنید که فضا می‌تواند با سرعتی بیشتر از سرعت نور منبسط شود (به این دلیل که هیچ اطلاعات خالصی را نمی‌توان از طریق انبساط فضای خالی انتقال داد). به‌طور مشابه ممکن است بتوان از طریق منقبض کردن فضا با سرعتی بیشتر از سرعت نور، سریع‌تر از نور حرکت کرد. به‌این ترتیب برای سفر به ستارگان مجاور، ممکن است اصلاً کره زمین را ترک نکنیم، بلکه تنها فضای مقابل خود را منقبض کرده و فضای پشت سر را از هم باز کنیم. به‌جای اینکه به آلفا ـ قنطورس سفر کنیم (نزدیک‌ترین ستاره به زمین)، در عوض این ستاره را نزد خود می‌آوریم

آلکوبیر نشان داد که این پاسخی معتبر برای معادلات اینشتین است، به این معنی که در محدوده قوانین فیزیک می‌گنجد. اما بهای آن نیز باید به نحوی پرداخته شود. باید برای قدرت بخشیدن به فضاپیما مقادیر زیادی از هر دو انرژی مثبت و منفی را به خدمت گرفت. (از انرژی مثبت می‌توان برای فشرده کردن فضای مقابل و از انرژی منفی برای باز کردن فضای پشت سر استفاده کرد.) برای استفاده از اثر کاسیمیر در ایجاد انرژی منفی، صفحات باید به اندازه فاصله پلانک، یعنی 10^{-33} سانتی‌متر، از هم جدا شوند. دستیابی به این فاصله کم با استفاده از ابزارهای معمولی امکان‌پذیر نیست. برای ساختن چنین فضاپیمایی لازم است حباب کره‌ای بزرگی بسازیم و مسافران را درون آن قرار دهیم. به دور استوای این حباب باید نواری از انرژی

منفی قرار دهیم. مسافران درون حباب هرگز حرکت نمی‌کنند، ولی در عوض فضای مقابل حباب با سرعتی بیشتر از سرعت نور منقبض خواهد شد؛ به نحوی که در زمان خروج مسافران از حباب، آن‌ها در می‌یابند که به ستاره مجاور رسیده‌اند.

آلکوبیر در مقاله اصلی خود خاطرنشان کرد که پاسخ او نه تنها می‌تواند ما را به ستارگان مجاور برساند، بلکه ممکن است سفر در زمان را نیز امکان‌پذیر کند. دو سال بعد، فیزیکدانی به نام آلن اِوِرت نشان داد که اگر دو تا از این فضاپیما داشته باشیم، قادر خواهیم بود از طریق اِعمال پیاپی Warp drive به سفر در زمان تحقق بخشیم. همان‌طور که فیزیکدانی به نام گات از پرینستون گفته است: «بنابراین به‌نظر می‌رسد که جین رودنبری، خالق سریال پیشتازان فضا، در مورد گنجاندن سفرهای زمانی در سریال کاملاً حق داشته است!»

اما بررسی‌های بعدی انجام شده توسط فیزیکدان روسی، سِرگِئی کراسنیکوف، وجود یک نقص فنی را در این راه حل آشکار ساخت. او نشان داد که ارتباط فضای درون فضاپیما با فضای بیرون آن قطع است، به‌گونه‌ای که پیغام‌ها نمی‌توانند از این مرز عبور کنند. یعنی در صورتیکه درون فضاپیما باشید قادر نخواهید بود مسیر آن را تغییر دهید و در نتیجه مسیر حرکت باید قبل از انجام سفر مشخص شود. این مسئله مایوس کننده است. به بیان دیگر این امکان وجود ندارد که شما فرمان را بچرخانید و مسیری برای فضاپیما تعیین کنید. چنین فضاپیمای فرضی می‌تواند فقط به‌عنوان یک خط ریلی عمل کند؛ سیستمی بین ستاره‌ای که در آن فضاپیماها در مسیرهای معینی حرکت می‌کنند. به‌عنوان مثال می‌توان ابتدا از موشک‌های معمولی که با سرعت‌های زیر سرعت نور حرکت می‌کنند برای ساخت ایستگاه‌های ریلی در فواصل منظم بین ستارگان استفاده کرد. سپس فضاپیماها با سرعتی بیشتر از سرعت نور، براساس جدول زمانی مشخص، بین این ایستگاه‌ها حرکت خواهند کرد.

گات می‌نویسد: «امکان دارد که در آینده یک اَبَرتمدن بخواهد درست همان‌طور که پیوندهای کرمچاله‌ای بین ستارگان برقرار کند، مسیرهای Warp drive را برای جابجایی فضاپیماها بین ستارگان ایجاد کند. ایجاد شبکه‌ای از

مسیرهای Warp drive می‌توانند از شبکه‌های ساخته شده از کرمچاله‌ها آسان‌تر باشد. زیرا Warp drive ها به‌جای ایجاد سوراخ‌های جدید برای اتصال مناطق دوردست به یکدیگر، تنها فضای موجود را تغییر می‌دهند.»

اما از چنین فضاپیمایی نمی‌توان برای ترک این جهان استفاده کرد، چون همواره در همین جهان حرکت می‌کند. با این حال، پیشرانه آلکوبیر می‌تواند به ساخت وسیله‌ای برای ترک این جهان کمک کند. چنین فضاپیمایی می‌تواند مفید واقع شود. به‌عنوان مثال، در ساخت ریسمان‌های کیهانی برخوردکننده که به‌وسیله گات مطرح شد و می‌تواند تمدن پیشرفته‌ای را به گذشته خودش، یعنی زمانی که جهان گرم‌تر بود، باز گرداند.

قدم نهم: استفاده از انرژی منفی حالات فشرده

در بخش پنجم مطرح شد که پرتوهای لیزر می‌توانند «حالات فشرده» ایجاد کنند که از آن‌ها می‌توان در تولید ماده منفی استفاده کرد. ماده منفی به نوبه خود می‌تواند به‌منظور بازکردن و پایدار نگاه داشتن کرمچاله‌ها مورد استفاده قرار بگیرد. زمانی که پالس قدرتمند لیزر با مواد نوری بخصوصی برخورد می‌کند، در مسیر خود زوج‌های فوتون به جای می‌گذارد. این فوتون‌ها، متناوباً باعث افزایش و کاهش در افت و خیزهای کوانتومی موجود در خلأ شده و در نتیجه پالس‌های انرژی مثبت و منفی ایجاد می‌کنند. مجموع این دو پالس انرژی همواره مقداری مثبت خواهد بود، طوری که قوانین شناخته شده فیزیک نقض نمی‌شوند.

در سال ۱۹۷۸، فیزیکدانی به نام لارنس فورد از دانشگاه تافت، سه قانونی را که این انرژی منفی باید از آن‌ها تبعیت کند به اثبات رساند. از آن زمان تاکنون این قوانین به موضوع پژوهش‌ها و تحقیقات سخت و شدید بدل شده‌اند. فورد نخست دریافت که مقدار انرژی منفی موجود در یک پالس با مقادیر فضایی و زمانی آن نسبت عکس دارد. به این معنی که هرچه پالس انرژی منفی قوی‌تر باشد، مدت زمان آن کم‌تر است. به‌این‌ترتیب اگر ما برای گشودن یک کرمچاله، با استفاده از لیزر انفجار بزرگی از انرژی منفی ایجاد

کنیم، تنها می‌تواند مدت زمان بسیار کمی دوام بیاورد. دوم اینکه پالس منفی همواره به‌دنبال خود پالس انرژی مثبت، با دامنه بزرگ‌تر، خواهد داشت (به نحوی که مجموع در نهایت مثبت است). سوم اینکه هرچه فاصله بین این دو پالس بیشتر باشد پالس مثبت بزرگ‌تر است.

با احتساب این سه قانون عمومی، می‌توان شرایطی را تعیین کرد که تحت آن‌ها پرتو لیزر با صفحات کاسیمیر بتوانند انرژی منفی تولید کنند. نخست باید پالس انرژی منفی را از پالس انرژی مثبت متعاقب آن جدا کرد. برای انجام این‌کار پرتو لیزر به‌درون جعبه‌ای تابانده شده و دقیقاً پس از اینکه پالس انرژی منفی به‌درون جعبه وارد شد، دریچه ورود پرتو بسته می‌شود. در نتیجه، تنها پالس انرژی منفی به جعبه وارد می‌شود. در اصل می‌توان مقادیر بزرگ انرژی منفی را که متعاقب آن پالس انرژی مثبت بزرگتری نیز قرار دارد (که در پشت دریچه متوقف می‌شود)، به‌این‌ترتیب استخراج کرد. فاصله بین دو پالس می‌تواند بسیار بزرگ باشد؛ به بزرگی انرژی پالس مثبت. به لحاظ نظری، این روش ایده‌آلی برای تولید مقادیر نامحدود انرژی منفی برای ماشین زمان یا کرمچاله است.

متأسفانه، در اینجا اشکالی هست. عملیات بستن دریچه، خود منجر به ایجاد پالس انرژی مثبت دیگری درون جعبه می‌شود. به‌این‌ترتیب اگر پیشگیری‌های خاصی صورت نپذیرد، پالس انرژی منفی از بین می‌رود. این مسئله برای تمدنی پیشرفته تا زمانی که موفق به حل آن نشده است، به صورت مشکلی فنی باقی خواهد ماند؛ یعنی جداکردن پالس انرژی منفی قوی از پالس انرژی مثبت متعاقب آن، بدون داشتن یک پالس ثانویه که منجر به از بین رفتن پالس انرژی منفی شود.

این سه قانون را می‌توان به اثر کاسیمیر نیز اعمال کرد. برای ساختن کرمچاله‌ای به اندازه یک متر، انرژی منفی باید در فاصله حداکثر $۱۰^{-۲۲}$ متر متمرکز شده باشد (یک میلیونیم اندازه یک پروتون). در این مورد نیز، تنها یک تمدن فوق‌العاده پیشرفته قادر است به فناوری لازم برای دستیابی به این ابعاد و فواصل زمانی فوق‌العاده کوچک برسد.

قدم دهم: انتظار برای گذار کوانتومی

همان‌طور که در فصل ۱۰ مشاهده کردیم، موجودات هوشمندی که با سرد شدن تدریجی جهان مواجه هستند، ممکن است لازم باشد بسیار آهسته‌تر فکر کرده و برای مدت زمان‌های طولانی به حالت خواب (شبیه به خواب زمستانی) فرو روند. فرایند کاهش سرعت تفکر می‌تواند برای تریلیون‌ها تریلیون سال ادامه داشته باشد؛ مدت زمان کافی برای رخ دادن رویدادهای کوانتومی. به‌طور معمول، ما ایجاد جهان‌های حبابی و گذار به دیگر جهان‌های کوانتومی را نمی‌بینیم، زیرا این رویدادها خیلی به ندرت رخ می‌دهند. با این حال ممکن است موجودات هوشمند مرحله پنجم چنان آهسته فکر کنند که رخداد این رویدادهای کوانتومی برای‌شان نسبتاً معمولی و پیش پا افتاده شود. از نظر ذهنی احتمالاً زمان برای آن‌ها کاملاً معمولی می‌گذرد. اما مقیاس زمانی حقیقی چنان طولانی خواهد بود که رویدادهای کوانتومی به وقایعی معمول تبدیل می‌شوند.

در این صورت چنین موجوداتی ناچارند صبر کنند تا با پیداشدن یک کرمچاله یا یک گذر کوانتومی به جهان دیگری بگریزند. (اگرچه از نظر چنین موجوداتی ممکن است رخ‌دادن گذرهای کوانتومی بسیار معمولی باشد، اما مشکل اینجاست که این تحولات کوانتومی کاملاً غیرقابل پیش‌بینی هستند. چون دقیقاً نمی‌دانیم دروازه عبور چه زمانی باز می‌شود یا اینکه به کجا منتهی می‌شود، انتقال به جهان دیگر بسیار مشکل خواهد بود. این موجودات احتمالاً باید به محض باز شدن یک کرمچاله از فرصت استفاده کرده و قبل از اینکه فرصت بررسی کامل ویژگی‌های آن را پیدا کنند، برای فرار به جهان دیگر اقدام نمایند.)

قدم یازدهم: امید آخر

برای لحظه‌ای تصور کنید که تمام آزمایش‌ها آتی در زمینه کرمچاله‌ها و سیاهچاله‌ها با مشکل ظاهراً غیرقابل حلی مواجه شوند: اینکه، تنها

کرمچاله‌های پایدار آن‌هایی باشند که ابعاد میکروسکوپی تا زیراتمی دارند. همچنین فرض کنید که در طول سفر واقعی از درون یک کرمچاله، حتی با وجود یک مخزن محافظ، فشارهای غیرقابل تحملی بر بدن ما اعمال شود. انواع مشکلات مختلف، مثل نیروهای کشندی شدید، میدان‌های تابش، گرد و غبار پیش‌رو، هرکدام خود می‌توانند مرگ آور باشند. اگر این مسئله درست باشد، برای حیات هوشمند آینده در جهان ما، تنها یک گزینه باقی خواهد ماند: تزریق اطلاعات کافی به‌درون جهانی جدید برای ایجاد مجدد تمدن ما در طرف دیگر کرمچاله.

در طبیعت، وقتی موجودات زنده با شرایط خطرناکی مواجه می‌شوند، گاهی با استفاده از روش‌های مبتکرانه‌ای خود را زنده نگه می‌دارند. برخی پستانداران به خواب زمستانی فرو می‌روند. برخی ماهی‌ها و قورباغه‌ها دارای مواد شیمیایی ضدانجماد در مایع درون بدن‌شان هست که آن‌ها را زنده نگه می‌دارد. قارچ‌ها با تغییر شکل دادن به صورت هاگ، از انقراض می‌گریزند. به‌طور مشابه ممکن است موجودات زنده راهی را برای تغییر وجود فیزیکی خود بیابند، تا بتوانند در سفر به جهان دیگر زنده بمانند.

درخت بلوط را در نظر بگیرید که چگونه دانه‌های خود را در تمام جهات پخش می‌کند. دانه‌های درخت بلوط: ۱) کوچک، جهنده و فشرده هستند؛ ۲) حاوی تمام محتویات DNA درخت هستند؛ ۳) به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که تا فاصله مشخصی از درخت مادر پرتاب شوند؛ ۴) دارای غذای کافی برای شروع فرایند تولید مثل در سرزمین دور هستند؛ ۵) آن‌ها با مصرف انرژی و ماده مغذی خود و موجود در خاک، ریشه زده و در سرزمین جدید زندگی خود را آغاز می‌کنند. به‌طور مشابه یک تمدن می‌تواند با استفاده از پیشرفته‌ترین فناوری نانو موجود در میلیاردها سال آینده، با تقلید از طبیعت، «دانه» خود را به‌درون کرمچاله فرستاده و هرکدام از این ویژگی‌های مهم را در مقصد مجدداً ایجاد کند.

آن‌طور که استیون هوکینگ گفته است: «به‌نظر می‌رسد... که نظریه کوانتوم سفر در زمان را در مقیاس میکروسکوپی مجاز می‌داند.» اگر نظر هوکینگ

حقیقت داشته باشد، اعضای یک تمدن پیشرفته می‌توانند با استفاده از ترکیب کربن با سیلیکون و تنزل آگاهی به اطلاعات خالص، وجود فیزیکی خود را به چیزی که تحمل سفر دشوار به زمان گذشته یا به جهانی دیگر را داشته باشد تبدیل کنند. در بررسی‌های نهایی معلوم شده است که بدن کربنی ما احتمالاً برای تحمل مشکلات فیزیکی چنین سفرهایی بیش از حد ضعیف و شکننده است. در آینده بسیار دور ممکن است بتوانیم با استفاده از مهندسی پیشرفته DNA، فناوری نانو و روباتیک، آگاهی و خرد خود را در بدن‌های روباتیک جای دهیم. البته ممکن است با توجه به استانداردهای امروزی این مسئله عجیب به‌نظر برسد، ولی برای تمدنی که میلیون‌ها تا تریلیون‌ها سال پس از این زندگی می‌کند، ممکن است این تنها راه زنده ماندن باشد.

شاید روزی لازم شود انسان‌ها در چنین تمدنی، مغز و ویژگی‌های شخصی خود را مستقیماً درون ماشین جای دهند. این کار را می‌توان به روش‌های متعددی انجام داد. می‌توان نرم افزار پیچیده‌ای تهیه کرد که قادر باشد تمام فرایند تفکر ما را نسخه برداری کرده و تکثیر کند؛ به نحوی که شخصیتی یکسان با شخصیت ما داشته باشد. بلندپروازانه‌تر از این برنامه‌ای است که به‌وسیله هانس موراوِس، از دانشگاه کارنگی-مِلون پیشنهاد شد. او ادعا می‌کند در آینده دور ممکن است بتوانیم ساختار مغز خود را، سلول به سلول، بر روی ترانزیستور سیلیکونی مجدداً ایجاد کرده هر اتصال عصبی در مغز را با یک ترانزیستور متناظر جایگزین نمود و بنابراین از عملکرد سلول‌های‌عصبی درون یک رویات نسخه‌برداری کرد.

از آنجا که نیروهای کشندی و میدان‌های تابش قوی خواهند بود، تمدن‌های آتی ناچارند حداقل مقدار ممکن سوخت، پوشش حفاظتی و مواد غذایی لازم برای ایجاد مجدد نمونه‌هایی از ما را در طرف دیگر کرمچاله، با خود حمل کنند. ممکن است روزی بتوان با استفاده از فناوری نانو زنجیره‌های بسیار کوچک را درون وسیله‌ای حداکثر به اندازه یک سلول قرار داد و به درون کرمچاله فرستاد.

اگر کرمچاله بسیار کوچک باشد، مثلاً در مقیاس یک اتم، دانشمندان

ناچارند نانو لوله‌های طویلی را که از اتم‌های مستقل ساخته شده‌اند به‌درون آن‌ها بفرستند. این نانو لوله‌ها حاوی انبوهی از اطلاعات کدگذاری شده خواهند بود که برای ایجاد مجدد نمونه کاملی در طرف دیگر کافی باشند. اگر کرمچاله تنها در ابعاد یک ذره زیراتمی باشد، دانشمندان ناچارند روشی را بیابند که ذرات هسته‌ای را به درون کرمچاله بفرستند تا با جذب الکترون‌ها در طرف دیگر خودشان را به صورت اتم‌ها و مولکول‌ها بازسازی‌کنند. اگر یک کرمچاله حتی از آن هم کوچک‌تر باشد، شاید بتوان از پرتوهای لیزر با طول موج کوتاه، ساخته شده از پرتوهای X یا گاما، برای ارسال کدهای پیچیده به درون کرمچاله استفاده کرد و به‌این‌ترتیب دستورالعمل مربوط به چگونگی ساخت مجدد تمدن را به طرف دیگر منتقل نمود.

هدف از چنین انتقالی، ساخت یک نانوروبات میکروسکوپی در طرف دیگر کرمچاله است که ماموریت آن یافتن محیطی مناسب برای ایجاد مجدد تمدن ما خواهد بود. از آنجا که این ساختار در مقیاس اتمی ساخته خواهد شد، برای یافتن سیاره مناسب، دیگر نیاز به موشک‌های قدرتمند و مقادیر زیاد سوخت نخواهد بود. در حقیقت، چنین ساختاری می‌تواند به‌راحتی به سرعت‌های بالا دست یابد؛ به این دلیل که رساندن ذرات زیراتمی به نزدیکی سرعت نور، با استفاده از میدان‌های الکتریکی، نسبتاً آسان است. به‌علاوه از آنجا که محتویات اصلی نانوروبات، تنها اطلاعات خالص لازم برای بازتولید یک نسل است، دیگر نیازی به‌وجود شرایط حیات یا هرگونه ابزار زمخت نخواهد بود.

هر زمان که این نانوروبات سیاره جدید را بیابد، با استفاده از مواد خام موجود در سیاره کارخانه‌ای بزرگ برای تولید نسخه‌های مشابه خود می‌سازد و آزمایشگاه بزرگ شبیه‌سازی را برپا می‌کند. در این آزمایشگاه می‌توان زنجیره‌های DNA را ایجاد کرده و سپس با تزریق آن‌ها به‌درون سلول‌ها، همه موجودات زنده و در نهایت تمام گونه‌ها را بازسازی کرد. سپس این سلول‌ها در آزمایشگاه به موجود کامل و بالغی تبدیل می‌شوند که حافظه و شخصیت انسان اصلی در مغز آن جای‌گذاری می‌شود.

این فرایند به تزریق DNA ما (محتویات کامل اطلاعات تمدن نوع ۳ یا

بیشتر) به درون یک «سلول تخم» شباهت دارد، که حاوی دستورالعمل‌های ژنتیک برای ایجاد جنینی در طرف دیگر است. این «تخم بارور شده»، کم حجم، محکم و متحرک بوده ولی در عین حال حاوی کل اطلاعات لازم برای بازتولید یک تمدن نوع ۳ خواهد بود. یک سلول انسانی معمولی حاوی ۳۰,۰۰۰ ژن است که بر روی سه میلیارد زوج DNA قرار گرفته‌اند. با این حال این اطلاعات مختصر، برای ایجاد مجدد انسانی کامل با استفاده از منابع خارج از اسپرم (مواد غذایی که به‌وسیله مادر تهیه می‌شود)، کافی است. به‌طور مشابه «تخم کیهانی» شامل مجموع اطلاعات لازم برای ایجاد مجدد تمدنی پیشرفته خواهد بود؛ به‌گونه‌ای که منابع مورد نیاز برای انجام این‌کار (مواد خام، حلال‌ها، فلزات و...) در طرف دیگر یافت خواهند شد. به‌این‌ترتیب، تمدن پیشرفته‌ای مثل تمدن نوع Q۳، احتمالاً قادر است با استفاده از فناوری قدرتمند خود، اطلاعات کافی برای بازتولید تمدن خود (در حدود $۱۰^{۲۴}$ بیت اطلاعات) را در طرف دیگر، به‌درون کرمچاله بفرستد.

لازم است متذکر شوم، هرکدام از قدم‌هایی که در این فرایند به آن‌ها اشاره شد، آنقدر فراتر از قدرت امروز ما هستند که باید به آن‌ها به صورت داستان علمی تخیلی نگاه کرد. اما میلیاردها سال بعد، برای یک تمدن نوع Q۳ در حال انقراض، ممکن است این تنها راه نجات باشد. مطمئناً در قوانین فیزیک یا زیست‌شناسی چیزی وجود ندارد که بتواند جلوی این رخداد را بگیرد. به‌نظر من مرگ نهایی جهان ما لزوماً معادل مرگ هوش نخواهد بود. البته، اگر امکان ارسال هوش از جهانی به جهان دیگر وجود داشته باشد، این امکان نیز وجود خواهد داشت که نوعی از حیات در جهان ما، در مواجهه با انجماد بزرگ، به بخش دوردستی از همین جهان که گرم‌تر و پذیراتر است نقب بزند.

به بیان دیگر، نظریه میدان یکپارچه به‌جای اینکه تنها یک کنجکاوی زیبا باشد، ممکن است سرانجام طرح اولیه را برای زنده ماندن حیات هوشمند در جهان تهیه کند.

فصل ۱۲ فراتر از جهان چندگانه

کتاب مقدس به ما می‌آموزد که چگونه به عرش راه پیدا کنیم، ولی نمی‌گوید که عرش چگونه راه به پیش می‌برد.
ـ کاردینال بارونیوس
تکرار شده توسط گالیله در دادگاه

چرا حتماً باید چیزی وجود داشته باشد، درحالی‌که می‌تواند هیچ چیز نباشد؟ دغدغه‌ای که ساعت همیشه در حرکت ماوراء الطبیعه را به پیش می‌راند، این اندیشه است که نیستی جهان به همان اندازه محتمل است که هستی آن.
ـ ویلیام جیمز

عمیق شدن در اسرار، زیباترین تجربه‌ای است که می‌توانم کسب کنم. این هیجان بنیادی بشر است که در گهواره علم و هنر حقیقی قرار می‌گیرد. هرکس که این را نداند و بیش از این هیجان زده و شگفت زده نشود، انگار که مرده و فروغ چشمانش به خاموشی گرائیده است.
ـ آلبرت اینشتین

توماس هاکسلی، در سال ۱۸۶۳ نوشته است: «بزرگ‌ترین درگیری ذهنی انسان‌ها، یعنی مشکلی که در پس تمام مشکلات دیگر نهفته و از همه جالب توجه‌تر است، تعیین جایگاه انسان در طبیعت و رابطه او با کیهان است.»

هاکسلی در زمان خود به «بولداگ داروین» (سگ نگهبان داروین) معروف شده بود؛ کسی که به شدت از نظریه تکامل در مقابل سیستم محافظه کار

بریتانیای سلطنتی دفاع کرد. جامعه انگلیسی آن زمان، انسان را با غرور تمام در مرکز خلقت، منظومه شمسی را در مرکز جهان و انسانیت را دستاورد غرورآفرین خلقت خداوند و اوج هنرنمایی الهی می‌دید: خداوند ما را به بهترین وجه خلق کرده است.

هاکسلی در مبارزه آشکار با ارتودوکس مذهبی آن دوره، ناچار بود از نظریه داروین در مقابل استدلالات متعدد مطرح شده به‌وسیله نهادهای مذهبی دفاع کند و به‌این‌ترتیب به شکل‌گیری درک علمی‌تر از نقش ما در درخت زندگی کمک نماید. امروزه ما می‌دانیم شخصیت‌های برجسته علمی مثل نیوتون، اینشتین و داروین با مشقت بسیار به تعریف جایگاه حقیقی ما در کیهان کمک کرده‌اند.

هرکدام از این افراد در تعیین نقش ما در جهان، همواره با تعابیر مختلف مذهبی و فلسفی کارهای خود درگیر بوده‌اند. در پایان کتاب اصول، نیوتون می‌گوید: «زیباترین منظومه خورشیدی، شامل ستاره مرکزی، سیارگان و دنباله‌دارها تنها می‌تواند از حکومت مدبرانه یک موجود قدرتمند و باهوش حاصل آید.» اگر نیوتون موفق به کشف قوانین حرکت شده، شکی نیست که در پس آن‌ها قانونگذار آسمانی وجود داشته است.

اینشتین نیز به‌وجود کسی معتقد بود که از او به نام قدیم نام می‌برد؛ اما او کسی بود که در امور انسان‌ها مداخله نمی‌کرد. هدف اینشتین، به‌جای حمد و ستایش خداوند، «خواندن ذهن او» بود. او گفته است: «من علاقه‌مندم بدانم که خداوند چگونه این دنیا را خلق کرده است. من به این یا آن پدیده علاقه‌ای ندارم. می‌خواهم فکر خدا را بدانم. بقیه مسائل جزئیات هستند.» اینشتین علاقه شدید خود را به مسائل مذهبی اینگونه توجیه می‌نمود: «علم بدون مذهب، عاجز است. اما مذهب بدون علم کور است.»

اما داروین در مورد نقش انسان درگیتی مردد بود. گرچه می‌دانیم اعتبار او ناشی از خارج کردن انسان از مرکزیت جهان بیولوژیک بوده است، با این‌حال در زندگینامه خود اعتراف کرده است: «دشواری یا عدم امکان درک این جهان پهناور و خارق‌العاده، شامل انسانی که قادر است به گذشته و آینده نظر کند،

در پذیرفتن این مسئله است که این‌ها همه در نتیجه شانس یا ضرورت کور است.» او محرمانه به یکی از دوستانش گفته است: «من در مورد مذهب کاملاً گیج و سردرگم هستم.»

متأسفانه «تعیین جایگاه انسان در طبیعت و ارتباط او با کیهان»، مخصوصاً برای کسانی که برای مبارزه با عقاید تعصب‌آمیز مذهب حاکم ارتودوکس جسارت به خرج داده‌اند، همواره با خطر همراه بوده است. به‌هیچ‌وجه تصادفی نبوده که کسی مثل کپرنیک، کتاب پیشرو خود را با نام اندر باب گردش افلاک آسمانی در سال ۱۵۴۳، در بستر مرگ و پنهان از دادگاه تفتیش عقاید آن زمان نوشته است. همچنین بدیهی است کسی مثل گالیله که مدت‌ها تحت حمایت ولی‌نعمتان بانفوذ مدیسی ۸۵ قرار داشت، سرانجام به جرم معرفی و ترویج ابزاری که وجود جهانی در تناقض آشکار با تعالیم کلیسا را فاش می‌ساخت، یعنی تلسکوپ، از خشم و غضب واتیکان در امان نماند.

ترکیب علم، مذهب و فلسفه حقیقتاً معجونی قدرتمند است؛ چنان‌که فیلسوف بزرگ جوردانو برونو در سال ۱۶۰۰ در خیابان‌های رم سوزانده شد، زیرا حاضر نشد از باور خود مبنی بر اینکه تعداد نامحدودی سیاره در آسمان‌ها وجود دارند و تعداد بی‌شماری موجود زنده را در خود جای داده‌اند، بازگردد. او نوشت: «بدینسان فضیلت خداوند و عظمت فرمانروایی او آشکار می‌شود؛ او نه در یک خورشید، بلکه در خورشیدهای بی‌شمار تجلی یافته؛ نه در یک زمین، نه در یک جهان که در هزاران، بله در هزاران جهان تجلی یافته است.»

گناه گالیله و برونو این نبود که جرات کرده بودند قوانین آسمانی را غیب‌گویی کنند، بلکه گناه حقیقی آن‌ها این بود که انسان را از جایگاه متعال خود در مرکز جهان پایین کشیده بودند. تا سال ۱۹۹۲، ۳۵۰ سال طول کشید تا واتیکان گالیله را از اتهام وارده تبرئه کند، اما برونو را هرگز!

چشم انداز تاریخی

از زمان گالیله تا به امروز، مجموعه‌ای از تحولات باعث تغییر درک ما از جهان

و نقش انسان‌ها در آن شده است. در طول قرون وسطی باور عمومی بر این بود که جهان مکانی سیاه و نفرت انگیز است. در آن زمان تصور می‌شد زمین منزلگاهی کوچک و یکدست، مملو از فساد و گناه است که به‌وسیله کره‌ای آسمانی احاطه شده است؛ گنبدی‌که همواره از آن نشانه‌های آسمانی برای عبرت حاکمان و رعایا فرود می‌آیند، مثلاً دنباله‌دارها. اگر نقصی در عقاید ما به خدا و کلیسا وجود داشت، با خشم منتقدان از خود راضی دادگاه تفتیش عقائد و وسائل هولناک شکنجه مواجه می‌شدیم.

نیوتون و اینشتین ما را از این خرافات و تعصبات قدیمی نجات دادند. نیوتون قوانین دقیق مکانیک را در اختیار ما قرار داد. این قوانین حرکت تمام اجرام آسمانی را توضیح می‌دادند. آن‌ها چنان دقیق بودند که به‌نظر می‌رسید انسان‌ها در جهان، طوطی‌وار خطوط از پیش نوشته را از بر می‌خوانند. اینشتین نیز تصویر صحنه زندگی را متحول ساخت. در این تصویر جدید نه فقط تعریف یک ابزار سنجش یکپارچه برای فضا و زمان غیرممکن بود، بلکه خود صحنه خمیده بود. از نظر اینشتین صحنه زندگی یک صفحه لاستیکی بود که انبساط هم می‌یافت

تصویری که انقلاب کوانتومی به ما نشان داد حتی از این هم عجیب‌تر بود. سقوط فلسفه جبرگرایی به این معنی بود که عروسک‌های روی صحنه می‌توانستند نخ‌های خیمه شب‌بازی را پاره کرده و به‌دلخواه خود حرف بزنند. به‌این ترتیب مفهوم اختیار احیا شد؛ اما این‌بار به بهای داشتن نتایج متعدد و متغیر. یعنی بازیگران می‌توانستند در یک زمان در دو جا حضور داشته باشند و همچنین می‌توانستند غیب شده و دوباره ظاهر شوند. بیان اینکه یک بازیگر در کجای صحنه قرار دارد و ساعت چه زمانی را نشان می‌دهد غیرممکن شد.

در حال حاضر، مفهوم جهان چندگانه ذهن ما را تغییر داده و کلمه جهان دیگر معنی خود را از دست داده است. در جهان چندگانه، چندین صحنه موازی وجود دارند که هرکدام بر روی دیگری قرار گرفته‌اند. این جهان‌ها از طریق دریچه‌های فرار و تونل‌های مخفی به یکدیگر متصل می‌شوند. در

حقیقت این صحنه‌ها در فرایند بی‌پایانی از پیدایش، خود صحنه‌های دیگری را به‌وجود می‌آورند. در هر صحنه قوانین فیزیکی جدیدی حاکم است. شاید روی تعداد انگشت‌شماری از این صحنه‌ها شرایط مناسب برای حیات و آگاهی محقق شوند.

در عصر حاضر ما هنرپیشگانی هستیم که در پرده اول نمایش زندگی می‌کنیم؛ یعنی در ابتدای کاوش در معماهای کیهانی این صحنه. در پرده دوم نمایش اگر با تسلیحات و آلودگی‌ها سیاره خود را از بین نبرده باشیم، ممکن است بتوانیم زمین را ترک کرده و ستارگان و دیگر اجرام آسمانی را مورد کاوش قرار دهیم. اما امروزه ما می‌دانیم که پرده آخری نیز وجود دارد؛ زمانی که نمایش به پایان می‌رسد و تمام بازیگران از صحنه روزگار محو می‌شوند. در پرده سوم، صحنه چنان سرد می‌شود که حیات بر روی آن غیرممکن می‌گردد. تنها راه نجات ممکن، ترک کامل صحنه از طریق یک دریچه فرار و شروع مجدد با نمایشنامه‌ای جدید در صحنه‌ای جدید است.

اصل کپرنیکی در مقابل اصل انسانی

واضح است در طول گذار از خرافات قرون وسطی تا فیزیک کوانتوم امروزی، پس از وقوع هریک از انقلابات علمی، نقش و جایگاه ما در جهان تغییر بسیار کرده است. جهانی که می‌شناختیم به شدت گسترش یافته و به‌ناچار درک ما از خودمان را تغییر داده است. وقتی به این پیشرفت تاریخی نگاه می‌کنم، گاهی اوقات دو احساس متناقض در من ایجاد می‌شود؛ زمانی که به ستارگان ظاهراً بیشمار گنبد آسمان می‌نگرم یا زمانی که به هزاران شکل مختلف حیات بر روی زمین می‌اندیشم. از یک طرف، با دیدن پهنای بی‌کران جهان احساس حقارت و کوچکی می‌کنم. بلِز پاسکال، با تفکر در وسعت بی‌انتهای جهان گفته است: «سکوت بی‌پایان فضای لایتناهی مرا از ترس به لرزه می‌اندازد.» از طرف دیگر، به‌هیچ‌وجه نمی‌توانم جذب تنوع با شکوه حیات و پیچیدگی‌های بدیع ساختار بیولوژیک خودمان نشوم.

امروزه در جامعه فیزیک، در مورد این سوآل مشخص علمی راجع به

نقش خودمان در جهان، دو نقطه نظر برجسته فلسفی ارائه شده است: اصل کپرنیکی و اصل انسانی.

اصل کپرنیکی بیان می‌کند که در مورد جایگاه ما در جهان هیچ مسئله خاصی وجود ندارد (که گاهی به اصل میانگین معروف است). به‌نظر می‌رسد تا به اینجا تمام کشفیات نجومی این دیدگاه را تائید کرده‌اند. کپرنیک زمین و هابل کهکشان راه شیری را از مرکزیت جهان خارج کرده و در عوض جهان رو به انبساطی متشکل از میلیاردها کهکشان را به ما معرفی کردند. کشف اخیر ماده و انرژی تاریک این حقیقت را تائید می‌کند که عناصر شیمیایی سنگینی که بدن‌های ما را می‌سازند تنها ۰/۰۳ درصد محتوای کلی ماده/انرژی جهان را تشکیل می‌دهند. طبق نظریه تورم، جهان مرئی شبیه دانه شنی است که در جهان بزرگ‌تری قرار دارد و در آن، جهان‌های جدیدی‌می‌توانند دائماً جوانه بزنند. در نهایت اگر نظریه M به اثبات برسد، با این امکان مواجه خواهیم شد که ابعاد آشنای فضا و زمان بتوانند حتی تا ۱۱ بعد افزایش یابند. به‌این‌ترتیب نه تنها از مرکزیت جهان خارج شده‌ایم، بلکه ممکن است روزی حتی دریابیم که این جهان مرئی تنها بخش کوچکی از جهان بسیار بزرگتری است.

در مواجهه با این حقیقت نامتعارف، به یاد شعری از استفان کرین می‌افتم که گفته است:

مردی به جهان گفت:
«من وجود دارم آقا!»
جهان پاسخ داد:
«با این حال،
این حقیقت مرا به چیزی مجبور نمی‌کند.»

(به یاد رمان علمی ـ تخیلی راهنمای مسافران مجانی کهکشان می‌افتم که در آن وسیله‌ای دیوانه‌کننده وجود دارد؛ درون یک محفظه نقشه‌ای از کل جهان به‌همراه پیکان کوچکی وجود دارد که نشان می‌دهد: «شما اینجا هستید.»)

اما در طرف دیگر، اصل انسانی قرار دارد که مطابق آن مجموعه‌ای از «اتفاقات» معجزه‌آسا وجود آگاهی را در جهان سه بعدی ما امکان‌پذیر

ساخته‌اند. ناحیه باریک مسخره‌ای از پارامترها وجود دارد که به حیات هوشمند واقعیت می‌بخشند و ما به‌وجود آمده‌ایم تا درست در این ناحیه قرار گرفته و پیشرفت کنیم. به‌نظر می‌رسد پایداری پروتون، اندازه ستارگان، وجود عناصر سنگین‌تر و... به‌دقت طوری تنظیم شده‌اند که وجود اشکال پیچیده حیات و آگاهی را امکان‌پذیر سازند. می‌توان روی این موضوع که آیا این رویدادها از پیش طراحی شده یا تصادفی بوده‌اند بحث کرد، اما هیچ کس نمی‌تواند تنظیمات پیچیده لازم را برای به‌وجود آمدن ما انکار کند.

استیون هوکینگ می‌گوید: «اگر سرعت انبساط یک ثانیه پس از انفجار بزرگ، حتی به‌مقدار یک در صد میلیارد کوچک‌تر بود، [جهان] قبل از اینکه به ابعاد فعلی‌اش برسد، بار دیگر می‌رُمبید... احتمال بیرون آمدن چیزی متفاوت با جهان ما از پدیده‌ای مثل انفجار بزرگ (مهبانگ)، بسیار زیاد است. فکر می‌کنم این امر تعابیر مذهبی روشنی دارد.»

ما اغلب از درک این موضوع که حیات و آگاهی تا چه حد ارزشمند هستند، عاجزیم. اغلب فراموش می‌کنیم که حتی چیزی مثل آب، یکی از ارزشمندترین مواد جهان است و تنها زمین (و شاید اروپا، یکی از اقمار مشتری) در بین سیارات منظومه شمسی یا شاید در این بخش از کهکشان، دارای مقادیر متنابهی آب مایع است. همچنین به احتمال زیاد مغز انسان پیچیده‌ترین چیزی است که طبیعت در منظومه شمسی، شاید تا محدوده نزدیک‌ترین ستاره، به‌وجود آورده است. زمانی که به تصاویر دریافتی از سرزمین‌های بی‌جان سطح مریخ یا زهره نگاه می‌کنیم، از مشاهده این حقیقت که این سطوح کاملاً خالی از شهرها و آثار آن‌ها یا خالی از مواد پیچیده زیستی لازم برای حیات هستند متعجب می‌شویم. در فضا، جهان‌های بی‌شماری وجود دارند که نه فقط از آگاهی بلکه حتی از حیات خالی هستند. این مسئله به ما کمک می‌کند دریابیم حیات تا چه حد حساس بوده و اینکه به‌وجود آمدن آن بر روی زمین معجزه بوده است

اصل کپرنیکی و اصل انسانی به نوعی دیدگاه‌های متضادی هستند که ابعاد مختلف وجود ما را طبقه‌بندی می‌کنند و به ما کمک می‌کنند تا به نقش

حقیقی خود در جهان پی ببریم. درحالیکه اصل کپرنیکی ما را به مواجهه با عظمت محض جهان یا شاید جهان چندگانه مجبور می‌کند، اصل انسانی ما را به این سمت سوق می‌دهد که حقیقتاً حیات و آگاهی تا چه حد بی‌نظیر و منحصر به‌فرد هستند.

اما در نهایت مناقشه بین اصل کپرنیکی و اصل انسانی نمی‌تواند نقش ما را در جهان تعیین کند مگر اینکه ما به این سوآل از منظر بالاتری بنگریم؛ از دیدگاه نظریه کوانتوم.

معنای کوانتوم

دنیای کوانتوم از منظری کاملاً متفاوت به مسئله نقش ما در جهان پرداخته است. اگر تعبیر واینر از معمای گربه شرودینگر را بپذیریم، آنگاه لزوماً شاهد دخالت مسئله آگاهی در همه جا خواهیم بود. زنجیره بی‌انتهای ناظران، که هرکدام ناظر قبلی را مشاهده می‌کنند، در نهایت ما را به سمت وجود یک مشاهده گر کیهانی سوق می‌دهد؛ شاید خود خدا. در این تصویر، جهان وجود دارد زیرا خدایی مشاهده‌گرآن است. و اگر تعبیر ویلر درست باشد، آنگاه باید بپذیریم که اطلاعات و آگاهی بر کل جهان حکمفرماست. در این تصویر، آگاهی نیروی حاکمی است که ماهیت وجود را تعیین می‌کند.

دیدگاه واینر باعث شد تا رونی ناکس شعر زیر را در مورد مواجهه بین یک شکاک و خداوند بسراید؛ اینکه وقتی کسی نباشد تا درخت را مشاهده کند، آیا درخت در حیاط وجود دارد یا نه:

زمانی مردی وجود داشت که گفت: «خدا
باید خیلی تعجب کند
اگر ببیند که این درخت
هنوز هست
وقتی کسی در این اطراف نیست.»

اما ناشناسی نکته سنج درپاسخ چنین نوشت:

آقای عزیز، در کمال شگفتی شما
من همیشه این اطراف هستم
و به‌همین دلیل است که درخت همواره وجود دارد
زیرا به‌وسیله ارادتمند شما مشاهده می‌شود ــ خدا.

به بیان دیگر، درخت در حیاط همواره وجود دارد، زیرا که یک ناظر کوانتومی آنجاست تا تابع موج را به‌هم بریزد ــ خود خدا.

تعبیر واینر مسئله آگاهی و خرد را در مرکز فیزیک قرار می‌دهد. او عبارات ستاره‌شناس بزرگ جِیمز جینز را منعکس می‌کند که نوشته است: «پنجاه سال پیش، جهان به‌طور کلی به صورت یک ماشین به‌نظر می‌رسید... زمانی که از کرانه‌های ابعاد در هر جهتی عبور می‌کردیم ــ چه به سمت کیهان بزرگ مقیاس، چه به اعماق اتم ــ تعبیر مکانیکی طبیعت با شکست مواجه می‌شد. ما به هویت‌ها و پدیده‌هایی می‌رسیم که به‌هیچ‌وجه مکانیکی نیستند. از نظر من، آن‌ها بیشتر بر فرایندهای ذهنی دلالت می‌کنند تا پدیده‌های مکانیکی؛ به‌نظر می‌رسد جهان به یک فکر بزرگ نزدیک‌تر باشد تا به یک ماشین بزرگ.»

این تعبیر شاید درنظریه وجود از داده ویلر بلندپروازانه‌ترین شکل را به خود می‌گیرد. «تنها این نیست که ما با جهان سازگار شده‌ایم. جهان نیز با ما سازگار شده است.» به بیان دیگر ما به نوعی وجود خود را با مشاهده پدید می‌آوریم. او این مفهوم را «پیدایش از طریق مشاهده» می‌نامد. ویلر ادعا می‌کند که ما در «جهانی مشارکتی» زندگی می‌کنیم.

همین مفاهیم را زیست‌شناس برنده جایزه نوبل، جورج والد، نیز بیان کرده است. او می‌نویسد: «اتم بودن در جهانی که فیزیکدان ندارد جالب نیست. فیزیکدانان خود از اتم تشکیل شده‌اند. یک فیزیکدان عبارت است از روشی اتمی برای دانستن در مورد اتم‌ها.» سیاستمدار موحد، گَری کوالسکی، این عقیده را با گفتن این مطلب بیان کرده است: «می‌توان گفت جهان وجود دارد تا خود را ستایش کند و از زیبایی خود لذت ببرد. اگر کیهان به سمت آگاهی از خود پیش می‌رود، انسان به‌عنوان بخش ارزشمندی از این

مسیر، موظف است ضمن مطالعه کیهان در حفظ آن بکوشد و از تخریب و غارت آنچه فرآورده این تاریخ طولانی است بپرهیزد.

از منظر این استدلال جهان مقصودی دارد: ایجاد موجودات با ادراکی مثل ما که می‌توانند آن را مشاهده کنند تا بتواند وجود داشته باشد. بر طبق این دیدگاه، وجود جهان تماماً به قابلیت آن در ایجاد موجودات هوشمندی وابسته است که می‌توانند آن را مشاهده کنند و بنابراین موجب فروپاشی تابع موج آن شوند.

ممکن است برخی تفسیر واینر از نظریه کوانتوم را بیشتر بپسندند. با این حال، تفسیر دیگری نیز وجود دارد؛ جهان‌های متعدد، که درک کاملاً متفاوتی را از نقش انسان در جهان ارائه می‌کند. در تفسیر جهان‌های متعدد، گربه شرودینگر در یک زمان می‌تواند هم مرده و هم زنده باشد، تنها به این دلیل که خود جهان به دو جهان مجزا تقسیم شده است.

معنا در جهان چندگانه

انبوه جهان‌های موجود در نظریه جهان‌های متعدد به‌راحتی موجبات سردرگمی ما را فراهم می‌کنند. در داستان کوتاه لَری نیوِن به مفاهیم اخلاقی این جهان‌های چندگانه موازی پرداخته شده است: «تمام هزاران راه ممکن.» در این داستان کارآگاه جین تریمبِل، به بررسی یک سری خودکشی‌های مرموز می‌پردازد. به یکباره در سراسر شهر، افرادی بدون هرگونه پیشینه روحی روانی، از روی پل پریده و خودکشی می‌کنند یا حتی مرتکب قتل‌های متعدد می‌شوند. این مسئله اسرارآمیزتر می‌شود زمانی که اَمبروس هارمون، موسس میلیاردر شرکت کراس تایم، پس از بردن پنج هزار دلار در قمار، از طبقه سی و ششم آپارتمان لوکس خود به بیرون می‌پرد. قدرت، پول و ارتباطات اجتماعی بسیار امبروس، همه چیز را برای یک زندگی خوب مهیا کرده بود. بنابراین خودکشی او هیچ توجیهی نداشت. اما تریمبل سرانجام پرده از راز این خودکشی‌ها بر می‌دارد. بیست درصد از مدیران شرکت کراس تایم اقدام به خودکشی کرده‌اند. در حقیقت خودکشی‌ها درست یک ماه پس

از تاسیس کراس تایم شروع شده‌اند.

با جستجوی بیشتر او در می‌یابد که هارمون دارایی هنگفت خود را از اجدادش به ارث برده و به دلایل احمقانه آن‌ها را به باد داده است. ممکن بود تمام ثروتش از دست برود، ولی یک شرط‌بندی مانع شد. او گروهی از فیزیکدانان، مهندسین، و فیلسوفان را جمع می‌کند تا در مورد امکان وجود مسیرهای زمانی موازی تحقیق کنند. سرانجام آن‌ها وسیله نقلیه‌ای اختراع می‌کنند که می‌تواند به یک مسیر زمانی جدید وارد شود. خلبان این وسیله بی‌درنگ اختراع جدیدی را از ایالات فدراتیو آمریکا با خود بر می‌گرداند. به‌همین ترتیب شرکت کراس تایم صدها ماموریت به مسیرهای زمانی موازی انجام داده و اختراعات جدید را شناسایی می‌کند. این اختراعات را با خود بازگردانده و آن‌ها را قانوناً ثبت می‌کنند. به‌زودی کراس تایم شرکتی چند میلیارد دلاری و صاحب حق مهم‌ترین اختراعات حال حاضر جهان می‌شود. به‌نظر می‌رسد این شرکت، با مدیریت هارمون، به موفق‌ترین شرکت زمان خود تبدیل می‌شود.

هر مسیر زمانی با دیگری متفاوت است. در بین این مسیرهای متعدد، موفق به یافتن امپراتوری کاتولیک، آمریکای سرخپوستی، روسیه پادشاهی، و جهان‌های بیشماری می‌شوند که در جنگ‌های هسته‌ای از بین رفته‌اند. اما سرانجام به چیزی بر می‌خورند که عمیقاً تاثربرانگیز است: نسخه‌های رونوشتی از خودشان، که در زندگی‌هایی تقریباً مشابه به سر می‌برند؛ اما با یک تغییر عجیب. در هرکدام از این جهان‌ها بدون توجه به اینکه اینجا چه کاری انجام می‌دهند، هرچیزی ممکن است اتفاق بیفتد. مهم نیست که چقدر سخت کار می‌کنند، ممکن است خارق‌العاده‌ترین رویاهای آن‌ها محقق شود یا در وحشتناک‌ترین کابوس‌های خود زندگی کنند. هرکاری که انجام دهند، در برخی جهان‌ها آن‌ها موفق و در بعضی دیگر ناموفق خواهند بود. تعداد بی‌شماری نسخه از یک انسان وجود دارد که تصمیمات متفاوتی گرفته و به‌این ترتیب تمام نتایج ممکن را ایجاد می‌کند. در این صورت چرا سارق بانک نباشیم، اگر در جهان دیگری بتوانیم به‌راحتی در خیابان معاف از مالیات

راه برویم.

تریمبل با خود می‌اندیشد: «شانسی وجود ندارد. هر تصمیمی به هر دو روش اتخاذ می‌شود. در واقع زمانی که برای هر انتخاب عاقلانه‌ای خون دل‌ها خورده‌اید، تمام دیگر انتخاب‌ها را نیز انجام داده‌اید. و این در تمام تاریخ به‌همین صورت انجام گرفته است.» ناامیدی عمیقی تریمبل را درهم می‌شکند، زیرا او با این حقیقت دردناک مواجه می‌شود: در جهانی که هر چیزی امکان‌پذیر است، هیچ چیزی احساس اخلاقی در شما ایجاد نمی‌کند. وقتی در می‌یابد ما کنترلی بر روی سرنوشت خود نداریم و اینکه تصمیماتی که می‌گیریم در نتیجه امر تاثیری نخواهند داشت، افسرده و مایوس می‌شود.

سرانجام او تصمیم می‌گیرد مسیر هارمون را دنبال کند. تفنگی را برداشته و به سمت سر خود نشانه می‌رود. اما حتی اگر ماشه را نیز بفشارد، تعداد بیشماری جهان وجود خواهند داشت که در آن‌ها گلوله در لوله گیر کرده، یا به سقف برخورد کرده، یا او را می‌کشد و الی آخر. به‌این‌ترتیب، تصمیم نهایی تریمبل به راه‌های بی‌شماری در جهان‌های بی‌شمار منجر خواهد شد.

در یک جهان کوانتومی، مثل تریمبل با این امکان مواجه می‌شویم که اگرچه ممکن است خود موازی ما، که در جهان‌های کوانتومی دیگری زندگی می‌کند، دقیقاً دارای همان کدهای ژنتیکی ما باشد، با این حال در مواقع بحرانیِ حیات، فرصت‌ها، اهداف و رویاها ما را به مسیرهای متفاوتی رهنمون می‌شوند؛ به تاریخ زندگی متفاوت و سرنوشت‌های متفاوت.

در حقیقت هم‌اکنون با شکلی از این معضل مواجهیم. این مسئله تنها به زمان مربوط می‌شود، شاید تنها چندین دهه قبل از اینکه شبیه‌سازی انسان به حقیقتی عادی در زندگی تبدیل شود. با اینکه شبیه‌سازی انسان کار بسیار مشکلی است (در حقیقت هنوز موفق نشده‌اند حتی یک پستاندار را به‌طور کامل شبیه‌سازی کنند) و مسلماً سوآلات اخلاقی جنجال برانگیزی مطرح می‌شوند، وقوع چنین پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر است. زمانی که این‌کار امکان‌پذیر شود، این سوآل مطرح می‌شود که آیا نمونه شبیه‌سازی شده ما روح دارد؟ آیا ما مسئول کارهای نسخه‌های دیگر خود هستیم؟ در جهان

کوانتومی، هر یک از ما تعداد بیشماری نسخه‌های کوانتومی خواهیم داشت. از آنجا که ممکن است برخی از نسخه‌های کوانتومی ما به اعمال شیطانی دست بزنند، در این‌صورت آیا ما مسئول عملکرد آن‌ها هستیم؟ آیا گناهان نسخه‌های کوانتومی ما موجب آزار روحمان خواهند شد؟

این بحران وجودی کوانتومی راه حلی دارد. اگر به اختصار به جهان چندگانه متشکل از جهان‌های متعدد نگاه کنیم، در تعداد بی‌شماری از سرنوشت‌های تصادفی غرق خواهیم شد. اما نکته جالب این است که در هرکدام از این جهان‌ها قوانین علت و معلولی اساساً باقی می‌مانند. در نظریه جهان چندگانه که فیزیکدانان ارائه کرده‌اند، هر جهان مجزا در بزرگ مقیاس از قوانین شبه نیوتونی تبعیت کرده و بنابراین ما می‌توانیم با دانستن این موضوع که کارهای ما به خوبی قابل پیش‌بینی هستند در کمال آسایش زندگی کنیم. در هرکدام از این جهان‌ها قوانین علت و معلولی حاکمند. به‌این‌ترتیب اگر ما مرتکب جرمی شویم، در هر کدام از این جهان‌ها که باشیم به احتمال زیاد به زندان خواهیم رفت. ما می‌توانیم کسب و کار خود را، بدون اینکه از تمام واقعیات موازی که هم زمان با ما زندگی می‌کنند مطلع باشیم، هدایت و رهبری کنیم.

این مسئله مرا به یاد داستانی ساختگی می‌اندازد که فیزیکدانان گاهی برای یکدیگر نقل می‌کنند. یک روز فیزیکدانی را از روسیه به لاس وگاس آوردند. او مقهور قدرت و فساد سرمایه‌داری حاکم بر این شهر مملو از گناه شده بود. به سرعت به سراغ میز قمار رفته و در اولین شرط‌بندی تمام پول خود را روی میز گذاشت. وقتی به او گفتند که این احمقانه‌ترین راهبرد در شرط‌بندی است و اینکه راهبرد او مخالف با قوانین ریاضیات و احتمال است، او پاسخ داد: «بله، تمام آنچه می‌گویید درست است، اما جهان کوانتومی وجود دارد که من در آن ثروتمند شده‌ام.» ممکن است فیزیکدان روسی درست بگوید و در جهان موازی دیگری در حال خوش‌گذرانی مافوق تصور خود باشد. اما در این جهان بخصوص، باخته و مجبور به پذیرش عواقب عمل خود می‌گردد.

فیزیکدانان در مورد معنای جهان چگونه فکر می‌کنند؟

جملات تحریک‌آمیز استیون واینبرگ در کتاب سه ثانیه اول، بحث جدی را در مورد معنای حیات به جریان در آورد. او نوشته است: «هرچقدر که جهان بیشتر قابل درک به‌نظر برسد، بیشتر هم بی‌معنی به‌نظر می‌رسد... تلاش برای درک جهان یکی از چیزهای است که سطح زندگی انسان‌ها را از بیهودگی کمی فراتر می‌برد.» واینبرگ اقرار کرده که از بین تمام جملاتی که نوشته، این یکی عکس‌العمل‌های غضبناکی را برانگیخته است. او بعدها نیز با ارائه نظرات خود مجادله دیگری برانگیخت: «با وجود یا عدم وجود مذهب، انسان‌های خوب می‌توانند درست و افراد بد شیطانی رفتار کنند؛ اما برای اینکه افراد خوب کارهای شیطانی انجام دهند، آنوقت مذهب لازم است.»

ظاهراً واینبرگ میل شیطانی مشخصی به تحریک اذهان داشته و مایل است افرادی را که ادعای بینش در معنای کیهانی جهان دارند مورد تمسخر قرار دهد. او اقرار می‌کند که: «برای سال‌های متمادی من در مورد مسائل فلسفی یک بی‌ذوق شاد بودم.» او همانند شکسپیر عقیده دارد که جهان به مثابه یک صحنه نمایش است. «اما فاجعه در متن نمایشنامه نیست؛ فاجعه این است که متنی وجود ندارد.»

واینبرگ در حقیقت نظریات دانشمندی به نام ریچارد داوکینز از آکسفورد را منعکس می‌کند؛ زیست‌شناسی که اظهار داشته است: «در دنیایی با نیروهای فیزیکی کور... برخی افراد آسیب می‌بینند و برخی دیگر شانس می‌آورند و شما نه می‌توانید دلیل یا قانونی برای آن بیابید و نه حتی عدالتی. جهانی که ما مشاهده می‌کنیم ویژگی‌هایی دارد که در صورت نبود هرگونه طرح، هدف، شیطان و اعمال خوب، نمی‌توان از آن جز لاقیدی بی‌رحم و کور انتظار داشت.»

در اصل، واینبرگ مبارزه‌ای را ترتیب داده است. اگر انسان‌ها عقیده داشته باشند که جهان هدفی را دنبال می‌کند، در این‌صورت این هدف چیست؟ زمانی که ستاره‌شناسان در پهنه وسیع کیهان جستجو می‌کنند، با ستارگان

غول‌پیکری مواجه می‌شوند که بسیار از خورشید ما بزرگ‌ترند و در جهانی که طی میلیاردها سال به شدت در حال انبساط بوده، متولد شده و می‌میرند. سخت است ببینیم تمام این‌ها چگونه به دقت هماهنگ شده تا سکونت انسان‌ها روی یک سیاره کوچک که به دور یک ستاره گمنام می‌چرخد ممکن شود.

اگرچه جملات او خشم زیادی را برانگیخته است، دانشمندان معدودی در مواجهه با او برآمده‌اند. با این حال زمانی که آلن لایتمن و روبرتا براور با گروهی از کیهان‌شناسان برجسته مصاحبه کردند و از آن‌ها پرسیدند که آیا با نظر واینبرگ موافق هستند یا نه، در کمال تعجب تنها تنی چند از آن‌ها ارزیابی غم‌افزای واینبرگ از جهان را پذیرفتند. یکی از دانشمندانی که کاملاً با واینبرگ موافق بود، ساندرا فِیبِر از رصدخانه لیک و دانشگاه کالیفرنیا در سانتاکروز بود که گفته است: «من باور نمی‌کنم جهان برای انسان‌ها خلق شده باشد. زمین، سیاره‌ای است که از طریق فرایندهای طبیعی ایجاد شده است و به‌عنوان بخشی از تداوم بیشتر این فرایندهای طبیعی، حیات و حیات هوشمند ظاهر شده‌اند. دقیقاً به‌همین روش، من فکر می‌کنم که جهان نیز در نتیجه برخی فرایندهای طبیعی ایجاد شده است و ظهور ما در آن نتیجه کاملاً طبیعی قوانین فیزیک در بخش مشخصی از جهان است. به عقیده من مفهوم تلویحی نهفته در مسئله این است که نیروی محرکی وجود دارد که هدفی فراتر از وجود انسان را دنبال می‌کند. من به این عقیده ندارم. بنابراین فکر کنم که سرانجام با واینبرگ موافق هستم که از دیدگاه انسان این کاملاً بیهوده است.»

اما گروه بزرگ‌تری از کیهان‌شناسان تصور می‌کنند واینبرگ از اساس دچار اشتباه شده و جهان هدفی دارد؛ حتی اگر نمی‌توان در مورد آن سخن گفت.

پروفسوری در دانشگاه هاروارد به نام مارگارت گلر گفته است: «من در مورد زندگی اینگونه فکر می‌کنم: شما زندگی می‌کنید و زمان آن هم کوتاه است. مسئله این است که تا جایی‌که می‌توانید تجربه کسب کنید. این چیزی است که سعی دارم انجام دهم. من سعی می‌کنم مردم را تربیت کنم.»

برخی از آنان حقیقتاً در ساخته خداوند، وجود نقطه هدفی را باور دارند. دان پیج از دانشگاه آلبرتا، دانشجوی سابق استیون هوکینگ گفته است: «بله من معتقدم مطمئناً هدفی وجود دارد. درست است که از تمام اهداف اطلاعی ندارم ولی فکر می‌کنم یکی از آن‌ها این است که خدا انسان را آفرید تا همدمش باشد. یک هدف بزرگ‌تر ممکن است این باشد که آفرینش خدا باعث تجلیل از خدا می‌شود.» او ردپای خدا را حتی در قوانین موجز فیزیک کوانتوم نیز مشاهده می‌کند: «قوانین فیزیک از بعضی جهات مشابه دستور زبانی به‌نظر می‌رسند که خداوند برای استفاده انتخاب کرده است.»

چارلز مایسنر از دانشگاه مریلند، یکی از پیشروان اولیه در تحلیل نظریه نسبیت عام اینشتین با پیج موافق است: «احساس من این است که در مذهب، موارد متعددی وجود دارد، مثل وجود خدا و اخوت انسان که حقایق جدی هستند که یک‌روز خواهیم آموخت آن‌ها را مورد تقدیر قرار دهیم؛ شاید در یک زبان متفاوت و مقیاس متفاوت... بنابراین فکر می‌کنم که حقایق واقعی وجود دارند و از نظر حسی عظمت جهان معنی پیدا می‌کند و سرانجام ما را به احترام و تکریم خالق وا می‌دارد.»

مسئله وجود خالق این سوآل را بر می‌انگیزد که: آیا علم قادر است در مورد وجود خدا به ما اطلاعاتی بدهد؟ خداشناسی به نام پل تیلیچ یکبار گفته است که فیزیکدانان تنها دانشمندانی هستند که می‌توانندکلمه «خدا» را به زبان آورده و شرمنده نشوند. در حقیقت فیزیکدانان در مواجهه با یکی از مهم‌ترین سوآلات انسان تنها هستند: آیا طرح بزرگی وجود دارد؟ و اگر چنین است آیا طراحی دارد؟ مسیر درست حقیقت کدام است، منطق یا وحی؟

در نظریه ریسمان‌ها ذرات زیراتمی را می‌توان به صورت نت‌های یک تار مرتعش نشان داد؛ قوانین شیمی ملودی‌هایی هستند که می‌توان با این تار نواخت؛ قوانین فیزیک به قوانین هارمونی که این ریسمان‌ها راکنترل می‌کنند مربوط می‌شوند؛ جهان سمفونی ریسمان‌هاست؛ و ذهن خدا موسیقی کیهان است که در فرافضا طنین‌انداز شده است. اگر این تشابه درست باشد، سوآل بعدی این است: آیا آهنگسازی هم وجود دارد؟ آیاکسی این نظریه را طراحی

کرده است تا قدرت جهان‌های محتملی را که در نظریه ریسمان‌ها می‌بینیم ممکن سازد؟ اگر جهان همانند یک ساعت دقیق تنظیم شده باشد، آیا ساعت سازی هم وجود داشته است؟

نظریه ریسمان‌ها این سوآل را مطرح می‌کند که آیا خدا حق انتخابی داشته است؟ زمانی که اینشتین نظریه‌های کیهانی خود را تهیه می‌کرد، همواره این سوآل را می‌پرسید که من چگونه جهان را طراحی می‌کردم؟ او به این ایده نزدیک شده بود که شاید خداوند در مورد این مسئله حق انتخابی نداشته است. اینطور به‌نظر می‌رسد که نظریه ریسمان‌ها نیز این احتمال را تائید می‌کند. وقتی نسبیت را با نظریه کوانتوم مخلوط می‌کنیم به نظریه‌هایی دست می‌یابیم که عیوب نهفته و مهلکی دارند: واگرایی‌های ایجاد شده و ناهنجاری‌هایی که تقارن‌های موجود در نظریه را به‌هم می‌زنند. تنها با کمک تقارن‌های قدرتمند می‌توان این واگرایی‌ها و ناهنجاری‌ها را حذف کرد و نظریه M دارای قدرتمندترین تقارن‌هاست. بنابراین شاید نظریه‌ای منحصربفرد وجود داشته باشد که تمام شروط لازم برای یک نظریه را دارا باشد.

از اینشتین، کسی که اغلب به تفصیل درباره قدیم می‌نوشت، در مورد وجود خدا پرسیدند. از نظر او دو نوع خدا وجود داشت. یکی خدای شخصی بود که پاسخ عبادت کنندگان را می‌داد؛ خدای ابراهیم، اسحاق، موسی و خدایی که آب را از هم می‌شکافد و معجزه می‌کند. اما این لزوماً همان خدایی نیست که اغلب فیزیکدانان به آن اعتقاد دارند.

اینشتین یکبار نوشته است: «به خدای اسپینوزا اعتقاد دارد. خدایی که خود را در هماهنگی منظم موجود در هرآنچه که وجود دارد آشکار می‌کند، و نه به خدایی که خود را با سرنوشت و اعمال انسان‌ها درگیر می‌کند.» خدای اسپینوزا و اینشتین خدای هماهنگی است، خدای استدلال و منطق. اینشتین می‌نویسد: «نمی‌توانم خدایی را تصور کنم که به آفریده خود پاداش داده یا او را مجازات کند... همچنین نمی‌توانم باور کنم که انسان بعد از مرگ کالبد زنده می‌ماند.»

(در دوزخ اثر دانته، اولین محفل نزدیک به ورودی جهنم افرادی قرار دارند که عیسی مسیح را کاملاً نپذیرفته ولی رضایتمند و نیک‌سرشتند. در محفل اول دانته با افلاطون و ارسطو و دیگر متفکران و روشنفکران بزرگ برخورد می‌کند. همان‌طور که فیزیکدانی به نام ویلچک بیان کرده است: «ما گمان می‌کنیم که بسیاری، شاید اغلب فیزیکدانان به محفل اول راه یابند.») حتی ممکن است مارک تواین نیز به این محفل مجلل راه یابد. تواین ایمان را اینگونه تعریف کرده است: «اعتقاد به چیزی که هر احمقی می‌داند، درست نیست.»

شخصاً، از یک دیدگاه کاملاً علمی فکر می‌کنم قوی‌ترین استدلال برای وجود خدای اینشتین یا اسپینوزا از فرجام‌گرایی ناشی می‌شود. اگر سرانجام نظریه ریسمان‌ها، از نظر آزمایشگاهی به‌عنوان نظریه همه چیز تائید شود، در این‌صورت باید از خود بپرسیم که خود این معادلات از کجا آمده‌اند. اگر نظریه میدان یکپارچه همان‌طور که اینشتین عقیده داشت، حقیقتاً نظریه‌ای است یکتا، باید از خود بپرسیم که این یکتایی از کجا آمده است. فیزیکدانانی که به این خدا معتقدند، عقیده دارند که جهان چنان زیبا و ساده است که قوانین آن نمی‌تواند تصادفی باشد. جهان می‌توانست کاملاً بی‌هدف بوده و از الکترون‌ها و نوترینوهای بی‌جان تشکیل شده باشد و هرگز قابلیت ایجاد حیات را نداشته باشد، چه برسد به اینکه حیات هوشمندی در آن به‌وجود آید.

اگر همان‌طور که من و برخی دیگر از فیزیکدانان عقیده داریم، قوانین نهایی حاکم بر هستی را بتوان به‌وسیله فرمولی با طول تنها ۳ سانتی‌متر نشان داد، در این صورت این سوآل پیش می‌آید که چنین فرمولی از کجا آمده است؟

آن‌طور که مارتین گاردنِر گفته است: «چرا سیب به زمین می‌افتد؟ به‌دلیل قانون گرانش. چرا قانون گرانش؟ به‌دلیل معادلات مشخصی که بخشی از نظریه نسبیت هستند. روزی که فیزیکدانان موفق به نوشتن معادله نهایی شوند که از آن بتوان تمام قوانین فیزیکی را نتیجه گرفت، باز هم یک نفر

خواهد پرسید: چرا این معادله؟»

آفرینش معنای خودمان

در نهایت من معتقدم که وجود یک معادله که بتواند کل جهان را به روشی منظم و هماهنگ توضیح دهد، به نوعی می‌تواند بیان کننده وجود یک طرح از پیش تعیین شده باشد. با این حال عقیده ندارم وجود این طرح می‌تواند به انسانیت معنای شخصی ببخشد. فرمول نهایی فیزیک هر چقدر هم که زیبا و خیره کننده باشد، باز موجب تعالی روح میلیاردها انسان نیست و به آن‌ها احساس رضایت کامل نمی‌دهد. هیچ فرمول جادویی فیزیک و کیهان‌شناسی، نمی‌تواند توده مردم را شیفته کند و زندگی معنوی آن‌ها را غنی سازد.

از نظر من، معنای حقیقی در این نهفته است که هرکس معنای زندگی خود را می‌سازد. این سرنوشت ماست که به‌جای اینکه تصور کنیم آینده از یک قدرت بالاتر به ما به ارث می‌رسد تا هرکس خود آن را بسازد. اینشتین اعتراف کرده که او از کمک کردن به صدها انسان خوش‌قلبی که نامه‌های بسیاری را به اینشتین نوشته‌اند و از او خواسته‌اند که معنای زندگی را برای‌شان آشکار کند، عاجز مانده است. همان‌طور آلن گوث گفته است: «طبیعی است که این سوآلات پرسیده شود، اما نباید انتظار داشت تا از یک فیزیکدان پاسخ حکیمانه‌تری دریافت کنیم. احساس خود من این است که زندگی هدفی را دنبال می‌کند. در نهایت فکر می‌کنم هدفی که حیات دنبال می‌کند، هدفی است که ما به آن می‌دهیم و نه هدفی که از یک طرح کیهانی از پیش تعیین شده نشات گرفته باشد.»

من معتقدم زیگموند فروید، با تمام اندیشه‌هایش در مورد بخش تاریک ذهن ناخودآگاه، بیشتر از همه به حقیقت نزدیک شده است؛ وقتی می‌گوید، آنچه به ذهن‌های ما معنا و ثبات می‌بخشد، چیزی نیست جز کار و عشق. کار به ما احساس مسئولیت و هدفمند بودن می‌دهد؛ تمرکزی واقعی بر روی کار و رویاهای ما. کار نه تنها به زندگی‌های ما انضباط و ساختار می‌بخشد، بلکه به ما احساس غرور، پیشرفت و چهارچوبی برای شکوفایی می‌دهد. و عشق

عنصری ضروری است که ما را در تار و پود جامعه قرار می‌دهد. بدون عشق، ما گم گشته، تهی و بدون ریشه خواهیم بود. بدون عشق در سرزمین‌های خود بدون هدف زندگی کرده و از دغدغه‌های دیگران جدا خواهیم افتاد.

علاوه بر عشق و کار، من دو عنصر اساسی دیگر را نیز اضافه می‌کنیم که به زندگی ما معنا می‌بخشند. نخست، شکوفا کردن استعدادهایی که با آن‌ها متولد می‌شویم. هرچقدر که با دارا بودن قابلیت‌ها و قدرت‌های مختلف، خوشبخت متولد شویم، باز هم به‌جای اینکه بگذاریم به مرور زمان تحلیل رفته و از یاد بروند، باید تلاش کنیم تا حد نهایت از آن‌ها استفاده کنیم. همه ما افرادی را می‌شناسیم که در زندگی خود موفق نشدند قابلیت‌هایی را که در دوران کودکی از خود نشان دادند در بزرگسالی به شکوفایی برسانند. بسیاری از مردم از تصویر آینده خود، وحشت می‌کنند. من فکر می‌کنم به‌جای اینکه مدام قسمت و تقدیر خود را سرزنش کنیم، باید آن‌طور که هستیم خود را بپذیریم و سعی کنیم تا رویاهایی را که با قابلیت‌های ما تناسب دارند، محقق کنیم.

دوم اینکه باید سعی کنیم زمانی که جهان را ترک می‌کنیم آن را به‌جای بهتری نسبت به زمانی که وارد آن شده‌ایم بدل کرده باشیم. هر فردی می‌تواند دو راه مختلف در پیش بگیرد: اینکه در اسرار طبیعت جستجو کرده، محیط زیست را پاکیزه نگه دارد و برای صلح و عدالت اجتماعی تلاش کند یا مثل یک رهبر و مربی به تربیت جوانان کنجکاو و پرانرژی بپردازد.

گذار به تمدن نوع ۱

در نمایشنامه سه خواهر، اثر آنتوان چخوف، در پرده دوم کلنل وِرشینین می‌گوید: «در طول یک یا دو قرن آینده، یا در عرض یک هزاره، مردم به شیوه جدیدی، شیوه‌ای شادتر، زندگی خواهند کرد. ما در آن زمان حضور نخواهیم داشت، اما به‌همین دلیل است که ما زندگی و کار می‌کنیم. به‌همین دلیل است که رنج می‌بریم. ما آن را می‌سازیم. این هدف وجود ماست. تنها شادیی که ما می‌شناسیم تلاش برای رسیدن به این هدف است.»

من شخصاً به‌جای اینکه از غیرعادی بودن جهان ناراحت و افسرده شوم، با ایده جهان‌های کاملاً جدیدی که در نزدیکی ما وجود دارند، هیجان زده می‌شوم. ما در عصری زندگی می‌کنیم که کاوش در کیهان را با کمک ردیاب‌ها و تلسکوپ‌های فضایی، نظریات و معادلات، تازه شروع کرده‌ایم.

من احساس برتری می‌کنم که در زمانی زندگی می‌کنم که جهان ما چنین گام‌های غرورآفرینی برمی‌دارد. ما زنده‌ایم تا شاید شاهد بزرگ‌ترین انتقال در تاریخ انسان باشیم؛ گذار به تمدن نوع ۱. این انتقال شاید مهم‌ترین و در عین حال خطرناک‌ترین گذار در تاریخ انسان باشد.

در گذشته اجداد ما در دنیای خشن و بی‌رحمی زندگی کرده‌اند. اغلب انسان‌ها زندگی حیوانی و کوتاهی داشته و عمر متوسط آن‌ها در حدود بیست سال بوده است. آن‌ها همواره دستخوش تقدیر خود، در ترس ابتلا به بیماری‌ها به سر بردند. آزمایش بر روی استخوان‌های باقی مانده از اجداد ما نشان می‌دهد، به‌دلیل حمل بارهای سنگین، از پا درآمده‌اند. این استخوان‌ها همچنین خبر از انواع امراض و اتفاقات کشنده می‌دهند. حتی در قرن گذشته، اجداد ما بدون وجود انواع مختلف سیستم‌های آبرسانی، آنتی‌بیوتیک‌ها، هواپیماهای جت، رایانه و دیگر شگفتی‌های الکترونیک زندگی کردند.

نوادگان ما در طلیعه ظهور اولین تمدن سیاره‌ای کره زمین متولد خواهند شد. اگر ما به خوی حیوانی خود اجازه ندهیم تا نسل خود را منقرض سازد، نوادگان ما در عصری زندگی خواهند کرد که فقر، گرسنگی و بیماری دیگر باعث مرگ کسی نخواهد شد. برای اولین‌بار در تاریخ انسان، در حال حاضر ابزاری را در اختیار داریم که به کمک آن‌ها می‌توانیم هم کل حیات روی زمین را از بین ببریم و هم بهشتی بر روی زمین بسازیم.

در دوران کودکی همواره می‌خواستم بدانم که زندگی در آینده دور چه شکلی خواهد داشت. ولی امروز عقیده دارم که اگر می‌توانستم انتخاب کنم که در چه دوره‌ای از تاریخ انسان زندگی کنم، همین زمان را انتخاب می‌کردم. ما در حال حاضر در هیجان‌انگیزترین تاریخ حیات انسان بسر می‌بریم. عصری که در آن بخشی از بزرگ‌ترین کشفیات کیهانی و پیشرفت‌ها در فناوری

اتفاق افتاده است.

در حال حاضر شاهد انتقالی تاریخی هستیم که طی آن مشاهده‌گران منفعل رقص طبیعت با دارا بودن قدرت ایجاد حیات، ماده و هوش، به طراحان آن بدل می‌شوند. با این قدرت عظیم، مسئولیت بزرگی بر دوش ما خواهد بود، زیرا باید مطمئن شویم که نتایج تلاش‌های ما خردمندانه مورد استفاده قرار می‌گیرد و در جهت منافع کل انسان‌ها به‌کار خواهد رفت.

نسلی که در زمان حاضر زندگی می‌کند شاید مهم‌ترین نسل بشر باشد که بر روی زمین وجود داشته است. برخلاف نسل‌های گذشته، سرنوشت آینده نوع بشر در دستان ماست. می‌توان به سمت یک تمدن نوع ۱ اوج گرفت و به شکوفایی رسید یا به اعماق آشوب، آلودگی و جنگ فرو افتاد. تصمیماتی که ما می‌گیریم در طول این قرن طنین‌انداز خواهند شد. اینکه ما با مسئله جنگ‌های جهانی، تکثیر سلاح‌های هسته‌ای و نزاع‌های قومی قبیله‌ای چگونه رفتار کنیم، همه می‌تواند شکل‌گیری یک تمدن نوع ۱را سرعت بخشیده یا منتفی سازد. شاید هدف و معنای نسل حاضر حصول اطمینان از این امر است که گذار به تمدن نوع ۱ به‌راحتی و بدون خطر صورت پذیرد.

انتخاب با ماست. این تمام ارثیه‌ای است که به نسل ما رسیده است. این تقدیر ماست.

منابع و مآخذ

Adams, Douglas *The Hitchhiker's Guide to the Galaxy*. New York: Pocket Books, 1979.

Adams, Fred, and Greg Laughlin. *The Five Ages of the Universe: Inside Physics of Eternity*. New York: The Free Press, 1999.

Anderson, Poul. *Tau Zero*. London: Victor Gollancz, 1967.

Asimov, Isaac. *The Gods Themselves*. New York: Bantam Books, 1972.

Barrow, John D.

1. *The Artful Universe*. New York: Oxford University Press, 1995.
2. *The Universe That Discovered Itself*. New York: Oxford University press, 2000.

Barrow, . John D., and F. Tipler. *The Anthropic Cosmological Principle*. New York: Oxford University Press, 1986.

Bartusiak, Marcia. *Einstein's Unfinished Symphony: Listening to the Sounds of Space-time*. New York: Berkley Books, 2000.

Bear, Greg. *Eon*. New York: Tom Doherty Associates Books, 1985.

Bell, E. T. *Men of Mathematics*. New York: Simon and Schuster, 1937.

Bernstein, Jeremy. *Quantum Profiles*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1991.

Brian, Denis. *Einstein: A Life*. New York: John Wiley, 1996.

Brownlee, Donald, and Peter D. Ward. *Rare Earth*. New York: Springer- Verlag, 2000.

Calaprice, Alice, ed. *The Expanded Quotable Einstein*. Princeton: Princeton University Press, 2000.

Chown, Marcus. *The Universe Next Door: The Making of Tommorrow's Science*. New York: Oxford University Press, 2002.

Cole, K. C. *The Universe in a Teacup*. New York: Harcourt Brace, 1998.

Crease, Robert, and Charles Mann. *The Second Creation: Makers of the Revolution in Twentieth-Century Physics*. New York: Macmillan, 1986.

Croswell, Ken. *The Universe at Midnight: Observations Illuminating the Cosmos*. New York: The Free Press, 2001.

Davies, Paul. *How to Build a Time Machine*. New York: Penguin Books, 2001.

Davies, P. C. W., and J. Brown. *Superstrings: A Theory of Everything*. Cambridge,

U.K.: Cambridge University Press, 1988.
Dick, Philip K. *The Man in the High Castle*. New York: Vintage Books, 1990.
Dyson, Freeman. *Imagined Worlds*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1998.
Folsing, Albrecht. *Albert Einstein*. New York: Penguin Books, 1997.
Gamow, George.
1. *My World Line: An Informal Biography*. New York: Viking Press, 1970.
2. *One, Two, Three...Infinity*. New York: Bantam Books, 1961.
Goldsmith, Donald. *The Runaway Universe*. Cambridge, Mass.: Perseus Books, 2000.
Goldsmith, Donald, and Neil deGrasse Tyson. *Origins*. New York: W. W. Norton, 2004.
Gott, J. Richard. *Time Travel in Einstein's Universe*. Boston: Houghton Mifflin Co., 2001.
Greene, Brian.
1. *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*. New York: W. W. Norton, 1999.
2. *The Fabric of the Cosmos*. New York: W. W. Norton, 2004.
Gribbin, John. *In Search of the Big Bang: Quantum Physics and Cosmology*. New York: Bantam Books, 1986.
Guth, Alan. *The Inflationary Universe*. Reading, Penn.: Addison-Wesley, 1997.
Hawking, Stephen W., Kip S. Thorne, Igor Novikov, Timothy Ferris, and Alan Lightman. *The Future of Space-time*. New York: W. W. Norton, 2002.
Kaku, Michio.
1. *Beyond Einstein: The Cosmic Quest for the Theory of the Universe*. New York: Anchor Books, 1995.
2. *Hyperspace: A Scienti?c Odyssey Through Time Warps, and the Tenth Dimension*. New York: Anchor Books, 1994.
3. *Quantum Field Theory*. New York: Oxford University Press, 1993.
Kirshner, . Robert P. *Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, the Accelerating Universe*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2002.
Kowalski, Gary. *Science and the Search for God*. New York: Lantern Books 2003.
Lemonick, Michael D. *Echo of the Big Bang*. Princeton: Princeton University Press, 2003.
Lightman, Alan, and Roberta Brawer. *Origins: The Lives and Worlds of Modern Cosmologists*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1990.
Margenau, H., and Varghese, R. A., eds. *Cosmos, Bios, Theos*. La Salle, III.: Open Court, 1992.
Nahin, Paul J. *Time Machines: Time Travel in Physics, Metaphysics, and Science Fiction*. New York: Springer-Verlag, 1999.
Niven, Larry. *N-Space*. New York: Tom Doherty Associates Books, 1990.
Pais, A.
1. *Einstein Lived Here*. New York: Oxford University Press, 1994.

2. *Subtle Is the Lord.* New York: Oxford University Press, 1982.

Parker, Barry. *Einstein's Brainchild.* Amherst, N.Y.: Prometheus Books, 2000.

Petters, A. O., H. Levine, J. Wambsganss. *Singularity Theory and Gravitational Lensing.* Boston: Birkhauser, 2001.

Polkinghorne, J. C. *The Quantum World.* Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1984.

Rees, Martin.

1. *Before the Beginning: Our Universe and Others.* Reading, Mass.: Perseus Books, 1997.

2. *Just Six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe.* Reading, Mass.: Perseus Books, 2000.

3. *Our Final Hour.* New York: Perseus Books, 2003.

Sagan, Carl. *Carl Sagan's Cosmic Connection.* New York: Cambridge University Press, 2000.

Schilpp, Paul Arthur. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist.* New York: Tudor Publishing, 1951.

Seife, of Charles. *Alpha and Omega: The Search for the Beginning and End of the Universe.* New York: Viking Press, 2003.

Silk, Joseph. *The Big Bang.* New York: W. H. Freeman, 2001.

Smoot, George, and Davidson, Keay. *Wrinkles in Time.* New York: Avon Books 1993.

Thorne, Kip S. *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy.* New York: Doubleday, 2000.

Weinberg, Steve.

1. *Dreams of a Final Theory: The Search for the Fundamental Laws of Nature.* New York: Pantheon Books, 1992.

2. *Facing Up: Science and Its Cultural Adversaries.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2001.

3. *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe.* New York: Bantam New Age, 1977.

Wells, H. G.

1. *The Invisible Man.* New York: Dover Publications, 1992.

2. *The Wonderful of Visit.* North Yorkshire, U.K.: House of Status, 2002.

Wilczek, Frank. *Longing for the Harmonies: Themes and Variations from Modern Physics.* New York: W. W. Norton, 1988.

Zee, A. *Einstein's Universe.* New York: Oxford University Press, 1989.

نمایه

آبوت، اِدوین ۲۲۹
آدامز، داگلاس ۱۸۵
آدامز، فرد ۳۵۸
آرایه تلسکوپ رادیویی بریتانیایی مِرلین ۳۲۸
آرسیبو ۳۳۴، ۳۳۵
آزمایش پِل ۹۲، ۲۲۱
آزمایشگاه رادِرفورد اَپلتون ۳۴۸
آزمایشگاه فرمی ۳۴۴
آزمایشگاه لارنس لیورمور ۳۳۷، ۴۰۷
آزمایشگاه ملی لوس آلاموس ۱۶۹
آسیموف، ایزاک ۱۴۴، ۱۴۶، ۱۸۲
آشکارساز امواج گرانشی ۳۲۱
آلبرخت، آندریاس ۱۲۱
آلفِر، رالف ۷۷ تا ۸۱، ۹۳، ۹۵
آلفونسِ عاقل ۳۷
آلکوبیر، مارگوئل ۴۰۹ تا ۴۱۱
آلن‌پو، ادگار ۴۴، ۷۲
آنتی‌کوارک ۱۱۰
آن‌طور که تو دوست داری (اثر شکسپیر) ۳۷

ابرتقارن ۲۵۴
ابرفضا ۳۴
ابرنواختر ۱۳۴
اتم‌شکن ۴۰۳
اثر دوپلر ۶۹
اثر کاسیمیر ۳۴۱، ۴۰۸
اُدین ۳۵۳
اِدینگتون، آرتور ۵۵، ۵۷، ۷۳، ۱۵۱، ۲۳۳، ۳۵۵
ارسطو ۴۳۵
اِرنفست، پُل ۲۰۰، ۳۱۵
اِرو ۳۲۵
از درون آئینه ۱۵۲
اسب چوبی تروا ۱۴۳
اِسپرگِل، دیوید ۷۸
اَسپکت، آلن ۲۲۱
اَسپِن ۲۴۰
اسپین ۲۱۷ تا ۲۲۲، ۲۳۹
اسپینوزا ۴۳۴
استاپلدون، اولاف ۲۱۲
استارکمن، گلن ۳۶۹، ۳۷۰
استرومینگر، اندرو ۲۵۹، ۲۸۵
استگفیلد ۲۰۴
اِستوکوم، دبلیو جی وَن ۱۶۳
استونی بروک ۲۶۳
استِینهارت، پل ۱۲۱، ۲۷۸ تا ۲۸۰
اِستیواوِلّی، ماسیمو ۴۶
اِس ذرات ۲۵۶
اسکوارک ۲۵۶
اسلون ۳۳۳
اِسلیفر، وِستو ۷۰
اسمولین، لی ۳۱۶
اسمیت، کریس لولین ۳۴۲
اِسنیدِر، هارتلند ۱۵۱
اِشمیت، برایان پی ۱۳۵
اصل آنتروپیک ۳۰۱
اصل عدم قطعیت ۷۵، ۱۲۴، ۱۶۹، ۲۰۱
اصل عدم قطعیت هایزنبرگ ۱۳۳، ۱۶۸، ۲۱۷
اصول ریاضی فلسفه طبیعی (پرینکیپیا) ۳۸
افق رویداد ۱۵۰
افلاطون ۴۳۵
اکپیروتیک ۲۷۸، ۲۸۲، ۳۲۷
اَندرسون، پُل ۱۰۳، ۳۵۸
انرژی تاریک ۲۴
انستیتوی کارنگی ۳۰۵، ۴۱۵
انستیتوی کاولی ۲۶۱
انستیتوی لِبدوف ۱۲۱
انستیتوی ماکس پلانک ۱۶۰
انستیتوی مطالعات پیشرفته پرینستون ۱۷، ۱۳۷، ۱۶۶، ۲۸۹
انستیتوی مطالعات فضایی گودارد ناسا ۱۹۰
انفجار بزرگ ۶۵
انگلوساکسون ۳۷
اوپنهایمر، جِی رابرت ۱۵۱، ۱۹۱
اودسا ۷۴
اورانوس ۹۶
اِورِت، آلن ای ۴۱۰
اِورِت، بِرت ۲۷۸
اِورِت، هیو سوم ۲۱۱
اورکا ۴۴
اوژه ۲۸۴
اوستریخر، ژِرمی پی ۱۰۰
اوگل ۳۲۹
اولام، اِستَنیسلاو ۱۹۷
اولبِرس، هاینریش ویلهلم ۴۳
اویلر، لئونارد ۲۳۶
ایمپی، کریستوفر ۶۵
اینشتین، آلبرت ۴۷

باتلر، پُل ۳۰۷
بارونیوس، کاردینال ۴۱۸
باکال، جان ۱۷، ۲۳
باکی بال ۲۰۲
بانکر، آرچی ۲۷۱
بانکو ۱۹۴
بِته، هانس ۷۷
براور، روبرتا ۴۳۲
بِراونشتین، ساموئل ۲۲۲
براون لی، دونالد ۳۰۳، ۳۶۴
بِربیج، جفری ۸۶
بِربیج، مارگارت ۸۶
بِرتِلزمان ۲۲۱
برخورد دهنده بزرگ هادرون ۳۴۲
بِرک، برنارد ۹۳
بِرکلی، بیشاپ ۱۹۸
بِرَندِنبِرگر، رابرت ۲۷۷
برنشتاین، آرون ۴۸
بِرنشتین، ژِرمی ۲۳۴
بروکسل ۷۵
برونو، جوردانو ۴۲۰
بِکنشتاین، ژاکوب ۱۷۰، ۲۸۹، ۲۹۱،

۲۹۳، ۳۶۵
بِل، جان ۲۲۱
بِنِت، چارلز اِل ۲۵
بِنتلی، ریچارد ۴۰
بورسیه تحصیلی معتبر رودز ۶۶
بورن، مَکس ۱۹۲
بور، نیلز ۷۴، ۱۸۵، ۱۹۰، ۲۳۴
بوزون‌های Z و W ۱۰۸ تا ۱۱۲، ۱۹۳، ۲۵۰
بوسما، آلبرت ۹۹
بولتسمان، لودویگ ۱۹۱
بولدِر ۳۴۰
بوندی، هرمان ۸۲
بیِر، گِرگ ۳۷۲
بیست هزار فرسنگ زیر دریا ۶۶
بیلینگزلی، گاریلین ۳۲۳

پائولی، ولفگانگ ۲۳۳، ۲۳۴
پادشاه هارولد ۳۸
پارادوکس بیلکر ۱۸۱
پازینسکی، بودان ۳۲۹
پالومار ۳۳۴
پرتو ایکس
پرتوگاما ۱۶۱
پرزیدنت روزولت ۱۸۷، ۲۰۳
پِرلماتِر، سائول ۱۳۵
پِرل هاربر ۱۸۷
پَریش، لیوینگ اِستون ۳۲۳
پریماک، جوئل ۲۶، ۲۸۱
پلاسما ۱۳۸، ۱۶۰، ۳۴۴، ۳۴۸
پلانک، ماکس ۵۱، ۷۹، ۱۹۹
پل اینشتین-روزن ۱۵۲
پنتاگون ۱۶۱
پِنروز، راجر ۱۲۱، ۳۵۸
پِنزیاس، آرنو ۹۲ تا ۹۵، ۱۰۰
پنسیلوانیا ۳۶۱
پَن کو ۱۴، ۱۲۵
پوپ، الکساندر ۳۹
پودولسکی، بوریس ۲۱۹، ۲۲۰
پورتوریکو ۳۳۴، ۳۳۵
پوسته
پولکینگورن، جان ۲۰۷، ۳۰۹
پیزا ۳۲۴
پیکاسو، پابلو ۲۳۱
پِیگلز، هاینز ۳۱۰

تابش پس‌زمینه ریزموج ۲۱، ۸۱، ۱۰۰، ۱۳۴
تابش جسم سیاه ۷۹، ۹۳، ۱۰۰
تابش هوکینگ ۲۸۵، ۲۸۷، ۴۰۱
تابع بِتای اویلر ۲۳۶
تابع موج ۱۹۲، ۱۹۹، ۲۰۸ تا ۲۱۴، ۲۲۴
تاسیسات هسته‌ای هانفورد ۲۰۵، ۳۲۳
تاما ۳۲۴
تامپسون، جِی جِی. ۵۷
تاوسند، پُل ۲۶۵
تاو صفر ۱۰۳، ۱۰۴، ۳۵۸
تبخیر سیاهچاله ۱۷۱، ۳۶۵
تتسوگوتو ۲۳۸
تداخل سنجی ۳۰۶، ۳۳۹
ترایون، ادوارد ۱۰۳، ۱۲۵
تریمبل، جین ۴۲۷، ۴۲۹
تِسِرَکت ۲۳۱
تِسلا، نیکولا ۳۸۸
تصحیحات کوانتومی ۳۹۲
تکزاس ۳۳۹، ۳۴۵
تک قطبی ۱۱۵
تکینگی ۸۴، ۱۴۹ تا ۱۵۳، ۲۷۹، ۳۵۸، ۳۹۷
تِلِر، اِدوارد ۷۴
تلسکوپ رادیویی هولمدِل هورن ۹۲
تلسکوپ فضایی پرتو X چاندرا ۱۵۷
تلسکوپ فضایی هابل ۴۵، ۶۵، ۹۹، ۱۴۰، ۱۵۷، ۳۲۸، ۳۳۵، ۳۶۰
تلسکوپ مونت ویلسون ۷
تواترون ۳۴۴
تواین، مارک ۲۹۲، ۳۷۳، ۴۳۵
تورم ۱۰۳
تورم پرآشوب ۲۷، ۳۱۶
تورن، کیپ ۱۶۷، ۳۲۷
توروک، نیل ۲۷۸
تِیلور، جوزف ۳۲۱

جاکوبی، جورج ۱۳۶
جدول تناوبی مندلیف ۷۷
جزایر ویرجین ۳۳۹
جزیره پرنس ادوارد ۱۶۱
جزیره پرنسیپ ۵۶
جفری، لرد فرانسیس
جکسون فیلد ۱۹۰
جولیا، برنارد ۲۶۳
جِیمز، ژِمی ۲۴۹
جیمز، ویلیام ۴۱۸

چاندِراشکر ۳۹۸
چخوف، آنتوان ۴۳۷
چسترسون، جی کی ۱۳
چند لایه‌ی Calabi-Yau ۲۵۹، ۲۷۱، ۳۴۹

حامد ارکانی، نیما ۲۷۲

خلأ کاذب ۱۱۴
خواب سنگین گِراس هاپِر ۱۸۸

داچ، دیوید ۲۱۸
داروین، چارلز ۳۴، ۲۳۴، ۳۵۲، ۴۱۹
داگسون، چارلز ۱۵۲
دالاس ۳۴۵
دالامبر، ژان لورون ۲۲۷
دالی، سالوادور ۲۳۱
دامون، مَت ۲۵۳
دان پیج ۳۰۹، ۴۳۳
دانته ۴۳۵
دانشگاه آرهوس ۲۲۲
دانشگاه آریزونا ۶۵
دانشگاه آلبرتا ۴۳۳
دانشگاه استنفورد ۳۲۸
دانشگاه اِم آی تی
دانشگاه اوزاکا ۲۳۹، ۲۹۵
دانشگاه برکلی ۲۳۶، ۳۳۴
دانشگاه پِردیو ۳۴۱
دانشگاه پرینستون ۷۸، ۹۳، ۲۰۷
دانشگاه پلی تکنیک زوریخ ۴۷

دانشگاه پنسیلوانیا ۱۲۱، ۲۷۸
دانشگاه تورنتو ۲۷۹
دانشگاه ژنو ۲۲۳
دانشگاه سیتی شهر نیویورک ۱۲۵
دانشگاه شیکاگو ۶۷، ۲۰۴، ۲۳۸
دانشگاه کپنهاگ ۷۴
دانشگاه کلتک ۲۸، ۲۴۱، ۲۴۵
دانشگاه کلمبیا ۵۷، ۲۰۴، ۲۳۴
دانشگاه کمبریج ۳۵، ۳۹، ۸۲، ۲۶۴ تا ۲۶۶، ۲۷۸، ۳۱۰
دانشگاه لنینگراد ۷۴
دانشگاه مریلند ۱۷۳، ۴۳۳
دانشگاه میشیگان ۱۳۱، ۱۵۷، ۳۵۸
دانشگاه نیهون ۲۳۸
دانشگاه ولز ۲۲۲
دانشگاه ویسکانسین ۲۳۸
دانشگاه هاروارد ۶۷، ۹۸، ۱۲۰، ۲۴۶، ۴۳۲
داوکینز، ریچارد ۴۳۱
دِروست، یوهانس ۱۴۸، ۱۵۰
دِسیتِر، ویلم ۵۵، ۵۹، ۱۱۵
دموکریتوس ۳۰۵
دورفرستی ۲۱۶
دوشان، مارسل ۲۳۱
دیتر زِه ۲۰۹
دیراک، پُل ۱۹۱
دیسکاور ۲۴۵
دیسون، فریمن ۳۰۹، ۳۵۷، ۳۶۸ تا ۳۷۰، ۳۸۴
دیک، رابرت ۹۳، ۱۱۸
دیک، فیلیپ کی. ۱۸۷
دیموپولوس ۲۷۴
دیوالی، جی. ۲۷۴
دیویس، پُل ۱۷۰

رابرتسون، اچ پی. ۱۵۰
رادرفورد، ارنست ۲۷۴
راسترل ۳۳۱
راس، هیو ۳۰۸
راگناروک ۳۵۲
رامانوجان، اسرینیواسا ۲۵۳
رام، رایان ۲۶۳
رامواند، پیر ۲۳۹
راهنمای مسافران مجانی کهکشان ۱۸۵، ۴۲۳
رِد گِریو، مایکل ۸۳
رصدخانه جُردِل بانک ۳۲۸
رصدخانه قله کیت ۱۳۶
رصدخانه لیک ۶۷، ۳۳۷، ۴۳۲
رصدخانه ماموت ۷۲
رصدخانه میدی-پیرنیس ۳۲۸
رَندال، لیزا ۲۷۱
روبین، وِرا ۹۷، ۹۸
روتگرز ۲۴۱
روتمَن، تونی ۳۶۷
روزِن، ناتان ۱۵۳، ۲۱۹، ۲۸۳
ریچستون، داگلاس ۱۵۷
ریس، آدام ۳۲
ریس، سر مارتین ۲۷، ۱۴۳، ۳۱۰، ۳۵۷، ۳۸۰، ۳۹۲
ریسمان کیهانی ۱۷۹، ۱۸۰
ریگان، رونالد ۳۴۵

زِنو(ن) ۱۷۱، ۱۹۵
زوئیکی، فریتز ۹۱، ۹۵ تا ۹۷
زوئیگ، جورج ۱۱۰
زوکر، مایکل ۳۲۳، ۳۲۴

ژِلمن، موری ۱۱۰، ۱۱۹، ۲۴۰
ژن‌ها، گاموف و دختران ۷۴
ژیلارد، لئو ۲۰۳

ساخاروف، آندره‌ی ۱۲۷
ساختمان امپایر استیت ۱۹
سارتر ۳۵۳
سارجِنت، والاس ۸۵
ساسکیند، لئونارد ۲۳۸
ساکیتا، بانجی ۲۳۸
ساگان، کارل ۱۴۳، ۱۶۷، ۳۱۹، ۳۷، ۳۹۰
سالسون، پیتر ۳۲۵
سانتا باربارا ۲۵۹، ۲۶۱
سانتاکروز ۲۸۲، ۳۶۲
ساندِیج، آلَن ۲۲
ستاره‌ساز ۲۱۲
سحابی مارپیچی آندرومدا ۶۸
سرعت گریز ۱۴۷
سِرن ۲۳۶، ۳۴۲
سزار، جولیوس ۳۹
سفر به ماه ۶۶
سُکرو ۳۳۹
سِلدنِر، جان جرج وُن ۳۴۷
سِلِکترون ۲۵۶، ۲۶۰
سوبرال ۵۷
سوزوکی، ماهیکو ۲۳۶، ۲۳۷
سیاهچاله
سیاهچاله کر ۳۵۵، ۳۵۶، ۳۹۸
سیسرو، رومن ۱۹۷

شِرک، جوئل ۲۴۱، ۲۶۳
شِرودینگر، اِروین ۱۹۰، ۱۹۹، ۲۰۲، ۲۳۳
شکسپیر ۳۷، ۱۴۴، ۱۹۴، ۳۵۴
شمع استاندارد ۶۸
شوارتز، جان ۲۳۹، ۲۴۲
شوارتسشیلد، کارل ۱۴۷ تا ۱۵۱
شِپلی، هارلو ۶۷
شین ۳۳۷

صورت فلکی جبار ۴۵، ۹۱

ضد گرانش ۲۶
ضد ماده ۱۲۷، ۱۳۹، ۳۸۴، ۴۰۵

عبدوالسلام ۱۱۰

فارادی، مایکل ۲۳۹، ۲۹۳
فاکس، مایکل جِی. ۱۸۲
فاولر، ویلیام ۸۶
فاینمَن، ریچارد ۱۸۵، ۱۹۰، ۱۹۸، ۲۰۵، ۲۴۰، ۲۵۲
فِرارا، سرژیو ۲۶۳
فراسوی اینشتین ۸
فرافضا ۳۲، ۲۲۹، ۲۳۱، ۲۴۹، ۲۷۱، ۴۰۱، ۴۳۴
فِرمی، اِنریکو ۲۰۴

فروپاشی بزرگ ۳۵۷
فروید، زیگموند ۴۳۶
فریجوس ۳۳۱
فریدمن، الکساندر ۵۸، ۷۴، ۹۵
فریدمن، دانیل ۲۶۳
فورد، هنری ۱۹۵
فولینگ، استفان ۱۷۰
فِیبِر، ساندرا ۴۳۲

قانون مور ۲۱۶
قطر شوارتسشیلد ۱۴۸ تا ۱۵۰، ۱۵۹، ۳۹۸
قیفاووسی ۶۸، ۷۱، ۱۳۴، ۳۳۰

کادریلیون ۲۷۹، ۲۸۲
کارداشِف ۳۷۶، ۳۸۸، ۳۹۲
کارنگی-مِلون ۴۱۵
کارول، لِویس ۱۵۲، ۳۸۷
کاسیمیر، هنریک ۱۶۸
کالج سوارتمور ۹۸
کالج هانتِر ۱۲۵
کالوزا، تئودور ۲۴۹، ۲۷۳
کالوش، رناتا ۲۷۹
کاندون، اِی یو. ۷۵
کپرنیک، نیکولاس ۷، ۴۲۰، ۴۲۳
کپلر، یوهان ۷، ۴۲، ۴۳
کتاب عوام در علم طبیعی ۴۸
کراس تایم ۴۲۷، ۴۲۸
کراس، لارنس ۳۶۹
کراسنیکوف، سِرگِئی ۱۷۷، ۴۱۰
کراسوِل، کن ۶۱، ۳۱۹، ۳۶۳
کرافورد، یان ۳۸۵
کراملین، اَندرو ۵۷
کر، روی ۱۵۵
کرمچاله در اکثر صفحات
کرِمِر، اوگِن ۲۶۳
کرنل ۹۸
کرومودینامیک کوانتومی ۱۱۱، ۱۳۰
کریستین، لِئونورا ۱۰۳
کریک، فرانسیس ۷۳
کریمه ۷۴
کرین، استفان ۴۲۳
کک
کلرادو ۲۴۰، ۳۴۰
کلمب، کریستف ۲۳۵، ۳۸۲
کِلین، دیوید ۳۳۲
کِلین، فلیکس ۲۴۹
کمپ ۲۲۸
کمپِل، جوزف ۶۵
کمدی صامت پلیس‌های کیستون ۹۲
کمربند شفق ۱۸۸، ۱۸۹، ۲۱۲
کندِلاس، فیلیپ ۲۵۹
کنفرانس سولوی ۲۰۰
کوئینز ۲۷۱
کوالسکی، گَری ۴۲۶
کوبیسم ۲۳۱
کورتیس، هِبِر ۶۷
کوفمَن، لِف ۲۷۹
کوکمور، آنتون ۴۶
کوموسا، استفانی ۱۶۰
کوه‌های راکی ۱۸۸
کیتز، جان ۲۰۸
کیرشنر، رابرت ۱۲۰
کیستیاکوفسکی، وِرا ۳۰۹
کیکاوا، کیجی ۲۳۸، ۲۳۹، ۲۶۱، ۲۹۵، ۲۹۷
کین، گوردون ۱۳۱

گات
گات، جِی ریچارد ۱۷۸
گارچینگ ۱۶۰
گارنر ۱۸۷
گالیله، گالیلئو ۷، ۱۰۰، ۲۷۲، ۴۲۰
گاموف، جورج ۷۳
گایگِر، شمارشگر ۱۹۹
گراس، دیوید ۱۲۹، ۲۶۱، ۲۶۳
گراسمَن، مارسل ۴۷
گرانش کوانتومی ۱۷۷، ۲۵۰، ۲۷۳، ۲۸۸، ۳۴۵، ۳۹۹
گراویتون ۱۹۳، ۲۴۲، ۲۴۷، ۲۵۵، ۲۶۳، ۲۷۵
گراویتینو ۲۶۳، ۲۶۵
گریفین ۲۲۸
گرین، برایان ۲۹۸، ۳۴۹
گرین، مایک ۲۴۵
گلئون ۱۱۰ تا ۱۱۲، ۱۳۸، ۱۹۳، ۲۵۰، ۲۵۵
گلاشو، شِلدون ۱۱۰، ۱۱۹، ۲۴۶
گلر، مارگارت ۴۳۲
گوث، آلن ۲۵، ۱۰۳، ۱۰۵ تا ۱۰۷، ۱۱۵ تا ۱۲۱، ۱۳۴، ۲۱۲، ۲۸۰، ۳۱۰، ۴۰۰، ۴۳۶
گودِل، کورت ۱۶۵، ۱۶۶
گورنی، آر دبلیو. ۷۵
گولد، توماس ۸۲
گیبونز ۳۷۰
گیسین، نیکولاس ۲۲۳

لاپلاس، پیر سیمون ۱۹۴، ۱۹۵
لامورکس، استیون ۱۶۹
لانداو، لِو ۲۱
لاولس، کلاود ۲۴۱
لاولین، رِرگ ۳۵۸
لایب‌نیتس، گاتفرید ۲۱۵، ۲۴۸
لایتمن، آلن ۴۳۲
لپتون ۳۰، ۱۱۰، ۱۳۰، ۱۳۸، ۲۵۴، ۲۵۶، ۲۵۹
لُرد کلوین ۴۵
لِمتره، ژرژ ۷۲، ۱۴۹
لوئیزویل ۱۷۸
لوئیزیانا ۳۲۳
لوتر، مارتین ۱۹۶
لورنتس-فیتزجرالد ۵۰
لوکاسین ۲۶۴
لوکرِتیوس ۴۰، ۱۰۳
لِویت، هنریتا ۶۸
لِبلوند، مارک لوی ۳۸۶
لیبِرخ، کِنِت ۳۲۵
لیزا ۳۲۶
لیسرال ۴۷
لیگو ۳۲۲
لی، ژینگ لی ۱۷۷
لِین پور، چارلز ۵۷
لیند، آندرِی ۲۷، ۱۲۱، ۱۲۳، ۲۰۸، ۲۷۹، ۲۸۰

ماخ، اِرنست ۱۹۰
ماخو ۹۹، ۳۲۹
ماده تاریک ۲۳، ۹۵، ۳۳۰ تا ۳۳۳
مارتینِک، اِمیل ۲۶۳
مارشفیلد ۶۶
ماریک، میلوا ۴۷
ماشین تورینگ ۳۸۹
مالداسِنا، ژوان ۲۸۹، ۲۹۰
ماناکیا، آتشفشان ۲۳۸
ماندِل، رودی ۳۲۷
ماهاپورانا ۱۵
ماهواره وِلا ۱۶۱، ۱۶۲
مایتنر، لایز ۲۰۳
مایسنِر، چارلز ۱۷۳، ۴۳۳
مَدرَس ۲۵۳
مدرسه عالی اِکول نرمال ۲۴۲، ۲۶۳
مدل استاندارد ۱۳۰
مدیسی ۴۲۰
مرد ساکن قلعه بلند ۱۸۷، ۱۸۸، ۲۱۲
مرکز شتاب‌دهنده خطی استانفورد ۱۱۰، ۳۴۸
مزون ۳۰، ۱۱۰، ۲۳۶
معادلات تانسوری ۱۴۷
معادله موج شرودینگر ۱۹۱، ۱۹۳، ۲۱۲
مَکس، کِلیر ۳۳۷
مکسول، جیمز کلرک ۴۸
مک کارتی، کریس ۳۰۵
مک کِلر، اندرو ۹۳
مِلیا، فولویو ۱۵۸
منطقه گولدیلاکس ۳۰۰ تا ۳۱۶
منوهین، یهودی ۲۴۸
موتورهای اتمی رام جِت ۱۰۴
موج گرانشی ۵۱، ۳۲۱ تا ۳۲۵
موراوِس، هانس ۴۱۵
موریس، مایکل ۱۶۷
موریسون، فیلیپ ۳۹۱
میدگارد ۳۵۲
میشل، جان ۱۴۶ تا ۱۴۸
میلِر، باب ۱۱۴
میون ۱۱۱

ناپلئون ۱۹۵
ناکازاکی ۲۰۵
نامبو، یویچیرو ۲۳۸
نظریه M ۲۳۲
نظریه بزرگ یکپارچگی (گات)
نظریه جهان‌های چندگانه ۱۲۴، ۱۳۳، ۲۱۳
نظریه حالت پایدار ۸۲
نظریه ریسمان‌ها ۲۳۵
نظریه ریسمان هتروتیک ۲۶۳، ۲۷۰
نظریه کالوزا-کِلین ۲۴۶
نظریه کوانتوم در اکثر صفحات
نظریه میدان یکپارچه ۱۰۹، ۱۵۳، ۲۰۲، ۲۳۳، ۲۴۳، ۲۶۴، ۲۸۳، ۳۲۶، ۴۱۷، ۴۳۵
نوترالینو ۳۳۲، ۳۳۳
نوترینو ۳۰، ۹۹، ۱۰۸، ۱۳۰، ۱۹۴، ۲۴۷، ۲۵۵، ۳۰۸، ۳۴۹، ۳۶۶، ۳۷۴، ۴۰۰، ۴۳۵
نوو، اندرو ۲۳۹، ۲۴۱
نوویکوف، ایگور ۱۸۲
نِیچر، مجله ۹۴، ۱۲۵، ۳۴۰
نیروی هسته‌ای ضعیف ۱۰۸، ۱۴۶، ۲۷۳، ۳۰۸، ۳۵۹
نیروی هسته‌ای قوی ۱۰۸ تا ۱۱۱، ۲۷۳، ۳۰۸، ۳۵۹
نیلسِن، هولگِر ۲۳۸
نیو بِرنزویک ۱۰۶
نیوتون، ایزاک در اکثر صفحات
نیوجرسی ۹۲، ۱۰۶
نیومکزیکو ۱۵۷، ۳۳۷، ۳۳۹
نیون، لَری ۴۲۷
نیوونهایزِن، پیتر وَن ۲۶۳
نیوهمپشایر ۳۳۹

واتسون، جیمز ۷۳
وارد، پیتر ۳۰۳
واسار ۹۸
واسکوئز، پاتریشیا ۳۷۲ تا ۳۷۴
والد، جورج ۴۲۶
والِرا، ایمون دی ۲۳۴
والش، دِنیس ۳۲۸
والهالا ۳۵۲
وایت، تی اِچ. ۱۷۳
وایکینگ ۳۵۳
واینبِرگ، استیون ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۹، ۱۹۸، ۲۱۳، ۲۳۵، ۲۴۰، ۳۱۰، ۳۱۵، ۴۳۱
واینر، اِگن ۲۰۳، ۲۰۸، ۴۲۵
وجوود، توماس ۷۹
وِرشینین ۴۳۷
ورن، ژول ۶۶
وستینگهاوس ۱۷۸
وفا، کامران ۲۷۷، ۲۸۵
وِلز، اِچ جی. ۲۲۷، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۷۴، ۲۷۶
وِنتزیانو، گابریل ۲۳۶ تا ۲۳۸، ۲۸۱، ۲۹۸
وولستورپ ۳۹
ویتن، ادوارد ۱۳۷، ۲۲۷، ۲۳۶، ۲۴۲، ۲۴۸، ۲۵۹، ۲۶۵، ۲۶۹، ۳۴۹
ویتنبرگ ۱۹۶
ویراسورو، میگوئل ۲۳۸
ویرگو ۳۲۴
ویسر، مَتیو ۱۷۷
ویلچِک ۴۳۵
ویلچِک، فرانک ۲۱۲
ویلر، جان ۱۹۰
ویلسون، باب ۹۴
ویلسون، روبرت ۹۲
ویل، کلیفورد ۳۲۰
ویل، هِرمَن ۱۴۹
ویلیام فاتح ۳۸

هابل، ادوین ۶۶
هادامارد، ژاکوئیز ۱۴۹
هارمون، امبروس ۴۲۷
هاروارد-اسمیت سونیَن ۳۳۰
هاروی، جفری ۲۶۳
هاکسلی، توماس ۴۱۸، ۴۱۹
هالام، فردریک ۱۴۵
هالدِن، جِی بی اِس ۶۵
هالس، راسل ۳۲۱
هالی، ادموند ۳۸، ۳۹

جهان‌های موازی

«میچیو کاکو، در کتاب جهان‌های موازی، استعداد شگرف خود را به خدمت گرفته تا به یکی از عجیب‌ترین و هیجان انگیزترین دستاوردهای احتمالی فیزیک مدرن بپردازد: اینکه ممکن است جهان ما تنها جهانی در بین جهان‌های متعدد باشد؛ شاید بی‌نهایت جهان در یک شبکه گسترده کیهانی وجود داشته باشند که کل جهان ما فقط یکی از آن‌هاست. کاکو، با استفاده استادانه از شوخ طبعی و تمثیل، صبورانه خواننده را با نظریات متفاوت موجود در مورد جهان‌های موازی آشنا می‌سازد، نظریاتی که همگی از مکانیک کوانتومی، کیهان شناسی و تئوری جدید M نشأت می‌گیرند. این کتاب را چون سفری شگفت‌انگیز مطالعه کنید، سفر در کیهانی که نیروهای واقعی آن، ما را مجبور می‌سازند تا به سمت مرزهای تخیل کشیده شویم»

ــ برایان گرین، استاد فیزیک نظری ذرات در دانشگاه کلمبیا
و نویسنده کتاب‌های ساختار کیهان و جهان زیبا

«علاقمندان به کیهان شناسی، سفر در زمان، نظریه ریسمان‌ها و جهان پسازده بعدی، راهنمایی بهتر از میچیو کاکو نمی‌یابند. فرد کم‌نظیری که خود در این زمینه‌ها تحقیق کرده و به خوبی می‌داند چطور این مطالب جذاب، پیچیده و هیجان انگیز را ارائه کند»

ــ دونالد گولد اسمیت نویسنده کتاب‌های
جهان فراری و ارتباط با کیهان

«سفری هیجان انگیز به درون جهان و فراتر از آن. به کمک یکی از بهترین نویسنده‌های علمی جهان. میچیو کاکو نشان می‌دهد که ظاهر آشنای جهان فیزیکی، سرزمین عجایبی پر از شگفتی‌ها را پنهان می‌سازد. ماده و انرژی تاریک، ابعاد مخفی فضا و حلقه‌های کوچک ریسمان‌های لرزان که کیهان را می‌سازند. به گفته کاکو، واقعیت جهان همان‌قدر حیرت‌انگیز است که خارق‌العاده‌ترین داستان علمی تخیلی»

ــ بل دیویس از مرکز آستروبیولوژی استرالیا و
نویسنده کتاب چگونه ماشین زمان بسازیم

قیمت: ۱۹۰۰۰ تومان
ISBN 964-5670-90-0
9 789645 670968
انتشارات نازیار