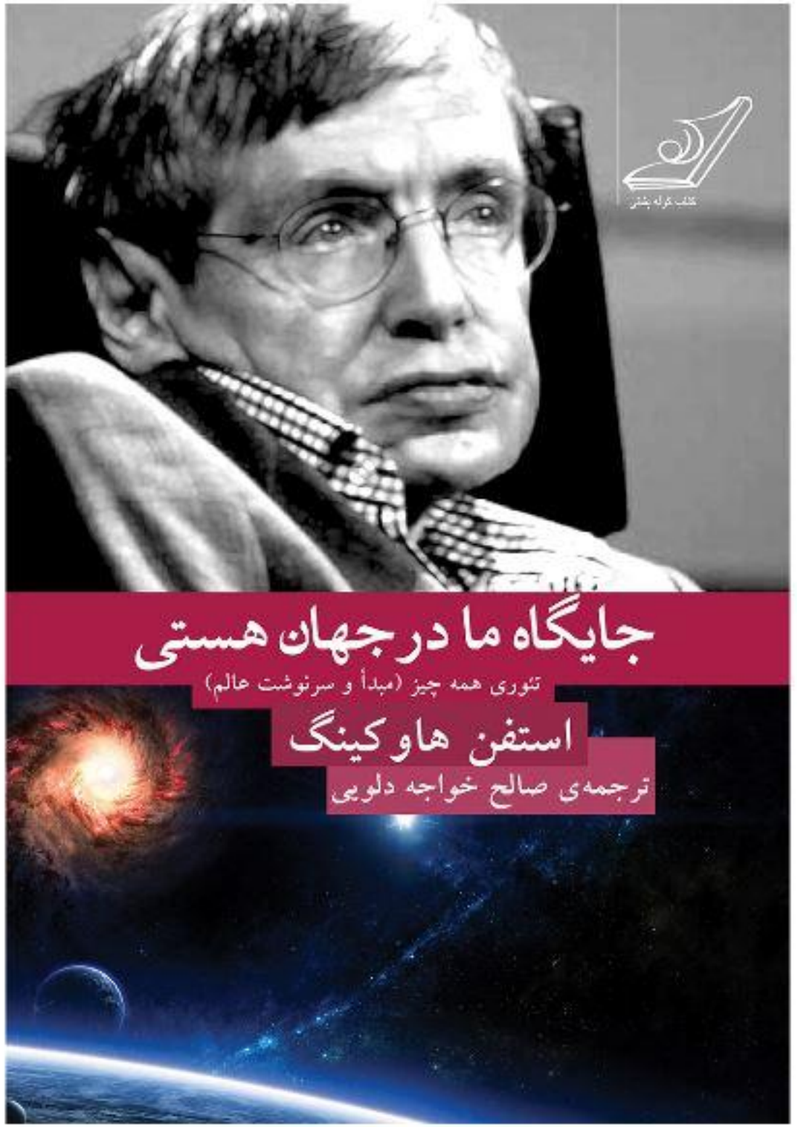

www.ketabha.org

استفن هاوکینگ

صالح خواجه‌دلویی

www.ketabha.org

جایگاه ما در جهان هستی

تئوری همه چیز (مبدأ و سرنوشت عالم)

استفن هاوکینگ

صالح خواجه‌دلویی

شابک: ۸ـ ۲۳ـ ۷۶۴۲ـ ۶۰۰ـ ۹۷۸

نوبت چاپ: اول - سال ۱۳۹۴

صفحه‌آرایی: نرگس ریاحی

ویراستار: امیرحسین کیوانی‌راد

طراح جلد: پریسا عزیزی

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

نشر کتاب کوله‌پشتی

تلفن: ۶۶۵۹۴۸۱۰- ۰۹۱۲۵۲۴۹۷۰۰

پست الکترونیک: Koolehposti_pub@yahoo.com

وب‌سایت: www.ketabekoolehposhti.com

کلیه‌ی حقوق برای ناشر محفوظ است.

www.ketabha.org

وَلِلّهِ مَا فِی السَّمَاوَاتِ وَمَا فِی الأَرْضِ وَکَفَی بِاللّهِ وَکِیلاً

و آن چه در آسمان‌ها و زمین است، فقط در سیطره مالکیت و فرمانروایی خداست و خدا نسبت به کارگزاری (همه امور آفرینش)، کافی است.

پیشگفتار مترجم

www.ketabha.org

... به نام خدایی که حقیقت، تنها از آنِ اوست

قبل از آغاز هر چیز، سلامِ گرم من را پذیرا باشید. کتاب پیش‌رویتان، ترجمه‌ای است از ویرایش ویژه سالیانه ۲۰۰۹ کتاب " The Theory Of Everything: The Origin And Fate Of The Universe"، تألیف استفن ویلیام هاوکینگ که با عنوان «جایگاه ما در جهان هستی» در اختیار شما خواننده گرامی قرار گرفته است. نسخه اصلی این کتاب در یک جلد و ۱۴۴ صفحه منتشر شده است و موضوع اصلی آن؛ دنیا، از ظهور تا فنا و به زبانی عامیانه می‌باشد.

هر یک از ما مدّت کوتاهی زندگی می‌کنیم که در آن سعی داریم تا اگر شده در کل جهان، اندکی کاوش کنیم.

انسان، کنجکاو آفریده شده است. ما از خود سؤالاتی می‌پرسیم و به دنبال پاسخ آن‌ها می‌گردیم. انسان‌ها، همواره با زندگی در این دنیای پهناور که هم مهربان و هم بی‌رحم است و تعمّق در آسمان‌های بی‌کران، از خود سؤالات بسیاری پرسیده‌اند و می‌پرسند: چگونه می‌توانیم جهانی که خود را در آن یافته‌ایم درک کنیم؟ جهان چگونه رفتار می‌کند؟ واقعیت بیرون از وجود ما چیست؟ همه‌ی آنچه می‌بینیم از کجا آمده اند؟ آیا جهان به خالقی نیاز دارد؟

www.ketabha.org

ما اغلب، زمان زیادی برای یافتن پاسخ این سؤالات صرف نمی‌کنیم، اما تقریباً همه‌ی ما گاهی اوقات به آن‌ها می‌اندیشیم.

"به طور معمول این سؤالات در حوزه فلسفه‌اند، اما آیا فلسفه به تنهایی پاسخگو است؟! فلسفه نتوانست پیشرفت‌های جدید در علم، مخصوصاً فیزیک را تاب بیاورد. به این ترتیب دانشمندان، در تلاش برای آگاهی بیش‌تر، حامل مشعل کشفیات شدند."

بر اساس تصویر متداول جهان، اجرام در مسیرهای از پیش تعریف‌شده حرکت می‌کنند و زمان و مکان قطعی و مشخّصی دارند و مکان دقیق آن‌ها را می‌توان در هر لحظه از زمان تعیین کرد. علی رغم این که این محاسبات به اندازه‌ی کافی برای اهداف روزمره کارآمد هستند، ولی در دهه‌ی ۱۹۲۰ دریافتند که این تصویر کلاسیک (قدیمی) نمی‌تواند در توصیف رفتاری که در مقیاس‌های اتمی و بسیار ریزتر از آن مشاهده می‌شوند، به کار آید. به همین جهت، لزوم استفاده از چارچوب متفاوتی به نام فیزیک کوانتومی و مدرن مطرح گردید. نظریه‌های کوانتومی، در پیش‌بینی رویدادها در ابعاد اتمی، به طور قابل توجّهی دقیق بودند و با اعمال آن‌ها به دنیای بزرگ مقیاسِ اطرافمان، شاهد هستیم که همان پیش‌بینی‌های نظریه‌های فیزیک کلاسیکِ قدیمی حاصل می‌شوند. امّا آنچه اهمیت دارد این است که فیزیک کلاسیک و کوانتوم بر اساس دو مفهوم کاملاً متفاوت از واقعیّت فیزیکی بنا شده‌اند!

تا قبل از ظهور فیزیک مدرن، تصوّر عمومی بر این بود که تمام آگاهی ما نسبت به جهان از طریق مشاهده مستقیم قابل حصول است؛ این که اشیا همان چیزی هستند که دیده می‌شوند و یا آن طور که از طریق حواسّ ما دریافت می‌شوند. امّا فیزیک مدرن در توفیقی چشمگیر، بر اساس مفاهیمی نظیر ایده‌ی فاینمن که با تجارب روزانه در تضاد است، نشان داده است که این‌طور نیست. برای پاسخ به چنین پارادوکس‌هایی نیاز به رویکردی است که به آن، «واقع‌گرایی وابسته به مدل» می‌گویند. بر این اساس که مغز ما داده‌های ورودی از حواسّ پنج گانه را تفسیر می‌کند و مدلی

www.ketabha.org

برای جهان می‌سازد. ناگفته نماند که تنها زمانی چنین مدلی در توضیح رویدادها موفّق عمل می‌کند که ما چیستیِ واقعیت و حقیقتِ مطلق را به آن مدل و اجزا و مفاهیم تشکیل دهنده‌ی آن، نسبت می‌دهیم.

استفن هاوکینگ به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین متفکران جهان شناخته می‌شود. او یک فیزیکدان تئوری برجسته است که آثارش به بازسازی مدل‌های کیهانی و اصلاح آنچه در آن‌ها وجود دارد کمک‌های شایانی کرده است. تصور کنید در اتاقی نشسته‌اید و به آنچه هاوکینگ در مورد دستاوردهایش می‌گوید گوش می‌دهید و انگار که در حال شنیدن سخنان کریستف کلمب هستید که درباره اکتشافاتش در دنیای نو سخن می‌گوید. هاوکینگ یک‌سری سخنرانی‌های هفت‌گانه دارد که در آن‌ها به همه موضوعات، از انفجار بزرگِ مبدأ گیتی (مهبانگ) تا سیاه‌چاله‌ها و نظریه ریسمان پرداخته است. این گستره وسیع از موضوعات مختلف نه تنها نشان‌دهنده هوش سرشار هاوکینگ است بلکه شخصیت او را نیز نمایان می‌کند. او در مورد تحقیقاتش در مورد سیاه‌چاله‌ها که بیش از یک دهه وی را به خود مشغول داشته است می‌گوید: پرداختن به موضوع سیاه‌چاله‌ها مثل جستجو برای یافتن گربه سیاهی در یک سیاهچال تاریک است. هاوکینگ سخنرانی‌های خود را با ارائه مطالبی در مورد کیهان آغاز می‌کند و از پافشاری های ارسطو بر کروی بودن زمین تا اکتشافات هابل را در یک بازه زمانی ۲۰۰۰ ساله مورد بررسی قرار می‌دهد؛ یعنی همان بازه زمانی‌ای که جهان نیز طی آن در حال گسترش بوده است.

او با این زمینه‌سازی‌ها، اکتشافات خود را تا آخرین مرزهای فیزیک جدید ادامه می‌دهد و به نظریه‌های مربوط به منشأ حیات مثل مهبانگ و ماهیت سیاه‌چاله‌ها و موضوع فضا زمان می‌پردازد. سپس سؤالاتی که فیزیک جدید، از پاسخ دادن به آن‌ها ناتوان بوده است را مطرح می‌کند؛ خصوصاً این سؤال اساسی که «چگونه می‌توان تمام این نظریه‌های ناقص را در یک نظریه واحد و بزرگ در مورد همه چیز با یکدیگر ترکیب کرد؟» او ادعا می‌کند اگر بتوانیم به این سؤال پاسخ دهیم، آخرین گام را در راستای تکامل استدلال انسانی برداشته‌ایم.

www.ketabha.org

هدف این کتاب، پاسخ به برخی از سؤالاتی است که از طریق کشفیات جدید و پیش‌رفت‌های نظری مطرح‌شده‌اند. این پاسخ‌ها، تصویر جدیدی از جهان و جایگاه ما در آن ارائه کرده که نه تنها با آنچه مدت‌ها پیش تصوّر می‌کردیم بسیار متفاوت است، بلکه حتّی تصویر یک یا دو دهه ی پیش را به چالش می‌کشد.

عدم آگاهی نسبت به رویدادهای طبیعی باعث شده بود که مردم باستان، خدایان متعدّدی اختراع کنند تا بر هر کدام از جنبه‌های زندگی آن‌ها حکمرانی کنند. خدایان عشق و جنگ، خدایان خورشید و زمین و آسمان، خدایان اقیانوس‌ها و رودخانه‌ها، خدایان باران و طوفان‌ها و حتّی خدایان زمین لرزه‌ها و آتش فشان‌ها. زمانی که خدایان، راضی و خشنود بودند، انسان‌ها در وضعیت آب و هوای مساعد، در صلح و آرامش و رها از فجایع و امراض طبیعی زندگی می‌کردند. از آن جا که ارتباط بین علّت و معلول در طبیعت، از چشم آن‌ها پنهان بود؛ این خدایان، به نظرشان مرموز بودند و همه انسان‌ها تحت رحم و شفقت آن‌ها قرار داشتند. امّا در حدود ۲۶۰۰ سال قبل و با حضور تالس، تغییری آغاز شد و این ایده مطرح شد که طبیعت از اصول ثابتی تبعیت می‌کند که قابل کشف هستند.

این تصوّر که قوانین طبیعت باید از روی عمد اطاعت شوند، نشان می‌دهد که مردم عهد باستان به جای تمرکز بر چگونگی رفتار طبیعت، بیش‌تر به این موضوع می‌اندیشیدند که طبیعت چرا این‌گونه رفتار می‌کند.

امروزه اغلب دانشمندان معتقدند که قانون طبیعت، قانونی است بر اساس یک نظم مشهود بعلاوه ی توانایی پیشگویی‌هایی فراتر از مشاهدات فعلی. به عنوان مثال، اگر در طولِ زندگیِ خود، هر روز شاهد آن باشیم که خورشید از سمت شرق طلوع می‌کند و این قانون را نتیجه بگیریم که «خورشید همواره از شرق بالا می‌آید.»، این تعمیمی است که فراتر از مشاهده محدود ما از طلوع

www.ketabha.org

خورشید بوده و پیش‌بینی‌های آزمون‌پذیری را در مورد آینده، فراهم می‌آورد.

در علم جدید، قوانین طبیعت معمولاً به زبان ریاضیات بیان می‌شوند. آن‌ها می‌توانند دقیق یا تقریبی باشند، امّا باید بدون استثنا و در همه‌ی موارد، درست عمل کنند. (اگر جهان‌شمول نباشند، در این صورت حدّاقل تحت مجموعه‌ای از شرایط، درست عمل کنند.) به عنوان مثالی دیگر، امروزه می‌دانیم اگر اشیا و اجسام، نزدیک به سرعت نور حرکت کنند، قوانین نیوتن نمی توانند حالات و رفتار آن را توضیح دهند و نیاز به اصلاح دارند. با این حال ما هنوز قوانین نیوتن را به عنوان قانون قبول داریم. به این دلیل که حدّاقل با تخمین بسیار خوبی، تحت شرایطِ زندگیِ روزمرّه که سرعت‌ها بسیار کمتر از سرعت نور هستند، درست عمل می‌کنند.

همه ما می‌دانیم که قوانین طبیعت می‌تواند بیان کند که "جهان، چگونه رفتار می‌کند؟» اما نمی‌تواند توضیح بدهد که علّت آن چیست؟!

اگر قوانینی بر طبیعت حاکم باشد، چند سؤال اصلی مطرح می‌شود:

منشأ این قوانین چه هستند؟

آیا استثنایی هم برای قوانین وجود دارد؛ مثلاً معجزه؟

www.ketabha.org

آیا تنها یک مجموعه از قوانینِ ممکن وجود دارد تا دنیا را تفسیر کند؟

چرا به جای هیچ، چیزی هست؟

چرا ما وجود داریم؟

و چرا این قوانین؛ و نه قوانین دیگری؟!

بگذارید این بحث را در همین جا نگه داشته و شما را دعوت به مطالعه‌ی این کتاب نمایم و تنها در ادامه، هدفم از گزینش و ترجمه این کتاب را بیش‌تر توضیح دهم. در ابتدا از شما خواننده عزیز اجازه می‌خواهم تا برایتان یک داستانِ کوتاهِ فلسفی تعریف کنم!

در یونان باستان، سقراط به دلیل خرد و درایت فراوانش مورد ستایش بود. روزی فیلسوفی که از آشنایان سقراط بود، با هیجان نزد او آمد و گفت: سقراط می‌دانی درباره‌ی یکی از شاگردانت چه شنیده‌ام؟ سقراط پاسخ داد: لحظه‌ای صبر کن! پیش از اینکه به من چیزی بگویی از تو می‌خواهم به آزمون کوچکی که نامش «سه پرسش» است، پاسخ‌دهی! مرد پرسید: سه پرسش؟ سقراط گفت: بله درست است. پیش از اینکه درباره‌ی شاگردم با من صحبت کنی، لحظه‌ای آنچه را که قصد گفتنش را داری آزمایش می‌کنم. نخستین پرسش، حقیقت است! آیا کاملاً مطمئنی که آنچه

www.ketabha.org

را که می‌خواهی به من بگویی حقیقت دارد؟ مرد پاسخ داد: نه فقط در موردش شنیده‌ام. سقراط گفت: بسیار خوب، پس واقعاً نمی‌دانی که خبر درست است یا نادرست. حال، پرسش دوم؛ خوبی و بدی! آیا آنچه را که در مورد شاگردم می‌خواهی به من بگویی، خبر خوبی است؟ مرد پاسخ داد: نه بر عکس! سقراط ادامه داد: پس می‌خواهی خبری بد در مورد شاگردم که حتی در مورد آن مطمئن هم نیستی بگویی؟ مرد کمی دست پاچه شد و شانه بالا انداخت. سقراط ادامه داد: و اما پرسش سوم، سودمند بودن! آنچه را که می‌خواهی در مورد شاگردم به من بگویی برایم سودمند است؟ مرد پاسخ داد: نه واقعاً... سقراط، حرف آن مرد را قطع کرد و گفت: اگر می‌خواهی به من چیزی را بگویی که نه حقیقت دارد و نه خوب است و حتی سودمند هم نیست، پس چرا اصلاً آن را به من می‌گویی؟!

هنگامی که نسخه‌ای از این کتاب به توصیه دکتر حسین شجاعی (یکی از اساتید خوبم در دوران لیسانس) در تابستان ۱۳۹۲ به دستم رسید، پس از اولین مطالعه‌ی این کتاب، به این نتیجه رسیدم که مطالب، اتّفاقات و استدلال نگاشته شده در این کتاب، می‌تواند برای هر علاقه‌مندی به دنیای اطرافش، مثبت و سودمند باشد و شما را به حقیقت برساند. به تعبیری، شما می‌توانید این کتاب را برای سقراط بخوانید و او هم از شنیدن آن لذّت ببرد! لذا بر آن شدم تا این کتاب را برای علاقه‌مندان، به زبان شیرین پارسی برگردانم.

متن این کتاب، بسیار روان و عامه‌پسند می‌باشد و سعی شده است تا مسائل و برهان ها، بسیار ساده و قابل‌فهم برای هر فردی بیان شده باشد. مطالب این کتاب در قالب ۷ سخنرانی قرار گرفته است که امیدوارم توانسته باشم وظیفه خود را در ترجمه و انتقال صحیح مفاهیم به خوبی انجام داده باشم و امانت‌دار خوبی در تبیین مطالب این اثر باشم.

در این کتاب سعی می‌کنیم به کمک یکدیگر به یک طرح کلی برای آنچه درباره تاریخ دنیا و جهان می‌پنداریم برسیم؛ از روزی که روز ماقبل نداشت تا آینده‌ای نه چندان دور!

www.ketabha.org

با وجود آن که اینجانب همان‌گونه که گفته شد، نهایت سعی خود را به کار گرفته‌ام تا حقّ مطلب را در ترجمه ادا نمایم، ولی هیچ‌گاه خود را از راهنمایی‌های ارزنده‌ی خوانندگان فرهیخته‌ی این کتاب بی‌نیاز نمی‌دانم. مایه‌ی مسرّت خواهد بود اگر نظرات، پیشنهادها و انتقادات خود را با موسسه انتشارات کتاب کوله پشتی در میان بگذارید و ما را در ارائه آثار بهتر و ارزشمندتر یاری نمایید.

در پایان لازم می‌دانم مراتب سپاس و امتنان خود را از مدیریت محترم انتشارات کتاب کوله پشتی و همکاران پر تلاش ایشان ابراز نمایم که در طول مراحل تهیه و چاپ این کتاب، از مساعدت‌های فراوان و صادقانه آن‌ها برخوردار بوده‌ام؛ و هم چنین از دیگر همراه خوبم جناب آقای مهندس امیرحسین کیوانی راد بابت همیاری و لطفشان در مطالعه و تصحیح دست نوشته‌های ترجمه‌ام صمیمانه متشکرم.

این کتاب را پیشکش می‌نمایم به خانواده‌ی عزیزم و آرزوی سلامتی و طول عمر برایشان از خداوند متعال خواستارم.

www.ketabha.org

مولّف از دیدگاه مترجم

استفن ویلیام هاوکینگ مشهور ترین فیزیکدان زنده در جهان و متولد هشتم ژانویه ۱۹۴۲ و در آکسفورد انگلستان است.

مایل به تحصیل در رشته ریاضیات بود، ولی پدرش رشته‌ی پزشکی را برای او ترجیح می‌داد. از آن جایی که در کالج دانشگاه آکسفورد، رشته ریاضیات تدریس نمی‌شد، بنابراین استفن مجبور به انتخاب رشته فیزیک شد.

www.ketabha.org

وی در سال ۱۹۶۲ و پس از سه سال، لیسانسش را با درجه ممتاز دریافت کرد. پس از آن، استفن برای ادامه تحصیل در رشته‌ی ستاره‌شناسی نظری و کیهان‌شناسی به کالج ترینیتی دانشگاه کمبریج رفت، چرا که در آن زمان کسی در این حوزه در آکسفورد کار نمی‌کرد.

او امیدوار بود که با "فرد هویل" در کمبریج، پایان نامه خود را تکمیل کند، اما در نهایت "دنیس سیاما" استاد مشاور او شد.

تقریباً در همان هنگامی که به کمبریج وارد شد، در ۲۲ سالگی، اولین علائم بیماری لوگریگ (آمیوتروفیک لترال اسکلروسیس ALS) یک نوع بیماری سلول‌های عصبی مسئول حرکات بدن در بدنش، شروع به پدیدار شدن کرد و همین بیماری در نهایت به از دست دادن تقریباً کنترل کاملِ عصبی عضلانی در او منتهی شد.

پس از دو سال که بیماری او وضعیت پایدارتری به خود گرفت، با کمک دنیس سیاما به کار بر روی پایان نامه دکترای خود بازگشت. هاوکینگ پس از گرفتن درجهPhD، ابتدا به عنوان دستیار پژوهشی و بعد به عنوان دستیار حرفه‌ای در کالج گونویل و کایوس انتخاب شد.

وی پس از ترک مؤسسه اخترشناسی دانشگاه کمبریج در سال ۱۹۷۳، به دپارتمان ریاضی کاربردی و فیزیک نظری همان دانشگاه رفت وسپس در سال ۱۹۷۷ به سمت استاد فیزیک گرانشی در آن دانشگاه درآمد و از سال ۱۹۷۹ مقام استادی کرسی لوکاس در رشته ریاضیات در دانشگاه کمبریج را از آن خود کرد. این کرسی در سال ۱۶۶۳ با هزینه هنری لوکاس، یکی از اعضای شورای دانشگاه و به درخواست وی برگزار شد. این مقام، اولین بار نصیب باروک و سپس در سال ۱۶۶۹ نصیب نیوتون شده بود.

www.ketabha.org

استفن هاوکینگ بر روی قوانین پایه‌ای که بر کائنات حکفرماست، مطالعات و تحقیقات فراوانی را انجام داده است. وی به همراه "راجر پنروز" نشان داد که نظریه نسبیت عمومی اینشتین به آن معناست که فضا و زمان، نقطه‌ی آغازی در مهبانگ (انفجار بزرگ) و نقطه پایانی در سیاهچاله‌ها دارد. این پژوهش‌ها و تحقیقات، یکی شدن دو نظریه نسبیت عمومی و نظریه کوانتوم را ضروری ساخت. یکی از پیامدهای این یکی شدن، آن چنان که هاوکینگ کشف کرد این است که سیاهچاله‌ها آن قدرها هم نباید «سیاه» باشند و باید پرتوهایی از خود به بیرون ساطع کنند و نهایتا تبخیر و ناپدید شوند. یکی از نتایج جالب هاوکینگ، فرضیه‌ای است که: "در یک زمان مفروض، جهان لبه یا حاشیه‌ای (مرزی) نداشته است.»

از مجموعه کتاب‌های دانشگاهی هاوکینگ می‌توان به «ساختار جهان در مقیاس بزرگ»، «نسبیت عمومی: بررسی صد ساله اینشتین» و "۳۰۰ سال جاذبه"اشاره کرد؛ و همین طور از جمله کتبی که برای عموم مردم نوشته است می‌توان «تاریخچه زمان»، «سیاهچاله‌ها»، «جهان‌های نوزاد» و «جهان در پوست گردو» را برشمرد. درباره کتاب «تاریخچه زمان» باید بگویم که هاوکینگ در سال ۱۹۸۲ بر آن شد تا کتابی برای مخاطبان عام در کیهان‌شناسی تالیف کند که نتیجه آن، نخستین پیش نویس این کتاب در سال ۱۹۸۴ بود؛ اما حال وی که رو به وخامت رفت، تالیف این کتاب نیز به تاخیر افتاد و سرانجام در سال ۱۹۸۸، به چاپ رسید. در سال ۱۹۹۵ و در نشریه ساندی تایمز، به عنوان پرفروش ترین کتاب معرفی شد و به مدت ۲۳۷ هفته، پر فروش ترین کتاب باقی ماند و به فروش ۱۰ میلیون نسخه رسید.

هاوکینگ تا به حال دوازده درجه‌ی افتخاری از دانشگاه‌های مختلف دریافت کرده است. وی، دارنده‌ی مقام‌هایCH (همنشین افتخاری پادشاه بریتانیا)، CBE (سردار امپراطور بریتانیا؛ یکی از بالاترین مقام‌های دربار انگلستان)، FRS (عضو انجمن پادشاهی) وFRSA (عضو انجمن پادشاهی فنون) می‌باشد. وی در سال ۱۹۷۴ و در سن ۳۲ سالگی، به عضویت انجمن سلطنتی بریتانیا درآمد و در آن هنگام، جوان‌ترین عضو انجمن به شمار می‌رفت. در سال ۱۹۷۵ موفق به کسب مدال ادینگتن و در سال ۱۹۷۹ نیز موفق به کسب مدال آلبرت اینشتین شد. سپس در سال

www.ketabha.org

۱۹۸۲، مدال انجمن سلطنتی را دریافت نمود و در سال ۱۹۸۵ از انجمن سلطنتی اخترشناسی، مدال زرّین را اخذ نمود و در ادامه در سال ۱۹۹۹، جایزه انجمن فیزیک آمریکا را تصاحب نمود. هاوکینگ در سال ۲۰۰۶، مدال بسیار با ارزش Copely را از انجمن سلطنتی به ارمغان آورد و پس از دریافت آن گفت: این مدالی افتخار آمیز است؛ مدالی است که به چارلز داروین، آلبرت اینشتین و فرانسیس کریک داده شده است و باعث افتخار من است که در کنار آن‌ها باشم.

او که در حال حاضر تقریباً به طور کامل فلج است، با یک صندلی چرخ دار حرکت می‌کند و با کمک یک کامپیوتر با دیگران ارتباط برقرار می‌کند.

شگفت‌انگیزترین نکته، مغز این فرد است که نظریه پردازی‌ها و رهگشایی‌ها از آن تراوش می‌کند. او برای محاسبات طولانی و پیچیده ریاضی و نجومی خود حتی از نوشتن ارقام روی کاغذ محروم است و باید همه‌ی عملیات‌های پیچیده و گسترده‌ی ریاضی را در مغز خود انجام دهد و نتایج را در حافظه‌اش نگه دارد. پس اگر بگوئیم که هاوکینگ با مغزش زنده است، اغراق نکرده‌ایم.

امّا چیزی که زندگی هاوکینگ را متمایز می‌سازد، امید است. بیش از ۴۰ سال از زمانی که پزشکان تشخیص دادند که او، ۲ یا ۳ سال بیشتر زنده نخواهد ماند می‌گذرد...!

www.ketabha.org

مقدمه کتاب در بیان مؤلف

در این سری از سخنرانی‌ها، می‌خواهم تلاش کنم طرح کلی چیزی را نشان دهم که فکر می‌کنیم تاریخ کیهان از زمان مهبانگ تا سیاه‌چاله‌ها را در بر می‌گیرد. در سخنرانی اول مرور کوتاهی خواهم داشت بر ایده‌هایی که قبلاً در مورد جهان مطرح بوده و سپس مسیری را بررسی می‌کنم که به‌واسطه آن توانسته‌ایم تصویر فعلی را از جهان و دانشِ پیشِ رویمان ترسیم کنیم. ممکن است یک نفر این سخنرانی را تاریخچه تاریخ کیهان بنامد. در سخنرانی دوم توضیح خواهم داد که چگونه نظریه‌های نیوتن و انیشتین در مورد گرانش (نیروی جاذبه) ما را به‌سوی این نتیجه‌گیری هدایت کرده‌اند که جهان و کیهان نمی‌تواند ساکن و حالت استاتیک داشته باشد و باید یا در حال انبساط و یا در حال انقباض باشد؛ به‌عبارت‌دیگر یعنی در زمانی بین ۱۰ تا ۱۲ میلیارد سال پیش، تراکم (چگالی) کیهان بی‌نهایت بوده است که همین منجر به پیدایش لحظه مهبانگ شده است که به‌عنوان سرآغاز جهان شناخته می‌شود. در سومین سخنرانی در مورد

www.ketabha.org

سیاه‌چاله‌ها سخن خواهم گفت. سیاه‌چاله‌ها زمانی شکل می‌گیرند که یک ستاره غول‌آسا (دارای جرم زیاد و بسیار بزرگ) یا حتی اجسامی بزرگ‌تر از آن به‌واسطه گرانشِ قوی‌ای که دارند به درون خود کشیده می‌شوند و اصطلاحاً فرو می‌ریزند. بر اساس نظریه نسبیت عام‌انیشتین، هر کس اگر آن‌قدر احمق باشد که خود را به درون سیاه‌چاله‌ای بیندازد، برای همیشه در آن محو خواهد شد و باقی خواهد ماند و هیچ‌کس قادر نیست دوباره از درون سیاه‌چاله بیرون بیاید. در سخنرانی چهارم توضیح خواهم داد که چگونه بر پایه مکانیک کوانتومی، انرژی امکان تراوش کردن و رخنه کردن از سیاه‌چاله‌ها را به بیرون خواهد داشت. سیاه‌چاله‌ها به‌واسطه رنگشان به این نام خوانده نمی‌شوند، چون اساساً رنگی ندارند! در سخنرانی پنجم، ایده‌های مکانیک کوانتوم را برای توصیف و توضیح مهبانگ و منها و آغاز کیهان بکار گرفته‌ام. به‌این‌ترتیب این مسئله مطرح‌شده است که ممکن است اندازه «فضا زمان» محدود باشد اما هیچ مرز یا لبه‌ای را نتوانیم برایش در نظر بگیریم. درست مثل سطح کره زمین اما با دو بعد بیشتر!

در سخنرانی ششم نشان می‌دهم که چگونه این مرز جدید می‌تواند توضیح دهد که چرا گذشته آن‌قدر با آینده تفاوت دارد، اگرچه قوانین فیزیک دارای تقارن زمانی هستند. درنهایت در سخنرانی هفتم توضیح می‌دهم که چگونه تلاش می‌کنیم یک نظریه واحد پیدا کنیم که دربردارنده مکانیک کوانتومی، گرانش و تمام دیگر تعاملات جهان فیزیکی باشد. اگر به این هدف دست پیدا کنیم، می‌توانیم حقیقت جهان را به‌درستی شناخته و جایگاه خود را در آن مشخص کنیم.

www.ketabha.org

سخنرانی اول:ایده‌هایی در مورد کیهان

ارسطو در سال ۳۴۰ قبل از میلاد مسیح در کتاب خود در باب ارتباط با افلاک، توانست دو استدلال مناسب برای اثبات کرویت زمین و نه مسطح بودن آن مطرح کند.

او دریافته بود که ماه‌گرفتگی (خسوف) ناشی از قرار گرفتن زمین بین خورشید و ماه است و سایهٔ زمین همواره گرد بوده و این پدیده تنها در صورتی قابل توجیه است که زمین کروی شکل باشد. اگر زمین مثل یک صفحه صاف و مسطح می‌بود، سایه آن بر روی ماه، کشیده و بیضی‌شکل می‌شد؛ مگر اینکه ماه‌گرفتگی‌ها زمانی روی دهند که خورشید مستقیماً در بالای این مرکز قرار بگیرد.

www.ketabha.org

دیگر اینکه یونانی‌ها به‌واسطه مسافرت‌های خود دریافته بودند که ستاره قطبی زمانی که در جنوب به آن می‌نگرند (در بخش‌های جنوبی زمین) به نسبت بخش‌های شمالی، پایین‌تر و نزدیک‌تر به افق دیده می‌شود. بر اساس اختلاف موقعیت ظاهری ستاره قطبی در مصر و یونان، ارسطو توانسته بود اندازه‌ی اطراف (پیرامون) کره زمین را معادل طول ۴۰۰۰۰۰ استادیوم تخمین بزند. اگرچه دقیقاً نمی‌دانیم یک استادیوم چه طولی دارد، اما احتمالاً حدود ۱۸۰ متر بوده است. به‌این‌ترتیب برآورد ارسطو، حدود ۲ برابر رقمی بوده که در حال حاضر به‌عنوان محیط و پیرامون کره زمین پذیرفته‌شده است.

یونانی‌ها حتی استدلال سومی داشتند که می‌گفت زمین باید گرد باشد چراکه آن‌ها شاهد محو شدن کشتی‌ها در افق هستند و هیچ‌چیز جز کرویت زمین نمی‌تواند توضیح‌دهنده نحوه ناپدید شدن قایق‌ها در افق باشد.

موضوع دیگر این بود که ارسطو فکر می‌کرد زمین ثابت است و خورشید، ماه، سیارات و ستارگان در مدارهایی دایره‌ای در اطراف زمین گردش می‌کنند. او به این موضوع اعتقاد عجیبی داشت چراکه بنا به دلایلی اسرارآمیز فکر می‌کرد که کره زمین، مرکزیت جهان است و حرکت دایره‌ای، کامل‌ترین نوعِ حرکت است. در قرن اول پس از میلاد، بطلمیوس جزئیاتی به این ایده‌ها، تحقیقات و مشاهدات افزود و یک مدل کیهان‌شناسی را تکمیل نمود. در این مدل، زمین به‌صورت ساکن در مرکز قرار می‌گرفت و ۸ کُره شامل ماه، خورشید، ستارگان و ۵ سیاره شناخته‌شده آن زمان یعنی عطارد، زهره، مریخ، مشتری و زحل در اطراف زمین درحرکت بودند و آن را احاطه می‌کردند. خود سیارات در دایره‌های کوچک‌تری، متناظر با محیط خود حرکت می‌کردند تا بتوان مسیر حرکت نسبتاً پیچیده آن‌ها در آسمان را توضیح داد. خارجی‌ترین لایه این کره، دربردارنده ستاره‌های ثابت بود که همواره جایگاه‌های یکسانی را نسبت به یکدیگر حفظ می‌کردند، اما همگی باهم در آسمان در گردش بودند. هیچ‌گاه دقیقاً مشخص نشد که خارج از این محدوده چه چیزی قرار می‌گیرد، اما قطعاً آنچه خارج از این محدوده بود بخشی از جهان قابل‌رؤیت بشر را

www.ketabha.org

شامل نمی‌شد.

مدل بطلمیوس، یک سیستم نسبتاً دقیق برای پیش‌بینی موقعیت اجسام کیهانی در آسمان را فراهم کرده بود، اما بطلمیوس برای پیش‌بینی صحیح این موقعیت‌ها باید می‌پذیرفت، مسیری را که ماه طی می‌کند گه‌گاه، آن را معادل دو برابر نزدیک‌تر به زمین قرار می‌دهد درحالی‌که در دیگر مواقع این اتفاق نمی‌افتاد و بدان معنا بود که ماه گاهی دو برابر بزرگ‌تر از آن چیزی که معمولاً دیده می‌شود، ظاهر می‌شد. بطلمیوس از این نقص آگاه بود. بااین‌حال، مدلِ بطلمیوسی به‌طور گسترده‌ای مورد اقبال و پذیرش واقع شد. مدلِ وی، مورد قبول کلیسا قرار گرفت؛ زیرا مدل او با تصویر و الگوی کیهان در کتاب مقدس مطابقت می‌کرد. این امتیاز باعث شد فضای بزرگی که خارج از ستاره‌های ثابت وجود می‌داشت، برای بهشت و جهنم در نظر گرفته شود.

در سال ۱۵۱۴، یک مدل ساده‌تر توسط یک کشیش لهستانی به نام «نیکلاس کوپرنیک» پیشنهاد شد. کوپرنیک در ابتدا به خاطر ترس از متهم شدن به کفرگویی، مدل خود را به‌صورت گمنام منتشر کرد! او معتقد بود که خورشید در مرکز عالم و به‌صورت ثابت ایستاده و زمین و سیاره‌های دیگر در مدارهای دایره‌ای در اطراف آن گردش می‌کنند. باید افسوس خورد که مدل کوپرنیک، تقریباً یک قرن بعد از علنی شدن، موردتوجه قرار گرفت. درزمانی که نظریه کوپرنیک بر سر زبان‌ها بود، دو اخترشناس، «جانز کپلر» آلمانی و «گالیلو گالیله» ایتالیایی، علناً به حمایت از نظریه کوپرنیک پرداختند، اما این نظریه با آنچه ملاحظه می‌شد به‌خوبی تطبیق نداشت. در سال ۱۶۰۹ نظریه ارسطو- بطلمیوس به تاریخ سپرده شد. در آن سال گالیله با استفاده از تلسکوپی که به‌تازگی اختراع‌شده بود، به رصد آسمان شب می‌پرداخت. زمانی که گالیله به سیاره مشتری نگاه می‌کرد، پی برد که چندین قمر (ماه) کوچک که اطراف آن گردش می‌کنند همیشه همراه این سیاره هستند. این موضوع اثبات می‌کرد، آن‌چنان‌که ارسطو و بطلمیوس تصور می‌کردند همه‌چیز در مداری حول زمین گردش نمی‌کنند. البته تصور می‌رفت که زمین در مرکز جهان و ثابت است و قمرهای مشتری در مسیرهای بسیار پیچیده در اطراف زمین می‌چرخند و این تصور را به‌وجود می‌آورند که در مدار مشتری قرار دارند. در همان زمان، کپلر با اصلاحاتی که در نظریه

www.ketabha.org

کوپرنیک ایجاد کرده بود، پیشنهاد کرد که سیارات در مدارهای دایره‌ای گردش نمی‌کنند، بلکه این مدارها بیضی‌شکل هستند. به‌این‌ترتیب پیش‌بینی‌ها درنهایت با مشاهدات منطبق شد. تا آنجا که به کپلر مربوط بود، مدارهای بیضی‌شکل، صرفاً یک فرضیه موقت بودند و در آن زمان فرضیه‌ای ناپسند محسوب می‌شدند؛ چراکه قطعاً بیضی به‌اندازه دایره یک شکل کامل نیست.

چندین سال بعد یعنی در سال ۱۶۷۸، در مورد حرکت سیارات، توضیحی ارائه شد؛ یعنی زمانی که نیوتن کتاب خود را به نام «اصول ریاضی فلسفه طبیعی» ـ این اثر شاید مهم‌ترین اثری باشد که تاکنون در علم فیزیک منتشرشده است ـ را منتشر نمود. نیوتن در این اثر نه‌تنها نظریه‌ای مربوط به نحوه حرکت اجرام در فضا و زمان را مطرح کرد، بلکه ریاضیات موردنیاز برای تحلیل این حرکات را نیز ارائه نمود. به‌علاوه نیوتن قانون جاذبه عمومی و کیهانی را به‌عنوان اصلی واضح و مهم مطرح کرد. این قانون می‌گوید: «هر جرمی در جهان به‌واسطه نیرویی به سمت جرم دیگر جذب می‌شود و هر چه جرمِ جسم بیشتر باشد و یا فاصله آن‌ها از یکدیگر کمتر باشد، قدرت آن نیز افزایش پیدا می‌کند و این همان نیرویی است که باعث می‌شود اجسام بر روی زمین بیفتند (سقوط کنند)».

داستان سیبی که به سر نیوتن خورد به‌احتمال خیلی زیاد جعلی است! تنها چیزی که خود نیوتن در مورد نحوه رسیدن ایده گرانش به ذهنش گفته بود، این است که جایی نشسته و غرق در تفکر بودم که ناگهان سیبی از درخت افتاد!

نیوتن نشان داد که قانون گرانش سبب می‌شود که ماه در مداری بیضی‌شکل به دور زمین بگردد و زمین و سیارات دیگر در مدارهای بیضی‌شکل به دور خورشید گردش کنند. بدین‌صورت، مدل کوپرنیکی، از فلک‌های آسمانی بطلمیوس و متعاقب آن از این اندیشه که جهان دارای مرزی طبیعی است، رهایی یافت؛ چون به نظر نمی‌رسید که موقعیت ستارگان ثابت با گردش زمین به دور

www.ketabha.org

خورشید تغییر کند، طبیعی بود این فکر به ذهن بیاید که ستارگان ثابت، اجرامی مشابه خورشید ولی بافاصله‌ای بسیار دورتر هستند. این موضوع سبب بروز یک مشکل می‌شد. نیوتن می‌دانست که بر اساس نظریهٔ گرانش او، ستارگان باید یکدیگر را جذب کنند؛ بنابراین آن‌ها ضرورتاً نمی‌توانستند ساکن باشند. آیا آن‌ها در محلی به‌سوی هم سقوط نخواهند کرد؟

در جهان نامتناهی، هر نقطه می‌تواند مرکزیت یابد؛ زیرا در دو سوی هر نقطه تعداد نامحدودی ستاره وجود دارد. رویکرد درست که بعداً صورت گرفت، در نظر گرفتن وضعیت متناهی بود که تمامی ستارگان بر روی یکدیگر سقوط می‌کردند. سپس این پرسش پیش آمد که اگر ستارگان بیشتری به‌صورت تقریباً یکنواخت به خارج از منطقهٔ متناهی اضافه شوند چه تغییراتی به‌وجود می‌آید. بر اساس قانون نیوتن، ستارگان اضافی با ستارگان درون محدوده تفاوتی نمی‌داشتند و باز تمامی آن‌ها به روی هم سقوط می‌کردند. می‌توانیم هر مقدار ستاره که مایل باشیم اضافه کنیم ولی نتیجه مانند قبل خواهد بود. ما اکنون می‌دانیم که امکان‌پذیر نیست مدلِ جهان ایستایِ نامحدودی داشته باشیم که در آن گرانش همواره در حال جذب کردن باشد.

پیش از قرن بیستم، در افکار دانشمندان این گرایش عمومی وجود داشت که در اندیشهٔ جهانِ در حال انبساط یا انقباض نباشند. این پذیرش عمومی به‌وجود آمده بود که خواه جهان در حالتی بدون تغییر برای همیشه ادامه یابد یا درزمانی محدود درگذشته آفریده‌شده باشد، کمابیش همان بوده است که اکنون مشاهده می‌کنیم. این باور تا حدودی به‌این‌علت بود که مردم به حقایق جاویدان و ابدی باور داشتند و از این اندیشه احساس آرامش می‌کردند که گرچه خودشان پیر می‌شوند و می‌میرند، ولی جهان بدون تغییر ادامه می‌یابد.

اگرچه افرادی بودند که می‌دانستند بر اساس نظریهٔ گرانش نیوتن، جهان نمی‌تواند حالت ایستا داشته باشد، ولی هنوز به این نتیجه نرسیده بودند که جهان ممکن است حالتی انبساطی داشته باشد. آن‌ها کوشش می‌کردند با عنوان اینکه نیروی جاذبه می‌تواند در فاصلهٔ بسیار زیاد به نیروی دافعه تبدیل شود نظریهٔ گرانش را اصلاح کنند. این فکر اثر قابل‌ملاحظه‌ای در پیش‌بینی‌های

www.ketabha.org

آن‌ها در مورد حرکت سیارات بر جای نمی‌گذاشت. ولی پراکندگی نامحدود ستارگان موجب ایجاد تعادل در بین آن‌ها می‌شد، بدین ترتیب که نیروی جاذبهٔ موجود بین ستارگان نزدیک به هم با نیروی دافعهٔ ستارگان بسیار دور از هم به حالت تعادل می‌رسید.

اکنون ما می‌دانیم که چنین تعادلی ناپایدار است. اگر ستارگان در منطقه‌ای فقط اندکی به هم نزدیک شوند نیروی جاذبهٔ بین آن‌ها افزایش خواهد یافت و بر نیروی دافعه چیره خواهد شد. بدین‌ترتیب ستارگان به‌طرف هم سقوط خواهند کرد. از سوی دیگر، اگر ستاره‌ها اندکی از هم دور شوند، نیروی دافعه بر نیروی جاذبه چیره خواهد شد و آن‌ها را از هم دور خواهد کرد.

ایراد دیگری که به جهان نامتناهی ایستا گرفته‌شده است به فیلسوف آلمانی «هاینریش اولبرس» نسبت داده می‌شود. درواقع تعدادی از هم‌عصران نیوتن این ایراد را مطرح کرده بودند و مقالهٔ اولبرس در سال ۱۸۲۳ نخستین مقاله‌ای نبود که حاوی بحث‌های تأمل‌برانگیز در خصوص موضوع باشد. ولی مقالهٔ اولبرس نخستین مقاله‌ای بود که به‌گونه‌ای گسترده موردتوجه قرار گرفت. ایراد مطرح‌شده آن بود که در یک جهان نامحدود ایستا انتظار می‌رود تمامی آسمان، حتی در شب، مانند خورشید بدرخشد. بحث مخالف اولبرس آن بود که نور ستارگان دوردست به سبب جذب نور به‌وسیلهٔ مواد بین ستاره‌ای، ضعیف می‌شود. ولی اگر واقعهٔ درخشش رخ دهد، مواد بین راهی سرانجام گرم می‌شوند تا حدی که مانند خورشید خواهند درخشید.

تنها راه اجتناب از پذیرش پیامد درخشش این بوده است که تمام آسمان شب در حدّ درخشش نبوده‌اند، بلکه در زمان محدودی درگذشته روشن‌شده‌اند. در آن صورت موادی که نور ستارگان را جذب می‌کرده‌اند هنوز به‌قدر کافی گرم نشده‌اند یا نور ستارگان دوردست احتمالاً هنوز به ما نرسیده است. این موضوع ما را به این پرسش می‌رساند که در ابتدا چه چیزی موجب روشن شدن ستارگان شده است.

www.ketabha.org

آغاز جهان

دربارهٔ آغاز جهان از دیرباز بحث و گفت‌وگو بوده است. بر اساس تعدادی از کیهان‌شناسی‌های نخستین در سنت و روایات یهودی، مسیحی و اسلامی جهان به‌صورت محدود و از گذشته‌ای نه‌چندان دور آغاز شده است. احساسِ ضرورتِ وجود علتِ نخستین، برهانی برای چنین آغازی بود تا موجودیت جهان توجیه‌پذیر شود.

برهان دیگر به‌وسیلهٔ قدیس (سنت) اگوستین (۳۵۴ ـ ۴۳۰ میلادی) در کتابش «شهر خدا» ارائه‌شده است. او خاطرنشان می‌کند تمدن در حال پیشرفت است و ما می‌توانیم به خاطر بیاوریم چه کسی این عمل یا آن تکنیک را انجام داده است. بدین ترتیب زمان درازی نیست که انسان و احتمالاً جهان به‌وجود آمده‌اند. اگر چنین بود باید بیش از آنچه اکنون پیشرفت کرده‌ایم، پیشرفت می‌کردیم.

قدیس اگوستین بر اساس «سِفر پیدایش» تورات، برای آفرینش جهان زمان پنج‌هزار سال قبل از میلاد را پذیرفته است. جالب است که این تاریخ خیلی دور از پایان آخرین عصر یخبندان ـ تقریباً در ده هزار سال قبل از میلاد ـ نبوده است و شروع واقعی تمدن با پایان آخرین عصر یخبندان آغاز شد. از سوی دیگر، ارسطو و اکثر فیلسوفان یونانی از ایدهٔ آفرینش ناخشنود بودند؛ زیرا مداخلات الوهی و آسمانی در این ایده بسیار بود. ازاین‌رو، آن‌ها بر این عقیده بودند که نسل بشر و جهان پیرامون او وجود داشته است و برای همیشه وجود خواهد داشت. آن‌ها در مورد پیشرفت

www.ketabha.org

تمدن، چنین استدلال می‌کردند که سیل‌های بزرگ و سایر بلاهای طبیعی سبب می‌شد تا نسل بشر سیر قهقرایی کند و دوباره تمدن را از نو شروع نماید.

هنگامی‌که اکثر مردم معتقد بودند که جهان ضرورتاً ایستا و تغییرناپذیر است، این پرسش که آیا جهان آغازی دارد یا نه درواقع سؤالی مابعدالطبیعی و مربوط به الهیات بود. فرد بر اساس آنچه مشاهده می‌کرد، می‌توانست هریک از این دو دلیل را بیاورد: بگوید جهان برای همیشه وجود داشته است، یا بگوید در زمان خاصی به نحوی آفریده‌شده است که به نظر می‌رسد برای همیشه وجود داشته است. در سال ۱۹۲۹ «ادوین هابل» مشاهدات دوران‌سازی انجام داد. وی در آن مشاهدات به هر سو که می‌نگریست ستارگان دوردست را می‌دید که به‌سرعت در حال دور شدن از ما بودند؛ به‌عبارت‌دیگر، جهان در حال انبساط بود و این بدان معنا بود که در زمان‌های پیشین اجرام آسمانی به هم نزدیک‌تر بوده‌اند. درواقع، به‌نظر می‌رسید درزمانی بین ده تا بیست میلیارد سال پیش، تمامی آن‌ها در یک مکان گرد هم بوده‌اند.

این کشف، سرانجام پرسش آغاز جهان را در قلمرو علم قرار داد. مشاهدات هابل این فرض را مطرح کرد که زمانی به نام «مِهبانگ» یا (انفجار بزرگ) وجود داشته که جهان بی‌نهایت کوچک و درنتیجه بی‌نهایت چگال بوده است. اگر رویدادهایی پیش‌ازاین زمان رخداده، در رویدادهای این زمان، یعنی رویداد انفجار بزرگ، تأثیری نداشته‌اند. آن رویدادها را می‌توان نادیده گرفت؛ زیرا پیامدهایی رصدی بر جای نگذاشته‌اند.

شاید گفته شود که آغاز جهان، آغاز مِهبانگ بوده است. به‌سادگی می‌توان گفت که زمانِ نخستین، جز این تعریفی ندارد. باید تأکید کرد این آغاز زمان با آغاز زمانی که درگذشته موردنظر بوده بسیار متفاوت است. در یک جهان بدون تغییر، آغاز زمان چیزی است که از عاملی بیرون از جهان بر آن تحمیل‌شده است. در آن صورت برای آغاز ضرورتی فیزیکی وجود ندارد. می‌توان تصور

www.ketabha.org

کرد که «خدا» جهان را عیناً درزمانی درگذشته آفریده است. از سوی دیگر، اگر جهان در حال انبساط است برای آغاز، دلایلی فیزیکی وجود دارد. هنوز می‌توان معتقد بود که خدا جهان را در همان لحظهٔ مهبانگ آفریده است. امروزه بی‌معناست که تصور شود خدا جهان را قبل از مهبانگ آفریده است. یک جهانِ در حال انبساط مانع وجود آفریدگار نیست، ولی هنگامی‌که او بخواهد این آفرینش را انجام دهد محدودیت‌هایی به‌وجود می‌آید.

www.ketabha.org

سخنرانی دوم:جهان در حال انبساط

خورشید و ستارگان مجاور آن همگی بخشی از مجموعهٔ عظیمی از ستارگان به نام کهکشان «راه شیری» به‌شمار می‌روند. سال‌های درازی کهکشان راه شیری، کل جهان محسوب می‌شد. در سال ۱۹۲۴، اخترشناس آمریکایی "ادوین هابل" ثابت کرد که فقط یک کهکشان وجود ندارد. در واقع کهکشان‌های بسیاری، با فضای خالی بسیار گسترده در بین آن‌ها، وجود دارند. برای اثبات موضوع، لازم بود وی فاصلهٔ این کهکشان‌ها را مشخص کند. ما می‌توانیم فاصلهٔ ستارگان نزدیک را با مشاهدهٔ تغییر موقعیت آن‌ها هنگام گردش زمین به دور خورشید، مشخص کنیم. کهکشان‌های دیگر به حدی از ما دورند که برخلاف ستارگان نزدیک، واقعاً ثابت به نظر می‌رسند؛ بنابراین هابل مجبور شد برای اندازه‌گیری از روشی غیرمستقیم استفاده کند.

www.ketabha.org

اکنون «درخشش ظاهری» یک ستاره را با دو عامل می‌سنجیم: درخشندگی ستاره و میزان فاصله آن با ما. برای ستاره‌های نزدیک، می‌توانیم هم درخشش ظاهری و هم فاصلهٔ آن‌ها را تعیین کنیم و سپس درخشندگی آن‌ها را به‌دست آوریم. برعکس، اگر ما درخشندگی ستارگان در کهکشان‌های دیگر را بدانیم، می‌توانیم با تعیین درخشش ظاهری، فواصل آن‌ها را به‌دست آوریم. اگر ما بتوانیم این عمل را برای تعدادی ستاره در همان کهکشان انجام دهیم و محاسبات، همواره همان فاصله را نشان دهد، در آن صورت می‌توانیم به تخمین خود مطمئن باشیم. هابل از همین راه فواصل نُه کهکشان را به‌دست آورد.

ما اکنون می‌دانیم که کهکشان ما فقط یکی از تقریباً صد میلیارد کهکشانی است که می‌توانند با تلسکوپ‌های جدید دیده شوند و هر کهکشان هم به‌طور متوسط حدود صد میلیارد ستاره دارد. ما در کهکشانی زندگی می‌کنیم که قطر آن صدهزار سال نوری است و به آرامی می‌چرخد. ستارگانی که در بازوهای کهکشان قرار گرفته‌اند، تقریباً هر صدمیلیون سال یک‌بار به دور مرکز کهکشان می‌گردند. خورشید، ستاره‌ای معمولی، با اندازه‌ای متوسط و به رنگ زرد است که در مجاورت لب خارجی یکی از بازوهای مارپیچی کهکشان قرار گرفته است. ما بدون تردید از زمان ارسطو و بطلمیوس که مردم، زمین را مرکز جهان هستی می‌دانستند، راه درازی را طی کرده‌ایم.

ستارگان به حدی از ما دورند که مانند نقطه‌ای نورانی به نظر می‌رسند. ما نمی‌توانیم اندازه یا شکل آن‌ها را مشخص کنیم؛ بنابراین چگونه می‌توانیم دربارهٔ انواع مختلف ستارگان دور از هم صحبت کنیم؟ در اکثر ستارگان، فقط یک ویژگی آن‌ها را می‌توانیم مشاهده کنیم و آن رنگ نور آن‌هاست. نیوتن کشف کرد که اگر نور خورشید از درون منشوری عبور کند، به رنگ‌هایی که آن‌را تشکیل داده‌اند (طیف نوری) تجزیه می‌شود، همان‌گونه که در رنگین‌کمان روی می‌دهد. با تمرکز تلسکوپ روی ستاره یا کهکشانی منفرد، می‌توان طیف نور آن ستاره یا کهکشان را مشاهده کرد. ستارگان مختلف دارای طیف‌های متفاوتی هستند؛ ولی درخشش نسبی رنگ‌های مختلف آن‌ها دقیقاً همان مقداری است که یک جسم هنگام قرمز شدن بر اثر گرما از خود ساطع می‌کند.

www.ketabha.org

این بدان معناست که ما می‌توانیم دمای یک ستاره را از روی طیف نوری آن مشخص کنیم. به‌علاوه ما متوجه شده‌ایم که برخی از رنگ‌های ویژه، در طیف نوری ستاره وجود ندارند. ما می‌دانیم که هر مادهٔ شیمیایی رنگ‌های بسیار خاصی را جذب می‌کند. بدین ترتیب با مقایسهٔ هریک از آن رنگ‌ها که از طیف نوری آن ستاره حذف شده‌اند، می‌توانیم به‌دقت مواد موجود در آن ستاره را مشخص کنیم.

در دههٔ ۱۹۲۰، هنگامی که اخترشناسان طیف نور ستارگان را در سایر کهکشان‌ها مورد بررسی قرار دادند، چیز بسیار غریبی در آن‌ها یافتند: ویژگی رنگ‌های حذف‌شدهٔ طیف، مشابه ستارگان کهکشان ما بود، ولی همگی میل به‌سوی انتهای قرمز طیف داشتند. تنها توضیح منطقی برای این موضوع، دور شدن کهکشان‌ها از ما بود و بَسامد (فرکانس) امواج نورانی آن‌ها به علت «اثر دوپلر» کاهش یا به‌سوی قرمز انتقال می‌یافت (انتقال به قرمز). هنگامی که اتومبیلی به شما نزدیک می‌شود، به صدای در حال حرکت آن گوش کنید. صدا به سبب بالا بودن فرکانس امواج صوتی، زیرتر و هنگام دور شدن، بم‌تر می‌شود. رفتار نور و امواج صوتی مشابه هم‌اند. در واقع پلیس به کمک اثر دوپلر و با اندازه‌گیری پالس (تکانه)های امواج رادیویی بازتاب شده، سرعت اتومبیل ما را مشخص می‌کند.

هابل اوقات خود را پس از اثبات وجود کهکشان‌های دیگر، صرف فهرست کردن فاصله‌ها و مشاهدهٔ طیف‌های آن‌ها کرد. در آن زمان بسیاری از مردم حرکت کهکشان‌ها را نامنظم و تصادفی تصور می‌کردند و از این‌رو انتظار داشتند به همان اندازه که طیف انتقال به قرمز وجود دارد، طیف انتقال به آبی نیز وجود داشته باشد. بنابراین باعث تعجب بود که دریافتند تمامی کهکشان‌ها به‌سوی انتقال به قرمز میل می‌کنند و این موضوع، یعنی هریک از کهکشان‌ها در حال دور شدن از ما بودند! تعجب بیشتر هنگامی روی داد که هابل در سال ۱۹۲۹ نتایج مشاهدات خود را به چاپ رسانید. در این مشاهدات هابل به این نتیجه رسیده بود که حتی مقدار انتقال به قرمز تصادفی نیست و با فاصلهٔ هر کهکشان که از ما دورتر بود، سرعت‌گریز آن بیشتر بود. این بدان معنا بود که

www.ketabha.org

جهان هستی به‌عکس آن چیزی که همه فکر می‌کردند، ایستا (استاتیک) نبوده، بلکه در حال انبساط است و فاصله بین کهکشان‌های مختلف همواره در حال افزایش است. کشف انبساط جهان یکی از انقلاب‌های هوشمندانهٔ علمی در قرن بیستم به‌شمار می‌رود و با بازنگری موضوع، تعجب خواهیم کرد که چرا هیچ‌کس پیش از این به انبساط جهان پی نبرده بود. نیوتن و دیگران باید به این واقعیت پی می‌بردند که یک جهان ایستا می‌بایست بر اثر نیروی گرانش جمع و منقبض می‌شد. ولی فرض کنیم که جهان به‌جای ایستا بودن، در حال انبساط می‌بود. اگر این انبساط کمی آهسته‌تر از چگالی بحرانی بود، نیروی گرانش سرانجام انبساط مزبور را متوقف می‌کرد و سپس انقباض آغاز می‌گردید. اگر انبساط بیشتر از چگالی بحرانی می‌بود، نیروی گرانش، ضعیف‌تر از آن بود که انبساط را متوقف کند و درنتیجه جهان برای همیشه به انبساط خود ادامه می‌داد. این موضوع، تا حدودی مشابه فرستادن موشک از سطح زمین به فضاست. اگر سرعت موشک اندکی کمتر از سرعت لازم باشد، نیروی گرانش سرانجام آن‌را متوقف می‌کند و موجب سقوط آن می‌شود. از سوی دیگر، اگر سرعت موشک اندکی بیش از سرعت لازم (۲/۱۱ کیلومتر بر ثانیه) باشد، نیروی گرانش نمی‌تواند آن‌را به‌سوی زمین برگرداند، بنابراین موشک برای همیشه از زمین دور می‌شود.

این‌گونه رفتار جهان می‌توانست با نظریهٔ گرانش نیوتن پیش‌بینی شود و این پیش‌بینی نیز در هر زمان (در قرن نوزدهم، هجدهم و حتی اواخر قرن هفدهم) می‌توانست صورت گیرد. ولی باور به جهان ایستا، چنان نیرومند بود که تا اوایل قرن بیستم پابرجا ماند. حتی هنگامی که «انیشتین» در سال ۱۹۱۵ «نظریهٔ نسبیت عام» خود را به‌صورت معادلات ارائه داد، مطمئن بود که جهان هستی حالتی ایستا دارد. از این‌رو برای آنکه حالت ایستا را برای جهان ممکن سازد، نظریهٔ خود را تعدیل کرد و ثابتی معروف به «ثابت کیهان‌شناختی» را در آن گنجاند. ثابت مزبور، پادگرانی (ضد نیروی جاذبه) جدیدی بود که برخلاف نیروهای دیگر از منبع خاصی نشئت نمی‌گرفت، بلکه حاصل ساختار فضا – زمان بود. ثابت کیهان‌شناختی برای فضا – زمان، یک گرایش به انبساط ذاتی قائل بود و بدین‌ترتیب تعادلی بین جاذبه و انبساط به‌وجود می‌آمد و جهان حالتی ایستا به خود می‌گرفت.

www.ketabha.org

به نظر می‌رسد فقط یک مرد بود که می‌توانست شأن و امتیاز نظریهٔ نسبیت عام را نشان دهد. در حالی که انیشتین و فیزیکدان‌های دیگر در جستجوی راهی بودند تا پیش‌بینی نظریهٔ نسبیت عام در مورد ایستا نبودن جهان تحقق نیابد، فیزیکدان روسی «الکساندر فریدمان» درصدد آن بود تا توضیحی برای آن بیابد.

مدل‌های فریدمان

معادلات نظریهٔ نسبیت عام که پیدایش جهان را درون زمان بیان می‌کند، پیچیده‌تر از آن است که بتوان به جزئیات آن پرداخت. بنابراین آنچه فریدمان انجام داد، پذیرش دو فرض دربارهٔ جهان هستی بود: نخست اینکه از هر سو که به جهان بنگریم آن‌را همسان و یکنواخت می‌بینیم. دیگر اینکه این موضوع در مورد مشاهدهٔ ما از جهان هستی، از هر مکان دیگر نیز صادق است. بر اساس نظریهٔ نسبیت عام و این دو فرض، فریدمان نشان داد که نمی‌توان جهان را ایستا تصور کرد. در واقع در سال ۱۹۲۲، یعنی چند سال پیش از کشف هابل، فریدمان دقیقاً یافتهٔ هابل را پیش‌بینی کرد. فرض آنکه جهان از هر سو یکنواخت به نظر نمی‌رسد، مشخصاً فرض درستی نیست.

برای مثال، ستارگان دیگر در کهکشان ما نوار نورانی مشخصی را در آسمان شب به نام «راه شیری» یا راه کهکشان به‌وجود می‌آورند. اگر به کهکشان‌های دوردست نگاه کنیم، به نظر می‌رسد که تعداد آن‌ها از هر سو که بنگریم، کم و بیش یکسان است. بنابراین جهان در مقایسهٔ بزرگ فاصله‌های بین کهکشانی از هر سو تقریباً یکنواخت به نظر می‌آید.

www.ketabha.org

برای زمانی دراز، توضیح یکنواختی جهان که تقریباً نزدیک به جهان واقعی بود، برای پذیرش فرض فریدمان قابل قبول به نظر می‌رسید. در سال‌های اخیر رویدادی تصادفی آشکار کرد که فرض فریدمان نه تقریباً، بلکه توضیح کاملاً دقیقی از جهان واقعی است. در سال ۱۹۶۵، دو فیزیکدان آمریکایی، «آرنو پنزیاس» و «رابرت ویلسون» در آزمایشگاه‌های بِل در نیوجرسی بر روی طرح آشکارساز ریزموج بسیار حساس به‌منظور ارتباط با ماهواره‌ها کار می‌کردند. آن‌ها هنگامی که دریافتند آشکارساز آنان بیشتر از حدّ معمول «نوفه» دریافت می‌کند و این نوفه از جهت خاصی نمی‌آید، دچار نگرانی شدند. ابتدا تصور کردند که نوفهٔ اضافی ناشی از فضله پرندگان بر روی آشکارساز است و سپس سایر اشکالات احتمالی را نیز مورد بررسی قرار دادند. ولی هیچ‌کدام از آن‌ها موجب نوفهٔ مزبور نبودند. آن‌ها می‌دانستند هر نوفه‌ای که از جوّ ناشی شود، هنگامی که آشکارساز کاملاً به‌طرف بالا قرار گیرد، مقدار آن بیشتر خواهد شد. زیرا اگر جوّ با زاویه‌ای نسبت به خط عمود نگریسته شود، ضخیم‌تر به نظر می‌رسد.

آشکارساز به هرسو که متمایل می‌شد مقدار نوفهٔ اضافی تغییر نمی‌کرد، بدین‌ترتیب نوفه از خارج از جوّ می‌آمد. همچنین در تمامی روزها و شب‌های سال، با وجود آنکه زمین به دور محور خود و نیز به گرد خورشید می‌گردید، اندازه نوفه یکنواخت بود. این بدان معنا بود که تابش از ورای منظومهٔ شمسی و حتی از ورای کهکشان ما می‌آمد. اگر چنین نبود، هنگامی که جهت زمین و آشکارساز تغییر می‌کرد، می‌بایست مقدار نوفه تغییر کند.

در واقع ما می‌دانیم که این تابش از جهان قابل مشاهده به‌سوی ما آمده است. از آنجایی که مقدار این تابش در جهات مختلف یکسان است، پس جهان هستی نیز در جهات مختلف، حداقل در مقیاس بزرگ، یکنواخت و یکسان است. ما اکنون می‌دانیم از هر سو که بنگریم، مقدار این نوفه هرگز بیشتر از حدّ یک قسمت از ده هزار قسمت تغییر نمی‌کند. بدین ترتیب پنزیاس و ویلسون نادانسته فرض اول فریدمان را به‌گونه‌ای دقیق مورد تأیید قرار دادند.

www.ketabha.org

تقریباً در همان زمان، دو فیزیکدان آمریکایی دیگر در دانشگاه پریستون به نام‌های «باب دیک» و «جیم پی‌بلز» به ریزموج‌ها گرایش پیدا کردند. آن‌ها بر روی اظهار نظر «جورج گاموف» کار می‌کردند. گاموف زمانی شاگرد فریدمان بود و چنین نظر داده بود که جهان اولیه می‌بایست بسیار داغ و پرچگال بوده باشد و نوری سفید گسیل می‌کرده است. دیک و پی‌بلز دلیل می‌آوردند که ما باید هنوز بتوانیم این درخشش را مشاهده کنیم؛ زیرا نور گسیل‌شده از بخش بسیار دوردست جهان اولیه اکنون به ما رسیده است. ولی به سبب اتساع جهان، این نور چنان به بخش قرمز طیف انتقال یافته که اکنون به‌صورت تابش ریزموج دیده می‌شود. دیک و پی‌بلز در جستجوی این تابش بودند که پنزیاس و ویلسون از کار آن‌ها باخبر شدند و دریافتند که قبلاً آن‌ها این تابش را یافته‌اند. پنزیاس و ویلسون به خاطر این کشف، جایزهٔ نوبل سال ۱۹۷۸ را به‌دست آوردند که برای دیک و پی‌بلز گران آمد.

در نگاه اول، کلیهٔ این مدارک مبنی بر اینکه جهان هستی در تمام جهات همسان به نظر می‌رسد، خود می‌تواند دلیلی بر آن باشد که جایگاه ما در جهان دارای موقعیت ویژه‌ای است. اگر ما مشاهده می‌کنیم که کهکشان‌های دیگر در حال دور شدن از ما هستند، بنابراین می‌توان گفت که ما در مرکز جهان هستی قرار گرفته‌ایم. ولی در این مورد توضیح دیگری نیز وجود دارد: ممکن است در یک کهکشان دیگر هم این موضوع صادق باشد و کهکشان‌های دیگر از تمام جهات در حال دور شدن نسبت به آن کهکشان باشند. این موضوع همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تأییدکنندهٔ فرض دوم فریدمان است.

ما مدرکی علمی در ردّ یا قبول این فرض نداریم. جالب می‌بود که جهان فقط در اطراف ما، نه در پیرامون نقاط دیگر جهان در جهات مختلف همسان می‌بود. در مدل فریدمان تمامی کهکشان‌ها در حال دور شدن از هم هستند. جهان را می‌توان مانند بادکنکی تصور کرد که نقاطی روی آن ترسیم شده و در حال باد کردن آن باشیم. نقاط از هم دور می‌شوند، ولی به هیچ نقطه نمی‌توان مرکزیت داد. به‌علاوه، هرقدر نقاط از هم دورتر می‌شوند، سرعت دور شدن آن‌ها بیشتر می‌شود. در مدل فریدمان سرعت دور شدن کهکشان‌ها از هم، متناسب با فاصلهٔ آن‌ها نسبت به یکدیگر

www.ketabha.org

است. بدین ترتیب انتقال به قرمز یک کهکشان همان‌گونه که هابل دریافت، بستگی به فاصلهٔ آن کهکشان با ما دارد.

مدل فریدمان به‌رغم توفیقاتش و تأیید آن از طریق مشاهدات هابل، در غرب بسیار ناشناخته ماند. مدل مزبور فقط پس از ابداع مدل‌های مشابه به‌وسیلهٔ فیزیکدان «هوارد رابرتسون» و ریاضیدان انگلیسی «آرتور واکر» در سال ۱۹۳۵ شناخته شد. این مدل‌های مشابه در پاسخ به کشف هابل در مورد همسان بودن انبساط جهان ارائه گردید.

گرچه فریدمان یک مدل را ارائه داد، در واقع سه نوع مدل متفاوت وجود دارند که از فرض‌های اساسی فریدمان تبعیت می‌کنند. در نوع اول -که فریدمان آن‌را یافت- جهان هستی با چنان سرعت کمی در حال انبساط است که نیروی جاذبه بین کهکشان‌ها موجب می‌شود که این انبساط آهسته‌تر شود و سرانجام متوقف گردد. سپس کهکشان‌ها به‌سوی هم حرکت می‌کنند و جهان شروع به انقباض می‌کند. فاصلهٔ بین دو کهکشان ابتدا از صفر آغاز می‌شود و سپس این فاصله به حداکثر می‌رسد؛ بعد به حال نخستین خود، یعنی صفر بازمی‌گردد.

در مدل نوع دوم، جهان با چنان سرعتی منبسط می‌شود که نیروی جاذبه نمی‌تواند هرگز آن‌را متوقف کند؛ گرچه اندکی از سرعت آن می‌کاهد. فاصله کهکشان‌ها در این مدل از صفر آغاز می‌شود و سرانجام کهکشان‌ها با سرعتی یکنواخت برای همیشه از هم دور می‌شوند.

در مدل نوع سوم، سرعت انبساط جهان به‌اندازه‌ای است که مانع انقباض آن می‌شود. در این مدل، فاصله کهکشان‌ها از صفر آغاز می‌شود و برای همیشه افزایش می‌یابد، ولی این سرعت دور شدن به‌تدریج کمتر و کمتر می‌شود، اما هرگز به صفر نمی‌رسد.

www.ketabha.org

ویژگی جالب توجه مدل نوع اول فریدمان آن است که جهان هستی در فضا نامتناهی نیست، ولی فضا فاقد مرز است. گرانش به حدی قوی است که فضا روی خودش خم می‌شود و تقریباً مشابه سطح زمین درمی‌آید. اگر فردی روی سطح زمین در جهتی معین حرکت کند، به مرز غیرقابل عبوری برنمی‌خورد یا از لبهٔ زمین سقوط نمی‌کند؛ بلکه سرانجام به محل آغاز حرکت خود بازخواهد گشت. مدل نوع اول فریدمان درست به همین صورت است؛ ولی به‌جای دو بُعد سطح زمین، دارای سه بعد است. بعد چهارم (بعد زمان) محدود است، ولی مشابه یک خط با دو انتها یا دو حدّ، دارای ابتدا و انتهاست. بعداً اشاره خواهیم کرد که با ترکیب نظریهٔ نسبیت عام و اصل عدم قطعیت در مکانیک کوانتومی، این امکان وجود دارد که فضا و زمان، بدون داشتن لبه یا مرز، متناهی باشند. این ایده که انسان می‌تواند گرد جهان حرکت کند و به محل آغاز حرکت خود بازگردد، برای داستان‌های علمی ـ تخیلی ایدهٔ خوبی است. ولی تا فرد بخواهد سفر خود را به پایان برساند، جهان فرو خواهد ریخت و حجم آن به صفر خواهد رسید. برای آنکه در سفر به دور جهان بتوان به نقطهٔ آغاز حرکت خود – قبل از آنکه جهان به پایان برسد – بازگشت، لازم است سریع‌تر از نور حرکت کرد که این امر ممکن نیست.

ولی کدام مدل فریدمان جهان هستی ما را توضیح می‌دهد؟ آیا جهان سرانجام از انبساط بازخواهد ایستاد و منقبض خواهد شد، یا برای همیشه به انبساط خود ادامه خواهد داد؟ برای پاسخ به این پرسش لازم است میزان انبساط کنونی و میانگین چگالی کنونی جهان را بدانیم. اگر چگالی کمتر از «مقدار بحرانی» معینی است که با میزان انبساط مشخص می‌شود، کشش گرانش ضعیف‌تر از آن خواهد بود که مانع انبساط شود. اگر چگالی بیشتر از مقدار بحرانی باشد، گرانش انبساط را زمانی در آینده متوقف خواهد کرد و موجب فروریختن جهان خواهد شد.

ما می‌توانیم میزان انبساط کنونی جهان را با اندازه گرفتن سرعت دور شدن کهکشان‌ها از زمین با کمک اثر دوپلر تعیین کنیم. این اندازه‌گیری می‌تواند با دقت بسیار صورت گیرد. ولی فاصلهٔ کهکشان‌ها به‌خوبی مشخص نیست. زیرا ما می‌توانیم این فاصله‌ها را به‌صورت غیرمستقیم تعیین کنیم. بنابراین، آنچه ما می‌دانیم این است که جهان هستی به میزان پنج تا ده درصد در هر یک

www.ketabha.org

میلیارد سال منبسط می‌شود. ولی عدم قطعیت، در مورد متوسط چگالی جهان، مسئله مهم‌تری است.

اگر ما جرم تمام ستارگانی را که در کهکشان خود و سایر کهکشان‌ها می‌بینیم باهم جمع کنیم، مجموع آن‌ها کمتر از یک‌صدم مقدار مورد نیاز برای متوقف کردن انبساط جهان است؛ حتی اگر این انبساط در کمترین مقدار آورده شود. ما می‌دانیم کهکشان ما و سایر کهکشان‌ها باید حاوی مقدار بسیار زیادی «مادهٔ تاریک» باشند که ما نمی‌توانیم به‌طور مستقیم آن‌را مشاهده کنیم. ما می‌دانیم که مادهٔ تاریک وجود دارد؛ زیرا اثر کشش گرانشی آن‌را روی مدار ستاره‌ها و نیز گازهای موجود در کهکشان‌ها می‌بینیم. به‌علاوه، بیشتر کهکشان‌ها به‌صورت خوشه‌ای هستند و مادهٔ تاریک بیشتری در بین کهکشان‌های این خوشه‌ها وجود دارد که اثر آن در حرکت این کهکشان‌ها مشهود است. هنگامی که تمامی این مادهٔ تاریک باهم جمع می‌شود، بازهم فقط چگالی آن به یک‌دهم مقداری می‌رسد که برای متوقف کردن انبساط لازم است. ولی ممکن است شکل‌های دیگری از ماده وجود داشته باشند که ما هنوز به‌وجود آن‌ها پی نبرده‌ایم و آن‌ها بتوانند چگالی متوسط جهان را در حدّ «مقدار بحرانی» افزایش دهند و موجب توقف انبساط شوند.

مدارک حاضر دالّ بر آن است که احتمالاً جهان هستی برای همیشه به انبساط خود ادامه می‌دهد. ولی روی آن حساب نکنید. آنچه ما می‌توانیم به آن مطمئن باشیم، این است که حتی اگر جهان به‌سوی فروریختن برود، این رویداد حداقل ده میلیارد سال دیگر رخ خواهد داد. زیرا حداقل ده میلیارد سال است که جهان در حال انبساط است و همین مدت طول می‌کشد تا به حال نخستین برگردد. این موضوع نباید بی‌جهت موجب نگرانی ما شود. زیرا اگر انسان تا آن زمان به آن سوی منظومهٔ شمسی مهاجرت نکرده باشد، خیلی پیشتر از آن از روی زمین محو شده است و با مرگ خورشید، او نیز مرده است.

www.ketabha.org

مهبانگ (انفجار بزرگ)

تمامی مدل‌های فریدمان دارای این ویژگی هستند که زمانی درگذشته، بین ده تا بیست میلیارد سال قبل، فاصله بین کهکشان‌ها صفر بوده است. در آن زمان که ما آن‌را مهبانگ یا انفجار بزرگ می‌نامیم، چگالی جهان هستی و انحنای فضا ـ زمان بی‌نهایت بود. این بدان معناست که نظریهٔ نسبیت عام ـ که مدل‌های فریدمان بر آن اساس قرار گرفته است ـ پیش‌بینی می‌کند که «نقطهٔ منفردی» در جهان وجود داشته است.

تمامی نظریه‌های علمی ما در این پذیرش خلاصه می‌شوند که فضا – زمان، صاف، هموار و تقریباً مسطح است. بنابراین همهٔ این نظریه‌ها در نقطه منفرد یا تکینگی مهبانگ که انحنای فضا ـ زمان در آن نامحدود است، فرومی‌پاشند (می‌رُمبند). این بدان معناست که حتی اگر رویدادهایی پیش از مهبانگ وجود داشت، کسی نمی‌توانست با استفاده از این رویدادها تعیین کند که بعدها چه اتفاقی رخ می‌دهد. زیرا قابلیت پیش‌بینی در مهبانگ فرومی‌پاشد. بر همین قیاس، اگر ما بدانیم که از مهبانگ به این‌سو چه اتفاقی رخ داده است، نمی‌توانیم مشخص کنیم که قبل از آن، چه روی داده است. تا آنجا که به ما مربوط می‌شود، رویدادهای عادی پیش از مهبانگ فاقد پیامد و اعتبارند. از این‌رو بخشی از مدل عملی کیهانی را تشکیل نمی‌دهند؛ بنابراین باید آن‌ها را از مدل کیهانی حذف کنیم و بگوییم که زمان از مهبانگ آغاز شده است.

www.ketabha.org

بسیاری از مردم این ایده را نمی‌پسندند که زمان دارای آغازی است. احتمالاً به علت آنکه (به گمان ایشان) به مداخلات الهی لطمه می‌زند. (کلیسای کاتولیک به مدل مهبانگ آویخته است و در سال ۱۹۵۱ به‌صورت رسمی اعلام کرد که مدل مهبانگ با کتاب مقدس همخوانی دارد.) پیشنهادی که حمایت وسیعی را به خود جلب کرده، کوشش‌هایی مبنی بر اجتناب از پذیرش انفجار بزرگ و «نظریه حالت پایا» است. این نظریه در سال ۱۹۴۸ به‌وسیله دو پناهنده ارائه شد. «هرمان بوندی» و «توماس گولد» از کشور اتریش که تحت اشغال نازی‌ها بود، این نظریه را مطرح کردند. علاوه بر این دو، «فرد هویل» انگلیسی نیز که هنگام جنگ با آن‌ها در تکمیل رادار همکاری می‌کرد با آن‌ها همراه شد. در این ایده گفته شد که با دور شدن کهکشان‌ها از هم به‌طور مستمر کهکشان‌های جدیدی در فضای بین آن‌ها به‌وجود می‌آیند. این کهکشان‌ها از مواد جدیدی که مدام آفریده می‌شوند، ساخته می‌شوند. از این‌رو، جهان هستی در همهٔ زمان‌ها و در همهٔ مکان‌ها تقریباً یکنواخت و همسان دیده می‌شود.

نظریهٔ جهان پایا برای آفرینش مداوم ماده، نیاز به اصلاحاتی در نظریهٔ نسبیت عام داشت. ولی میزان آفرینش بسیار پایین بود ـ تقریباً یک ذره در هر کیلومتر مربع در هر سال ـ که مغایرتی با تجربه نداشت. این نظریه از آن جهت که ساده بود، از نظر علمی نظریهٔ موجّهی بود. یکی از این پیش‌بینی‌ها آن بود که تعداد کهکشان‌ها و یا اجسام مشابه در یک فضای مفروض باید در همه‌جا و از هرجا که به جهان نگریسته شود، همسان باشد.

در اواخر دههٔ ۱۹۵۰ و اوایل دههٔ ۱۹۶۰ منابع امواج رادیویی گسیل‌شده از فضای خارج مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی در کمبریج، به‌وسیلهٔ گروهی از اخترشناسان به سرپرستی «مارتین رایل» صورت گرفت. گروه کمبریج نشان داد که اکثر منابع امواج رادیویی در خارج از کهکشان ما قرار گرفته‌اند و نیز تعداد منابع ضعیف بسیار بیشتر از منابع قوی است. آن‌ها چنین تفسیر کردند که منابع امواج ضعیف‌تر، دورتر از منابع امواج قوی‌تر هستند و نیز به نظر می‌رسید که تعداد منابع نزدیک‌تر در هر واحد حجم در فضا کمتر از تعداد منابع دورتر است. این بدان معناست

www.ketabha.org

که ما در مرکز منطقهٔ وسیعی از جهان قرار گرفته‌ایم که در آن تعداد منابع رادیویی کمتر از مکان‌های دیگر است؛ و یا می‌توان گفت تعداد این منابع در گذشته، هنگامی که امواج رادیویی سفر خود را به‌سوی ما آغاز کردند، نسبت به عصر حاضر، بسیار بیشتر بوده‌اند. هر دو توضیح، پیش‌بینی‌های نظریهٔ حالت پایا را نقض می‌کنند. به‌علاوه، کشف تابش ریزموج به‌وسیلهٔ «پنزیاس» و «ویلسون» در سال ۱۹۶۵ نیز نشان می‌دهد که جهان در گذشته بسیار چگال‌تر بوده است؛ پس نمی‌تواند حالت پایا داشته باشد. بدین ترتیب نظریهٔ پایا کنار گذاشته شد.

کوششی دیگر برای اجتناب از این نتیجه‌گیری که می‌بایست مهبانگ و در نتیجه آغاز زمانی وجود داشته باشد، به‌وسیلهٔ دو دانشمند روسی «یفگنی لیفشیتر» و «ایساک خالاتنیکف» در سال ۱۹۶۳ صورت گرفت. آن‌ها چنین نظر دادند که مهبانگ ویژگی منحصربه‌فرد در مدل‌های فریدمان است و این مدل‌ها فقط به جهان واقعی نزدیک شده‌اند. شاید در میان تمامی مدل‌هایی که تقریباً مشابه جهان واقعی هستند، فقط در مدل‌های فریدمان کهکشان‌ها به‌صورتی مستقیم از هم دور می‌شوند. بنابراین تعجبی ندارد که زمانی در گذشته، همگی آن‌ها در یک مکان بوده باشند. ولی در جهان واقعی، کهکشان‌ها مستقیماً از هم دور نمی‌شوند. آن‌ها دارای مختصری سرعت جانبی هستند. بنابراین در واقع ضرورتی ندارد که بگوییم همگی آن‌ها کاملاً در یک مکان بوده‌اند، فقط می‌توان گفت که بسیار نزدیک به هم بوده‌اند. شاید جهان در حال انبساط حاضر ناشی از تکینگیِ مهبانگ نباشد؛ بلکه از مرحلهٔ انقباض پیش از خود به‌وجود آمده باشد. هنگامی که جهان بر روی خود فرومی‌ریزد (می‌رمبد)، ممکن است همهٔ ذرات آن با هم برخورد نکنند؛ بلکه برخی از آن‌ها از کنار هم عبور کرده، از هم دور شوند و انبساط کنونی جهان را موجب شوند. بدین ترتیب چگونه می‌توانیم بگوییم جهان واقعی از یک مهبانگ آغاز شده است؟

آنچه لیفشیتز و خالاتنیکوف انجام دادند، بررسی مدل‌هایی از جهان بود که تقریباً مشابه مدل‌های فریدمان بودند، ولی بی‌نظمی‌ها و سرعت‌های اتفاقی و بدون ترتیب کهکشان‌ها در جهان واقعی در آن‌ها محاسبه شده بود. آن‌ها نشان دادند که چنین مدل‌هایی نیز می‌توانستند با مهبانگ آغاز شوند؛ گرچه در آن‌ها کهکشان‌ها به‌صورت مستقیم از هم دور نمی‌شدند. ولی آنان ادعا کردند که

www.ketabha.org

این امر فقط شامل مدل‌هایی استثنایی می‌شود. آن‌ها دلیل آوردند که چون تعداد بسیاری از مدل‌های مشابه مدل فریدمان، فاقد تکینگی مهبانگ هستند، بنابراین ما به این نتیجه می‌رسیم که بسیار نامحتمل است که جهان با مهبانگ آغاز شده باشد. ولی بعداً متوجه شدند که مدل‌های کلاسیک بسیاری مشابه مدل فریدمان وجود دارند که با تکینگی آغاز می‌شوند و کهکشان‌ها در آن‌ها فاقد سرعت‌های جانبی هستند. سرانجام آنان در سال ۱۹۷۰ عقب‌نشینی کردند.

کارهای لیفشیتر و خالاتنیکف ارزشمند بود. زیرا نشان داد که اگر نظریهٔ نسبیت عام درست باشد، جهان هستی می‌تواند یک تکینگی – مهبانگ داشته باشد. ولی نتوانسته است به آن پرسش سرنوشت‌ساز پاسخ دهد: "آیا نظریهٔ نسبیت عام پیش‌بینی می‌کند که جهان ما باید دارای یک مهبانگ، یک آغاز زمان باشد؟" پاسخ به این پرسش موجب رویکردی کاملاً متفاوت نسبت به موضوع شد که آغازگر آن فیزیکدانی انگلیسی به نام «راجر پنروز» در سال ۱۹۶۵ بود. او از نحوهٔ رفتار «مخروط‌های نور» در نسبیت عام و این واقعیت که نیروی گرانش همواره جذب می‌کند، استفاده کرد تا نشان دهد که ستاره‌ای که بر اثر نیروی گرانش خود می‌رُمبد، در محدوده‌ای به دام می‌افتد که مرزهایش سرانجام به صفر می‌رسد. این بدان معناست که تمامی ماده در ستاره در محدوده‌ای به حجم صفر متراکم می‌شود. بدین ترتیب چگالی ماده و انحنای فضا – زمان نامتناهی می‌شود. به عبارت دیگر، در محدوده‌ای از فضا سازمان تکینگی‌ای به نام سیاه‌چاله به‌وجود می‌آید.

در نظر اول، در حاصل کارهای پنروز چیزی یافت نمی‌شود که به این پرسش پاسخ دهد که آیا نقطهٔ منفرد یا تکینگی مهبانگ در گذشته وجود داشته است؟ ولی زمانی که پنروز «قضیه» ریاضی خود را ارائه داد، من یک دانشجوی پژوهشی بودم که ناامیدانه در جستجوی مسئله‌ای پژوهشی بود تا پایان‌نامهٔ دکتری خود را به پایان برساند. من به این فکر افتادم که جهت زمان در قضیهٔ پنروز را معکوس کنم، به‌طوری‌که رُمبیدن به انبساط تبدیل شود. «قضیه» پنروز نشان داده بود هر ستارهٔ در حال رُمبیدن می‌بایست به یک تکینگی منتهی شود. استدلال برگشت زمان نشان داد

www.ketabha.org

که هر مدل مشابه مدل جهان منبسط شوندهٔ فریدمان می‌بایست با یک مهبانگ آغاز شده باشد. به دلایلی فنّی، قضیهٔ پنروز نیاز به این داشت که جهان در فضا، نامتناهی باشد. بنابراین می‌توانستم از این موضوع استفاده کنم و ثابت نمایم که می‌بایست یک تکینگی وجود داشته باشد؛ البته اگر جهان به حدّی سریع انبساط یابد که مانع رُمبیدن مجدد شود. زیرا مدل جهان فریدمان در فضا، لایتناهی بوده است.

در طول چند سال بعد یک تکنیک جدید ریاضی را تکمیل کردم که این موضوع و سایر شرایط تکینگی را که ثابت می‌کردند تکینگی‌هایی باید رخ داده باشد، از قضیه‌ها زدود. نتیجهٔ نهایی، مقاله‌ای مشترک بود که در سال ۱۹۷۰ به‌وسیلهٔ پنروز و من ارائه گردید. مقاله ثابت می‌کرد که می‌بایست یک تکینگی مهبانگ وجود داشته باشد و بدین ترتیب درست بودن نظریهٔ نسبیت عام تأیید شده بود و نیز ثابت می‌کرد جهان هستی بیش از آنچه مشاهده می‌شود، حاوی ماده است.

ایراد بسیاری به کارهای ما گرفته شد. بخشی از این ایرادها، خط‌مشی لیف‌شیتز و خالاتنیکف را دنبال می‌کرد و بخش دیگر از سوی افرادی بود که حس می‌کردند کل ایدهٔ تکینگی نفرت‌انگیز است و زیبایی نظریهٔ انیشتین را نابود می‌کند. ولی پس از این فراز و نشیب‌ها، این امر که جهان هستی دارای آغازی است، اکنون مقبولیت عام پیدا کرده است.

www.ketabha.org

سخنرانی سوم:سیاه‌چاله‌ها

عبارت «سیاه‌چاله»، اصطلاح بسیار جدیدی است که در سال ۱۹۶۹ به‌وسیلهٔ دانشمند آمریکایی «جان ویلر» در قالب توصیفی تصویری از ایده ای با قدمت دسته کم ۲۰۰ سال تعریف شد. در آن زمان، دو قضیه درباره نور وجود داشت. یکی آن که نور از ذرات تشکیل شده است و دیگری ماهیتی موجی به آن می‌داد. اکنون می‌دانیم که هر دو قضیه درست است. بر اساس نظریه دوگانگی موجی/ذره‌ای، نور را هم می‌توان ذره دانست و هم موج. در نظریه موجی بودن نور نمی‌توان توضیح داد که چگونه نیروی گرانشی روی آن اثر می‌کند. ولی اگر نور از ذرّات تشکیل شده بود، می‌شود انتظار داشت که این ذرات نیز مانند گلوله توپ، موشک و سیارات تحت تاثیر گرانش قرار گیرند.

www.ketabha.org

بر همین اساس، «جان مایکل»، یکی از اساتید دانشگاه کمبریج، در سال ۱۷۸۳ مقاله‌ای در تعاملات فلسفی انجمن سلطنتی لندن نوشت. در آن مقاله وی اشاره کرده بود که اگر ستاره‌ای به‌قدر کافی پرجرم و متراکم باشد دارای چنان میدان گرانشی نیرومندی خواهد بود که نور نمی‌تواند از آن بگریزد. کشش گرانشی ستاره، هر نوری را که از سطح ستاره گسیل شده باشد، قبل از آن که بتواند خیلی دور شده باشد، به عقب باز می‌گرداند. مایکل گفت که ممکن است تعداد بسیاری ستاره مشابه چنین وضعیتی را داشته باشند. گرچه ما نمی‌توانیم به علت آنکه نوری از آن‌ها به ما نمی‌رسد این ستاره‌ها را مشاهده کنیم، اما باز هم نیروی گرانش آن‌ها را می‌توانیم احساس کنیم. این اجرام همان چیزهایی هستند که اکنون «سیاه‌چاله ها» می‌نامیم، زیرا این همان چیزی است که آن‌ها هستند: «حفره‌هایی سیاه در فضا».

چند سال بعد، نظر مشابهی ظاهراً مستقل از نظریه مایکل، به‌وسیلهٔ دانشمند فرانسوی، «مارکی دو لاپلاس» ارائه گردید. جالب آن بود که او این نظریه را تنها در چاپ اول و دوم کتابش به نام «نظام جهان» آورد. شاید به دلیل آنکه به نظرش ایدهٔ نامعقول و احمقانه‌ای آمده بود و در واقع، این که نور را در نظریه گرانش نیوتن مانند گلوله‌های توپ در نظر بگیرند واقعا درست نیست، زیرا سرعت نور ثابت است. گرانش، سرعت گلولهٔ توپی را که به بالا شلیک شده، کاهش داده و سرانجام آن را متوقف کرده و باز می‌گرداند. اما فوتون باید با سرعت ثابت، به حرکت رو به بالا ادامه دهد. پس گرانش نیوتنی چگونه می‌تواند بر روی نور اثر بگذارد؟

تا زمانی که انیشتین در سال ۱۹۱۵ میلادی، نظریه نسبیت عام خود را مطرح ساخت، نظریه منسجمی در زمینه اثر گرانش بر روی نور وجد نداشت.

برای فهم آن که سیاه چاله چگونه ممکن است تشکیل شده باشد، نخست باید چرخه عمر ستاره را بفهمیم. ستاره هنگامی تشکیل می‌شود که مقدار عظیمی گاز و عمدتا هیدروژن به دلیل

www.ketabha.org

کشش گرانشی شروع به فرو ریختن در خود می‌کند. با انقباظ گاز، اتم های آن، بیش‌تر و بیش‌تر و با سرعت های زیادتر و زیادتر با یکدیگر برخورد می‌کنند و گازها، گرم می‌شوند. سرانجام گاز به حدی داغ می‌شود که وقتی اتمهای هیدروژن با یکدیگر برخورد می‌کنند، دیگر یکدیگر را پس نمی زنند، بلکه با یکدیگر ادغام می‌شوند و اتم های هلیم را تشکلی می‌دهند. گرمای آزاد شده در این واکنش که مانند بمب هیدروژنیِ کنترل شده است، سبب درخشش ستاره‌ها می‌شود. این گرمای اضافی نیز فشار گاز را آن قدر بالا می‌برد که برای موازنه کشش گرانشی کافی باشد و تراکم گاز را متوقف کند. این پدیده تقریباً مشابه یک بادکنک عمل می‌کند که در آن میان فشار هوای داخل که سعی می‌شود موجب انبساط بادکنک شود و کشش لاستیک که تلاش می‌کند بادکنک را کوچک‌تر سازد، تعادلی برقرار است.

هنگامی که ستاره به این مرحله می‌رسد برای مدتی طولانی پایدار باقی می‌ماند و گرمای حاصل از واکنش‌های هسته‌ای، نیروی گرانشی را خنثی می‌کنند. ولی سرانجام هیدروژن و دیگر سوخت‌های هسته‌ای ستاره تمام می‌شود. نکته متناقض آن که هر چقدر سوخت یک ستاره در آغاز بیشتر باشد، عمر آن زودتر به پایان می‌رسد؛ زیرا هر مقدار ستاره پرحجم‌تر باشد، باید برای موازنه کشش گرانشی خود، داغ‌تر باشد (جرم بیش‌تری را بسوزاند) و هر چقدر داغ‌تر باشد سوخت خود را سریع‌تر مصرف خواهد کرد. خورشید ما احتمالاً برای تقریباً پنج میلیارد سال دیگر، سوخت کافی دارد ولی ستارگان پر جرم‌تر، ممکن است در زمانی کوتاه مثلا طی صدمیلیون سال که بسیار کوتاه‌تر از سن عالم و کیهان است، سوخت خود را مصرف کنند. وقتی که سوخت ستاره تمام می‌شود، شروع به سرد شدن می‌کند تراکم و انقباض آن آغاز می‌شود. اتفاقاتی را که ممکن است پس از این برای ستاره روی دهد، در اواخر دهه ۱۹۲۰ میلادی برای نخستین بار به آن پی بردند.

در سال ۱۹۲۸ بود که یک دانشجوی فارغ‌التحصیل هندی به نام «سوبراهمانیان چاندارشیکهر» با کشتی عازم انگلستان شد تا در دانشگاه کمبریج زیر نظر ستاره شناس انگلیسی، «آرتور

www.ketabha.org

ادینگتن»، به تحصیل علم ستاره شناسی بپردازد. ادینگتن از صاحب نظران در نسبیت عام بود.

چاندراشیکهر در سفر دریایی خود محاسبه کرد که اندازهٔ یک ستاره باید به چه میزان باشد تا پس از اتمام سوختش، بتواند در مقابل نیروی جاذبهٔ خود مقاومت کند. همان طور که می‌دانیم: هنگامی که ستاره کوچک می‌شود، ذرات مادی آن بسیار به هم نزدیک می‌شوند و طبق «اصل طرد پاولی» دو ذره مادی نمی‌توانند دارای مکان و سرعت یکسان باشند؛ از این رو ذرات مادی باید سرعت بسیار متفاوتی داشته باشند و این امر موجب می‌شود که ذرات از هم دور شوند و سبب انبساط ستاره گردند؛ بر همین اساس ستاره با برقراری تعادل بین نیروی گرانشی و نیروی دافعهٔ ناشی از اصل طرد پاولی، شعاع ثابتی را حفظ می‌کند؛ همان‌گونه که در آغاز حیاتش بین گرانش و گرما تعادل برقرار کرده است.

چاندراشیکهر به این نکته پی برد که برای نیروی دافعهٔ ناشی از اصل طرد پاولی، محدودیت هایی وجود دارد. نظریهٔ نسبیت عام حداکثر اختلاف سرعت‌ها را در ذرات مادی ستاره، سرعت نور بیان کرده است و این بدان معناست که هنگامی که ستاره به‌قدر کافی متراکم می‌شود، نیروی دافعهٔ ناشی از اصل طرد پاولی، کمتر از نیروی گرانشی آن می‌گردد.

چاندراشیکهر محاسبه کرد که ستاره‌ای که جرم آن بیش از یک و نیم برابر خورشید است، نمی‌تواند خود را در مقابل نیروی گرانشی حفظ کند. هر جرمی که در فضا، چنین ویژگی ای را داشته باشد، به آن «حدّ چاندراشیکهر» نامیده می‌شود. این یک اصل مهم برای سرنوشت نهایی یک ستارهٔ پرجرم است. اگر جرم ستاره‌ای کمتر از حدّ چاندراشیکهر باشد، در نهایت از انقباض بازخواهد ایستاد و سرنوشت نهایی خود، موسوم به «کوتولهٔ سفید»، تبدیل خواهد شد. شعاع کوتولهٔ سفید چند هزار کیلومتر است و چگالی آن برای هر سانتی‌متر مکعب به یک تن می‌رسد. بقای کوتولهٔ سفید به نیروی دافعهٔ ناشی از اصل طرد پاولی در بین الکترون‌های مادهٔ موجود در ستاره برمی گردد. ما تاکنون تعداد بسیار زیادی کوتولهٔ سفید را مشاهده کرده‌ایم.

www.ketabha.org

همچنین مشخص شده است که سرنوشت نهایی دیگری برای ستاره‌ای به اندازهٔ یک یا دو برابر جرم خورشید، ولی بسیار کوچک‌تر از کوتولهٔ سفید، وجود دارد. این ستارگان از طریق نیروی دافعهٔ ناشی از اصل طرد پاولی بین نوترون‌ها و پروتون‌ها بدون احتساب الکترون‌ها، حمایت می‌شوند از این‌رو به آن‌ها «ستارگان نوترونی» می‌گویند. شعاع آن‌ها تقریباً ۱۶ کیلومتر و چگالی آن‌ها صد میلیون تن در هر سانتی‌متر مکعب است. هنگامی که بر اساس پیش بینی ها، وجود این ستارگان نوترونی پیش بینی شده بود، راهی برای مشاهدهٔ آن‌ها وجود نداشت و پس از گذشت زمان، این امکان فراهم شد.

از طرف دیگر، ستارگانی جرمشان بیش از حدّ چاندراشیکهر بود، هنگام پایان یافتن سوخت خود به مشکلی بزرگ گرفتار می‌شوند. در برخی موارد منفجر می‌شوند یا مقداری از جرم خود را به بیرون گسل می‌کنند تا به زیر حدّ چاندراشیکهر برسند (پایدار شوند) و پذیرش چنین رفتاری مشکل است. ستاره از کجا می‌داند که باید وزنش را کم کند؟ اگر قرار باشد هر ستاره بتواند جرمش را کم کند، در آن صورت چه اتفاقی خواهد افتاد؟ اگر به جرم یک کوتولهٔ سفید یا ستاره نوترونی اضافه کنیم تا به بیش از حدّ چاندراشیکهر برسد، آیا آن‌قدر می‌رُمبد (فروپاشی می‌کند) تا چگالی آن نامحدود شود؟

برای ادینگتن چنین برداشت‌هایی تکان‌دهنده بود و از قبول نتایجی که چاندراشیکهر به‌دست آورده بود، امتناع کرد. او بر این باور بود که نمی‌تواند یک ستاره تا آن حد فروپاشی کند (برُمبد) که به‌اندازه یک نقطه شود و این باوری بود که اکثر دانشمندان در آن زمان داشتند. انیشتین مقاله‌ای نوشت و در آن مدعی شد که ستارگان نمی‌توانند در حدّ صفر و تا مرز نابودی، کوچک شوند. مخالفت دانشمندان دیگر علی الخصوص ادینگتن که استاد پیشین چاندراشیکهر و قطب علمی ستاره شناسی بود، موجب این شد تا چاندراشیکهر این نظریه را رها کرده و به مسائل دیگر اخترشناسی بپردازد. اما در سال ۱۹۸۳ ، وقتی چاندراشیکهر، جایزهٔ نوبل را دریافت کرد، همه می‌دانستند که حداقل بخشی از آن، به خاطر کارهای اولیه‌اش در مورد محدودیت جرم در ستارگان

www.ketabha.org

سرد بوده است.

چاندارشیکهر ثابت کرد که اصل طرد نمی‌تواند فروپاشیدن یک ستارهٔ پرجرم‌تر از حد چاندراشیکهر را متوقف کند. ولی درک این قضیه که بر اساس نظریهٔ نسبیت عام چه بر سر آن ستاره خواهد آمد امکان‌پذیر نبود تا این که در سال ۱۹۳۹ جوانی امریکایی به نام «رابرت اوپنهایمر» گره این مسئله را باز کرد. نتایجی که وی ارائه نمود در قالبی نبود که بتوان با تلسکوپ‌های آن زمان صحت آن‌ها را تأیید کرد. سپس جنگ جهانی آغاز شد و اوپنهایمر درگیر پروژهٔ بمب اتم شد. پس از جنگ، مسئله فروپاشی گرانش عمدتاً به دست فراموشی سپرده شد؛ زیرا اکثر دانشمندان به موضوعات اتمی و هستهٔ اتم علاقه‌مند شدند. از آن جا که در دههٔ ۱۹۶۰، فناوری‌های نوین، ابزارهای فراوانی برای مشاهدات نجومی فراهم آورده بود، توجه به مسائل بزرگ اخترشناسی و کیهان‌شناسی از سر گرفته شد. زحمات اوپنهایمر دوباره مورد بررسی قرار گرفتند و به‌وسیلهٔ افراد دیگر تکمیل یافت.

پژوهش اوپنهایمر نتایج زیبایی را به دنبال داشت: میدان گرانشی ستاره، مسیر پرتوهای نور را در فضا – زمان تغییر می‌دهد. مخروط‌های نور که مسیرهای نور را در فضا و زمان با درخشش نور از نوک مخروط مشخص می‌کنند کمی به داخل، به‌سوی سطح ستاره، خم می‌شوند. این پدیده را با خم شدن نور ساطع‌شده از ستارگان دوردست هنگام خورشیدگرفتگی می‌توان مشاهده کرد. هنگامی که ستاره‌ای متراکم می‌شود میدان گرانشی سطح آن افزایش یافته و مخروط‌های نور بیشتر به داخل خم می‌شوند. این عمل موجب می‌شود که نور به‌زحمت بتواند خود را از قید و بند جاذبهٔ ستاره آزاد کند و از دید ناظری که کمی دور از ستاره قرار گرفته است، ضعیف‌تر و قرمزتر به نظر می‌رسد.

سرانجام هنگامی که ستاره آن‌قدر کوچک می‌شود که به شعاع بحرانی می‌رسد، میدان گرانشی در سطح آن به‌حدی افزایش می‌یابد که مخروط‌های نور کاملاً به داخل خم‌شده و دیگر نمی‌توانند

www.ketabha.org

وارد ستاره شوند. بر اساس نظریهٔ نسبیت، هیچ‌چیز دیگر هم نمی‌تواند از سطح ستاره به خارج بگریزد. همه‌چیز بر اثر میدان گرانشی به درون کشیده می‌شود. بدین‌ترتیب مجموعه‌ای از رویدادها و نیز منطقه‌ای از فضا – زمان وجود دارد که نمی‌تواند از ستاره به خارج گسیل شود و به چشم ناظر خارج از ستاره برسد. این منطقه همان چیزی است که اکنون آن را سیاه‌چاله می‌نامیم. مرزهای آن «افق رویداد» نامیده می‌شود. افق رویداد با مسیرهای پرتوهای نوری که نمی‌تواند از سیاه‌چاله بگریزد منطبق است.

هنگام مشاهدهٔ ستاره‌ای که فروپاشی می‌کند (تلاشی پیدا می‌کند) و به سیاه‌چاله تبدیل می‌شود چه خواهید دید؟ برای درک این مطلب باید به خاطر بیاورید که در نظریهٔ نسبیت، زمان مطلق وجود ندارد. هر ناظری زمان خود را دارد. به علت میدان گرانشی ستاره، زمان برای فردی که روی ستاره است با فردی که در خارج از ستاره قرار گرفته، متفاوت است. مقدار این تفاوت در آزمایشی در روی زمین با نصب ساعت‌هایی در بالا و پایین یک برج منبع آب اندازه‌گیری شده است. فرض کنید فضانوردی بی‌باک بر سطح ستاره‌ای در حال فروپاشی، مطابق ساعت خودش هر ثانیه یک سیگنال (علامت) به سفینه‌ای که در مدار ستاره می‌گردد، ارسال می‌کند. در زمانی خاص، مطابق با ساعت او، مثلاً ساعت یازده، شعاع ستاره به زیر شعاع بحرانی می‌رسد و میدان گرانشی به‌اندازه‌ای نیرومند می‌شود که سیگنال‌های دیگر نمی‌توانند به سفینه برسند.

همراهان ناظر در سفینه درمی‌یابند که فاصله‌های زمانی بین سیگنال‌های متوالی به‌تدریج که به ساعت یازده نزدیک می‌شود بیشتر و بیشتر می‌شوند. البته این افزایش تا قبل از ساعت ۵۹/۵۹/۱۰ اندک است. مقدار کمی بیشتر از یک ثانیه باید صبر کنند تا سیگنال بین ۵۸/۵۹/۱۰ و ۵۹/۵۹/۱۰ به آن‌ها برسد. ولی برای دریافت سیگنال ساعت یازده باید تا ابد منتظر بمانند. بر اساس ساعت فضانورد، امواج نوری که بین ساعت ۵۹/۵۹/۱۰ و ساعت ۱۱ از سطح ستاره گسیل می‌شود آن‌گونه که از سفینه مشاهده می‌شود، در پهنهٔ دورهٔ نامحدودی از زمان پخش می‌گردد.

www.ketabha.org

فاصله بین موج‌های متوالی نور که به سفینه می‌رسد طولانی‌تر و طولانی‌تر می‌شود و بدین ترتیب نور ساطع‌شده از ستاره قرمزتر و قرمزتر و ضعیف‌تر به نظر می‌رسد. سرانجام ستاره به حدی کم‌فروغ می‌شود که دیگر از سفینه قابل دیدن نیست. آنچه از ستاره باقی می‌ماند، سیاه‌چاله‌ای در فضاست. ولی اثر نیروی گرانشی آن همچنان بر سفینه باقی است. نوری که از ستاره گسیل می‌شود بر اثر میدان گرانشی چنان به قرمز انتقال یافته است که دیگر دیده نمی‌شود. ولی انتقال به قرمز تأثیری بر میدان گرانشی ستاره ندارد. بدین ترتیب سفینه همچنان به گردش خود در مدار سیاه‌چاله ادامه می‌دهد.

www.ketabha.org

در مورد معادلات نظریهٔ نسبیت عام راه‌حل‌های دیگری وجود دارد که فضانورد بی‌باک ما بتواند یک تکینگی برهنه و عریان را مشاهده کند. او می‌تواند از برخورد با تکینگی اجتناب کند و به‌جای آن در یک «کرم‌چاله» سقوط کند و در ناحیهٔ دیگری از جهان ظاهر شود. این موضوع امکانات وسیعی را برای سفر در فضا و زمان فراهم می‌کند، ولی متأسفانه به نظر می‌رسد که این راه‌حل‌ها بسیار سست و ناپایدارند. کمترین بی‌نظمی و آشفتگی مانند حضور یک فضانورد، تغییراتی به‌وجود می‌آورد که فضانورد دیگر نمی‌تواند تکینگی را مشاهده کند، مگر آنکه با آن برخورد کند که در آن صورت زندگی‌اش به پایان خواهد رسید؛ به‌عبارت‌دیگر، تکینگی همواره در آیندهٔ او و نه هرگز در گذشتهٔ او قرار می‌گیرد.

در یک رُمبش گرانشی که سیاه‌چاله تشکیل می‌شود، حرکت‌های رُمبشی با گسیل امواج گرانشی مهار می‌شوند؛ بنابراین چنین انتظار می‌رود که زمان درازی طول نکشد که سیاه‌چاله به حالت مانا (بدون تغییر) درآید. به‌طور معمول فرض بر آن است که این حالتِ بدون تغییر نهایی، بستگی به جزئیات جرمی دارد که از فروپاشی آن سیاه‌چاله به‌وجود آمده است. سیاه‌چاله می‌تواند به هر شکل و اندازه‌ای باشد و ممکن است حتی شکل ثابتی نداشته، بلکه در عوض حالتی تپنده داشته باشد.

در سال ۱۹۶۷ بررسی سیاه‌چاله‌ها با انتشار مقاله‌ای به‌وسیلهٔ «ورنز ایسرائل» در دوبلین، دست‌خوش تحولی اساسی شد. وی نشان داد که هر سیاه‌چاله‌ای که نمی‌چرخد باید شکلی کاملاً گرد یا کروی داشته باشد. به‌علاوه، اندازه‌اش بستگی به مقدار جرمش دارد. در واقع این موضوع از طریق حل معادلات انیشتین، از سال ۱۹۱۷ شناخته شده بود و اندکی پس از کشف نظریهٔ نسبیت عام، «کارل شوارتس شیلت» راه حل مزبور را ارائه داد. ابتدا نظر ایسرائل به‌وسیلهٔ پژوهشگران بسیاری، از جمله خود ایسرائل، مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفت. بدان معنا که سیاه‌چاله‌ها فقط از رُمبش اجرامی که کاملاً گرد و کروی هستند به‌وجود می‌آیند. ازآنجا که هیچ جرم حقیقی به‌طور کامل کروی نیست، بنابراین به‌طورکلی رُمبش گرانشی به تکینگی‌های عریان می‌انجامد از طرف دیگر، در مورد نظر ایسرائل تفسیر متفاوت دیگری نیز وجود داشت که به‌ویژه به‌وسیلهٔ راجر پنروز و جان ویلر حمایت می‌شد. در این تفسیر گفته می‌شود که یک سیاه‌چاله مانند یک جسم کروی سیّال

www.ketabha.org

عمل می‌کند. گرچه ممکن است جرمی در حالت نیمه کروی رَمبش خود را آغاز کند ولی هنگامی که عمل رَمبش صورت گرفت و سیاه‌چاله تشکیل شد، بر اثر گسیل امواج گرانشی، به حالت کروی استقرار خواهد یافت. با انجام محاسبات بیشتر، این نظر مورد تأیید قرار گرفت و مقبولیت عام یافت.

اظهارنظر ایسرائل فقط شامل حال سیاه‌چاله‌هایی می‌شد که اجرامی که نمی‌چرخیدند به‌وجود می‌آمدند. در مقایسه با کره‌ای سیّال، می‌توان این انتظار را داشت که سیاه‌چالهٔ تشکیل شده از یک جرم چرخان نمی‌تواند کرهٔ کاملی باشد. بر اثر عمل چرخش، در ناحیهٔ استوا برآمدگی کوچکی را در خورشید مشاهده می‌کنیم که بر اثر چرخش خورشید، تقریباً هر بیست‌وپنج روز یک‌بار به دور خود، به‌وجود آمده است. در سال ۱۹۶۳ «روی کِر» اهل زلاند نو، برای سیاه‌چاله‌ها، از طریق معادلات نسبیت عام به راه‌حل‌هایی دست یافت که مورد قبول‌تر از راه‌حل‌های شوارتس شیلت بود. سیاه‌چاله‌های کِر با سرعتی یکنواخت می‌چرخیدند، اندازه و شکل آن‌ها فقط به جرم و سرعت چرخش آن‌ها بستگی داشت. اگر اندازهٔ چرخش صفر بود، سیاه‌چاله کاملاً شکل کروی داشت و راه‌حل همان راه‌حل شوارتس شیلت بود ولی اگر اندازهٔ چرخش صفر نبود، سیاه‌چاله در ناحیهٔ استوا حالت برآمدگی پیدا می‌کرد؛ بنابراین حدس این موضوع طبیعی بود که جرم چرخانی که رَمبش می‌کند و از آن سیاه‌چاله‌ای به‌وجود می‌آید با کمک راه حل کِر توضیح داده شود.

در سال ۱۹۷۰، همکار و دانشجوی پژوهشی‌ام «براندون کارتر»، نخستین قدم را برای اثبات این حدس برداشت. او نشان داد یک سیاه‌چالهٔ چرخانِ مانا، مانند یک فرفرهٔ چرخان، دارای محوری متقارن است و اندازه و شکلش به جرم و سرعت چرخش آن بستگی دارد. سپس در سال ۱۹۷۱، من ثابت کردم هر سیاه‌چالهٔ چرخان مانا در واقع دارای چنین تقارن محوری است. سرانجام در سال ۱۹۷۳، «دیوید رابینسون» از کینگ کالج لندن، بر اساس بررسی‌های کارتر و من نشان داد که این حدس درست است. چنین سیاه‌چاله‌ای در واقع از راه‌حل کِر به دست آمده است.

www.ketabha.org

بنابراین، پس از رُمبش گرانشی، سیاه‌چاله به حالتی درمی‌آید که به‌جای تپیدن می‌تواند بچرخد. به‌علاوه، اندازه و شکل آن بستگی به جرم و سرعت چرخش آن دارد. در اینجا ماهیت جرمی که سیاه‌چاله از آن به‌وجود آمده است نقشی ندارد. نتیجه به‌دست‌آمده را بدین‌صورت بیان می‌کنند که هر سیاه‌چاله‌ای دارای قضیهٔ no hair است. بدین معنا که مقدار بسیار زیادی اطلاعات مربوط به جرم پیشین، هنگامی که سیاه‌چاله تشکیل می‌شود، به‌اجبار از بین رفته است؛ زیرا آنچه پس از تشکیل سیاه‌چاله قابل اندازه‌گیری است فقط جرم و سرعت چرخش است. معنا و مفهوم این مقوله در گفتار بعدی توضیح داده می‌شود. قضیه no hair (در مفهوم ریاضی آن) دارای اهمیت عملی بزرگی است؛ زیرا انواع ممکن سیاه‌چاله‌ها را محدود می‌کند؛ بنابراین می‌توان مدل‌هایی تفصیلی از اشیا ساخت که حاوی سیاه‌چاله باشند و پیش‌بینی مدل‌ها را از طریق مشاهده مقایسه کرد.

سیاه‌چاله‌ها از معدود مواردی در تاریخ علم هستند که نظریهٔ آن‌ها با جزئیات کامل از طریق مدل ریاضی ارائه شد و تکامل یافت، بی‌آنکه هیچ‌گونه مشاهده‌ای صحت آن را تأیید کند و در واقع این نکته‌ای است که مخالفان سیاه‌چاله‌ها همواره آن را گوشزد می‌کنند. چگونه می‌توان به اجسامی باور داشت که تنها مدرک وجود آن‌ها مجموعه‌ای محاسبات باشد که بر اساس نظریهٔ قابل تردید نسبیت عام صورت گرفته است؟

در سال ۱۹۶۳، «مارتین اشمیت» اخترشناس رصدخانهٔ «مونت پالمار» در کالیفرنیا، جرم اختروَش کم‌فروغی را در راستای منبع گسیل امواج رادیویی موسوم به ۳C۲۷۳ یافت؛ یعنی شمارهٔ منبع رادیویی ۲۷۳، در سومین مجموعهٔ منابع رادیویی کمبریج.

هنگامی که وی انتقال به قرمز آن جرم را اندازه گرفت، پی بُرد که طیف مزبور بزرگ‌تر از آن است که بر اثر میدان گرانشی به‌وجود آمده باشد: اگر این طیف انتقال به قرمز گرانشی بوده باشد، آن

www.ketabha.org

جسم باید به حدّی پرجرم و به‌اندازه‌ای نزدیک باشد که می‌بایست موجب اختلال مدار سیارات منظومهٔ شمسی شود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که این انتقال به قرمز بر اثر انبساط جهان ایجاد شده است و به دنبال آن می‌توان نتیجه گرفت که بسیار از زمین دور بوده است و برای اینکه از این فاصلهٔ بسیار دور قابل‌رؤیت باشد باید بسیار درخشان بوده و انرژی بسیار عظیمی گسیل کند.

پژوهشگران تنها سازوکاری را که تصور می‌کردند بتواند چنین مقدار انرژی را تولید کند، رُمبش گرانشیِ یک ستاره و بلکه تمام بخش مرکزی یک کهکشان بود. تاکنون تعدادی اختروش (کوازار) دیگر با انتقال به قرمز کامل کشف شده‌اند. ولی تمام آن‌ها بسیار دور هستند و مشاهدهٔ آن‌ها به‌منظور ارائه مدرکی قاطع برای سیاه‌چاله‌ها، بسیار مشکل است.

در سال ۱۹۶۷، با کشف یک دانشجوی پژوهشگر در دانشگاه کمبریج به نام «جاسلین بل»، وجود سیاه‌چاله‌ها بیشتر مورد حمایت قرار گرفت. وی پی برد که جرم‌هایی در آسمان به‌گونه‌ای منظم پالس (تَپ)هایی رادیویی گسیل می‌کنند. ابتدا جاسلین و استاد راهنمای او «آنتونی هیوئیش» تصور کردند که با تمدنی فرازمینی ارتباط برقرار کرده‌اند. در واقع به‌خاطر می‌آورم که در سمیناری که آن‌ها کشف خود را اعلام نمودند، چهار منبع نخستین دریافت امواج را LGM۱-۴ نامیدند. LGM کوتاه شدهٔ «مردان کوچک سبز» است.

سرانجام، آن‌ها و دیگران به این نتیجهٔ کمتر خیال‌پردازانه رسیدند که این اجسام که آن را «تپ اختر» (پالسار) نامیدند. در واقع ستاره‌های نوترونی چرخان هستند. آن‌ها پالس‌هایی از نوع امواج رادیویی گسیل می‌کردند که بر اثر کنش متقابل پیچیده‌ای بین میدان‌های مغناطیسی آن‌ها و مواد پیرامونی به‌وجود می‌آمد. این موضوع خبر بدی برای نویسندگان داستان‌های علمی – تخیلی غربی، ولی خبری بسیار امیدوارکننده برای افراد معدودی مانند ما بود که در آن زمان به‌وجود سیاه‌چاله‌ها باور داشتیم. این رویداد نخستین مدرکی بود که وجود ستاره‌های نوترونی را ثابت می‌کرد. ستارهٔ نوترونی دارای شعاعی تقریباً معادل شانزده کیلومتر است که فقط چند برابر شعاع بحرانی یک ستاره است که به سیاه‌چاله تبدیل می‌شود. اگر ستاره‌ای می‌توانست تا آن حد برُمبد

www.ketabha.org

که به یک ستارهٔ نوترونی بینجامد، غیرمنطقی نبود که ستارگانی دیگر به میزانی بیشتر برَمبند و به سیاه‌چاله تبدیل شوند.

چگونه می‌توانیم امیدوار باشیم که سیاه‌چاله‌ای را شناسایی کنیم، درحالی‌که بنا به تعریف، سیاه‌چاله نوری از خود ساطع نمی‌کند؟ مانند آن است که بخواهیم گربه‌ای سیاه را درون انبار زغال‌سنگ بیابیم. ولی همان‌گونه که جان مایکل در مقالهٔ کاوشگرانهٔ خود در سال ۱۹۸۳ خاطرنشان کرد، خوشبختانه راهی برای این کار وجود دارد؛ زیرا سیاه‌چاله روی اجسام نزدیک به خود اثر گرانشی دارد. اخترشناسان سیستم‌هایی را مشاهده کرده‌اند که دو ستاره به دور هم می‌گردند و بر اثر نیروی گرانشی یکدیگر را جذب می‌کنند. آن‌ها همچنین سیستم‌هایی را مشاهده کرده‌اند که فقط یک ستاره به گرد همدمی نامرئی می‌گردد.

البته نمی‌توان بی‌درنگ نتیجه گرفت که ستارهٔ همدم یک سیاه‌چاله است. ممکن است نور ستاره‌ای آن‌قدر ضعیف باشد که دیده نشود. ولی برخی از این سیستم‌ها، مانند دَجاجه (ماکیان، قو، صلیب شمال) ایکس ـ یک، منابع نیرومند پرتوهای ایکس هستند. بهترین توضیح برای این پدیده آن است که پرتوهای ایکس بر اثر موادی که از سطح ستارهٔ مرئی به خارج وزیده می‌شود به‌وجود می‌آید. هنگامی که این پرتوها به‌سوی ستارهٔ همدم روان می‌شوند. حرکتی مارپیچی به خود می‌گیرند ـ مانند آبی که هنگام تخلیهٔ وان به دور خود می‌چرخد ـ و ستارهٔ همدم، پرتوهای ایکس بسیار داغ گسیل‌شده را دریافت می‌کند. برای آنکه این سازوکار صورت گیرد جسم نامرئی باید بسیار کوچک مانند کوتولهٔ سفید، ستارهٔ نوترونی، یا سیاه‌چاله باشد.

اکنون، با رصد ستارهٔ مرئی، می‌توان جرم کمینهٔ جسم نامرئی را تعیین کرد. در مورد دجاجه ایکس ـ یک، جرم آن جسم نامرئی تقریباً شش برابر خورشید است. بر اساس محاسبات چاندراشیکهر این مقدار جرم برای آن جسم نامرئی بسیار بیشتر از آن است که یک کوتولهٔ سفید باشد، همچنین بسیار بیشتر از جرم یک ستارهٔ نوترونی است؛ بنابراین به نظر می‌رسد جسم نامرئی یک

www.ketabha.org

سیاه‌چاله باشد.

مدرکی وجود دارد که نشان می‌دهد در تعدادی از منظومه‌های دیگر در کهکشان ما سیاه‌چاله‌های دیگر و تَپ اخترها نیز وجود دارند. محتمل است که سیاه‌چاله‌هایی بسیار کم‌جرم‌تر از خورشید وجود داشته باشند. چنین سیاه‌چاله‌هایی بر اثر رُمبش گرانشی به‌وجود نمی‌آیند، زیرا جرم آن‌ها کمتر از حد چاندراشیکهر است. ستاره‌هایی با این جرم کم، می‌توانند خود را در مقابل نیروی گرانشی حفظ کنند، حتی هنگامی که سوخت هسته‌ای خود را به پایان رسانده باشند؛ بنابراین، سیاه‌چاله‌های کم‌جرم هنگامی تشکیل می‌شوند که مواد آن‌ها بر اثر فشار خارجی بسیار زیاد تحت فشار قرار گیرند و متراکم شوند. چنین شرایطی می‌تواند در یک بمب هیدروژنی بسیار بزرگ روی دهد. جان ویلر، فیزیکدان، زمانی محاسبه کرده بود که اگر آب سنگین تمام اقیانوس‌های کرهٔ زمین جمع‌آوری شوند، می‌توان با آن بمبی هیدروژنی ساخت که ماده در مرکز آن، چنان فشرده شود که سیاه‌چاله‌ای به‌وجود آید. ولی متأسفانه کسی وجود نخواهد داشت که این پدیده را مشاهده کند.

امکان عملی‌تر آن است که چنین سیاه‌چاله‌های کم جرم احتمالاً در دماها و فشارهای بالا در آغاز جهان ساخته شده‌اند. سیاه‌چاله‌ها می‌توانستند هنگامی تشکیل شوند که جهان اولیه به طور کامل یکدست و یکنواخت نبوده باشد، زیرا در آن صورت بود که منطقهٔ کوچکی که چگال‌تر از حدّ متوسط بود، می‌توانست فشرده شود و سیاه‌چاله‌ای به‌وجود آورد. ما می‌دانیم که در جهان اولیه بی‌نظمی‌هایی وجود داشته است؛ زیرا اگر چنین نبود، ماده در جهان، همچنان تا عصر حاضر به‌جای اینکه گرد هم آید و ستارگان و کهکشان‌ها تشکیل شوند، همان‌طور در تمام جهات به‌صورت کاملاً یکنواخت باقی می‌ماند.

www.ketabha.org

برای تشکیل ستارگان و کهکشان‌ها خواه‌وناخواه وجود بی‌نظمی‌هایی ضروری است و این بی‌نظمی‌ها در جهان اولیه سرانجام به تعدادی سیاه‌چاله‌های آغازین انجامید. تشکیل این سیاه‌چاله‌های آغازین با جزئیات شرایط موجود در جهان اولیه در ارتباط بوده است؛ بنابراین اگر ما می‌توانستیم تعیین کنیم چه تعداد سیاه‌چالهٔ آغازین در حال حاضر وجود دارد در آن صورت می‌توانستیم اطلاعات بسیاری از مراحل نخستین جهان هستی در اختیار داشته باشیم. سیاه‌چاله‌های آغازین با جرمی بیشتر از هزار میلیون تُن ـ جرم یک کوه بزرگ ـ فقط می‌توانند از طریق اثر جاذبهٔ گرانشی خود بر مواد مرئی رصد شوند، ولی همان‌گونه که در گفتار بعدی خواهیم دید، سیاه‌چاله‌ها نیز بر روی هم کاملاً سیاه نیستند، همانند یک جسم داغ حالتی برافروخته دارند و هرقدر کوچک‌تر باشند، حالت برافروختگی آن‌ها بیشتر است. بدین ترتیب، مشاهدهٔ سیاه‌چاله‌های کوچک‌تر عملاً آسان‌تر از مشاهدهٔ سیاه‌چاله‌های بزرگ‌تر خواهد بود.

www.ketabha.org

سخنرانی چهارم:سیاه‌چاله‌ها چندان سیاه نیستند

پیش از سال ۱۹۷۰، پژوهش‌های من در مورد نظریهٔ نسبیت عام عمدتاً بر این پرسش متمرکز شده بود که تکینگی مهبانگ وجود داشته است. شبی از ماه نوامبر همان سال، اندکی پس از تولد دخترم، لوسی، هنگامی که به رختخواب رفتم، شروع به فکر کردن در مورد سیاه‌چاله‌ها کردم. معلولیت من موجب می‌شود من دیر به خواب بروم؛ در نتیجه فرصت زیادی برای فکر کردن داشتم. در آن زمان تعریف دقیقی وجود نداشت که چه نقاطی در فضا – زمان درون سیاه‌چاله و چه نقاطی بیرون سیاه‌چاله قرار می‌گیرند.

من قبلاً با راجر پنروز در مورد این ایده بحث کرده بودم که یک سیاه‌چاله شامل مجموعه‌ای از رویدادهاست که گریز آن‌ها به دوردست‌ها امکان‌پذیر نیست. اکنون این مشخصه، پذیرش عام یافته

www.ketabha.org

است و بدین معناست که مرز یک سیاه‌چاله، یعنی افق رویداد، به‌وسیلهٔ پرتوهای نوری که نمی‌توانند از سیاه‌چاله بگریزند، به‌وجود می‌آید. این پرتوها در کرانهٔ سیاه‌چاله برای همیشه در جا ایستاده‌اند؛ مانند آن است که فردی یک قدم جلوتر از پلیس، در حال فرار باشد و نتواند فاصلهٔ خود را از پلیس بیشتر کند.

ناگهان به ذهنم رسید که این پرتوهای نوری نمی‌توانند به هم نزدیک شوند. زیرا در صورت نزدیک شدن سرانجام در هم تداخل پیدا می‌کنند. ولی اگر این پرتوها به‌وسیلهٔ سیاه‌چاله بلعیده شوند، در آن صورت دیگر نمی‌توانند در مرز سیاه‌چاله قرار گرفته باشند. بدین ترتیب، پرتوهای نوری واقع در افق رویداد یا باید به موازات هم حرکت کنند، یا از یکدیگر دور شوند.

طریق دیگر مشاهدهٔ این پرتوها، تشبیه افق رویداد یا مرز سیاه‌چاله با کرانهٔ یک سایه است. لبهٔ سایه، هم لبهٔ نوری است که تا دوردست‌ها امتداد می‌یابد و هم لبهٔ سایه‌ای است که نور در آن رو به نابودی می‌رود و اگر به سایه‌ای که به‌وسیلهٔ منبعی بسیار دوردست – مانند خورشید – ایجاد شده است، بنگرید، خواهید دید که پرتوهای نور در لبهٔ سایه به هم نزدیک نمی‌شوند. اگر پرتوهای نوری که افق رویداد یا مرز سیاه‌چاله را تشکیل می‌دهند، نتوانند به هم نزدیک شوند، در آن صورت مساحت افق رویداد می‌تواند با گذشت زمان هم‌چنان ثابت باشد یا افزایش یابد. از این مساحت هرگز کاسته نمی‌شود؛ زیرا در غیر این صورت، حداقل برخی از پرتوهای نور، در مرز سیاه‌چاله به هم نزدیک شده‌اند. در واقع هر زمانی که ماده یا تابشی به درون سیاه‌چاله سقوط کند، مساحت آن افزایش می‌یابد.

تصور کنید دو سیاه‌چاله با هم برخورد کنند و در هم ادغام شوند و سیاه‌چاله واحدی را به‌وجود آورند. مساحت افق رویداد سیاه‌چاله نهایی از مجموع مساحت‌های افق‌های رویداد دو سیاه‌چالهٔ اول بیشتر خواهد بود. این ویژگیِ کاهش نیافتن مساحت افق رویداد، محدودیت مهمی در خصوص رفتار احتمالی سیاه‌چاله‌ها به‌وجود می‌آورد. من از کشف خودم به حدی هیجان‌زده شدم که در آن

www.ketabha.org

شب نتوانستم بخوابم!

صبح روز بعد به راجر پنروز زنگ زدم. او با کشف من موافق بود. من فکر می‌کنم او در واقع از این ویژگی مساحت افق رویداد آگاه بود، ولی تعریفی کمی متفاوت از افق رویداد سیاه‌چاله داشت. او قبول نداشت که مرزهای سیاه‌چالهٔ ادغام‌شده حالتی ثابت و مانا داشته باشد.

www.ketabha.org

قانون دوم ترمودینامیک (رابطه گرما با صورت‌های دیگر انرژی)

عمل عدم کاهش مساحت یک سیاه‌چاله یادآور عملی کیفی به نام «آنتروپی» است که میزان بی‌نظمی یک دستگاه را مشخص می‌کند. تجربه‌ای متعارف است که اگر اجسام به حال خود رها شوند، بی‌نظمی در آن‌ها رو به افزایش می‌گذارد. می‌توان منزلی را بدون تعمیر به حال خود رها کرد و این پدیده را مشاهده نمود. نظم از درون بی‌نظمی به‌وجود می‌آید. می‌توان با تعمیر و نقاشی منزل آن‌را از بی‌نظمی بیرون آورد؛ ولی این کار نیازمند صرف انرژی است و بدین ترتیب از مقدار انرژی منظم و به سامان کاسته می‌شود.

پدیدهٔ آنتروپی در «قانون دوم ترمودینامیک» به‌طور دقیق تعریف شده است. این قانون می‌گوید: «آنتروپی یک دستگاه بسته با گذشت زمان هرگز کاهش نمی‌یابد». به‌علاوه، هنگامی که دو دستگاه با هم ادغام می‌شوند، آنتروپی دستگاه ادغام‌شده بزرگ‌تر از مجموع آنتروپی دو دستگاه پیشین است. برای مثال، دستگاه متشکل از مولکول‌های گاز را در یک جعبه در نظر بگیرید. مولکول‌های گاز را توپ‌های کوچک بیلیارد تصور کنید که به‌طور مداوم با هم و با دیوار جعبه برخورد می‌کنند و پس می‌جهند. فرض کنید در آغاز تمامی مولکول‌ها به‌وسیلهٔ دیواره‌ای در نیمهٔ

www.ketabha.org

چپ جعبه محصور شده‌اند. اگر دیواره برداشته شود، مولکول‌ها پخش می‌شوند و هر دو نیمهٔ جعبه را اشغال می‌کنند. پس از مدتی، آن‌ها می‌توانند بر حسب تصادف همگی در نیمهٔ راست یا نیمهٔ چپ جعبه جمع شوند. ولی به‌طور قاطع این احتمال وجود دارد که تعداد مولکول‌ها در دو نیمهٔ جعبه تقریباً برابر هم باشد. چنین حالتی نسبت به حالت اولیه که تمامی مولکول‌ها در یک طرف جعبه بودند، کمتر منظم یا بیشتر نامنظم است. در این حالت می‌گویند آنتروپی گاز افزایش یافته است.

به همین طریق، فرض کنید که دو جعبه وجود دارد که یکی حاوی مولکول‌های اکسیژن و دیگری حاوی مولکول‌های نیتروژن است. اگر فردی دو جعبه را به هم متصل کند و دیوارهٔ بین آن‌ها را بردارد، مولکول‌های اکسیژن و نیتروژن با هم مخلوط می‌شوند. پس از مدتی، ممکن‌ترین حالت آن است که مخلوط کاملاً یکنواختی از مولکول‌های اکسیژن و نیتروژن در هر دو جعبه داشته باشیم. در این وضعیت، حالت کم‌نظم‌تری وجود دارد و در نتیجه آنتروپی آن بیشتر از حالتی است که دو جعبه از هم جدا بودند.

قانون دوم ترمودینامیک نسبت به سایر قوانین علمی دارای موقعیت متفاوتی است. برای مثال، سایر قوانین علمی، مانند قانون جاذبهٔ نیوتن، قانون‌هایی مطلق هستند؛ یعنی در همهٔ موارد صادق‌اند. از سویی دیگر، قانون دوم ترمودینامیک، قانونی آماری است. یعنی در همهٔ موارد صادق نیست؛ بلکه در اکثر قریب به اتفاق موارد صدق می‌کند. این احتمال که تمامی مولکول‌های گاز در جعبه با گذشت زمان در نیمی از جعبه متمرکز شوند، به نسبت میلیون‌ها بر یک است. اما این نسبت بسیار ناچیز می‌تواند اتفاق بیفتد.

ولی اگر فردی سیاه‌چاله‌ای در پیرامون داشته باشد، به نظر می‌رسد که با کمک آن می‌تواند به‌سادگی قانون دوم ترمودینامیک را نقض کند: کافی است مقداری ماده با آنتروپی زیاد، مانند جعبهٔ انباشته از گاز را به درون سیاه‌چاله رها کند. از آنجا که راهی وجود ندارد که بتوان درون سیاه‌چاله را مشاهده کرد، نمی‌توان گفت مقدار آنتروپی ماده در داخل سیاه‌چاله به چه میزان است. البته

www.ketabha.org

بسیار خوب بود اگر ناظران در خارج سیاه‌چاله می‌توانستند مقدار آنتروپی درون سیاه‌چاله را مشخص کنند. ولی به‌هرحال هر مادهٔ دارای آنتروپی درصورتی‌که به درون سیاه‌چاله سقوط کند، آنتروپی سیاه‌چاله را افزایش می‌دهد.

به دنبال کشف من مبنی بر اینکه محدودهٔ افق رویداد هنگامی که ماده‌ای به درون سیاه‌چاله سقوط می‌کند، افزایش می‌یابد، دانشجویی پژوهشی در دانشگاه پرینستون به نام «یاکوب بکن اشتاین» پیشنهاد کرد که محدودهٔ افق رویداد، معیار اندازه‌گیری آنتروپی یک سیاه‌چاله است. از آنجایی که مادهٔ دارای آنتروپی هنگام سقوط در سیاه‌چاله محدودهٔ افق رویداد را افزایش می‌دهد، بنابراین مقدار آنتروپی مادهٔ خارج از سیاه‌چاله و محدودهٔ افق رویداد هرگز کاهش نمی‌یابند.

به نظر می‌رسد این پیشنهاد در اکثر مواقع مانع نقض قانون دوم ترمودینامیک می‌شود. ولی در اینجا نقصی گریزناپذیر وجود دارد: اگر سیاه‌چاله دارای آنتروپی است، پس باید دارای دما باشد. جسمی که دمای آن صفر نیست، باید مقداری تابش از خود گسیل کند. می‌توان آزمایشی معمولی انجام داد: سیخ بخاری را در آتش سرخ کنید. تابشی قرمز از خود گسیل می‌کند. ولی اجسام با دمایی پایین‌تر نیز از خود تابش گسیل می‌کنند و این تابش قابل تشخیص نیست؛ زیرا مقدار آن ناچیز است. تابش مزبور در واقع مانع نقض قانون دوم ترمودینامیک می‌شود. بنابراین، سیاه‌چاله‌ها نیز باید از خود تابش گسیل کنند. ولی بنا به تعریف، سیاه‌چاله‌ها جرم‌هایی هستند که تابش از خود گسیل نمی‌کنند. بنابراین به نظر نمی‌رسد که محدودهٔ افق رویداد یک سیاه‌چاله نتواند به‌عنوان آنتروپی آن قلمداد شود.

در سال ۱۹۷۲، من همراه با براندون کارتر و همکاری آمریکایی به نام جیم باردین در این مورد مقاله‌ای نوشتیم. «ما خاطرنشان کردیم که گرچه تشابهات بسیاری بین آنتروپی و محدودهٔ افق

www.ketabha.org

رویداد وجود دارد، ولی ظاهراً مشکل پیچیده‌تر از این‌هاست.» من باید اعتراف کنم که در نوشتن این مقاله تا حدودی به علت رنجش از «بکن‌اشتاین» برانگیخته شده بودم. زیرا حس می‌کردم که از کشف من در مورد افزایش محدودهٔ افق رویداد به‌درستی استفاده نکرده است. ولی در پایان مشخص شد که اساساً او درست می‌گفت؛ البته به صورتی که خودش تصور آن‌را نمی‌کرد.

تابش سیاه‌چاله‌ای

در سپتامبر ۱۹۷۳، هنگامی که از مسکو دیدن می‌کردم، در مورد سیاه‌چاله‌ها با دو تن از متخصصان برجسته، «یاکف زیلدویچ» و «الکساندر استاروبینسکی» بحث کردم. آن‌ها مرا متقاعد کردند که بر اساس اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتومی سیاه‌چاله‌هایی که می‌چرخند، ذراتی تولید و گسیل می‌کنند. از جهت فیزیکی بحث آن‌ها را پذیرفتم. ولی روش محاسبات ریاضی آن‌ها در مورد گسیل ذرات برایم دلچسب نبود. از این‌رو بر آن شدم که روش محاسبات ریاضی بهتری را طراحی کنم. در پایان نوامبر ۱۹۷۳، در سمیناری غیررسمی در آکسفورد، روش مزبور را مطرح کردم. در آن زمان، من توجه‌ام به خود گسیل بود و به فکر آن نبودم که مقدار گسیل را عملاً محاسبه کنم. من در انتظار کشف تابشی بودم که زیلدویچ و استاروبینسکی در مورد سیاه‌چاله‌های چرخان پیش‌بینی کرده بودند. ولی هنگامی که محاسبهٔ تابش را انجام دادم، با کمال تعجب و ناراحتی دریافتم که حتی سیاه‌چاله‌هایی که چرخش نمی‌کردند، ظاهراً به صورتی یکنواخت ذراتی تولید و گسیل می‌کردند!

ابتدا تصور کردم این گسیل محصول یکی از تقریب‌های نادرستی بوده است که به‌کار برده‌ام. من بیم آن داشتم که اگر بکن اشتاین متوجه این موضوع شود، از آن به‌عنوان دلیلی بیشتر بر تحکیم ایده‌هایش در مورد آنتروپی سیاه‌چاله‌ها که مورد علاقهٔ من نبود، استفاده کند. ولی هر چه بیشتر دربارهٔ محاسبات فکر می‌کردم، صحت تقریب‌های به‌کار رفته بیشتر آشکار می‌شد. سرانجام آنچه

www.ketabha.org

مرا متقاعد کرد که گسیل حقیقتاً صورت می‌گیرد، طیف ذرات گسیل‌شده بود که دقیقاً مانند طیف گسیل‌شده از یک جسم داغ بود.

سیاه‌چاله درست به میزانی ذرات گسیل می‌کرد که مانع نقض قانون دوم ترمودینامیک شود.

از آن زمان تاکنون محاسبات مزبور به‌وسیلهٔ پژوهشگران دیگر به صورت‌های متفاوت انجام شده است. تمامی محاسبات نشان می‌دهند که یک سیاه‌چاله ذرات و تابش‌هایی گسیل می‌کند، گویی که جسمی داغ آن‌ها را گسیل می‌کند و دمای این گسیل نیز بستگی به جرم سیاه‌چاله دارد: هرچه سیاه‌چاله جرمش بیشتر باشد، دمای آن پایین‌تر است. برای درک این گسیل می‌توان چنین توضیح داد: «آنچه را که ما فضای خالی تصور می‌کنیم، نمی‌تواند کاملاً خالی باشد؛ زیرا در آن صورت تمامی میدان‌ها، مانند میدان گرانشی و میدان الکترومغناطیسی باید دقیقاً صفر باشند.» درحالی‌که مقدار یک میدان و میزان تغییر آن با گذشت زمان، همانند مکان و سرعت یک ذره است. اصل عدم قطعیت دلالت بر آن دارد که هر چه مقدار یکی از این کمیت‌ها به دقت دانسته شود، از دانستن مقدار کمیت دیگر کاسته می‌شود.

بدین ترتیب، «میدان» نمی‌تواند در یک فضای خالی دقیقاً در صفر باقی بماند. زیرا در آن صورت هم دارای «مقدار» دقیق، یعنی عدد صفر و هم دارای «میزان تغییر» دقیق یعنی باز هم عدد صفر است. در عوض، باید در مقدار یک میدان میزان حداقلی از عدم قطعیت یا افت و خیز کوانتومی وجود داشته باشد. در مورد این افت و خیزها می‌توان جفتی از ذرات نور یا ذرات گرانشی تصور کرد که گاهی به‌صورت جفت ظاهر می‌شوند، سپس از هم جدا شده و دوباره در کنار هم قرار می‌گیرند و همدیگر را نابود می‌کنند. این ذرات را «ذرات مجازی» یا ذرات کوانتومی می‌نامند. برخلاف ذرات حقیقی، آن‌ها به‌صورت مستقیم با کمک آشکارساز ذره، قابل مشاهده نیستند. ولی آثار غیرمستقیم آن‌ها، مانند تغییرات اندک در انرژی مدارهای الکترون و اتم‌ها، قابل اندازه‌گیری

www.ketabha.org

و با دقتی بسیار، همخوان با پیش‌بینی‌های نظری هستند.

بر اساس قانون بقای انرژی، در یک جفت ذرهٔ مجازی، یکی از ذرات همراه دارای انرژی مثبت و ذرهٔ دیگر دارای انرژی منفی است. ذره‌ای که دارای انرژی منفی است، محکوم به داشتن عمری کوتاه است. علت آن است که ذرات حقیقی در شرایط متعارف همواره دارای انرژی مثبت هستند. بنابراین ذرهٔ منفی در جستجوی ذرهٔ همراه خود است تا آن‌را نابود کند. ولی میدان گرانشی در داخل سیاه‌چاله به حدی نیرومند است که حتی ذرهٔ حقیقی می‌تواند در آنجا دارای آنتروپی منفی باشد.

اگر سیاه‌چاله‌ای وجود داشته باشد، در آن صورت این امکان وجود دارد که ذره‌ای مجازی با انرژی منفی به آن سیاه‌چاله سقوط کند و به ذرهٔ حقیقی تبدیل شود. در این حالت، آن ذره ناگزیر به نابودی ذرهٔ همراه خود نیست، همراه راه شده نیز ممکن است به درون سیاه‌چاله سقوط کند. ولی از آنجایی که دارای انرژی مثبت است، احتمالاً همانند یک ذرهٔ حقیقی به نامتناهی خواهد گریخت. برای ناظری که از دوردست صحنه را مشاهده می‌کند، چنین به نظر می‌رسد که ذرهٔ مزبور از سیاه‌چاله به بیرون گسیل می‌شود. هرچه سیاه‌چاله کوچک‌تر باشد، ذرهٔ با انرژی منفی، قبل از تبدیل‌شدن به ذرهٔ حقیقی، مسافت کمتری را طی می‌کند. در نتیجهٔ میزان گسیل بیشتر، دمای ظاهری سیاه‌چاله بالاتر خواهد بود. انرژی مثبت تابشِ در حال خروج به‌وسیلهٔ جریان ذرات دارای انرژی منفیِ در حال ورود به سیاه‌چاله، متعادل می‌شود. بر اساس معادلهٔ معروف انیشتین ($E=Mc^2$) انرژی هم‌ارز و معادل جرم است. بنابراین جریان انرژی منفی به درون سیاه‌چاله موجب کاهش جرم سیاه‌چاله می‌شود. هنگامی که از جرم سیاه‌چاله کاسته شود، افق رویداد آن نیز کوچک‌تر می‌شود. ولی این کاهش آنتروپی سیاه‌چاله، بیش از عمل جبرانی آنتروپی تابش گسیل شده است. بدین ترتیب قانون دوم ترمودینامیک نقض نمی‌شود.

www.ketabha.org

انفجارهای سیاه‌چاله

با کاهش جرم سیاه‌چاله، دمای آن بیشتر می‌شود. بنابراین هنگامی که از جرم سیاه‌چاله کاسته می‌شود، دما و میزان گسیل آن افزایش می‌یابد. بدین ترتیب جرم بیشتری را از دست می‌دهد. این موضوع که سرانجام با کاهش بسیار زیاد جرم سیاه‌چاله چه بر سر آن می‌آید، هنوز کاملاً مشخص نیست. قابل قبول‌ترین حدسی که می‌توان زد، آن است که با انفجار نهایی و عظیمی، معادل انفجار میلیون‌ها بمب هیدروژنی، سیاه‌چاله ناپدید می‌شود.

سیاه‌چاله‌ای با جرمی چند برابر جرم خورشید دارای دمایی است که فقط یک ده میلیونیم درجهٔ سانتی‌گراد بالای صفر مطلق است. این دما بسیار پایین‌تر از دمای تابش ریزموج است که جهان هستی را دربرگرفته است. دمای تابش ریزموج ۷/۲ درجهٔ سانتی‌گراد بالای صفر مطلق است. بدین ترتیب جذب چنین سیاه‌چاله‌هایی بیشتر از دفع و گسیل آن‌هاست؛ گرچه این اختلاف بسیار اندک است. اگر مقرر شده است که جهان هستی برای همیشه منبسط شود، دمای تابش ریزموج سرانجام کمتر از دمای چنین سیاه‌چاله‌هایی خواهد شد. در آن زمان جذب این سیاه‌چاله‌ها کمتر از گسیل آن‌ها خواهد بود و کاهش جرم در آن‌ها آغاز می‌شود. ولی حتی در آن زمان هم دمای چنین سیاه‌چاله‌هایی به حدی پایین است که ۱۰۶۶ سال طول می‌کشد تا به‌طور کامل تبخیر و ناپدید شوند. این زمان بسیار بیشتر از عمر کنونی عالم است که فقط ۱۰۱۰ است.

www.ketabha.org

از سوی دیگر، همان‌گونه که در گفتار آخر خواهم گفت، احتمالاً سیاه‌چاله‌های آغازینی با جرمی بسیار اندک وجود داشته‌اند که بر اثر رمبیدن‌های بی‌نظمی، در مراحل نخستین جهان هستی به‌وجود آمده‌اند. این سیاه‌چاله‌ها دارای دمای بسیار بالاتری هستند و به میزانی بسیار زیاد از خود تابش گسیل می‌کنند. یک سیاه‌چالهٔ آغازین با جرم اولیهٔ هزار میلیون تن دارای عمری تقریباً معادل عمر جهان است. سیاه‌چاله‌های آغازینی که جرم اولیه‌ای کمتر از این مقدار داشته‌اند، اکنون به‌طور کامل تبخیر شده‌اند. ولی جرم آن‌هایی که اندکی بیش از این مقدار بوده است، هنوز در حال گسیل تابش به‌صورت پرتوهای ایکس و پرتوهای گاما هستند. این پرتوها مانند پرتوهای نوری، ولی با طول موج بسیار کوتاه‌تر هستند. به چاله‌های مزبور به‌زحمت می‌توان عنوان سیاه داد. آن‌ها درخششی سفید دارند و میزان انرژی گسیل‌شدهٔ آن‌ها تقریباً ده‌هزار مگاوات است.

چنین سیاه‌چاله‌هایی می‌توانند ده نیروگاه بزرگ را به حرکت درآورند؛ البته اگر بتوانیم بازده و خروجی آن‌ها را مهار کنیم. انجام این کار به‌راحتی صورت نمی‌گیرد. سیاه‌چالهٔ مزبور می‌تواند جرمی معادل یک کوه داشته باشد که به اندازهٔ هستهٔ یک اتم فشرده شده است. اگر چنین سیاه‌چاله‌ای در سطح زمین قرار گیرد، هیچ راهی برای سقوط آن از سطح زمین به مرکز آن وجود ندارد. سیاه‌چاله بین سطح و مرکز زمین به نوسان درمی‌آید تا سرانجام در مرکز زمین آرام می‌گیرد. بنابراین در تنها مکانی که می‌توان آن‌را قرار داد تا از انرژی گسیل‌شدهٔ آن بهره‌برداری کرد، مدار زمین است و تنها راهی که بتوان آن‌را در مدار زمین به گردش درآورد، قرار دادن جرمی بزرگ در جلوی آن و کشیدن شدن آن به جلو به‌وسیلهٔ آن جرم است؛ مانند آنکه هویجی جلوی الاغ گرفته شود! البته این پیشنهاد، حداقل در آینده‌ای نزدیک چندان جنبه عملی ندارد.

www.ketabha.org

در جستجوی نخستین سیاه‌چاله‌ها

به‌رغم اینکه نمی‌توانیم گسیل این سیاه‌چاله‌های نخستین را مهار کنیم، شانس ما در دیدن آن‌ها چقدر است؟ ما می‌توانیم در جست‌وجوی پرتوهای گامایی باشیم که سیاه‌چاله‌های آغازین در بیشتر طول عمر خود گسیل می‌کنند. گرچه تابش بیشتر آن‌ها بسیار ضعیف است. زیرا با ما بسیار فاصله دارند؛ ولی مجموع تابش‌های آن‌ها ممکن است قابل ردگیری باشد. در واقع، چنین زمینه‌ای از پرتوهای گاما را مشاهده کرده‌ایم. ولی این زمینه ممکن است با فرایندهایی غیر از سیاه‌چاله‌های آغازین ایجاد شده باشد. ممکن است گفته شود که مشاهدات زمینهٔ پرتوهای گاما مدرک مثبتی دالّ بر وجود سیاه‌چاله‌های آغازین نیست. ولی این پرتوها به ما می‌گویند که در جهان، در هر یک مکعب سال نوری، بیش از سیصد سیاه‌چالهٔ کوچک نمی‌تواند وجود داشته باشد. این محدودیت به معنای آن است که سیاه‌چاله‌های آغازین می‌توانند حداکثر یک‌میلیونیم چگالی جرم متوسط جهان هستی را تشکیل دهند.

با توجه به نادر بودن سیاه‌چاله‌های آغازین، این احتمال وجود ندارد که یکی از آن‌ها به‌قدر کافی به ما نزدیک باشد که بتوانیم خود آن‌را مشاهده کنیم. اما از آنجا که گرانش موجب می‌شود سیاه‌چاله‌های آغازین به‌سوی هر ماده‌ای کشیده شوند، وجود آن‌ها در کهکشان‌ها باید امری بسیار عادی باشد. اگر این عادی بودن را یک میلیون بار افزایش دهیم، نزدیک‌ترین سیاه‌چاله به ما احتمالاً حدود شش‌هزار میلیون کیلومتر – به اندازهٔ فاصلهٔ پلوتون تا خورشید – با ما فاصله دارد. در این فاصله شناسایی سیاه‌چاله‌ای، حتی اگر به‌طور مستمر ده‌هزار مگاوات انرژی گسیل کند، هنوز بسیار مشکل است.

برای مشاهدهٔ یک سیاه‌چالهٔ آغازین، باید چند کوانتوم از پرتو گامای گسیل‌شده در یک مسیر مشخص را در مدت زمان مناسبی، مثلاً یک هفته شناسایی کرد. در غیر این صورت، این پرتوها به

www.ketabha.org

سهولت به‌صورت بخشی از پرتوهای زمینه درخواهند آمد. ولی «اصل کوانتوم پلانک» به ما می‌گوید که هر پرتو گاما دارای انرژی بسیار زیادی است. زیرا پرتوهای گاما دارای بسامد (فرکانس) بسیار بالایی هستند. از این‌رو تابش حتی ده هزار مگاوات شامل کوانتوم‌های زیادی نمی‌شود و مشاهدهٔ این تعداد کم کوانتوم‌ها، آن هم از فاصلهٔ دوردست پلوتون، نیاز به آشکارساز پرتو گامای بزرگ‌تری از آشکارسازهایی دارد که تاکنون ساخته شده‌اند. به‌علاوه، آشکارساز باید در فضا قرار گیرد؛ زیرا پرتوهای گاما نمی‌توانند از جوّ زمین نفوذ کنند و به سطح زمین برسند.

البته اگر سیاه‌چاله‌ای به اندازهٔ پلوتون به ما نزدیک باشد و به آخر دورهٔ حیات خود رسیده و در حال انفجار باشد، به‌سهولت می‌توان انفجار نهایی پرتوهای گسیل‌شده را شناسایی کرد. ولی اگر سیاه‌چاله‌ای به مدت ده میلیارد سال یا بیشتر در حال گسیل پرتو بوده است، احتمال آنکه پایان عمر آن در چند سال آینده باشد، بسیار اندک است. این پایان عمر می‌تواند در چند میلیون سال پیش یا چند میلیون سال بعد صورت گیرد؛ بنابراین، برای آنکه شانس دیدن این انفجار قبل از پایان یافتن زمان پژوهش شما وجود داشته باشد، باید راهی را بیابید که بتوانید هرگونه انفجاری را در فاصله تقریباً یک سال نوری شناسایی کنید. شما هنوز با این مشکل مواجه هستید که نیاز به یک آشکارساز پرتو گامای بزرگ دارید تا بتوانید چند کوانتوم از پرتو گامای ناشی از انفجار را مشاهده کنید. ولی در این حالت، لازم نیست مشخص شود که تمامی کوانتوم‌ها از یک مسیر می‌آیند. کافی است مشاهده شود که همگی آن‌ها در فواصلی بسیار کوتاه از هم به زمین می‌رسند، در آن صورت می‌توان مطمئن بود که تمامی آن‌ها از انفجار واحدی به‌وجود آمده‌اند.

یک آشکارساز پرتو گاما که توان شناسایی سیاه‌چاله‌های آغازین را دارد، تمامی جوّ زمین است (در هر صورت نامحتمل است بتوانیم آشکارساز بزرگ‌تری بسازیم). هنگامی که یک کوانتوم پرانرژی پرتو گاما، با اتم‌های جوّ ما برخورد می‌کند، یک جفت الکترون و یک جفت پوزیترون (ضدالکترون) به‌وجود می‌آورد. زمانی که این جفت‌ها نیز با اتم‌های دیگر برخورد می‌کنند، به نوبهٔ خود یک جفت الکترون و یک جفت پوزیترون دیگر تولید می‌کنند و این عمل همچنان ادامه می‌یابد. در نتیجه پدیده‌ای به‌وجود می‌آید که به آن «رگبار الکترون» می‌گویند. نتیجهٔ آن ایجاد

www.ketabha.org

شکلی از نور به نام «تابش چرنکوف» است. می‌توان با دیدن جرقه‌های این نور در آسمان شب، انفجار پرتوهای گاما را شناسایی کرد.

البته پدیده‌های دیگری مانند آذرخش وجود دارند که می‌توانند جرقه در آسمان ایجاد کنند. ولی می‌توان انفجار پرتوهای گاما را از بقیه بدین طریق تشخیص داد که همزمان، دو یا بیشتر از دو جرقه، در دو مکان کاملاً دور از هم مشاهده می‌شود. جستجویی برای یافتن این پدیده به‌وسیلهٔ دو دانشمند اهل دوبلین، «نیل پاتر» و «تریور ویکس»، با استفاده از تلسکوپ‌هایی در آریزونا صورت گرفته است. آن‌ها تعدادی جرقه در آسمان یافتند؛ ولی نمی‌توان هیچ‌یک از آن‌ها را به‌طور قطع به انفجارهای پرتوهای گامای ناشی از سیاه‌چاله‌های آغازین نسبت داد.

نظریهٔ نسبیت عام و مکانیک کوانتومی

تابش سیاه‌چاله‌ها، نخستین مثال از پیش‌بینی‌ای بود که با دو نظریهٔ بزرگ قرن بیستم یعنی نسبیت عام و مکانیک کوانتومی در ارتباط بود. این دو نظریه در آغاز مخالفت‌های بسیاری را برانگیخت؛ زیرا دیدگاه موجود را دگرگون می‌کرد: «چگونه یک سیاه‌چاله می‌تواند چیزی از خود گسیل کند؟» هنگامی که برای نخستین بار نتایج محاسباتم را در کنفرانسی در آزمایشگاه رادرفورد در نزدیکی آکسفورد اعلام کردم، با یک ناباوری عمومی روبرو شدم. در پایان سخنرانی‌ام، رئیس جلسه، «جان جی تیلر» از کالج کینگز لندن گفت: همهٔ این حرف‌ها مهمل است! او حتی در این مورد مقاله‌ای نوشت.

www.ketabha.org

ولی در نهایت اکثر پژوهشگران، از جمله جان تیلر به این نتیجه رسیدند که اگر سایر ایده‌های ما دربارهٔ نسبیت عام و مکانیک کوانتومی درست است، در آن صورت سیاه‌چاله‌ها باید مانند اجسام داغ از خود پرتو گسیل کنند. بدین ترتیب، گرچه ما تاکنون سیاه‌چالهٔ آغازینی را نیافته‌ایم، ولی در این مورد تقریباً توافقی عمومی وجود دارد که سیاه‌چالهٔ آغازین مقدار زیادی پرتوهای گاما و ایکس را از خود گسیل می‌کند. اگر ما یکی از آن‌ها را بیابیم، من جایزهٔ نوبل را به‌دست خواهم آورد.

به نظر می‌رسد وجود تابش در سیاه‌چاله‌ها اشاره به این دارد که رمبش گرانشی، آن‌گونه که ما زمانی فکر می‌کردیم، رویدادی نهایی و برگشت‌ناپذیر نیست. اگر فضانوردی به درون سیاه‌چاله‌ای سقوط کند، جرم سیاه‌چاله افزایش می‌یابد. سرانجام انرژی معادل آن جرم اضافی به گونهٔ تابش به جهان باز خواهد گشت. بدین ترتیب، به تعبیری، بازیافت می‌شود. این حالت، شکل ناچیزی از نامیرایی است. زیرا برای فضانورد، هنگامی که به درون سیاه‌چاله سقوط می‌کند، برداشت شخصی از زمان، دیگر به پایان می‌رسد. حتی نوع ذراتی که سرانجام به‌وسیلهٔ سیاه‌چاله گسیل می‌شود، با ذرات تشکیل‌دهندهٔ فضانورد متفاوت است. تنها ویژگی فضانورد که باقی می‌ماند، جرم یا انرژی اوست.

تقریب‌هایی که من به کار برده‌ام تا گسیل مربوط به سیاه‌چاله‌ها را استخراج کنم، هنگامی که سیاه‌چاله دارای جرمی بیش از کسری از یک گرم است، به‌خوبی عمل می‌کند. ولی در پایان عمر سیاه‌چاله، هنگامی که جرم آن بسیار کم می‌شود، آن‌ها از کار می‌افتند. به نظر می‌رسد که ناپدید شدن سیاه‌چاله، حداقل از منطقهٔ ما در جهان، محتمل‌ترین پیامد باشد. سیاه‌چاله، فضانورد و هر تکینگی موجود در داخل خود را با خود می‌برد. این نخستین نشانه‌ای است بر اینکه مکانیک کوانتومی ممکن است تکینگی‌های پیش‌بینی‌شده به‌وسیلهٔ نسبیت، عامل کلاسیک را از میان بردارد. با این وجود، روش‌هایی که من و سایر پژوهشگران در سال ۱۹۷۴ برای مطالعهٔ آثار کوانتومی گرانش به کار بردیم، نتوانستند به پرسش‌هایی مانند احتمال رویداد تکینگی در گرانش کوانتومی پاسخ دهند.

www.ketabha.org

از سال ۱۹۷۵ به این‌سو، من رویکرد قوی‌تری را در مورد گرانش کوانتومی آغاز کردم که پایه و اساس آن از ایده‌های فاینمن بود. پاسخ‌هایی که این رویکرد برای مبدأ و سرانجام جهان هستی پیشنهاد می‌کند، در دو گفتار بعدی توضیح داده شده‌اند. ما خواهیم دید مکانیک کوانتومی این امکان را فراهم می‌کند که جهان بدون یک تکینگی آغاز شده باشد. این بدان معناست که فروریختن قوانین فیزیک در آغاز جهان ضرورتی ندارد. آهنگ جهان هستی و محتواهای آن، مانند خود ما، به‌طور کامل بر اساس قوانین فیزیک، همراه با مرز اصل عدم قطعیت، تعیین و مشخص شده است تا ما به اراده آزاد (اختیار) دست یابیم.

www.ketabha.org

سخنرانی پنجم:منشأ و سرنوشت جهان

در تمام طول دهۀ ۱۹۷۰ عمدتاً روی سیاه‌چاله‌ها کار می‌کردم. ولی در سال ۱۹۸۱، علاقه‌ام در مورد پرسش‌هایی دربارۀ آغاز و فرجام جهان هستی دوباره زنده شد و آن زمانی بود که در کنفرانسی در خصوص کیهان‌شناسی در واتیکان شرکت کرده بودم. کلیسای کاتولیک هنگامی که در مورد گالیله و در خصوص یک مسئلۀ علمی خواست حکم صادر کند، اشتباه بزرگی را مرتکب شد. اکنون، قرن‌ها بعد، تصمیم گرفته بود که بهتر است برای راهنمایی کلیسا در مورد کیهان‌شناسی، از اطلاعات تعدادی متخصص استفاده کند.

در پایان کنفرانس، شرکت‌کنندگان این توفیق را یافتند که به حضور پاپ برسند. او اظهار داشت قابل قبول است که تحول و دگرگونی جهان هستی پس از مهبانگ مورد مطالعه قرار گیرد، ولی

www.ketabha.org

تفحص در خود مهبانگ شایسته نیست. مهبانگ لحظهٔ خلقت و فعالیت خداست.

خوشحال بودم که پاپ نمی‌دانست من دربارهٔ چه موضوعی در جلسهٔ کنفرانس سخنرانی کرده‌ام. مایل نبودم به سرنوشت گالیله دچار شوم! من نسبت به گالیله بسیار احساس همدردی می‌کنم. بخشی از آن به خاطر این است که درست سیصد سال پس از مرگ او به دنیا آمده‌ام.

مدل مهبانگ داغ

برای اینکه توضیح دهم سخنرانی من دربارهٔ چه موضوعی بوده است، باید ابتدا سرگذشت کیهان را که مقبولیت عمومی یافته و «مدل مهبانگ داغ» نامیده می‌شود، توضیح دهم. در این مدل، فرض بر آن است که جهان هستی بر اساس «مدل فریدمان» که درست به زمان مهبانگ یا انفجار بزرگ بازمی‌گردد، قابل توضیح است. در مدل فریدمان از آنجایی که جهان در حال انبساط است، دمای ماده و تابش در آن رو به کاهش می‌رود و چون دما سنجش ساده‌ای از انرژی متوسط ذرات است، این سرد شدن جهان اثر مهمی بر ماده باقی می‌گذارد. در دماهای بسیار بالا، ذرات با چنان سرعتی حرکت می‌کنند که می‌توانند از قید هرگونه جاذبه‌ی ناشی از نیروهای هسته‌ای و الکترومغناطیسی بگریزند. ولی با سرد شدن، این انتظار وجود دارد که ذرات یکدیگر را جذب کنند و به صورت توده درآیند.

اندازهٔ جهان در خود مهبانگ، صفر بود و در نتیجه می‌بایست دمایی بی‌نهایت می‌داشت. ولی با انبساط جهان، دما و تابش رو به کاهش نهاد. یک ثانیه پس از مهبانگ، دما تقریباً به ده هزار

www.ketabha.org

میلیون درجه پایین آمد. این دما تقریباً هزار برابر دمای مرکز خورشید است و بمب هیدروژنی هنگام انفجار به دمایی معادل مرکز خورشید می‌رسد. جهان هستی در این دما (پس از یک ثانیه) عمدتاً حاوی فوتون، الکترون و نوترینو و پادماده‌های آن‌ها، همراه با مقداری پروتون و نوترون نیز بود.

همچنان که جهان به انبساط خود ادامه می‌داد و دما نیز کاهش می‌یافت، در حالتی که در آن الکترون‌ها و جفت الکترون‌ها بر اثر برخورد به‌وجود آمده بودند، به زیر آن حالت سقوط کردند و رو به نابودی نهاده، منهدم شدند. بدین ترتیب بیشتر الکترون‌ها و پادالکترون‌ها همدیگر را نابود کردند و بر اثر آن فوتون‌های بیشتری به‌وجود آمد و فقط تعداد قلیلی الکترون باقی ماند.

تقریباً صد ثانیه پس از انفجار بزرگ، دما به هزار میلیون درجه سقوط کرد که دمای درون داغ‌ترین ستارگان است. در این دما، پروتون‌ها و نوترون‌ها دارای آن انرژی کافی نیستند که بتوانند خود را از ربایش نیروی هسته‌ای قوی برهانند. آن‌ها به یکدیگر می‌پیوندند تا هسته‌های اتم‌های دوتریوم یا هیدروژن سنگین (ایزوتوپ هیدروژن) که دارای یک پروتون و یک نوترون است را به‌وجود آورند. سپس پروتون‌ها و نوترون‌های بیشتری به هسته‌های دوتریوم می‌پیوندند و هسته‌های هلیوم را می‌سازند که حاوی دو پروتون و دو نوترون است. چندتایی از عناصر سنگین‌تر مانند لیتیوم و بریلیوم نیز به‌وجود می‌آیند.

می‌توان محاسبه کرد که در مدل مهبانگ داغ تقریباً یک‌چهارم پروتون‌ها و نوترون‌ها به هسته‌های هلیوم همراه با مقدار کمی هیدروژن سنگین و عناصر دیگر تبدیل می‌شوند. نوترون‌های باقیمانده متلاشی‌شده به‌صورت پروتون درمی‌آیند که هسته‌های هیدروژن معمولی را می‌سازند. این پیش‌بینی‌ها با آنچه مشاهده می‌شود، به‌خوبی همخوانی دارند.

www.ketabha.org

مدل مهبانگ داغ همچنین پیش‌بینی می‌کند که ما می‌توانیم تابش باقیمانده از مراحل داغ اولیه را مشاهده کنیم. ولی بر اثر انبساط جهان، آن دما اکنون به چند درجه بالای صفر مطلق نزول یافته است و آن، توضیح‌دهندهٔ «تابش زمینهٔ میکروموج» است که به‌وسیلهٔ بنزیاس و ویلسون در ۱۹۶۵ کشف شد. بدین ترتیب می‌توانیم کاملاً مطمئن باشیم که دارای تصویر درستی، حداقل از یک ثانیه پس از مهبانگ هستیم. پس از گذشت چند ساعت از انفجار بزرگ، ایجاد هلیوم و عناصر دیگر متوقف شد و پس از آن، تقریباً برای چند میلیون سال بدون آنکه اتفاق زیادی رخ دهد، جهان به انبساط خود ادامه داد. سرانجام هنگامی که دما به چند هزار درجه سقوط کرد، الکترون‌ها و هسته‌ها دیگر انرژی کافی نداشتند تا بر جاذبهٔ الکترومغناطیس موجود در بین خود غلبه یابند، در نتیجه به یکدیگر پیوستند و اتم‌ها به‌وجود آمد. جهان هستی به‌صورت یک کل، به انبساط و سرد شدن خود ادامه داد. ولی در قسمت‌هایی که چگالی کمی بیشتر از حد متوسط بود، به سبب جاذبهٔ گرانشی بیشتر، انبساط کندتر صورت گرفت. سرانجام در برخی مناطق این جاذبه موجب توقف انبساط و رمبش (فروریختن) مجدد شد. با ادامهٔ رمبش، کشش گرانشی مواد در خارج از این مناطق، موجب حرکت چرخشی ملایم در این نواحی شد. همچنان که مناطق در حال رمبش کوچک‌تر می‌شدند، چرخش آن‌ها سریع‌تر می‌شد ـ درست مانند اسکیت‌بازان که برای چرخش سریع‌تر بر روی یخ، دست‌های خود را جمع می‌کنند. ـ سرانجام هنگامی که منطقه به قدر کافی کوچک شد، سرعت چرخش به‌اندازه‌ای رسید که در کشش گرانشی تعادل به‌وجود آمد. بدین ترتیب، کهکشان‌های دیسکی شکل چرخان متولد شدند.

با گذشت زمان، گاز موجود در کهکشان‌ها به‌صورت ابرهای کوچکی درآمد و تحت تأثیر نیروی گرانشی خود فروریخت. با جمع‌شدن و تراکم، دمای گاز افزایش یافت و به حدی گرم شد که واکنش هسته‌ای در آن آغاز گردید. این واکنش موجب شد که هیدروژن بیشتری به هلیوم تبدیل شود و گرمای ساطع شده افزایش یابد و در نتیجه روند تراکم متوقف گردد. آن‌ها برای زمانی طولانی در این حالت باقی ماندند که نمونهٔ آن خورشید ماست که با سوخت هیدروژن، هلیوم تولید نموده و انرژی را به‌صورت گرما و نور ساطع می‌کند.

www.ketabha.org

ستارگان پرجرم‌تر داغ‌تر می‌شوند تا بتوانند کشش گرانشی خود را متعادل کنند. این عمل موجب می‌شود که واکنش‌های «همجوشی هسته‌ای» چنان سریع در آن‌ها صورت گیرد که هیدروژن خود را در زمان کوتاه صد میلیون سال به‌طور کامل به پایان برسانند. سپس به آهستگی منقبض و متراکم می‌شوند و با داغ‌تر شدن، تبدیل هلیوم به عناصری سنگین‌تر مانند کربن یا اکسیژن را آغاز می‌کنند. ولی این رویداد موجب از دست دادن انرژی زیادی نمی‌شود و بدین ترتیب، همان‌گونه که در گفتار سیاه‌چاله‌ها توضیح دادم، مرحله‌ای بحرانی روی می‌دهد.

آنچه بعداً رخ می‌دهد، کاملاً روشن نیست. ولی به نظر می‌رسد که بخش‌های مرکزی ستاره با چگالی بسیار زیاد، مانند ستارهٔ نوترونی یا سیاه‌چاله، فرومی‌ریزد. بخش‌های خارجی ستاره ممکن است در یک انفجار عظیم که «اَبَر نو اختر» نامیده می‌شود، به اطراف پراکنده شود. درخشش ابر نو اختر از تمامی ستارگان کهکشان بیشتر است. برخی از عناصر سنگین‌تر که در پایان حیات ستاره تولید می‌شوند، به درون گاز داخل کهکشان پرت می‌شوند. آن‌ها برخی از مواد خام نسل بعدی ستارگان را فراهم می‌کنند.

خورشید ما دارای تقریباً دو درصد از این عناصر سنگین است؛ زیرا یک ستارهٔ نسل دوم یا نسل سوم است. خورشید تقریباً پنج میلیارد سال قبل از ابری از گاز چرخان حاوی خرده‌ها و بقایای ابر نو اخترها شکل گرفته است. بخش بیشتری از گاز موجود، خورشید را به‌وجود آورد یا به اطراف پراکنده شد. ولی مقدار کمی از این عناصر سنگین گرد هم آمدند و جرم‌هایی را به‌وجود آوردند که با نام سیاره، مانند سیارهٔ زمین به دور خورشید می‌گردند.

www.ketabha.org

سئوالات بدون پاسخ

این تصویر از جهان هستی که با گرمای بسیار آغاز شد و با منبسط شدن رو به سردی نهاد، با کلیهٔ مدارک مشاهده شدهٔ امروز توافق و هماهنگی دارد. با این‌وجود، تعدادی پرسش مهم بدون پاسخ باقی می‌ماند.

نخست، چرا جهان اولیه تا این حد داغ بوده است؟

دوم، چرا جهان در مقیاس بزرگ تا این حد یکنواخت و همگون است؟ به عبارت دیگر، چرا جهان از هر نقطه از فضا که مشاهده شود، تمامی فضای آن و تمامی جهت‌های آن عین هم هستند؟

سوم، چرا جهان در آغاز، برای اجتناب از رمبش تا این حد نزدیک به «آهنگ بحرانی» انبساط یافته است؟ اگر آهنگ انبساط یک ثانیه پس از مهبانگ، کمتر از یک قسمت در صدهزار میلیون میلیون قسمت می‌بود، در آن صورت جهان پیش از آنکه به اندازهٔ کنونی خود برسد، دوباره فرو می‌ریخت. از سوی دیگر، اگر آهنگ انبساط آن در یک ثانیه پس از مهبانگ به همین مقدار که ذکر شد بیشتر می‌بود، جهان به حدی منبسط می‌شد که اکنون عملاً تهی بود.

چهارم، به‌رغم این واقعیت که جهان در مقیاس‌های بزرگ، بسیار یکنواخت و همگن است، دارای قسمت‌هایی متراکم مانند ستارگان و کهکشان‌هاست. تصور بر آن است که این قسمت‌ها بر اثر

www.ketabha.org

اختلاف اندکی در چگالی جهان اولیه، در نواحی مختلف به‌وجود آمده‌اند. چه چیزی مبدأ این افت و خیزهای چگالی بوده است؟

نظریهٔ نسبیت عام به تنهایی نمی‌تواند این ویژگی‌ها یا پرسش‌ها را پاسخ دهد. زیرا این نظریه پیش‌بینی می‌کند که جهان در تکینگی مهبانگ، با چگالی نامحدود، آغاز شده است. در تکینگی، نسبیت عام و تمامی قوانین فیزیک فرومی‌پاشند. نمی‌توان پیش‌بینی کرد که از تکینگی چه چیزی بیرون می‌آید. همان‌گونه که قبلاً توضیح دادم، می‌توان کلیهٔ رویدادهای پیش از مهبانگ را نادیده گرفت. زیرا آن‌ها هیچ‌گونه تأثیری بر آنچه می‌بینیم، ندارند. فضا – زمان دارای حد و مرزی است؛ دارای آغازی در مهبانگ است. چرا باید جهان در انفجار بزرگ به صورتی آغاز شود و درست به آن‌گونه‌ای درآید که اکنون مشاهده می‌کنیم؟ چرا جهان تا این حد یکنواخت است و دقیقاً به‌اندازه‌ای انبساط می‌یابد که مانع فروریختن آن شود؟ موجب خرسندی است اگر بتوان نشان داد که تعدادی از آرایش‌های متفاوت اولیهٔ جهان به صورتی متحول گردیده است تا جهانی مانند جهان کنونی به‌وجود آید.

اگر قضیه چنین باشد، جهانی که از برخی شرایط اولیهٔ تصادفی و بدون ترتیب تکامل یافته است، باید حاوی مناطقی مشابه آن چیزی باشد که اکنون مشاهده می‌کنیم. همچنین ممکن است مناطقی کاملاً متفاوت وجود داشته‌اند، ولی احتمالاً برای تشکیل کهکشان‌ها و ستارگان مناسب نبوده‌اند. این‌ها پیش‌شرط‌های ضروری برای تکامل حیات متفکرند؛ حداقل حیاتی که ما می‌شناسیم. بدین ترتیب مناطق مزبور حاوی موجودات متفکری نبوده‌اند تا تفاوت‌ها را مشاهده کنند.

هنگامی که علوم کیهانی را مورد بررسی قرار می‌دهیم، باید این اصل انتخاب را در نظر بگیریم که در منطقه‌ای از جهان زندگی می‌کنیم که برای ظهور حیات متفکر مناسب بوده است. این بررسی واضح و مقدماتی را گاهی «اصل انسانی» می‌گویند. از طرف دیگر، فرض کنید وضعیت آغازین جهان به صورتی بود که دقیقاً به آنچه در پیرامون خود می‌بینیم (البته به‌جز زمین) ختم

www.ketabha.org

می‌شد. در آن صورت نامحتمل بود جهان حاوی مناطقی باشد که حیات در آن‌ها ظهور کند.

در مدل مهبانگ داغ که پیشتر آن‌را توضیح دادم، جهان اولیه وقت کافی نداشت تا گرما از منطقه‌ای به منطقهٔ دیگر جریان یابد. این بدان معناست که نواحی مختلف جهان با دمایی دقیقاً همسان آغاز شده است و دلیل آن همسانی دما در زمینهٔ ریزموج است که در تمام جهات دمایی برابر دارد. همچنین آهنگ اولیهٔ انبساط باید با دقتی بسیار محاسبه شده باشد تا جهان قبل از رسیدن به وضعیت کنونی دوباره فرونریزد. بدین ترتیب، اگر مدل مهبانگ داغ را در هنگام آغاز زمان، مدل درستی تلقی کنیم، در آن صورت آهنگ اولیهٔ جهان هستی می‌بایست به‌دقت انتخاب شده باشد. توضیح این امر بسیار دشوار است که چرا جهان باید دقیقاً بدین گونه آغاز شود، مگر آنکه بگوییم خداوند از قبل تصمیم گرفته بود موجوداتی چون ما را خلق کند.

مدل تورمی (انبساط جهان اولیه با سرعت بسیار بالا)

برای اجتناب از اشکالات مربوط به مراحل بسیار آغازین مدل مهبانگ داغ، «آلن گات» از مؤسسهٔ فناوری ماساچوست (MIT) مدل جدیدی را ارائه داد. در این مدل، بسیاری آرایش‌های متفاوت آغازین، همگی به پدیده‌ای مانند جهان کنونی تبدیل شده‌اند. او پیشنهاد می‌کند جهان آغازین شاید یک دورهٔ انبساط بسیار سریع یا تصاعدی داشته است. این انبساط را «تورمی» می‌گویند ـ مقایسه‌ای با تورم قیمت‌ها که در هر کشوری کم‌تر یا زیادتر صورت می‌گیرد، رکورد جهانی تورم در قیمت‌ها احتمالاً متعلق به آلمان پس از جنگ جهانی اول است، هنگامی که قیمت یک قرص

www.ketabha.org

نان که کمتر از یک مارک بود، طی چند ماه به میلیون‌ها مارک رسید؛ اما تورمی که ما دربارهٔ آن صحبت می‌کنیم و در مورد جهان رخ‌داده، حتی از این مقدار هم بیشتر بوده است ـ یک میلیون میلیون میلیون میلیون بار فقط در کسری از ثانیه. البته این تورم متعلق به حکومت فعلی نبوده، بلکه قبلاً روی داده بوده است.

گات می‌گوید جهان با مهبانگ بسیار داغی آغاز شد. انتظار می‌رود در چنین دمای بالایی، «نیروی هسته‌ای قوی»، «نیروی هسته‌ای ضعیف» و «نیروی الکترومغناطیس»، نیروی واحدی را تشکیل دهند. با انبساط جهان، عالم سرد شد و انرژی ذرات رو به کاهش نهاد. سرانجام شرایطی به‌وجود آمد که به آن «گذار فاز» می‌گویند و در نتیجهٔ آن، تقارن بین نیروها شکست. نیروی هسته‌ای قوی از نیروهای هسته‌ای ضعیف و الکترومغناطیس متفاوت شد. مثال معمولی گذار فاز یا تبدیل فاز، یخ زدن آب هنگام سرد شدن است. آب، مایع متقارن است. یعنی در هر نقطه و در هر جهت همسان است. ولی هنگامی که بلورهای یخ تشکیل می‌شوند، مکان‌های آن‌ها معین است و در جهات مختلف ردیف می‌شوند. بدین ترتیب قرینه بودن آب شکسته می‌شود.

در مورد آب، اگر به‌دقت عمل کنیم، می‌توانیم آن‌را «فوق سرد» کنیم؛ یعنی می‌توانیم دمای آن‌را به زیر نقطهٔ انجماد (صفر درجهٔ سانتی‌گراد) بیاوریم بدون اینکه یخ بزند. گات می‌گوید جهان ممکن است به همین‌گونه عمل کرده باشد: دما ممکن است زیر «مقدار بحرانی» آمده باشد، بدون آنکه تقارن بین نیروهای آن شکسته شود. اگر چنین اتفاقی روی داده باشد، جهان با انرژی‌ای بیشتر از زمانی که تقارن آن شکسته شد، در یک حالت ناپایدار قرار گرفته است. این انرژی اضافی ویژه می‌تواند در یک اثر ضدگرانشی خود را نشان دهد و درست مانند یک «ثابت کیهان‌شناختی» عمل کند.

انیشتین ثابت کیهان‌شناختی را در نظریهٔ نسبیت عام ارائه داد و آن زمانی بود که می‌خواست مدل جهان ایستا را مطرح کند. ولی در این مورد، جهان در حال انبساط بوده است. بنابراین، اثر

www.ketabha.org

دافعهٔ این ثابت کیهان‌شناختی موجب شده است تا جهان به میزان رو به افزایشی در حال گسترش باشد. حتی مناطقی که دارای ذرات بیشتری از حد متوسط بوده، با شتابی تورمی نیز در حال گسترش بوده‌اند.

همچنان که جهان گسترش می‌یافت، ذرات ماده از هم بیشتر دور می‌شدند و جهانی در حال انبساط باقی می‌ماند که به‌زحمت ذراتی در آن به چشم می‌خورد. جهان هنوز در حالت فوق سرد به‌سر می‌برد و تقارن بین نیروهایش هنوز شکسته نشده بود. هرگونه بی‌نظمی در جهان با عمل انبساط، همسان و یکنواخت می‌شد، همانند بادکنکی که با باد شدن، چین و چروک‌هایش صاف می‌شود؛ بنابراین حالت همسان و یکنواخت جهان کنونی می‌تواند از بسیاری حالت‌های آغازین غیریکنواخت به‌وجود آمده باشد. آهنگ این انبساط نیز به‌سوی آهنگ بحرانی بازدارندهٔ رمبش میل داشت.

به‌علاوه، ایدهٔ تورم نیز می‌تواند توضیح دهد که چرا مقدار زیادی ماده در جهان به‌وجود آمده است. چیزی حدود ۱۰۸۰ ذره در بخشی از جهان که برای ما قابل مشاهده است، وجود دارد. آن‌ها از کجا آمده‌اند؟ پاسخ این است که بر اساس نظریهٔ کوانتومی، ذرات می‌توانند به‌صورت زوج‌های ذره/پادذره از انرژی به‌وجود آیند؛ اما دوباره این پرسش پیش می‌آید که انرژی از کجا آمده است؟ پاسخ داده می‌شود که مقدار کل انرژی جهان دقیقاً صفر است.

ماده در جهان از «انرژی مثبت» ساخته شده است. ولی ماده بر اثر گرانش، خودش را جذب می‌کند. دو تکه از ماده که نزدیک هم قرار گرفته‌اند، نسبت به همان دو تکه ماده که از هم فاصله‌ای طولانی دارند، دارای انرژی کمتری هستند. این بدان علت است که شما برای جدا نگهداشتن آن‌ها انرژی صرف کرده‌اید. شما باید با نیروی گرانشی که آن‌ها را به‌سوی هم می‌کشد، مقابله کنید.

www.ketabha.org

بدین ترتیب، به تعبیری، میدان گرانشی دارای «انرژی منفی» است. در مورد کل جهان، می‌توان نشان داد که این انرژی گرانشی منفی دقیقاً انرژی مثبت ماده را خنثی می‌کند؛ بنابراین کل انرژی جهان صفر است.

دو برابر صفر، صفر می‌شود. بدین ترتیب جهان می‌تواند انرژی مثبت ماده را دو برابر و انرژی منفی گرانشی را بدون نقض قانون بقای انرژی نیز دو برابر کند. این واقعه در انبساط طبیعی که چگالی انرژی ماده با بزرگ‌تر شدن جهان کاهش می‌یابد، رخ نمی‌دهد. بلکه در انبساط تورمی صورت می‌گیرد؛ زیرا چگالی انرژی حالت فوق سرد هنگام انبساط جهان، ثابت باقی می‌ماند. زمانی که اندازهٔ جهان دو برابر می‌شود، انرژی مثبت ماده و انرژی منفی گرانشی، دو برابر می‌شوند. در نتیجه انرژی کل جهان صفر باقی می‌ماند. در مرحلهٔ تورمی اندازهٔ جهان به مقداری بسیار زیاد افزایش یافت. در نتیجه، مقدار کل انرژی موجود برای ساختن ذرات بسیار زیاد بود.

سرانجام (پایان) انبساط جهان

جهان اکنون به‌صورت تورمی در حال انبساط نیست. بنابراین می‌بایست در گذشته سازوکاری وجود می‌داشت که اثر بسیار عظیم ثابت کیهان‌شناختی را حذف می‌کرد. این مکانیسم آهنگ انبساط را با کمک گرانش، از حالت شتاب‌دار به حالت انبساط کُند، آن‌گونه که اکنون وجود دارد، تغییر داد. با انبساط جهان و سرد شدن آن انتظار می‌رفت که سرانجام تقارن بین نیروها شکسته

www.ketabha.org

شود، همان‌گونه که آب فوق سرد سرانجام یخ می‌زند. سپس انرژی اضافه تقارن که شکسته نشده بود، آزاد شد و موجب دوباره گرم شدن جهان گردید و پس از آن جهان مانند مدل مهبانگ داغ، به انبساط و سرد شدن خود ادامه داد. با این وجود، اکنون توضیحی وجود دارد که چرا جهان درست در حدّ آهنگ بحرانی انبساط یافته و چرا نواحی مختلف آن دارای دمای یکسانی است.

در مدل پیشنهادی گات، گذار شکسته شدن تقارن امری ناگهانی فرض شده بود، مانند ظهور ناگهانی کریستال‌ها در آب بسیار سرد. ایدهٔ مزبور بدین صورت بود که «حباب‌های» فازِ جدیدِ شکسته شدنِ تقارن، در فاز گذشته شکل گرفته بود، همانند حباب‌های بخار در پیرامون آب جوشان. تصور بر این بود که حباب‌های منبسط شده با هم برخورد می‌کردند تا تمامی جهان وارد فاز جدید شود. مشکلی که پیش می‌آید ـ آن‌گونه که من و چند تن دیگر خاطرنشان کردیم ـ این است که جهان با چنان سرعتی منبسط شد که حباب‌ها سریع‌تر از آن‌که به هم ملحق شوند، از یکدیگر دور شدند. جهان در حالتی بسیار نایکنواخت باقی ماند. درحالی‌که در برخی نواحی آن بین نیروهای مختلف تقارنی وجود داشت. چنین مدلی از جهان با آنچه ما می‌بینیم، مطابقت ندارد.

در اکتبر ۱۹۸۱ برای شرکت در کنفرانسی دربارهٔ گرانش کوانتومی به مسکو سفر کردم. پس از کنفرانس، در خصوص مدل تورمی و مسائل آن، در مؤسسهٔ اخترشناسی استرنبرگ کنفرانسی دادم. در بین شرکت‌کنندگان جوانی روسی به نام «آندره‌ئی لیند» بود. او گفت اگر حباب‌ها بسیار بزرگ باشند، مشکل حباب‌هایی که به هم ملحق نشده‌اند، وجود نخواهد داشت. در این حالت، منطقه ما در جهان می‌توانست درون حبابی منفرد قرار گیرد. برای اینکه این عمل واقع شود، تغییر از تقارن به تقارن شکسته شده، باید به‌آرامی شکسته شدن درون حباب صورت گیرد و بر اساس «نظریه‌های وحدت بزرگ» این امر کاملاً امکان‌پذیر است.

ایدهٔ لیند در مورد به‌آرامی تقارن ایدهٔ بسیار خوبی بود. ولی من خاطرنشان کردم که حباب‌های او در زمان مزبور از خود جهان بزرگ‌تر خواهند شد. من نشان دادم که به‌جای اینکه تقارن در

www.ketabha.org

داخل حباب‌ها شکسته شود، همزمان در همه‌جا شکسته خواهد شد و این به جهانی ناهمگن، مانند آنچه اکنون می‌بینیم، ختم می‌شود و مدل شکسته شدن آهستهٔ تقارن کوشش خوبی بود برای توضیح آنکه جهان چرا بدین‌گونه است. با وجود این من و چند تن دیگر نشان دادیم که در آن صورت دگرگونی‌ها در زمینهٔ تابش ریزموج کیهانی بسیار بیشتر از آن خواهد بود که اکنون می‌بینیم. همچنین کارهای بعدی این تردید را به‌وجود آورد که آیا در جهان اولیه «گذار فاز» به‌درستی صورت گرفته است؟ مدل بهتر موسوم به «مدل تورمی آشوب‌گون» در سال ۱۹۸۳ به‌وسیلهٔ لیند معرفی شد. این مدل به گذارهای فاز وابسته نبود و مقدار درست دگرگونی‌های زمینهٔ ریزموج را ارائه می‌داد. مدل تورمی نشان می‌داد که آهنگ کنونی جهان می‌تواند از تعداد بسیاری پیکربندی‌های اولیه برخاسته باشد. ولی این بدان معنا نیست که هر پیکربندی اولیه‌ای به جهانی همانند جهان کنونی ختم شده باشد. بنابراین حتی مدل تورمی به ما نمی‌گوید که چرا پیکربندی اولیه به‌گونه‌ای بوده است که جهان کنونی از آن به‌وجود آمده است. آیا برای توضیح به «اصل انسانی» روی آوریم؟ آیا با توسل به آن نتیجه خواهیم گرفت؟ به نظر می‌رسد که ناامیدکننده است و خط بطلانی است بر امید به درک زیربنا و شالودهٔ جهان هستی.

گرانش کوانتومی و اتحاد نظریه عام نیوتن با مکانیک کوانتومی

برای آنکه بتوانیم حدس بزنیم جهان هستی چگونه آغاز شده است، نیاز به قانون‌هایی داریم که در هنگام آغاز زمان به کار آیند. اگر نظریهٔ کلاسیک نسبیت عام درست بوده باشد، قضیهٔ تکینگی بدین صورت بوده است که زمان از نقطه‌ای با چگالی و انحنای نامحدود آغاز شده است. در چنین نقطه‌ای تمامی قوانین علم فرومی‌پاشند. می‌توان فرض کرد که در تکینگی‌ها قوانین جدید وارد

www.ketabha.org

عمل شده‌اند، ولی فرموله کردن این قانون‌ها در شرایط بد تکینگی‌ها بسیار مشکل است و از طریق مشاهدات نمی‌توانیم به چگونگی آن قوانین پی ببریم. در قضیهٔ تکینگی، میدان گرانشی چنان نیرومند می‌شود که آثار گرانشی کوانتومی اهمیت می‌یابد. در آن هنگام نظریهٔ کلاسیک برای توضیح جهان هستی دیگر کارآمد نیست. از این‌رو ضرورت دارد که از نظریهٔ گرانش کوانتومی برای توضیح مراحل بسیار آغازین جهان استفاده کرد. همان‌گونه که خواهیم دید، این امکان وجود دارد که در نظریهٔ کوانتومی قوانین معمولی علم در همه‌جا، از جمله در آغاز زمان، مورد استفاده قرار گیرند. ضرورتی ندارد که برای تکینگی‌ها قوانین جدیدی فرض شود؛ زیرا در نظریهٔ کوانتومی وجود هیچ نوعی تکینگی ضروری نیست.

ما تاکنون نظریهٔ کامل و فراگیری نداریم که مکانیک کوانتومی و گرانش را دربرگیرد. ولی کاملاً اطمینان داریم که صورت‌هایی از این نظریهٔ واحد وجود دارد. یکی از آن‌ها به‌کارگرفتن «طرح فاینمن» است که نظریهٔ کوانتومی را بر اساس حاصل جمع تاریخچه‌ها فرمول‌بندی کرده است. در این رویکرد، ذره‌ای که از نقطهٔ A به نقطهٔ B می‌رود، برخلاف فیزیک کلاسیک، فقط دارای یک تاریخچه یا مسیر نیست. در عوض، ذره برای رسیدن به B می‌تواند هر مسیر ممکن را در فضا ـ زمان طی کند. با هریک از این مسیرها دو عدد وابسته وجود دارد: یکی نشان‌دهندهٔ اندازهٔ موج و دیگری نشان‌دهندهٔ محل و موقعیت در سیکل، یعنی فاز آن.

این امکان که ذره از نقطهٔ خاصی می‌گذرد، از حاصل جمع امواج تمامی مسیرهای ممکن که از آن نقطه می‌گذرند، به‌دست می‌آید. ولی هنگامی که عملاً کوشش می‌کنیم این حاصل جمع را به‌دست آوریم، با مشکلات تکنیکی (فنی) جدی روبرو می‌شویم. تنها راه‌حل موضوع انجام این دستورالعمل ویژه است: حاصل جمع امواج مربوط به مسیرهای ذره در «زمان حقیقی»‌ای که من و شما تجربه می‌کنیم، واقع نمی‌شود؛ بلکه در «زمان موهوم» روی می‌دهد.

www.ketabha.org

زمان موهوم ممکن است مشابه داستان‌های علمی ـ تخیلی به‌نظر آید، ولی در واقع یک مفهوم ریاضی کاملاً تعریف‌شده است. برای اجتناب از مشکلات تکنیکی (فنی) حاصل جمع تاریخچه‌های فاینمن، باید از زمان موهوم استفاده کرد. این عمل اثر جالب توجهی بر روی فضا – زمان باقی می‌گذارد. تفاوت بین زمان و فضا به‌طور کامل از بین می‌رود. فضا – زمانی که رویدادها دارای مقادیر موهومی از مختصات زمان است، فضا – زمان اقلیدسی نامیده می‌شود؛ زیرا دارای سنجه‌ای همیشه مثبت است.

در فضا – زمان اقلیدسی تفاوتی بین جهت زمان و جهت‌های فضا وجود ندارد. از سویی دیگر، در فضا – زمان حقیقی که در آن رویدادها با مقادیر حقیقی مختصات زمان مشخص شده‌اند، به‌سهولت می‌توان تفاوت را بیان کرد. جهت زمان در مخروط نور و جهت‌های فضا، خارج از مخروط نور قرار می‌گیرند. می‌توان کاربرد زمان موهوم را وسیله یا راهکاری ریاضی به‌حساب آورد که جواب‌های مربوط به فضا – زمان را محاسبه می‌کند. ولی ممکن است قضیه بیش از این‌ها باشد. احتمال دارد که فضا – زمان اقلیدسی مفهومی بنیادی باشد و آنچه فضا – زمان حقیقی می‌پنداریم ساخته و پرداختهٔ تصورات ما باشد.

هنگامی که ما حاصل جمع تاریخچه‌های فاینمن را در مورد جهان به کار می‌بریم، تاریخچهٔ یک ذره به‌صورت یک فضا – زمان، کاملاً خمیده خواهد بود که نشان‌دهندهٔ تاریخچهٔ تمامی جهان هستی است. به سبب دلایل تکنیکی که پیشتر ذکر شد، این فضا – زمان منحنی می‌بایست اقلیدسی باشد. بدان معنا که زمان موهوم است و نمی‌توان آن‌را از جهت‌های موجود در فضا تمیز داد. برای محاسبهٔ احتمال یافتن یک فضا – زمان حقیقی با ویژگی معین، باید امواج وابسته با تمامی تاریخچه در زمان موهومی که دارای آن ویژگی است، جمع شود. سپس می‌توان تاریخچهٔ احتمالی جهان را در زمان حقیقی تعیین کرد.

www.ketabha.org

شرایط فاقد مرز (شاید جهان، مرزی در فضا – زمان ندارد)

در نظریهٔ کلاسیک گرانش که بر اساس زمان حقیقی است، جهان هستی فقط به دو صورت می‌تواند رفتار کند. یا جهان برای زمانی نامتناهی وجود داشته و یا دارای آغازی در یک تکینگی، در زمانی در گذشته بوده است. در واقع، قضایای تکینگی نشان می‌دهد امکان دوم به وقوع پیوسته است. از سوی دیگر، در نظریهٔ کوانتومی گرانش، امکان سومی مطرح می‌شود. ازآنجا که هنگام به‌کارگیری فضا – زمان اقلیدسی که جهت زمان در همان راستای جهت‌های فضاست، برای فضا – زمان این امکان وجود دارد که در مساحت محدود ولی فاقد تکینگی‌هایی باشد که کرانه و مرز تشکیل دهند، فضا – زمان مشابه سطح زمین است، جز آنکه دارای دو بعد اضافی است. سطح زمین از جهت مساحت محدود است، ولی فاقد مرز و لبه است. اگر در سفری دریایی به‌سوی مغرب سفر کنید، از لبهٔ زمین سقوط نمی‌کنید، یا به درون یک تکینگی وارد نمی‌شوید. من این را می‌دانم؛ زیرا به دور زمین سفر کرده‌ام.

اگر فضا – زمان اقلیدسی به زمانی موهوم که در یک تکینگی آغاز شده است، بازگردد با همان اشکالی روبه‌رو خواهیم شد که در نظریهٔ کلاسیک، در تعیین وضعیت آغازین جهان برمی‌خوریم. خداوند احتمالاً می‌داند که جهان چگونه آغاز شده است، ولی ما نمی‌توانیم دلیل خاصی مبنی بر اینکه جهان بدین صورت یا صورت دیگر آغاز شده است را ارائه کنیم. از طرف دیگر، نظریهٔ کوانتومی گرانش امکان جدیدی را در اختیار می‌گذارد. در این حالت، مرزی برای فضا – زمان وجود ندارد. بدین ترتیب، نیازی به مشخص کردن مرزی در جهان وجود ندارد. دیگر تکینگی‌ای نیست که در آن قوانین علم فروپاشد و نیز قانون جدیدی وجود ندارد که برای فضا – زمان مرزی به‌وجود آورد. می‌توان گفت: «وضعیت مرزی جهان، همان بدون مرزی است.» جهان هستی کاملاً

www.ketabha.org

خودبسنده است و تحت تأثیر هیچ‌گونه عاملی از خارج قرار نمی‌گیرد. جهان نه خلق شده است و نه از بین می‌رود.

در کنفرانس واتیکان بود که من برای نخستین بار این ایده را مطرح کردم که ممکن است زمان و فضا با هم سطحی را تشکیل دهند که اندازهٔ آن محدود بوده، ولی مرز یا کرانه‌ای نداشته باشد؛ اما مقالهٔ من با زبان ریاضی بیان شده بود، بنابراین در آن زمان به مفاهیمی چون نقش خدا در خلق جهان توجهی نمی‌شد؛ همان‌گونه که من نیز توجه نداشتم. در کنفرانس واتیکان، من نمی‌دانستم چگونه ایدهٔ بدون مرز برای جهان را ارائه دهم. ولی تابستان بعد را در دانشگاه کالیفرنیا در سانتاباربارا سپری کردم. در آنجا با دوست و همکارم، جیم هارتل، دربارهٔ این موضوع که اگر فضا – زمان بدون مرزی بود جهان چه شرایطی می‌داشت، کار می‌کردیم.

من باید تأکید کنم که این ایده که فضا و زمان در عین بدون مرز بودن محدود است، فقط یک طرح پیشنهادی است. ایدهٔ مزبور از برخی از اصول علمی دیگر استنتاج نشده است. همانند هر نظریهٔ علمی دیگر، ممکن است در آغاز به دلایل زیبایی‌شناختی یا متافیزیکی ارائه شده باشد. ولی آزمون حقیقی آن هنگامی است که بتواند پیش‌بینی‌هایی به عمل آورد که همخوان با مشاهدات باشد. دستیابی به این عمل در حالت گرانش کوانتومی به دو دلیل، امری دشوار است: نخست آنکه ما هنوز دقیقاً مطمئن نیستیم چه نظریه‌ای می‌تواند به‌گونه‌ای توفیق‌آمیز نظریهٔ نسبیت و مکانیک کوانتومی را با هم ترکیب کند، گرچه ما از کم و کیف چنین نظریه‌ای آگاه هستیم. دوم آنکه هر مدلی که بتواند کل جهان هستی را به تفصیل توضیح دهد، از لحاظ کاربرد ریاضی باید بسیار پیچیده‌تر از آن باشد که ما بتوانیم پیش‌بینی‌ها را دقیقاً محاسبه کنیم. بنابراین ما ناچاریم به «تقریب» روی آوریم و حتی پس از آن هم مسئلهٔ استخراج پیش‌بینی‌ها امر دشواری خواهد بود.

www.ketabha.org

بر اساس طرح پیشنهادی جهان بدون مرز، این احتمال که جهان بیشتر تاریخچه‌های ممکن را دنبال می‌کند، قابل صرفنظر کردن است. ولی مجموعهٔ خاصی از تاریخچه‌ها وجود دارند که از تاریخچه‌های دیگر بسیار محتمل‌ترند. این تاریخچه‌ها را می‌توان مشابه سطح زمین دانست که با فاصله‌ای نسبت به قطب شمال ـ نمایندهٔ زمان موهوم ـ و اندازهٔ مدار عرض جغرافیایی ـ نمایندهٔ اندازهٔ فضایی جهان ـ در ارتباط است. جهان از قطب شمال به عنوان نقطهٔ منفرد آغاز می‌شود. هنگام حرکت به طرف جنوب، مدار عرض جغرافیایی برابر با انبساط جهان همراه با زمان موهوم، بزرگ‌تر می‌شود. جهان در خط استوا به حداکثر اندازهٔ خود می‌رسد و دوباره به صورت یک نقطهٔ منفرد در قطب جنوب منقبض می‌شود. اگرچه اندازهٔ جهان در قطب شمال و جنوب صفر است، ولی این نقاط، نقطه‌های تکینگی محسوب نمی‌شوند و قوانین علمی در آغاز جهان فرونخواهند پاشید؛ درست همان‌گونه که در قطب شمال و جنوب زمین به قوت خود باقی می‌مانند.

تاریخچهٔ جهان در زمان حقیقی، بسیار متفاوت به نظر می‌رسد. چنین به نظر می‌آید که با حداقل اندازه که برابر با حداکثر اندازهٔ تاریخچه در زمان موهوم است، هستی خود را آغاز می‌کند. سپس جهان در زمان حقیقی، همانند مدل تورمی، منبسط می‌شود. با این‌وجود نباید پذیرفت که جهان، به طریقی در موقعیتی درست و مناسب خلق شده است. جهان هستی به میزانی بسیار منظم منبسط می‌شود، ولی سرانجام دوباره فروخواهد ریخت (خواهد رُمبید) و به صورت یک تکینگی در زمان واقعی درخواهد آمد. بدین ترتیب به تعبیری، باز هم همگی محکوم به فنا هستیم، حتی اگر بتوانیم خود را از سیاه‌چاله‌ها دور نگهداریم. فقط اگر قادر باشیم جهان را در چهارچوب زمان موهوم تصویر کنیم، در آن صورت تکینگی وجود نخواهد داشت.

قضایای تکینگی در نسبیت عام کلاسیک نشان داده است که جهان می‌بایست آغازی داشته باشد و نیز این آغاز می‌بایست بر حسب نظریهٔ کوانتومی توضیح داده شود. این موضوع نیز به نوبهٔ خود به این ایده می‌انجامد که جهان می‌تواند بدون مرز و تکینگی‌ها در زمان موهومی متناهی باشد. ولی هنگامی که فرد به زمان حقیقی که در آن زندگی می‌کنیم، بازمی‌گردد، چنین به نظر می‌رسد که هنوز تکینگی‌ها وجود دارند. فضانورد درمانده‌ای که به درون سیاه‌چاله‌ای سقوط می‌کند، عاقبت بدی خواهد داشت. فقط در صورتی که بتواند در زمان موهومی زندگی کند، با

www.ketabha.org

تکینگی‌ها مواجه نخواهد شد.

می‌توان فرض کرد که زمان معروف به «زمان موهومی» در واقع «زمان اصلی» است و آنچه زمان حقیقی می‌نامیم، چیزی است که در ذهن خود آن‌را خلق کرده‌ایم. در زمان حقیقی، جهان دارای آغاز و پایانی در تکینگی‌هایی است که در فضا – زمان تشکیل مرز می‌دهند و قوانین علمی در آن‌ها فرومی‌پاشند. در زمان موهومی، تکینگی‌ها و مرزهایی وجود ندارند؛ بنابراین شاید آنچه را زمان موهومی می‌نامیم، اساسی‌تر و آنچه را زمان حقیقی می‌نامیم، فقط ایده‌ای باشد که آن‌را اختراع کرده‌ایم تا جهان ساخته و پرداختهٔ خود را توضیح دهیم. ولی بر اساس رویکردی که من در گفتار اول به توضیح آن پرداختم، یک نظریهٔ علمی شامل یک مدل ریاضی است که با کمک آن مشاهدات خود را توضیح می‌دهیم و فقط در ذهن ما وجود دارد. بدین ترتیب این پرسش بی‌معناست که: کدام زمان واقعی است، زمان «حقیقی» یا زمان «موهومی»؟ این مقوله بستگی به آن دارد که کدامیک از آن‌ها حاوی توضیح مفیدتری هستند.

به نظر می‌رسد در زمان حقیقی، طرح جهان بدون مرز پیش‌بینی می‌کند که جهان هستی می‌تواند همانند مدل‌های تورمی رفتار کند. مسئلهٔ جالب ویژه‌ای که وجود دارد، جدا شدن بخش‌های کوچکی از جهان آغازین با چگالی یکنواخت است. تصور بر این است که این جدا شدن‌ها به تشکیل ستارگان و کهکشان‌ها و سرانجام موجوداتی چون ما انجامیده است. اصل عدم قطعیت دلالت بر آن دارد که جهان آغازین نمی‌توانسته است به طور کامل یکنواخت باشد. در عوض، می‌بایست عدم‌قطعیت‌ها و افت و خیزهایی در مکان و سرعت ذرات وجود می‌داشت. با به‌کارگیری شرط‌های بدون مرز، فرد درمی‌یابد که جهان با کمترین ناهمگونی مرزی ممکن از سوی اصل عدم قطعیت، آغاز شده است.

سپس جهان می‌بایست دوره‌ای از انبساط سریع، همانند مدل‌های تورمی را پشت سر گذاشته باشد. در طول این دوره، نایکنواختی‌های آغازین رو به فزونی نهاد؛ به‌حدی که کهکشان‌ها از آن‌ها

www.ketabha.org

به‌وجود آمدند. بدین ترتیب، تمامی ساختارهای پیچیده که ما در جهان هستی مشاهده می‌کنیم، می‌تواند از طریق شرط بدون مرز بودن جهان و نیز اصل عدم قطعیت در مکانیک کوانتومی توجیه شود.

www.ketabha.org

سخنرانی ششم:جهت زمان

«ال. پی. هارتلی» در کتاب خود این گونه نوشته است: «گذشته، یک کشور بیگانه است. در آن جا، مردم کارها را به شیوه ای متفاوت انجام می‌دهند. اما چرا گذشته تا به این اندازه با آینده تفاوت دارد؟ چرا گذشته را به‌خاطر می‌آوریم، ولی آینده را نمی توانیم به‌خاطر بیاوریم؟» از سوی دیگر، چرا زمان همواره به جلو می‌رود؟ و آیا این به جلو رفتن به سبب انبساط جهان است؟

www.ketabha.org

پیکان‌های زمانی

در این مورد که چرا ما ناظر برگشت لیوان شکسته بر روی میز نیستیم، معمولاً توضیح داده می‌شود که بر اساس قانون دوم ترمودینامیک (گرماپویایی) چنین امری امکان‌پذیر نیست. این قانون می‌گوید آنتروپی یا بی‌نظمی با گذشت زمان همواره افزایش می‌یابد به‌عبارت‌دیگر، بر اساس قانون مورفی همه‌چیز رو به بی‌نظمی می‌رود. یک لیوان سالم بر روی میز دارای نظمی بالاست، ولی لیوانی شکسته در کف اتاق در حالت بی‌نظمی است. می‌توان از لیوان سالم که در گذشته بر روی میز بود به‌سوی لیوان شکسته بر کف اتاق در آینده حرکت کرد، ولی عکس آن امکان‌پذیر نیست. افزایش بی‌نظمی یا آنتروپی با گذشت زمان، نمونه‌ای از آن چیزی است که «پیکان زمان» نامیده می‌شود، چیزی که به زمان جهت می‌دهد و گذشته را از آینده متمایز می‌کند. حداقل سه پیکان زمان متفاوت داریم: اول، پیکان زمان ترمودینامیک که در آن بی‌نظمی یا آنتروپی افزایش می‌یابد. دوم، پیکان زمان روان‌شناختی. این نوع همان جهتی است که ما گذشت زمان را درک می‌کنیم جهتی از زمان که ما گذشته را به خاطر می‌آوریم، نه آینده را. سوم، پیکان زمان کیهان‌شناختی. این نوع، جهتی از زمان است که جهان به‌جای انقباض در حال انبساط است.

به نظر من پیکان روان‌شناختی به‌وسیلهٔ پیکان ترمودینامیک مشخص می‌شود و این دو پیکان همواره به یک جهت اشاره می‌کنند. اگر جهان بدون مرز تصور شود این دو پیکان با پیکان زمان کیهان‌شناختی در ارتباط خواهند بود، هرچند به یک جهت اشاره نکنند. ولی فقط هنگامی روی می‌دهد که هر دو پیکان در جهت پیکان کیهان‌شناختی هستند و موجوداتی هوشمند می‌توانند این پرسش را مطرح کنند: چرا بی‌نظمی در همان جهتی از زمان که انبساط جهان صورت می‌گیرد، افزایش می‌یابد؟

www.ketabha.org

پیکانِ زمان ترمودینامیک

در آغاز من دربارهٔ پیکان زمان صحبت خواهم کرد. قانون دوم ترمودینامیک بر اساس این واقعیت استوار است که حالت‌های بی‌نظمی به‌مراتب بیشتر از حالت‌های منظم است. برای مثال، قطعات یک جورچین (پازل) را درون یک جعبه در نظر بگیرید. یک آرایش، فقط یک آرایش وجود دارد که قطعات می‌توانند تصویر کاملی بسازند. از سوی دیگر، آرایش‌های بسیار زیادی وجود دارند که قطعات بی‌نظم هستند و تصویری نمی‌سازند.

فرض کنید سیستمی با تعداد کمی از حالت‌های منظم کار خود را آغاز کند. با گذشت زمان، سیستم بر اساس قوانین فیزیکی به‌تدریج به کار خود ادامه خواهد داد و حالات آن تغییر خواهد کرد. با گذشت بیشتر زمان احتمال زیادی وجود دارد که بی‌نظمی در آن افزایش یابد زیرا حالات بی‌نظمی بسیاری وجود دارد. بدین ترتیب ولو آنکه سیستم از شرایط آغازین نظم بالا تبعیت کند، با گذشت زمان بی‌نظمی در آن افزایش می‌یابد.

فرض کنید قطعات جورچین با آرایشی منظم که تصویری را شکل داده‌اند کار خود را آغاز کنند. اگر جعبهٔ جورچین را تکان دهید قطعات آرایشی دیگر به خود خواهند گرفت. این آرایش احتمالاً آرایشی نامنظم خواهد بود که قطعات تصویر کاملی را تشکیل نخواهند داد زیرا آرایش‌های بی‌نظم بسیار زیادی وجود دارند. برخی از گروه قطعات ممکن است بخشی از تصویر را به‌وجود آورند، ولی هر قدر شما جعبه را بیشتر تکان دهید، احتمال بیشتری وجود دارد که این گروه قطعات، شکل خود را از دست بدهند. قطعات جورچین حالت کاملاً درهم‌ریخته‌ای به خود می‌گیرند و هیچ‌گونه تصویری به‌وجود نمی‌آورند. بدین ترتیب، بی‌نظمی قطعات احتمالاً با گذشت زمان افزایش خواهد یافت، ولو آنکه کار با شرایط آغازین نظم بالا شروع شده باشد.

www.ketabha.org

فرض کنید خداوند اراده کرده است که در آینده جهان را با نظم بالا به پایان برساند بدون توجه به آنکه جهان با چه نظمی آغاز شده است. احتمالاً جهان در زمان‌های آغازین حالتی بی‌نظم داشته است و از این بی‌نظمی با سپری شدن زمان کاسته می‌شود. شما لیوان‌های شکسته‌ای را خواهید دید که قطعات آن‌ها گرد هم می‌آیند و بر روی میز می‌جهند. ولی هر انسانی که این لیوان‌ها را مشاهده می‌کند، در جهانی به سر می‌برد که با گذشت زمان بی‌نظمی کاهش می‌یابد. به نظر من چنین انسان‌هایی دارای نوعی پیکان زمان روان‌شناختی هستند که رو به سوی عقب دارد.

پیکان روان‌شناختی

بحث دربارهٔ حافظه امری تقریباً دشوار است زیرا چگونگی جزئیات کارهای مغز را نمی‌دانیم. ولی در مورد نحوهٔ کار حافظه‌های کامپیوتر همه چیز را می‌دانیم بنابراین من در مورد پیکان زمان روان‌شناختی کامپیوترها صحبت می‌کنم. من تصور می‌کنم منطقی است که بپذیریم پیکان زمان برای کامپیوترها همانند پیکان زمان برای انسان‌هاست. اگر چنین نبود شخص حاضر بود برای بورس سهام دست به قتل بزند تا کامپیوتری داشته باشد که بتواند قیمت‌های فردا را به خاطر بیاورد.

«حافظهٔ» یک کامپیوتر اساساً ابزاری است که می‌تواند در یکی از دو حالت باشد. مثال آن، یک مدار «ابر رسانا» است. اگر جریان الکترونیکی در مدار برقرار شود، همچنان ادامه می‌یابد، زیرا

www.ketabha.org

مقاومتی بر سر راه آن نیست و اگر جریانی وارد مدار نشود مدار بدون جریان خواهد بود. می‌توان دو حالت حافظه را به‌صورت «یک» و «صفر» نشان داد.

قبل از آنکه موضوع مورد نظر در حافظه ذخیره شود، حافظه در حالت بی‌نظمی، با احتمال برابر یک و صفر است. پس از آنکه حافظه برای به خاطر آوردن با سیستم کنش متقابل انجام داد، در آن صورت به‌گونه‌ای مشخص در یک حالت یا حالت دیگر خواهد بود. ولی برای اطمینان از اینکه حافظه در حالت درست خود است، نیاز به‌صرف مقداری انرژی است. این انرژی به‌صورت گرما ناپدید می‌شود و مقدار بی‌نظمی را در جهان افزایش می‌دهد. می‌توان نشان داد که این افزایش بی‌نظمی بیشتر از افزایش نظم در حافظه است. بدین ترتیب، هنگامی که کامپیوتری موضوعی را در حافظه ذخیره می‌کند مقدار کل بی‌نظمی در جهان افزایش می‌یابد.

جهت زمان که در آن کامپیوتر گذشته را به خاطر می‌آورد در همان جهتی است که بی‌نظمی افزایش می‌یابد. این بدان معناست که درک ذهنی، از جهت زمان، یعنی پیکان زمان روان‌شناختی، به‌وسیلهٔ پیکان زمان ترمودینامیک تعیین می‌شود. بی‌نظمی با گذشت زمان افزایش می‌یابد زیرا ما زمان را در جهتی اندازه می‌گیریم که در آن جهت بی‌نظمی افزایش می‌یابد. دیگر چیزی مطمئن‌تر از این وجود ندارد.

شرایط مرزی جهان

ولی چرا باید جهان در یک انتهای زمان، انتهایی که گذشته می‌نامیم، در حالت نظم بالا باشد؟ و نیز چرا جهت زمانی که در آن بی‌نظمی افزایش می‌یابد همان جهتی است که جهان منبسط

www.ketabha.org

می‌شود؟ یک پاسخ احتمالی آن است که ارادهٔ خداوند بر آن تعلق گرفته است که جهان در آغاز فاز انبساط، یکنواخت و منظم باشد. ما نباید درصدد درک چرایی آن باشیم یا دلایل آن کار را پرسش کنیم زیرا آغاز جهان از آن خداست. البته می‌توان گفت تمامی تاریخچهٔ جهان از آن خداست. به نظر می‌رسد که جهان بر اساس قوانین مشخصی شکل گرفته است. این قوانین هم می‌تواند به وسیلهٔ خداوند مقرر شده باشد ولی به نظر می‌رسد که ما می‌توانیم آن‌ها را کشف و درک کنیم بنابراین آیا امیدی نامعقول است که همان یا مشابه همان قوانین را در آغاز کار جهان دخیل بدانیم؟ در نظریهٔ کلاسیک نسبیت عام، جهان با یک تکینگی با چگالی نامحدود و در فضا- زمانی با خمیدگی نامحدود آغاز شده است. در چنان شرایطی تمامی قوانین شناخته‌شدهٔ فیزیک فرومی‌پاشند. بدین ترتیب، از این قوانین برای پیش‌بینی چگونگی آغاز جهان نمی‌توان استفاده کرد.

جهان می‌تواند در حالت بسیار یکنواخت و منظمی آغاز شده باشد. در آن صورت به پیکان‌های زمان ترمودینامیک و کیهان‌شناختی یعنی آنچه اکنون مشاهده می‌کنیم، منتهی می‌شود. همچنین می‌تواند در حالت نایکنواخت و نامنظم آغاز شده باشد، در این حالت، جهان در بی‌نظمی کامل خواهد بود بنابراین، بی‌نظمی دیگر نمی‌تواند با گذشت زمان افزایش یابد. در آن صورت یا جهان ثابت باقی می‌ماند که در آن پیکان زمان ترمودینامیک مشخصی وجود ندارد، یا بی‌نظمی، کاهش می‌یابد که در آن پیکان زمان ترمودینامیک در جهت مخالف پیکان زمان کیهان‌شناختی است.

هیچ‌یک از این احتمالات با آنچه اکنون مشاهده می‌کنیم هم‌خوانی ندارد. همان‌گونه که متذکر شدم نظریهٔ کلاسیک نسبیت عام پیش‌بینی می‌کند که جهان باید با یک تکینگی که انحنای فضا - زمان در آن نامتناهی است، آغاز شده باشد. در واقع، این بدان معناست که نظریهٔ کلاسیک نسبیت عام سقوط خودش را پیش‌بینی کرده است. هنگامی که انحنای فضا - زمان زیاد می‌شود، آثار گرانش کوانتومی اهمیت می‌یابد و نظریهٔ کلاسیک در توضیح جهان درمی‌ماند. برای درک چگونگی آغاز جهان باید از نظریهٔ گرانش کوانتومی استفاده کرد.

www.ketabha.org

در نظریهٔ گرانش کوانتومی، تمامی تاریخچه‌های ممکن جهان مورد بررسی قرار می‌گیرند. در ارتباط با هر یک از تاریخچه‌ها، یک زوج عدد وجود دارد. یک عدد نمایندهٔ اندازه و عدد دیگر نمایندهٔ دامنهٔ موج است، خواه موج در فراز باشد یا فرود. هنوز این پرسش وجود دارد که تاریخچه‌های احتمالی جهان در گذشته، در مرز فضا – زمان، چگونه عمل کرده‌اند. ما شرایط مرزی جهان را در گذشته نمی‌دانیم و نمی‌توانیم بدانیم. ولی می‌توانیم بگوییم که تمام تاریخچه‌های محتمل جهان تا حدودی متناهی ولی فاقد مرز، لبه یا تکینگی بوده‌اند. آن‌ها با دو بعد بیشتر مشابه سطح زمین بودند. در آن صورت، آغاز زمان نقطهٔ منظم و یکنواختی از فضا – زمان خواهد بود. این بدان معناست که جهان انبساط خود را در حالتی بسیار یکنواخت و منظم آغاز کرده است. ولی جهان نمی‌توانسته است کاملاً یکنواخت بوده باشد زیرا این حالت موجب نقض اصل عدم قطعیت در نظریهٔ کوانتومی می‌شده است. می‌بایست افت وخیزهای کوچکی در چگالی و سرعت ذرات وجود می‌داشت. ولی شرط بدون مرز دلالت بر آن دارد که این افت‌وخیزها بسیار کوچک، موافق و همساز با اصل عدم قطعیت بوده‌اند.

جهان با مرحله‌ای از انبساط «تورمی» یا «نمایی» آغاز شده است. در این حالت، اندازهٔ جهان با مقیاسی عظیم افزایش یافته است. در طول این انبساط افت‌وخیزهای چگالی در ابتدا اندک بوده، ولی بعد افزایش یافته است. در مناطقی که چگالی اندکی بیشتر از حد متوسط بود، بر اثر نیروی گرانشی مادهٔ اضافی، انبساط در آن‌ها رو به کاهش نهاد. سرانجام در این نواحی انبساط متوقف شد و عمل رمبیدن (فرو ریختن) آغاز گردید و کهکشان‌ها، ستارگان و موجوداتی مانند ما به‌وجود آمدند.

جهان در حالت یکنواخت و منظم آغاز گردید و با گذشت زمان تکه‌تکه و نامنظم شد. این حالت توضیح‌دهندهٔ پیکان زمان ترمودینامیک است. جهان با نظمی بالا آغاز شد و سپس رو به بی‌نظمی نهاد. همان‌گونه که قبلاً نشان دادم پیکان زمان روان‌شناختی هم‌جهت با پیکان زمان ترمودینامیک است. درک ذهنی ما از زمان همسو با انبساط جهان است، درحالی‌که اگر جهان در حال انقباض بود، جهت زمان مخالف و ناهمسو با آن بود.

www.ketabha.org

آیا پیکان زمان، معکوس می‌شود؟

اگر جهان از انبساط بازماند و شروع به انقباض کند، چه روی می‌دهد؟ آیا پیکان ترمودینامیک معکوس می‌شود و بی‌نظمی با گذشت زمان کاهش می‌یابد؟ در آن صورت انواع احتمالات، از نوع علمی ـ تخیلی آن، برای مردمی که از فاز انبساط به انقباض جان به‌دربرده‌اند، روی خواهد داد. آیا آن‌ها ناظر جمع شدن تکه‌های لیوان شکسته بر روی کف اتاق و پریدن آن بر روی میز خواهند بود؟ آیا آن‌ها می‌توانند نرخ‌های فردا را به خاطر بیاورند و از طریق بازار بورس ثروتی فراهم کنند؟

این نگرانی که با رمبش مجدد جهان، چه اتفاقاتی روی خواهد داد، کمی جنبهٔ نظری دارد، زیرا حداقل تا ده میلیارد سال دیگر این انقباض صورت نخواهد گرفت. ولی راه سریع‌تری وجود دارد که دریابیم چه وقایعی روی خواهد داد و آن پریدن به درون یک سیاه‌چاله است. رمبش یک ستاره و تبدیل آن به یک سیاه‌چاله نمونهٔ کوچکی از رمبش کل جهان است. بدین ترتیب، اگر قرار باشد که در فاز انقباض جهان از بی‌نظمی کاسته شود، می‌توان انتظار داشت که این کاهش درون یک سیاه‌چاله نیز روی دهد؛ بنابراین شاید فضانوردی که درون سیاه‌چاله سقوط کرده است، بتواند قبل از شرطبندی در بازی رولت به خاطر بیاورد که گوی به کدام سو می‌رود و بدین ترتیب شرط را ببرد. ولی متأسفانه وی برای بازی وقت زیادی نخواهد داشت زیرا بر اثر میدان‌های گرانشی عظیم به‌زودی به اسپاگتی تبدیل خواهد شد! همچنین قادر نخواهد بود در مورد معکوس شدن پیکان ترمودینامیک اطلاعاتی در اختیار ما بگذارد، زیرا در پشت افق رویداد سیاه‌چاله به دام خواهد افتاد.

www.ketabha.org

من معتقدم که با فروریختن مجدد جهان، ابتدا بی‌نظمی کاهش می‌یابد زیرا فکر می‌کنم هنگامی که جهان دوباره کوچک می‌شود، به‌صورت یکنواخت و منظم درمی‌آید. این بدان معناست که فاز انقباض، همانند معکوس شدن زمان در فاز انبساط است. زندگی انسان‌ها در فاز انقباض به‌جای اینکه به جلو برود، به عقب برمی‌گردد. آن‌ها قبل از آنکه متولد شوند، می‌میرند و با انقباض جهان جوان‌تر می‌شوند. این ایده جالب است زیرا به معنای آن است که تقارنی بین فازهای انبساط و انقباض وجود دارد. ولی نمی‌توان به‌تنهایی، مستقل از سایر ایده‌های مربوط به جهان، آن را پذیرفت.

همان‌گونه که خاطرنشان کردم، ابتدا من تصور می‌کردم که شرط بدون مرز اشاره بر آن دارد که در فاز انقباض بی‌نظمی کاهش می‌یابد. این تصور ناشی از کار بر روی مدل ساده‌ای از جهان بود که در آن فاز رمبش همانند زمان معکوس در فاز انبساط بود. ولی یکی از همکاران، دان پیج، خاطرنشان کرد که شرط بدون مرز نیاز به آن ندارد که فاز انقباض لزوماً زمان معکوس در فاز انبساط باشد. به‌علاوه، یکی از شاگردانم، ریموند لَفلَم، در یک مدل کمی پیچیده‌تر دریافت که رمبش جهان بسیار متفاوت با انبساط جهان بوده است. من متوجه شدم که اشتباه کرده‌ام. در واقع، شرط بدون مرز اشاره به آن دارد که در طول انقباض، بی‌نظمی همچنان رو به افزایش است. پیکان‌های زمان ترمودینامیک و روان‌شناختی هنگامی که جهان، انقباض دوبارهٔ خود را آغاز می‌کند و همچنین در داخل سیاه‌چاله‌ها، معکوس نمی‌شوند.

هنگامی که شما درمی‌یابید که چنین اشتباهی را مرتکب شده‌اید، چه عکس‌العملی از خود نشان می‌دهید؟ برخی افراد، مانند ادینگتن، هرگز نمی‌پذیرند که اشتباه کرده‌اند. آن‌ها در جست‌وجوی دلایلی، اغلب متناقض، برای اثبات مدعای خود هستند. دیگران ادعا می‌کنند از همان ابتدا آن‌ها حقیقتاً چنین نظر نادرستی را تأیید نکرده‌اند و اگر هم کرده‌اند، به این خاطر بوده است که ناهماهنگی آن را آشکار کنند. می‌توانم مثال‌های فراوانی از این نوع بزنم، ولی این کار را نمی‌کنم زیرا مورد بی‌مهری قرار خواهم گرفت. به نظر من بسیار بهتر و نیز آرام‌بخش‌تر خواهد بود که

www.ketabha.org

سخنرانی هفتم:نظریهٔ همه‌چیز

این که بتوان به «نظریه ای واحد» و کامل برای همه چیز دست‌یافت، بسیار دشوار خواهد بود. به همین دلیل تاکنون توانسته‌ایم فقط در یافتن نظریه‌های موضعی و محدود توفیقاتی به‌دست آوریم. این نظریه‌ها دامنهٔ محدودی از رویدادها را توضیح می‌دهند و رویدادهای دیگر را نادیده می‌گیرند. برای مثال، ما می‌توانیم در شیمی، برهم‌کنش اتم‌ها را بدون دانستن ساختمان داخلی هستهٔ اتم، محاسبه کنیم. ولی سرانجام امیدواریم بتوانیم به نظریه ای کاملاً واحد و یک‌پارچه دست یابیم که کلیهٔ این نظریه‌های موضعی و محدود را دربرگیرد. جست‌وجو برای چنین نظریه‌هایی، «وحدت فیزیک» نام گرفته است.

www.ketabha.org

انیشتین بخش اعظم اواخر عمر خود را بدون آنکه توفیقی به‌دست آورد، صرف یافتن نظریهٔ واحد کرد، ولی زمان برای این کار مقتضی نبود. در آن زمان در مورد نیروهای هسته‌ای بسیار کم می‌دانستند. به‌علاوه، به‌رغم نقش بزرگی که وی در پیشرفت مکانیک کوانتومی بازی کرد، از پذیرش واقعیت آن سر باز زد. درحالی‌که به نظر می‌رسد اصل عدم قطعیت ویژگی اساسی جهانی است که در آن زندگی می‌کنیم؛ بنابراین نظریهٔ واحدی که بخواهد موفق باشد، باید به این اصل توجه کافی داشته باشد.

دورنمای یافتن چنین نظریه‌ای اکنون بسیار بهتر از گذشته به نظر می‌رسد؛ زیرا ما اکنون دربارهٔ جهان بسیار می‌دانیم. ولی از اعتماد به نفس بیش از حد باید پرهیز کنیم. در گذشته و در این خصوص، نظریات و برداشت های دروغینی وجود داشته است. برای مثال، در آغاز قرن بیستم، چنین تصور می‌شد که همه چیز می‌تواند بر اساس خواص «مادهٔ پیوسته» مانند الکتریسیته و رسانش گرما توضیح داده شود. کشف ساختمان اتم و اصل عدم قطعیت به این تصور خاتمه داد. سپس، در سال ۱۹۲۸، «ماکس بورن» برای گروهی از حاضران در دانشگاه گوتینگن چنین گفت: «فیزیکی که ما می‌شناسیم تا شش ماه دیگر به آخر می‌رسد.» اطمینان خاطرش از این حرف بر اساس کشف جدیدی بود که به‌وسیله معادلهٔ دیراک رفتار الکترون توضیح داده می‌شد. چنین تصور می‌شد که معادله‌ای مشابه آن، رفتار پروتون را توضیح خواهد داد. در آن زمان پروتون تنها ذرهٔ دیگر اتم تصور می‌شد و با توضیح آن فیزیک نظری دیگر پایان می‌یافت. ولی کشف نوترون و نیروهای هسته‌ای این تصور را با سر بر زمین کوفت.

علی رغم آنچه گفتم، من هنوز بر این اعتقادم که زمینه‌هایی برای خوش‌بینی محتاطانه وجود دارد که ما احتمالاً نزدیک به پایان پژوهش‌های خود در مورد «قوانین نهایی طبیعت» هستیم. در حال حاضر، تعدادی نظریه محدود وجود دارد. ما نظریهٔ نسبیت عام، نظریهٔ محدود گرانش و نظریه‌های محدودی را در مورد نیروهای هسته‌ای، ضعیف، قوی و الکترومغناطیس در دست داریم. سه نظریهٔ محدود آخر می‌توانند به هم بپیوندند و نظریهٔ واحد بزرگ را تشکیل دهند. ولی این پیوستن کافی نیست؛ زیرا گرانش را شامل نمی‌شود. اشکال اصلی در یافتن نظریه‌ای که بتواند

www.ketabha.org

گرانش را با نیروهای دیگر متحد کند، آن است که نظریهٔ نسبیت عام یک نظریهٔ کلاسیک است؛ یعنی نمی‌تواند اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتومی را بپذیرد. از طرف دیگر، سایر نظریه‌های محدود به طریقی ضروری وابسته به مکانیک کوانتومی هستند؛ بنابراین نخستین قدم متحد کردن نظریهٔ نسبیت عام با اصل عدم قطعیت است. ولی همان‌گونه که مشاهده شد، این اتحاد می‌تواند پیامدهایی داشته باشد، از آن جمله سیاه‌چاله‌ها نمی‌توانند دیگر سیاه باشند و جهان به‌طور کامل بدون مرز خواهد بود. مشکلی که به‌وجود می‌آید آن است که اصل عدم قطعیت چنین معنی می‌دهد که حتی فضای خالی پر از زوج، ذرات مجازی و پادذرات است. این زوج‌ها دارای انرژی نامحدودی هستند و این بدان معناست که کشش گرانشی آن‌ها، جهان را به حدی خمیده می‌کند که جهان به‌صورتی نامحدود کوچک می‌شود. ظاهراً به‌صورتی مشابه، نامتناهی بودن‌های باطلی در سایر نظریه‌های کوانتومی روی می‌دهد. ولی در این نظریه‌ها مقادیر نامتناهی می‌تواند با فرایندی به نام عادی‌سازی (بازیهنجارش) مجدد حذف شود. گرچه این تکنیک تا حدودی تکنیکی ریاضی است، ولی به نظر می‌رسد که به‌صورت عملی کارآیی دارد. می‌توان از طریق آن پیش‌بینی‌هایی انجام داد که با دقتی بسیار زیاد با مشاهدات هم‌خوانی دارند. ولی بازبهنجارش از آن جهت که در پی یافتن نظریه ای کامل است دارای نقطهٔ ضعفی جدی است. هنگامی که بی‌نهایت را از بی‌نهایت کم می‌کنید، پاسخ می‌تواند هر آن چیزی باشد که شما می‌خواهید. این بدان معناست که مقدار ماده و توان‌مندی نیروها را از طریق تئوری نمی‌توان پیش‌بینی کرد. در عوض، آن‌ها باید به طریقی انتخاب شوند که با مشاهدات هم‌خوانی داشته باشند. در مورد نظریهٔ نسبیت عام، فقط دو کمیت قابل تطبیق وجود دارد: «قدرت گرانش» و «مقدار ثابت کیهان‌شناختی». ولی تطبیق این‌ها برای حذف تمامی بی‌نهایت‌ها کافی نیست؛ بنابراین نظریه‌ای وجود دارد که می‌تواند پیش‌بینی کند کمیت‌های معینی، مانند انحنای فضا – زمان، حقیقتاً نامتناهی هستند؛ ولی این کمیت‌ها می‌توانند مشاهده شوند و متناهی بودن آن‌ها سنجیده شود. برای غلبه بر این مشکل، نظریه‌ای به نام «اَبَر گرانش» در سال ۱۹۷۶ ارائه شد. این نظریه در واقع شامل نسبیت عام به‌علاوه بر ذراتی اضافی بود.

در نسبیت عام می‌توان چنین تصور کرد که نیروی گرانشی به‌وسیلهٔ ذره‌ای با اسپین ۲، موسوم به گراویتون، حمل می‌شود. این ایده می‌تواند ذرات جدید دیگری با اسپین ۲/۳، ۱، ۲/۱ و صفر را

www.ketabha.org

شامل شود. به تعبیری، تمام این ذرات می‌توانند وجوه متفاوتی از همان «آبر ذره» باشند. زوج‌های ذره پادذرهٔ مجازی اسپین ۲/۱ و ۲/۳ دارای انرژی منفی هستند. آن‌ها گرایش به خنثی کردن انرژی مثبت زوج‌های ذرات مجازی با اسپین صفر، ۱ و ۲ را دارند. بدین طریق، بسیاری از مقادیر نامتناهی می‌شدند، ولی این تردید وجود داشت که برخی از مقادیر نامتناهی احتمالاً باقی بمانند؛ اما محاسبات مورد نیاز برای یافتن این مقادیر نامتناهی خنثی‌نشده به حدی طولانی و دشوار بود که هیچ‌کس انجام چنین کار دشواری را بر عهده نگرفت. حتی محاسبه شد که با به کار بردن کامپیوتر این محاسبات دست‌کم چهار سال به طول می‌انجامد. احتمال بسیاری وجود داشت که در محاسبه، یک اشتباه و شاید هم بیشتر رخ دهد. باید دانست فرد هنگامی می‌تواند بگوید که به پاسخ درست رسیده است که فرد دیگری محاسبات را انجام دهد و به همان پاسخ رسیده باشد و این احتمال کمتر وجود دارد. به سبب این مشکل، تغییر عقیده به نفع چیزی داده شد که آن را «نظریه‌های ریسمان» می‌گویند. بر اساس این نظریه‌ها، اجسام از ذراتی تشکیل نشده‌اند که نقطهٔ واحدی را در فضا اشغال کنند، بلکه همانند حلقهٔ طنابی بسیار نازک هستند که فقط طول دارند و فاقد ابعاد دیگرند. یک ذره در هر لحظه از زمان، نقطه‌ای از فضا را اشغال می‌کند. بدین ترتیب، تاریخچه‌اش می‌تواند به‌وسیلهٔ خطی در فضا – زمان موسوم به «جهان – خط» نشان داده شود. از طرف دیگر، یک ریسمان، در هر لحظه از زمان، خطی را در فضا اشغال می‌کند؛ بنابراین تاریخچهٔ آن در فضا – زمان سطحی دوبعدی به نام «جهان – صفحه» است. هر نقطه در چنین جهان – صفحه‌ای می‌تواند با دو رقم، یکی مشخص‌کنندهٔ زمان و دیگری مشخص‌کنندهٔ موقعیت نقطه بر روی ریسمان توضیح داده شود. جهان – صفحه یک ریسمان، یک استوانه یا لوله است. برش در لوله، دایره‌ای است که موقعیت ریسمان را در یک زمان خاص نشان می‌دهد.

دو تکه ریسمان می‌توانند به هم ملحق شوند و ریسمان واحدی به‌وجود آورند. آنها همانند شلواری هستند که دو ساق آن به هم چسبیده است. به همین ترتیب، یک تکه ریسمان می‌تواند به دو تکه ریسمان تقسیم شود. در نظریه‌های ریسمان، آنچه قبلاً ذرات تصور می‌شدند، اکنون به‌صورت امواج در ریسمان، همانند امواج بر روی طناب رخت، حرکت می‌کنند. گسیل یا جذب یک ذره به‌وسیلهٔ ذرهٔ دیگر، با جدا شدن یا متصل شدن ریسمان‌ها مطابقت دارد. برای مثال، اثر نیروی گرانشی خورشید بر زمین همانند لوله‌ای به شکل H صورت می‌گیرد. نظریهٔ ریسمان تا حدی تقریباً

www.ketabha.org

مشابه سیستم لوله‌کشی است. امواج واقع در طرفین عمودی H با ذرات موجود در خورشید و زمین در ارتباط است و امواج در خط عرضی در ارتباط با نوعی نیروی گرانشی است که بین آنها حرکت می‌کند.

نظریهٔ ریسمان دارای تاریخچهٔ عجیبی است. این نظریه در اصل به‌منظور یافتن نظریه‌ای برای توضیح نیروی هسته‌ای قوی، در اواخر دههٔ ۱۹۶۰ ابداع شد. ایدهٔ ارائه‌شده در این نظریه می‌گوید ذراتی مانند پروتون و نوترون را می‌توان مانند امواجی بر روی ریسمانی به‌شمار آورد. نیروی هسته‌ای قوی موجود در بین ذرات همانند تکه‌های ریسمانی -مشابه تار عنکبوت- بین قطعات دیگر کشیده شده‌اند. برای آنکه این نظریه عینیت بیشتر بیابد، نیروی هسته‌ای قوی بین ذرات، ریسمان‌هایی مانند نوارهای لاستیکی با قدرت کشش تقریباً ده تن تصور می‌شد.

در سال ۱۹۷۴، «ژوئل شرک» و «جان شوارتس» مقاله‌ای منتشر کردند و در آن نشان دادند که نظریهٔ ریسمان می‌تواند نیروی گرانشی را توضیح دهد، البته درصورتی‌که کشش ریسمان بسیار زیاد، تقریباً ۱۰۳۹ تن، باشد. پیش‌بینی‌های نظریهٔ ریسمان مشابه پیش‌بینی‌های نظریهٔ نسبیت عام در مقیاس طبیعی بود، با این تفاوت که در نظریهٔ ریسمان، مسافت‌ها بسیار کوچک یعنی کمتر از ۱۰-۳۳ بودند، ولی کار آنها چندان مورد توجه قرار نگرفت؛ زیرا در آن زمان، اکثر پژوهشگران نظریهٔ ریسمان، نیروی هسته‌ای قوی را رها کردند. شرک در شرایط غم‌انگیزی مرد. او مبتلا به بیماری دیابت بود، به حالت اغمای دیابتیک رفت و کسی در پیرامون او نبود که انسولین به او تزریق کند؛ بنابراین شوارتس تقریباً به‌عنوان یگانه طرفدار نظریهٔ ریسمان تنها ماند.

به نظر می‌رسد که به دو دلیل، علاقه به ریسمان‌ها در سال ۱۹۸۴ دوباره جان گرفت. نخست، پژوهشگران در مورد نشان دادن آنکه ابرگرانش متناهی است یا می‌تواند انواع ذره‌هایی را که مشاهده می‌کنیم، توضیح دهد پیشرفت چندانی نداشتند. دیگری چاپ مقاله‌ای به‌وسیله جان شوارتس و مایک گرین بود که نشان می‌داد نظریهٔ ریسمان می‌تواند وجود ذراتی مانند برخی از

www.ketabha.org

ذراتی را که مشاهده می‌کنیم را توضیح دهد که دارای چپ‌گردی سر خود هستند. تعداد بسیاری از پژوهشگران به هر دلیل ممکن، بی‌درنگ تحقیقات خود را روی نظریهٔ ریسمان آغاز کردند. تلقی جدیدی معروف به «ریسمان هتروتیک» توسعه یافت. به نظر می‌رسید که این ریسمان می‌توانست انواع ذراتی را که ما مشاهده می‌کنیم، توضیح دهد.

نظریه‌های ریسمان به مقادیر نامتناهی نیز می‌انجامند، ولی تصور می‌شود که در همگی آن‌ها، همانند ریسمان هتروتیک، این مقادیر حذف خواهند شد؛ اما نظریه‌های ریسمان مشکل بزرگ‌تری در پیش رو دارند. به نظر می‌رسد آن‌ها هنگامی می‌توانند پابرجا بمانند که فضا – زمان به‌جای چهار بُعد معمول، دارای ده یا بیست‌وشش بُعد باشد، البته در داستان‌های علمی ـ تخیلی وجود ابعاد اضافی در فضا – زمان امری معمول است. از جهات دیگر، این واقعیت که نظریهٔ نسبیت اشاره به آن دارد که نمی‌توان سریع‌تر از نور حرکت کرد، بدین معناست که باید زمان بسیاری صرف شود تا از این‌سو به آن‌سوی کهکشانی که در آن هستیم، سفر کنیم، چه رسد به کهکشان‌های دیگر. در داستان علمی ـ تخیلی ایده بدین‌صورت است که فرد می‌تواند از طریق بعدهای بالاتر، میان‌بر بزند. این موضوع را می‌توان به طریق زیر مجسم کرد. تصور کنید فضایی که ما در آن زندگی می‌کنیم، مانند یک دونات (شیرینی حلقوی) یا یک حلقه، فقط دارای دو بعد باشد. اگر شما در یک طرف حلقه باشید و بخواهید به نقطه‌ای در آن‌سوی حلقه بروید باید حلقه را دور بزنید ولی اگر قادر باشید که در بعد سوم سفر کنید می‌توانید از وسط حلقه میان‌بر بزنید.

اگر این بعدهای اضافی واقعاً وجود دارند چرا ما متوجه آن نمی‌شویم؟ چرا ما فقط سه بعد فضا و یک بعد زمان را می‌بینیم؟ فرض بر آن است که سایر بعدها در فضایی بسیار کوچک به‌اندازهٔ یک میلیون میلیون میلیون میلیون میلیونیوم یک اینچ حلقه شده‌اند. این مقدار به حدی کوچک است که نمی‌توانیم متوجه آن شویم. ما فقط سه بعد فضا و یک بعد زمان را که فضا – زمان در آن به‌طور کامل مسطح است، مشاهده می‌کنیم. می‌توان آن را مشابه سطح یک پرتقال تصور کرد اگر آن را از نزدیک مشاهده کنیم تمام سطح آن خمیده و چین‌خورده است، ولی اگر آن را از فاصله‌های دور نگاه کنیم، ناهمواری‌ها را نخواهیم دید و سطح آن صاف و یکنواخت به نظر می‌رسد. در مقیاس بسیار کوچک، سطح، ده‌بعدی و بسیار خمیده است. ولی در مقیاس‌هایی بزرگ‌تر،

www.ketabha.org

خمیدگی یا بعدهای اضافی دیده نمی‌شوند.

اگر تصویر ارائه‌شده درست باشد، برای مسافران آینده خبرهای بدی در پیش است. بعدهای اضافی بسیار کوچک‌تر از آن هستند که سفینهٔ فضایی بتواند وارد آن شود. در اینجا مشکل دیگری ظاهر می‌شود. چرا برخی، نه همهٔ بعدها در گوی کوچکی حلقه می‌شوند؟ قاعدتاً در جهان بسیار آغازین تمام بعدها بسیار خمیده بوده‌اند. چرا سه بعد فضا و یک بعد زمان مسطح شده‌اند، درحالی‌که سایر بعدها کاملاً به‌صورت حلقوی باقی مانده‌اند؟

یک پاسخ احتمالی «اصل انسانی» است. به نظر می‌رسد فضای دوبعدی برای سیر تکامل موجودات پیچیده‌ای مانند ما کافی نیست. برای مثال، انسان‌های دوبعدی که روی زمینی یک‌بعدی زندگی می‌کنند، برای عبور از کنار هم باید از روی همدیگر عبور کنند. اگر موجودی دوبعدی چیزی بخورد، به‌طور کامل هضم نخواهد شد و باقیماندهٔ آن را باید از همان مسیری که بلعیده است بالا بیاورد زیرا اگر مجرایی درون بدنش وجود داشته باشد بدن او را دو قسمت می‌کند و موجود دوبعدی از هم جدا می‌شود. همچنین تجسم داشتن دستگاه گردش خون در یک موجود دوبعدی امری دشوار است. داشتن بیش از سه بعد فضایی نیز مشکلاتی به‌وجود می‌آورد. با ازدیاد فاصلهٔ بین دو جسم، نیروی گرانشی، در مقایسه با حالت سه‌بعدی، به‌سرعت کاهش می‌یابد و این بدان مفهوم است که مدار سیارات از جمله زمین، به دور خورشید ناپایدار می‌شوند. کمترین اختلال در مدار، مانند آنچه به‌وسیلهٔ کشش گرانشی سایر سیارات به‌وجود می‌آید، موجب می‌شود که زمین به‌صورت مارپیچ یا از خورشید دور شود یا به‌سوی آن حرکت کند. ما یا از سرما منجمد می‌شویم یا از گرما برشته خواهیم شد. در واقع همین تغییر رفتار گرانشی بر اثر فاصله، موجب آن می‌شود که خورشید نیز ناپایدار شود. در آن صورت یا خورشید از هم می‌پاشد و یا می‌رمبد (فرو می‌ریزد) و به سیاه‌چاله تبدیل می‌شود. در هر دو صورت، به‌عنوان منبع گرما و نور برای حیات بر روی زمین ارزشی ندارد. با همین مقیاس، نیروهای الکتریکی که موجب گردش الکترون‌ها به دور هستهٔ اتم می‌شوند، به طریق نیروهای گرانشی رفتار می‌کنند. در نتیجه، الکترون‌ها یا از اتم می‌گریزند

www.ketabha.org

یا به‌صورت مارپیچ به درون هسته فرو می‌روند. در هر دو حالت، نمی‌توانیم اتم‌هایی به آن صورت که می‌شناسیم داشته باشیم.

روشن به نظر می‌رسد که حیات، دست‌کم حیاتی که ما می‌شناسیم، می‌تواند فقط در مناطقی از فضا – زمان وجود داشته باشد که سه بعد فضا و یک بعد زمان آن به‌صورت حلقه‌های کوچک درنیامده باشند. نظریهٔ ریسمان دست‌کم وجود چنین مناطقی را در جهان ممکن می‌داند. در واقع هر نظریهٔ ریسمانی چنین مناطقی را ممکن می‌داند. ممکن است مناطق دیگری در جهان ما یا جهان‌های دیگر (با هر مفهومی) وجود داشته باشند که تمامی بعدها در آن‌ها به‌صورت حلقه‌های کوچک درآمده یا دارای بیش از چهار بعد تقریباً مسطح باشند. ولی موجوداتی هوشمند در چنین مناطقی وجود نخواهند داشت تا شاهد تعداد مختلفی از بعدهای خیره‌کننده باشند.

علاوه بر مسئلهٔ تعداد بعدهایی که به نظر می‌رسد در فضا – زمان موجود است، نظریهٔ ریسمان دارای چند مسئلهٔ دیگر نیز هست که پیش از آنکه به‌عنوان نظریهٔ واحد و نهایی در فیزیک مورد تأیید قرار گیرد، باید مسائل مزبور حل شوند. هنوز ما نمی‌دانیم که تمامی مقادیر نامتناهی همدیگر را خنثی می‌کنند یا دقیقاً امواج روی ریسمان چگونه با انواع ذرات خاصی که مشاهده می‌کنیم، در ارتباطند. بااین‌وجود احتمال دارد که پاسخ به این پرسش‌ها در آیندهٔ نزدیک داده شود و نظریهٔ ریسمان به آرزوی دیرین نظریهٔ یک‌پارچه در فیزیک پاسخ دهد.

آیا می‌تواند نظریهٔ واحد و یک‌پارچه‌ای برای همه چیز وجود داشته باشد؟ یا ما در پی یک سراب هستیم؟ به نظر می‌رسد که در این مورد سه امکان وجود دارد:

– یک نظریهٔ واحد و کامل وجود دارد که اگر به‌قدر کافی هوشمند باشیم، روزی آن را خواهیم یافت.

www.ketabha.org

- نظریه‌ای نهایی برای جهان هستی وجود ندارد. نظریه‌های بی‌پایانی در پس هم می‌آیند و با دقت بیشتری جهان هستی را تبیین می‌کنند.

- برای جهان هستی هیچ‌گونه نظریه‌ای وجود ندارد. رویدادها بیشتر از حد معینی نمی‌توانند پیش‌بینی شوند و پس از آن رخدادها به‌صورت تصادفی و دلخواهانه روی می‌دهند.

برخی ممکن است در مورد امکان سوم چنین استدلال کنند که اگر در جهان قوانین کامل و بی‌نقصی وجود داشته باشد، در آن صورت اختیار خداوند برای مداخله در کار جهان، نادیده گرفته می‌شود. این قضیه مانند آن پارادوکس قدیمی است که می‌گوید: آیا خداوند می‌تواند سنگی را چنان سنگین بیافریند که خودش نتواند آن را بلند کند؟ ولی این ایده که ممکن است خداوند بخواهد تغییر رأی دهد، نوعی به اشتباه انداختن دیگران است که سنت اوگوستین آن را ابراز کرده است با این تصور که خداوند موجودی است که در داخل زمان به سر می‌برد. زمان ویژگی منحصر به فردی است که خداوند آن را خلق کرده است. قاعدتاً او هنگام آفرینش زمان از نیت خودآگاه بود و می‌دانست به چه قصدی آن را آفریده است.

با ظهور مکانیک کوانتومی ما به این دریافت رسیده‌ایم که نمی‌توان رویدادها را با دقت کامل پیش‌بینی کرد و همواره مقداری عدم قطعیت وجود دارد. شخص اگر مایل باشد، می‌تواند این رویدادهای تصادفی را به مداخلات خداوند نسبت دهد. ولی این نوع مداخلات بسیار عجیب به نظر می‌رسند. مدرکی وجود ندارد که این مداخلات قصد و نیت مشخصی را نشان دهند. اگر قصد و نیتی وجود می‌داشت، در آن صورت دیگر تصادف نبود. در عصر جدید، با تعریفی مجدد از هدف‌های علم، امکان سوم برای جهان هستی هیچ‌گونه نظریه‌ای وجود ندارد- کاملا کنار گذاشته شده است. اکنون هدف ما جمع بندی مجموعه‌ای از قوانین است که ما را قادر سازد رویدادها را در حد اصل عدم قطعیت پیش‌بینی کنیم.

www.ketabha.org

امکان دوم، «نظریه‌های بی‌پایانی که در پی هم می‌آیند»، با کلیهٔ تجارب کنونی ما هم‌خوانی دارد. در بسیاری از موقعیت‌ها، حساسیت‌های اندازه‌گیری و سنجش خود را افزایش داده‌ایم و یا برای کشف پدیده‌های جدید که با نظریه‌های موجود نیز قابل پیش‌بینی بودند، گروهی از مشاهدات جدید را پایه‌ریزی کردیم. برای دستیابی به این منظور، می‌بایست نظریهٔ پیشرفته‌تری را ارائه دهیم بنابراین جای تعجب نیست اگر دریابیم که نظریه‌های یک‌پارچه و بزرگ کنونی، هنگامی که به‌وسیلهٔ «شتاب‌دهنده‌های ذرات» بزرگ‌تر و نیرومندتر آزمایش می‌شوند، فرومی‌ریزند. در واقع اگر ما انتظار فرو ریختن آن‌ها را نداشتیم، در آن صورت، موردی برای صرف آن همه سرمایه جهت ساختن ماشین‌های قدرتمندتر وجود نداشت.

به نظر می‌رسد که گرانش ممکن است برای این توالی نظریه‌ها محدودیت ایجاد کند. اگر ذره‌ای ارائه شود که انرژی آن بیشتر از «انرژی پلانک» ۱۰۱۹ ۱۰۱۹) GeV گیگاالکترون ولت) باشد، جرم آن چنان فشرده و متراکم خواهد بود که می‌تواند بقیهٔ جهان را بشکافد و از آن عبور کند و سیاه‌چالهٔ کوچکی به‌وجود آورد. بدین ترتیب، به نظر می‌رسد که توالی نظریه‌های بیشتر و بیشتر، همچنان که ما به انرژی‌های بالاتری دست می‌یابیم، باید دارای حد و مرزی باشند. باید نظریه‌ای نهایی برای جهان وجود داشته باشد. البته انرژی پلانک فاصله بسیار زیادی با انرژی‌های حدود یک GeV دارد که بیشترین انرژی است که ما می‌توانیم در حال حاضر در آزمایشگاه به‌دست آوریم. برای پر کردن این شکاف و دستیابی به انرژی پلانک، نیاز به شتاب‌دهنده‌ای ذره‌ای داریم که از منظومهٔ شمسی بزرگ‌تر باشد. تأمین هزینهٔ ساخت چنین شتاب‌دهنده‌ای با توجه به جوّ کنونی اقتصاد، دور از ذهن به نظر می‌رسد.

مراحل بسیار اولیهٔ جهان، عرصه‌ای بوده است که می‌بایست چنین انرژی‌هایی در آن به‌وجود آمده باشد. من تصور می‌کنم موقعیت مناسبی است که با بررسی جهان آغازین و سازگاری ریاضیات مورد نیاز بتوانیم به نظریهٔ واحد کاملی دست یابیم، البته با احتمال اینکه قبل از آن خود را نابود نکرده باشیم!

www.ketabha.org

اگر ما عملاً نظریهٔ نهایی جهان هستی را کشف کنیم، چه معنایی از آن استنباط می‌شود ؟ فصل طولانی و شکوه‌مندی در تاریخ تلاش‌های ما برای شناخت جهان پایان می‌یابد. البته این کشف تحولی اساسی در شناخت مردم عادی در خصوص قوانین حاکم بر جهان نیز به ارمغان می‌آورد. در زمان نیوتن این امکان وجود داشت که یک فرد تحصیل‌کرده، دست‌کم در کلیات، دریافتی از دانش بشری به‌دست آورد. ولی از آن زمان به بعد، سرعت پیشرفت علم این امر را غیرممکن کرد. نظریه‌ها برای توضیح مشاهدات جدید همواره در حال تغییر بودند. آن‌ها هرگز به‌طور کامل آسان‌فهم نمی‌شدند، به‌گونه‌ای که مردم عادی بتوانند آن‌ها را درک کنند. برای فهم این نظریه‌ها لازم بود شما متخصص باشید و حتی آن زمان هم شما می‌توانستید امیدوار باشید که نسبت به بخش کوچکی از نظریه‌های علمی درک کاملی به‌دست آورده‌اید.

میزان پیشرفت چنان سریع بود که آنچه شخص در دبیرستان یا دانشگاه می‌آموخت، همواره کمی کهنه و فاقد اعتبار بود. فقط افراد معدودی می‌توانستند خود را با مرزهای دانشی که به‌سرعت در حال پیشرفت بود، هماهنگ کنند. لازم بود آن‌ها تمام اوقات خود را وقف علم کنند و سپس در بخش کوچکی از علم متخصص شوند. بقیهٔ مردم تصوری از پیشرفت‌های صورت‌گرفته و هیجانات ناشی از آن نداشتند.

هفتاد سال پیش بر اساس اعتقاد ادینگتن، فقط دو تن نظریهٔ نسبیت عام را درک کرده بودند. اکنون ده‌ها هزار تن از فارغ‌التحصیلان دانشگاه نظریهٔ نسبیت را درک می‌کنند و میلیون‌ها نفر از مردم حداقل با آن آشنا هستند. اگر نظریهٔ یک‌پارچهٔ کاملی کشف شود، همانند نظریهٔ نسبیت، با گذشت زمان درک و آسان‌فهم خواهد شد. بدین ترتیب، همگی ما درکی از قوانین حاکم بر جهان و حاکم بر موجودیت خود خواهیم داشت.

www.ketabha.org

انیشتین زمانی پرسشی را مطرح کرد: «خداوند در ساختن جهان، چه مقدار حق انتخاب داشته است؟» اگر طرح بدون مرز درست باشد، نمی‌توان از آزادی انتخاب برای شرایط آغازین سخن گفت. البته خداوند همچنان مختار بوده است که قوانین حاکم بر جهان را انتخاب کند. ممکن است یک نظریه یا تعداد اندکی نظریه‌های یک‌پارچه و کامل خودکفا وجود داشته باشند که ظهور موجودات متفکر را اجازه دهند.

تا این زمان، اکثر دانشمندان به‌حدی مشغول و درگیر تبیین نظریه‌های جدید ـ که چگونگی ماهیت جهان را توضیح می‌دهند ـ بوده‌اند که فرصتی برای چرایی‌ها به‌دست نیامده است. از طرف دیگر، افرادی که شغل‌شان پرسیدن چرایی‌هاست، یعنی فیلسوفان، قادر نبوده‌اند خود را با پیشرفت نظریه‌های علمی هماهنگ کنند. در قرن هجدهم، فیلسوفان کلیهٔ دانش بشری، از جمله علوم تجربی را مورد توجه و میدان عمل خود قرار می‌دادند. آن‌ها دربارهٔ پرسش‌هایی مانند آیا جهان هستی آغازی دارد، بحث و گفت‌وگو می‌کردند، ولی در قرن نوزدهم و بیستم، علوم جز برای معدودی متخصص، برای فیلسوفان و افراد دیگر بسیار پیچیده و فنی بود و بر پایهٔ ریاضیات قرار می‌گرفت. فیلسوفان دامنهٔ پرسش‌های خود را به‌حدی تقلیل دادند که ویتگنشتاین نامدارترین فیلسوف قرن بیستم گفت: «تنها کاری که برای فیلسوفان باقی مانده است، تحلیل زبان است.» چه فرودی از حدیث بزرگ فلسفه از ارسطو تا کانت!

اگر به نظریهٔ واحد کاملی برسیم، قواعد اصلی آن، دیر یا زود به‌صورتی گسترده برای همه کس قابل درک، فهم و تحلیل خواهد شد. در آن زمان است که همگی قادر خواهیم بود تا به این پرسش که «چرا» جهان به‌وجود آمده است، پاسخ دهیم. اگر این پاسخ را بیابیم، انسان ها، پیروز این میدان خواهند بود و در آن هنگام ات که معرفتمان به خداوند باری تعالی، بیش‌تر و بیش‌تر می‌شود.

www.ketabha.org