نظریهٔ همه چیز

استفن هاوکینگ

ترجمهٔ ابوالفضل حقیری

نظریهٔ همه چیز

استفن هاوکینگ

ترجمهٔ ابوالفضل حقیری

Kasian Karimzadeh

نظریه‌ی همه چیز

نوشته: استفن هاوکینگ

ترجمه: ابوالفضل حقیری

مؤسسهٔ انتشارات حکمت

حق انتشار الکترونیک برای «فیدیبو» محفوظ است

Hawking, Stephen William هاوکینگ، استیفن ویلیام ، ۱۹۴۲ ـ م
نظریهٔ همه چیز/استفن هاوکینگ؛ ترجمه ابوالفضل حقیری قزوینی
۱۲۸ص
شابک:978-600-5492-02-6
فهرست‌نویسی‌براساس‌اطلاعات‌فیپا
عنوان اصلی:
The theory of everything: the origin and fate of the universe, c2002
کیهان شناسی، علوم ـ ـ فلسفه
حقیری، ابوالفضل، ۱۳۳۸ ـ مترجم
رده‌بندی کنگره:۱۳۸۸ ۶ ن ۲ ه/QB۹۸۵
رده‌بندی‌دیویی: ۵۲۳/۱
شماره کتابخانه‌ملی:۱۶۴۶۰۷۹

مقدمه

در این سخنرانی‌ها کوشش خواهم کرد تا از آنچه به نام تاریخ عالم از مِهبانگ(۱) تا سیاه‌چاله‌ها(۲) می‌شناسیم تصویری ارائه کنم. در سخنرانی نخست، به اختصار آراء گذشتگان را درباره عالم بررسی خواهم کرد و خواهیم دید که چگونه به تصویر کنونی خود رسیده‌ایم، که می‌توان آن را «تاریخِ تاریخ عالم» نامید.
در سخنرانی دوم، شرح خواهم داد که چگونه هر دو نظریه گرانش نیوتون(۳) و اینشتین(۴) منجر به این نتیجه شد که عالم نمی‌تواند ایستا باشد؛ عالم باید یا در حال انبساط باشد یا در حال انقباض. این، به‌نوبه خود، نشان می‌دهد که در زمانی بین ده تا بیست‌میلیارد سال پیش چگالی عالم بی‌نهایت بوده است. این [زمان] را «مِهبانگ» می‌نامند، که باید آغاز عالم بوده باشد.
در سخنرانی سوم درباره سیاه‌چاله‌ها سخن خواهم گفت. سیاه‌چاله‌ها هنگامی تشکیل می‌شوند که ستاره‌ای پُرجرم یا جسمی سنگین‌تر از آن تحت کشش گرانشی خود در خود رُمبش می‌کند. بر اساس نظریه نسبیت اینشتین، هر کس آنقدر احمق باشد که در سیاه‌چاله بیفتد تا ابد گم خواهد شد و هرگز قادر نخواهد بود دوباره از سیاه‌چاله بیرون بیاید. در مقابل، تاریخ، تا آنجا که به او مربوط می‌شود، در «تکینگی»(۵) به پایان دشوار خود خواهد رسید. اما نسبیت عام نظریه‌ای کلاسیک است ـ یعنی، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ(۶) در مکانیک کوانتومی را در نظر نمی‌گیرد.
در سخنرانی چهارم شرح خواهم داد که بر اساس مکانیک کوانتمی چگونه ممکن است که انرژی از سیاه‌چاله به بیرون نشت کند. سیاه‌چاله‌ها چندان هم سیاه به نظر نمی‌رسند.
در سخنرانی پنجم، نظرات مکانیک کوانتمی را در مورد مِهبانگ و مبدأ جهان به کار خواهم برد. با این کار به این نتیجه می‌رسیم که ممکن است فضاـ زمان گستره محدودی داشته باشد اما مرز یا لبه‌ای نداشته باشد؛ مانند سطح زمین، اما با دو بعد بیشتر.(۷)
در سخنرانی ششم، نشان خواهم داد که با این پیشنهادِ مرزی جدید چگونه می‌توان توضیح داد چرا با آنکه قوانین فیزیک نسبت به زمان متقارنند گذشته این همه با آینده متفاوت است.
سرانجام، در سخنرانی هفتم، شرح خواهم داد که ما چگونه تلاش می‌کنیم نظریه متحدالشکلی بیابیم که شامل مکانیک کوانتمی، گرانش و تمام برهمکنش‌های(۸) دیگر فیزیک شود. اگر در این کار توفیق یابیم، به راستی جهان و جایگاه خود را در آن درک خواهیم کرد.

سخنرانی نخست

نظراتی درباره عالم

حدود ۳۴۰ سال قبل از میلاد، ارسطو در کتابش، در آسمان(۹)، دو برهان خوب مطرح ساخت که نشان می‌داد زمین مانند صفحه تخت نیست بلکه مانند توپی گرد است. نخست، او فهمید که علت خسوف (ماه‌گرفتگی) آن است که زمین میان خورشید و ماه قرار می‌گیرد. سایه زمین روی ماه همواره مدور است و این تنها در صورتی ممکن است که زمین کروی باشد. اگر زمین مانند دیسکی تخت بود، سایه زمین می‌بایست کشیده و بیضوی می‌شد، مگر آنکه خسوف همواره در زمانی روی می‌داد که خورشید درست بالای مرکز دیسک قرار داشت.
دوم، یونانیان در سفرهای دریایی خود فهمیده بودند که وقتی در جنوب به ستاره قطبی نگاه می‌کنند، نسبت به زمانی که در مناطق شمالی‌تر به آن می‌نگرند، در ارتفاع پایین‌تری در آسمان پدیدار می‌شود. حتی ارسطو تخمینی را نقل کرده است که بر اساس اختلاف در وضعیت ظاهری ستاره قطبی در مصر و یونان مسافت دور زمین چهارصد هزار استادیا(۱۰) است. دقیقاً معلوم نیست طول یک استادیوم(۱۱) چقدر بوده است، اما شاید حدود دویست یارد(۱۲) بوده است. با این حساب تخمین ارسطو در حدود دو برابر رقم فعلی است.
یونانیان برهان سومی هم برای گرد بودن زمین داشتند. آن هم در بیان علت اینکه چرا اول بادبان کشتی‌ای که از افق بالا می‌آید دیده می‌شود و پس از آن بدنه کشتی؟ ارسطو فکر می‌کرد زمین ثابت است و خورشید، ماه، سیارات و ستاره‌ها در مدارهای دایروی به دور زمین می‌گردند. او به این مسأله باور داشت و به دلایل عرفانی حس می‌کرد زمین مرکز عالم و حرکت دایروی کامل‌ترین حرکت است.
بطلمیوس در قرن نخست میلادی، این فکر را به صورت یک مُدل کامل کیهان‌شناختی درآورد. زمین در مرکز قرار داشت و هشت فلک، که ماه، خورشید، ستاره‌ها و پنج سیاره شناخته شده در آن زمان، یعنی عطارد، زهره، مریخ، مشتری و زحل را حمل می‌کردند، آن را احاطه کرده بودند. برای آنکه بتوان مسیرهای نسبتاً پیچیده رصدشده سیارات را در آسمان توضیح داد، سیارات روی دایره‌های کوچک‌تری که به فلک‌های مربوط به آنها متصل بودند، حرکت می‌کردند. بیرونی‌ترین فلک ثوابت (ستاره‌ها) را حمل می‌کرد که همیشه نسبت به یکدیگر در یک وضعیت باقی می‌ماندند اما همراه با هم در آسمان می‌گشتند. آنچه آن سوی فلک آخرین قرار داشت، هرگز خیلی روشن نشده بود، اما یقیناً بخشی از عالم مشاهده‌شده نوع بشر نبود.(۱۳)
مُدل بطلمیوس، نظامی برای پیش‌بینی وضعیت اجرام سماوی در آسمان فراهم آورده بود که به طرزی معقول دقیق بود. اما بطلمیوس برای آنکه پیش‌بینی‌هایش درست از آب درآید، مجبور بود فرض کند که ماه مسیری را دنبال می‌کند که گاهی آن را نسبت به سایر اوقات دوبرابر به زمین نزدیک‌تر می‌سازد. یعنی باید گاهی ماه دو برابر بزرگ‌تر از آنچه معمولاً به نظر می‌رسد دیده شود. بطلمیوس از این نقص آگاه بود؛ اما مُدل وی را عموماً (و نه کاملاً) پذیرفته بودند. کلیسای مسیحی آن را به مثابه تصویری از جهان که با کتاب مقدس انطباق دارد پذیرفت. مُدل بطلمیوس

دارای این مزیت بزرگ بود که بیرون از فلک ثوابت، جای زیادی برای بهشت و جهنم باقی می‌گذاشت.
اما، در ۱۵۱۴ میلادی، کشیش لهستانی نیکلاس کپرنیک(۱۴)، مُدلی به مراتب ساده‌تر را پیشنهاد کرد. کپرنیک در آغاز، به دلیل هراس از تهمت بدعت، مُدل خود را به طور ناشناس منتشر ساخت. نظر وی این بود که خورشید در مرکز قرار دارد و ثابت است و زمین و سیارات در مدارهای دایروی به دور خورشید حرکت می‌کنند. متأسفانه نزدیک به یک قرن گذشت تا نظر کپرنیک را جدی بگیرند. دو اخترشناس- یکی آلمانی به نام یوهان کپلر(۱۵) و دیگری گالیلئو گالیله(۱۶) ایتالیایی- حمایت علنی از نظریه کپرنیک را آغاز کردند، هر چند مدارهایی که این نظریه پیش‌بینی می‌کرد کاملاً با آنچه رصد شده بود انطباق نداشت. مرگ نظریه ارسطویی- بطلمیوسی در سال ۱۶۰۹ میلادی از راه رسید. در آن سال، گالیله رصد آسمان شب را، با تلسکوپی که تازه اختراع شده بود، آغاز کرد.
گالیله، وقتی سیاره مشتری را رصد می‌کرد فهمید که مشتری چندین قمر یا ماه کوچک دارد که به دور آن می‌گردند. این موضوع نشان می‌داد که لازم نیست همه چیز، آن‌طور که ارسطو و بطلمیوس فکر می‌کردند، مستقیماً به دور زمین بگردد. البته باز هم می‌شد اعتقاد داشت که زمین در مرکز عالم ثابت است اما قمرهای مشتری در مسیرهایی چنان پیچیده به دور زمین می‌چرخند، که به نظر می‌رسد به دور مشتری می‌گردند. اما نظریه کپرنیک بسیار ساده‌تر بود. در همان زمان، کپلر نظریه کپرنیک را با این پیشنهاد تغییر داد که سیارات بر روی مدار دایروی حرکت نمی‌کنند بلکه بر روی مداری بیضوی حرکت می‌کنند. این بار پیش‌بینی‌ها با رصدها انطباق داشتند. از نظر کپلر، مدارهای بیضوی فقط فرضیه‌ای خاص و در آن زمان تنفرآور بودند، زیرا بیضی‌ها خیلی کم‌تر از دایره‌ها کامل بودند. او، هر چند تقریباً تصادفی کشف کرد که مدارهای بیضوی با رصدها تناسب خوبی دارند، اما نتوانست این تصور را با نظر خود آشتی دهد، که نیروهای کششی سیارات را به حرکت در مدارهایی حول خورشید وا می‌دارند.
بعدها، یعنی در سال ۱۶۸۷ میلادی، وقتی نیوتون اصول ریاضی فلسفه طبیعی(۱۷) خود را منتشر ساخت، این پدیده توضیح داده شد. این کتاب، احتمالاً مهم‌ترین اثری است که تاکنون در علوم فیزیکی منتشر شده است. در این اثر، نیوتون نظریه حرکت اجسام در فضا و زمان را مطرح ساخته و ریاضیات لازم برای تجزیه و تحلیل آن حرکت‌ها را هم پدید آورده بود. به علاوه، نیوتون [در آن کتاب] قانون گرانش عمومی را وضع کرد. این قانون بیان می‌کند که هر جسم در عالم با نیرویی به سوی هر جسم دیگری کشیده می‌شود و هر چه اجسام پُرجرم‌تر و به یکدیگر نزدیک‌تر باشند این نیرو قوی‌تر است. همین نیرو سبب سقوط اجسام در زمین می‌شود. تقریباً یقین داریم که داستان سقوط سیبی بر سر نیوتون خیالی است. تنها چیزی که خود نیوتون در این‌باره گفته، یعنی نحوه رسیدن به اندیشه گرانش، این است که در حالتی فکورانه نشسته بود و ناگهان سقوط سیب را دیده است.
نیوتون خواست نشان دهد که بر اساس قانون وی، گرانش علت حرکت ماه در مدار بیضوی به دور زمین است و موجب می‌شود که زمین و سیارات مسیرهای بیضوی را به دور خورشید دنبال کنند. مُدل کپرنیکی از فلک‌های سماوی بطلمیوس و به همراه آن از این تصور که عالم دارای مرزی طبیعی است خلاص شد. به نظر نمی‌رسید که ثوابت با حرکت زمین به دور خورشید وضعیت نسبی خود را تغییر دهند. بنابراین طبیعی بود که فرض شود ثوابت اجرامی مانند

خورشید ما اما بسیار دورتر هستند. اینجا مسأله‌ای مطرح می‌شد نیوتون دریافت که بر اساس نظریه گرانشِ او ستاره‌ها باید یکدیگر را جذب کنند؛ بنابراین، ظاهراً نمی‌توانستند کلاً بی‌حرکت بمانند. آیا در جایی به سمت یکدیگر سقوط می‌کردند؟
نیوتون در نامه‌ای که در سال ۱۶۹۱ میلادی برای یکی دیگر از متفکران برجسته دوران خود، «ریچارد بنتلی»(۱۸)، نوشت ادعا کرد که اگر تعداد ستاره‌ها متناهی بود واقعاً چنین امری روی می‌داد. وی استدلال کرد که از سوی دیگر اگر تعداد ستاره‌ها نامتناهی باشد و کمابیش به طور یکنواخت در فضای نامتناهی توزیع شده باشند چنین اتفاقی نمی‌افتد، زیرا مرکزی وجود ندارد که ستاره‌ها در آن سقوط کنند. این برهان، نمونه‌ای است از خطاهایی که آدمی وقتی درباره نامتناهی سخن می‌گوید، ممکن است با آن مواجه شود.
در عالم نامتناهی هر نقطه‌ای را می‌توان مرکز پنداشت زیرا هر نقطه‌ای شماری نامتناهی در هر طرف خود دارد. بعدها فهمیدند که رویکرد صحیح آن است که وضعیتی متناهی را در نظر بگیریم که در آن تمام ستاره‌ها در یکدیگر سقوط می‌کنند. در این صورت، می‌توان پرسید خوب اگر ستاره‌های بیشتری را که تقریباً به طور یکنواخت در خارج از این ناحیه توزیع شده‌اند اضافه کنیم وضعیت چه تغییری می‌کند. بنابر قانون نیوتون، ستاره‌های اضافی در مقایسه با ستاره‌های نخستین هیچ تفاوتی ایجاد نمی‌کنند و بنابراین باز هم با همان سرعت سقوط خواهند کرد. هر تعداد ستاره که بخواهیم می‌توانیم اضافه کنیم، باز هم ستاره‌ها در همدیگر سقوط می‌کنند. اکنون می‌دانیم که نمی‌توان مدلی ایستا و نامتناهی از عالم داشت که در آن [نیروی] گرانش همیشه به صورت جاذبه باشد.
نکته جالب از حال و هوای عمومی فکری پیش از قرن بیستم این است که در آن زمان هیچ کس ادعا نکرده بود که عالم در حال انبساط یا انقباض است. همه پذیرفته بودند که عالم یا همیشه در حالتی بدون تغییر وجود داشته یا در زمانی متناهی در گذشته و (کمابیش) به همان شکلی که امروزه آن را می‌بینیم خلق شده است. دلیل این امر ممکن است تا حدی تمایل مردم به باور به حقایق ابدی و آرامشی باشد که با این تصور پیدا می‌کنند که هر چند خودشان پیر می‌شوند و می‌میرند اما عالم تغییر نمی‌کند.
حتی کسانی که پی بردند نظریه گرانش نیوتون نشان می‌دهد که عالم نمی‌تواند ایستا باشد تصور نمی‌کردند که ممکن است عالم در حال انبساط باشد. در عوض، آنها تلاش کردند تا نیروی گرانش را در فواصل بسیار دور به نیروی دافعه تبدیل کنند و نظریه را تغییر دهند. این کار بر پیش‌بینی آنها روی نحوه حرکت سیارات چندان اثری نمی‌گذاشت، اما امکان آن را فراهم می آورد که توزیع نامتناهی ستاره‌ها بین نیروهای جاذبه ستاره‌های نزدیک، با نیروهای دافعه ستاره‌های دورتر در تعادل باقی بمانند.
با وجود این، اکنون معتقدیم چنین تعادلی ناپایدار است. اگر ستاره‌ها در یک منطقه فقط اندکی به یکدیگر نزدیک شوند، نیروهای جاذبه میان آنها قوی‌تر شده و بر نیروهای دافعه غلبه می‌کند. یعنی ستاره‌ها به سقوط به سوی یکدیگر ادامه می‌دهند. از سوی دیگر، اگر ستاره‌ها کمی از یکدیگر دور شوند، نیروهای دافعه غالب می‌شود و آنها را از یکدیگر دورتر می‌شوند.
ایراد دیگر به عالم ایستای نامتناهی را معمولاً به فیلسوف آلمانی هاینریش اولبرس(۱۹) نسبت می‌دهند. در واقع، این مسأله را معاصران، نیوتون نیز مطرح ساخته بودند و مقاله اولبرس در سال ۱۸۲۳ میلادی نخستین مقاله‌ای نبود که در آن برهان‌های پذیرفتنی را در این باره مطرح

کرد، اما، نخستین مقاله‌ای بود که توجه زیادی را جلب کرد. مشکل آن است که در عالم ایستای نامتناهی تقریباً هر خط یا راستایی به سطحی روی ستاره‌ای می‌رسد. بدین‌ترتیب، انتظار می‌رود که کل آسمان حتی در شب به درخشندگی خورشید باشد. نقض برهان اولبرس آن بود که نور ستاره‌های دوردست را ماده‌ای حایل جذب می‌کرد و شدت آن را کاهش می‌داد. اما، اگر این طور بود، ماده حایل سرانجام چنان گرم می‌شد و به اندازه روشنایی ستاره‌ها برافروخته می‌شد.
تنها راه برای گریز از این نتیجه‌گیری،که کل آسمان شب باید به روشنایی سطح خورشید باشد، آن است که ستاره‌ها همیشه تابش نمی‌کردند، بلکه در زمانی متناهی در گذشته می‌تابیدند. در این صورت، ماده حایل ممکن است هنوز گرم نشده باشد، یا ممکن است هنوز نور ستاره‌های دوردست به ما نرسیده باشد. بنابراین به این پرسش می‌رسیم که در وهله نخست چه چیزی موجب شد که ستاره‌ها به کار بیفتند.

آغاز عالم

آغاز عالم برای مدت‌های طولانی مورد بحث بود. بر اساس برخی از کیهان‌شناسی‌های اولیه بنا بر عقیده یهودی، مسیحی، مسلمان، عالم در زمانی متناهی و نه چندان دور در گذشته آغاز شده است. برهان برای اعتقاد به چنین آغازی این احساس بود که برای توضیح وجود عالم باید علت نخستینی در کار باشد.
برهان دیگر را آگوستین قدیس(۲۰) در کتاب خود، شهر خدا(۲۱)، مطرح ساخت. او می‌گفت تمدن در حال پیشرفت است و ما می‌توانیم به خاطر بیاوریم هر کاری را چه کسی انجام داده یا هر فنی را چه کسی پدید آورده است. پس بنابراین نباید مدت زیادی از وجود انسان و تا حدی عالم گذشته باشد، چرا که در این‌صورت ما می‌بایست بیشتر از اینها پیشرفت می‌کردیم.
اگوستین قدیس بر اساس کتاب سفر پیدایش(۲۲) تاریخ ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد را برای خلقت جهان پذیرفت. جالب است که این تاریخ خیلی هم از پایان عصر یخبندان در حدود ۱۰.۰۰۰ سال قبل از میلاد دور نیست، یعنی زمانی که تمدن واقعاً آغاز شد. از سوی دیگر، ارسطو و اغلب فیلسوفان دیگر یونانی علاقه‌ای به اندیشه خلقت نداشتند، زیرا سبب مداخله الهی بسیاری می‌شد. آنها معتقد بودند که نژاد بشر و عالم اطراف او، همیشه وجود داشته و خواهد داشت. آنها همچنین برهان پیشرفت را که پیش از این شرح دادیم در نظر گرفته و با گفتن اینکه سیل‌ها یا فاجعه‌های متناوبی روی داده که مکرراً نژاد بشر را به آغاز تمدن بازگردانده، بدان پاسخ داده بودند.
وقتی اغلب مردم به جهانی اساساً ایستا و بدون تغییر معتقد بودند، این پرسش که آیا عالم آغازی داشته، در واقع پرسش متافیزیک یا الاهیات بود. می‌شد برای هر چه رصد می‌شد به یکی از این دو طریق توضیحی ارائه کرد. یا عالم از ازل وجود داشته، یا در زمان محدودی به چنان شکلی پدید آمده که گویی همیشه وجود داشته است. اما در سال ۱۹۲۹ میلادی ادوین هابل(۲۳) مشاهده مهمی انجام داد و آن این بود که به هر طرف که نگاه کنید ستاره‌های دوردست به سرعت از ما دور می‌شوند؛ به عبارت دیگر عالم در حال انبساط است. یعنی در زمان‌های پیش از این اجرام به یکدیگر نزدیک‌تر بوده‌اند. در واقع، به نظر می رسید زمانی در حدود ده تا بیست میلیارد سال پیش همه آنها دقیقاً در یک محل بوده‌اند.
این کشف سرانجام مسأله آغاز عالم را به عرصه علم آورد. مشاهدات هابل نشان می‌داد که زمانی

به نام «مهبانگ»(۲۴) بوده که عالم بی‌نهایت کوچک و بنابراین، بی‌نهایت چگال بوده است. اگر پیش از این زمان چیزی اتفاق افتاده باشد نمی‌توانسته بر آنچه در زمان حاضر روی می‌دهد اثری بگذارد. می‌توان وجود آن اتفاق را نادیده گرفت، زیرا پیامد مشاهده‌پذیری ندارد.
می‌توان گفت آغاز زمان مهبانگ بوده است؛ یعنی زمان‌های پیش از آن را نمی‌توان تعریف کرد. باید تأکید کرد که این آغاز زمان از آنچه پیشتر بررسی شده بود بسیار متفاوت است. در عالم بدون تغییر آغاز زمان چیزی است که باید از سوی موجودی بیرون از عالم به آن تحمیل شود. ضرورتی فیزیکی برای آغاز وجود ندارد. می‌توان تصور کرد که خدا عالم را در هر زمانی در گذشته آفریده است. از سوی دیگر، اگر عالم در حال انبساط باشد، شاید دلایل فیزیکی برای اینکه چنین آغازی در کار بوده است وجود داشته باشد. هنوز هم می‌توان اعتقاد داشت که خدا جهان را در لحظه مهبانگ آفریده است و حتی می‌توانسته آن را در زمانی دیرتر و چنان بیافریند که گویی مهبانگی در کار بوده. اما، فرض اینکه عالم قبل از مهبانگ آفریده شده بی‌معناست. عالم در حال انبساط [نیاز به] خالق را از میان نمی‌برد، بلکه تنها حدودی تعیین می‌کند برای زمانی که ممکن است او کار خود را انجام داده باشد.

سخنرانی دوم

عالم در حال انبساط

خورشید ما و همه ستاره‌های نزدیک بخشی از مجموعه عظیمی از ستاره‌ها به نام کهکشان راه شیری هستند. زمانی طولانی تصور بر این بود که راه شیری کل جهان است. در سال ۱۹۲۴ اخترشناس آمریکایی ادوین هابل نشان داد که کهکشان ما تنها کهکشان عالم نیست. در واقع کهکشان‌های دیگری نیز وجود دارند که میان آنها فضاهای تهی وسیعی وجود دارد. وی برای اثبات این موضوع نیاز داشت که فاصله ما تا این کهکشان‌ها را بداند. فواصل ستاره‌های نزدیک را می‌توانیم با رصد تغییر وضعیت آنها در حین چرخش زمین به دور خورشید پیدا کنیم.(۲۵) اما کهکشان‌های دیگر چنان دورند که بر خلاف ستاره‌های نزدیک واقعاً ثابت به نظر می‌رسند. بنابراین، هابل مجبور شد برای اندازه‌گیری فواصل بین کهکشانی از روش‌های غیرمستقیم استفاده کند.

روشنایی ظاهری ستاره(۲۶) به دو عامل بستگی دارد. درخشندگی(۲۷) و دوری آن از ما. در مورد ستاره‌های نزدیک می‌توانیم هم روشنایی ظاهری و هم فاصله آنها را اندازه‌گیری کنیم، بنابراین، می‌توانیم درخشندگی‌شان را به دست آوریم. و برعکس، اگر درخشندگی ستاره‌ها را در کهکشان‌های دیگر می‌دانستیم می‌توانستیم با اندازه‌گیری روشنایی ظاهری‌شان فاصله آنها را به دست آوریم. هابل ادعا کرد گونه خاصی از ستاره‌ها وجود دارند که وقتی برای اندازه‌گیری به اندازه کافی به ما نزدیک باشند درخشندگی یکسانی دارند. بنابراین، اگر چنین ستاره‌هایی را در کهکشان دیگری هم بیابیم می‌توانیم فرض کنیم که درخشندگی یکسانی دارند. بدین‌ترتیب، می‌توانیم فاصله آن کهکشان را محاسبه کنیم. اگر بتوانیم این کار را برای چند ستاره در یک کهکشان انجام دهیم و نتیجه محاسبات ما همیشه یکسان باشد، می‌توانیم به تخمین خود اطمینان داشته باشیم. بدین طریق، ادوین هابل فاصله نُه کهکشان مختلف را پیدا کرد.

اکنون می‌دانیم که کهکشان ما فقط یکی از صدها میلیارد کهکشانی است که می‌توان با استفاده از تلسکوپ‌های مدرن دید و هر کهکشان خود صدها میلیارد ستاره دارد. ما در کهکشانی زندگی می‌کنیم که قطری حدود صدهزار سال نوری دارد و به آهستگی می‌چرخد؛ ستاره‌ها در بازوهای مارپیچی آن تقریباً هر صد میلیون سال یک بار به دور مرکز آن می‌گردند. خورشید ما فقط یک ستاره معمولی و زردرنگ با اندازه متوسط در نزدیکی لبه بیرونی یکی از بازوهای مارپیچی آن است. ما یقیناً از زمان ارسطو و بطلمیوس، که می‌پنداشتیم زمین مرکز جهان است، راه درازی پیموده‌ایم.

ستاره‌ها چنان دورند که برای ما فقط نقطه‌های نورانی به نظر می‌رسند. ما نمی‌توانیم اندازه یا شکل آنها را تعیین کنیم. پس چگونه می‌توانیم انواع مختلف ستاره‌ها را از هم تفکیک کنیم؟ اکثریت عظیم ستاره‌ها فقط یک ویژگی مشخصه معین دارند که ما می‌توانیم مشاهده کنیم- رنگِ نور آنها. نیوتون کشف کرد که اگر نور خورشید از منشور بگذرد، مانند رنگین‌کمان، به رنگ‌های تشکیل‌دهنده خود (طیف)(۲۸) تجزیه می‌شود. با متمرکز ساختن تلسکوپ بر روی یک

ستاره یا کهکشان می‌توان به همین نحو طیف نور ستاره یا کهکشان را مشاهده کرد. ستاره‌های متفاوت طیف‌های متفاوتی دارند، اما روشنایی نسبی(۲۹) رنگ‌های مختلف، همیشه دقیقاً همان چیزی است که انتظار داریم در نور گسیل‌شده از جسمی ببینیم که بسیار داغ و برافروخته شده است. یعنی می‌توانیم دمای ستاره را از روی طیف نور آن تعیین کنیم. به علاوه، می‌بینیم که رنگ‌های بسیار خاصی در طیف ستاره‌ها دیده نمی‌شوند و این رنگ‌های خاص ممکن است از ستاره‌ای به ستاره دیگر متفاوت باشند. می‌دانیم که هر عنصر شیمیایی مجموعه‌ای از رنگ‌های بسیار خاص را جذب می‌کند. بدین‌ترتیب، با تعیین هر یک از رنگ‌هایی که در طیف ستاره وجود ندارند، می‌توانیم دقیقاً تعیین کنیم که در جو ستاره کدام عناصر وجود دارند.

در دهه ۱۹۲۰ که اخترشناسان نگاه کردن به طیف ستاره‌ها در کهکشان‌های دیگر را آغاز کردند، به نکته بسیار عجیبی برخورد کردند: همین مجموعه‌های خاص رنگ‌های ستاره‌ها، در کهکشان خود ما هم وجود داشتند، اما همه آن‌ها به میزان نسبتاً یکسانی به سوی انتهای قرمز طیف جابجا شده بودند. تنها توضیح معقول این نکته، آن بود که کهکشان‌ها از ما دور می‌شوند و به سبب اثر دوپلر(۳۰)، بسامد امواج نور آنها کاهش می‌یابد یا دچار جابجایی قرمز می‌شود. به صدای اتومبیلی که از خیابان می‌گذرد، گوش کنید. با نزدیک شدن اتومبیل، صدای موتور آن زیرتر می‌شود و صدای زیرتر به معنای آن است که بسامد امواج صوتی بالاتر رفته است؛ وقتی اتومبیل می‌گذرد و دور می‌شود، صدای آن بم‌تر می‌شود. رفتار نور یا امواج شعاعی هم مشابه همین است. در واقع، پلیس برای اندازه‌گیری سرعت اتومبیل‌ها با اندازه‌گیری بسامد تپش تکانه‌های امواج رادیویی که از آنها منعکس می‌شود، از پدیده داپلر استفاده می‌کند.

هابل پس از آن که وجود کهکشان‌های دیگر را اثبات کرد، سال‌ها وقت خود را صرف جدول‌بندی فاصله و مشاهده طیف آنها کرد. در آن سال‌ها، اغلب مردم انتظار داشتند که کهشکان‌ها به‌طور کاملاً کاتوره‌ای (تصادفی) حرکت کنند و بنابراین، به همان اندازه جابه‌جایی طیف‌ها به سمت قرمز می‌رود جابه‌جایی طیف‌های آبی هم داشته باشد. بنابراین، دریافتن این نکته که [طیف] تمام کهکشان‌ها دچار انتقال به سرخ(۳۱) می‌شود، کاملاً شگفت‌آور بود. از آن شگفت‌انگیزتر، نتیجه‌ای بود که هابل در سال ۱۹۲۹ میلادی منتشر کرد: حتی مقدار انتقال به سرخ کهکشان کاتوره‌ای نبود، بلکه در رابطه مستقیم با فاصله کهکشان از ما قرار داشت. یا، به عبارت دیگر، هر چه کهکشان دورتر بود، با سرعت بیشتری دور می‌شد. یعنی عالم نمی‌توانست آنچنان‌که پیش از آن، همه می‌پنداشتند ایستا باشد، بلکه در واقع در حال انبساط بود. فاصله میان کهکشان‌های مختلف همواره افزایش می‌یافت.

کشف اینکه عالم در حال انبساط است، یکی از انقلاب‌های فکری بزرگ در قرن بیستم بود. معما که حل شد، همه متحیر شدند که چرا قبلاً کسی به این فکر نیفتاده بود. نیوتون و دیگران می‌بایست می‌فهمیدند که عالم ایستا به سرعت و تحت تأثیر گرانش شروع به انقباض خواهد کرد. اما فرض کنید که عالم ایستا نیست، بلکه در حال انبساط است. اگر با سرعت نسبتاً کمی منبسط شود، نیروی گرانش سرانجام موجب توقف انبساط و سپس آغاز انقباض خواهد شد. اما اگر از سرعت بحرانی معینی تندتر منبسط شود، گرانش هرگز برای متوقف ساختن آن کافی نیست و عالم تا ابد به انبساط ادامه می‌دهد. موضوع تا حدی مانند زمانی است که کسی از سطح زمین موشکی را به سوی بالا شلیک می‌کند. اگر سرعت آن نسبتاً پایین باشد، گرانش سرانجام آن را متوقف کرده و موشک سقوط می‌کند. از سوی دیگر، اگر سرعت موشک از سرعت بحرانی معینی (حدود یازده

کیلومتر در ثانیه)(۳۲) بالاتر باشد، گرانش برای بازگرداندن آن به قدر کافی قوی نخواهد بود؛ بنابراین، تا ابد به دور شدن از زمین ادامه می‌دهد.
دانشمندان می‌توانستند این رفتار عالم را در هر زمانی در قرن نوزدهم، هجدهم، یا حتی اواخر قرن هفدهم بر اساس نظریه گرانش نیوتن پیش‌بینی کنند. اما اعتقاد به عالم ایستا چنان قوی بود که تا اوایل قرن بیستم دوام آورد. حتی اینشتین هنگامی که نظریه نسبیت عام را در سال ۱۹۱۵ فرمول‌بندی کرد، اطمینان داشت که عالم باید ایستا باشد. بنابراین، با وارد کردن به اصطلاح ثابت کیهان‌شناختی(۳۳) در معادلات، نظریه خود را تغییر داد تا این امر ممکن گردد. این یک نیروی جدید «ضدگرانش» بود که بر خلاف نیروهای دیگر از هیچ منبع خاصی سرچشمه نمی‌گرفت، بلکه در ذات فضا- زمان قرار داشت. «ثابت کیهان‌شناختی» وی موجب می‌شد که فضا- زمان تمایلی ذاتی به انبساط داشته باشد و کاری می‌توانست بکند که دقیقاً جاذبه تمام مواد عالم را موازنه کند به نحوی که عالمی ایستا حاصل شود.
ظاهراً فقط یک نفر تمایل داشت که نسبیت عام را به همان شکل که هست بپذیرد. وقتی اینشتین و فیزیکدانان دیگر در جستجوی راه‌هایی برای پرهیز از پیش‌بینی عالم غیرایستا از سوی نسبیت عام بودند، فیزیکدان روس آلکساندر فریدمان(۳۴) تصمیم به توضیح آن گرفت.

مدل‌های فریدمان

معادلات نسبیت عام که نشان می‌دهند عالم در طول زمان چگونه متحول می‌شود، پیچیده‌تر از آنند که بتوان آنها را به طور تفصیلی حل کرد. کاری که فریدمان کرد پذیرش دو فرض بسیار ساده درباره عالم بود: عالم در هر جهتی که بنگریم یکسان است؛ و اگر از هر جای دیگر هم عالم را مشاهده کنیم، چنین خواهد بود. فریدمان بر مبنای نسبیت عام و این دو فرض نشان داد که ما نباید انتظار داشته باشیم که عالم ایستا باشد. در واقع، در سال ۱۹۲۲، چند سال قبل از کشف هابل، فریدمان آن چه را هابل یافت دقیقاً پیش‌بینی کرده بود.
آشکار است که این فرض که عالم در هر جهتی یکسان است، در واقعیت درست نیست. مثلاً، ستاره‌ها دیگر در کهکشان ما نوار نورانی متمایزی در آسمان شب تشکیل می‌دهند که «راه شیری» نام دارد. اما اگر به کهکشان‌های دور نگاه کنیم به نظر می‌رسد در هر جهت تعداد کمابیش یکسانی از آنها وجود دارد. بنابراین، ظاهراً عالم در تمام جهت‌ها تقریباً یکسان است، به شرط آنکه در مقیاسی به آن نگاه کنیم که در مقایسه با فاصله میان کهکشان‌ها بزرگ باشد.
برای مدتی طولانی، این توجیه کافی فرض فریدمان بود که تقریبی بزرگ درباره جهان واقعی است. اما، اخیراً رویدادی خوشایند این نکته را آشکار ساخت که فرض فریدمان در واقع توصیف بسیار دقیق جهان ماست. در ۱۹۶۵ میلادی، دو فیزیکدان آمریکایی، «آرنو پنزیاس»(۳۵) و «رابرت ویلسون»(۳۶)، در آزمایشگاه‌های بِل در نیوجرسی بر روی طراحی آشکارساز مایکروویو بسیار حساسی برای ارتباط با ماهواره‌های مدارگرد کار می‌کردند. هنگامی که دریافتند آشکارساز آنها بیش از آنچه باید نوفه(۳۷) دریافت می‌کند و ظاهراً این نوفه از هیچ جهت خاصی نمی‌آید متحیر شدند. نخست به دنبال فضله پرندگان روی آشکارساز خود رفتند و مشکلات دیگر را نیز بررسی کردند، اما خیلی زود تمام این احتمالات را کنار گذاشتند. آنها می‌دانستند وقتی آشکارساز مستقیماً رو به بالا نباشد، هر نوفه‌ای از درون جو، در مقایسه با

حالتی که مستقیماً رو به بالا نشانه رفته، قوی‌تر است؛ زیرا جو اگر به طور مایل به آن نگاه کنیم، ضخیم‌تر به نظر می‌رسد.
آشکارساز را به هر طرف می‌گردانند، نوفه اضافی یکسان بود. بنابراین حتماً از جایی خارج از جو می‌آمد. در تمام سال، روز و شب، این نوفه یکسان بود، هر چند زمین به دور محور خود و در مداری به دور خورشید می‌چرخید. یعنی تابش می‌بایست از آن سوی منظومه شمسی و حتی از آن سوی کهکشان آمده باشد، زیرا در غیر این صورت، در حالی که چرخش زمین جهت آشکارساز را تغییر می‌داد، نوفه هم تغییر می‌کرد.
در واقع، می‌دانیم که تابش می‌بایست برای رسیدن به ما تمام عالم مشاهده‌پذیر را پیموده باشد. چون این تابش در جهات مختلف یکسان به نظر می‌رسد، عالم نیز باید دست‌کم در مقیاس بزرگ در هر جهت یکسان باشد. اکنون می‌دانیم به هر جهتی که بنگریم، این نوفه هرگز بیش از یک در ده‌هزار تغییر نمی‌کند. بنابراین، پنزیاس و ویلسون، ناخواسته، به تأیید بسیار دقیق نخستین فرض فریدمان دست یافتند.
تقریباً در همان زمان و همان نزدیکی در دانشگاه پرینستون، دو فیزیکدان آمریکایی به نام‌های «باب دیک»(۳۸) و «جیم پیبلس»(۳۹) نیز به ریزموج‌ها(۴۰) علاقمند شدند. آن‌ها بر روی پیشنهاد «جرج گاموف»(۴۱) کار می‌کردند که زمانی دانشجوی «آلکساندر فریدمان» بود. پیشنهاد گاموف می‌گفت عالم اولیه بسیار داغ، چگال و به شدت برافروخته بوده است. دیک و پیبلس ادعا کردند که ما هنوز باید بتوانیم این التهاب را ببینیم، زیرا نور بخش‌های بسیار دور عالم اولیه تازه به ما می‌رسد. اما، انبساط جهان موجب می‌گردد که این نور چنان دچار انتقال به سرخ شود که اکنون به نظر ما تابش ریزموجی بیاید. دیک و پیبلس به دنبال این تابش می‌گشتند که پنزیاس و ویلسون خبر کار آن‌ها را شنیدند و دریافتند که خود قبلاً آن را یافته‌اند. پنزیاس و ویلسون در سال ۱۹۷۸ برای همین کار جایزه نوبل را دریافت کردند، مسأله‌ای که اندکی برای دیک و پیبلس سخت بود.
اما، در نخستین نگاه، ممکن است چنان به نظر آید که تمام این شواهد و قرائن که نشان می‌دهند عالم به هر طرف که بنگریم یکسان است و حاکی از آن است که ما در جایگاه خاصی در عالم قرار داریم. مخصوصاً ممکن است به نظر آید ما به این سبب می‌بینیم که تمام کهکشان‌های دیگر از ما دور می‌شوند که در مرکز عالم قرار داریم. اما توضیح دیگری هم وجود دارد: عالم ممکن است از هر کهکشان دیگری هم که بدان نگریسته شود، در هر جهت یکسان به نظر آید. این نکته، همان‌گونه که دیدیم، فرض دوم فریدمان بود.
ما مدرکی علمی به نفع یا علیه این فرض در اختیار نداریم. فقط بر پایه فروتنی به آن معتقدیم. اگر عالم در هر جهت در اطراف ما، اما نه در اطراف دیگر نقاط عالم، یکسان به نظر می‌رسید بسیار شایان توجه بود. در مدل فریدمان، تمام کهکشان‌ها مستقیماً از یکدیگر دور می‌شوند. وضعیت تا حدی مانند بادکنکی است که روی آن نقاطی کشیده باشند و آن را به طور یکنواخت باد کنند. با انبساط بادکنک فاصله میان هر دو نقطه افزایش می‌یابد، اما نقطه‌ای نیست که بتوان گفت مرکز عالم است. به علاوه هر چه نقاط از هم دورتر باشند سریع‌تر از هم دور می‌شوند. به همین نحو، در مدل فریدمان سرعت دور شدن دو کهکشان از یکدیگر، با فاصله میان آن‌ها متناسب است. بنابراین، این مدل پیش‌بینی می‌کرد که انتقال به سرخ کهکشان باید با فاصله ما از آن تناسب مستقیم داشته باشد یعنی دقیقاً همان چیزی که هابل یافته بود.

کار فریدمان، به رغم موفقیت مدل وی و پیش‌بینی مشاهدات هابل از سوی او، در غرب عمدتاً ناشناخته باقی ماند. فقط پس از آنکه فیزیکدان آمریکایی «هاورد رابرتسون»(۴۲) و ریاضیدان بریتانیایی «آرتور واکر»(۴۳) در سال ۱۹۳۵ در واکنش به کشف انبساط یکنواخت جهان توسط هابل مدل‌های مشابهی را کشف کردند، [مدل فریدمان] شناخته شد.
هر چند فریدمان فقط یک مدل را یافت، اما در واقع سه نوع متفاوت از این مدل‌ها وجود دارد که از دو فرض فریدمان تبعیت می‌کند. در نوع نخست (که فریدمان یافت)، عالم چنان به آهستگی منبسط می‌شود که کشش گرانشی میان کهکشان‌های مختلف موجب کند شدن انبساط و سرانجام توقف آن می‌گردد. سپس کهکشان‌ها حرکت به سوی یکدیگر را آغاز می‌کنند و عالم منقبض می‌شود. فاصله میان دو کهکشان همسایه از صفر شروع می‌شود، تا یک بیشینه افزایش یافته و سپس دوباره تا صفر کاهش می‌یابد.
در مدل نوع دوم عالم چنان به سرعت منبسط می‌شود که گرانش هرگز نمی‌تواند آن را متوقف سازد، هر چند کمی آن را کند می‌کند. در این مدل فاصله میان کهکشان‌های مجاور از صفر شروع می‌شود و سرانجام کهکشان‌ها با سرعتی یکنواخت از هم دور می‌شوند.
سرانجام، مدل نوع سومی هم هست که در آن عالم با چنان سرعتی منبسط می‌شود که فقط از بازفروپاشی جلوگیری می‌کند. در این مورد نیز فاصله از صفر شروع می‌شود و تا ابد افزایش می‌یابد. اما سرعت دور شدن کهکشان‌ها از یکدیگر کمتر و کمتر می‌شود، هر چند هرگز به صفر نمی‌رسد.
نکته شایان ذکر در مدلِ فریدمانِ نوع اول آن است که عالم (فضا) نامتناهی نیست، اما فضا هم مرزی ندارد. گرانش چنان قوی است که فضا روی خود خم می‌شود و این امر آن را تقریباً مانند سطح زمین می‌سازد. اگر کسی به حرکت در جهت ثابتی روی سطح زمین ادامه دهد، هرگز به سدی گذرناپذیر نمی‌رسد یا از لبه‌ای سقوط نمی‌کند بلکه سرانجام به جایی که سفر خود را آغاز کرده است باز می‌گردد. فضا، در مدل اول فریدمن، مانند این است، اما به جای دو بُعد، سه بُعد دارد. بُعد چهارم (زمانِ) نیز گستره‌ای متناهی دارد، اما مانند خطی است با دو سر یا دو مرز؛ یعنی آغاز و پایان. بعداً خواهیم دید که اگر نسبیت عام را با اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتومی ترکیب کنیم، هم فضا و هم زمان ممکن است متناهی باشند و لبه یا مرزی نداشته باشند. با این تصور که می‌توان دور عالم گشت و سرانجام به همان نقطه آغاز بازگشت، می‌توان داستان علمی ـ تخیلی خوبی نوشت؛ اما اهمّیت عملی چندانی ندارد، زیرا می‌توان نشان داد که عالم قبل از آن که کسی بتواند دور خود را به پایان برساند، دوباره به صفر فروخواهد پاشید. برای آن که قبل از به پایان رسیدن عالم به جایی بازگردید که سفر خود را آغاز کرده‌اید، باید سریع‌تر از نور حرکت کنید و این ممکن نیست.
اما کدام مدل فریدمان عالم را توصیف می‌کند؟ آیا عالم سرانجام انبساط را متوقف و انقباض را آغاز خواهد کرد، یا این که تا ابد منبسط خواهد شد؟ برای پاسخ به این پرسش باید آهنگ فعلی انبساط عالم و چگالی متوسط فعلی آن را بدانیم. اگر چگالی از مقدار بحرانی معینی، (که با سرعت انبساط تعیین می‌شود) بیشتر باشد، کشش گرانشی ضعیف‌تر از آن خواهد بود که انبساط را متوقف کند. اگر چگالی بیش از مقدار بحرانی باشد، گرانش در زمانی در آینده انبساط را متوقف خواهد کرد و موجب بازفروپاشی عالم خواهد شد.
می‌توانیم با اندازه‌گیری سرعت دور شدن کهکشان‌های دیگر از خود و استفاده از پدیده داپلر

آهنگ فعلی انبساط را تعیین کنیم. این کار را می‌توان بسیار دقیق انجام داد. اما فواصل کهکشان‌ها خیلی هم دقیق معلوم نیست، زیرا این فواصل را فقط به طور غیرمستقیم می‌توانیم اندازه‌گیری کنیم. بنابراین، تمام آن چه می‌دانیم آن است که عالم در هر میلیارد سال، بین ۵ تا ۱۰درصد منبسط می‌شود. اما، تردید ما در مورد چگالی متوسط فعلی جهان از این هم بیشتر است.
اگر جرم تمام ستاره‌هایی که می‌توانیم در کهکشان خود و کهکشان‌های دیگر ببینیم با هم جمع بزنیم، کل آن کمتر از یک‌صدم مقدار لازم برای متوقف ساختن انبساط عالم می‌شود، حتی اگر آهنگ انبساط را در پایین‌ترین حد تخمین بزنیم. اما می‌دانیم که کهکشان ما و کهکشان‌های دیگر باید حاوی مقدار زیادی «ماده تاریک»(۴۴) باشند که نمی‌توانیم آن را مستقیماً ببینیم، اما به دلیل تأثیر کشش گرانشی آن بر روی مدارهای ستاره‌ها و گاز کهکشان‌ها می‌دانیم که باید وجود داشته باشد. به علاوه اغلب کهکشان‌ها در خوشه‌ها یافت می‌شوند و ما می‌توانیم به همین نحو وجود ماده تاریک بیشتری را به واسطه تأثیر آن بر روی حرکت کهکشان‌ها در میان کهکشان‌ها و در این خوشه‌ها حدس بزنیم. اگر تمام این ماده تاریک را جمع‌بندی کنیم، باز هم به حدود یک‌دهم مقدار لازم برای توقف انبساط می‌رسیم. اما شاید شکل دیگری از ماده هم وجود داشته باشد که ما هنوز آشکار نساخته‌ایم و شاید چگالی متوسط عالم را تا مقدار بحرانی لازم برای توقف انبساط بالا ببرد.
بنابراین شواهد فعلی نشان می‌دهد که عالم احتمالاً تا ابد منبسط خواهد شد. اما خیلی هم مطمئن نباشید. تنها چیزی که واقعاً می‌توانیم از آن مطمئن باشیم، این است که حتی اگر جهان بازفروبپاشد، دست کم تا ده میلیارد سال‌آینده چنین اتفاقی نمی‌افتد، زیرا به همین مدت منبسط شده است. این امر نباید ما را بیهوده نگران کند؛ زیرا تا آن زمان نوع بشر مدت‌هاست که با مرگ خورشید منقرض شده است، مگر آنکه خارج از منظومه شمسی مهاجرنشین‌هایی داشته باشیم.

مِهبانگ

در تمام مدل‌های فریدمان این نکته به چشم می‌خورد که زمانی در گذشته، بین ده تا بیست میلیارد سال پیش، فاصله میان کهکشان‌های مجاور صفر بوده است. در آن زمان که ما آن را مِهبانگ می‌نامیم، چگالی عالم و انحنای فضا- زمان بی‌نهایت بوده است. یعنی، نظریه نسبیت عام (که جواب‌های فریدمان بر آن مبتنی است) پیش‌بینی می‌کند که نقطه تکینه‌ای در جهان وجود دارد.
تمام نظریه‌های علم بر مبنای این فرض فرمول‌بندی شده‌اند که فضا- زمان یکنواخت و نسبتاً تخت است، بنابراین، تمام آنها در تکینگی مِهبانگ که انحنای فضا- زمان بی‌نهایت است، درهم می‌شکنند. یعنی حتی اگر پیش از مِهبانگ اتفاقی افتاده باشد نمی‌توان از آن برای تعیین آنچه بعداً روی داده استفاده کرد؛ زیرا امکان پیش‌بینی در مِهبانگ از میان می‌رود. به همین نحو، اگر فقط رویدادهای بعد از مِهبانگ را بدانیم، نمی‌توانیم آنچه را پیش از آن روی داده معلوم کنیم. آنچه به ما مربوط می‌شود این است که رویدادهای قبل از مِهبانگ نمی‌توانند پیامدی داشته باشند؛ بنابراین، نباید بخشی از مدل علمی عالم را تشکیل دهند. پس باید آنها را از مدل حذف کنیم و بگوییم که آغاز زمان، مِهبانگ بوده است.
خیلی‌ها دوست ندارند که فکر کنند زمان آغازی داشته است. شاید بدان دلیل که این نکته نشان از مداخله الهی دارد. (از سوی دیگر، کلیسای کاتولیک مدل مِهبانگ را پذیرفته و در سال ۱۹۵۱

رسماً اعلام کرده که این مدل منطبق با کتاب مقدس است). برای اجتناب از این نتیجه‌گیری که مِهبانگی وجود داشته تلاش‌هایی انجام شده است. پیشنهادی که بیش از همه موارد دیگر از آن حمایت شد، نظریه «حالت پایا»(۴۵) نام داشت. این نظریه را دو پناهنده از اتریشِ تحت اشغال نازیان، یعنی «هرمان باندی»(۴۶) و «تامس گولد»(۴۷) به همراه «برایتون فرد هویل»(۴۸) که برای توسعه رادار در دوران جنگ با آن‌ها همکاری می‌کرد، در ۱۹۴۸ مطرح کردند. نظر ایشان آن بود که با دور شدن کهکشان‌ها از یکدیگر در شکاف میان آنها به طور پیوسته کهکشان‌های جدید از ماده جدیدی که به‌طور پیوسته آفریده می‌شود، تشکیل می‌گردد. بنابراین، عالم همواره و در تمام نقاط فضا تقریباً یکسان به نظر می‌رسد.
نظریه حالت پایا برای آنکه آفرینش مداوم ماده ممکن باشد، نیاز به تغییری در نسبیت عام داشت، اما آهنگ آفرینش (در حدود یک ذره در هر کیلومتر مکعب در هر سال) چنان پایین بود، که با تجربه تناقض نداشت. نظریه، نظریه علمی خوبی بود؛ یعنی ساده بود و پیش‌بینی‌های معینی می‌کرد که می‌شد آنها را با مشاهده آزمود. یکی از این پیش‌بینی‌ها آن بود که تعداد کهکشان‌ها یا اجرام مشابه در حجم معینی از فضا باید در همه جا و هر زمانی که به عالم بنگریم، یکسان باشد.
در اواخر دهه ۱۹۵۰ و اوایل دهه ۱۹۶۰، گروهی از اخترشناسان به سرپرستی «مارتین رایل»(۴۹) در کمبریج، چشمه‌های امواج رادیویی از فضای بیرونی را بررسی کردند. گروه کمبریج نشان داد که اغلب این چشمه‌های رادیویی باید خارج از کهکشان ما قرار داشته باشند و شمار چشمه‌های ضعیف بسیار بیش از چشمه‌های قوی است. آنها چشمه‌های ضعیف را دورتر و چشمه‌های قوی را نزدیک‌تر می‌دانستند. سپس آشکار شد که شمار چشمه‌های نزدیک در واحد حجم فضا کمتر از چشمه‌های دور است.
این بدان معنا می‌توانست باشد که ما در مرکز ناحیه‌ای بزرگ در عالم هستیم که در آن شمار چشمه‌ها کمتر از هر جای دیگر در عالم است. به عبارت دیگر، شاید شمار چشمه‌ها در گذشته وقتی امواج رادیویی سفر خود را به سوی ما آغاز کردند، بیشتر از اکنون بوده است. هر دو توضیح، با پیش‌بینی‌های نظریه حالت پایا در تناقض بود. به علاوه کشف تابش ریزموجی از سوی پنزیاس و ویلسون در سال ۱۹۶۵ نشان داد که جهان در گذشته بسیار چگال‌تر بوده است. بنابراین، با کمال تأسف باید نظریه حالت پایا را رها می‌کردند. برای گریز از این نتیجه‌گیری که مِهبانگ و بنابراین آغازی برای زمان وجود داشته، از سوی دو دانشمند روس، «اوگنی لیفشیتز»(۵۰) و «آیزاک خالاتنیکف»(۵۱) در سال ۱۹۶۳ تلاش دیگری به عمل آمد. آنها گفتند شاید مِهبانگ فقط یک ویژگی مدل‌های فریدمان باشد و این مدل‌ها هم تقریبی به عالم واقعی هستند. شاید در میان تمام مدل‌هایی که تقریباً شبیه عالم واقعی هستند، فقط مدل‌های فریدمان حاوی تکینگی مِهبانگ باشند. در مدل‌های فریدمان، تمام کهکشان‌ها مستقیماً از یکدیگر دور می‌شوند. بنابراین شگفت‌آور نیست که در زمانی در گذشته همه آنها در یک نقطه بوده‌اند. اما در عالم واقعی کهکشان‌ها فقط مستقیماً از یکدیگر دور نمی‌شوند بلکه سرعت‌های جانبی(۵۲) کوچکی هم دارند. بنابراین، در واقعیت، هرگز لازم نبوده که همه آنها دقیقاً در یک جا باشند، فقط خیلی به یکدیگر نزدیک بوده‌اند. پس، شاید عالم در حال انبساط فعلی از مرحله انقباض پیشتری حاصل شده باشد و نه از تکینگی مِهبانگ. شاید در حالی که عالم فرومی‌پاشیده است، همه ذرات آن به هم برخورد نکرده باشند، بلکه از کنار یکدیگر گذشته و سپس از هم دور شده‌اند و عالم در حال انبساط فعلی را ایجاد کرده‌اند. خوب، چگونه می‌توانیم بگوییم که آیا عالم واقعی با مِهبانگ آغاز

شده است؟
آنچه لیفشیتز و خالاتنیکف انجام دادند، مطالعه مدل‌هایی از عالم بود که تقریباً مدل فریدمانی بودند، اما بی‌نظمی‌ها و سرعت‌های کاتوره‌ای در عالم واقعی را نیز در نظر می‌گرفتند. آنها نشان دادند که ممکن است این مدل‌ها با مِهبانگ آغاز شده باشند، هر چند کهکشان‌ها دیگر همیشه به طور مستقیم از یکدیگر دور نمی‌شدند. اما ایشان ادعا کردند که این امر باز هم در مدل‌های استثنایی معینی ممکن بود که در آنها همه کهکشان‌ها فقط در مسیر مستقیم حرکت می‌کنند. ایشان استدلال کردند چون به نظر می‌رسد مدل‌های فریدمانی و بدون تکینگی مِهبانگ، بی‌نهایت بیشتر از مدل‌های دارای تکینگی باشند، باید نتیجه بگیریم که بسیار بعید است که مِهبانگی وجود داشته باشد. اما، بعداً دریافتند که رده عام‌تری از مُدل‌های فریدمان همراه با تکینگی وجود دارد و در این مدل‌ها کهکشان‌ها مجبور نیستند به شیوه خاصی حرکت کنند. بنابراین، در ۱۹۷۰ ادعای خود را پس گرفتند.
کار لیفشیتز و خالاتنیکف ارزشمند بود، زیرا نشان دادند که اگر نظریه نسبیت عام درست بود، عالم می‌توانست تکینگی (مِهبانگ) داشته باشد. اما، به پرسش اصلی پاسخ ندادند: آیا نسبیت عام پیش‌بینی می‌کند که عالم ما بایستی مِهبانگ، آغاز زمان، داشته باشد؟ پاسخ به این پرسش با رویکرد کاملاً متفاوت «راجر پنروز»(۵۳)، فیزیکدان بریتانیایی، در سال ۱۹۶۵ به دست آمد. وی از طرز رفتار مخروط‌های نوری(۵۴) در نسبیت عام و این نکته که گرانش همیشه کشنده است استفاده کرد تا نشان دهد ستاره‌ای که تحت گرانش خود رُمبش می‌کند در ناحیه‌ای گیر می‌افتد که مرز آن سرانجام به اندازه صفر مُچاله می‌شود. یعنی تمام ماده ستاره در ناحیه‌ای به حجم صفر فشرده شده، در نتیجه چگالی ماده و انحنای فضا- زمان بی‌نهایت می‌شود. به عبارت دیگر، تکینگی‌ای داریم که در ناحیه‌ای از فضا- زمان موسوم به سیاهچاله قرار دارد.
در نگاه نخست، نتیجه پنروز در مورد این پرسش که آیا در گذشته تکینگی مِهبانگ وجود داشته جوابی نداشت. اما زمانی که پنروز قضیه خود را مطرح کرد، من دانشجوی محققی بودم که مأیوسانه به دنبال مسأله می‌گشت تا رساله دکتری خود را با آن کامل کند. دریافتم که اگر کسی جهت زمان را در قضیه پنروز معکوس کند به نحوی که فروپاشی به انبساط تبدیل شود، شرایط قضیه وی باز هم برقرار است، به شرط آنکه عالم در زمان حاضر تقریباً مانند مدل فریدمان در مقیاس بزرگ باشد. قضیه فریدمان نشان داده بود که هر ستاره در حال فروپاشی باید به تکینگی ختم شود؛ برهان وارونه‌سازی زمان نشان می‌داد که هر عالم در حالِ انبساطِ فریدمانی باید با تکینگی آغاز شده باشد. به دلایل فنی، قضیه پنروز نیاز داشت که عالم (بُعد فضایی) نامتناهی باشد. بنابراین می‌توانستم از آن استفاده کرده و اثبات کنم که فقط در صورتی عالم با چنان سرعتی منبسط شود که از فروپاشی مجدد آن جلوگیری شود. تکینگی وجود دارد، زیرا فضا فقط در این مدل فریدمانی نامتناهی بود.
طی چند سال بعد، روش‌های ریاضی جدیدی را بسط دادم تا این شرط و دیگر شرط‌های فنی از قضایایی را که اثبات می‌کردند باید تکینگی‌هایی روی دهند، کنار بگذارم. نتیجه نهایی مقاله مشترک پنروز و من در سال ۱۹۷۰ بود که اثبات می‌کرد باید تکینگی مِهبانگ وجود داشته باشد، اما فقط به شرط آنکه نسبیت عام صحیح باشد و عالم حاوی همان میزان ماده‌ای باشد که مشاهده می‌کنیم.
با کار ما مخالفت زیادی شد، تا حدی از جانب روس‌ها که خط فکری را دنبال می‌کردند که

لیفشیتز و خالاتنیکف به راه انداخته بودند و تا حدی از سوی افرادی که کل اندیشه تکینگی‌ها را تنفرانگیز می‌دانستند و حس می‌کردند که زیبایی نظریه اینشتین را از میان می‌برد. اما واقعاً نمی‌توان با قضیه ریاضی درافتاد. بنابراین، اکنون عموماً پذیرفته‌اند که عالم می‌بایست آغازی داشته باشد.

سخنرانی سوم

سیاهچاله‌ها

کلمه سیاهچاله مأخذ بسیار جدیدی دارد. در سال ۱۹۶۹ میلادی، دانشمند آمریکایی به نام «جان ویلر»(۵۵) آن را به مثابه توصیفی تصویری از ایده‌ای با قدمت دست کم دویست سال وضع کرد. در آن زمان دو قضیه درباره نور وجود داشت. یکی آن بود که نور از ذرات تشکیل شده است؛ دیگری آن بود که از امواج ساخته شده است. اکنون می‌دانیم که در واقع هر دو قضیه درست هستند. بر اساس دوگانگی موجی/ذره‌ای مکانیک کوانتومی، نور را می‌توان هم موج دانست و هم ذره. با این نظریه که نور از امواج تشکیل شده، روشن نبود که نور چگونه به گرانش واکنش نشان می‌دهد. اما اگر نور از ذرات تشکیل شده بود، می‌شد انتظار داشت که این ذرات نیز مانند گلوله توپ، موشک و سیارات، تحت تأثیر گرانش قرار گیرند.

یکی از استادان کمبریج، «جان میچل»(۵۶)، بر مبنای این فرض در سال ۱۷۸۳ مقاله‌ای در تعاملات فلسفی انجمن سلطنتی لندن(۵۷) نوشت. در این مقاله، وی اشاره کرده بود که اگر ستاره‌ای به قدر کافی پُرجرم و فشرده باشد چنان میدان گرانشی قدرتمندی دارد که نور نمی‌تواند از آن بگریزد. کشش گرانشی ستاره هر نوری را که از سطح ستاره گسیل شده باشد قبل از آنکه بتواند خیلی دور شود به عقب بازمی‌گرداند. میچل گفت ممکن است تعداد زیادی ستاره مانند این وجود داشته باشد. هر چند از آنجا که نور آنها به ما نمی‌رسد ما نمی‌توانیم آنها را ببینیم، اما باز هم کشش گرانشی آنها را حس می‌کنیم. این اجرام همان چیزهایی هستند که اکنون سیاهچاله‌ها می‌نامیم، زیرا این همان چیزی است که آنها هستند- حفره‌های سیاه در فضا.

چند سال بعد، دانشمند فرانسوی، «مارکی دو لاپلاس»(۵۸)، ظاهراً مستقل از میچل، نظر مشابهی را مطرح ساخت. جالب آنکه آن را فقط در چاپ اول و دوم کتاب خود، نظام جهان(۵۹)، آورد. شاید بدان سبب که فکر می‌کرد این تصوری احمقانه است. در واقع، اینکه نور را در نظریه گرانش نیوتن مانند گلوله‌های توپ در نظر بگیرند واقعاً درست نیست، زیرا سرعت نور ثابت است. گرانش سرعت گلوله توپی را که رو به بالا شلیک شده باشد کاهش داده و سرانجام آن را متوقف کرده و بازمی‌گرداند. اما، فوتون، باید با سرعت ثابت به حرکت رو به بالا ادامه دهد. پس، گرانش نیوتونی چگونه می‌تواند بر روی نور اثر بگذارد؟ تا زمانی که اینشتین در سال ۱۹۱۵ میلادی نسبیت عام خود را مطرح ساخت، نظریه منسجمی در این‌باره چگونگی اثر گرانش بر روی نور وجود نداشت. حتی در آن زمان، مدتی طولانی گذشت تا نتایج نظریه را برای ستاره‌های پُرجرم پیدا کنند.

برای فهم اینکه سیاهچاله چگونه ممکن است تشکیل شده باشد، نخست باید چرخه عمر ستاره را بفهمیم. ستاره هنگامی تشکیل می‌شود که مقدار عظیمی گاز، عمدتاً هیدروژن، به دلیل کشش گرانشی شروع به فروریختن در خود می‌کند. با انقباض گاز، اتم‌های آن بیشتر و بیشتر و با سرعت‌های زیادتر و زیادتر با یکدیگر برخورد می‌کنند؛ گاز گرم می‌شود. سرانجام، گاز چنان داغ می‌شود که وقتی اتم‌های هیدروژن با یکدیگر برخورد می‌کنند، دیگر یکدیگر را پس

نمی‌زنند، بلکه درهم ادغام می‌شوند و اتم‌های هلیوم را تشکیل می‌دهند. گرمای آزاد شده در این واکنش که مانند بمب هیدروژنی کنترل شده است، آن چیزی است که سبب درخشش ستاره‌ها می‌شود. گرمای اضافی نیز فشار گاز را آن قدر افزایش می‌دهد که برای موازنه کشش گرانشی کافی باشد و انقباض گاز متوقف شود. این پدیده، اندکی مانند بادکنک است که در آن میان فشار هوای داخل که سعی می‌کند موجب انبساط بادکنک شود و کشش لاستیک که تلاش می‌کند بادکنک را کوچک‌تر سازد، موازنه برقرار است.
ستاره‌ها مدت‌ها به همین نحو پایدار می‌مانند و گرمای حاصل از واکنش‌های هسته‌ای کشش گرانشی را موازنه می‌کند. اما سرانجام هیدروژن و دیگر سوخت‌های هسته‌ای ستاره تمام می‌شود. نکته متناقض آنکه هر چه سوخت ستاره در آغاز بیشتر باشد، سوخت زودتر تمام می‌شود. دلیل این امر آن است که هر چه ستاره پُرجرم‌تر باشد، باید برای موازنه کشش گرانشی خود داغ‌تر باشد و هر چه داغ‌تر باشد، سوخت خود را سریع‌تر مصرف خواهد کرد. خورشید ما احتمالاً برای پنج میلیارد سال دیگر سوخت کافی دارد، اما ستاره‌های پُرجرم‌تر ممکن است در زمانی کوتاه، مثلاً یک‌صد میلیون سال که بسیار کوتاه‌تر از سن عالم است، سوخت خود را مصرف کنند. وقتی سوخت ستاره تمام می‌شود، سرد شدن و بنابراین انقباض آن آغاز می‌شود. اتفاقاتی را که ممکن است پس از این برای ستاره روی دهد، در اواخر دهه ۱۹۲۰ میلادی برای نخستین بار فهمیدند.
در سال ۱۹۲۸ میلادی، دانشجویی هندی به نام «سابراهمانیان چاندراسِخار»(۶۰) برای تحصیل زیر نظر اخترشناس بریتانیایی «سِر آرتور ادینگتون»(۶۱) در کمبریج به انگلستان آمد. در روایتی آمده است که در اوایل دهه ۱۹۲۰ میلادی روزنامه‌نگاری به ادینگتون گفت شنیده است که در جهان فقط سه نفر هستند که نسبیت عام را فهمیده‌اند. ادینگتون پاسخ داد «دارم سعی می‌کنم بفهمم نفر سوم کیست».
چاندراسِخار در طول سفر خود از هند این مسأله را حل کرد که ستاره تا چه حد می‌تواند بزرگ باشد تا پس از آن که تمام سوخت خود را مصرف کرد، در برابر گرانش خود تاب بیاورد. نظر وی این بود: وقتی ستاره‌ای کوچک می‌شود، ذرات ماده خیلی به یکدیگر نزدیک می‌شوند. اما «اصل طرد پائولی»(۶۲) می‌گوید که دو ذره مادی نمی‌توانند مکان و سرعت یکسانی داشته باشند. بنابراین ذرات ماده باید سرعت‌های بسیار متفاوتی داشته باشند. این موجب می‌شود ذرات از هم دور شده و ستاره منبسط گردد. بنابراین ستاره می‌تواند خود را با موازنه میان کشش گرانشی و دافعه حاصل از اصل طرد در شعاع ثابتی حفظ کند؛ درست همان‌گونه که پیشتر در طول حیات آن، گرانش با گرما موازنه می‌شد.
اما چاندراسِخار دریافت که برای دافعه‌ای پیش‌بینی شده از اصل طرد حدی وجود دارد. نظریه نسبیت بیشینه اختلافِ سرعت ذرات مادی ستاره را به سرعت نور محدود می‌سازد. یعنی وقتی ستاره به قدر کافی چگال شود، دافعه حاصل از اصل طرد کم‌تر از کشش گرانشی خواهد بود. چاندراسِخار محاسبه کرد که ستاره سردی که جرم آن بیش از یک برابر و نیم جرم خورشید باشد، قادر نیست از خود در برابر گرانش خود محافظت کند. این جرم را «حد چاندراسِخار»(۶۳) می‌نامند.
این حد برای سرنوشت نهایی ستاره‌های پُرجرم پیامدهای جدی داشت. اگر جرم ستاره کمتر از حد چاندراسِخار باشد، ممکن است انقباض آن سرانجام متوقف شود و در نَهایت به شکل

کوتوله‌ای سفید با شعاع چند هزار مایل(۶۴) و چگالی صدها تن در اینچ مربع درآمده و آرام گیرد. کوتوله سفید را دافعه اصل طرد میان الکترون‌های ماده آن حفظ می‌کند. ما تعداد زیادی از این کوتوله‌های سفید را مشاهده می‌کنیم. یکی از نخستین کوتوله‌های سفید کشف شده، ستاره‌ای حول ستاره شباهنگ(۶۵)، (روشن‌ترین ستاره آسمان شب) است.
همچنین دریافتند که حالت نهایی دیگری هم ممکن است برای ستاره وجود داشته باشد، یعنی جرم حدّی آن در حدود یک یا دو برابر جرم خورشید و ابعاد آن هم بسیار کوچک‌تر از کوتوله سفید باشد. این ستاره‌ها را دافعه اصل طرد میان نوترون‌ها و پروتون‌ها و نه الکترون‌ها، حفظ می‌کند. بنابراین آنها را «ستاره نوترونی» نامیدند. شعاع آن‌ها فقط در حدود ده مایل و چگالی‌شان صدها میلیون تُن در اینچ مکعب است. وقتی برای نخستین بار وجود آنها را پیش‌بینی کردند، راهی برای مشاهده ستاره‌های نوترونی وجود نداشت و تا مدت‌ها بعد آن‌ها را کشف نکردند.
از سوی دیگر، ستاره‌های که جرم‌شان بالاتر از حد چاندراسِخار است، وقتی سوخت خود را به پایان می‌رسانند، با مسئله بزرگی روبرو می‌شوند. در برخی موارد، ممکن است منفجر شوند یا آن قدر ماده خود را به بیرون پرتاب کنند که جرم‌شان به زیر این حد کاهش پیدا کند. ستاره هر قدر هم که بزرگ باشد، تصور اینکه همیشه چنین اتفاقی روی می‌داد دشوار بود. ستاره از کجا می‌دانسته که باید وزن خود را کاهش دهد؟ حتی اگر تمام ستاره‌ها موفق می‌شدند جرم کافی از دست بدهند، اگر به کوتوله سفید یا ستاره نوترونی جرم بیشتری اضافه می‌کردیم تا از این حد بگذرد، چه می‌شد؟ به چگالی بی‌نهایت فرومی‌پاشید؟
ادینگتون از نتایج این امر شگفت‌زده شد و از قبول نتیجه چاندراسِخار سرباز زد. او فکر می‌کرد واقعاً هیچ ستاره‌ای نمی‌تواند به نقطه‌ای فروبپاشد. دیدگاه اغلب دانشمندان همین بود. خود اینشتین مقاله‌ای نوشت و در آن ادعا کرد ستاره به اندازه صفر مُچاله نمی‌شود. دشمنی دانشمندان دیگر و به ویژه ادینگتون، استاد سابق چاندراسِخار که در مورد ساختار ستاره‌ها صاحب‌نظر بود، او را قانع کرد که این حوزه کاری را رها کند و در عوض به مسائل دیگر در اخترشناسی روی آورد. اما در سال ۱۹۸۳ میلادی جایزه نوبل را، دست کم تا حدی برای کار اولیه خود بر روی جرم محدودکننده ستاره‌های سرد دریافت کرد.
چاندراسِخار نشان داده بود که اصل طرد نمی‌تواند مانع فروپاشی ستاره‌ای پُرجرم‌تر از حد چاندراسِخار شود. اما در سال ۱۹۳۹ میلادی، جوانی آمریکایی به نام «رابرت اپنهایمر»(۶۶) این مسأله را که از دید نسبیت عام چه اتفاقی برای چنین ستاره‌ای می‌افتد را حل کرد. نتیجه‌ای که او به دست آورد نشان می‌داد پیامدی وجود ندارد که بتوان با تلسکوپ‌های آن زمان مشاهده کرد. سپس، جنگ از راه رسید و اپنهایمر به شدت درگیر پروژه بمب اتمی شد. پس از جنگ مسأله فروپاشی گرانشی عمدتاً فراموش شد؛ زیرا اغلب دانشمندان به آن چه در مقیاس اتم و هسته آن روی می‌دهد علاقمند بودند. اما، در دهه ۱۹۶۰ میلادی، به دلیل افزایش قابل توجه تعداد و دامنه مشاهدات اخترشناسی که با استفاده از فنآوری مدرن انجام می‌گرفت، علاقه به مسائل بزرگ‌ـ مقیاس اخترشناسی و کیهان‌شناسی احیا شد. سپس، برخی افراد دوباره کار اپنهایمر را کشف کردند و آن را گسترش دادند.
تصویری که اکنون از کار اُپنهایمر داریم به شرح زیر است: میدان گرانشی ستاره، مسیر پرتوهای نور را در فضاـ زمان در مقایسه با مسیری که این پرتوها در صورت عدم وجود ستاره طی می‌کردند، تغییر می‌دهد. مخروطهای نوری که مسیر درخش‌های نور گسیل‌شده از نوک خود

را در فضا و زمان نشان می‌دهند، در نزدیکی سطح ستاره کمی به داخل خمیده می‌شوند. این پدیده را می‌توان با خم شدن نور ستاره‌های دور در حین کسوف، مشاهده کرد. هرچه ستاره متراکم‌تر شود، میدان گرانشی در سطح آن قوی‌تر می‌شود و مخروط‌های نور بیشتر به سمت داخل خمیده می‌شوند. این امر گریز از ستاره را برای نور دشوارتر می‌سازد و نور به نظر ناظر دور تیره‌تر و قرمزتر می‌رسد.
سرانجام، هنگامی که ستاره تا شعاعی بحرانی مُچاله می‌شود، میدان گرانشی در سطح آن‌چنان قوی می‌شود که مخروط‌های نوری به سمت داخل خمیده می‌شوند و نور دیگر نمی‌تواند بگریزد. بر اساس نظریه نسبیت، هیچ چیز نمی‌تواند سریع‌تر از نور حرکت کند. بدین‌ترتیب اگر نور نتواند بگریزد، هیچ چیز دیگری هم نمی‌تواند. میدان گرانشی همه چیز را به عقب می‌کشد. بدین‌ترتیب، مجموعه‌ای از رویدادها و ناحیه‌ای از فضا- زمان داریم که فرار از آن جا و رسیدن به ناظر دور ممکن نیست. این ناحیه، همان چیزی است که اکنون «سیاه‌چاله»(۶۷) می‌نامیم. مرز آن را «افق رویداد»(۶۸) می‌خوانند. این مرز مطابق است با مسیر پرتوهای نوری که نمی‌توانند از سیاه‌چاله بگریزند.
برای فهم آن چه در صورت مشاهده ستاره در حال فروپاشی و تشکیل سیاه‌چاله می‌بینید، باید به یاد داشته باشید که در نظریه نسبیت زمان مطلق وجود ندارد. هر ناظر معیار زمانی خود را دارد. به دلیل میدان گرانشی، زمان برای کسی روی ستاره [گرچه امکان‌پذیر نیست] با زمان کسی که از ستاره دور است فرق می‌کند. این پدیده را در زمین با آزمایش با ساعت‌هایی در بالا و پایین برج آب(۶۹) اندازه گرفته‌اند. فرض کنید فضانوردی دلیر بر روی سطح ستاره‌ای در حال رُمبش بر اساس ساعت خود در هر ثانیه سیگنالی را به سفینه فضایی‌اش در مدار ستاره، ارسال می‌کند. در زمانی بر اساس ساعت وی، مثلاً ساعت یازده، ستاره به زیر شعاع بحرانی مُچاله می‌شود و میدان گرانشی چنان قوی می‌گردد که سیگنال‌ها دیگر به سفینه نمی‌رسند.
همراهان وی که از سفینه مشاهده می‌کنند، با نزدیک شدن ساعت یازده، درمی‌یابند که فاصله میان سیگنال‌های متوالی فضانورد مرتباً بیشتر می‌شود. اما، این پدیده قبل از ساعت ۱۰:۵۹:۵۹ بسیار کوچک است. بین سیگنال فضانورد در ساعت ۱۰:۵۹:۵۸ و سیگنالی که در ساعت ۱۰:۵۹:۵۹ (بر اساس ساعت خود) می‌فرستد، باید فقط کمی بیش از یک ثانیه صبر کنند، اما برای سیگنال ساعت یازده باید تا ابد صبر کنند. امواج نوری گسیل‌شده از سطح ستاره در فاصله ۱۰:۵۹:۵۹ و ساعت یازده (بر اساس ساعت فضانورد)، به نحوی که از سفینه دیده می‌شود، در فاصله زمانی بی‌پایانی گسترده می‌شود.
فاصله زمانی میان رسیدن امواج متوالی به سفینه طولانی‌تر و طولانی‌تر می‌شود و بنابراین، نور ستاره قرمزتر و قرمزتر و کم‌رنگ‌تر و کم‌رنگ‌تر به نظر می‌رسد. سرانجام، ستاره چنان تیره می‌شود که دیگر نمی‌توان آن را از سفینه دید. تمام آن چه باقی می‌ماند، سیاه‌چاله‌ای در فضاست. اما، ستاره باز هم همان نیروی گرانشی قبلی را به سفینه وارد می‌کند. دلیل این امر آن است که ستاره، دست کم در اصول، هنوز برای سفینه قابل رؤیت است. فقط میدان گرانشی ستاره چنان موجب جابجایی قرمز نور می‌شود که نمی‌توان آن را دید. اما، جابجایی قرمز بر روی خود میدان گرانشی ستاره تأثیری ندارد. بنابراین سفینه به گردش در مدار سیاه‌چاله ادامه می‌دهد.
کاری که راجر پنروز و من در فاصله ۱۹۶۵ و ۱۹۷۰ میلادی انجام دادیم نشان داد که براساس نسبیت عام در درون سیاه‌چاله تکینگی‌ای با چگالی نامتناهی وجود دارد. این پدیده تقریباً مانند

مِهبانگ در آغاز زمان است؛ اما این بار جسم در حال رُمبش و فضانورد با پایان زمان روبرو هستند. در تکینگی، قوانین علم و توانایی ما در پیش‌بینی عالم آینده در هم می‌شکند. اما این ناتوانی در پیش‌بینی بر روی ناظری که خارج از سیامچاله مانده باشد تأثیری ندارد؛ زیرا نه نور و نه هیچ سیگنال دیگری نمی‌تواند از تکینگی به وی برسد.
این نکته شایان توجه موجب گردید که راجر پنروز فرضیه «سانسور کیهانی» را پیشنهاد کند که می‌توان آن را چنین بیان کرد «خدا از تکینگی برهنه نفرت دارد». به عبارت دیگر، تکینگی‌های ایجاد شده به وسیله فروپاشی گرانشی فقط در مکان‌هایی مانند سیامچاله‌ها روی می‌دهند و در آنجا افق رویداد آنها را در حجابی از نگاه بیرونی پنهان می‌سازد. به عبارت روشن‌تر، فرضیه ضعیف سانسور کیهانی از این قرار است: سانسور کیهانی از ناظرهایی که خارج از سیامچاله می‌مانند در برابر پیامدهای درهم‌شکستن پیش‌بینی‌پذیری که در تکینگی روی می‌دهد محافظت می‌کند. اما، برای فضانورد بیچاره‌ای که در حفره سقوط می‌کند، اصلاً کاری انجام نمی‌دهد. آیا خدا نباید عفت او را هم حفظ کند؟
برای معادلات نسبیت عام جواب‌هایی وجود دارد که در آنها دیدن تکینگی برهنه برای فضانورد ممکن است. او شاید بتواند از برخورد با تکینگی احتراز کند و در عوض در «کرم‌چاله»ای سقوط کند و از ناحیه دیگری از جهان بیرون آید. این امر امکانات فراوانی را برای سفر در فضا و زمان فراهم می‌آورد، اما متأسفانه به نظر می‌رسد که جواب‌ها ممکن است به شدت ناپایدار باشند. کمترین اختلال، مانند حضور فضانورد، ممکن است جواب‌ها را چنان تغییر دهد که فضانورد نتواند تکینگی را ببیند، تا زمانی که با آن روبه‌رو شود و زمان او به سر آید. به عبارت دیگر، تکینگی همیشه در آینده او قرار دارد و هرگز در گذشته وی نیست.
روایت قوی فرضیه سانسور کیهانی از این قرار است که در جواب واقع‌گرایانه، تکینگی‌ها همیشه یا مانند تکینگی‌های فروپاشی گرانشی یکسره در آینده قرار دارند، یا مانند مِهبانگ یکسره در گذشته هستند. امید بسیار می‌رود که روایتی از فرضیه سانسور معتبر باشد، زیرا شاید در نزدیکی تکینگی‌های برهنه سفر به گذشته امکان‌پذیر باشد. هر چند ممکن است این نکته برای نویسندگان داستان‌های علمی ـ تخیلی خوب باشد، اما مفهوم آن این است که زندگی هیچ کسی در امان نیست. ممکن است کسی به گذشته برود و پدر یا مادر شما را قبل از آن که نطفه شما بسته شود، بکشد.
در فروپاشی گرانشی برای تشکیل سیامچاله گسیل امواج گرانشی از هر حرکتی جلوگیری می‌کنند. بنابراین انتظار می‌رود که چندان طول نکشد تا سیامچاله به حالت ایستا برسد. عموماً فرض می‌کردند این حالت ایستای نهایی به جزئیات جسمی که رُمبشی کرده و سیامچاله را تشکیل داده بستگی دارد. سیامچاله ممکن است هر شکل و اندازه‌ای داشته باشد و حتی ممکن است شکل آن ثابت نبوده بلکه تپنده(۷۰) باشد.
اما در سال ۱۹۶۷ میلادی مقاله‌ای که «ورنر اسرائیل»(۷۱) در دوبلین(۷۲) نوشت، انقلابی در پژوهش درباره سیامچاله‌ها پدید آورد. اسرائیل نشان داد که هر سیامچاله‌ای که چرخان نیست باید کاملاً گرد یا کروی باشد. به علاوه اندازه آن به جرم آن بستگی دارد. در واقع آن را می‌توان با حلی خاص از معادلات اینشتین توصیف کرد. راه‌حلی که از سال ۱۹۱۷ میلادی از زمانی که «کارل شوارتزشیلد»(۷۳) کمی پس از کشف نسبیت عام آن را یافت، شناخته شده بود. در آغاز بسیاری و از جمله خود اسرائیل نتیجه وی را گواهی دانستند مبنی بر آنکه سیامچاله‌ها فقط با

فروپاشی اجرامی که کاملاً گرد یا کروی باشند تشکیل می‌شوند. چون هیچ جسم واقعی کاملاً کروی نیست، این بدان معنا بود که در حالت کلی فروپاشی گرانشی به تکینگی‌های برهنه منتهی می‌شود. اما، تفسیر متفاوتی از نتیجه اسرائیل نیز وجود داشت که به ویژه راجر پنروز و جان ویلر از آن حمایت می‌کردند. این تفسیر آن بود که سیاهچاله مانند گلوله‌ای از سیال رفتار می‌کند. هر چند ممکن است این جسم در ابتدا حالتی غیرکروی داشته باشد، اما وقتی فرومی‌پاشد تا سیاهچاله‌ای تشکیل دهد، به دلیل گسیل امواج گرانشی به حالت کروی درمی‌آید. محاسبات بیشتر از این دیدگاه حمایت کردند و عموماً آن را پذیرفتند.
نتیجه اسرائیل فقط به سیاهچاله‌هایی پرداخته است که از اجسام غیرگردان تشکیل شده‌اند. بر اساس تشبیه به گلوله سیال انتظار می‌رود که سیاهچاله‌ای که از فروپاشی جسم گردان ساخته شده کاملاً گرد نباشد. این سیاهچاله در اطراف استوای خود برآمدگی‌ای خواهد داشت که در اثر چرخش پدید آمده است. ما برآمدگی کوچکی مانند این در خورشید می‌بینیم که به علت چرخش آن که تقریباً هر بیست و پنج روز یک بار انجام می‌شود پدید آمده است. در سال ۱۹۶۳ میلادی «روی کر»(۷۴) نیوزیلندی مجموعه‌ای از جواب‌های سیاهچاله‌ای را برای معادلات نسبیت عام یافت که از جواب‌های شوارتزشیلد عمومی‌تر بودند. سیاهچاله‌های «کر» با آهنگ ثابتی می‌چرخند و اندازه و شکل آن‌ها فقط به جرم و آهنگ چرخش‌شان بستگی دارد. اگر چرخش صفر باشد، سیاهچاله کاملاً گرد و همان جواب شوارتزشیلد را نتیجه می‌دهد. اما اگر چرخش غیرصفر باشد، سیاهچاله در نزدیکی استوای خود برآمدگی خواهد داشت. بنابراین، بدیهی بود که تصور کنند جسم چرخانی که فرومی‌پاشد تا سیاهچاله‌ای تشکیل دهد به حالتی خواهد رسید که با جواب کر توصیف می‌شود.
در سال ۱۹۷۰ میلادی، همکار و دانشجوی محقق من، «براندون کارتر»(۷۵) نخستین گام را به سوی اثبات این حدس برداشت. وی نشان داد که اگر سیاهچاله چرخان و مانا(۷۶) مانند فرفره‌ای چرخان دارای محور تقارن باشد، اندازه و شکل آن فقط به جرم و آهنگ چرخش آن بستگی خواهد داشت. سپس، در سال ۱۹۷۱ میلادی، من اثبات کردم که هر سیاهچاله چرخان مانایی در واقع دارای چنین محور تقارنی است. سرانجام، در سال ۱۹۷۳ میلادی، «دیوید رابینسون»(۷۷) در کینگز کالج لندن(۷۸)، با استفاده از نتایج کارتر و من نشان داد که این حدس صحیح بوده است: چنین سیاهچاله‌ای در واقع می‌بایست جواب کر باشد.
بنابراین سیاهچاله پس از فروپاشی گرانشی باید به حالتی برسد که بتواند بچرخد اما تپنده نباشد. به علاوه اندازه و شکل سیاهچاله فقط به جرم و آهنگ چرخش آن و نه به طبیعت جسمی که رُمبش کرده (تا آن را تشکیل دهد) بستگی دارد. این نتیجه را با قاعده‌ای کلی می شناسند «سیاهچاله مو ندارد».(۷۹) یعنی وقتی سیاهچاله تشکیل می‌شود یقیناً اطلاعات زیادی درباره جسمی که رُمبش کرده و سیاهچاله را تشکیل داده از دست می‌رود؛ زیرا تمام آنچه احتمالاً پس از این می‌توانیم اندازه بگیریم، جرم و آهنگ چرخش جسم است. اهمّیت این امر را در سخنرانی بعدی درخواهیم یافت. قضیه بدون مو اهمّیت عملی زیادی نیز دارد زیرا انواع ممکن سیاهچاله را به شدت محدود می‌سازد. بنابراین، می‌توان مدل‌های تفصیلی زیادی از اجرامی را ساخت که ممکن است سیاهچاله را هم شامل شود و پیش‌بینی‌های مدل‌ها را با رصدها مقایسه کند.
سیاهچاله‌ها از موارد نسبتاً معدودی در تاریخ علم‌اند که مدل ریاضی قبل از آنکه رصدها درستی مدل را تأیید کنند با جزئیات فراوان توسعه یافته است. در واقع، این برهان اصلی مخالفان

سیاهچاله‌هاست. چگونه می‌توان اجرامی را باور کرد که تنها مدرک وجود آنها محاسبات مبتنی بر نسبیت عام است که خود محل تردید است؟
اما، در سال ۱۹۶۳ میلادی، «مارتن اشمیت»(۸۰)، اخترشناس رصدخانه مونت پالومار(۸۱) در کالیفرنیا در امتداد چشمه امواج رادیویی موسوم به 3C273 (یعنی چشمه شماره ۲۷۳ در سومین کاتالوگ چشمه‌های رادیویی کمبریج) جرم ستاره‌مانند کم‌نوری را یافت. هنگامی که انتقال به سرخ این جرم را اندازه‌گیری کرد، دریافت که انتقال به سرخ بزرگ‌تر از آن است که علت آن میدان گرانشی باشد: اگر این انتقال به سرخ گرانشی بود، جسم می‌بایست چنان پُرجرم و چنان نزدیک به ما باشد که مدار سیارات منظومه شمسی را مختل کند. این نشان می‌داد که انتقال به سرخ، ناشی از انبساط عالم است که معنای آن به نوبه خود این بود که جسم بسیار دور است و برای آن که در چنین فاصله عظیمی قابل رؤیت باشد، باید بسیار درخشان بوده و مقدار بسیار زیادی انرژی گسیل کند.
ظاهراً تنها مکانیسمی که می‌شد فکر کرد چنین مقادیر عظیمی از انرژی گسیل می‌کند، رُمبش گرانشی، آن هم نه رُمبش فقط یک ستاره بلکه رُمبش کل ناحیه مرکزی کهکشان بود. از آن زمان شمار دیگری از «اجرام ستاره مانند»(۸۲) یا «اختروش»ها(۸۳) را کشف کرده‌اند که همه آنها انتقال به سرخ بزرگی داشته‌اند. اما همه آنها بسیار دورند و مشاهده آن‌ها به منظور ارائه مدرکی قطعی مبنی بر وجود سیاهچاله‌ها بسیار دشوار است.
دلگرمی دیگر مبنی بر وجود سیاهچاله‌ها در سال ۱۹۶۷ میلادی در نتیجه کشف اجرامی در آسمان که تپ‌های منظم امواج رادیویی گسیل می‌کردند، از سوی دانشجوی محقق کمبریج یعنی «ژاکلین بل»(۸۴)، به دست آمد. در آغاز، ژاکلین و راهنمای وی «آنتونی هیویش»(۸۵) فکر می‌کردند با تمدن بیگانه‌ای در کهکشان تماس گرفته‌اند. در واقع به یاد دارم در سمیناری که در آن کشف خود را اعلام کردند، چهار چشمه اولی را که یافته بودند LGM 1-4 نامیدند که LGM مخفف «Little Green Men» به معنای مردان سبز کوچک بود.
اما در پایان آنها و تمام اشخاص دیگر به نتیجه‌ای رسیدند که این قدر رمانتیک نبود و مشخص می‌کرد این اجرام که به آنها نام «تپ‌اختر»(۸۶) داده بودند، در واقع فقط ستاره‌های نوترونی چرخانند. این اجرام به دلیل ناهمراستایی پیچیده میان میدان مغناطیسی و ماده اطراف‌شان تپ‌هایی از امواج رادیویی گسیل می‌کردند. این خبر بدی برای نویسندگان وسترن‌های فضایی، ولی خبری بسیار امیدوارکننده برای گروه کوچکی از ما بود که در آن زمان به سیاهچاله‌ها باور داشتیم. این نخستین مدرک مثبت وجود ستاره‌های نوترونی بود. شعاع ستاره نوترونی در حدود ده مایل است که فقط چند برابر شعاع بحرانی‌ای است که ستاره، سیاهچاله می‌شود. اگر ستاره‌ای بتواند به چنین اندازه کوچکی فروبپاشد، منطقاً می‌توان انتظار داشت که ستاره‌های دیگر بتوانند به اندازه باز هم کوچک‌تری رُمبش کنند و سیاهچاله شوند.
چگونه می‌توان انتظار داشت که سیاهچاله‌ای را آشکار کنیم که طبق تعریف نوری گسیل نمی‌کند؟ این کار کمی مثل پیدا کردن گربه سیاه در انبار زغال است. خوشبختانه، راهی وجود دارد، زیرا همان‌گونه که جان میچل در مقاله پیشتازانه خود در سال ۱۷۸۳ اشاره کرد، سیاهچاله هنوز هم بر اجرام نزدیک نیروی گرانشی وارد می‌کند. اخترشناسان منظومه‌هایی را مشاهده کرده‌اند که در آن‌ها دو ستاره در مدار یکدیگر می‌گردند و به‌وسیله گرانش به سوی یکدیگر کشیده می‌شوند. سیستم‌هایی را هم مشاهده کرده‌اند که در آنها فقط یک ستاره قابل رؤیت وجود دارد و در مدار

همدم نامرئی خود می‌گردد. البته نمی‌توان بلافاصله نتیجه گرفت که همدم آن ستاره قابل رؤیت سیاهچاله است. شاید فقط ستاره‌ای باشد که کم‌نورتر از آن است که بتوان آن را دید. اما، برخی از این سیستم‌ها، مانند آنکه دجاجه ایکس- یک(۸۷) نام دارد، چشمه‌های قوی پرتوهای ایکس نیز هستند. بهترین توضیح برای این پدیده آن است که پرتوهای ایکس را ماده‌ای تولید می‌کند که از سطح ستاره مرئی کشیده می‌شود. این ماده با سقوط به سوی همراه نامرئی به حرکتی مارپیچی درمی‌آید (تقریباً مانند آبی است که در چاه حمام فرو می‌رود) و بسیار داغ می‌شود و پرتوهای ایکس گسیل می‌کند. برای این که این مکانیسم کار کند، شیء نامرئی باید مانند کوتوله‌ای سفید، ستاره‌ای نوترونی یا سیاهچاله‌ای بسیار کوچک باشد.
اما از حرکت مشاهده‌شده ستاره مرئی می‌توان پایین‌ترین جرم ممکن برای شیء نامرئی را تخمین زد. در مورد دجاجه ایکس- یک، این جرم در حدود شش برابر جرم خورشید است. بر اساس نتیجه چاندراسِخار این هم برای آنکه شیء نامرئی کوتوله سفید باشد بسیار زیاد است. این جرم برای ستاره نوترونی هم بسیار زیاد است. بنابراین، به نظر می‌رسد که باید سیاهچاله باشد.
مدل‌های دیگری هم برای توضیح دجاجه ایکس - یک وجود دارد که شامل سیاهچاله نمی‌شود، اما همه آنها نسبتاً نامحتمل هستند. به نظر می‌رسد که سیاهچاله تنها توضیح واقعاً طبیعی این رصدها باشد. با این همه من با «کیپ تورن»(۸۸) از مؤسسه تکنولوژی کالیفرنیا شرط بسته‌ام که دجاجه ایکس- یک حاوی سیاهچاله نیست. این هم نوعی بیمه برای من است. من روی سیاهچاله‌ها کار زیادی کرده‌ام و اگر روشن شود که سیاهچاله‌ها وجود ندارد همه آن کارها به هدر می‌رود. اما در این مورد اگر شرط را ببرم تسلایی دارم و آن هم چهار سال اشتراک مجله پرایویت آی(۸۹) است. اگر سیاهچاله‌ها وجود داشته باشند، کیپ فقط یک سال اشتراک پنت‌هاوس را می‌برد، زیرا در سال ۱۹۷۵ میلادی که ما شرط بستیم، ۸۰ درصد مطمئن بودیم که دجاجه ایکس- یک سیاهچاله است. اما اکنون می‌گویم که ما در حدود ۹۵درصد مطمئن هستیم، ولی شرط هنوز باید به پایان برسد.(۹۰)
در مورد وجود سیاهچاله در برخی منظومه‌های دیگر در کهکشان ما و وجود سیاهچاله‌های بسیار بزرگ‌تر در مرکز کهکشان‌های دیگر و اختروش‌ها شواهدی وجود دارد. می‌توان این امکان را نیز بررسی کرد که شاید سیاهچاله‌هایی با جرم بسیار کمتر از خورشید وجود داشته باشند. این سیاهچاله‌ها نمی‌توانند با رُمبش گرانشی تشکیل شوند، زیرا جرم آنها زیر حد چاندراسِخار است. ستاره‌هایی با این جرم کم حتی هنگامی که سوخت خود را تمام کرده باشند می‌توانند از خود در برابر نیروی گرانش محافظت کنند. بنابراین سیاهچاله‌های کم‌جرم فقط در صورتی می‌توانند تشکیل شوند که ماده را فشارهای خارجی بزرگ تا چگالی بسیار زیاد فشرده سازد. این شرایط می‌تواند در یک بمب هیدروژنی بسیار بزرگ روی دهد. زمانی «جان ویلر» فیزیکدان محاسبه کرد که اگر کسی کل آب سنگین تمام اقیانوس‌های جهان را بردارد، می‌تواند بمبی هیدروژنی بسازد که تمامی مواد را در مرکز زمین چنان فشرده سازد که سیاهچاله‌ای ایجاد شود. اما متأسفانه کسی باقی نمی‌ماند که آن را مشاهده کند.
امکان عملی‌تر آن است که این سیاهچاله‌های کم‌جرم در دماها و فشارهای زیاد عالم بسیار نخستین تشکیل شده باشند. سیاهچاله‌ها فقط در صورتی که عالم نخستین کاملاً هموار و یکنواخت نبود می‌توانستند تشکیل شوند، زیرا در این صورت، ناحیه‌ای کوچک چگال‌تر از حد متوسط بود، می‌توانست به شکلی فشرده شود که سیاهچاله تشکیل شود. اما ما می‌دانیم بی‌نظمی‌هایی وجود

داشته است، زیرا در غیر این صورت ماده در دوره حاضر نیز به جای آن که ستاره‌ها و کهکشان‌ها را تشکیل دهد، هنوز به طور کاملاً یکنواخت در عالم توزیع شده بود.
اینکه بی‌نظمی‌های لازم برای توضیح وجود ستاره‌ها و کهکشان‌ها به تشکیل شمار بامعنایی از این سیامچاله‌های نخستین منتهی شده است یا خیر به جزئیات شرایط در عالم نخستین بستگی دارد. بنابراین اگر بتوانیم معین کنیم که اکنون چه تعداد از این سیامچاله‌های نخستین وجود دارد، در مورد مراحل نخست عالم مطالب زیادی خواهیم آموخت. سیاهچاله‌های نخستین با جرمی بیش از یک میلیارد تُن (جرم کوهی بزرگ) را فقط به واسطه تأثیر گرانشی آن بر ماده مرئی یا بر انبساط عالم می‌توان آشکار ساخت. اما همان‌گونه که در سخنرانی بعدی خواهیم دید، سیامچاله‌ها واقعاً آن قدرها هم سیاه نیستند: مانند جسمی داغ ملتهب می‌شوند و هر چه کوچک‌تر باشند ملتهب‌تر خواهند شد. بنابراین نکته متناقض امکان آشکارسازی سیامچاله‌های کوچک‌تر آسان‌تر از سیامچاله‌های بزرگ‌تر است.

سخنرانی چهارم

سیاهچاله‌ها چندان هم سیاه نیستند

قبل از ۱۹۷۰ میلادی تحقیقات من در مورد نسبیت عام عمدتاً بر این پرسش متمرکز بود که آیا تکینگی مِهبانگ وجود داشته است. اما غروب روزی در ماه نوامبر همان سال کمی پس از تولد دخترم لوسی در حالی که به رختخواب می‌رفتم شروع کردم به فکر کردن درباره سیاهچاله‌ها. ناتوانی من، به رختخواب رفتن را به فرایندی نسبتاً کند تبدیل کرده است؛ بنابراین، وقت زیادی داشتم. در آن زمان تعریف دقیقی وجود نداشت که کدام نقاط فضا- زمان در درون سیاهچاله قرار می‌گیرند و کدام بیرون آن.

من در مورد اندیشه تعریف سیاهچاله به مثابه مجموعه‌ای از رویدادها که گریز از آن تا فاصله‌ای دور ممکن نیست با «راجر پنروز» بحث کرده بودم. اکنون این تعریفی است که عموماً پذیرفته‌اند. یعنی، مرز سیاهچاله، افق رویداد، از پرتوهای نوری تشکیل می‌شود که نمی‌توانند از سیاهچاله دور شوند. بلکه تا ابد بر لبه سیاهچاله شناور می‌مانند. مانند آن است که کسی در حال فرار از پلیس باشد و بتواند یک قدم جلوتر بماند اما نتواند کاملاً فرار کند.

ناگهان دریافتم مسیرهای این پرتوهای نور نمی‌توانند به یکدیگر نزدیک شوند، زیرا اگر نزدیک شوند سرانجام باید در یکدیگر تداخل کنند. مانند آن است که کسی در جهت مخالف از پلیس بگریزد. هر دو نفر گرفتار خواهند شد یا، در این مورد، در سیاهچاله سقوط خواهند کرد. اما اگر سیاهچاله این پرتوهای نور را بلعیده باشد، آن‌ها دیگر نمی‌توانند در مرز سیاهچاله باشند. بنابراین پرتوهای نور در افق رویداد باید به موازات یا در جهت دور شدن از یکدیگر حرکت کنند.

راه دیگر برای فهمیدن این نکته آن است که تصور کنیم افق رویداد یا مرز سیاهچاله مانند لبه سایه است. این لبه نورِ گریز به دوردست است، اما به همین سان، لبه سایه مجازاتِ قریب‌الوقوع نیز هست. اگر به قالبِ سایه با چشمه‌ای در دوردست مانند خورشید نگاه کنید، خواهید دید که پرتوهای نور در لبه به یکدیگر نزدیک نمی‌شوند. اگر پرتوهای نوری که افق رویداد یعنی مرز سیاهچاله، را تشکیل می‌دهند هرگز نتوانند به یکدیگر برسند، مساحت افق رویداد می‌تواند در طول زمان ثابت بماند یا افزایش یابد. اما هرگز نمی‌تواند کم شود، زیرا این بدان معناست که دست کم برخی پرتوهای نور به یکدیگر نزدیک شده‌اند. در واقع، هرگاه ماده یا تابشی در سیاهچاله سقوط کند، مساحت آن افزایش می‌یابد.

همچنین، تصور کنید دو سیاهچاله با هم برخورد کنند و در یکدیگر ادغام شوند و یک سیاهچاله تشکیل دهند. در این صورت، مساحت افق رویداد سیاهچاله نهایی بزرگ‌تر از مجموع مساحت‌های افق‌های رویداد سیاهچاله‌های اصلی است. این ویژگی ناکاهندگی(۹۱) مساحت افق رویداد محدودیت مهمی را بر رفتار احتمالی سیاهچاله‌ها تحمیل می‌کند. چنان از کشف خود هیجان‌زده شده بودم که آن شب زیاد نخوابیدم.

روز بعد به «راجر پنروز» زنگ زدم. او با من موافق بود. در واقع فکر می‌کنم که او از این ویژگی مساحت آگاه بود. اما از تعریفی برای سیاهچاله استفاده کرده بود که اندکی تفاوت داشت.

وی درنیافته بود که مرزهای سیاهچاله بر اساس دو تعریف یکی خواهد شد، به شرط آن که سیاهچاله به حالت مانا رسیده باشد.

قانون دوم ترمودینامیک

رفتار ناکاهندگی مساحت سیاهچاله خیلی مانند رفتار کمیتی فیزیکی موسوم به آنتروپی است که میزان بی‌نظمی سیستم را اندازه می‌گیرد. تجربه نشان می‌دهد که اگر اوضاع را به حال خود رها کنیم، بی‌نظمی افزایش می‌یابد؛ فقط کافی است خانه را بدون نظافت رها کنیم تا این را ببینیم. می‌توان از بی‌نظمی نظم آفرید (مثلاً با رنگ کردن خانه). اما، این کار مستلزم صرف انرژی است و بدین‌ترتیب، مقدار انرژی نظم‌دار موجود را کاهش می‌دهد.
بیان دقیق این اندیشه را «قانون دوم ترمودینامیک» می‌نامند. این قانون می‌گوید که آنتروپی سیستم منزوی در طول زمان هرگز کاهش نمی‌یابد. به علاوه، وقتی دو سیستم به هم می‌پیوندند، آنتروپی سیستم مرکب بزرگ‌تر از مجموع آنتروپی‌های سیستم‌های منفرد است. مثلاً سیستمی از ملکول‌های گاز را در جعبه در نظر بگیرید. ملکول‌ها را می‌توان توپ‌های کوچک بیلیارد تصور کرد که مداوماً به یکدیگر برخورد می‌کنند و از روی دیواره‌های جعبه به عقب می‌جهند. فرض کنید که در ابتدا همه ملکول‌ها با دیواره‌ای جداساز به سمت چپ جعبه محدود شده باشند. سپس اگر دیواره جداساز را درآوریم ملکول‌ها پخش می‌شوند و هر دو نیمه جعبه را می‌گیرند. ممکن است بعداً همه آن‌ها به طور تصادفی در سمت راست یا چپ جعبه باشند. اما، بسیار محتمل‌تر است که تعداد آن‌ها در دو نیمه تقریباً برابر باشد. این حالت، بی‌نظم‌تر یا نامنظم‌تر از حالتی است که ملکول ها در یک طرف بودند. بنابراین می‌گوییم که آتروپی گاز بالا رفته است.
حال فرض کنید کسی کار را با دو جعبه آغاز کند؛ یکی حاوی ملکول‌های اکسیژن و دیگری حاوی ملکول‌های نیتروژن. اگر کسی جعبه‌ها را به هم متصل کند و دیواره میان آن‌ها را بردارد، ملکول‌های اکسیژن و نیتروژن شروع به مخلوط شدن می‌کنند. بعداً محتمل‌ترین حالت آن است که مخلوطی کاملاً یکنواخت از ملکول‌های اکسیژن و نیتروژن در سراسر دو جعبه داشته باشیم. این حالت نامنظم‌تر از حالت اولیه دو جعبه جداست و بنابراین آنتروپی بیشتری از آن حالت دارد.
جایگاه قانون دوم ترمودینامیک نسبتاً از دیگر قوانین علم متفاوت است. قوانین دیگر، مثل قانون گرانش نیوتن، قوانین مطلقند (یعنی، همواره برقرارند). از سوی دیگر، قانون دوم، قانونی آماری است (یعنی، همواره معتبر نیست)، فقط در اکثریت عظیم حالت‌ها معتبر است. احتمال آن که تمام ملکول‌های گاز در جعبه ما زمانی بعد در یک نیمه جعبه پیدا شوند، میلیون‌ها میلیون به یک است، اما می‌تواند روی دهد [یعنی احتمال آن صفر نیست].
اما اگر کسی سیامچاله‌ای در اطراف خود داشته باشد، ظاهراً برای نقض قانون دوم راهی آسان‌تر در اختیار دارد: فقط کمی ماده با آنتروپی زیاد مانند جعبه گاز را به سوی سیامچاله پرتاب کنید. آنتروپی کل ماده‌ای که خارج از سیامچاله قرار دارد پایین می‌آید. البته می‌توان باز هم گفت آنتروپی کل که شامل آنتروپی داخل سیامچاله هم می‌شود پایین نرفته است. اما از آنجا که راهی برای نگاه کردن به داخل سیامچاله وجود ندارد، نمی‌توانیم بفهمیم ماده داخل آن چقدر آنتروپی دارد. بنابراین اگر سیامچاله ویژگی‌ای داشت که ناظران بیرون از سیامچاله می‌توانستند بر مبنای آن ویژگی، آنتروپی آن را معین کنند، خوب می‌شد؛ هرگاه ماده دارای آنتروپی به سیامچاله سقوط

می‌کند این کمیّت باید افزایش یابد.
به دنبال کشف من که بر اساس آن مساحت افق رویداد هرگاه ماده در سیاهچاله سقوط کند افزایش می‌یابد، دانشجوی محققی در پرینستون به نام «یاکوب بکنشتاین»(۹۲) گفت که مساحت افق رویداد مقیاسی از آنتروپی سیاهچاله است. با سقوط ماده دارای آنتروپی در سیاهچاله مساحت افق رویداد زیاد می‌شود، بنابراین مجموع آنتروپی ماده بیرون از سیاهچاله‌ها و مساحت افق‌های رویداد هرگز کاهش نمی‌یابد.
ظاهراً این پیشنهاد از نقض قانون دوم ترمودینامیک در اغلب وضعیت‌ها جلوگیری می‌کند. اما، یک ایراد مرگ‌بار وجود داشت: اگر سیاهچاله آنتروپی داشته باشد، پس دما هم دارد. اما جسمی که دمای آن مخالف صفر است باید با آهنگی معین تابش گسیل کند. تجربه می‌گوید که اگر کسی سیخی را در آتش داغ کند، سیخ ملتهب و سرخ می‌شود و تابش گسیل می‌کند. اما اجسام در دماهای پایین‌تر نیز تابش گسیل می‌کنند؛ فقط معمولاً کسی به آن توجه نمی‌کند، زیرا میزان تابش نسبتاً اندک است. برای جلوگیری از نقض قانون دوم ترمودینامیک این تابش لازم است. بنابراین سیاهچاله‌ها هم باید تابش گسیل کنند؛ اما طبق تعریف، سیاهچاله‌ها اجرامی هستند که قرار نیست چیزی گسیل کنند. بنابراین به نظر می‌رسید که مساحت افق رویداد سیاهچاله را نمی‌توان آنتروپی آن فرض کرد.
در سال ۱۹۷۲ میلادی من به همراه براندون کارتر و همکاری آمریکایی به نام «جیم باردین»(۹۳) مقاله‌ای در این مورد نوشتم. ما خاطرنشان کردیم هر چند شباهت‌های زیادی میان آنتروپی و مساحت افق رویداد وجود دارد اما این مشکلِ ظاهراً مرگ‌بار هم وجود دارد. باید اعتراف کنم که انگیزه من در نوشتن این مقاله تا حدی آزردگی از بکنشتاین بود، زیرا احساس می‌کردم که او از کشف من در مورد افزایش مساحت افق رویداد سوءاستفاده کرده است. اما در پایان روشن شد که اساساً حرف وی درست بوده است، هر چند از جهتی که خود وی یقیناً انتظارش را نداشت.

تابش سیاهچاله‌ها

در سپتامبر ۱۹۷۳ که از مسکو بازدید می‌کردم، درباره سیاهچاله‌ها با دو متخصص برجسته شوروی «یاکوو زلدوویچ»(۹۴) و «آلکساندر استاروبینسکی»(۹۵) بحث کردم. آن‌ها مرا متقاعد کردند که بر اساس اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتومی سیاهچاله‌های چرخان باید ذره خلق و گسیل کنند. من بر اساس مبانی فیزیکی به استدلال ایشان اعتقاد داشتم، اما شیوه ریاضی ایشان را برای محاسبه گسیل دوست نداشتم. بنابراین تصمیم گرفتم راه ریاضی بهتری بیابم که آن را در سمیناری غیررسمی در پایان نوامبر سال ۱۹۷۳ در آکسفورد شرح دادم. در آن زمان محاسبه‌ای انجام نداده بودم که میزان گسیل واقعاً چقدر است. انتظار داشتم همان تابشی را که زلدوویچ و استاروبینسکی از سیاهچاله‌های چرخان پیش‌بینی کرده بودند، کشف کنم. اما پس از انجام محاسبات با شگفتی و نگرانی دریافتم که حتی سیاهچاله‌های غیرچرخان نیز باید با آهنگی ثابت ذره خلق و گسیل کنند.
ابتدا فکر می‌کردم این گسیل نشان می‌دهد یکی از تقریب‌هایی که به کار برده‌ام نامعتبر است. نگران بودم اگر بکنشتاین مطلبی از آن بفهمد، آن را به مثابه دلیل دیگری برای حمایت از آرای

خود درباره آنتروپی سیاه‌چاله‌ها که من هنوز از آن خوشم نمی‌آمد به کار ببرد. اما آن چه سرانجام مرا متقاعد ساخت که گسیل واقعی است، آن بود که طیف ذرات گسیل‌شده دقیقاً همانی است که به‌وسیله جسمی داغ گسیل می‌شود. سیاه‌چاله ذرات را دقیقاً با همان آهنگی گسیل می‌کند که برای جلوگیری از نقض قانون دوم لازم است.
از آن پس افراد مختلف محاسبات را به شکل‌های مختلف تکرار کرده‌اند. همه آن‌ها تأیید می‌کنند که سیاه‌چاله باید ذره و تابش گسیل کند، گویی جسم داغی است که دمایی دارد و فقط به جرم سیاه‌چاله بستگی دارد: هر چه جرم جسم بیشتر باشد دما پایین‌تر است. این گسیل را می‌توان به این روش فهمید: آنچه فضای تهی می‌دانیم نمی‌تواند کاملاً تهی باشد، زیرا معنای آن این است که تمام میدان‌ها از قبیل میدان گرانشی و میدان الکترومغناطیسی باید دقیقاً صفر باشند. اما مقدار میدان و آهنگ تغییر آن در طول زمان مانند موقعیت و سرعت ذره هستند. اصل عدم قطعیت نشان می‌دهد که هر چه یکی از این کمیت‌ها را دقیق‌تر بدانیم، از دیگری را با دقت کم‌تری اطلاع داریم.
بنابراین، در فضای تهی میدان نمی‌تواند دقیقاً روی صفر ثابت باشد، زیرا در این صورت، هم مقدار دقیقی دارد، (یعنی صفر)، و هم آهنگ تغییر آن دقیق است که آن نیز صفر است. پس باید مقدار عدم قطعیت یا نوسانات کوانتومی کمینه‌ای در مقدار میدان وجود داشته باشد. می‌توان این نوسانات را جفت ذرات نور یا ذرات گرانش دانست که در زمانی با هم پدیدار می‌شوند، از یکدیگر دور می‌شوند، دوباره به هم می‌پیوندند و یکدیگر را نابود می‌کنند. این ذرات را «ذرات مجازی»(۹۶) می‌نامند. بر خلاف ذرات حقیقی آنها را نمی‌توان مستقیماً با آشکارساز ذرات مشاهده کرد. اما اثرات غیرمستقیم آنها مانند تغییرات کوچک در انرژی مدارهای الکترون و اتم‌ها را می‌توان اندازه‌گیری کرد و این مقادیر اندازه‌گیری‌شده با دقت شایان توجهی با پیش‌بینی‌های نظری در توافق هستند.
بر اساس اصل پایستگی انرژی، یکی از ذرات از جفت ذرات مجازی دارای انرژی مثبت و دیگری دارای انرژی منفی است. آن که دارای انرژی منفی است، محکوم است که ذره مجازی کوتاه‌عمری باشد. دلیل این امر آن است که ذرات واقعی در وضعیت‌های عادی دارای انرژی مثبت هستند. بنابراین باید جفت خود را بجوید و نابود کند. اما، میدان گرانشی درون سیاه‌چاله چنان قوی است که حتی ذره واقعی ممکن است در آنجا انرژی منفی داشته باشد.
بنابراین اگر سیاه‌چاله‌ای وجود داشته باشد، ممکن است ذره مجازی با انرژی منفی در سیاه‌چاله سقوط کند و به ذره واقعی تبدیل شود. در این حالت دیگر نباید جفت خود را نابود کند؛ جفت رهاشده آن نیز ممکن است در سیاه‌چاله سقوط کند. اما، از آنجا که این ذره انرژی مثبت دارد، برای آن گریز به نامتناهی به مثابه ذره واقعی نیز ممکن است. از نظر ناظری که در فاصله دور قرار دارد، به نظر می‌رسد که ذره‌ای از سیاه‌چاله گسیل شده است. هر چه سیاه‌چاله کوچک‌تر باشد ذره‌ای که انرژی منفی دارد قبل از آنکه به ذره واقعی تبدیل شود، فاصله کمتری را باید طی کند. بدین‌ترتیب آهنگ گسیل بزرگ‌تر و دمای ظاهری سیاه‌چاله بیشتر خواهد بود.
انرژی مثبت تابش خروجی با جریان ذرات دارای انرژی منفی به سیاه‌چاله موازنه خواهد شد. بر اساس معادله مشهور اینشتین، $E=mc^2$، انرژی هم‌ارز جرم است. بنابراین، جریان انرژی منفی به سیاه‌چاله جرم آن را کاهش می‌دهد. با کاهش جرم سیاه‌چاله مساحت افق رویداد آن کمتر

می‌شود؛ اما این کاهش در آنتروپی سیاه‌چاله بیش از آن است که با آنتروپی تابش گسیل‌شده جبران شود، بنابراین قانون دوم هرگز نقض نمی‌شود.

انفجارهای سیاهچاله‌ای

هر چه جرم سیاه‌چاله کمتر باشد، دمای آن بیشتر است. پس با کاهش جرم سیاه‌چاله، دما و آهنگ گسیل آن افزایش می‌یابد. بنابراین جرم خود را سریع‌تر از دست می‌دهد. به درستی روشن نیست که وقتی جرم سیاه‌چاله سرانجام بسیار کم می‌شود چه اتفاقی می‌افتد. منطقی‌ترین حدس آن است که در انفجار نهایی شدیدی از گسیل‌ها که معادل انفجار میلیون‌ها بمب هیدروژنی است ناپدید می‌شود.
دمای سیاه‌چاله‌ای که جرم آن چند برابر جرم خورشید باشد، فقط ده‌میلیونیم درجه بالای صفر مطلق است. این دما بسیار کم‌تر از دمای تابش ریزموجی است که عالم را پر کرده و در حدود ۷/ ۲ درجه بالای صفر مطلق است (بنابراین، چنین سیاه‌چاله‌هایی کمتر از آنچه جذب می‌کنند از دست می دهند، حتی اگر جذب آنها بسیار اندک باشد). اگر سرنوشت عالم آن باشد که تا ابد منبسط شود، دمای تابش ریزموجی سرانجام به کمتر از دمای چنین سیاه‌چاله‌ای کاهش خواهد یافت. در آن زمان سیاه‌چاله کمتر از آن چه گسیل می‌کند جذب خواهد کرد و کاهش جرم آن آغاز می‌شود. اما حتی در آن زمان هم دمای آن چنان پایین است که تبخیر کامل آن در حدود $۱۰^{۶۶}$ سال طول خواهد کشید. این، بسیار طولانی‌تر از سن عالم یعنی در حدود $۱۰^{۱۰}$ سال است.
از سوی دیگر، همان‌طور که در سخنرانی آخر دیدیم ممکن است سیاه‌چاله‌های نخستینی با جرم‌های بسیار کوچک‌تر وجود داشته باشند که با رُمبش بی‌نظمی‌ها در مراحل بسیار اولیه عالم ساخته شده‌اند. این سیاه‌چاله‌ها دمای بسیار بالاتری خواهند داشت و تابش را با آهنگ بسیار بیشتری گسیل خواهند کرد. طول عمر سیاه‌چاله نخستینی با جرم اولیه میلیارد تُن تقریباً برابر با سن عالم است. سیاه‌چاله‌های نخستین با جرمی که از این هم کمتر باشد تا کنون به طور کامل تبخیر شده‌اند. اما آنهایی که جرم‌شان اندکی بیشتر است هنوز هم تابش‌هایی به شکل پرتوهای ایکس و گاما گسیل می‌کنند. اینها مانند امواج نور هستند، اما با طول موج بسیار کوتاه‌تر. چنین چاله‌هایی خیلی هم شایسته صفت «سیاه» نیستند. آن‌ها واقعاً سفید و داغ هستند و انرژی را با آهنگی در حدود ده‌هزار مگاوات گسیل می‌کنند.
اگر فقط می‌توانستیم خروجی یکی از این سیاه‌چاله‌ها را مهار کنیم، می‌توانست ده نیروگاه بزرگ را تأمین کند. اما این کار نسبتاً دشوار است. اگر سیاه‌چاله‌ای به جرم یک کوه می‌بود به اندازه هسته اتم فشرده می‌شد. اگر یکی از این سیاه‌چاله‌ها را در سطح زمین داشتید، راهی برای جلوگیری از سقوط آن به مرکز زمین، از طریق سطح زمین، وجود نداشت. در درون زمین نوسان می‌کرد و بازمی‌گشت تا سرانجام در مرکز زمین آرام می‌گرفت. بنابراین تنها جای ممکن برای قرار دادن چنین سیاه‌چاله‌ای را فقط در مداری به دور زمین است تا در آنجا بتوان انرژی‌ای را که گسیل می‌کند به کار گرفت. تنها راه آوردن آن به مدار زمین این است که جرمی بزرگ را در جلوی آن بکشیم، مانند هویجی که جلوی خرگوش می‌گیرند. این، پیشنهاد خیلی هم عملی به نظر نمی‌رسد، دست کم در آینده نزدیک عملی نیست.

جستوجوی سیاهچاله‌های نخستین

اما حتی اگر نتوانیم گسیل این سیامچاله‌های نخستین را مهار کنیم، بخت ما برای مشاهده آن‌ها چقدر است؟ می‌توانیم به دنبال پرتوهای گامایی بگردیم که سیامچاله‌های نخستین در قسمت اعظم حیات خود گسیل می‌کنند. هر چند بیشتر آنها بسیار دورند و تابش بسیار ضعیفی دارند، اما ممکن است کل تابش آنها قابل آشکارسازی باشد. در واقع ما این پرتوهای گامای زمینه را مشاهده می‌کنیم. اما، این تابش زمینه احتمالاً با فرآیندهایی غیر از سیامچاله‌های نخستین ایجاد شده است. می‌توان گفت که مشاهده پرتو گامای زمینه‌ای هیچ مدرک مستدلی به نفع وجود سیامچاله نخستین فراهم نمی‌آورد. اما به ما می‌گوید که ممکن نیست به طور میانگین بیش از سیصد سیامچاله کوچک در هر سال نوری مکعب در عالم وجود داشته باشد. معنای این حد آن است که سیامچاله‌های نخستین می‌توانند حداکثر یک‌میلیونیم میانگین چگالی جرمی را در عالم تشکیل دهند.

حال که سیامچاله‌های نخستین چنین نادر هستند، شاید اینکه یکی از آنها آن قدر به ما نزدیک بوده که می‌توانسته‌ایم آن را مشاهده کنیم نامحتمل به نظر می‌رسد. اما از آنجا که گرانش سیامچاله‌های نخستین را به سوی هر ماده‌ای می‌کشاند باید این سیامچاله‌ها در کهکشان بسیار فراوان‌تر باشند. اگر آنها مثلاً یک میلیون برابر در کهکشان فراوان‌تر بودند، نزدیک‌ترین سیامچاله به ما احتمالاً در فاصله‌ای در حدود یک میلیارد کیلومتر، یا تقریباً به دوری پلوتو دورترین سیاره(۹۷) شناخته‌شده قرار داشت. در این فاصله باز هم آشکارسازی گسیل یکنواخت سیامچاله، حتی اگر این گسیل ده‌هزار مگاوات باشد، بسیار دشوار است.

برای مشاهده سیامچاله نخستین باید چند کوانتا [بسته موج] پرتو گاما را در فاصله زمانی معقولی مثلاً یک هفته از یک جهت آشکار ساخت.

در غیر این صورت، ممکن است پرتوهای گاما فقط بخشی از تابش زمینه باشند. اما اصل کوانتومی پلانک می‌گوید هر کوانتوم پرتو گاما انرژی بسیار زیادی دارد، زیرا پرتوهای گاما بسامد بسیار بالایی دارند. بنابراین حتی تابش ده هزار مگاوات به کوانتاهای زیادی نیاز ندارد و مشاهده این چند کوانتا که از فاصله پلوتو می‌رسند به آشکارساز پرتوی گامایی نیاز دارد که بزرگ‌تر از هر چه تاکنون ساخته شده است. به علاوه آشکارساز باید در فضا باشد، زیرا پرتوهای گاما نمی‌توانند به جوّ [زمین] نفوذ کنند.

البته، اگر سیامچاله‌ای که به نزدیکی پلوتو است به انتهای عمر خود برسد و منفجر شود، آشکارسازی گسیل انفجاری نهایی آسان خواهد بود. اما اگر سیامچاله در ده یا بیست میلیارد سال گذشته تابش گسیل کرده باشد احتمال آن که ظرف چند سال آینده به انتهای عمر خود برسد واقعاً کم است. به همین سان ممکن است چند میلیون سال در گذشته یا آینده وجود داشته باشد. بنابراین، برای آنکه قبل از به پایان رسیدن بودجه تحقیقات خود منطقاً شانس آن را داشته باشید که انفجار را مشاهده کنید باید راهی برای آشکارسازی تمام انفجارها در فاصله یک سال نوری پیدا کنید. باز هم با مسأله نیاز به آشکارساز بزرگ پرتوی گاما برای مشاهده کوانتاهای متعدد پرتوی گامای حاصل از انفجار روبرو هستید. اما، در این مورد، تعیین این امر که تمام کوانتاها از یک سو می‌آیند لازم نیست. کافی است مشاهده کنیم که همه آنها ظرف فاصله زمانی کوتاهی رسیده‌اند تا معقولانه اطمینان داشته باشیم که از یک انفجار می‌آیند.

یکی از آشکارسازهای پرتو گاما که ممکن است قادر به یافتن سیامچاله‌های نخستین باشد، کل جوّ زمین است. (در هر حال، بعید است که بتوانیم آشکارسازی بزرگ‌تر بسازیم). هنگامی که کوانتای پرتو گامای پرانرژی به اتم‌ها در جوّ برخورد می‌کند، جفت‌های الکترون و پوزیترون خلق می‌کند. وقتی این جفت‌ها به اتم‌های دیگر برخورد و به نوبه خود، جفت الکترون‌ها و پوزیترون‌های بیشتری خلق می‌کنند. بدین‌ترتیب به چیزی می‌رسیم که «آبشار الکترونی» نام دارد. نتیجه شکلی از نور موسوم به «تابش چرنکوف»(۹۸) است. بنابراین می‌توان با جستجوی درخش‌های نور در آسمان شب انفجارهای پرتو گاما را آشکار ساخت.
البته، پدیده‌های دیگری هم مانند رعد و برق وجود دارند که موجب درخش در آسمان می‌شوند. اما می‌توان با مشاهده همزمان درخش‌ها در دو یا چند مکان که کاملاً از یکدیگر فاصله داشته باشند، میان انفجارهای پرتو گاما و این پدیده‌ها تمایز قایل شد. تحقیقی مانند این را دو دانشمند دوبلینی، «نیل پورتر»(۹۹) و «تِرورِ ویکز»(۱۰۰) با استفاده از تلسکوپ‌هایی در آریزونا انجام دادند. آنها درخش‌هایی یافتند، اما هیچ درخشی نیافتند که بتوان آن را به‌طور قطعی به انفجارهای پرتو گامای سیامچاله‌های نخستین نسبت داد.
حتی اگر نتیجه جستجوی سیامچاله‌های نخستین منفی باشد، که ظاهراً هم همین طور بوده، باز هم اطلاعات مهمی درباره مراحل بسیار نخستین جهان به ما می‌دهد. اگر جهان نخستین آشوبناک یا بی‌نظم بود یا اگر فشار ماده پایین بود، انتظار می‌رفت بسیار بیش از آنچه مشاهدات ما در مورد زمینه پرتو گاما معین می‌سازد، سیامچاله‌های نخستین ایجاد شده. فقط در صورتی که جهان نخستین بسیار هموار و یکنواخت بود و فشار بالایی داشت، می‌شد فقدان تعداد قابل مشاهده‌ای از سیامچاله‌های نخستین را توضیح داد.

نسبیت عام و مکانیک کوانتومی

تابش از سیامچاله‌ها نخستین نمونه‌ای از پیش‌بینی است که به هر دو نظریه بزرگ این قرن یعنی نسبیت عام و مکانیک کوانتومی بستگی دارد. این نکته در ابتدا با مخالفت زیادی روبرو شد، زیرا مخالف دیدگاه موجود بود: «چگونه ممکن است سیامچاله چیزی گسیل کند؟». هنگامی که نخستین بار نتیجه محاسبات خود را در آزمایشگاه رادرفورد در نزدیکی آکسفورد اعلام کردم، با دیرباوری عمومی از آن استقبال شد. در پایان سخنرانی من، رئیس سخنرانی «جان جی. تیلور»(۱۰۱) از کینگز کالجِ لندن ادعا کرد که تماماً بی‌معنی بوده است. حتی مقاله‌ای با همین مضمون نوشت.
اما، در پایان اغلب افراد از جمله «جان تیلور» به این نتیجه رسیدند که اگر دیگر آراء ما درباره نسبیت عام و مکانیک کوانتومی صحیح باشند، سیامچاله‌ها باید مانند اجسام داغ تابش کنند. بنابراین هر چند هنوز نتوانسته‌ایم سیامچاله نخستینی بیابیم، توافقی تقریباً عمومی وجود دارد که اگر می‌توانستیم چنین کنیم، آن سیامچاله می‌بایست پرتوهای گاما و ایکس زیادی گسیل می‌کرد.
ظاهراً وجود تابش از سیامچاله نشان می‌دهد که فروپاشی گرانشی آن‌گونه هم که زمانی می‌پنداشتیم نهایی و برگشت‌ناپذیر نیست. اگر فضانوردی در سیامچاله سقوط کند، جرم آن سیامچاله افزایش خواهد یافت. سرانجام انرژی هم‌ارز آن جرم به شکل تابش به عالم بازخواهد گشت. بدین‌ترتیب به معنایی، فضانورد بازیافت خواهد شد. اما، این بی‌مرگی نامناسبی است، زیرا

تقریباً به یقین هر مفهوم شخصی از زمان برای فضانورد به پایان می‌رسد، چون او در درون سیامچاله از وجود ساقط خواهد شد. حتی انواع ذره‌ای که سرانجام به‌وسیله سیامچاله گسیل می‌شدند، در کل از آنهایی که فضانورد را تشکیل داده بودند متفاوت بودند. تنها چیزی که از فضانورد باقی می‌ماند جرم یا انرژی وی خواهد بود.
تقریب‌هایی که من برای استنتاج گسیل از سیامچاله‌ها به کار برده‌ام، وقتی جرم سیامچاله بیش از کسری از یک گرم باشد، خوب هستند. اما در پایان عمر سیامچاله که جرم آن خیلی کوچک می‌شود، این تقریب‌ها درهم‌خواهد شکست. به نظر می‌رسد محتمل‌ترین نتیجه آن باشد که سیامچاله دست‌کم از منطقه ما در عالم ناپدید می‌شود. فضانورد و هر تکینگی‌ای را هم که ممکن است در درون سیامچاله باشد با خود خواهد برد. این نخستین نشانه بود که ممکن است مکانیک کوانتومی تکینگی‌هایی را که نسبیت عام کلاسیک پیش‌بینی کرده است از میان ببرد. اما، روش‌هایی که من و دیگران در سال ۱۹۷۴ برای مطالعه اثرات کوانتومی گرانش به کار بردیم، نمی‌توانست به پرسش‌هایی مانند این که آیا تکینگی‌ها در «گرانش کوانتومی» روی می‌دهند پاسخ دهد.
بنابراین، از سال ۱۹۷۵ به بعد اتخاذ رویکرد قوی‌تری را که بر اندیشه «فاینمن»(۱۰۲) درباره جمع‌بندی روی تاریخ‌ها(۱۰۳) مبتنی است آغاز کردم. پاسخ‌هایی که این رویکرد در مورد مبدأ و سرنوشت جهان می‌دهد در دو سخنرانی بعدی شرح داده خواهد شد. خواهیم دید که مکانیک کوانتومی امکان آن را می‌دهد که عالم آغازی داشته باشد که تکینگی نیست. یعنی نیازی نیست که قوانین فیزیک در آغاز عالم در هم بشکنند. حالت عالم و محتوای آن مثلاً خود ما را تا حدی که اصل عدم قطعیت معین می‌سازد، قوانین فیزیک تعیین می‌کنند. این تمام چیزی است که باید در مورد اختیار گفت.

سخنرانی پنجم

مبدأ و سرنوشت عالم

در تمام دهه ۱۹۷۰ من عمدتاً بر روی سیاه‌چاله‌ها کار می‌کردم. اما در سال ۱۹۸۱ هنگامی که در یک کنفرانس کیهان‌شناسی در واتیکان حضور یافتم، علاقه‌ام به پرسش‌های مربوط به مبدأ عالم دوباره زنده شد. کلیسای کاتولیک هنگامی که گالیله سعی کرده بود در مورد پرسشی در باب طبیعت قانونی وضع کند و (خاطرنشان می‌کرد خورشید به گرد زمین حرکت می‌کند) اشتباه بزرگی مرتکب شده بود. حالا قرن‌ها بعد از آن کلیسا به این نتیجه رسیده بود که بهتر است تا در زمینه کیهان‌شناسی با شماری از متخصصان مشورت کند.
در پایان کنفرانس شرکت‌کنندگان با پاپ دیدار کردند. او به ما گفت که مطالعه تحول عالم پس از مِهبانگ خوب است، اما ما نباید در مورد خود مِهبانگ کنجکاوی کنیم، زیرا این لحظه آفرینش و بنابراین کار خدا بوده است.
در آن زمان خوشحال بودم که او از موضوع سخنرانی‌ای که در کنفرانس ایراد کرده بودم اطلاعی ندارد. دوست نداشتم در سرنوشت گالیله سهیم باشم؛ من به گالیله علاقه زیادی دارم، تا حدی به این علت که دقیقاً سیصد سال پس از مرگ وی به دنیا آمده‌ام.

مدل مِهبانگ داغ

برای توضیح موضوع مقاله‌ام نخست تاریخ عموماً پذیرفته‌شده عالم را بر اساس آنچه «مدل مِهبانگ داغ»(۱۰۴) نام دارد، شرح خواهم داد. در این مدل فرض می‌شود که عالم با مدل فریدمان درست پس از مِهبانگ توصیف می‌شود. بر اساس این مدل‌ها با انبساط عالم، دمای ماده و تابش در آن پایین می‌آید. از آنجا که دما فقط اندازه انرژی متوسط ذرات است، این سرمایش عالم اثر عمده‌ای بر روی ماده درون آن دارد. در دماهای بسیار بالا ذرات چنان سریع حرکت می‌کنند که می‌توانند از هر کششی به سوی یکدیگر ناشی از نیروهای هسته‌ای یا الکترومغناطیسی بگریزند. اما با سرد شدن آنها ذراتی که یکدیگر را جذب می‌کنند به تدریج به گرد یکدیگر خوشه می‌بندند.
در خود مِهبانگ اندازه عالم صفر و بنابراین عالم بی‌نهایت داغ بوده است. اما با انبساط عالم، دمای تابش کاهش می‌یابد. یک ثانیه پس از مِهبانگ، به حدود ده میلیارد درجه سقوط می‌کند. این تقریباً هزار برابر دما در مرکز خورشید است، اما در انفجار بمب هیدروژنی به دماهایی به این زیادی می‌رسیم. در این زمان عالم عمدتاً حاوی فوتون، الکترون، نوترینو و ضدذرات آنها، به همراه تعدادی پروتون و نوترون بود.
با ادامه انبساط عالم و سقوط دما، آهنگ تولید الکترون‌ها و جفت‌های الکترونی در برخورد، از آهنگ انهدام آنها در نتیجه نابودی کم می‌شود. بنابراین، بیشتر این الکترون‌ها و ضدالکترون‌ها یکدیگر را نابود کردند و فوتون‌های بیشتری ایجاد کردند و فقط الکترون‌های کمی به جای

گذاشتند.
در حدود صد ثانیه پس از مِهبانگ دما به یک میلیارد درجه سقوط کرد که دمای داخلی داغ‌ترین ستاره‌هاست. در این دما، پروتون‌ها و نوترون‌ها دیگر برای گریز از کشش نیروی هسته‌ای قوی انرژی کافی نداشتند. آنها شروع کردند به ترکیب با یکدیگر و تولید هسته اتم‌های دوتریوم یا هیدروژن سنگین که یک پروتون و یک نوترون دارد. سپس هسته‌های دوتریوم با پروتون‌ها و نوترون‌های بیشتری ترکیب شدند و هسته هلیوم را تشکیل دادند که حاوی دو پروتون و دو نوترون بود. مقادیر کمی هم از دو عنصر سنگین‌تر، لیتیوم و بریلیوم، وجود داشت.
می‌توان محاسبه کرد که در مدل مِهبانگ داغ در حدود یک چهارم پروتون‌ها و نوترون‌ها به هسته‌های هلیوم و مقدار کمی هیدروژن سنگین و عناصر دیگر تبدیل شده‌اند. نوترون‌های باقی‌مانده، به پروتون متلاشی شده‌اند که هسته اتم هیدروژن معمولی است.
مدل مِهبانگ داغ پیش‌بینی می‌کند که ما باید بتوانیم تابش باقی‌مانده از مراحل داغ نخستین را مشاهده کنیم. اما با انبساط عالم دما به چند درجه بالای صفر مطلق کاهش یافته است. این توضیح تابش ریزموج زمینه کیهانی است که پنزیاس و ویلسون در ۱۹۶۵ میلادی کشف کردند. بنابراین کاملاً مطمئن هستیم که دست‌کم تا یک ثانیه پس از مِهبانگ تصویر صحیح را در اختیار داریم. ظرف فقط چند ساعت پس از مِهبانگ تولید هلیوم و عناصر دیگر متوقف شده است. و پس از آن برای حدود یک میلیون سال عالم فقط به انبساط ادامه داد، بدون آنکه اتفاق مهمی روی دهد. سرانجام همین که دما به چند هزار درجه سقوط کرد، الکترون‌ها و هسته‌ها دیگر برای غلبه بر کشش الکترومغناطیسی میان خود انرژی کافی نداشتند. پس با یکدیگر ترکیب شده و تشکیل اتم‌ها را آغاز کردند.
عالم در کل به انبساط و سرد شدن ادامه داد. اما در نواحی‌ای که کمی از میزان متوسط چگال‌تر بوده‌اند افزایش کشش گرانشی انبساط را کند کرده است. این امر سرانجام انبساط را در برخی نواحی متوقف می‌سازد و موجب رُمبش آنها می‌شود. ممکن است با رُمبش منطقه‌ای، کشش گرانشی ماده بیرون از این نواحی موجب گردد که کمی بچرخند. با کوچک‌تر شدن ناحیه در حال فروپاشی، این ناحیه تندتر می‌چرخد (درست مانند اسکیت‌بازی که دست‌های خود را جمع می‌کند و روی یخ تندتر می‌چرخد). سرانجام وقتی این ناحیه به قدر کافی کوچک می‌شود، آنچنان تند می‌چرخد که کشش گرانشی را موازنه می‌کند. کهکشان‌های دیسک‌مانند چرخان به این شکل متولد شده‌اند.
به مرور زمان گاز در کهکشان‌ها به ابرهای کوچک‌تری تجزیه شد که تحت گرانش خود رُمبش کردند. با انقباض این ابرها دمای گاز افزایش یافت تا آنقدر داغ شد که برای آغاز واکنش‌های هسته‌ای کافی بود. این واکنش‌ها هیدروژن را به هلیوم بیشتری تبدیل کردند و گرمای رهاشده فشار را بالا برد و بدین‌ترتیب ابرها را از انقباض بیشتر باز داشت. این گازها مدتی طولانی در این حالت به شکل ستاره‌هایی مانند خورشید ما باقی می‌مانند و هیدروژن را به هلیوم تبدیل و انرژی را به شکل گرما و نور گسیل می‌کنند.
ستاره‌های پُرجرم‌تر برای موازنه کشش گرانشی قوی‌تر خود باید داغ‌تر باشند. این امر موجب می‌گردد که واکنش‌های همجوشی هسته‌ای چنان سریع انجام شود که این ستاره‌ها هیدروژن خود را در مدتی به کوتاهی صدمیلیون سال مصرف کنند. سپس این ستاره‌ها اندکی منقبض شده و در حالی که بیشتر گرم می‌شدند تبدیل هلیوم به عناصر سنگین‌تر مانند کربن یا اکسیژن را آغاز

کردند. اما این پدیده انرژی زیادی آزاد نمی‌کرد، بنابراین همان‌گونه که در سخنرانی خود در مورد سیاه‌چاله‌ها شرح داده بودم بحرانی روی داد.
آنچه بعداً روی داد کاملاً روشن نیست، اما محتمل به نظر می‌رسد که نواحی مرکزی ستاره به حالت بسیار چگال‌تری مانند ستاره نوترونی یا سیاه‌چاله فروپاشیده باشند. شاید نواحی بیرونی ستاره در انفجاری مهیب موسوم به ابرنواختر که تمام ستاره‌های دیگر را در کهکشان تحت‌الشعاع قرار می‌دهد به بیرون پرتاب شده باشند. برخی از عناصر سنگین‌تر که در اواخر عمر ستاره تشکیل شده بودند به صورت گاز به کهکشان بازگشتند. آنها، بخشی از مواد اولیه نسل بعدی ستاره‌ها را فراهم آوردند.
خورشید ما حاوی تقریباً ۲درصد از این عناصر سنگین‌تر است، زیرا ستاره‌ای از نسل دوم (یا سوم) است. خورشید در حدود پنج میلیارد سال پیش از ابر گاز چرخانی که حاوی بقایای ابرنواخترهای نخستین بود تشکیل شده است. قسمت اعظم آن ابر صرف تشکیل خورشید شد یا به بیرون پرتاب شد. اما مقدار کمی از عناصر سنگین‌تر گرد هم آمدند تا اجرامی را تشکیل دهند که اکنون به صورت سیاراتی مانند زمین، در مدار خورشید می‌گردند.

پرسش‌های بی‌پاسخ

این تصویر که بر اساس آن عالم خیلی داغ آغاز گردیده و با انبساط سرد شده است، با تمام شواهدی که امروز در اختیار داریم در توافق است. با این همه برخی پرسش‌های مهم را بدون پاسخ می‌گذارد. نخست: چرا عالم در ابتدا داغ بوده است؟ دوم: چرا عالم در مقیاس بزرگ چنین یکنواخت بوده است (چرا در تمام نقاط فضا و در تمام عالم یکسان به نظر می‌رسد)؟
سوم: چرا عالم چنین نزدیک آهنگِ انبساطِ بحرانی برای گریز از فروپاشی آغاز گردیده است؟ اگر آهنگ انبساط یک ثانیه پس از مِهبانگ حتی یک قسمت در صدهزار میلیون میلیون کوچک‌تر بود، عالم قبل از آنکه به اندازه کنونی برسد می‌رُمبید. از سوی دیگر اگر آهنگ انبساط عالم یک ثانیه پس از مِهبانگ به همین مقدار بزرگ‌تر بود، چنان منبسط می‌شد که اکنون عملاً تهی بود.
چهارم: به رغم اینکه عالم در بزرگ‌مقیاس چنین یکنواخت و همگن است و تراکم موضعی مانند ستاره‌ها و کهکشان‌ها دارد. تصور می‌شود که اینها از اختلاف‌های کوچک در چگالی یک ناحیه و ناحیه دیگر در عالم نخستین پدید آمده باشند. منشأ این نوسانات در چگالی چه بوده است؟
نظریه نسبیت عام به تنهایی نمی‌تواند این ویژگی‌ها را توضیح داده یا به این پرسش‌ها پاسخ دهد. دلیل این امر آن است که این نظریه پیش‌بینی می‌کند که عالم با چگالی بی‌نهایت در تکینگی مِهبانگ آغاز شده است. در تکینگی نسبیت عام و دیگر قوانین فیزیکی درهم می‌شکنند. نمی‌توان پیش‌بینی کرد که از تکینگی چه چیزی حاصل می‌شود. همان‌گونه که قبلاً توضیح دادم این بدان معناست که می‌توان هر رویداد قبل از مِهبانگ را از نظریه کنار گذاشت، زیرا چنین رویدادهایی نمی‌توانند بر آنچه ما مشاهده می‌کنیم اثری داشته باشند. فضا- زمان دارای مرز (آغازی در مِهبانگ) است. چرا عالم باید در مِهبانگ درست آن‌گونه آغاز شده باشد که به حالتی که امروزه ما مشاهده می‌کنیم برسد؟ چرا عالم چنین یکنواخت است و درست با همان آهنگ بحرانی منبسط می‌شود که برای گریز از بازرُمبش لازم است؟ اگر می‌شد نشان داد که آرایش‌های مختلف

متعددی برای عالم پدید آمده‌اند تا عالمی مانند آن یک که ما مشاهده می‌کنیم ایجاد شود خیال‌مان راحت‌تر بود.
اگر چنین باشد عالمی که از نوعی شرایط کاتوره‌ای اولیه پدید آمده در خود نواحی‌ای دارد که مانند آن چیزی است که ما مشاهده می‌کنیم. اما این نواحی احتمالاً برای تشکیل کهکشان‌ها و ستاره‌ها مناسب نیستند. اینها [کهکشان‌ها و ستاره‌ها] پیش‌شرط‌های اساسی برای پیدایش حیات ذی‌شعور هستند، دست‌کم به شکلی که ما می‌شناسیم. بنابراین، این نواحی حاوی هیچ موجودی نیستند تا تفاوت آن‌ها را مشاهده کند.
در زمان مطالعه کیهان‌شناسی باید «اصل انتخاب»(۱۰۵) را در نظر گرفت که بر اساس آن ما در ناحیه‌ای از عالم زندگی می‌کنیم که برای حیات ذی‌شعور مناسب است. این نکته بدیهی و بنیادی را گاهی «اصل انسان‌محوری»(۱۰۶) می‌نامند. از سوی دیگر فرض کنید که حالت اولیه عالم باید با چنان دقتی انتخاب می‌شد که به چیزی مانند آنچه ما اکنون در اطراف خود مشاهده می‌کنیم، منتهی گردد. در این صورت نامحتمل بود که عالم حاوی ناحیه‌ای باشد که در آن حیات پدیدار شود.
در مدل مِهبانگ داغ که قبلاً شرح دادم برای آنکه گرما از ناحیه‌ای به ناحیه دیگر جریان یابد زمان کافی وجود ندارد. یعنی برای توضیح این نکته که زمینه ریزموجی در تمام جهاتی که نگاه می‌کنیم دارای یک دماست، نواحی مختلف عالم باید دقیقاً با یک دما آغاز شده باشند. هم چنین برای آنکه عالم پیش از این بازفرونپاشیده باشد، آهنگ انبساط اولیه می‌بایست بسیار دقیق انتخاب شده باشد. یعنی اگر مدل مِهبانگ داغ درست تا آغاز زمان صحیح باشد، حالت اولیه عالم می‌بایست با دقت بسیار انتخاب شده باشد. توضیح اینکه چرا عالم باید درست این چنین آغاز شده باشد، جز با توسل به فعل خداوندی که خواهان آفرینش موجوداتی مانند ما بوده بسیار دشوار است.

مدل تورمی

برای گریز از این مشکل مراحل بسیار اولیه در مدل مِهبانگ داغ، «آلن گات»(۱۰۷) از انستیتو تکنولوژی ماساچوست مدل جدیدی را مطرح کرد. در این مدل، آرایش‌های اولیه متفاوت و متعددی می‌توانند به چیزی مانند عالم فعلی منتهی شوند. وی گفت که ممکن است عالم نخستین دوره‌ای از انبساط بسیار سریع یا نمایی داشته است. این انبساط را تورمی گوییم (مشابه با تورم در قیمت‌ها که کمابیش در همه کشورها روی می‌دهد). رکورد عالمی تورم قیمت‌ها احتمالاً از آن آلمان پس از جنگ جهانی اول است که قیمت یک قرص نان ظرف چند ماه از یک مارک به میلیون‌ها مارک رسید. اما تورمی که ما فکر می‌کنیم شاید در اندازه عالم روی داده باشد حتی از آن هم بسیار بزرگ‌تر بوده (یک میلیون میلیون میلیون میلیون برابر فقط در کسر کوچکی از ثانیه). البته، این قبل از حکومت فعلی بوده است.
گات پیشنهاد کرد که عالم از مِهبانگ بسیار داغ آغاز شده است. انتظار می‌رود که در چنین دماهای بالایی نیروهای هسته‌ای قوی و ضعیف و نیروی الکترومغناطیسی همه در نیرویی یگانه یکی شوند. عالم با انبساط سرد شد و انرژی ذرات پایین آمد. سرانجام آن چه «مرحله گذار»(۱۰۸) خوانده می‌شود از راه رسید و تقارن میان نیروها از میان رفت. نیروی قوی از

نیروهای ضعیف و الکترومغناطیسی متمایز شد. یک مثال معمول از مرحله گذار وقتی است که آب را سرد می‌کنید و منجمد می‌شود. آب مایعی متقارن است، در هر نقطه و در هر جهت یکسان است. اما هنگامی که بلورهای یخ تشکیل می‌شوند، دارای مواضع معینی خواهند بود و در جهت معینی قرار می‌گیرند. این امر تقارن آب را از میان می‌برد.
اگر کسی دقت کند می‌تواند آب را «اَبَرسرد»(۱۰۹) سازد. یعنی می‌تواند دمای آن را به زیر نقطه انجماد (صفر درجه سانتی‌گراد) کاهش دهد، بدون آن که یخ تشکیل شود. گات پیشنهاد کرد که شاید عالم هم به شیوه مشابهی رفتار کرده باشد: ممکن است دما بدون آنکه تقارن میان نیروها درهم بشکند به زیر مقدار بحرانی سقوط کرده باشد. اگر این امر روی می‌داد، عالم در حالتی ناپایدار بود آن هم با انرژی‌ای بیشتر از وضعیتی که در آن تقارن در هم شکسته باشد. می‌توان نشان داد که این انرژی اضافی خاص دارای اثر ضد گرانشی بوده و درست مانند ثابتی کیهانی عمل می‌کند.
اینشتین هنگامی که سعی می‌کرد مدلی ایستا از عالم بنا کند این «ثابت کیهانی» را در نسبیت عام وارد کرد. اما در این مورد عالم قبلاً در حال انبساط بوده است. بنابراین اثر دفعی این ثابت کیهانی موجب می‌گردید که عالم با آهنگی فزاینده‌تر منبسط شود. حتی در آن نواحی که شمار ذرات ماده بیش از میانگین بود، دافعه ثابت کیهانی مؤثر، از کشش گرانشی ماده مهم‌تر بود. بدین‌ترتیب این نواحی نیز به شیوه تورمی پرشتاب منبسط می‌شدند.
با انبساط عالم ذرات مادی از هم دورتر می‌شوند. عالمی در حال انبساط باقی می‌ماند که گویی تقریباً ذره‌ای در آن نیست. عالم باز هم در حالت اَبَرسرد است که در آن تقارن میان نیروها در هم نشکسته است. همان‌گونه که چین و چروک بادکنک هنگامی که آن را باد می‌کنید از میان می‌رود، هر بی‌نظمی در عالم با انبساط از میان می‌رود. بنابراین، حالت هموار و یکنواخت فعلی عالم ممکن است از حالت‌های غیریکنواخت اولیه متفاوت و متعددی پدید آمده باشد و آهنگ انبساط نیز درست به آن آهنگ بحرانی که برای گریز از بازرُمبش لازم است میل کند.
به علاوه، نظریه تورم می‌تواند توضیح دهد چرا این همه ماده در عالم وجود دارد. در ناحیه‌ای از عالم که ما می‌توانیم مشاهده کنیم، چیزی در حدود $۱۰^{۸۰}$ ذره وجود دارد. این همه ذره از کجا آمده‌اند؟ پاسخ آن است که در مکانیک کوانتومی ذرات می‌توانند از انرژی و به شکل جفت ذره/ضدذره خلق شوند. اما اینجا باز هم این پرسش مطرح می‌شود که انرژی از کجا آمده است. پاسخ آن است که کل انرژی عالم دقیقاً صفر است.
ماده عالم از انرژی مثبت ساخته شده است. اما ماده با گرانش خود را می‌کشد. دو جرم مادی نزدیک به یکدیگر کم‌تر از حالتی که از هم دور باشند، انرژی دارند. دلیل این امر آن است که برای جدا کردن آن‌ها از یکدیگر باید انرژی مصرف کنید. باید در برابر نیروی گرانش که آنها را به سوی یکدیگر می‌کشد کششی وارد کنید. بدین‌ترتیب میدان گرانشی به یک معنا دارای انرژی منفی است. می‌توان نشان داد که این انرژی گرانشی منفی در کل عالم دقیقاً انرژی مثبت ماده را موازنه می‌کند. بنابراین کل انرژی عالم صفر است.
اما دو برابر صفر هم صفر است. بدین‌ترتیب عالم می‌تواند مقدار انرژی مادی مثبت را دو برابر و انرژی گرانشی منفی را نیز دو برابر سازد بدون آن که پایستاری انرژی را نقض نماید. در انبساط عادی عالم که در آن چگالی انرژی مادی با بزرگ‌تر شدن عالم کاهش می‌یابد، چنین امری روی نمی‌دهد. اما در انبساط تورمی روی می‌دهد، زیرا چگالی انرژی حالت اَبَرسرد در

حالی که عالم منبسط می‌شود ثابت باقی می‌ماند. هنگامی که اندازه عالم دو برابر می‌شود، هم انرژی مادی مثبت و هم انرژی گرانشی منفی دو برابر می‌شوند، بنابراین انرژی کل صفر باقی می‌ماند. در مرحله تورمی اندازه عالم به مقدار بسیار زیادی افزایش می‌یابد. بدین‌ترتیب کل مقدار انرژی موجود برای ایجاد ذرات بسیار بزرگ می‌شود. آن‌گونه که گات گفته است «می‌گویند هیچ چیزی رایگان نیست. مثل یک ناهار مجانی! اما عالم، ناهار مجانی نهایی است».

پایان تورم

امروز عالم به شیوه‌ای تورمی منبسط نمی‌شود. بنابراین می‌بایست مکانیسمی تورمی وجود داشته که ثابت کیهان‌شناختی مؤثر بسیار بزرگ را حذف کرده باشد. این مکانیسم آهنگ انبساط را از آهنگی شتابدار به آهنگی که در اثر گرانش کند می‌شود، (یعنی آنچه امروز داریم)، تغییر داده است. می‌توان انتظار داشت که با انبساط عالم و سرد شدن آن سرانجام تقارن میان نیروها در هم بشکند، درست همان‌گونه که آب اَبَرسرد همیشه در پایان منجمد می‌شود. در این حالت، انرژی اضافی حالت تقارن درهم نشکسته آزاد می‌شود و عالم را دوباره گرم می‌کند. پس از آن عالم درست مانند مدل مِهبانگ به انبساط و سرد شدن ادامه می‌دهد. اما این بار توضیحی وجود دارد که چرا عالم دقیقاً با آهنگ بحرانی منبسط گردید و چرا نواحی مختلف دارای دمای یکسانند.
در پیشنهاد اصلی گات فرض می‌شد که گذار به شکست تقارن تقریباً مانند پیدایش بلورهای یخ در آب بسیار سرد به طور ناگهانی روی می‌دهد. تصور این بود که «حباب‌های» مرحله جدید شکست تقارن مانند حباب‌های بخار که آب در حال جوش را احاطه می‌کنند در مرحله قدیمی تشکیل شده‌اند. فرض می‌شد که حباب‌ها منبسط می‌شوند و با یکدیگر تلاقی می‌کنند تا این که کل عالم به مرحله جدیدی برسد. همان‌گونه که من و افراد متعدد دیگری اشاره کرده‌ایم مشکل این است که عالم با چنان سرعتی منبسط می‌گردد که حباب‌ها سریع‌تر از آن از یکدیگر دور می‌شوند که بتوانند به هم بپیوندند. عالم در حالتی بسیار یکنواخت باقی می‌ماند و در برخی نواحی تقارن میان نیروهای مختلف برقرار است. این مدل عالم با آن چه می‌بینیم سازگار نیست.
در سال ۱۹۸۱ میلادی برای شرکت در کنفرانسی درباره گرانش کوانتومی به مسکو رفتم. پس از کنفرانس در انستیتو نجومی اشترنبرگ(۱۱۰) سمیناری در مورد مدل تورمی و مشکلات آن ارائه کردم. در میان حضار جوانی روس به نام «آندرئی لیند»(۱۱۱) بود. او می‌گفت اگر حباب‌ها بسیار بزرگ باشند می‌توان از این مشکل که حباب‌ها به یکدیگر نمی‌پیوندند گریخت. در این حالت ناحیه‌ای از عالم را که ما در آن هستیم می‌توان در درون یک حباب قرار داد. تغییر از تقارن به شکست تقارن باید در درون حباب بسیار کند صورت گرفته باشد تا این کار فایده‌ای داشته باشد؛ اما بر اساس نظریه‌های وحدت بزرگ این امر کاملاً ممکن است.
اندیشه لیند در مورد درهم‌شکستن کند تقارن بسیار خوب بود، اما من یادآوری کردم که این حباب‌ها باید در آن زمان از اندازه عالم بزرگ‌تر بوده باشند. در عوض نشان دادم که تقارن در همه جا در یک زمان در هم‌شکسته و نه فقط در درون حباب‌ها. حاصل این امر عالمی یکنواخت است مانند آن چه ما می‌بینیم. مدل شکست تقارنِ آهسته تلاشی خوب بود برای توضیح این که چرا عالم آن‌گونه است که هست. اما من و چند نفر دیگر نشان دادیم این مدل تغییرات بسیار بزرگ‌تری را نسبت به آن چه مشاهده می‌شود در تابش ریزموجی زمینه پیش‌بینی می‌کند. هم

چنین کارهای بعدی در این مورد که آیا در عالم نخستین تغییر فازی از نوع صحیح وجود داشته است، تردیدهایی به وجود آورد. لیند در سال ۱۹۸۳ مدل بهتری به نام «مدل تورمی آشوبناک»(۱۱۲) را مطرح ساخت. این مدل به تغییرات فاز بستگی ندارد و می‌تواند اندازه صحیح تغییرات ریزموجی زمینه را به ما بدهد. مدل تورمی نشان داد که حالت فعلی عالم ممکن است از تعداد زیادی آرایش‌های اولیه مختلف پدید آمده باشد. اما چنین نیست که هر آرایش اولیه به عالمی مانند آن چه ما مشاهده می‌کنیم منتهی شود. بنابراین حتی مدل تورمی نمی‌تواند به ما بگوید چرا آرایش اولیه باید چنان باشد که آن چه را ما مشاهده می‌کنیم ایجاد نماید. آیا برای توضیح باید به اصل انسان‌محوری بازگردیم؟ آیا فقط از بخت خوش چنین بوده است؟ ظاهراً آخرین چاره این است: نفی تمام امیدهای ما برای فهم نظم بنیادین عالم.

گرانش کوانتومی

برای پیش‌بینی نحوه آغاز عالم به قوانینی نیاز داریم که در آغاز زمان معتبر باشند. اگر نظریه کلاسیکی نسبیت عام صحیح باشد، قضیه تکینگی نشان می‌دهد که آغاز زمان نقطه چگالی و انحنای بی‌نهایت بوده است. تمام قوانین شناخته‌شده علم در چنین نقطه‌ای درهم می‌شکنند. می‌توان فرض کرد که قوانین جدیدی وجود دارند که در تکینگی‌ها معتبرند، اما حتی صورت‌بندی این قوانین در چنین نقاط بدرفتاری بسیار دشوار است و ما با شواهدی که در دست داریم نمی‌توانیم بگوییم که این قوانین ممکن است چگونه باشند. اما آنچه قضایای تکینگی به واقع نشان می‌دهند آن است که میدان گرانشی چنان قوی می‌شود که اثرات گرانش کوانتومی مهم می‌شوند: نظریه کلاسیکی دیگر توصیف خوبی برای عالم نیست. بنابراین برای بحث درباره مراحل بسیار اولیه عالم باید از نظریه کوانتومی گرانش استفاده کرد. همان‌گونه که خواهیم دید در نظریه کوانتومی قوانین عادی علم می‌توانند در همه جا از جمله در آغاز زمان معتبر باشند. لازم نیست که برای تکینگی‌ها قانون جدیدی وضع شود زیرا در نظریه کوانتومی نیازی نیست که تکینگی وجود داشته باشد.

ما هنوز نظریه کامل و منسجمی در اختیار نداریم که مکانیک کوانتومی و گرانش را با هم ترکیب کند. اما در مورد برخی ویژگی‌هایی که چنین نظریه یکی‌شده‌ای باید داشته باشد کاملاً یقین داریم. یکی آن است که باید پیشنهاد فاینمن را در مورد صورت‌بندی مکانیک کوانتومی بر اساس جمع‌بندی روی تاریخ‌ها در خود داشته باشد. در این رویکرد ذره‌ای که از A به B می‌رود، مانند نظریه کلاسیکی فقط یک تاریخ ندارد، بلکه فرض می‌شود که هر مسیر ممکنی را در فضا- زمان دنبال می‌کند. هریک از این تاریخ‌ها به دو عدد وابسته است، یکی اندازه موج را نشان می‌دهد و دیگری موقعیت آن را در چرخه (یعنی فاز) نشان می‌دهد.

احتمال آنکه ذره از نقطه‌ای خاص بگذرد با جمع‌بندی امواج وابسته به هر تاریخ ممکنی که از آن نقطه می‌گذرد پیدا می‌شود. اما اگر کسی سعی کند در عمل این جمع‌بندی‌ها را انجام دهد با مشکلات فنی روبرو می‌شود. تنها راه گریز از این مشکلات پیروی از دستوری عجیب است: باید امواج را برای تاریخ‌هایی از ذره جمع بست که نه در زمان واقعی که شما و من احساس می‌کنیم، بلکه در زمان مجازی روی می‌دهند.

شاید صحبت از زمان مجازی مانند داستان علمی- تخیلی به نظر برسد اما در واقع مفهوم علمی

«خوش‌تعریف» است. برای گریز از مشکلات فنی جمع‌بندی روی تاریخ‌های فاینمن باید از زمان مجازی استفاده کرد. این کار اثر جالبی روی فضا- زمان دارد: تمایز میان زمان و فضا کاملاً از میان می‌رود. گفته می‌شود فضا- زمان که در آن مختصه زمان رویدادها دارای مقادیر مجازی است اقلیدسی است، زیرا سنجه (متریک) به طور قطعی مثبت است.
در فضا- زمان اقلیدسی بین جهت زمان و جهت‌ها در فضا، تمایزی وجود ندارد. از سوی دیگر، در فضا- زمان واقعی که در آن رویدادها با مقادیر حقیقی مختصه زمان برچسب می‌خورند، به راحتی می‌توان اختلاف [میان جهت‌ها] را بیان کرد. جهت زمان درون مخروط نوری قرار می‌گیرد و جهت‌های فضا بیرون آن قرار می‌گیرند. می‌توان استفاده از زمان مجازی را صرفاً تدبیر (یا کَلَک) ریاضی برای محاسبه پاسخ‌هایی در مورد فضا- زمان واقعی دانست. اما، ممکن است بیش از اینها باشد. ممکن است این باشد که فضای اقلیدسی مفهوم بنیادی است و آنچه ما فضا - زمان واقعی می‌دانیم فقط توّهم قوّه خیال ما باشد.
اگر جمع‌بندی روی تاریخ‌های فاینمن را در مورد عالم به کار می‌بریم، این بار فضا- زمان کاملاً خمیده‌ای که نمایشگر تاریخ کل عالم است مشابه تاریخ ذره خواهد بود. به دلایل فنی که در بالا ذکر شد باید فرض کرد که این فضا- زمان‌های خمیده اقلیدسی هستند. یعنی زمان مجازی و می‌توان آن را از جهت‌های مختلف در فضا تمیز داد. برای محاسبه احتمال یافتن فضا- زمان واقعی با یک ویژگی معین امواج وابسته به تمام تاریخ‌هایی را که دارای آن ویژگی هستند در زمان مجازی با هم جمع می‌بندند. سپس می‌توان دریافت تاریخ محتمل عالم در زمان واقعی چیست.

شرط بی‌مرزی

در نظریه گرانش کلاسیکی که بر فضا- زمان واقعی مبتنی است، رفتار عالم فقط دو حالت ممکن می‌تواند داشته باشد. یا عالم برای زمانی نامتناهی وجود داشته است یا این که در زمانی متناهی در گذشته آغازی در تکینگی داشته است. در واقع قضایای تکینگی نشان می‌دهد که امکان دوم در کار است. از سوی دیگر در نظریه کوانتومی گرانش امکان سومی مطرح می‌شود. چون از فضا- زمان‌های اقلیدسی استفاده می‌شود ممکن است گستره فضا- زمان متناهی باشد و با این همه تکینگی‌ای نداشته باشد که مرز یا لبه‌ای را تشکیل داده باشد. فضا- زمان مانند سطح زمین است اما با دو بعد بیشتر. گستره سطح زمین متناهی است، اما مرز یا لبه‌ای هم ندارد. اگر به سوی غروب خورشید حرکت کنید از لبه‌ای سقوط نخواهید کرد یا به تکینگی‌ای وارد نخواهید شد. من می‌دانم زیرا دور دنیا را گشته‌ام!
اگر فضا- زمان‌های اقلیدسی به زمان مجازی نامتناهی بازگردند یا در تکینگی آغاز شده بودند، ما همان مشکل مشخص کردن حالت اولیه عالم در نظریه کلاسیکی را داشتیم. شاید خدا بداند عالم چگونه آغاز شده، اما ما نمی‌توانیم دلیل خاصی داشته باشیم که عالم به این طریق آغاز شده است و نه آن طریق. از سوی دیگر نظریه کوانتومی گرانش امکان جدیدی فراهم کرده است. در این نظریه مرزی برای فضا- زمان وجود ندارد. بدین‌ترتیب نیازی به مشخص ساختن رفتار [عالم] در مرز وجود ندارد. تکینگی‌ای وجود نداشته که در آن قوانین علم در هم بشکند و لبه فضا- زمانی در کار نبوده که نیازی به توسل به خدا یا قانونی جدید برای تعیین شرایط مرزی برای

فضاـ زمان وجود داشته باشد. می‌توان گفت: «شرط مرزی عالم آن است که شرطی نداشته باشد». عالم کاملاً «خودگنجا»(۱۱۳) بوده و هیچ چیزی بیرون از خود آن بر روی آن اثری نداشته است. نه آفریده شده نه نابود می‌شود. فقط بوده است.
در کنفرانس واتیکان برای نخستین بار این پیشنهاد را مطرح ساختم که شاید زمان و فضا با هم سطحی را تشکیل داده باشند که اندازه آن متناهی بوده اما مرز یا لبه‌ای نداشته است. مقاله من نسبتاً ریاضیاتی بود، بنابراین نتایج آن برای نقش خدا در آفرینش عالم در آن زمان مورد توجه قرار نگرفت (که برای من بسیار خوب بود). در زمان کنفرانس واتیکان من نمی‌دانستم چگونه از اندیشه بی‌مرزی برای پیش‌بینی در مورد عالم استفاده کنم. اما تابستان بعدی را در دانشگاه کالیفرنیا، سانتاباربارا(۱۱۴)، گذراندم. در آن جا دوست و همکار من، «جیم هارتل»(۱۱۵)، همراه با من دریافت که اگر فضاـ زمان مرزی نداشته باشد عالم باید چه شرایطی را ارضا کند.
باید تأکید کنم این اندیشه که زمان و فضا باید متناهی و بدون مرز باشند فقط یک پیشنهاد است. نمی‌توان آن را از اصل دیگری استنتاج کرد. مانند هر نظریه علمی دیگری ممکن است در آغاز به دلایل زیباشناختی یا متافیزیکی مطرح شده باشد، اما آزمون واقعی آن است که آیا پیش‌بینی‌هایی انجام می‌دهد که با مشاهده در توافق باشد. اما تعیین این امر در مورد گرانش کوانتومی به دو دلیل دشوار است. نخست ما هنوز مطمئن نیستیم که دقیقاً کدام نظریه، نسبیت عام و مکانیک کوانتومی را با موفقیت با هم ترکیب می‌کند، هر چند در مورد شکلی که چنین نظریه‌ای باید داشته باشد، مطالب زیادی می‌دانیم. دوم، هر مدلی که کل عالم را در جزئیات توصیف کرده باشد، از نظر ریاضی پیچیده‌تر از آن است که بتوانیم پیش‌بینی‌های دقیق آن را محاسبه کنیم. بنابراین باید متوسل به تقریب شد (و حتی در این صورت نیز مسئله استنتاج پیش‌بینی‌ها باز هم دشوار است).
با پیشنهاد بی‌مرزی، بخت ناچیزی داریم که دریابیم عالم اغلبِ تاریخ‌های ممکن را دنبال می‌کند. اما خانواده خاصی از تاریخ‌ها وجود دارد که بسیار محتمل‌تر از خانواده‌های دیگر است. این تاریخ‌ها را می‌توان به سطح زمین تشبیه کرد که بر روی آن فاصله تا قطب شمال نمایشگر زمان مجازی است؛ اندازه دایره عرض جغرافیایی نمایشگر اندازه فضایی عالم است. عالم مانند یک نقطه در قطب شمال آغاز می‌شود. با حرکت به سمت جنوب دایره عرض جغرافیایی بزرگ‌تر می‌شود که متناظر با انبساط عالم در زمان مجازی است. عالم در استوا به بیشینه اندازه خود می‌رسد و دوباره در قطب جنوب به صورت یک نقطه منقبض می‌شود. هر چند اندازه عالم در قطب‌های شمال و جنوب صفر است، این نقاط به همان اندازه نقاطِ تکینه‌ای هستند که قطب‌های شمال و جنوب بر روی زمین نقاط منحصربفردی هستند. قوانین علم در آغاز عالم معتبر خواهند بود، درست همان‌گونه که در قطب‌های شمال و جنوب زمین معتبرند.
اما تاریخ عالم در زمان واقعی بسیار متفاوت به نظر می‌رسد. به نظر می‌رسد در اندازه کمینه‌ای مساوی با اندازه بیشینه تاریخ در زمان مجازی آغاز شده باشد. سپس عالم در زمان واقعی مانند مدل تورمی منبسط می‌شود. اما لازم نیست که فرض کنیم عالم به چنین شکلی هم خلق شده است. عالم تا اندازه بسیار بزرگی منبسط می‌شود اما سرانجام دوباره در آنچه مانند تکینگی در زمان واقعی به نظر می‌رسد رُمبش می‌کند بدین‌ترتیب به یک معنا همه ما محکوم هستیم، حتی اگر از سیاه‌چاله‌ها دور بمانیم. فقط اگر بتوانیم عالم را بر اساس زمان مجازی تصویر کنیم، تکینگی‌ای در کار نخواهد بود.

قضایای تکینگی در نسبیت عام کلاسیکی نشان داده‌اند که عالم باید دارای آغازی باشد و این آغاز را باید بر اساس مکانیک کوانتومی توصیف کرد. این به نوبه خود به این تصور منتهی می‌گردد که عالم در زمان مجازی می‌تواند متناهی باشد اما مرز یا تکینگی‌ای نداشته باشد. اما هنگامی که به زمان واقعی بازمی‌گردیم که در آن زندگی می‌کنیم، باز هم به نظر می‌رسد تکینگی‌ای وجود داشته باشد. فضانورد بیچاره‌ای که در سیاه‌چاله سقوط می‌کند، باز هم سرنوشت شومی پیش رو دارد. فقط اگر می‌توانست در زمان مجازی زندگی کند، با تکینگی روبرو نمی‌شد.
شاید این نشان دهد که زمان مجازی زمان بنیادی است و آن چه ما زمان واقعی می‌نامیم چیزی است که خودمان در ذهن خود می‌آفرینیم. در زمان واقعی عالم دارای آغاز و پایانی در تکینگی‌هاست که مرزی را برای فضا- زمان تشکیل می‌دهند و در آن قوانین علم در هم می‌شکنند. اما در زمان مجازی تکینگی یا مرزی وجود ندارد. بنابراین شاید آن چه ما زمان مجازی می‌نامیم به واقع بنیادی‌تر باشد و آن چه زمان واقعی می‌نامیم فقط تصوری باشد که برای به کمک به خود در توصیف آن چه فکر می‌کنیم عالم شبیه آن است، ابداع کرده‌ایم. اما بر اساس رویکردی که در سخنرانی اول توصیف کردم، نظریه علمی فقط مدلی ریاضی است که ما برای توصیف مشاهدات خود می‌سازیم. فقط در ذهن ما وجود دارد. بنابراین پرسیدن این که کدام یک واقعی است، زمان «واقعی» یا «مجازی»، معنایی ندارد. موضوع فقط این است که کدام یک توصیف مفیدتری است.
به نظر می‌رسد پیشنهاد بی‌مرزی پیش‌بینی می‌کند که در زمان واقعی عالم باید مانند مدل‌های تورمی رفتار کند. مسأله‌ای که خیلی جالب است اندازه اختلاف‌های کوچک با چگالی یکنواخت در عالم اولیه است. تصور می‌شود که این اختلاف‌ها به تشکیل نخستین کهکشان‌ها سپس ستاره‌ها و سرانجام موجوداتی مانند ما منتهی شده‌اند. اصل عدم قطعیت نشان می‌دهد که عالم اولیه نمی‌توانسته کاملاً یکنواخت باشد. بلکه در موقعیت و سرعت ذرات عدم قطعیت‌ها یا نوسان‌هایی وجود داشته است. با استفاده از شرط بی‌مرزی درمی‌یابیم که عالم می‌بایست درست با کم‌ترین غیریکنواختی ممکنی که اصل عدم قطعیت اجازه می‌داد آغاز شده باشد.
سپس عالم مانند مدل‌های تورمی دوره‌ای از انبساط سریع را طی کرده است. در این دوره غیریکنواختی‌های نخستین آن قدر تقویت شده‌اند که برای توضیح پیدایش کهکشان‌ها کافی بوده است. بدین‌ترتیب تمام ساختارهای پیچیده‌ای را که در عالم می‌بینیم می‌توان با شرط بی‌مرزی برای عالم و اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتومی توضیح داد.
این اندیشه که فضا و زمان ممکن است سطح بسته بدون مرزی را تشکیل داده باشند، برای نقش خداوند در ماجراهای عالم نیز نتایج عمیقی دارد. با موفقیت نظریه‌های علمی در توصیف رویدادها اغلب مردم باید باور کرده باشند که خداوند اجازه می‌دهد عالم بر اساس مجموعه‌ای از قوانین متحول شود. به نظر نمی‌رسد که او برای شکستن این قوانین در عالم دخالت کند. اما قوانین نمی‌گویند عالم هنگامی که آغاز شد، چگونه به نظر می‌رسیده است. باز هم با خداست که عقربه ساعت را بچرخاند و تعیین کند که چگونه باید آغاز شود. تا آن زمانی که [بر اساس مدل‌های علمی] عالم دارای آغازی (یعنی تکینگی) بود، می‌شد فرض کرد که به وسیله فاعلی خارجی آفریده شده است. اما اگر عالم واقعاً خودگنجا باشد و مرز یا لبه‌ای نداشته باشد، نه آفریده شده و نه نابود می‌شود. فقط هست. پس، چه جایی برای آفریدگار؟

سخنرانی ششم

جهت زمان

ال. پ. هارتلی(۱۱۶) در کتاب خود، واسطه(۱۱۷)، نوشته است «گذشته کشوری بیگانه است. در آنجا کارها را به شیوه‌ای متفاوت انجام می‌دهند. اما چرا گذشته چنین از آینده متفاوت است؟ چرا گذشته را به یاد می‌آوریم، اما آینده را نه؟». به عبارت دیگر، چرا زمان رو به جلو می‌رود؟ به این دلیل که عالم در حال انبساط است؟

C, P, T

قوانین فیزیک میان آینده و گذشته تمایزی قائل نمی‌شوند. به عبارت دقیق‌تر قوانین فیزیک تحت ترکیب عملگرهایی که به نام C, P, T شناخته می‌شوند، بدون تغییر می‌مانند. (C، به معنای تغییر ذرات به ضدذرات است. معنای P گرفتن تصویر آینه‌ای است، بنابراین چپ و راست جای خود را با یکدیگر عوض می‌کنند و T به معنای وارونه کردن جهت حرکت تمام ذرات است (در اصل به عقب بازگرداندن حرکت). قوانین فیزیک که بر رفتار ماده در تمام وضعیت‌های عادی حاکمند، اگر فقط تحت عمل‌های C و P قرار گیرند بدون تغییر می‌مانند. به زبان دیگر، زندگی برای ساکنان سیاره‌ای دیگر که تصاویر آینه‌ای ما بوده‌اند و از ضدماده ساخته شده‌اند، به همین سان می‌بود. اگر کسی را از سیاره دیگر ملاقات کردید و او دست چپش را جلو آورد، با وی دست ندهید. ممکن است از ضدماده ساخته شده باشد. هر دوی شما در درخشی مهیب از نور ناپدید می‌شوید. اگر قوانین فیزیک با ترکیب عمل‌های C و P و با ترکیب C و P و T بدون تغییر بمانند، باید تحت عمل T هم به تنهایی، تغییری نکنند. اما میان حرکت رو به جلو و رو به عقب زمان در زندگی عادی تفاوت بزرگی وجود دارد. فنجان آبی را تصور کنید که از روی میز می‌افتد و قطعه‌قطعه می‌شود. اگر از این ماجرا فیلمی بگیرید به آسانی می‌توانید بگویید که آیا رو به جلو حرکت می‌کند یا عقب. اگر آن را به عقب برگردانید، خواهید دید که قطعات ناگهان از روی زمین کنار هم جمع می‌شوند تا فنجان کاملی را روی میز تشکیل دهند. می‌توانید بگویید که فیلم رو به عقب حرکت می‌کند، زیرا این نوع رفتار در زندگی عادی هرگز مشاهده نمی‌شود. اگر چنین بود چینی‌سازان ورشکست می‌شدند.

پیکان‌های زمان

توضیحی که همیشه برای این امر ارائه می‌کنند که چرا نمی‌بینیم فنجان‌های شکسته روی میز بپرند آن است که قانون دوم ترمودینامیک آن را منع کرده است. این قانون می‌گوید بی‌نظمی یا آنتروپی همیشه با گذشت زمان افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، این قانون مورفی(۱۱۸) است (اوضاع بدتر می‌شود). فنجان سالم روی میز حالتی با نظم بالاست، اما فنجان شکسته روی زمین

حالت بی‌نظم است. بنابراین از فنجان کامل روی میز در گذشته می‌توان به فنجان شکسته روی زمین در آینده رفت، اما هرگز نمی‌توان مسیر وارونه را پیمود.
افزایش بی‌نظمی یا آنتروپی با زمان مثال آن چیزی است که «پیکان زمان» نامیده می‌شود، که به زمان جهت می‌دهد و گذشته را از آینده متمایز می‌سازد. دست کم سه نوع پیکان متفاوت زمان وجود دارد. اولی پیکان زمان ترمودینامیک است، یعنی جهت زمانی که در آن بی‌نظمی یا آنتروپی افزایش می‌یابد. دومی پیکان زمان روان‌شناختی است. این جهتی است که احساس می‌کنیم زمان در آن جهت می‌گذرد (جهت زمان که در آن گذشته را به یاد می‌آوریم، اما آینده را نه). سومی پیکان زمان کیهان‌شناختی است. این جهت زمانی است که در آن عالم منبسط می‌شود، نه منقبض.
من ادعا می‌کنم که پیکان روان‌شناختی را پیکان ترمودینامیک معین می‌سازد و این دو پیکان همیشه رو به یک جهت دارند. اگر کسی فرض بی‌مرزی را برای عالم در نظر بگیرد، دو پیکان فوق به پیکان زمان کیهان‌شناختی مرتبط می‌شوند، هر چند ممکن است در یک جهت نباشند. اما ادعای من آن است که فقط وقتی آن دو با پیکان کیهان‌شناختی در توافق باشند، موجودات ذی‌شعوری مانند ما وجود خواهند داشت که می‌توانند بپرسند: چرا بی‌نظمی در همان جهت زمان افزایش می‌یابد و عالم در آن جهت منبسط می‌شود؟

پیکان ترمودینامیک

ابتدا درباره پیکان زمان ترمودینامیک سخن خواهم گفت. قانون دوم ترمودینامیک بر این نکته مبتنی است که تعداد حالت‌های بی‌نظم بسیار بیشتر از حالت‌های دارای نظم است. مثلاً قطعات یک پازل را در نظر بگیرید. یک و فقط یک آرایش وجود دارد که در آن قطعات تصویری کامل می‌سازند. از سوی دیگر شمار آرایش‌هایی که در آن قطعات بی‌نظم هستند و تصویری نمی‌سازند بسیار زیاد است.
فرض کنید سیستمی در یکی از حالت‌های اندکی که دارای نظم هستند آغاز شده باشد. با گذشت زمان سیستم بر اساس قوانین فیزیک متحول می‌شود و حالت آن تغییر می‌کند. در زمان بعد احتمال زیادی وجود دارد که در حالتی بی‌نظم‌تر باشد، فقط به این دلیل که حالت‌های بی‌نظم بسیار بیشتری وجود دارد. بدین‌ترتیب، اگر سیستم از شرط اولیه نظم بالا تبعیت کند، بی‌نظمی رو به افزایش می‌گذارد.
فرض کنید قطعات پازل با آرایش منظمی که در آن تصویری تشکیل می‌دهند آغاز شده باشند. اگر پازل را تکان دهید قطعات آرایش دیگری خواهند گرفت. این احتمالاً آرایش بی‌نظمی خواهد بود که در آن قطعات تصویر صحیحی تشکیل نمی‌دهند، اما دلیل آن فقط این است که آرایش‌های بی‌نظم بسیار بیشتری وجود دارد. ممکن است بخش‌هایی از این قطعات باز هم تصویری را تشکیل دهند؛ اما هر چه جعبه را بیشتر تکان دهید، بیشتر احتمال آن هست که این بخش‌ها نیز تجزیه شوند. قطعات حالت کاملاً درهم‌ریخته‌ای به خود می‌گیرند که در آن حالت هیچ نوع تصویری تشکیل نمی‌دهند. بدین‌ترتیب، اگر قطعات از این شرط اولیه که در حالتی با نظم بالا آغاز شوند پیروی کنند، بی‌نظمی آنها به مرور زمان احتمالاً افزایش خواهد یافت.
اما فرض کنید خدا تصمیم گرفته بود که عالم در زمان‌های آینده به حالتی با نظم بالا برسد، اما

اهمّیتی نداشت که از کدام حالت آغاز شده باشد. اما در زمان‌های گذشته احتمالاً عالم در حالتی بی‌نظم بود و بی‌نظمی به مرور زمان کاهش می‌یافت. می‌دیدید که فنجان‌های شکسته خودشان جمع می‌شوند و روی میز می‌پرند. اما هر انسانی که فنجان‌ها را مشاهده می‌کرد، در عالمی می‌زیست که در آن بی‌نظمی به مرور زمان کاهش می‌یافت. ادعا می‌کنم که چنین موجوداتی پیکان زمان روانی‌ای داشتند که رو به عقب بود. یعنی «پس از این» را در زمان‌های آینده به یاد می‌آوردند و «پیش از این» را در زمان‌های گذشته به یاد نمی‌آوردند.

پیکان روان‌شناختی

سخن گفتن از حافظه انسانی نسبتاً دشوار است، زیرا ما به درستی نمی‌دانیم مغز چگونه کار می‌کند. اما همه چیز را در مورد نوع کارکرد حافظه کامپیوتری می‌دانیم. بنابراین در مورد پیکان زمانی روان‌شناختی برای حافظه‌های کامپیوتری بحث خواهم کرد. تصور می‌کنم فرض این نکته منطقی باشد که پیکان برای کامپیوترها همانند پیکان برای انسان‌هاست. اگر این طور نبود، می‌شد با داشتن کامپیوتری که قیمت‌های فردا را به یاد می‌آورد در بازار بورس غوغا کرد.
حافظه کامپیوتری اساساً دستگاهی است که می‌تواند در یکی از دو حالت باشد. یک مثال، حلقه سیم اَبَررسانا است. اگر در حلقه الکتریسیته جریان داشته باشد به جریان ادامه خواهد داد زیرا مقاومتی وجود ندارد. اما اگر جریانی وجود نداشته باشد، حلقه بدون جریان خواهد ماند. می‌توان دو حالت حافظه را «یک» و «صفر» نامید.
قبل از آنکه موردی در حافظه ثبت شود حافظه در حالت بی‌نظمی با احتمال‌های یکسان برای یک و صفر قرار دارد. پس از اندرکنش حافظه با سیستمی که باید به حافظه سپرده شود قطعاً و بر اساس حالت سیستم، حافظه در این یا آن حالت قرار می‌گیرد. بدین‌ترتیب حافظه از حالت بی‌نظم به حالت دارای نظم می‌رود. اما برای حصول اطمینان از این که حافظه در حالت صحیح قرار دارد، باید مقدار معینی انرژی مصرف کرد. این انرژی به صورت گرما پراکنده می‌شود و میزان بی‌نظمی را در عالم افزایش می‌دهد. می‌توان نشان داد که این افزایش بی‌نظمی بزرگ‌تر از افزایش در نظم حافظه است. بدین‌ترتیب، وقتی کامپیوتر موردی را در حافظه ثبت می‌کند، مقدار کل بی‌نظمی درَ عالم بالا می‌رود.
جهت زمانی که در آن کامپیوتر گذشته را به یاد می‌آورد، همان جهتی است که در آن بی‌نظمی افزایش می‌یابد. یعنی حس ذهنی ما از جهت زمان یا پیکان زمان روان‌شناختی را پیکان زمان ترمودینامیکی تعیین می‌کند. این امر قانون دوم ترمودینامیک را تقریباً بی‌ارزش می‌کند. بی‌نظمی با زمان افزایش می‌یابد زیرا ما زمان را در جهتی اندازه می‌گیریم که بی‌نظمی افزایش می‌یابد. نمی‌توان شرطی از این راحت‌تر بست.

شرایط مرزی عالم

اما چرا عالم باید در یک سر زمان، سری که ما گذشته می‌نامیم، در حالتی با نظم بالا باشد؟ چرا همیشه در حالت بی‌نظمی کامل نبوده؟ خُب ممکن است این محتمل‌تر به نظر برسد. و چرا جهت زمانی که در آن بی‌نظمی افزایش می‌یابد، همان جهتی است که عالم منبسط می‌شود؟ یک پاسخ

احتمالی آن است که خدا تصمیم گرفته بود که عالم در آغاز مرحله انبساط در حالتی هموار و دارای نظم باشد. نباید تلاش کنیم که بپرسیم چرا یا از دلایل او بپرسیم، زیرا آغاز عالم فعل خدا بوده است. اما می‌توان گفت کل تاریخ عالم فعل خدا بوده است.
به نظر می‌رسد که عالم بر اساس قوانین خوش‌تعریف متحول می‌شود. ممکن است این قوانین فرمان خدا باشند یا نباشند، اما ظاهراً ما می‌توانیم آنها را کشف کنیم و بفهمیم. بنابراین آیا امید به اینکه همین قوانین یا قوانین مشابه ممکن است در آغاز عالم نیز معتبر بوده باشند غیرمنطقی است؟ در نظریه کلاسیکی نسبیت عام آغاز عالم باید تکینگی‌ای با چگالی بی‌نهایت در انحنای فضا- زمان باشد. تحت چنین شرایطی، تمام قوانین شناخته‌شده فیزیک درهم‌می‌شکنند. بنابراین نمی‌توان برای تعیین نحوه آغاز عالم از این قوانین استفاده کرد.
عالم ممکن است در حالتی بسیار هموار و منظم آغاز شده باشد. این امر به پیکان‌های زمان خوش‌تعریف ترمودینامیکی و کیهان‌شناختی، مانند آنچه ما مشاهده می‌کنیم، منتهی می‌شود. اما به همین سان ممکن است در حالتی بسیار ناهموار و بی‌نظم آغاز شده باشد. در این حالت عالم در حالت بی‌نظمی کامل بوده است، بنابراین بی‌نظمی نمی‌توانسته با زمان افزایش یابد. یا ثابت باقی می‌ماند که در این حالت پیکان زمان ترمودینامیکی خوش‌تعریفی در کار نبود، یا کاهش می‌یافت که در این حالت پیکان زمان ترمودینامیکی در جهتی معکوس پیکان کیهان‌شناختی قرار می‌گرفت. هیچ یک از این امکان‌ها با آنچه ما مشاهده می‌کنیم در توافق نیست.
همان‌گونه که ذکر کردم، نظریه کلاسیکی نسبیت عام پیش‌بینی می‌کند که عالم باید با تکینگی‌ای آغاز شود که در آن انحنای فضا- زمان نامتناهی است. در واقع مراد این است که نسبیت عام کلاسیکی سقوط خود را پیش‌بینی می‌کند. وقتی انحنای فضا- زمان بزرگ می‌شود، اثرات کوانتومی گرانش مهم می‌شوند و نظریه کلاسیکی دیگر توصیف خوبی برای عالم نیست. باید برای فهم این امر که عالم چگونه آغاز شده از نظریه گرانش کوانتومی استفاده کرد.
در نظریه گرانش کوانتومی، تمام تاریخ‌های ممکن عالم در نظر گرفته می‌شوند. به هر تاریخی دو عدد وابسته است. یکی نمایشگر اندازه موج و دیگری ظاهر موج است، یعنی این که آیا موج در قلّه است یا شکم. احتمال آن که عالم دارای ویژگی معینی باشد با جمع بستن امواج تمام تاریخ‌هایی که آن ویژگی را دارند، بدست می‌آید. تاریخ‌ها فضاهای خمیده‌ای هستند که تحول عالم را در زمان نشان می‌دهند. باز هم باید معین کرد تاریخ‌های ممکن عالم در مرز فضا- زمان در گذشته چگونه رفتار می‌کرده‌اند. ما شرایط مرزی عالم را در گذشته نمی‌دانیم و نمی‌توانیم بدانیم. اما اگر شرط مرزی عالم آن باشد که مرزی نداشته باشد می‌توان از این دشواری گریخت. به عبارت دیگر تمام تاریخ‌های ممکن عالم گستره‌ای متناهی دارند، اما مرز، لبه یا تکینگی ندارند. آنها مانند سطح زمین هستند، اما با دو بعد بیشتر. در این حالت، آغاز زمان نقطه‌ای هموار و عادی از فضا- زمان است. یعنی، عالم انبساط خود را از حالتی بسیار هموار و منظم آغاز کرده است. عالم نمی‌توانسته کاملاً یکنواخت باشد، زیرا این امر اصل عدم قطعیت نظریه کوانتومی را نقض می‌کند. نوسان‌های کوچکی در چگالی و سرعت ذرات وجود داشته است. اما شرط بی‌مرزی نشان می‌دهد که این نوسان‌ها، در سازگاری با اصل عدم قطعیت، تا آنجا که ممکن بوده کوچک بوده‌اند.
عالم با دوره‌ای از انبساط نمایی یا «تورمی» آغاز شده است. در این دوره اندازه آن با ضریبی بسیار بزرگ افزایش یافته است. در طول این انبساط نوسان‌های چگالی در ابتدا کوچک باقی

مانده‌اند، اما بعداً شروع به رشد کرده‌اند. نواحی‌ای که در آن‌ها چگالی اندکی بیشتر از چگالی متوسط بود، انبساط خود را با کشش گرانشی جرم اضافی کند کردند. سرانجام این نواحی انبساط را متوقف کردند و رُمبش کردند تا کهکشان‌ها، ستاره‌ها و موجوداتی مانند ما را تشکیل دهند.
عالم در حالتی هموار و دارای نظم آغاز شده و با گذشت زمان ناهموار و بی‌نظم شده است. این نکته وجود پیکان زمان ترمودینامیکی را توضیح می‌دهد. عالم در حالتی با نظم بالا آغاز شده و به مرور زمان بی‌نظم‌تر شده است. همان‌طور که قبلاً نشان دادم، پیکان زمان روان‌شناختی در همان جهت پیکان ترمودینامیکی قرار دارد. بنابراین جهت ذهنی ما از زمان همان جهتی است که عالم منبسط می‌شود نه جهت مخالف که در آن عالم منقبض می‌گردد.

آیا پیکان زمان معکوس می‌شود؟

اما اگر عالم انبساط را متوقف و دوباره شروع به انقباض می‌کرد چه اتفاقی می‌افتاد؟ آیا پیکان ترمودینامیک وارونه می‌شد و بی‌نظمی به مرور زمان شروع به کاهش می‌کرد؟ افرادی که از مرحله عبور از انبساط به انقباض جان به در می‌بردند، ممکن بود با همه آن چیزهایی روبرو شوند که در داستان‌های علمی ـ تخیلی بیان می‌شود. آیا آنها می‌دیدند که فنجان‌های شکسته خودبه‌خود از روی زمین جمع می‌شوند و به روی میز بازمی‌گردند؟ آیا قادر بودند قیمت‌های فردا را به یاد بیاورند و در بازار سهام برای خود فرصتی ایجاد کنند؟
شاید نگرانی در مورد اینکه وقتی عالم دوباره رُمبش کند چه اتفاقی می‌افتد کمی انتزاعی به نظر برسد، زیرا دست‌کم تا ده میلیارد سال دیگر عالم شروع به انقباض نخواهد کرد. اما راه سریع‌تری هم وجود دارد که بفهمیم چه روی می‌دهد: پریدن به درون سیاه‌چاله. رُمبش ستاره و تشکیل سیاه‌چاله تقریباً مانند مراحل آخر رُمبش کل عالم است. بنابراین اگر بی‌نظمی در فاز انقباض عالم کاهش یابد، می‌توان انتظار داشت که در داخل سیاه‌چاله هم کاهش یابد. بنابراین شاید فضانوردی که در سیاه‌چاله سقوط کرده قادر باشد در بازی رولت با به یاد آوردن این که گوی قبل از شرطبندی وی به کجا رفته پولی دربیاورد. اما متأسفانه قبل از آن که میدان‌های گرانشی بسیار قوی او را به شکل اسپاگتی درآورند، وقت زیادی برای بازی ندارد. قادر هم نخواهد بود که در مورد وارونگی پیکان ترمودینامیکی اطلاعی دهد یا حتی بُردهای خود را به بانک بسپارد، زیرا پشت افق رویداد سیاه‌چاله گیر می‌افتد.
در ابتدا من معتقد بودم هنگامی که عالم بازرُمبش کند بی‌نظمی عالم کاهش می‌یابد. دلیل این امر آن بود که فکر می‌کردم وقتی عالم دوباره کوچک شود به حالتی هموار و دارای نظم بازخواهد گردید. بدین معنا که فاز انقباض مانند وارون زمانی فاز انبساط است. افرادی که در فاز انقباض بودند زندگی خود را در جهت معکوس به سرمی‌بردند. قبل از آنکه به دنیا بیایند می‌مردند و با انقباض عالم جوان‌تر می‌شدند. این اندیشه جذاب است، زیرا به معنای تقارنی زیبا میان فازهای انبساط و انقباض است. اما نمی‌توان آن را به تنهایی و مستقل از اندیشه‌های دیگر در مورد عالم پذیرفت. پرسش این است: آیا شرط بی‌مرزی آن را نشان می‌دهد یا با آن ناسازگار است؟
همان‌گونه که ذکر کردم، ابتدا فکر می‌کردم که شرط بی‌مرزی در واقع نشان می‌دهد که در فاز انقباض بی‌نظمی کاهش می‌یابد. این فکر مبتنی بر مدل ساده‌ای از عالم بود که در آن فاز رُمبش مانند وارون زمانی فاز انبساط به نظر می‌رسید. اما همکار من، دون پیج(۱۱۹)، یادآوری کرد

که شرط بی‌مرزی ایجاب نمی‌کند که فاز انقباض لزوماً وارون زمانی فاز انبساط باشد. به علاوه یکی از دانشجویان من، «ریموند لافلیم»(۱۲۰)، دریافت که بر اساس مدل (کمی) پیچیده‌تری، رُمبش عالم بسیار متفاوت از انبساط آن است. فهمیدم که اشتباه کرده‌ام. در واقع شرط بی‌مرزی نشان می‌داد که در طول انقباض بی‌نظمی به افزایش ادامه می‌دهد. پیکان‌های زمان ترمودینامیکی و روانی، به هنگام آغاز انقباض مجدد عالم یا در درون سیاهچاله‌ها، معکوس نمی‌شوند.
وقتی درمی‌یابید چنین اشتباهی مرتکب شده‌اید، باید چه کار کنید؟ برخی افراد، مانند ادینگتون، هرگز اعتراف نمی‌کنند که بر خطا بوده‌اند. به جست‌وجوی برهان‌های جدید و اغلب ناسازگار با هم برای پشتیبانی از ادعای خود ادامه می‌دهند. دیگران ادعا می‌کنند که اولاً هرگز واقعاً از دیدگاه نادرست حمایت نکرده‌اند یا اگر چنین کرده‌اند فقط برای نشان دادن ناسازگاری آن بوده است. می‌توانم از این گروه نمونه‌های زیادی بیاورم، اما چنین نخواهم کرد؛ زیرا مرا خیلی منفور خواهد ساخت. به نظر من اگر کتباً و به صورت چاپی اعتراف کنید که بر خطا بوده‌اید، بسیار بهتر و کم‌تر گمراه‌کننده است. مثال خوبی از این مورد اینشتین است که می‌گفت ثابت کیهانی که در کوشش برای ساختن مدل ایستایی از عالم مطرح ساخت، بزرگ‌ترین اشتباه عمر وی بوده است.

سخنرانی هفتم

ایجاد یک نظریه وحدت کامل برای همه چیز بسیار دشوار است. بنابراین کار خود را با یافتن نظریه‌های جزئی پیش برده‌ایم. این نظریه‌ها دامنه محدودی از رویدادها را توصیف می‌کنند و اثرات دیگر را نادیده می‌گیرند یا با تقریب‌های معینی به آن‌ها نزدیک می‌شوند. مثلاً در شیمی می‌توانیم بدون دانستن ساختار داخلی هسته اتم، اندرکنش‌های اتم‌ها را محاسبه کنیم. اما در نهایت امید می‌رود که نظریه وحدت کامل و سازگاری یافته شود که تمام این نظریه‌های جزئی را به صورت تقریب‌هایی در خود دارد. تلاش برای یافتن چنین نظریه‌ای را «وحدت فیزیک» می‌نامند.

اینشتین بیشتر سال‌های آخر عمر خود را بدون موفقیت به جست‌وجوی نظریه‌ای یکی‌شده گذراند، اما هنوز زمان آن نرسیده بود: در آن زمان در مورد نیروهای هسته‌ای مطالب بسیار کمی می‌دانستند. به علاوه اینشتاین از باور به حقیقت مکانیک کوانتومی، به رغم نقش مهمی که در توسعه آن ایفا کرده بود سر باز می‌زد. با این همه به نظر می‌رسد که اصل عدم قطعیت جنبه‌ای بنیادی از عالمی باشد که در آن زندگی می‌کنیم. بنابراین، نظریه یکی‌شده موفق ضرورتاً باید این اصل را درخود داشته باشد.

اکنون، ظاهراً امید به یافتن چنین نظریه‌ای بسیار بیشتر است زیرا درباره عالم بسیار بیشتر می‌دانیم. اما باید از اطمینان بیش از حد برحذر باشیم. قبلاً سپیده‌های دروغینی داشته‌ایم. مثلاً در آغاز قرن تصور می‌شد که همه چیز را می‌توان بر اساس ویژگی‌های ماده پیوسته، نظیر کشسانی و رسانایی گرمایی، توضیح داد. کشف ساختار اتمی و اصل عدم قطعیت نقطه پایانی بر این امید نهاد. سپس دوباره در سال ۱۹۲۸ میلادی، «ماکس بورن»(۱۲۱) به گروهی از بازدیدکنندگان از دانشگاه گوتینگن گفت «فیزیک، آن طور که ما می‌شناسیم، ظرف شش ماه تمام خواهد شد». اطمینان او مبتنی بر کشف معادله حاکم بر الکترون بود و دیراک آن را به تازگی بدست آورده بود. تصور می‌شد که معادله مشابهی بر پروتون حاکم است که در آن زمان تنها ذره شناخته شده بود و این پایان فیزیک نظری است. اما کشف نوترون و نیروهای هسته‌ای دخل این یکی را هم آورد.

با وجود گفتن این سخنان هنوز هم معتقدم دلایلی وجود دارد که محتاطانه خوشبین باشیم که به پایان جست‌وجو برای یافتن قوانین غایی طبیعت نزدیک هستیم. در این لحظه ما چند نظریه جزئی داریم. ما نسبیت عام، نظریه جزئی گرانش و نظریه‌های جزئی حاکم بر نیروهای ضعیف، قوی و الکترومغناطیسی را در اختیار داریم. این سه نظریه اخیر را می‌توان در «نظریه‌های وحدت بزرگ»(۱۲۲) با هم ترکیب کرد. این نظریه‌ها خیلی رضایت‌بخش نیستند، زیرا شامل گرانش نمی‌شوند. دشواری اصلی در یافتن نظریه‌ای که گرانش را با نیروهای دیگر یکی سازد آن است که نسبیت عام نظریه‌ای کلاسیکی است. یعنی اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتومی را در خود ندارد. از سوی دیگر، دیگر نظریه‌های جزئی اساساً به مکانیک کوانتومی بستگی دارند. بنابراین گام ضروری نخست ترکیب نسبیت عام با اصل عدم قطعیت است. همان‌گونه که دیدیم این کار می‌تواند به پیامدهای شایان ذکری منتهی شود، مانند این که سیاه‌چاله‌ها سیاه نیستند و عالم کاملاً خودگنجا و بی‌مرز است. مشکل این است که معنای اصل عدم قطعیت آن است که حتی فضای

تهی از جفت‌های ذرات و ضدذرات مجازی پُر است. این جفت‌ها مقداری نامتناهی انرژی دارند. یعنی کشش گرانشی آنها فضا را تا اندازه‌ای بسیار کوچک خمیده می‌سازد.
در مکانیک کوانتومی بی‌نهایت‌های نسبتاً مشابه و به ظاهر بیهوده‌ای روی می‌دهد. اما در این نظریه‌های دیگر بی‌نهایت‌ها را می‌توان با فرایند موسوم به بازبهنجارش(۱۲۳) حذف کرد. این فرایند عبارت است از تغییر جرم ذرات و شدت نیروها در نظریه به مقداری نامتناهی. هر چند این تکنیک از نظر ریاضی تقریباً محل تردید است، اما ظاهراً در عمل کارآیی دارد و از آن برای پیش‌بینی‌هایی که با دقتی خارق‌العاده با رصدها توافق دارند استفاده شده است. اما بازبهنجارش از نظر تلاش برای یافتن نظریه‌ای کامل نقصی جدی دارد. هنگامی که بی‌نهایت را از بی‌نهایت کم می‌کنید، پاسخ می‌تواند هر چه می‌خواهید باشد. یعنی مقادیر واقعی جرم و شدت نیرو را نمی‌توان از روی نظریه پیش‌بینی کرد. بلکه باید آنها را طوری انتخاب کرد که با رصدها تناسب داشته باشند. در مورد نسبیت عام فقط دو کمیت وجود دارد که می‌توان تنظیم کرد: شدت گرانش و مقدار ثابت کیهانی. اما تنظیم این دو برای حذف تمام بی‌نهایت‌ها کافی نیست. بنابراین نظریه‌ای داریم که به ظاهر پیش‌بینی می‌کند کمیت‌های معینی از قبیل انحنای فضا- زمان به واقع نامتناهی هستند اما می‌توان مشاهده و اندازه‌گیری کرد که این کمیت‌ها کاملاً متناهی‌اند. در تلاش برای غلبه بر این مسأله در سال ۱۹۷۶ میلادی نظریه‌ای موسوم به «اَبَرگرانش» مطرح شد. این نظریه در واقع همان نسبیت عام است با چند ذره اضافی.
در نسبیت عام می‌توان فرض کرد که نیروی گرانشی را ذره‌ای با اسپین ۲ موسوم به گراویتون(۱۲۴) حمل می‌کند. می‌خواستند ذرات جدید دیگری را با اسپین‌های ۲/ ۳، ۱، ۲/ ۱ و ۰ به آن بیفزایند. به یک معنا تمام این ذرات را می‌شد وجوه مختلف یک «اَبَرذره» تلقی کرد. جفت‌های مجازی ذره/ضدذره دارای اسپین ۲/ ۱ و ۲/ ۳ انرژی منفی دارند که انرژی مثبت جفت‌های مجازی ذرات دارای اسپین ۰، ۱ و ۲ را حذف می‌کند. بدین طریق بسیاری از بی‌نهایت‌های ممکن حذف می‌شوند، اما فکر می‌کردند که ممکن است باز هم برخی بی‌نهایت‌ها باقی بمانند. محاسبات لازم برای فهمیدن این که آیا بی‌نهایتی حذف‌نشده باقی مانده است چنان طولانی و دشوار بود که هیچ کس آماده انجام آن نبود. حتی محاسبه کردند که با کامپیوتر هم انجام این محاسبات دست کم چهار سال طول می‌کشد. احتمال زیادی وجود داشت که شخص فقط یک اشتباه و شاید هم بیشتر مرتکب شود. بنابراین فقط اگر شخص دیگری محاسبات را تکرار می‌کرد و همان پاسخ را به دست می‌آورد، که خیلی هم محتمل به نظر نمی‌رسید، می‌شد اطمینان داشت که جواب صحیح را در اختیار داریم.
به دلیل این مشکل دیدگاه‌ها به نفع آن چه نظریه‌های ریسمان می‌نامیم، تغییر کرد. در این نظریه‌ها اشیاء بنیادی ذراتی نیستند که نقطه‌ای از فضا را اشغال می‌کنند. بلکه چیزهایی هستند که مانند حلقه بی‌نهایت نازکی از ریسمان طول دارند اما بُعد دیگری ندارند. ذره در هر لحظه از زمان یک نقطه از فضا را اشغال می‌کند. بدین‌ترتیب، تاریخ آن را می‌توان با خطی در فضا - زمان به نام «جهان‌خط(۱۲۵)» نمایش داد. از سوی دیگر ریسمان در هر لحظه از زمان خطی را در فضا اشغال می‌کند. بنابراین تاریخ آن در فضا- زمان سطحی است دوبُعدی موسوم به «جهان‌صفحه(۱۲۶)». هر نقطه‌ای را بر روی چنین جهان‌صفحه‌ای می‌توان با دو عدد نشان داد، یک نقطه زمان را نشان می‌دهد و دیگری وضعیت نقطه را روی ریسمان. جهان‌صفحه ریسمان، استوانه یا لوله است. برشی از لوله، دایره‌ای است که وضعیت ریسمان را در یک زمان خاص

نمایش می‌دهد.
دو تکه ریسمان می‌توانند به هم بپیوندند و یک ریسمان تشکیل دهند. این پدیده مانند دو پاچه شلوار است که با هم شلواری تشکیل می‌دهند. به همین نحو یک قطعه ریسمان را می‌توان به دو قطعه تقسیم کرد. در نظریه‌های ریسمان آن چه قبلاً ذره تصور می‌شد به صورت موجی تصویر می‌شود که بر روی ریسمان در حرکت است، مانند موجی که روی طناب حرکت می‌کند. گسیل یا جذب یک ذره به وسیله ذره‌ای دیگر، متناظر است با تقسیم ریسمان یا پیوند ریسمان‌ها با یکدیگر. مثلاً، نیروی گرانشی خورشید بر روی زمین متناظر است با لوله‌ای H شکل. نظریه ریسمان از جهتی تقریباً مانند لوله‌کشی است. موج‌های روی دو طرف قائم H متناظرند با ذرات در خورشید و زمین و موج‌های روی میله افقی متناظرند با نیروی گرانشی که میان آن‌ها حرکت می‌کند.
نظریه ریسمان تاریخی عجیب دارد. در ابتدا اواخر دهه ۱۹۶۰ در تلاش برای یافتن نظریه‌ای برای توصیف نیروی قوی ابداع شد. می‌گفتند ذراتی مانند پروتون و نوترون را می‌توان امواجی بر روی ریسمان تلقی کرد. نیروهای قوی میان ذرات، متناظر با قطعات ریسمانی بودند که مانند تار عنکبوت میان دیگر تکه‌های ریسمان می‌رفتند. برای آن که این نظریه مقدار مشاهده‌شده نیروی قوی میان ذرات را بدهد، ریسمان‌ها می‌بایست مانند نوارهای لاستیکی باشند با کششی در حدود ده تُن.
در سال ۱۹۷۴ میلادی «جوئل شرک»(۱۲۷) و «جان شوارتز»(۱۲۸) مقاله‌ای منتشر کردند که در آن نشان داده بودند نظریه ریسمان می‌تواند نیروی گرانشی را توصیف کند، اما فقط در صورتی که کشش ریسمان بسیار بالاتر یعنی در حدود $۱۰^{۳۹}$ تُن باشد. پیش‌بینی‌های نظریه ریسمان در مقیاس عادی طول همان پیش‌بینی‌های نسبیت عام بود، اما در فواصل بسیار کوچک یعنی کم‌تر از $۱۰^{-۳۳}$ سانتی‌متر متفاوت بود. اما کار آن‌ها چندان مورد توجه قرار نگرفت زیرا درست در همان ایام اغلب افراد، نظریه اصلی ریسمان در مورد نیروی قوی را رها کرده بودند. «شِرک» در شرایط غم‌انگیزی درگذشت. وی مبتلا به دیابت بود و هنگامی که هیچ کس نبود به وی انسولین تزریق کند به اغما فرو رفت. بدین‌ترتیب «شوارتز» تقریباً به عنوان تنها حامی نظریه ریسمان باقی ماند، اما این بار با مقدار پیشنهادی بسیار بالاتری برای کشش ریسمان.
ظاهراً برای احیای ناگهانی علاقه به ریسمان‌ها در سال ۱۹۸۴ میلادی دو دلیل وجود داشته است. یکی آنکه در نشان دادن این که اَبَرگرانش متناهی است یا توضیح نوع ذرات مشاهده شده واقعاً چندان پیشرفتی صورت نگرفته بود. دیگری انتشار مقاله‌ای از جان شوارتز و «مایک گرین»(۱۲۹) بود که نشان می‌داد ممکن است نظریه ریسمان وجود ذراتی را توضیح دهد را که مانند برخی ذراتی که مشاهده می‌کنیم دارای چپگردی ذاتی هستند. دلیل آن هر چه بود به زودی افراد زیادی کار بر روی نظریه ریسمان را آغاز کردند. روایتی جدید یعنی روایت «ریسمان ناهمگن»(۱۳۰) پدیدار گردید. ظاهراً این روایت قادر به توضیح انواع ذراتی که مشاهده می‌کنیم بود.
نظریه‌های ریسمان نیز به بی‌نهایت‌ها منتهی می‌شوند، اما فکر می‌کنند در روایت‌هایی مانند ریسمان ناهمگن همه آنها حذف شوند. اما، نظریه‌های ریسمان مشکل بزرگ‌تری دارند. ظاهراً این نظریه‌ها فقط در صورتی که فضا- زمان به جای چهار بعد معمول دارای ده یا بیست و شش بُعد باشد سازگارند. البته از ابعاد اضافی فضا- زمان در داستان‌های علمی - تخیلی زیاد صحبت می‌شود؛ در واقع این ابعاد تقریباً ضرورت [این نوع داستان‌ها] هستند. در غیر این صورت این

که نسبیت نشان می‌دهد نمی‌توان سریع‌تر از نور حرکت کرد بدان معناست که گذشتن از کهکشان خود ما زمانی بسیار دراز طول می‌کشد، چه رسد به سفر به کهکشان‌های دیگر. در داستان‌های علمی- تخیلی تصور می‌کنند که می‌توان از طریق بُعد بالاتری میان‌بر زد. می‌توان این نکته را به شیوه زیر تصویر کرد. تصور کنید فضایی که در آن زندگی می‌کنیم فقط دو بُعد دارد و مانند سطح حلقه‌ای خمیده است. اگر در یک سمت حلقه باشید و بخواهید به نقطه‌ای در سمت دیگر بروید، مجبورید دور حلقه را طی کنید. اما اگر بتوانید در بُعد سوم حرکت کنید، می‌توانید مستقیماً به آن جا بروید.

اگر ابعاد اضافی واقعاً وجود دارند، چرا ما آنها را مشاهده نمی‌کنیم؟ چرا فقط سه بُعد فضا و یک بُعد زمان را مشاهده می‌کنیم؟ فکر می‌کنند که ابعاد دیگر در فضایی با اندازه بسیار کوچک، چیزی در حدود یک میلیون میلیون میلیون میلیون میلیونیم اینچ، خمیده شده‌اند. این فضا چنان کوچک است که ما به آن توجهی نمی‌کنیم. فقط سه بُعد فضا و یک بُعد زمان را می‌بینیم که در آن فضا- زمان کاملاً تخت است. مانند سطح پرتقال: اگر از نزدیک به آن نگاه کنید تماماً خمیده و چروکیده است، اما اگر از دور به آن نگاه کنید برآمدگی‌ها را نمی‌بینید و هموار به نظر می‌رسد. فضا- زمان هم همین طور است. در مقیاس بسیار کوچک دهبُعدی و به شدت خمیده است. در مقیاس‌های بزرگ‌تر انحنا یا ابعاد اضافی را نمی‌بینید.

اگر این تصویر صحیح باشد برای مسافران احتمالی فضا خبرهای بدی دارد. ابعاد اضافی کوچک‌تر از آنند که سفینه فضایی از میان آن‌ها بگذرد. اما مسئله عمده دیگری هم مطرح می‌شود. چرا باید تعدادی اما نه تمام ابعاد در گویی کوچک خمیده شوند؟ احتمالاً در عالم بسیار اولیه تمام ابعاد به شدت خمیده بوده‌اند. چرا سه بُعد فضا و یک بُعد زمان تخت شده‌اند، در حالی که ابعاد دیگر اکیداً خمیده مانده‌اند؟

یک پاسخ ممکن اصل انسان‌محوری است. به نظر نمی‌رسد دو بعد فضایی برای پیدایش موجودات پیچیده‌ای مانند ما کافی باشند. مثلاً، افراد دو بُعدی که در زمینی یک‌بُعدی زندگی می‌کردند مجبور بودند برای گذشتن از کنار یکدیگر از روی هم بالا بروند. اگر مخلوق دوبُعدی چیزی می‌خورد که نمی‌توانست آن را کاملاً هضم کند مجبور بود بقایای آن را از همان راهی دفع کند که آن را بلعیده بود؛ زیرا اگر مسیری در بدن وی وجود داشت مخلوق را به قسمت‌های مجزا تقسیم می‌کرد. مخلوق دوبُعدی ما از هم پاره می‌شد. به همین نحو، فهم اینکه چگونه ممکن است در مخلوق دوبُعدی گردش خون وجود داشته باشد دشوار است. در مورد بیش از سه بعد فضایی هم مشکلاتی وجود دارد. نیروی گرانشی با افزایش فاصله سریع‌تر از حالت سه‌بُعدی کاهش می‌یافت. اهمّیت این امر در آن است که مدار سیاراتی مانند زمین به گرد خورشید ناپایدار می‌شد. کم‌ترین اختلال از مداری دایروی مانند آن چه کشش گرانشی سیارات دیگر ایجاد می‌کرد، موجب می‌شد که زمین با حرکت مارپیچی از خورشید دور یا به آن وارد شود. یا یخ می‌زدیم یا می‌سوختیم. در واقع معنای همین کاهش گرانش با افزایش فاصله آن بود که خورشید هم ناپایدار است. یا از هم می‌گسست یا فرومی‌پاشید و سیاه‌چاله تشکیل می‌داد. در هر یک از این دو حالت به عنوان منبع حرارت و نور برای زندگی بر روی زمین چندان سودی نداشت. در مقیاس کوچک‌تر نیروهای الکتریکی که موجب حرکت الکترون‌ها در مداری به گرد هسته می‌شوند مانند نیروهای گرانشی رفتار می‌کردند. بدین‌ترتیب الکترون‌ها یا کلاً از هسته می‌گریختند یا با حرکت مارپیچی در درون هسته سقوط می‌کردند. روشن به نظر می‌رسد که حیات، دست‌کم به شکلی که ما

می‌شناسیم، فقط می‌تواند در نواحی‌ای از فضاـ زمان وجود داشته باشد که در آنها سه بُعد فضا و یک بُعد زمان خمیده و کوچک نشده‌اند. مراد این است که می‌توان به اصل انسان‌محوری متوسل شد، به شرط آن که شخص بتواند نشان دهد که نظریه ریسمان دست کم اجازه می‌دهد چنین نواحی‌ای از عالم وجود داشته باشند. و به نظر می‌رسد که در واقع در هر نظریه ریسمانی این نواحی مجاز هستند. ممکن است نواحی دیگری در عالم یا عالم‌های دیگری (هر معنایی که داشته باشند) وجود داشته باشند که در آن‌ها تمام ابعاد خمیده و کوچک شده‌اند یا در آن‌ها بیش از چهار بُعد تقریباً تخت وجود دارد. اما در این نواحی موجود هوشمندی وجود ندارد که تعداد متفاوت ابعاد مؤثر را مشاهده کند.
جدا از پرسش در مورد تعداد ابعادی که به نظر می‌رسد فضا ـ زمان داشته باشد، نظریه ریسمان باز هم مشکلات دیگری دارد که قبل از آنکه بتوان آن را نظریه وحدت نهایی فیزیک خواند باید حل شوند. ما هنوز نمی‌دانیم آیا تمام بی‌نهایت‌ها حذف می‌شوند یا دقیقاً چگونه امواج روی ریسمان را به انواع خاصی از ذرات که مشاهده می‌کنیم مرتبط سازیم. با این همه محتمل به نظر می‌رسد که پاسخ این پرسش‌ها ظرف چند سال آینده یافته شود و در پایان قرن [بیستم] بدانیم که آیا نظریه ریسمان واقعاً همان نظریه وحدت فیزیک است که مدت‌ها به دنبال آن بوده‌ایم.
آیا واقعاً ممکن است نظریه وحدت همه چیز وجود داشته باشد؟ یا ما فقط به دنبال سراب هستیم؟ به نظر می‌رسد سه احتمال وجود داشته باشد:

- واقعاً نظریه وحدت کاملی وجود دارد که ما اگر به قدر کافی باهوش باشیم روزی آن را کشف خواهیم کرد.
- نظریه نهایی عالم وجود ندارد؛ آن چه وجود دارد فقط رشته‌ای نامتناهی از نظریه‌هاست که عالم را با دقت هرچه بیشتری توصیف می‌کنند.
- نظریه نهاییِ عالم وجود ندارد. رویدادها را نمی‌توان بیش از حد معینی پیش‌بینی کرد بلکه این رویدادها به شیوه‌ای کاتوره‌ای و تصادفی روی می‌دهند.

برخی به نفع امکان سوم این‌گونه استدلال می‌کنند که اگر مجموعه کاملی از قوانین وجود داشت، مخل آزادی خداوند در تغییر رأی خود و دخالت در عالم بود. این استدلال کمی شبیه پارادکسی قدیمی است: آیا خداوند می‌تواند سنگی بسازد که آن قدر سنگین باشد که خود نتواند آن را بلند کند؟ اما تصور آن که ممکن است خدا بخواهد رأی خود را تغییر دهد نمونه‌ای از مغالطه‌ای است که اگوستین قدیس به آن اشاره کرده و در آن خدا چنان موجودی که در زمان وجود دارد تصور می‌شود. زمان فقط یکی از ویژگی‌های عالمی است که خدا آفریده است. احتمالاً آنگاه که زمان تنظیم می‌کرده می‌دانسته که چه می‌خواهد.
با ظهور مکانیک کوانتومی به این درک رسیده‌ایم که رویدادها را نمی‌توان با دقت کامل پیش‌بینی کرد، بلکه همیشه مقداری عدم قطعیت وجود دارد. اگر کسی دوست داشته باشد می‌تواند این کاتورگی را به دخالت خداوند نسبت دهد. اما این دخالت بسیار عجیبی است. مدرکی وجود ندارد که دخالتی هدفمند باشد. در واقع اگر چنین بود، دیگر کاتوره‌ای نبود. در دوران مدرن ما با بازتعریف هدف علم امکان سوم را به طرز مؤثر حذف کرده‌ایم. هدف ما صورت‌بندی مجموعه‌ای از قوانین است که ما را به پیش‌بینی رویدادها تا حدی که اصل عدم قطعیت تعیین

کرده است قادر سازد.
امکان دوم، که رشته‌ای نامتناهی از نظریه‌های هر چه پالوده‌تر وجود دارد، با تمام تجربیاتی که تاکنون داریم در توافق است. در بسیاری از موارد حساسیت اندازه‌گیری‌های خود را افزایش داده‌ایم یا فقط برای آنکه پدیده‌هایی را کشف کنیم که نظریه موجود پیش‌بینی نکرده بودند مشاهدات جدیدی انجام داده‌ایم. برای تبیین این پدیده‌ها مجبور بوده‌ایم نظریه پیشرفته‌تری ابداع کنیم. بنابراین خیلی تعجب‌آور نیست اگر هنگامی که نظریه‌های وحدت بزرگ فعلی خود را روی شتاب‌دهنده‌های ذره‌ای بزرگ‌تر و قوی‌تر آزمایش کنیم دریابیم که این نظریه‌ها در هم فرومی‌ریزند. در واقع اگر انتظار نداشتیم که این نظریه‌ها فروبریزند صرف این همه پول برای ساخت ماشین‌های قوی‌تر چندان معنایی نداشت.
اما ظاهراً ممکن است گرانش حدی برای این زنجیره «جعبه‌های درون جعبه»(۱۳۱) فراهم آورد. اگر کسی ذره‌ای داشت که انرژی آن بالاتر از انرژی موسوم به انرژی پلانک، GeV۱۰۱۹، بود، جرم آنچنان متمرکز می‌بود که خود را از بقیه عالم جدا می‌ساخت و سیاه‌چاله‌ای کوچک تشکیل می‌داد. بدین‌ترتیب، به نظر می‌رسد زنجیره نظریه‌های هر چه پالوده‌تر باید در حالی که ما به انرژی‌های بالاتر و بالاتر می‌رویم حدی داشته باشد. باید نظریه نهایی عالم وجود داشته باشد. البته انرژی پلانک تا انرژی‌هایی از مرتبه GeV که بیشترین انرژی‌ای است که در حال حاضر می‌توانیم در آزمایشگاه تولید کنیم فاصله زیادی دارد. عبور از این شکاف به شتاب‌دهنده‌ای نیاز دارد که بزرگ‌تر از منظومه شمسی است. در وضعیت اقتصادی فعلی بعید است که بودجه ساخت چنین شتاب‌دهنده‌ای تأمین شود.(۱۳۲)
اما مراحل بسیار اولیه عالم عرصه‌ای هستند که در آن چنین انرژی‌هایی روی داده‌اند. من فکر می‌کنم احتمال زیادی وجود دارد که مطالعه عالم اولیه و شرایط سازگاری ریاضی تا پایان قرن به نظریه وحدت کاملی منتهی شود، البته با این فرض که ابتدا خود را منفجر نکنیم!
اگر در واقع نظریه نهایی عالم را کشف می‌کردیم، معنای آن چه بود؟ فصلی بلند و پرشکوه از تاریخ تلاش ما برای فهم عالم به پایان می‌رسید. اما در فهم شخص عادی از قوانینی که بر عالم حاکمند نیز انقلابی پدید می‌آمد. در زمان نیوتون امکان آن وجود داشت که شخص فرهیخته از کل دانش بشری حداقل از خطوط کلی آن فهمی داشته باشد. اما از آن پس سرعت پیشرفت علم این امر را ناممکن ساخته است. نظریه‌ها همیشه برای تبیین مشاهدات تازه تغییر کرده‌اند. هرگز به خوبی هضم یا ساده نشده‌اند تا شخص عادی بتواند آنها را درک کند. می‌بایست متخصص باشید و حتی در آن صورت نیز فقط می‌توانید امید داشته باشید که فهمی مناسب از بخش کوچکی از نظریه‌های علمی داشته باشید.
به‌علاوه پیشرفت چنان سریع بوده است که آنچه آدمی در مدرسه یا دانشگاه آموخته همیشه اندکی منسوخ شده است. فقط افراد اندکی می‌توانند خود را در مرز دانش که سریعاً در حال پیشرفت بوده است حفظ کنند. ایشان نیز مجبورند کل وقت خود را به این کار اختصاص دهند و در عرصه کوچکی متخصص شوند. بقیه افراد از پیشرفت‌های انجام‌شده و هیجانی که این پیشرفت‌ها پدید آورده‌اند تصور اندکی دارند.
هفتاد سال پیش، اگر به حرف ادینگتون باور داشته باشیم، فقط دو نفر نظریه نسبیت عام را می‌فهمیدند. امروزه ده‌ها هزار فارغ‌التحصیل دانشگاه آن را می‌فهمند و میلیون‌ها نفر دست کم با اندیشه آن آشنا هستند. اگر نظریه وحدت کامل کشف می‌شد، فقط زمان لازم بود که به همین شیوه

هضم و ساده شود. سپس می‌شد، دست کم خطوط کلی آن را در مدارس آموخت. در آن حال قادر بودیم از قوانینی که بر عالم حاکمند و مسئول وجود ما هستند، فهمی داشته باشیم.
زمانی اینشتین پرسید: «خدا در ایجاد عالم، چقدر حق انتخاب داشته است؟». اگر شرط بی‌مرزی صحیح باشد، اصلاً آزادی انتخاب شرایط اولیه را نداشته است. البته باز هم آزادی آن را داشت که قوانینی را که عالم از آن تبعیت می‌کرد، انتخاب کند. اما این ممکن است خیلی هم انتخابی نبوده باشد. ممکن است فقط یک مجموعه کامل از نظریه‌های وحدت یا شمار اندکی از آنها وجود داشته باشند که خودسازگار هستند و وجود موجودات ذی‌شعور را مجاز می‌دارند.
حتی اگر فقط یک نظریه یگانه ممکن وجود داشته باشد که فقط مجموعه‌ای از قوانین و معادلات است می‌توانیم در مورد طبیعت خداوند پرسش کنیم. آن چیست که تنور معادلات را برمی‌افروزد و عالمی می‌سازد تا آنها توصیف کنند؟ رویکرد معمول علم به ساخت مدلی ریاضی نمی‌تواند به این پرسش پاسخ دهد که چرا باید عالمی وجود داشته باشد که مدل توصیف کند. چرا عالم باید تمام دردسر وجود را بر خود هموار کند؟ آیا نظریه یکی‌شده چنان پرقدرت است که وجودی را هم که توصیف می‌کند با خود پدید می‌آورد؟ یا آیا به خالقی نیاز دارد، و اگر چنین باشد، آیا خالق در عالم اثری جز آن که مسئول وجود آن است، دارد؟ و او را که آفریده است؟
تاکنون دانشمندان بیش از آن مشغول توسعه نظریه‌های جدید برای توصیف عالم بوده‌اند که پرسش «چرا» را مطرح سازند. از سوی دیگر افرادی که کارشان طرح پرسش چرا است (یعنی فیلسوفان) قادر نبوده‌اند پابه‌پای پیشرفت نظریه‌های علمی گام بردارند. در قرن هجدهم فیلسوفان کل معرفت بشری از جمله علم را در اختیار خود می‌دانستند. آنا در مورد پرسش‌هایی از این قبیل بحث می‌کردند: آیا عالم آغازی دارد؟ اما در قرن نوزدهم و بیستم علم برای فیلسوفان یا هر کس دیگری به جز چند متخصص بیش از حد فنی و ریاضیاتی شده است. فیلسوفان دامنه تحقیق خود را چنان محدود ساخته‌اند که ویتگنشتاین مشهورترین فیلسوف این قرن گفته است: «تنها کاری که برای فلسفه مانده تحلیل زبان است». سنت بزرگ فلسفه از ارسطو تا کانت چه سقوطی کرده است.
اما اگر ما نظریه کامل را کشف کنیم، باید در آن زمان اصول گسترده آن را همه و نه فقط چند دانشمند بفهمند. در آن زمان همه ما قادر خواهیم بود که در این بحث شرکت کنیم که چرا عالم وجود دارد. اگر پاسخ این پرسش را بیابیم، پیروزی نهایی خِرَد بشری خواهد بود. زیرا در آن صورت به ذهن خدا معرفت خواهیم داشت.

۱. Big Bang
۲. Black hole
۳. Newton
۴. Einstein
۵. singularity
تکینگی ناحیه‌ای از فضا ـ زمان است که چگالی ماده در آن بی‌نهایت است. م.
۶. Heisenberg uncertainty principle اصلی که بر اساس آن برخی جفت کمیت‌ها (مانند موقعیت و سرعت ذره) را نمی‌توان همزمان و به طور دقیق تعیین کرد و حاصل‌ضرب خطاهای اندازه‌گیری هر یک از این دو کمیت نمی‌تواند از مقدار معینی کمتر باشد. م.
۷. سطح زمین کروی و محدود است، اما به هیچ روی نمی‌توان مرزی را معین کرد و گفت که در اینجا سطح زمین به پایان می‌رسد. م.
۸. Interaction: در کتاب‌های فیزیکی اثر متقابل دو ذره یا شیء را بر روی یکدیگر اندرکنش یا برهمکنش می‌نامند. م.
۹. در آسمان، ارسطو، ترجمه اسماعیل سعادت، انتشارات هرمس.
۱۰. واحد شمارش یونانی `stadia (استادیا) جمع واژه استادیوم است.
۱۱. Stadium
تکینگی ناحیه‌ای از فضا ـ زمان است که چگالی ماده در آن بی‌نهایت است. م.
۱۲. هر یارد برابر با ۰/۹۱۴۴ متر است.
۱۳. در اینجا نویسنده اشاره دارد به فلک حامل و فلک تدویر؛ در زمان باستان رصدگران متوجه دور و نزدیک شدن اجرام سماوی منظومه شمسی و حرکت رجعی برخی از آنها شده بودند. به همین سبب در مدل بطلمیوس، مدار هر جرم در منظومه شمسی دو فلک تعیین می‌کرد. فلک تدویر، مداری بود دایروی که مرکز آن روی محیط فلک حامل قرار داشت و سیاره روی محیط فلک تدویر حرکت می‌کرد و در حین گردش، فلک تدویر همراه فلک حامل به دور زمین می‌گشت.
۱۴. Nicholas Copernicus
۱۵. Johannes Kepler
۱۶. Galileo Galilei
۱۷. Principa Mathematica Naturalis Causae.
۱۸. Richard Bentley
۱۹. Heinrich Olbers
۲۰. Saint Augustine
۲۱. The City of God
۲۲. Book of Genesis؛ نخستین بخش از کتاب مقدس و اولین کتاب از اسفار پنجگانه یا تورات است.
۲۳. Edwin Hubble
۲۴. Big bang

۲۵. به این روش اختلاف منظر می‌گویند؛ در این روش منظر ستاره نزدیک به ما نسبت به ستاره‌های دور به سبب گردش زمین به دور خورشید و تغییر زاویه دید ما عوض خواهد شد؛ با اندازه‌گیری این اختلاف منظر و استفاده از روابط مثلثاتی به راحتی فاصله تا دیگر ستارگان نزدیک به ما قابل دستیابی است.

۲۶. Apparent brightness
۲۷. Luminosity
۲۸. Spectrum
۲۹. Relative brightness
۳۰. Doppler effect
۳۱. Red shift

۳۲. این سرعت را سرعت فرار می‌نامند. م.

۳۳. Cosmological Constant
۳۴. Alexander Friedmann
۳۵. Arno Penzias
۳۶. Robert Wilson

۳۷. Noise: به اغتشاش‌ها و اختلال‌هایی که بخشی از سیگنال نیستند یا با آن تداخل می‌کنند، نوفه می‌گویند.

۳۸. Bob Dicke (Robert Dicke)
۳۹. Jim Peebles

۴۰. microwaves: موج الکترومغناطیسی که طول آن بین تقریباً یک میلی‌متر و سی سانتی‌متر باشد که به ترتیب با بسامدهای ۳۰۰ گیگاهرتز و ۱ گیگاهرتز متناظر هستند. طول موج ریزموج‌ها بلندتر از امواج فروسرخ و کوتاهتر از امواج رادیویی است.

۴۱. George Gamov

جرج گاموف فیزیکدان آمریکایی ـ اوکراینی. از او کتاب‌های یک، دو، سه، بی‌نهایت؛ آقای تامپکینز و... به فارسی ترجمه شده است. م.

۴۲. Howard Robertson
۴۳. Arthur Walker
۴۴. Dark Matter
۴۵. steady state theory
۴۶. Hermann Bondi
۴۷. Thomas Gold
۴۸. Briton Fred Hoyle
۴۹. Martin Ryle
۵۰. Evgenii Lifshitz
۵۱. Isaac Khalatnikov
۵۲. Sideway velocities
۵۳. Roger penrose

۵۴. در نسبیت وقتی نمودار فضا و زمان را در محورهای جداگانه رسم می‌کنیم، حاصل نمودار شکلی مخروطی است که در نمونه دو بُعدی و سه بُعدی آن را بیشتر کتاب‌های نسبیت و فیزیک نوین و همین طور آثار دیگر هاوکینگ می‌توانید ببینید. علت مخروطی شدن نمودار محدودیت سرعت نور به C است. که جزو یکی از دو اصل اساسی نسبیت خاص به حساب می‌آید.
۵۵. John Wheeler
۵۶. John Michell
۵۷. Philosophical Transactions of Royal Society of London
۵۸. Marquis de Laplace
۵۹. The System of the World
۶۰. Subrahmanyan Chandrasekhar
۶۱. Sir Arthur Eddington
۶۲. Pauli Exclusion Principle
۶۳. Chandrasekhar limit
۶۴. هر مایل برابر با ۱۶۰۹ متر است.
۶۵. Sirius:
یا تیشتر به زبان فارسی میانه، نشانی از ایزد باران بود که در بُندهش داستان دشمنان دو مینوی به آن اشاره شده است.(در بخش‌های مختلف بُندهش نیز اشاراتی شده است). و.
۶۶. Robert oppenheimer
۶۷. Black hole
۶۸. Event horizon
۶۹. برج آب: به دلیل تغییر بودن ساعت اوج مصرف آب، برج‌های آبی در هر منطقه نقش کنترل‌کنندهٔ آبرسانی را دارند. در اوج مصرف، مقدار کمتری آب واحد سیستم آبرسانی شده و میزان مصرف را کنترل می‌کند. برج‌های آب نقش ذخایر آب را بازی می‌کنند. فشار آب در محل مصرف بستگی به میزان یا فشار آب واردشدهٔ به سیستم آبرسانی دارد.
۷۰. Pulsating
۷۱. Werner Israel
۷۲. Dublin
۷۳. Karl Schwarzschild
۷۴. Roy Kerr
۷۵. Barndon Carter
۷۶. Stationary
۷۷. David Robinson
۷۸. Kings College
۷۹. بر اساس قضیه «سیاهچاله مو ندارد»، مهم نیست که چه چیزی در سیاهچاله سقوط می‌کند، تنها ویژگی‌هایی که باقی می‌مانند، عبارت‌اند از جرم کل، بار و اندازه حرکت زاویه‌ای جسم. بنابراین، اگر دانشنامه‌ای در سیاهچاله سقوط کند تمام اطلاعات درون آن از میان می‌رود. م.
۸۰. Maarten Schmidt

۸۱. Saint Palomar Observatory
۸۲. Quasi stellar objects
۸۳. Quarars
۸۴. Jocelyn Bell
۸۵. Anthony Hewish
۸۶. pulsar
۸۷. Cygnus X - ۱
۸۸. Kip Thorne
۸۹. Private eye
۹۰. «کیپ تاون» این شرطبندی را بُرد! در کتاب جهان در پوست گردو هاوکینگ در این‌باره توضیح داد و عکسی از برگه امضا شده بین خودشان را آورد. و.
۹۱. از اصطلاح ناکاهندگی برای آن استفاده شده است که نشان می‌دهد این مساحت ممکن است ثابت بماند یا افزایش یابد اما هرگز کاهش نمی‌یابد. م.
۹۲. Jacob Bekenstein
۹۳. Jim Bardeen
۹۴. Yakov Zeldovich
۹۵. Alexander Starobinsky
۹۶. virtual particle
۹۷. در سال ۲۰۰۶، با تصویب اتحادیه بین‌المللی نجوم (IAU) پلوتو از فهرست سیاره‌های منظومه شمسی حذف شد و در فهرست جدیدی به نام دسته سیاره‌های کوتوله جای گرفت. و.
۹۸. Cernekov radaition
۹۹. Neil Porter
۱۰۰. Trevor Weekes
۱۰۱. John G. Taylor
۱۰۲. Feynman
۱۰۳. Sum over histories:
ریچارد فاینمن در دهه ۴۰ و ۵۰ روشی ریاضی با مفهوم بسیار عمیق در فیزیک به نام «انتگرال مسیر» ابداع کرد بدین معنی که بین دو نقطه یا رویداد هر مسیری را می‌توان طی کرد. در واقع نقاط ابتدایی و انتهایی مهم خواهند بود. منتهی چون نمی‌دانیم ظاهراً کدام مسیر را طبیعت انتخاب کرده، باید روی تمام مسیرها جمع (انتگرال) ببندیم. از قضا فاینمن به نکته دیگری به نام وردش اشاره می‌کند بدین معنی که طبیعت به نقل از پاسکال اقتصادی رفتار می‌کند. یعنی بین دو رویداد یا نقطه ابتدا و انتها در یک نمودار با کمیت‌های فیزیکی طبیعت طوری رفتار می‌کند که کوتاه‌ترین مسیر طی شود. و.
۱۰۴. Hot big bang
۱۰۵. Selection principle
۱۰۶. Anthropic principle
۱۰۷. Alan Guth

۱۰۸. Phase transition
۱۰۹. Super-cool
۱۱۰. Sternberg Astronomical Institute
۱۱۱. Andrei Linde
۱۱۲. Chaotic Inflationary Model
۱۱۳. self-contained
۱۱۴. Santa Barbara
۱۱۵. Jim Hartle
۱۱۶. L. P. Hartley
۱۱۷. The Go Between
۱۱۸. Murphy Law

مفاد این قانون چنین است:
۱. چیزی که ممکن است خراب شود، می‌شود.
۲. هیچ چیزی به آن آسانی که به نظر می‌رسد، نیست.
۳. اگر در سیستمی احتمال خرابی چند جز وجود داشته باشد، جزئی خراب می‌شود که در صورت خرابی آن سیستم بیشترین صدمه را ببیند.

۱۱۹. Don Page
۱۲۰. Raymond Laflamme
۱۲۱. Max Born
۱۲۲. Grand unified theory
۱۲۳. روشی در مکانیک کوانتومی برای از میان بردن بی‌نهایت‌های ناخواسته در جواب معادلات با تعریف مجدد پارامترهایی از قبیل جرم و بار ذرات زیراتمی. م.
۱۲۴. Graviton
۱۲۵. world-line
۱۲۶. world-sheet
۱۲۷. Joel Sherk
۱۲۸. John Schwartz
۱۲۹. Mike Graen
۱۳۰. Heterotio sting
۱۳۱. اشاره به عروسک‌های روسی تو در تو که درون هر عروسک، عروسک مشابه کوچک‌تری است. و.
۱۳۲. شتاب‌دهنده تواترون، فرمی در شیکاگو با قدرت TeV 0/98 و در نهایت در سال ۲۰۰۸ LHC (شتابدهنده بزرگ‌ها درونی) با قدرت بالاتر از TeV ۲/۱ کارخود را شروع کردند که دومی پس از رفع ایراد با وقفه یک ساله در نوامبر ۲۰۰۹ روشن شد. این شتابدهنده از حدود ۱۹۹۵ به بعد شروع به ساخت شده بود و بسیاری از سؤال‌های فیزیک از جمله برخی از مواردی که هاوکینگ اشاره می‌کند مشخص خواهد شد. امکان تولید «سیاه‌چاله‌های مینیاتوری»

بر اثر برخوردها و انرژی‌ها بالا یکی از این موارد است. دما به حد پلانک یا همان نزدیک انفجار بزرگ خواهد رسید. انرژی نهایی LHC TeV ۱۴ خواهد بود. و.

کتابستان
@ketabestaneman