Paper from well managed
forests and controlled sources
کاغذ این کتاب از جنگل‌ها و منابع
کاملاً مدیریت شده تهیه شده است.
FSC PEFC

پایان جهان

کتی مک
ترجمهٔ مریم درودیان

پایان جهان
از منظر اختر فیزیک

بنگاه ترجمه و نشر
کتاب پارسه

سرشناسه: مک، کتی، ۱۹۸۱– م. Mack, Katie, 1981
عنوان و نام پدیدآور: پایان جهان (از منظر اخترفیزیک)/ کتی مک/ ترجمهٔ مریم درودیان
مشخصات نشر: تهران: بنگاه ترجمه و نشر کتاب پارسه ۱۳۹۹
مشخصات ظاهری: ۲۶۴ ص
شابک: ۹ـ ۷۵۳ـ ۲۵۳ـ ۶۰۰ـ ۹۷۸
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
یادداشت: عنوان اصلی: .END OF EVERYTHING : (astrophysically speaking),2021
موضوع: کیهان‌شناسی/ سرانجام جهان
شناسه افزوده: درودیان، مریم، ۱۳۷۰–، مترجم
رده‌بندی کنگره: QB ۹۸۱
رده‌بندی دیویی: ۵۲۳/۱
شمارهٔ کتابشناسی ملی: ۷۵۰۸۱۰۹

پایان جهان (از منظر اخترفیزیک)

کتی مک — ترجمهٔ مریم درودیان
آماده‌سازی و تولید: بنگاه ترجمه و نشر کتاب پارسه
طراحی گرافیک: پرویز بیانی — چاپ و صحافی: دالاهو
نوبت و شمارگان: چاپ اول ۱۴۰۰، ۱۱۰۰ نسخه

همهٔ حقوق چاپ و نشر برای بنگاه ترجمه و نشر کتاب پارسه محفوظ است.
هرگونه اقتباس از این اثر، منوط به دریافت اجازهٔ کتبی از ناشر است.

بنگاه ترجمه و نشر کتاب پارسه

تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای ژاندارمری شرقی، پلاک ۷۴،
طبقهٔ سوم، تلفن، ۶۶۴۷۷۴۰۵

www.parsehbook.com / info@parsehbook.com

@ketabeparseh

فروشگاه: تهران، خیابان ولیعصر، روبروی دوراهی یوسف‌آباد، پلاک ۱۹۴۱
تلفن: ۸۸۸۹۱۸۹۴

کتی مَک اخترفیزیکدان نظری است که به دنبال پاسخ طیف گسترده‌ای از پرسش‌های کیهان‌شناسی است. او استادیار فیزیک دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی است که علاوه‌بر پژوهش‌های دانشگاهی، در امر ترویج علم نیز بسیار فعال ظاهر شده و مقالاتی در ساینتیفیک امریکن، اسلیت، اسکای اند تلسکوپ و تایم نوشته و ستون‌نویس مجلهٔ کازموس است.

فهرست

۱. معرفی کیهان ۱۱
بنابراین: آتش! ۱۲
به پایان جهان خوش آمدید! ۱۳
جستجو ۱۵
بررسی سرنوشت کیهان از منظر ریاضیات ۱۶
یادداشتی کوتاه دربارهٔ واژگان این کتاب: ۲۱
هشدار نابودی ۲۴

۲. از مهبانگ تا امروز ۲۹
تماشای مهبانگ ۳۶
تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی ۳۸
سرآغاز ۴۷
سفرمان را شروع کنیم؟ ۴۷
دورهٔ گوت ۵۱
تورم کیهانی ۵۴

دوران کوارک ۵۸
سنتز هسته‌ای مهبانگ ۶۱
سطح آخرین پراکندگی ۶۲
طلوع کیهانی ۶۴
دورهٔ کهکشان‌ها ۶۵

۳. انبساط بزرگ ۷۱
چه چیزی رخ خواهد داد؟ ۸۱
یک اثر ناپیدا ۸۹

۴. مرگ حرارتی ۹۷
نقشه‌برداری از آسمان خشن ۹۸
شکل کیهان ۱۰۱
فضای نه‌چندان خالی ۱۰۳
تردمیلِ بی‌پایان کیهانی ۱۰۹
اما اوضاع از این هم پیچیده‌تر می‌شود. ۱۱۳
زوال تدریجی در تاریکی ۱۱۵
آنتروپی بیشینه ۱۲۴

۵. گسست بزرگ ۱۳۷
ناثابت کیهان‌شناختی ۱۳۹
آن سوی لبهٔ نقشه ۱۴۳
گسست بزرگ ۱۴۵
نردبانی به آسمان ۱۴۹
روشنی گرماهسته‌ای ستاره ۱۵۴
انباشتگی کوانتومی ۱۵۶
پاپ‌کورن کیهانی ۱۵۹

سرگشتگی روزافزون ۱۶۰

۶. واپاشی خلأ ۱۶۷
وضعیت عالم ۱۷۲
تقارن ترسناک ۱۷۵
کیهان در یک سراشیبی لغزنده ۱۸۱
یک حباب کوانتومی کُشنده ۱۸۴
دست در لانهٔ زنبور بردن ۱۸۶
تونل‌زنی به اعماق ۱۸۸
کوچک اما کشنده ۱۹۱
لذت ندانستن ۱۹۵

۷. برخورد ۱۹۹
ضعف تحمل‌ناپذیر گرانش ۲۰۰
ایجاد فضا ۲۰۵
دست‌زدن کیهانی ۲۰۹
چرخش و باز هم چرخش ۲۱۲

۸. آیندهٔ آینده ۲۲۳
لمس تهیگاه ۲۳۲
چشم‌انداز قلمروهای جدید ۲۳۸
ماشین‌های اکتشاف ۲۴۱
درون تاریکی محض ۲۴۸
دیدگاه قدیمی ۲۵۲

۹. سخن آخر ۲۵۷

۱

معرفی کیهان

برخی می‌گویند جهان در آتش به پایان خواهد رسید،
برخی می‌گویند در یخ.
بنا بر آنچه من از هوس‌ها و آرزوها چشیده‌ام
طرفدار آن‌هایی هستم که آتش را برمی‌گزینند
اما اگر قرار بود جهان دو بار نابود شود
فکر می‌کنم به آن اندازه نفرت را می‌شناسم
که بدانم برای نابودی
یخ نیز می‌تواند کارآمد باشد

رابرت فراست[۱]، ۱۹۲۰

در طول تاریخ، موضوع پایان جهان، مسئله‌ای جذاب و بحث‌برانگیز در میان شاعران و فلاسفه بوده است. البته امروزه به لطف پیشرفت علم، ما جواب آن را یافته‌ایم: جواب صحیح، قطعاً آتش است. در حدود پنج میلیارد سال

---

۱. شاعر و نمایشنامه‌نویس امریکایی (۱۹۶۳ـ۱۸۷۴) و برندهٔ جایزهٔ پولیترز که در اشعارش به مضامین فلسفی هستی و وجود انسان، اشاره‌های بسیاری داشته است.ـ م.

بعد خورشید در سیر تحول خود وارد فاز غول سرخ خواهد شد و دچار افزایش حجم می‌شود، به‌طوری که مدار سیارهٔ عطارد و شاید سیارهٔ زهره را خواهد بلعید. در این شرایط زمین تبدیل به کُره‌ای بدون حیات و پوشیده از سنگ‌های مذاب خواهد شد. هرچند احتمال دارد بعد از مدتی، همین باقیمانده از سیاره هم در برخورد با لایه‌های بیرونی اتمسفر خورشیدِ رو به مرگ، به اتم‌های سازنده‌اش تجزیه شود.

بنابراین: آتش!

دربارهٔ نخستین نابودی جهان، حق با فراست بود.

اما او به اندازهٔ کافی بزرگ نمی‌اندیشید. من کیهان‌شناسی هستم که عالم را به‌عنوان یک کلیت، در بزرگ‌ترین مقیاس شناخته‌شده بررسی می‌کنم. از این دیدگاه جهان[1] غباری ناچیز و کوچک است که در عالمی پهناور و رنگارنگ رها شده است. آنچه به‌طور حرفه‌ای و البته شخصی، برایم اهمیت دارد، یافتن پاسخ برای سؤال بزرگ‌تری است: کل عالم چطور به پایان می‌رسد؟

امروزه می‌دانیم که عالمْ آغازی داشته است. در حدود سیزده میلیارد و هشتصد میلیون سال پیش، عالم از حالتی با چگالی بی‌نهایت و متراکم در حجمی بی‌نهایت کوچک که گوی آتشین کیهانی نامیده می‌شود، به یک سیال سردشوندهٔ پرجنب‌وجوش ماده و انرژی تبدیل شد. هسته‌های ستارگان و کهکشان‌های کنونی عالم در آن زمان ایجاد شدند. سپس سیارات شکل گرفتند، کهکشان‌ها با یکدیگر برخورد کردند و تابشْ عالم را فراگرفت. سیاره‌ای سنگی که حول ستاره‌ای معمولی در نزدیکی لبهٔ کهکشانی مارپیچی قرار گرفته بود، میزبان حیات، کامپیوترها، علوم سیاسی

---

۱. منظور نویسنده، کرهٔ زمین و محدودهٔ اطراف آن است که تحت دخل‌وتصرف انسان قرار دارد.ـ م.

و پستانداران دوپایی شد که کتاب‌های فیزیک را برای سرگرمی می‌خوانند.

خب، بعدش؟ در پایان قصه چه اتفاقی رخ خواهد داد؟ شاید مرگ یک سیاره یا یک ستاره به‌طور قطع منجر به انقراض ما نشود. ممکن است در چند میلیارد سال آینده، نژاد بشر به شکل‌هایی که اکنون نامتعارف به‌نظر می‌رسند به حیات خود ادامه دهد. مثلاً بتواند به اعماق فضا سفر کند، یک جرم سماوی مناسبِ سکونت برای خود بیابد و تمدنی جدید را در آن ایجاد نماید. اما پایان عالم به معنای پایان واقعی قصه است. فکر کردن دربارهٔ پایان این قصه چه اثری بر ما و بر همه‌چیز خواهد گذاشت؟

به پایان جهان خوش آمدید!

من علیرغم وجود مقالاتی کلاسیک ـ و بسیار سرگرم‌کننده ـ در ادبیات علمی، نخستین بار در مطالعاتی که در حوزهٔ ادیان داشتم، با واژهٔ «رستاخیزشناسی[1]» آشنا شدم.

رستاخیزشناسی ـ یا به‌طور دقیق‌تر، پایان جهان ـ ادیان و مذاهب مختلف را قادر می‌ساخت تا مباحث مربوط به آخرت را تدوین کنند و از این طریق، مبانی فکری خود را با نیرویی مقاومت‌ناپذیر به پیروان خود ارائه نمایند. با وجود همهٔ تفاوت‌هایی که میان ادیان مسیحیت، یهودیت و اسلام وجود دارد، هر سه دین در یک نقطه با هم اشتراک دارند: روزی خواهد آمد که این دنیا به پایان می‌رسد. در جهان آخرت، انسان‌های محبوب خداوند پاداش می‌گیرند و شیطان و پیروانش مجازات خواهند شد(۱). یک کتاب مقدس می‌تواند به‌واسطهٔ محتوای فصل‌هایش، رهایی‌بخش باشد یا نباشد. به‌نظر می‌رسد بسیاری از ادیان برای تکمیل فلسفهٔ وجودی خود، نیاز به عالمی دارند که عادلانه به پایان برسد، و همین نکته نشان‌دهندهٔ این است

1. Eschatology

که عالم از ابتدا هم معنادار خلق شده است.

البته همهٔ رستاخیزشناسی‌ها هم رهایی‌بخش نیستند. در بسیاری از ادیان اصلاً پایانی برای جهان پیش‌بینی نشده است. مثلاً برخلاف اقوام مایا که تقویم آن‌ها دسامبر سال ۲۰۱۲ را پایان جهان معرفی کرده بود، هندوها هیچ پایانی را برای دنیا متصور نیستند. در نظر آن‌ها، دنیا چرخه‌ای است که نقطهٔ پایانی ندارد. در دیدگاه فرقه‌های این‌چنینی، چرخهٔ دنیا لزوماً به معنای تکرار مکررات نیست، بلکه مخلوق هر بار می‌تواند کیفیت زندگی دنیوی خود را ارتقا دهد: همهٔ رنج‌هایی که در زندگی خود متحمل شده‌اید، دشوار هستند، اما نگران نباشید! یک‌بار دیگر فرصت زندگی خواهید داشت. زندگی جدیدتان خالی از ترس و همراه با حل شدن مشکلات کنونی شما خواهد بود. از طرف دیگر، سکولارها هم تعریفی برای پایان دنیا دارند. آن‌ها دیدگاه فلسفی پوچ‌گرایی را پذیرفته‌اند که در مقابلِ دیدگاه چرخهٔ جاودانهٔ حیات و تکرار رویدادها، می‌گوید درنهایت، هیچ‌چیز اهمیت نخواهد داشت[۲] (سرانجام پوچی دنیا را فرامی‌گیرد). جالب اینجاست که هر دو دیدگاه که به‌ظاهر در تضاد با هم قرار دارند، مورد نقد فریدریش نیچه[۱] قرار گرفته‌اند. نیچه که علناً اعلام کرد خدایان همگی مُرده‌اند و دیگر خدایی نمانده که بتواند سروسامان و معنایی به این دنیا بدهد، با مضامینی که زندگی در عالم را فاقد هرگونه راهی برای رستگاری می‌دانست هم مخالفت کرد.

صدالبته نیچه اولین کسی نبود که دربارهٔ معنای وجودی عالم و بشر اندیشید. بسیاری اندیشمندان از ارسطو گرفته تا لائوتسو و سیمون دوبووار و کاپیتان کرک و بافی قاتل خون‌آشام‌ها [اشاره به قهرمان‌های سریال‌های امریکایی]، همگی این را پرسیده‌اند: «که چی؟» در این کتاب خواهید دید که بشر هنوز به توافقی دراین‌باره نرسیده است.

---

۱. فریدریش ویلهلم نیچه (۱۹۰۰ـ۱۸۴۴) فیلسوف و جامعه‌شناس آلمانی. ـ م.

خواه ما به دین یا فلسفهٔ خاصی معتقد باشیم و خواه نباشیم، نمی‌توانیم انکار کنیم که دانستن سرنوشت عالم بر نحوهٔ تفکر ما دربارهٔ موجودیت و حیات‌مان اثر می‌گذارد. اگر برایمان مهم باشد که درنهایت در این عالم چه می‌کنیم، اولین سؤالی که به ذهنمان خطور می‌کند این است که: در پایان با چه چیزی مواجه خواهیم شد؟ اگر پاسخ این سؤال را پیدا کنیم، بلافاصله سؤال بعدی مطرح می‌شود: این پایان، چه اثری بر زندگی ما دارد؟ اگر قرار است روزی عالم نابود شود، آیا ما هنوز هم مجبوریم هر شب زباله‌ها را دم در بگذاریم؟

جستجو

هزاران سال از نخستین باری که انسان دربارهٔ مرگ اندیشید می‌گذرد. در این مدت ملاحظات فلسفیِ این پرسش ثابت باقی مانده‌اند، اما ابزارهایی که در یافتن پاسخ به ما کمک می‌کنند دچار تغییر شده‌اند. امروزه پرسش دربارهٔ آینده و سرنوشت نهایی کیهان، پرسشی کاملاً علمی است و بشر به‌طور وسوسه‌انگیزی در آستانهٔ دستیابی به جواب آن است. البته همیشه این‌طور نبوده است. در زمان رابرت فراست، مباحثی در نجوم مطرح بود مبنی بر اینکه عالم دارای یک حالت پایا است و تا ابد بدون تغییر باقی خواهد ماند. این مفهوم، بسیار خوشایند بود که کیهان ما، خانه‌ای ابدی و امن است و می‌توان با خیال آسوده در آن زیست. کشف مهبانگ و انبساط عالم، خط بطلانی بر این ایده کشید. عالم همواره در حال تغییر است و ما به‌تازگی شروع به رصد و نظریه‌پردازی دربارهٔ چگونگی این تحول کرده‌ایم. پیشرفت‌های بشر در سال‌ها و حتی ماه‌های اخیر، ما را قادر ساخته تا تصویری دربارهٔ آیندهٔ دور عالم ترسیم کنیم.

من می‌خواهم این تصویر را با شما به اشتراک بگذارم. دقیق‌ترین رصدها و اندازه‌گیری‌های ما با تعداد انگشت‌شماری از سناریوهای آخرالزمانی سازگار

هستند. حتی ممکن است به‌زودی از همین تعداد اندک هم کاسته شود. در آینده‌ای نزدیک، تعدادی از این سناریوها با قطعیت تأیید یا رد خواهند شد. بررسی این احتمالات، هم کارکرد علم را در مرزهای عالم نشان می‌دهد و هم به ما اجازه می‌دهد بشر را در بستری جدید تعریف کنیم. به عقیدهٔ من، دانستن این حقایق، حتی در صورت نابودی کامل، هم نوعی لذت را با خود به همراه دارد. زیرا در این صورت، ما مخلوقی هستیم که از سرنوشت خود آگاهیم و توانسته‌ایم آیندهٔ بسیار فراتر از حیات محدود خودمان را پیش‌بینی کنیم، ما پا در ورطه‌هایی ناشناخته گذاشته‌ایم و اساسی‌ترین اسرار کیهان را رمزگشایی کرده‌ایم.

براساس نقل‌قولی از تولستوی[۱]، همهٔ دنیاهای شاد، یکجور هستند، اما هر دنیای غمگینی، به شکل منحصربه‌فردی غمگین است. در این کتاب توضیح خواهم داد که چطور هر تغییر جزئی در دانش کنونی ناقص ما منجر به شکل‌گیری تفاوت‌هایی عظیم در ترسیم آیندهٔ کیهان خواهد شد؛ از عالمی که در خودش رُمبش می‌کند تا عالمی که خود را می‌شکافد، تا عالمی که به انبساطی ابدی تن می‌دهد. همزمان که ما تحولات دانش مدرن خود را دربارهٔ عالم و سرنوشت غایی آن مرور می‌کنیم و به این می‌اندیشیم که اثر آن بر زندگی ما چگونه است، با بعضی از مهم‌ترین مفاهیم فیزیکی مواجه خواهیم شد و درمی‌یابیم که این مسئله نه‌تنها با آخرالزمان کیهانی مرتبط است، بلکه با فیزیک زندگی روزمرهٔ ما نیز سروکار دارد.

بررسی سرنوشت کیهان از منظر ریاضیات

برای بعضی از ما هم‌اکنون نیز آخرالزمان کیهانی، نوعی دغدغهٔ روزانه محسوب می‌شود.

---

۱. لئو تولستوی (۱۹۱۰ـ۱۸۲۸) نویسندهٔ روسی و خالق رمان جنگ و صلح. ـ م.

به‌خوبی لحظه‌ای را به یاد دارم که فهمیدم عالم می‌تواند در هر لحظه به پایان برسد. من به همراه دانشجویان دورهٔ کارشناسی نجوم در اتاق نشیمن خانهٔ پروفسور فینی[۱] نشسته بودیم. آن شب، برای برگزاری شب رصدی هفتگی به آنجا رفته بودیم و پروفسور درحالی‌که دختر سه ساله‌اش را روی پاهای خود نشانده بود، توضیح می‌داد که انبساط کِشندهٔ فضایی ناگهانی در عالم اولیه، که تورم نامیده می‌شود، آن‌قدر اسرارآمیز است که ما حتی نمی‌دانیم چرا رخ داد و چرا به پایان رسید و هیچ دلیلی هم نداریم که ادعا کنیم این پدیده دیگر هرگز رخ نخواهد داد. هیچ تضمینی وجود نداشت که همان شب، درحالی‌که ما، عده‌ای استاد و دانشجوی بی‌گناه مشغول صرف شیرینی و چای بودیم، تورمی سریع و نابودکننده رخ ندهد.

در آن لحظات کاملاً غافلگیر شده بودم و احساس می‌کردم که حتی به جامد بودن زمین زیر پایم هم شک دارم. به‌خوبی تصویر دختر خردسال استاد فینی که در آن لحظه به‌خاطر شنیدن حرف‌های ما، حالتی ناآرام و نگران پیدا کرده بود، در ذهنم ثبت شده است. چند لحظه بعد، استاد لبخند معناداری زد و به صحبت دربارهٔ موضوع دیگری پرداخت.

اکنون که خودم دانشمندی باسابقه شده‌ام، معنای آن لبخند را درک می‌کنم. من از اندیشیدن و اظهارنظر کردن دربارهٔ فرآیندهایی که بسیار قدرتمند و غیرقابل کنترل و درعین‌حال از نظر ریاضی به‌طور دقیقی قابل توضیح هستند، بسیار متحیر می‌شوم. آینده‌های ممکن‌الوقوع برای کیهان ما تعیین‌شده، محاسبه‌شده و بر پایهٔ بهترین داده‌های موجود درست‌نمایی[۲] شده‌اند. ما نمی‌دانیم آیا هم‌اکنون یک تورم کیهانی نابودکننده رخ می‌دهد یا

---

۱. Professor Phinney، استاد و پژوهشگر اخترفیزیک نظری دانشگاه کلتک

۲. توابع درست‌نمایی یا لایکلیهود، توابعی در حوزهٔ محاسبات عددی هستند که بهترین شبیه‌سازی فرضیه‌ها را نسبت به داده‌های در دسترس، ایجاد می‌کنند.ـ م.

نه، اما اگر چنین چیزی اتفاق بیفتد، معادلات ریاضی مربوط به تحلیل آنْ را در اختیار داریم. از یک منظر می‌توان گفت این پدیده‌ای بسیار اثرگذار است: ما انسان‌های خُرد که نمی‌توانیم کوچک‌ترین تأثیری بر پایان کیهان داشته باشیم، دست‌کم قادریم آن را بررسی و درک کنیم.

بسیاری از فیزیک‌دان‌ها دربارهٔ عظمت کیهان و نیروهای به‌غایت قدرتمند آن که تصورشان به‌سختی در ذهن می‌گنجد، علاقه‌ای نشان نمی‌دهند. آن‌ها همه‌چیز را به ریاضیات تقلیل می‌دهند، با معادلات کمی بازی می‌کنند و سپس بقیهٔ روز خود را با بی‌خیالی سپری می‌نمایند. اما بهت و سرگشتگی ناشی از فهم اینکه این عالم چقدر پهناور و درعین‌حال باظرافت طراحی شده و از طرفی انسان چقدر در چنین عالمی ناچیز است، اثر خاص خود را بر من گذاشته است. ما انسان‌ها این شانس را داریم که پا در قلمرو درک کیهان بگذاریم، قلمروی که توأمان حیرت‌انگیز و امیدوارکننده است. گویی نوزادی را در آغوش گرفته‌ایم و اعجاز ظریف حیات در او را می‌ستاییم، اما دربارهٔ زندگی‌اش در آینده‌ای بالقوه، نمی‌توانیم هیچ نظری بدهیم. گفته می‌شود فضانوردانی که پس از پرواز در محدودهٔ خارج از اتمسفر زمین، به سطح زمین بازگشته‌اند، چشم‌اندازی تازه به ارمغان آورده‌اند. این پدیده که «اثر نمای کلی[1]» نام دارد، به ما می‌گوید که انسان با دیدن کرهٔ زمین از نمای بالا، کاملاً درک می‌کند که تا چه حد کوچک است و شاید به عنوان تنها گونهٔ هوشمند در کل کیهان تا چه حد باید متحد و یکپارچه باشد.

برای خود من حتی اندیشیدن دربارهٔ نابودی دنیا هم مانند تجربه‌کردن آن است. اینکه ما قادریم دربارهٔ دورترین اتفاقات کیهان در زمان‌های گذشته و آینده فکر کنیم و ابزارهایی داریم که صحت‌وسقم افکارمان را می‌سنجند، متضمن نوعی مباهات عقلی است. هرگاه ما از خود می‌پرسیم: «آیا عالم

1. Overview Effect

تا ابد وجود خواهد داشت؟» درواقع یعنی به موجودیت خودمان اعتبار می‌بخشیم، آن را به آینده تعمیم می‌دهیم و با صرف هزینه‌هایی، میرایی یا جاودانگی خود را بررسی می‌کنیم. حتی اعتراف به وجود یک پایان نهایی هم به ما ساختار، مفهوم و حتی امید می‌دهد و به‌طرزی متناقض ما را به این نتیجه می‌رساند که به امور زندگی روزانهٔ خودمان بازگردیم و هر لحظه را به‌طرزی عالی زندگی کنیم. ممکن است این همان هدفی باشد که در جستجویش هستیم.

شاید امروزه جهان از نظر سیاسی در شرایط بحرانی و نزدیک به نوعی فروپاشی باشد، اما از منظر علمی، ما دورانی طلایی را سپری می‌کنیم و در حال نزدیک شدن به پاسخ سؤالات اساسی خود دربارهٔ کیهان هستیم. ما در حوزهٔ فیزیک، با کشفیات اخیر و ابزار تکنولوژیکی و نظری جدید، جهش‌هایی داشته‌ایم که تا پیش از این غیرممکن به نظر می‌رسیدند. ما در دهه‌های اخیر دانش خود را دربارهٔ نحوهٔ آغاز عالم ارتقا داده‌ایم، اما در مورد پایان عالم، فعلاً در نوعی رنسانس به‌سر می‌بریم. داده‌هایی که از تلسکوپ‌های قدرتمند و برخورددهنده‌های ذرات به دست می‌آیند، احتمالاتی جدید و هیجان‌انگیز (اگرچه دلهره‌آور) دربارهٔ پایان کیهان ارائه می‌دهند و دیدگاه ما را نسبت به آنچه ممکن است رخ دهد، دستخوش تغییر می‌کنند. بشر در این رشته پیشرفت‌های چشمگیری داشته است و اکنون ما این شانس را داریم که در مرز عالم بایستیم و به اعماق تاریک آن خیره شویم، البته می‌دانید که منظور من از خیره شدن به لحاظ کمّی و ریاضیاتی است.

آنچه در فیزیک مرسوم است، بیانگر این نکته است که هدف از مطالعهٔ کیهان فقط یافتن نوعی معنا در آن نیست، بلکه کشف حقایقی بنیادین است. ما با سنجش دقیق شکل کیهان، توزیع ماده و انرژی در آن و نیروهایی که بر تحول آن حکمرانی می‌کنند، نکات جالب توجهی دربارهٔ ساختار عمیق‌تر واقعیت یافته‌ایم. شاید مایل باشیم فیزیک را به‌وسیلهٔ انجام آزمایشاتی در

لابراتوارها پیش ببریم، اما بخش اعظم دانسته‌های ما دربارهٔ قوانین بنیادین حاکم بر عالم از آزمایش‌ها به دست نیامده‌اند، بلکه از درک ارتباط میان آن‌ها و رصد آسمان حاصل شده‌اند. برای مثال، فیزیکدان‌ها برای تعیین ساختار یک اتم می‌بایست نتایج آزمایشات رادیواکتیویته را با الگوهای خطوط طیفی خورشید مقایسه می‌کردند. قانون جهانی گرانش که توسط نیوتن تدوین شده است، همان‌طور که سقوط یک آجر از بالای ساختمان را توضیح می‌دهد، نحوهٔ گردش ماه در مدار خود به دور زمین و حرکت سیارات روی مدارهایشان را هم تفسیر می‌کند. تئوری نسبیت عام اینشتین نیز برداشتی ویژه از قانون گرانش عمومی است که کاربردی روی سطح زمین ندارد، بلکه وجود انحراف‌های مداری زهره و موقعیت ظاهری ستارگان را در حین خورشیدگرفتگی‌های کلی توجیه می‌کند.

امروزه دریافته‌ایم که مدل‌های فیزیک ذرات که آن‌ها را در دهه‌های اخیر با آزمایشات بسیار حساس و دشوار در مجهزترین آزمایشگاه‌های روی زمین طراحی کرده‌ایم، کامل نیستند؛ و قطعات گمشدهٔ پازل این مدل‌ها را در آسمان می‌یابیم. بررسی نحوهٔ حرکت و توزیع سایر کهکشان‌ها ـ توده‌های کیهانی که مانند کهکشان میزبان ما، یعنی منظومهٔ شمسی، دارای میلیاردها میلیارد ستاره هستند ـ ایرادات اساسیِ وارد بر نظریه‌های فیزیک ذرات را به ما نشان می‌دهند. ما هنوز به پاسخ‌هایی قطعی در این زمینه نرسیده‌ایم، اما اکنون می‌دانیم که کاوش‌های کیهانی نقش اساسی در پیشبرد فیزیک ذرات ایفا می‌کند. امروزه ادغام کیهان‌شناسی و فیزیک ذرات ما را قادر ساخته شکل اولیهٔ فضا ـ زمان را بسنجیم و فهرستی از مؤلفه‌های واقعیت را کشف کنیم. همچنین موفق شده‌ایم به گذشته‌ای دورتر از وجود ستارگان و کهکشان‌ها خیره شویم و به دنبال خاستگاه خود نه به عنوان موجودی زنده بلکه به عنوان خودِ ماده بگردیم.

صدالبته این دو حوزه با یکدیگر همپوشانی دارند. هرچقدر کیهان‌شناسی

مدرن پیشرفت کند، دانسته‌های ما از فیزیک ذرات بنیادین هم بیشتر می‌شود و به هر میزان که آزمایشات جدید، حقایق تازه‌ای را از ذرات بسیار ریز فاش کنند، دید کنونی ما از عالم بزرگ‌مقیاس نیز ارتقا خواهد یافت. ترکیب رهیافت‌های بالا ـ پایین و زیر ـ رو در ذات فیزیک نهفته است. شاید فرهنگ عامه به شما دیکته کرده باشد که علم فقط محدود به لحظات طلایی کشف پدیده‌ها و سر دادن فریاد اورکا اورکا[1] و سپس دگرگونی‌های معنایی ناشی از آن باشد، اما بخش عمدهٔ درک کنونی ما از عالم، ناشی از تحت شرایط خاص قرار دادن نظریه‌های کنونی و مشاهدهٔ نحوهٔ شکست آن‌ها در این شرایط است. روزی که نیوتن توپ خود را از تپه‌ای به سمت پایین پرت می‌کرد یا سیاره‌ها را می‌دید که آسمان را می‌پیمایند، فکرش را هم نمی‌کرد که روزی برای تعیین خمیدگی فضا ـ زمان در اطراف خورشید یا نیروهای گرانشی غیرقابل‌تصوری که درون سیاهچاله‌ها هستند، نیاز به تدوین یک قانون گرانش جدید باشد. او هرگز تصورش را هم نمی‌کرد که روزی بخواهیم اثر گرانشی یک نوترون[۳] را بررسی کنیم. خوشبختانه عالم آن‌قدر بزرگ است که ما محیط‌های مختلف زیادی را برای رصد در اختیار داریم. از آن بهتر اینکه ما می‌توانیم عالم اولیه را هم مشاهده کنیم؛ زمانی که کل کیهان یک محیط برانگیخته بود.

***

یادداشتی کوتاه دربارهٔ واژگان این کتاب:

کیهان‌شناسی به عنوان واژه‌ای عمومی در علم، به مطالعهٔ عالم به‌عنوان یک کلیت، از ابتدا تا پایان اطلاق می‌شود که شامل اجزای آن، تحول آن در بستر

---

۱. «یافتم! یافتم!» جملهٔ مشهوری که به ارشمیدس منسوب است.ـ م.

زمان و قوانین بنیادین فیزیک حاکم بر آن هم می‌شود. در اخترفیزیک، کیهان‌شناس کسی است که اجرام سماوی دوردست را بررسی می‌کند، زیرا (۱) این به معنای رصدِ بخش بزرگی از عالم است و (۲) در علم اخترشناسی، اجرام دوردست در زمان هم از ما دور هستند، زیرا نوری از اکنون از آن اجرام به چشم ما می‌رسند در گذشته‌های بسیار دور ساطع شده‌اند ـ گاهی حتی چند میلیارد سال. بعضی از اخترفیزیک‌دانان به‌طور تخصصی به مطالعهٔ تحول یا تاریخ اولیهٔ عالم می‌پردازند، درحالی‌که برخی دیگر تنها اجرام دوردست (کهکشان‌ها، خوشه‌های کهکشانی و...) و ویژگی‌های آن‌ها را بررسی می‌کنند. از دیدگاه فیزیک، کیهان‌شناسی می‌تواند جنبه‌ای کاملاً نظری داشته باشد. برای مثال، بعضی از کیهان‌شناسان در دپارتمان‌های فیزیک ـ که با دپارتمان نجوم تفاوت دارد ـ فرمول‌بندی‌های مختلف فیزیک ذرات را بررسی می‌کنند، زیرا ممکن است در درک اولین یک میلیارد میلیاردم ثانیه از عالم، کاربرد داشته باشد. بعضی دیگر هم حالات دستکاری شدهٔ نظریهٔ نسبیت اینشتین را مطالعه می‌کنند تا بتوانند آن را با اجرامی فرضی مانند سیاهچاله‌ها را که فقط قابلیت شکل‌گیری در ابعاد بالاتر فضا دارند، مرتبط نمایند. حتی بعضی از کیهان‌شناسان عوالمی کاملاً فرضی را مطالعه می‌کنند که با دنیای ما متفاوت هستند ـ عوالمی که در آن‌ها، کیهان در شکل، تعداد ابعاد و تاریخ شکل‌گیری کاملاً متفاوت است ـ تا بتوانند ساختارهای ریاضیاتی آنان تسلط یابند، زیرا شاید روزی ارتباطی میان این ریاضیات با عالم مرتبط با ما پیدا شود[۴].

نتیجهٔ همهٔ حرف‌های من، این است که کیهان‌شناسی برای افراد مختلف، معانی متفاوتی دارد. ممکن است یک کیهان‌شناس که تحول کهکشان‌ها را مطالعه می‌کند، هیچ نقطهٔ اشتراکی برای گفتگو با یک کیهان‌شناس که نظریهٔ میدان‌های کوانتومی را مطالعه می‌کند تا نحوهٔ نابودی یک سیاهچاله را دریابد، نداشته باشد.

من شیفتهٔ کیهان‌شناسی در اَشکال مختلف آن هستم. نخستین بار هنگامی با کیهان‌شناسی مواجه شدم که در ده سالگی، کتاب‌ها و سخنرانی‌های استیون هاوکینگ[۱] را خواندم. او دربارهٔ سیاهچاله‌ها، انحنای فضاـ زمان، مهبانگ و چیزهایی از این قبیل حرف می‌زد و من احساس می‌کردم مغزم از شگفتی این مفاهیم در حال ترکیدن است! دیگر نتوانستم جلوی خودم را بگیرم، وقتی فهمیدم هاوکینگ با عنوان شغلیِ کیهان‌شناس با چنین مفاهیمی سروکار دارد، دریافتم که من هم می‌خواهم کیهان‌شناس شوم. در طول سال‌های تحصیل دانشگاهی‌ام، مطالعه‌ای دربارهٔ سرفصل‌های اصلی کیهان‌شناسی داشتم و دائماً بین دپارتمان‌های فیزیک و نجوم در رفت‌وآمد بودم. من چیزهایی مانند سیاهچاله‌ها، کهکشان‌ها، گازهای بین‌کهکشانی، پیچیدگی‌های نظریهٔ مهبانگ، مادهٔ تاریک و احتمال نابودی عالم در یک چشم‌به‌هم‌زدن را مطالعه کردم[۵] و حتی مدت کوتاهی هم در فیزیک ذرات و آزمایشات ذرات بنیادین سرک کشیدم. در آن روزها در آزمایشگاه فیزیک هسته‌ای با لیزر بازی می‌کردم (برخلاف آنچه دوربین‌ها ثبت کرده‌اند، آتش‌سوزی آنجا تقصیر من نبود!) و در اطراف یک آشکارساز نوترینوی چهل متری که از آب پر شده و در اعماق زمین قرار گرفته بود، پرسه می‌زدم (انفجار آنجا هم تقصیر من نبود!).

این روزها تقریباً یک نظریه‌پردازِ صرف هستم و به‌نظرم این به نفع همه است. این یعنی من با رصد و اجرای آزمایش و تحلیل داده سروکاری ندارم، اگرچه دائماً در حال ارائهٔ پیش‌بینی‌هایی برای رصدها و آزمایش‌های آتی هستم. به‌طور دقیق در حوزه‌ای کار می‌کنم که فیزیک‌دان‌ها آن را پدیده‌شناسی[۲]ـ فضایی که میان ارائهٔ نظریه‌های جدید و تست آن‌ها وجود دارد ـ می‌نامند. می‌توان

---

۱. استیون ویلیام هاوکینگ (۲۰۱۸ـ۱۹۴۲) فیزیکدان و کیهان‌شناس برجستهٔ بریتانیایی. ـم.

2. Phenomenology

گفت من روش‌های جدید و خلاقانه‌ای را می‌یابم که میان مؤلفه‌های فرضیه‌های بنیادینی که فیزیک‌دانان نظری دربارهٔ ساختار عالم ارائه کرده‌اند و آنچه فیزیک‌دانان تجربی و منجمان رصدگر امیدوارند در داده‌هایشان ببینند، ارتباط برقرار می‌کنم. این یعنی باید دربارهٔ همه‌چیز اطلاعات داشته باشم[۶]، کاری که با وجود دشواری بسیار جالب و جذاب است.

هشدار نابودی

این کتاب برایم بهانه‌ای بود تا سؤالاتی را بررسی کنم. سؤالاتی از جمله: ما به کجا می‌رویم؟ و وجود جهان به چه معناست؟ چه چیزهایی را می‌توانیم از راهِ یافتن پاسخ این سؤالات، دربارهٔ عالمی که در آن زندگی می‌کنیم بیاموزیم؟

برای هیچ‌یک از این سؤالات، پاسخ یکتا و پذیرفته‌شده‌ای وجود ندارد. پرسش دربارهٔ سرنوشت وجودی آدم پاسخ‌های متعددی دارد و این یکی از حوزه‌های فعال پژوهش‌هاست؛ به‌گونه‌ای که با اِعمال تغییرات بسیار کوچک در تفسیری که از داده‌هایمان داریم، به پاسخ‌هایی کاملاً متفاوت و متنوع دست پیدا می‌کنیم.

در این کتاب پنج احتمال را بررسی می‌کنیم. این پنج مورد توسط کیهان‌شناسان حرفه‌ای به بحث گذاشته شده‌اند و ما بهترین شواهدی را که در تأیید یا رد آن‌ها مطرح شده است، بررسی خواهیم کرد.

هرکدام از سناریوهای ارائه شده در این کتاب، آخرالزمان متفاوتی را رقم می‌زند که فرآیندهای فیزیکی متفاوتی بر آن‌ها حاکم است. اما همهٔ آن‌ها در یک چیز با هم توافق دارند: پایانی وجود دارد. من در همهٔ مطالعاتم در میان کتب کیهان‌شناسی فعلی، موردی جدی مبنی بر اینکه عالم می‌تواند تا ابد پایدار، بدون تغییر و همیشگی بماند، پیدا نکرده‌ام. دست‌کم می‌توان گفت گذارهایی به حالت‌های متفاوتی از عالم وجود دارد که همه‌چیز را از بین خواهد برد و همهٔ بخش‌های کیهانِ قابل مشاهده را برای هر نوع

ساختاری، غیر قابل سکونت خواهد کرد. من برای رسیدن به هدف خود، در این کتاب، آن را یک پایان می‌خوانم (ضمن عذرخواهی از هر موجود زنده‌ای که به‌طور موقت از طریق افت‌وخیزهای تصادفی کوانتومی[۷] به‌وجود آمده و اکنون در حال خواندن این مطالب است). بعضی از این سناریوها امکان آن را به ما می‌دهند که عالمی جدید ساخته شود یا عالمْ خود را تکرار و بازسازی کند. اما اینکه هر بخش از عالم قبلی بتواند دوام داشته باشد و در عالم جدید هم تکرار شود موضوع مناقشات بسیاری است و ما هنوز نمی‌دانیم آیا چیزی می‌تواند از یک آخرالزمان کیهانی جان سالم به‌در ببرد یا خیر.

به نظر می‌رسد آنچه بیشترین احتمال را دارد این است که پایان جزیرهٔ وجودی ما، به‌عنوان عالم قابل مشاهده درحقیقت پایان کل داستان است و من اینجا هستم تا به شما بگویم که این پایان چگونه اتفاق می‌افتد.

برای اینکه بهتر بتوانید پایان داستان را متوجه شوید، ابتدا تاریخچه‌ای کوتاه از شروع عالم برایتان شرح می‌دهم، سپس به سراغ نابودی جهان خواهیم رفت. در هر کدام از پنج فصل کتاب ما یک احتمال متفاوت را برای پایان جهان شرح می‌دهیم. که چگونه ممکن است رخ دهد؟ چه فرآیندی خواهد داشت؟ و چگونه دانش کنونی فیزیک از واقعیت ما را به این نوع از آخرالزمان رسانده است؟ کتاب را با انقباض بزرگ شروع می‌کنیم؛ نوعی رُمبش خاص از عالم که در صورتی اتفاق می‌افتد که انبساط کیهانی، روند معکوس پیدا کند. در فصل دوم به سراغ آخرالزمان هدایت‌شونده توسط انرژی تاریک می‌رویم که در آن عالم برای همیشه منبسط خواهد شد و به‌آرامی خالی و تاریک می‌شود و درنهایت، عالم خود را تکه‌تکه می‌کند. فصل بعدی دربارهٔ واپاشی خلأ است. تولید خودبه‌خودی یک حباب کوانتومی مرگ[۸] که کیهان را می‌بلعد. درنهایت جسارت زیادی به خرج می‌دهیم و وارد حوزهٔ نظری کیهان‌شناسی چرخه‌ای می‌رویم. در این حوزه تئوری‌هایی مطرح هستند

که ابعاد بالاتری از فضا را مفروض می‌دانند که کیهان ما در آن‌ها به واسطهٔ برخورد با جهانی موازی نابود خواهد شد و سپس دوباره متولد خواهد شد و این فرآیند بارها ادامه پیدا می‌کند. در فصل پایانی جمع‌بندی از تمام موارد ذکرشده خواهیم داشت و نظر متخصصان کنونی کیهان‌شناسی را دربارهٔ محتمل‌ترین سناریو می‌شنویم. و درمی‌یابیم که تلسکوپ‌ها و آزمایش‌های جدید، چگونه به این سؤال پاسخ خواهد داد.

اینکه نحوهٔ پایان جهان چه معنایی برای ما به‌عنوان موجودات زنده‌ای که در سیارهٔ کوچک خودمان در میان این کیهان گسترده و بی‌کران زندگی می‌کنیم دارد، سؤال جداگانه‌ای است. ما طیفی از دیدگاه‌ها را در پایان کتاب شرح می‌دهیم و بررسی می‌کنیم که آیا خود هوشمندی و ادراک می‌تواند نوعی میراث جاودانه داشته باشد که فراتر از نابودی جهان باقی بماند؟[۹]

هنوز نمی‌دانیم که این عالم در آتش، در یخ یا در شالوده‌ای عجیب از هردو این‌ها نابود خواهد شد. آنچه قطعاً می‌دانیم این است که عالم بسیار بی‌کران، زیبا و حقیقتاً اعجاب‌آور است و ارزش آن را دارد که زمان خود را صرف کاوش آن کنیم. ما اکنون در حال انجام همین کار هستیم.

پی‌نوشت‌ها

۱. هنوز کاملاً معلوم نشده است این جوایز دقیقاً به چه میزان و به چه کسی اهدا می‌شوند.
۲. در سریال «بتل استار گلکتیکا» (Battlestar Galactica) از این دیدگاه حمایت شد، هرچند جزئیات فلسفی آن پرداخته نشد.
۳. این کار را به واسطهٔ پرتاب کردن نوترون انجام می‌دهیم. ابتدا نوترون‌ها را تا دمای تقریباً صفر مطلق سرد می‌کنیم، سپس سرعت آن‌ها را تا سرعت پرتاب موردنظر پایین می‌آوریم و آن‌ها را مانند توپ پینگ‌پونگ روی دو پدال، به بالا و پایین هدایت می‌کنیم. این کار اطلاعاتی دربارهٔ مادهٔ تاریک هم به ما می‌دهد. مادهٔ تاریک، موجودی اسرارآمیز است که باعث می‌شود کل کیهان ما انبساط سریع‌تری داشته باشد. فیزیک، علمی بسیار جذاب و افسارگسیخته است!
۴. نظریه‌پردازان ریسمان، تئوری‌های این‌چنینی زیادی خلق کرده‌اند (نظریهٔ ریسمان عبارتی کلی است که به تمام تلاش‌هایی اطلاق می‌شود که سعی می‌کنند گرانش و فیزیک ذرات را به طریقی جدید با یکدیگر ادغام کنند. اما اغلب کارهای انجام شده برای پیشبرد این هدف، نظری و ریاضیاتی هستند و در جهان واقعیت الگوی بیرونی ندارند). گاهی اوقات من در هنگام سخنرانی دربارهٔ نظریهٔ ریسمان ناچار می‌شوم بر این نکته اصرار و آن را روشن کنم که هیچ‌یک از محاسبات اِعمال شده دربارهٔ عالم ما هنوز در واقعیت مشاهده نشده‌اند تا حضار را از بهت و سردرگمی خارج کنم. خود من نیز اولین باری که به یک سخنرانی نظریهٔ ریسمان گوش می‌کردم بسیار مبهوت شده بودم.

۵. البته این یکی از جالب‌ترین چیزهایی است که درباره‌اش تحقیق کردم و در این کتاب آورده شده است. نمی‌دانم چرا این‌قدر به آخرالزمان علاقه دارم؛ شاید نشانهٔ بدی باشد!

۶. و ما در اینجا دربارهٔ عالم حرف می‌زنیم. بنابراین منظور من دقیقاً همه‌چیز است.

۷. در فصل چهار به این موضوع بیشتر می‌پردازیم که چگونه اجتماع مغزهای بولتزمان می‌تواند کافی باشد.

۸. این پدیده به‌طور تکنیکی یک «حباب خلأ حقیقی» نامیده می‌شود و البته منصفانه بگویم؛ این عبارت بسیار گیج‌کننده است!

۹. نابودی دیگر: آن‌قدرها هم بزرگ به نظر نمی‌رسد.

۲

از مهبانگ تا امروز

هر شروعی متضمن و نیازمند یک پایان است.
کتاب عدل الحاقی، **ان لکی**[۱]

من شیفتهٔ داستان‌هایی دربارهٔ سفر در زمان هستم. بحث دربارهٔ فیزیکِ ماشین‌های زمان و پارادوکس‌های متعددی که پیش می‌آورد، کار آسانی است. اما نکتهٔ بسیار جذابی دربارهٔ زمان وجود دارد. آن نکته این است که ما درواقع راهی را یافته‌ایم که می‌توانیم از طریق آن به گذشته و آینده نگاه کنیم و از دریچهٔ گذشته و آیندهٔ دانش امروزی‌مان را بنگریم. از ایستگاهِ حال سوار قطار شویم و با سرعت زیاد به‌سوی موقعیتی نامعلوم حرکت کنیم. زمانِ خطی، به‌نظر محدودکننده و حتی بی‌فایده می‌آید. چرا باید در همهٔ زمان‌ها، همهٔ احتمالات برای همیشه به پایانِ خود برسند؟ فقط به این

۱. ان لکی، نویسندهٔ ژانر علمی ـ تخیلی و اهل ایالات متحد امریکاست. کتاب عدل الحاقی نخستین رمان او بود که در سال ۲۰۱۳ منتشر شد. این کتاب توسط مهیار فروتن‌فر به فارسی ترجمه شده و نشر کتابسرای تندیس آن را منتشر کرده است.ـ م.

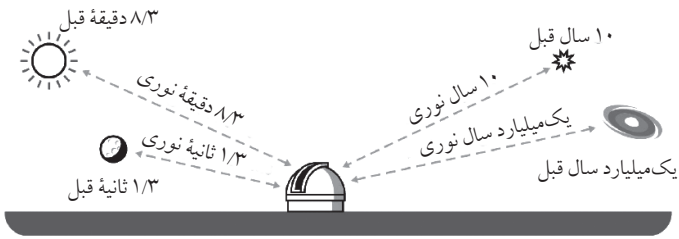
دلیل که همواره عقربهٔ ساعت به تیک‌تاک خود ادامه می‌دهد؟ و هر بار زاویهٔ اندکی را می‌پیماید؟ احتمالاً به ما آموزش داده شده که چطور سختگیرانه زمان خود را برنامه‌ریزی کنیم تا بهره‌وری بیشتری از آن داشته باشیم، اما لزوماً از گذر زمان خوشمان نمی‌آید.

خوشبختانه کیهان‌شناسی به کمک ما آمده است. البته این کمک در حوزهٔ عملیاتی نیست. ما دربارهٔ یک شاخهٔ نسبتاً پیچیده از فیزیک حرف می‌زنیم که هرگز در بازگشت به دیروز و برداشتن چتری که در اتوبوس جا گذاشته‌ایم کمکی به ما نخواهد کرد؛ بلکه زندگی شما در شرایطی بدون تغییرات زمانی نامتعارف ادامه دارد که همهٔ امور دیگری که موجودیت دارند، برای همیشه در بستر آن دچار تغییر می‌شوند.

برای یک کیهان‌شناس، گذشته، قلمروی ازدست‌رفته نیست، بلکه فضایی واقعی است که قابل مشاهده می‌باشد و ما بیشتر اوقاتِ کاری خود را صرف بررسی آن می‌کنیم. می‌توانیم همان‌طور که آرام پشت میز کار خود نشسته‌ایم، رویدادهای نجومی را که میلیون‌ها یا حتی میلیاردها سال قبل رخ داده‌اند، ببینیم. روش کار ما شامل اسراری ویژهٔ علم کیهان‌شناسی نیست، بلکه این ویژگی در ساختار ذاتی عالمی که در آن زندگی می‌کنیم نهفته است. اساس تمام این صحبت‌ها بر این واقعیت است که نور برای طی هر مسافتی به زمان احتیاج دارد. سرعت حرکت نور حدود سیصد میلیون متر بر ثانیه است که سرعت زیادی به نظر می‌رسد. اما نور نمی‌تواند به‌طور آنی سفر کند. به زبان زندگی روزمره، هربار که شما یک چراغ قوه را روشن می‌کنید؛ نورِ آن با سرعتی حدود یک فوت بر نانوثانیه حرکت کرده و به جسم مورد نظر شما برخورد می‌کند. سپس دقیقاً به اندازهٔ مدت زمانی که طول کشیده تا به جسم برسد، طول می‌کشد تا بازتاب آن از جسم به چشم شما برسد. در حقیقت، هر چیزی که شما می‌بینید، حاصل نوری است که از آن به چشم شما می‌رسد و زمانی که شما جسم را می‌بینید،

اندکی قبل‌تر از لحظهٔ کنونی آن جسم است. شما چند لحظه قبلِ کسی را که در کافه مقابل شما نشسته است می‌بینید، نه دقیقاً زمان حال او را. دوستانتان می‌توانند با دانستن این واقعیت، حرف‌های اشتباه یا لباس‌های از مد افتادهٔ خود را گردن آن بیندازند! پس شما هر چیزی را در گذشته می‌بینید و میزان دور شدن شما از زمان حال به میزان فاصلهٔ شما از آن جسم بستگی دارد. وقتی به ماه می‌نگرید، اندکی بیشتر از یک ثانیه قبلِ آن را می‌بینید. خورشیدی که می‌بینید، خورشیدِ هشت دقیقه قبل است. ستاره‌هایی که در آسمان شب می‌بینید، از گذشته‌های دور دیده می‌شوند؛ از چند سال قبل گرفته تا چندهزار سال قبل. شاید این نوع تأخیر زمانی به دلیل محدودیت سرعت نور برای شما آشنا باشد، اما در نظر داشته باشید که ملاحظات آن بسیار ژرف هستند. درواقع ما به‌عنوان اخترشناس می‌توانیم آسمان را رصد کنیم و تحولاتی را که از ابتدای عالم تا زمان حال رخ داده است ببینیم. ما در علم نجوم از واحد سال نوری استفاده می‌کنیم، نه صرفاً به این دلیل که به اندازهٔ کافی بزرگ است (حدود ۹/۵ تریلیون کیلومتر یا ۵/۹ تریلیون مایل)، بلکه از این طریق درمی‌یابیم زمان چه مدتی در سفر بوده تا از جرم سماوی مورد نظر به ما برسد. ستاره‌ای که در فاصلهٔ ده سال نوری از ما قرار دارد، درحقیقت از دیدگاه ما، ده سال در گذشته است و کهکشانی که ده میلیارد سال نوری با ما فاصله دارد، درواقع در ده میلیارد سال قبل از ما قرار دارد. از آنجایی که سن عالم تنها ۱۳/۸ میلیارد سال است، آن کهکشان که ده میلیارد سال نوری دورتر از ماست، می‌تواند حقایقی را دربارهٔ دورانی که عالم بسیار جوان بوده است برای ما روشن کند. از این منظر، تماشای کیهان به معنای تماشای گذشتهٔ خودمان است.

در اینجا نکتهٔ مهمی وجود دارد که اگر آن را ذکر نکنم، مطلب به‌خوبی روشن نخواهد شد. ما عملاً نمی‌توانیم گذشتهٔ خودمان را ببینیم. محدودیت سرعت نور به این معناست که هرچه یک جرم از ما دورتر باشد، گذشتهٔ



شکل ۱: زمان‌های سفر نور. ما گاهی اوقات فواصل را با مقیاس دقیقهٔ نوری، ثانیهٔ نوری و سال نوری بیان می‌کنیم، زیرا این روش به‌خوبی نشان می‌دهد که نور چه مدتی در سفر بوده تا به چشم ما برسد و درنتیجه ما به چه میزانی از گذشته می‌نگریم. (مقیاس در تصویر رعایت نشده است!)

دورتری از آن را می‌بینیم. این رابطه کاملاً دقیق است. ما نه‌تنها نمی‌توانیم گذشتهٔ خودمان را ببینیم، بلکه نمی‌توانیم زمان حالِ کهکشان‌های دوردست را هم مشاهده کنیم. هرچه جسمی از ما دورتر باشد در خطِ زمانی کیهان هم عقب‌تر خواهد بود.

بنابراین ما چطور از طریق رصد کهکشان‌هایی در فواصل بسیار و در ژرفای گذشته، اطلاعاتی مفید دربارهٔ گذشته خودمان کسب می‌کنیم؟ در اینجا اصلی را معرفی می‌کنم که آن‌قدر در علم کیهان‌شناسی اساسی است که آن را «اصل کیهان‌شناختی[1]» نامیده‌اند. این اصل به بیان ساده، می‌گوید که عالم عملاً در همه‌جا یکسان است. بدیهی است که در مقیاس ما انسان‌ها این پدیده صادق نیست، سطح زمین به‌طور کامل با اعماق فضا یا مرکز خورشید تفاوت دارد، اما در مقیاس‌های بزرگ اخترشناسی، از هر جهت که بنگریم آسمان یکنواخت است و از اجزای یکسانی ساخته شده است(۱). این مفهوم، رابطهٔ نزدیکی با اصل کوپرنیکی دارد که سابقاً مفهومی ارتدادی

1. Cosmological Principle

محسوب می‌شد. نیکولاس کوپرنیک[۱] در قرن شانزدهم اعلام کرد که ما انسان‌ها جایگاه ویژه‌ای را در عالم در اختیار نگرفته‌ایم، بلکه در نقطه‌ای کاملاً معمولی و شاید کاملاً تصادفی در عالم زندگی می‌کنیم. بنابراین وقتی ما به کهکشانی نگاه می‌کنیم که چند میلیارد سال نوری با ما فاصله دارد، آن را به‌گونه‌ای بررسی می‌کنیم که گویی در حال مطالعهٔ عالم در چند میلیارد سال قبل هستیم و تقریباً می‌توانیم مطمئن باشیم که مکان فعلی خودمان هم چند میلیارد سال قبل شرایط مشابهی داشته است. قطعاً می‌توان این ایده را تا حدی از طریق رصد بررسی کرد. مطالعات در حوزهٔ توزیع کهکشان‌ها در عالم نشان می‌دهند که اصل کیهان‌شناختی و یکنواختی در عالم در هرجایی که به آن می‌نگریم، صدق می‌کند.

خلاصهٔ همهٔ توضیحات بالا این است که اگر ما بخواهیم هم تحولات خود عالم را بررسی کنیم و هم بدانیم که کهکشان راه شیری خودمان در چه شرایطی تحول یافته است، فقط باید به اجرام دوردست آسمان چشم بدوزیم.

همچنین نتیجه می‌گیریم که در کیهان‌شناسی مفهوم تعریف‌شده‌ای برای زمان «حال» وجود ندارد یا حالِ شما که آن را تجربه می‌کنید، تا حد زیادی منحصر به خود شماست و به اینکه شما در کجا قرار دارید و چه کار می‌کنید، بستگی دارد[۲]. فرض کنید اکنون در حال رصد یک ستاره باشیم و بگوییم ستاره، دچار انفجار اَبَرنواَختری شد، درحالی‌که نور قابل مشاهده از اَبَرنواَختر چند میلیون سال قبل سفرش را آغاز کرده است. چیزی که اکنون مشاهده می‌کنیم، تماماً در گذشته رخ داده و «اکنون» آن ستاره برای ما غیرقابل رصد است و تا میلیون‌ها سال بعد هیچ اطلاعاتی

---

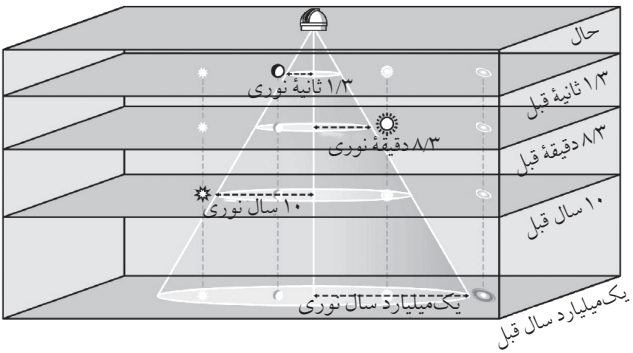
۱. Nicolaus Copernicus (۱۴۷۳–۱۵۴۳)، ستاره‌شناس و ریاضیدانی لهستانی. او به‌خاطر ترویج نظریهٔ خورشیدمرکزی در مقابل نظریهٔ زمین‌مرکزی شهرت دارد.ـ م.

از اکنونِ ستاره به ما نخواهد رسید و این برای ما دیگر به معنای «اکنون» نیست، بلکه «آینده» خواهد بود.

وقتی از این منظر به عالم بنگریم که در یک فضازمان وجود دارد ـ نوعی شاخص جهانی ادغام شده که در آن فضا سه محور دارد و محورِ چهارمِ مختصات، زمان است ـ می‌توانیم گذشته و آینده را نقاطی دور از موقعیت خودمان در این بافتار به حساب بیاوریم که از ابتدا تا پایان کیهان کشیده شده‌اند. برای موجودی فرضی که در نقطه‌ای دیگر از دستگاه مختصات کیهانی نشسته باشد، رویدادی که برای ما بخشی از آینده است می‌تواند جزئی از گذشته‌ای دور باشد. نور یا هر اطلاعات برآمده از رویدادی که هزاران سال بعد آن را خواهیم دید، هم‌اکنون در فضا ـ زمان خط سیری دارد و به سوی «اکنون» ما در حرکت است. آیا این رویداد مربوط به آینده، گذشته یا هر دو است؟ جواب این سؤال، بستگی به موقعیت و چشم‌انداز ما در مختصات فضا ـ زمان دارد.

برای شما که به فکر کردن در دنیایی سه‌بعدی عادت دارید پذیرش محدودیت سرعت نور و پیامدهایش دشوار است[۳]، اما برای منجمان که به این مفهوم عادت کرده‌اند، ابزاری کارآمد محسوب می‌شود. این یعنی، آن‌ها به‌جای اینکه مجبور باشند به دنبال سرنخ‌های کمیاب از گذشته‌های دور کیهان بگردند ـ مانند باقی‌مانده‌های تحولات گذشته ـ می‌توانند مستقیماً گذشته را ببینند و تغییر آن در طول زمان را رصد کنند. ما می‌توانیم سه میلیارد سالگی عالم را مشاهده کنیم، زمانی که رنسانس ستاره‌سازی محسوب می‌شود و کهکشان‌ها دچار فوران ستاره‌سازی بوده‌اند. همچنین می‌توانیم ببینیم که چطور در عالمی که تنها نیم میلیارد سال داشته است، ماده، توسط سیاهچاله‌های اَبَرپُرجرم بلعیده می‌شد، یا زمانی که نور ستاره‌ها تازه شروع به نفوذ کردن در فضای میان کهکشان‌ها کرده بود.

ما به‌زودی با ساخته شدن تلسکوپ‌های فضایی جدید، قادر خواهیم بود



شکل ۲: حرکت منحنی نور در فضا ـ زمان. در این منحنی جهت زمان رو به بالاست و ما به‌جای سه بُعد، دو بُعد از فضا را نمایش داده‌ایم. مکان چهار جسم که در فضا ساکن هستند، با خطوط نقطه‌چین عمودی نشان داده شده‌اند که مکان یکسانی را در زمان‌های مختلف معین کرده‌اند. «مخروط نوری» ناحیه‌ای از گذشته است که ما می‌توانیم آن را در رصدخانه‌هایمان ببینیم، زیرا نور در این ناحیه، مدت‌زمان لازم برای رسیدن به ما را در اختیار داشته است. ما کهکشانی را که در فاصلهٔ یک میلیارد سال نوری از زمین قرار دارد، به‌گونه‌ای می‌بینیم که یک میلیارد سال قبل بوده است. ما نمی‌توانیم «اکنون» کهکشان را ببینیم زیرا نوری که از اکنون کهکشان می‌آید، در مخروط نوری ما قرار ندارد.

بعضی از نخستین کهکشان‌های شکل‌گرفته در عالم را رصد کنیم. آن‌ها زمانی شکل گرفته‌اند که عالم فقط چند صد میلیون سال داشته است. اما اگر این‌ها اولین کهکشان‌ها باشند، پیش از آن‌ها ساختارهای کیهانی به چه صورت بوده‌اند؟ آیا می‌توانیم به اندازه‌ای در گذشته پیش برویم که هنوز هیچ کهکشانی ایجاد نشده است؟ ما برای رسیدن به این هدف، برنامه‌هایی داریم. تلسکوپ‌های رادیویی که هم‌اکنون مورد استفادهٔ منجمان هستند می‌توانند موادی را که نخستین کهکشان‌ها از آن‌ها زاده شده‌اند از طریق تشعشات ناشی از برهم‌کنش‌های تصادفی، بین نور و هیدروژن رصد کنند. ما می‌توانیم با مشاهدهٔ مستقیم هیدروژن، ماده‌ای که روزی نخستین ستاره‌ها و کهکشان‌ها

از آن ساخته شده‌اند، اولین ساختارهای شکل‌یافته در عالم را ببینیم.

اما اگر بیشتر در گذشته پیش برویم چه؟ اگر به دوران پیش از ستاره‌ها، پیش از کهکشان‌ها و حتی پیش از هیدروژن برویم، آیا می‌توانیم خود مهبانگ را ببینیم؟ بله، می‌توانیم.

تماشای مهبانگ

تصوری عام از مهبانگ وجود دارد که آن را نوعی انفجار ـ حریقی ناگهانی از نور و ماده که در نقطه‌ای شروع شده و به همهٔ عالم سرایت می‌کند ـ نشان می‌دهد. اما مهبانگ چنین چیزی نیست. مهبانگ انفجاری درون عالم نبوده، بلکه انفجار خود عالم بوده است. در یک نقطه نیز روی نداده، بلکه همهٔ نقاط را شامل می‌شود. همهٔ نقاط فضا در عالم امروزی ـ نقطه‌ای در لبهٔ یک کهکشان دور یا بخشی از فضای بین کهکشانی در مکانی دوردست که در آن سوی کیهان قرار دارد و اتاقی که شما در آن متولد شده‌اید ـ همهٔ این نقاط در ابتدای زمان بسیار به هم نزدیک بوده و با نخستین لحظه از زمان با سرعت از هم دور شده‌اند.

منطق نظریهٔ مهبانگ نسبتاً ساده است. عالم در حال انبساط است ـ ما مشاهده می‌کنیم که با گذشت زمان فاصلهٔ میان کهکشان‌ها بیشتر می‌شود ـ و این یعنی فاصلهٔ میان کهکشان‌ها در گذشته کمتر بوده است. ما می‌توانیم در آزمایشی ذهنی انبساط کنونی را به عقب برگردانیم و این کار را تا جایی ادامه می‌دهیم که فاصلهٔ میان کهکشان‌ها به صفر برسد. احتمالاً متراکم کردن کل آنچه در عالم می‌بینیم به فضایی کوچک، می‌بایست آن را به موقعیتی بسیار کوچک‌تر، داغ‌تر و چگال‌تر از فضای کنونی تبدیل کند. اما در نظر داشته باشید که عالمِ قابل مشاهده، تنها بخشی از کیهان است. می‌دانیم که عالم بسیار فراتر از مادهٔ قابل مشاهده است. درواقع براساس آنچه تاکنون فهمیده‌ایم، این امکان وجود دارد و شاید حتی احتمال بالایی هم داشته باشد

که عالم از نظر وسعت، لایتناهی باشد و این یعنی از ابتدا نیز، بی‌نهایت بوده است و تنها چگالی بالاتری داشته است.

تجسم چنین عالمی کار آسانی نیست. مفهوم بی‌نهایت، مفهومی انتزاعی است. فضای بی‌نهایت به چه معناست؟ انبساط یک فضای بی‌نهایت چه مفهومی دارد؟ چگونه یک فضای بی‌نهایت، بی‌نهایت‌تر می‌شود؟

متأسفانه من نمی‌توانم در درک چنین مفاهیمی به شما کمک کنم.

راهی وجود ندارد که بتوانیم یک فضای بی‌نهایت را در مغز محدود بشری بگنجانیم. تنها می‌توانم بگویم که در ریاضی و فیزیک راه‌هایی برای مواجهه با مفهوم بی‌نهایت وجود دارد که آن را برای ما معنادار می‌کند. من به‌عنوان یک کیهان‌شناس مطالعاتم را بر این پایه بنا کرده‌ام که عالم را می‌توان با ریاضیات توصیف کرد و اگر راهکارهای ریاضی مؤثر واقع شوند و رهیافت‌های جدیدی به مسئله‌های پیشِ رو داشته باشند، من از آن‌ها استقبال می‌کنم[۴]. به‌طور دقیق‌تر باید بگویم اگر هم ریاضیات ما را به جواب برساند و هم یک فرض دیگر (مثلاً اینکه عالم بی‌نهایت نیست، بلکه آن‌قدر پهناور است که ما نمی‌توانیم مرزهای آن را ببینیم) و ما هیچ راه عملی برای سنجش و بررسی صحت‌وسقم چنین گزاره‌هایی نداشته باشیم، فرض ساده‌تر را خواهیم پذیرفت. بنابراین در اینجا عالم بی‌نهایت را برمی‌گزینیم، زیرا می‌توانیم با آن کار کنیم.

به هر روی، وقتی حرف مهبانگ را پیش می‌کشیم درواقع داریم می‌گوییم براساس رصدهای ما از انبساط کنونی عالم و تاریخهٔ آن، می‌توانیم نتیجه بگیریم که زمانی عالم در همهٔ نقاطش داغ‌تر و چگال‌تر از امروز بوده است[۵]. گاهی این مفهوم «مهبانگ داغ» نامیده می‌شود، که اشاره به کل دورانی دارد که عالم داغ و چگال بوده است. اکنون می‌دانیم این دوران از لحظهٔ ابتدای عالم تا حدود ۳۸۰,۰۰۰ سالگی آن بوده است[۶].

حتی می‌توانیم معنای داغ و چگال بودن را به‌طور کمّی بیان کنیم و تاریخچهٔ عالم را از کیهان سرد و مطلوب امروزی که از آن لذت می‌بریم به سمت

گذشته‌ای جهنمی، که گویی در آن جهان یک زودپز عظیم‌الجثه بوده است رهگیری کنیم. البته این فقط هدفی نظری نیست. تخمین ریاضیاتی انبساط و به‌دست‌آوردن فشارها و دماهای بالا به جای خود، ما حتی توانسته‌ایم این جهنم معکوس(۷) را به‌طور مستقیم مشاهده کنیم.

تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی

داستان اینکه چطور ما از نظریه‌پردازیِ صرف دربارهٔ مهبانگ به مشاهدهٔ آن رسیدیم، داستانی کلاسیک از کشفیات تصادفی و تحول‌برانگیز است. در سال ۱۹۶۵ فیزیکدانی به نام جیم پیبلس[۱] از دانشگاه پرینستون مشغول بررسی روند معکوس انبساط بود که به نتیجهٔ عجیبی رسید: تابش مهبانگ، هنوز هم باید در عالم وجود داشته و قابل دریافت باشد. او بسامد و شدت تابش موردنظر را تخمین زد و با همکارانش رابرت دیک[۲] و دیوید ویلکینسون[۳] شروع به ساخت ابزاری برای آشکارسازی این تابش کرد. در همین حین دو ستاره‌شناس به نام‌های آرنو پنزیاس[۴] و رابرت ویلسون[۵]، در همان حوالی یعنی آزمایشگاه بِل، اطلاعی از کارهای تیم مذکور نداشتند و مشغول اجرای یک پروژهٔ اخترشناسی با استفاده از یک آشکارساز ریزموج بودند که تا پیش از آن، کاربردهای تجاری داشته است (ریزموج‌ها نوعی تابش در طیف

---

۱. Jim Peebles، جیم پیبلس کیهان‌شناس کانادایی و برندهٔ جایزهٔ نوبل سال ۲۰۱۹ است. او تحقیقات مفصلی دربارهٔ تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی انجام داده است. ـ م.

۲. Robert Dicke، فیزیکدان و کیهان‌شناس اهل ایالات متحد که رادیومتر دیک و آمپلی‌فایر قفل‌شونده از جمله ابداعات او هستند. ـ م.

۳. David Wilkinson، ویلکینسون اخترشناس و متخصص الهیات و اهل بریتانیاست. ـ م.

۴. Arno Penzias، فیزیکدان و منجم رادیویی اهل امریکا که به دلیل کشف تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی مشهور شد.ـ م.

۵. Robert Wilson، ویلسون منجم و فیزیکدان امریکایی است که در سال ۱۹۷۸ جایزهٔ نوبل را به‌طور مشترک با آرنو پنزیاس و پیوتر کاپیتسا برنده شد.ـ م.

الکترومغناطیسی هستند که بسامدشان از امواج رادیویی بیشتر ولی از امواج فروسرخ و نور مرئی کمتر است). وقتی پنزیاس و ویلسون از کاربردهای تجاری آن دستگاه کاملاً قطع امید کردند، تصمیم گرفتند از آن برای مطالعهٔ آسمان استفاده کنند. آن‌ها اقدام به کالیبره کردن دستگاه برای پژوهش‌های خود کردند و متوجه وجود تابشی جدید در اطلاعات خروجی دستگاه شدند. کاربران قبلی دستگاه که قصد دریافت سیگنال‌های ارسالی بالون‌های ارتفاع بالا در اتمسفر را داشتند، توجهی به این امواج نکرده بودند. اما اکنون کار پنزیاس و ویلسون علمی بود و آن‌ها می‌بایست مشکل دستگاه را برطرف می‌کردند. جالب اینجاست که آن‌ها دستگاه را به هر سوی آسمان که نشانه می‌گرفتند، همان امواج مزاحم را دریافت می‌کردند.

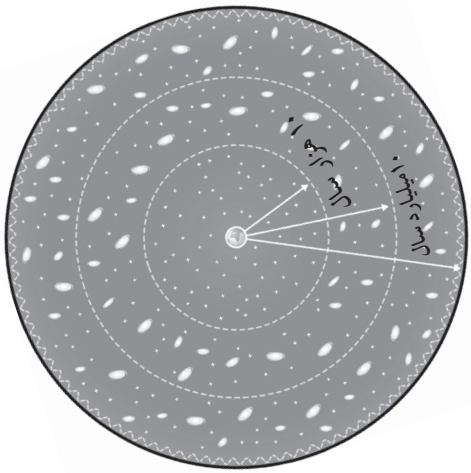
تداخل تلسکوپ، ایرادی عادی در مرحلهٔ کالیبراسیون یک فعالیت رصدی است و شرایط متعددی در به‌وجود آمدن آن دخیل هستند. ممکن است یک اتصال در جایی فراموش شده باشد یا تداخل رادیویی ناشی از یک ارسال‌کننده در نزدیکی محل رصد باشد؛ یا هر مزاحمت کوچک مکانیکی (یکی از شکست‌های اخیر در نجوم رادیویی این بود که محققان متوجه شدند فوران‌های رادیویی عجیبی که توسط تلسکوپ رادیویی پارکز کشف شده بود، ناشی از یک اجاق مایکروویو قدیمی بود که در خانه‌ای در آن حوالی قرار داشت). پنزیاس و ویلسون سانت‌به‌سانت کل آشکارساز را بررسی کردند و حتی آنتن‌ها را چک کردند که پرنده‌ای روی آن‌ها لانه‌سازی نکرده باشد تا شاید منشأ احتمالی امواج مزاحم را بیابند[۸]. اما با وجود همهٔ جستجوها هرگز نتوانستند منشأ امواج مزاحم را بیابند. بنابراین ناچار شدند این فرض را در نظر بگیرند که امواج واقعاً از آسمان دریافت می‌شود و از همهٔ جهات آسمان قابل مشاهده است. ماهیت این امواج چه بود؟ هر چیزی که از خورشید و سیاره‌ها ساطع شود می‌بایست در زمان‌های خاص و در جهات مشخص دریافت شود و حتی اگر منشأ امواج، کهکشان راه شیری هم باشد، باز بعید

است تا این حد یکنواخت دیده شود.

حال به ماجرای گروه دانشگاه پرینستون برمی‌گردیم. محاسبات پیبلس نشان می‌داد اگر عالم در ابتدا در همهٔ موقعیت‌ها داغ بوده، می‌بایست اکنون ما در تابش‌های بازمانده از آن دوران غوطه‌ور باشیم. حدس او این بود که اگر نگاه به دوردست به معنای نگاه به گذشتهٔ دور باشد و اگر عالم در گذشتهٔ دور، یک گوی آتشین پیوستهٔ بزرگ بوده است؛ بنابراین می‌بایست بتوان نقطه‌ای را در عالم یافت و به آن نقطه نگاه کرد که هنوز بسیار داغ است. به‌گونهٔ دیگری نیز می‌توان این موضوع را بیان کرد: اگر ۱۳/۸میلیارد سال قبل، کل عالمِ بی‌نهایت ما، با تابش مشتعل بوده، باید هنوز هم بخش‌هایی وجود داشته باشد که آن‌قدر از ما دور هستند که هنوز هم تابش اشتعال آن‌ها با عبور از فضای سردشونده و در حال انبساط به ما برسد. در هر جهتی از آسمان که رصد می‌کنیم اگر به اندازهٔ کافی دوردست‌ها را بنگریم، می‌بایست این عالم آتشین گذشته را ببینیم. ما به بخشی از فضانگاه نمی‌کنیم که زمانی متفاوت بوده است، بلکه به زمانی نگاه می‌کنیم که همهٔ فضادر آتش قرار داشته است.

بنابراین تابش زمینه‌ای باید مستقل از مکانی که در آن هستید، از هر جهت دیده شود. زیرا همواره می‌توانید آن‌قدر به دوردست‌های آسمان نگاه کنید که فاز داغ عالم را در آن ببینید. اتصال از طریق سرعت نور یا سفر در زمان، شما را قادر به دیدن فاز داغ می‌کند. هر نقطه از فضا، مرکز کره‌ای است که اگر زمان را به عقب برگردانیم پوسته‌ای آتشین بر آن می‌بینیم.

پیبلس به این یافته‌ها رسیده بود و مانند هر فیزیکدان دیگری تمایل داشت افکارش را با همکاران خود مطرح کند. او حتی پیش‌نویس مقاله‌ای را آماده کرد که در آن شرح داده بود خود و همکارانش چه برنامه‌ای برای آشکارسازی این امواج دارند. این حرف‌ها تا کیلومترها آن‌طرف‌تر به گوش سایر محققان رسید و دو فیزیکدانی که با هواپیما به پورتوریکو رفته بودند نیز از آن مطلع شدند.



شکل ۳: نقشهٔ عالم قابل مشاهده. ما از موقعیت خود در کرهٔ زمین، در فواصل مختلف می‌توانیم دوره‌های متفاوت گذشتهٔ کیهان را ببینیم. در این تصویر، زمان گذشته (تعداد سال‌های پیش از امروز) به‌عنوان شعاع هر کره ترسیم شده‌است. دورترین نقطه‌ای که می‌توانیم ببینیم، حتی به‌طور نظری نیز هم‌ارز با فاصلهٔ زمین تا نقطهٔ آغاز عالم است. کره‌ای به این شعاع با عنوان عالمِ قابل مشاهده شناخته می‌شود.

یکی از شرکت‌کنندگان در سخنرانی پیبلس به نام کِن ترنر[1] به بازدید تلسکوپ رادیویی ارسیبو رفته بود و در راه برگشت، در هواپیما با همکار اخترشناس خود برنارد برک[2] دراین‌باره صحبت کرده بود که کشف تابش مهبانگ چقدر هیجان‌انگیز خواهد بود. برک طی تماس تلفنی با پنزیاس علاوه‌بر صحبت‌های معمولی دربارهٔ گفتگوی داخل هواپیما هم حرف‌هایی

1. Ken Turner

۲. Bernard Burke (۱۹۲۸–۲۰۱۸)، این اخترشناس امریکایی به‌عنوان یکی از کاشفان حلقهٔ اینشتین در سال ۱۹۸۸ شناخته می‌شود. او پژوهش‌های زیادی دربارهٔ سیارات فراخورشیدی و عدسی‌های گرانشی انجام داد.ـ م.

زده بود[۹]. تصور می‌کنم پنزیاس در آن لحظه نتوانسته بود روی پاهای خود بایستد، زیرا دریافته بود او و ویلسون نخستین انسان‌هایی بودند که مهبانگ را به چشم دیده بودند. او پس از چند روز با همکارش دراین‌باره صحبت کرد. سپس با رابرت دیک تماس گرفت و دیک نیز به‌سرعت پیبلس و ویلکینسون را خبر کرد و گفت: «اون‌ها چیزی رو که ما دنبالش بودیم دیدن!»

پنزیاس و ویلسون به‌پاس نخستین رصد پدیده‌ای که به‌نام تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی معروف شد، جایزهٔ نوبل سال ۱۹۷۸ را دریافت کردند[۱۰].

تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی تبدیل به یکی از مهم‌ترین ابزارهای ما برای مطالعهٔ تاریخ عالم شده است و به‌سختی می‌توان آن را چه در حوزهٔ داده‌های نجومی و چه به‌عنوان دستاورد فناوری نادیده گرفت. امروزه می‌توانیم از کیهان داغ اولیه، نقشه‌برداری و تحلیلِ داده کنیم. نخستین درس تابش زمینهٔ کیهانی برای ما عبارت است از: این فرضیه که عالم اولیه جهنمی عظیم بوده و در دل حرارت رشد کرده است، کاملاً تأیید می‌شود.

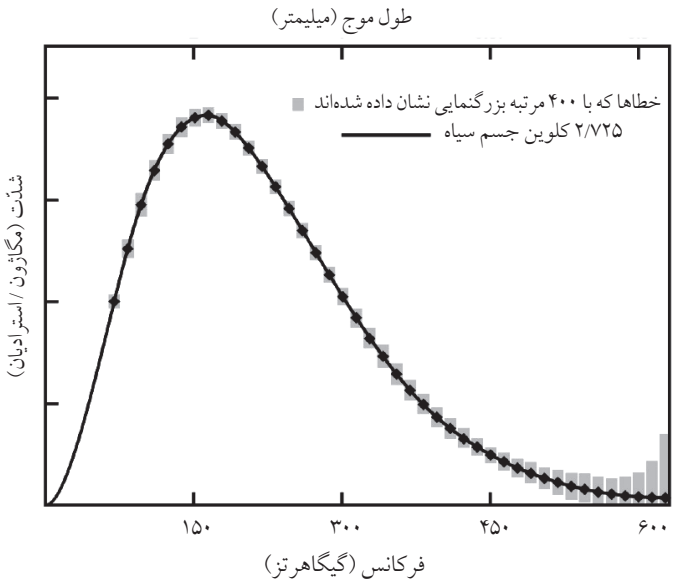
اما چگونه با اطمینان می‌گوییم که تابش زمینه‌ایِ دریافتی از آسمان متعلق به همان گوی آتشین اولیه است و مثلاً ناشی از اجماع تابش ستارگان دوردست یا چیزی شبیه به این نیست؟ این تابش به ما نشان می‌دهد که طیف نوری، یک راه فرار مرگ‌آور دارد. نور منابع در حال حرکت، هنگام سنجش در بسامدهای مختلف، روشن‌تر یا کم‌نورتر می‌شود.

تصور کنید شومینه‌ای در اختیار دارید و سیخ آهنی را در آتش آن قرار می‌دهید تا کاملاً به رنگ سرخ دربیاید. این تابش قرمز ویژگی ذاتی فلز نیست. بلکه پدیده‌ای است که برای هر شیئی که در حرارت قرار می‌گیرد رخ خواهد داد (تاجایی که دچار اشتعال نشود). این تابش، «تابش حرارتی» نام دارد و رنگ آن فقط تابع دما است. جسمی که تابش آبی دارد، داغ‌تر از جسمی است که تابش قرمز دارد. اگر شما قادر به دیدن تابش فروسرخ بودید می‌توانستید ببینید که این طول موج دائماً از انسان‌ها و غذاهای گرم

و پیاده‌روهایی که زیر نور خورشید هستند، تابیده می‌شود. تابش حرارت بیشینهٔ بدن انسان در محدودهٔ بسامد فروسرخ است، زیرا ما بسیار سردتر از شعله‌های آتش هستیم، مگر آنکه اتفاق واقعاً بدی برای ما رخ دهد!

البته رنگی که شما می‌بینید، همهٔ نوری که تولید می‌شود نیست. درواقع اگر لیزرها را در نظر نگیریم، هرچیزی که نور تولید می‌کند، آن را به‌شکل طیف گسترده‌ای از بسامدهای (یا رنگ‌ها) مختلف تابش می‌کند و رنگی که نور دارد، همان بسامدی است که بیشترین شدت را در میان بسامدها دارد (دلیل داغ بودن لامپ‌های رشته‌ای هم همین است. بیشتر نوری که لامپ رشته‌ای تولید می‌کند در طیف مرئی قرار دارد، اما حجم زیادی نور فروسرخ هم ساطع می‌شود که حرارت زیادی ایجاد کرده و لامپ را داغ می‌کند). در هر نوع تابش حرارتی، خواه متعلق به سیخ آهنی باشد، خواه انسان‌ها یا شعله‌های آبی اجاق گاز، شدت تابش به‌طور کاملاً متناسب با تغییرات بسامد تغییر می‌کند. این تابش در یک نقطهٔ قله دارای شدت بیشینه است که به دمای آن بستگی دارد و در سایر رنگ‌ها با شیب زیادی افت می‌کند. اگر نمودار تغییرات شدت تابش نسبت به بسامد را رسم کنید، به یک منحنی می‌رسید که ما آن را منحنی جسم سیاه می‌نامیم. این نمودار دربارهٔ همهٔ اجسامی که تابش حرارتی دارند ثابت است، زیرا آن‌ها داغ هستند[۱۱]. اگر شدت تابش در بسامدهای مختلف را برای تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی تهیه کنید، به دقیق‌ترین و کامل‌ترین منحنی جسم سیاهی می‌رسید که تاکنون در طبیعت یافت شده است. تنها توجیه موجود برای این پدیده، این است که خود عالم روزگاری در همه‌جا به‌شدت داغ بوده است.

معروف است که وقتی برای نخستین بار در کنفرانسی این نتایج در قالب نمودار به نمایش درآمد، حاضران ناخودآگاه شروع به دست زدن کردند. اشتیاق آن‌ها تا حدی به این دلیل بود که اندازه‌گیری‌ها کاملاً دقیق



شکل ۴: طیف جسم سیاه تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی. ارتفاع منحنی، شدت تابش در طول موج یا بسامدی خاص را نشان می‌دهد. میزان عدم‌قطعیت داده‌های نقطه‌ای در میله‌های خطا ترسیم شده‌اند. اما ابعاد این عدم‌قطعیت‌ها ۴۰۰ مرتبه بزرگنمایی شده‌اند تا از داده‌های نقطه‌ای قابل تمییز باشند. این طیف، همان نموداری است که انتظار داریم جسمی در دمای ۲/۷۲۵ کلوین (۲۷۰ـ سلسیوس) تابش کند.

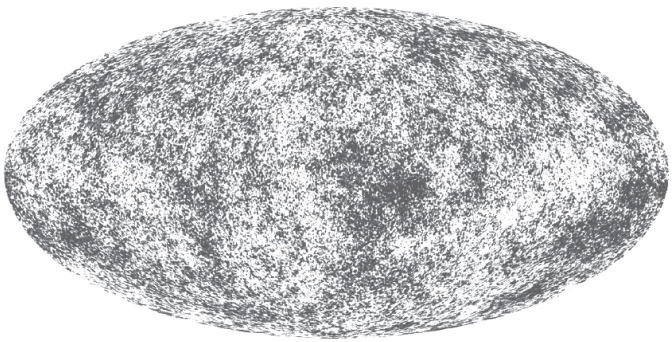
و مؤثر بودند و با تئوری موردنظر انطباق کامل داشتند (که همواره امری خوشحال‌کننده است). اما من مطمئنم دلیل دیگر اشتیاق آن‌ها درک این مطلب بود که آن‌ها مهبانگ را می‌دیدند. واقعاً مهبانگ را دیده بودند. هضم این شگفتی هنوز هم برای من دشوار است.

تابش زمینهٔ ریزموج کیهانی، علاوه بر جنبه‌های اعجاب‌آوری که دارد برای ما دریچه‌ای ارزشمند به روی نخستین دقایق عالم و چگونگی رشد و تحول آن در بستر زمان گشوده است. همچنین این تابش، حقایقی دربارهٔ

سرنوشت عالم نیز در اختیارمان قرار داده است که در فصل‌های آینده آن‌ها را بررسی خواهیم کرد.

گفته می‌شود اگر نقشه‌ای تهیه کنید که تغییرات رنگ تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی در سراسر آسمان را نشان بدهد، نقشه‌ای کاملاً یکنواخت به دست می‌آورید. زیرا همه‌جای آسمان تقریباً به‌طور کامل یکرنگ است. اما همان انحرافات بسیار کوچکی که در نقشه هست، حرف‌های زیادی برای گفتن دارند. وقتی منجمان تضاد رنگی نقشه‌ها را تقویت می‌کنند، می‌بینند که توزیع تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی، تا حدی لکه‌دار است. گویی نقاش با قلم‌مویی به اندازهٔ ماه کامل که از روی زمین دیده می‌شود، یک نقاشی به سبک نقطه‌پردازی کشیده باشد. این لکه‌ها در برخی موارد از یک رنگ هستند و در برخی موارد رنگ‌های ترکیب‌شده دارند. بعضی نقاط کمی قرمزتر و بعضی نقاط کمی آبی‌تر هستند[۱۲]. انحرافات رنگی، مکان‌هایی را نشان می‌دهند که در آن‌ها پلاسمای اولیهٔ عالم کمی سردتر یا کمی داغ‌تر بوده است. البته این انحرافات بسیار ناچیزند و چگالی آن‌ها به‌طور میانگین از میزان یک، در یکصدهزار فراتر نمی‌رود (برای اینکه دربارهٔ مقدار یک در یکصدهزار تصور عینی داشته باشید، به اندازهٔ یک بطری نوشابه، آب استخری متوسط را کم کنید و میزان تغییر آب استخر را بررسی نمایید.)

می‌توانیم با استفاده از محاسباتی دقیق، نشان بدهیم چگونه انحرافات ناچیز چگالی رشد کرده‌اند و درحالی‌که ابتدا یک ناهمگونی کوچک بوده‌اند، بعد از گذشت چند هزار سال تبدیل به خوشه‌های کهکشانی شده‌اند. رمبش گرانشی، پدیده‌ای قدرتمند است. اگر تکه‌ای مادهٔ بسیار کوچک داشته باشید که به مقدار بسیار کمی چگال‌تر از سایر مواد اطراف خود باشد، مادهٔ موجود در نواحی کم‌چگال‌تر را به سوی خود جذب می‌کند و این عمل اختلاف چگالی را بیشتر می‌کند. اختلاف چگالی بیشتر موجب جاذبهٔ بیشتر می‌شود و این چرخه ادامه دارد. نواحی پُرچگال، چگال‌تر



شکل ۵: تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی. این نقشهٔ بسامد ریزموج، از تصویر کل آسمان بر یک بیضی از روش پیش‌افکند به‌دست آمده است (تابش کهکشان خودمان از نقشه حذف شده است). نواحی تاریک‌تر، تابش ریزموج سردتری دارند (بسامد پایین‌تر یا رنگ قرمزتر) و نواحی روشن‌تر، کمی داغ‌تر هستند (بسامد بالاتر، رنگ آبی‌تر). این تفاوت‌ها به‌ترتیب نشان می‌دهند که در عالم اولیه، مناطقی از کیهان به اندازهٔ یک در یکصد هزار چگال‌تر یا کم‌چگال‌تر بوده‌اند.

می‌شوند و نواحی کم‌چگال، کم‌چگال‌تر خواهند شد.

می‌توانیم با استفاده از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای که گذر چند میلیارد سال را در عرض چند ثانیه نمایش می‌دهند، ببینیم که چطور تکه‌ای از ماده که اندکی چگال‌تر از سایر مواد اطرافش بوده است، به اندازهٔ کافی گازهای پیرامون خود را جذب کرده و نخستین ستارهٔ عالم را ایجاد کرده است. این ستاره‌ها در میان نخستین کهکشان‌ها ایجاد شده‌اند که در خوشه‌های کهکشانی جمع هستند و درنهایت تکه‌های بافتار چهل‌تکهٔ تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی، تبدیل به شبکهٔ کیهانی امروز شده است: ساختاری سلسله‌مراتبی از گره‌ها و رشته‌ها و تهی‌گاه‌هایی که بین کهکشان‌های درخشنده وجود دارند، مانند قطرات شبنمی که روی تار عنکبوتی بزرگ برق می‌زنند. اگر نتایج یکی از این شبیه‌سازی‌ها را با نقشهٔ واقعی کیهان مقایسه کنید که در آن هر کهکشان به‌شکل نقطه‌ای در یک نقشهٔ بسیار بزرگ سه‌بُعدی نمایش داده می‌شود، چنان

سازگاری و تطابقی با هم دارند که نمی‌توانید تفاوتی میان آن‌ها پیدا کنید.

بنابراین مهبانگ رخ داده است. ما آن را دیده و محاسبه کرده‌ایم و فیزیک در این مورد به توافق رسیده است، حال بیایید به سراغ جسم سیاه کیهانی برویم و داستان منشأ کیهان را بگوییم.

سرآغاز

همهٔ تاریخ عالم مانند تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی، به‌طور مستقیم قابل مشاهده نیست. مشاهدهٔ چندصدهزار سال قبل از پایان مرحلهٔ گوی آتشین و حدود نیم میلیون سال بعد از آن بسیار دشوار است. دربارهٔ مورد اولی باید بگویم نور زیاد مانع مشاهده می‌شود (تصور کنید می‌خواهید به دیواری نورانی خیره شوید) و در مورد دوم ابعاد بسیار کوچک، آن را غیرقابل رصد می‌کند (تصور کنید می‌خواهید به ذرات غباری نگاه کنید که بین شما و دیواری نورانی قرار گرفته‌اند). اما تابش ریزموج زمینهٔ کیهانی که در وسط این دو مرحلهٔ زمانی قرار گرفته، تکیه‌گاهی مناسب برای برون‌یابی به سوی این دو مرحله است. اکنون مرحلهٔ قابل‌مشاهده و مقایسه‌پذیر را در اختیار داریم که ما را به سوی نحوهٔ تحول عالم در گذر زمان رهنمون می‌شود. این زمان از نخستین یک میلیارد میلیارد میلیاردم ثانیه آغاز شده و تا امروز یعنی ۱۳/۸ میلیارد سال بعد از شروع عالم ادامه دارد.

سفرمان را شروع کنیم؟

در ابتدا یک تکینگی وجود داشته است.

خب... البته شاید! تکینگی چیزی است که اغلب هنگام اندیشیدن دربارهٔ مهبانگ به ذهن افراد خطور می‌کند: نقطه‌ای بی‌نهایت چگال که همه‌چیز از آن به سوی بیرون منفجر می‌شود. باید بگویم که تکینگی لزوماً یک نقطه نیست. بلکه یک حالتِ بی‌نهایت چگال از عالمی بی‌نهایت بزرگ است

و همان‌طور که پیش‌تر گفتیم، هیچ انفجاری به خودیِ خود روی نداده است. زیرا حریق نیازمند انفجار به درون چیزی است، نه انفجار تنها خودِ آن چیز. این مفهوم که همه‌چیز از حالت تکینگی آغاز شده است، از رصد انبساط کنونی عالم، به‌کارگیری معادلات گرانش اینشتین و برون‌یابی به معکوس زمانی برآمده است. اما شاید هرگز تکینگی رخ نداده باشد. چیزی که اغلب فیزیکدانان روی دادن آن را محتمل دانسته‌اند، در کسری از یک ثانیه پس از «شروع» واقعی اتفاق افتاده است. این رخداد، اَبَر انبساطی ناگهانی است که به‌طور مؤثری همهٔ شواهد و اتفاقات پیش از خودش را از بین برده است. بنابراین تکینگی فرضیه‌ای است که احتمال دارد عالم از آن آغاز شده باشد، اما نمی‌توانیم از صحت این فرضیه اطمینان داشته باشیم.

همچنین سؤال دیگری مطرح می‌شود مبنی بر اینکه «پیش از» تکینگی چه چیزی وجود داشته است؟ ممکن است متناسب با فردی که این سؤال را از او می‌کنید، جوابی بی‌معنی داشته باشد (زیرا تکینگی همان‌طور که آغاز فضاست، آغاز زمان هم است. بنابراین «پیش از» اساساً تعریف‌شدنی نیست) یا یکی از سؤالات بسیار بااهمیت در کیهان‌شناسی محسوب شود (زیرا احتمال دارد تکینگی نقطهٔ پایانیِ فاز قبلی یک عالم چرخه‌ای بوده باشد: عالمی که از مهبانگ به انقباض بزرگ می‌رسد و دوباره به مهبانگ بازمی‌گردد و این فرآیند تا ابد ادامه دارد). دربارهٔ این پدیده در فصل هفتم توضیحات بیشتری ارائه می‌دهیم، اما هم‌اکنون دربارهٔ تکینگی حرف‌های زیادی برای گفتن نداریم، جز اینکه ممکن است رخ داده باشد. حتی اگر مطمئن باشیم که روند معکوس انبساط، ما را به تکینگی می‌رساند، در حالت تکینگی، با شرایطی از ماده و انرژی مواجهیم که اکنون چیزی از فیزیک آن نمی‌دانیم و قادر به توصیف‌اش نیستیم.

برای فیزیکدان، تکینگی نقطه‌ای آسیب‌شناسانه است. یعنی جایی در معادلات است که مفاهیمی مانند چگالی ماده که تا پیش از این خوش‌رفتار

بوده‌اند، به سمت بی‌نهایت میل می‌کنند. در این شرایط هیچ محاسباتی وجود ندارد که نتایج معناداری به دست فیزیکدانان بدهد. در اغلب مواردی که با تکینگی مواجه می‌شوید احتمالاً به شما گفته می‌شود که جایی از محاسبات‌تان را اشتباه نوشته‌اید و باید آن را بررسی کنید. یافتن یک تکینگی در نظریهٔ علمی مانند این است که مسیریاب خودرو شما را به سمت لبهٔ یک دریاچه هدایت کند، سپس به شما آموزش بدهد که اجزای اتومبیل خود را از هم باز کنید، آن را به شکل قایق بازسازی کنید و با وسیلهٔ جدیدی که ساخته‌اید، پاروزنان به آن سوی دریاچه بروید. این احتمال وجود دارد که تنها راه رسیدن به مقصد همین کار باشد؛ ولی همواره باید در نظر داشته باشید که شاید از چند کیلومتر عقب‌تر، راه را اشتباه رفته‌اید.

البته باید گفت که در فیزیک حتی مفهومی کاملاً ناکارآمد مانند تکینگی هم، عملاً کاربردهایی دارد و صرف زمان برای بررسی آن، وقت تلف کردن محسوب نمی‌شود. هرگاه انرژی زیادی در مکانی کوچک داشته باشید، ناچارید همزمان از مکانیک کوانتومی (نظریهٔ حاکم بر فیزیک ذرات) و نسبیت عام (نظریهٔ گرانش) استفاده کنید. در شرایط عادی استفاده از یکی از آن‌ها بسنده است. زیرا معمولاً وقتی گرانش اهمیت دارد، یعنی با اجسام بزرگ سروکار داریم و می‌توانیم اجسام کوچک را نادیده بگیریم و هنگامی که مکانیک کوانتومی اهمیت دارد، درواقع با اجرامی کم‌جرم و در مقیاس کوچک مواجهید که گرانش کاملاً از برهم‌کنش‌های میان آن‌ها قابل چشم‌پوشی است. اما در چگالی‌های بالا ناچارید با هر دو نظریه کار کنید و متأسفانه آن‌ها اصلاً با یکدیگر همکاری خوبی ندارند. گرانشِ شدید حول اجسام بسیار پُرجرم وجود دارد که موجب انحنای فضا و تغییر روند گذر زمان می‌شود. مکانیک کوانتومی به ذرات اجازهٔ عبور از میان دیواره‌های صُلب یا حضور در حالت اَبراحتمالاتی را می‌دهد. ناسازگاری بنیادین میان این دو نظریه، در شرایط فیزیکی بسیار پرجرم و بسیار کوچک، مسئله‌ای