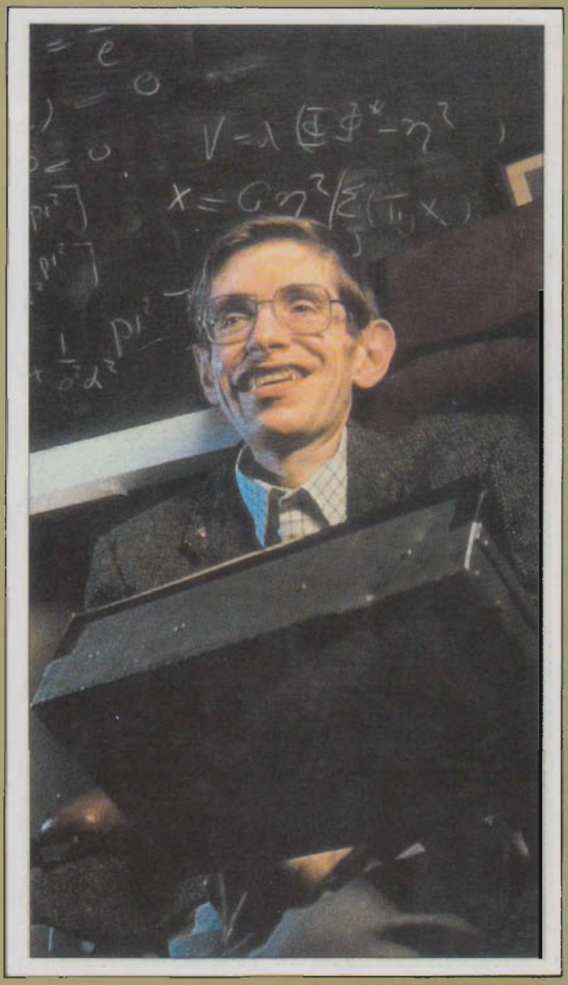
# تاریخچهٔ زمان

از
انفجار بزرگ
تا
سیاهچاله ها



استیون و. هاوکینگ

ترجمهٔ محمدرضا محجوب

ویرایش جدید
با افزودگی

شرکت سهامی انتشار

# تاریخچهٔ زمان

نویسنده

استیون هاوکینگ

مترجم

محمدرضا محجوب

چاپ جدید

با افزودگی

دیدگاه مردمان نسبت به عالم

استیون هاوکینگ، انفجار بزرگ و خداوند

ترجمه این کتاب را تقدیم می‌کنم به
پدر و مادر فداکار و دائی مهربانم

# تاریخچهٔ زمان

این کتاب ترجمه ای است از :
A BRIEF HISTORY OF TIME
نوشته
STEPHEN W. HAWKING
Published 1988 by Bantam Press,
A division of Trans world Publishers Ltd
Copyright © Space Time Publications 1988
Introduction copyright © 1988 by Carl Sagan
Interior illustrations copyright © 1988 by Ron Miller
Reprinted 1988 (10 times)
Reprinted 1989 (4 times)

# تاریخچهٔ زمان

## از انفجار بزرگ تا سیاهچاله ها

**نوشته: استیون هاوکینگ**
STEPHEN W. HAWKING

**ترجمه: محمدرضا محجوب**

هاوکینگ, استیون ویلیام Hawking, Stephen William
تاریخچه زمان : از انفجار بزرگ تا سیاهچالها / نوشته استیون هاوکینگ؛ ترجمه محمدرضا محجوب. _ تهران: انتشار, ۱۳۶۹.
چاپ هشتم با ویرایش جدید همراه با افزودگی ۱۳۸۳.
۲۵۶+ ۸ ص.: مصور, نمودار.
فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا.
ISBN 964-5735-19-x
عنوان اصلی:
A Brief history of time:
From the big bang to black holes.
واژه نامه .
۱. کیهان شناسی. الف. محجوب, محمدرضا, ۱۳۳۷ _, مترجم. ب. عنوان.
۵۲۳/۱ QB ۹۸۱ / ۲ ت ۲ هـ
کتابخانه ملی ایران ۱۲۴۸/۷۰_ ۶۹ م

**تاریخچه زمان**
تألیف : استیون هاوکینگ
مترجم : محمدرضا محجوب
ویرایش جدید همراه با افزودگی
چاپ نهم : ۱۳۸۴
ناشر : شرکت سهامی انتشار
چاپخانه حیدری _ ۳۲۰۰ نسخه
شمیز ۲۵۰۰ تومان
زرکوب ۳۲۵۰ تومان

شرکت سهامی انتشار
**WWW.ENTESHARCO.com**
**E- mail: info@entesharco.com**

o دفتر مرکزی : خیابان جمهوری اسلامی، نرسیده به میدان بهارستان, جنب خیابان ملت، شماره ۱۰۲، کدپستی: ۱۱۴۳۹۶۵۱۱۸، تلفن: ۳۱۱۴۰۴۴ ، ۳۹۰۴۵۹۲، فاکس۳۹۴۸۸۶۲
o فروشگاه : تهران، میدان انقلاب، بازارچه کتاب _ تلفن ۶۴۱۳۶۸۴

# فهرست مطالب


پیشگفتار چاپ هشتم ..... هفت
تاریخچهٔ کتاب تاریخچهٔ زمان ..... ۱
مقدمهٔ مترجم ..... ۷
سپاسگزاری ..... ۱۱
۱. تصویر ما از جهان ..... ۱۵
۲. مکان و زمان ..... ۳۱
۳. جهان گسترش یابنده ..... ۵۵
۴. اصل عدم قطعیت ..... ۷۷
۵. اجزاء بنیادین و نیروهای طبیعت ..... ۸۷
۶. سیاهچاله ها ..... ۱۰۹
۷. حفره‌های سیاه آنقدرها هم سیاه نیستند ..... ۱۳۱
۸. سرچشمه و سرنوشت جهان ..... ۱۴۹
۹. پیکان زمان ..... ۱۸۱
۱۰. وحدت فیزیک ..... ۱۹۳
۱۱. سخن آخر ..... ۲۱۱
آلبرت انیشتین ..... ۲۱۷

گالیلئو گالیله ..... ۲۲۱
اسحاق نیوتن ..... ۲۲۵

## افزودگی

دیدگاه مردمان نسبت به علم ..... ۲۲۹
استیون هاوکینگ، انفجار بزرگ و خداوند ..... ۲۳۳
واژه نامه ..... ۲۵۱

# پیشگفتار چاپ هشتم

به نام خدا

اینک که چاپ هشتم ترجمه فارسی کتاب «تاریخچه زمان» به زیور طبع آراسته می‌گردد، بر آن شدم تا نوشته‌ای از نویسنده دانشمند در خصوص تاریخچه کتاب «تاریخچه زمان» بر آن بیفزایم. بدین ترتیب خوانندگان علاقه‌مند فارسی زبان نیز تا حدی در جریان استقبال بی همانندی که از این کتاب در سراسر جهان به عمل آمده و موجب شگفتی ناظران شده است، قرار گیرند.

البته با توجه به شمارگان دفعات چاپ کتاب در ایران، استقبال از ترجمه فارسی «تاریخچه زمان» نیز قابل توجه بوده است. در این میان به ویژه باید ازجوانان فرهیخته این مرز و بوم یاد کرد که بنابر گواهی دست اندرکاران مستقیم فروش، بیشترین خوانندگان این کتاب را تشکیل می‌دهند. جوانان دانش پژوهی که به رغم همه دشواریهای موجود در راه تحصیل علم، گرفتار یأس و ناامیدی نشده و مشتاقانه به دنبال کسب دانش و معرفت هستند و برای عزت و سربلندی این مرزو بوم می‌کوشند. مترجم به نوبه خود از آنان بسی سپاسگزار است و فروتنانه دست

آنان را می‌فشرد و برای نسل جوان کشور توفیق و کامیابی هر چه بیشتر آرزو دارد. افزون بر آن مقاله «دیدگاه مردمان نسبت به علم» نیز که تا حدی متناسب با شرایط کنونی جهان و بیانگر برخی نقطه نظرهای جالب پروفسور هاوکینگ می‌باشد، برای چاپ جدید ترجمه گردید. و سرانجام سخنرانی دکتر فریتز شفر، یکی از استادان بنام دانشگاه جرجیا، را که نقدی عالمانه بر کتاب تاریخچه زمان است، و شاید بتوان گفت جواب بعضی از ابهامات مطرح شده توسط هاوکینگ نیز می‌باشد مناسب تشخیص دادم وآن را به انتهای کتاب افزودم.

امیدوارم این مجموعه مورد استفاده خوانندگان گرامی قرار گیرد.

**مترجم**

**تهران ۱۳۸۲ هجری خورشیدی**

# تاریخچهٔ کتاب «تاریخچه زمان»[1]

همچنان از استقبالی که از کتاب «تاریخچه زمان» من شد، شگفت زده‌ام. این کتاب برای سی و هفت هفته در لیست پرفروشترین‌های نیویورک تایمز و برای بیست و هشت هفته در لیست پر فروشترین‌های ساندی تایمز قرار داشته و به بیست و یک زبان دنیا ترجمه شده است[2]. این استقبال بسیار بیش از آن بود که من در سال ۱۹۸۲ هنگام پروراندن ایده نوشتن کتاب مردم پسندی درباره جهان انتظار داشتم[3]. هدف من تا اندازه‌ای کسب درآمد برای پرداخت شهریه دبستان دخترم بود (درواقع هنگامی که کتاب چاپ شد دخترم

۱-این مقاله نخست دردسامبر۱۹۸۸درروزنامه ایندی‌پندنت منتشر شد و در سال۱۹۹۳ درکتاب " سیاهچاله‌ها و جهانچه‌ها و مقالات دیگر" نوشته استیون هاوکینگ به چاپ رسید.

۲-این کتاب تا سال ۱۹۹۳ به ۳۳ زبان دنیا ترجمه و چاپ شده‌است.

۳-کتاب تاریخچه زمان برای پنجاه و سه هفته در لیست پرفروشترین کتابهای روزنامه نیویورک تایمز و در انگلستان نیز برای دویست و پنج هفته در لیست پرفروشترین‌های روزنامه ساندی تایمز باقی ماند. در هفته ۱۸۴، نام این کتاب به دلیل طولانیترین حضور در لیست پرفروشترین‌های ساندی تایمز، در کتاب رکوردهای گینس (Guinness Book of Records)ثبت گردید.

سال آخر دبستان بود) اما هدف اصلی آن بود که می‌خواستم راه طی شده در راستای فهم جهان را نشان دهم، تا دست‌یابی به یک نظریه کامل که جهان و هر آنچه در آن است را توصیف کند، چه فاصله‌ای می‌تواند وجود داشته باشد.

اگر قرار بود وقت و نیرو بگذارم تا کتابی بنویسم، می‌خواستم شمار هر چه بیشتری از مردمان آن را بخوانند. کتابهای فنی من که تا آن زمان نگاشته بودم توسط دانشگاه کمبریج چاپ شده بود. این ناشر کارش را خوب انجام می‌داد اما احساس می‌کردم که از طریق او به بازار بزرگ و گسترده‌ای که می‌خواستم، نخواهم رسید. از این رو با یک ناشر آثار ادبی به نام ال زوکرمان (Al Zuckerman) که داماد یکی از همکارانم بود تماس گرفتم. پیش نویس فصل اول را به او دادم و به او گفتم که می‌خواهم کتابی از آن دست که در کتابفروشی‌های فرودگاه‌ها به فروش می‌رسد بنویسم. او امکان آن را بعید دانست. به نظر او این کتاب می‌توانست نظر آکادمیسین‌ها و دانشجویان را جلب نماید اما قادر نبود به قلمرو جفری آرکر (Jeffrey Archer) وارد شود.

نخستین پیش نویس کتاب را در سال ۱۹۸۴ به زوکرمان دادم و او آن را برای چندین ناشر فرستاد و توصیه کرد که پیشنهاد یک ناشر آمریکایی به نام نورتن (Norton) را بپذیرم. اما من تصمیم گرفتم پیشنهاد ناشری به نام بنتام (Bantam) را که جهت گیریش بیشتر به سوی نشریات عامه پسند بود، بپذیرم. اگر چه بنتام تخصصی در زمینه کتابهای علمی نداشت، کتابهایش به طور گسترده‌ای در کتابفروشی‌های فرودگاهها پیدا می‌شد. اینکه بنتام کتاب مرا پذیرفت شاید به خاطر علاقه یکی از ویراستاران آن به نام پیتر گوزاردی (Peter Guzzardi) بود. او این کار را بسیار جدی گرفت و مرا واداشت تا کتاب را از نو بازنویسی کنم و آن را برای غیر متخصصینی چون خودش قابل فهم سازم. هر بار که یک فصل بازنویسی شده را برایش می‌فرستادم، او لیست بزرگی از اشکالات و سؤالات را برایم پس می‌فرستاد و از من می‌خواست تا آنهارا روشن سازم. گاه می‌اندیشیدم که این کشاکش هرگز پایان نخواهد یافت، اما حق با او بود: کتاب بسیار بهتری از آب در آمد.

به زودی پس از پذیرش پیشنهاد بنتام، ذات الریه گرفتم و می‌بایست عملی روی حنجره‌ام انجام می‌گرفت. بعد از عمل صدایم را از دست دادم. چند صباحی تنها از طریق

ابروانم با دیگران ارتباط برقرار می‌ساختم. به پایان رساندن کتاب کاری غیر ممکن می‌نمود و فقط یک برنامه کامپیوتری باعث ادامه کار گردید. برنامه قدری کند بود، اما من کند فکر می‌کنم، از این رو بسیار برای من مناسب بود. به کمک آن پیش‌نویس اولیه را در پاسخ اصرارهای گوزاردی کاملاً بازنویسی کردم. در این راه یکی از دانشجویانم به نام برایان ویت (Braian Whitt) مرا یاری داد.

یکی از سریالهای تلویزیونی جاکوب برونوسکی (Jacob Bronowski) مرا بسیار شیفته خود ساخت؛ عروج انسان. این برنامه دستاورد نژاد بشر را در تکامل از انسانهای وحشی نخستین به وضعیت کنونی تنها ظرف پانزده هزار سال به خوبی به تصویر می‌کشید. من می‌خواستم همین کار را در مورد پیشرفت به سوی درک کامل قوانینی که بر جهان حاکمند انجام دهم. مطمئن بودم که تقریباً همه به چگونگی کارکرد جهان علاقه‌مندند، اما بیشتر مردمان نمی‌توانند از معادلات ریاضی سر در آورند ــ من هم خیلی به معادلات اهمیت نمی‌دهم. این تا اندازه‌ای ناشی از دشوار بودن نوشتن معادلات برای من است اما عمدتاً به خاطر آن است که فاقد حس شهودی از معادلات می‌باشم. به جای آن من تصویر گونه فکر می‌کنم و هدف من در کتاب آن بود که این تصویرهای ذهنی را به کمک تمثیل‌های آشنا و چند نمودار در قالب واژه‌ها توصیف کنم. بدین سان امیدوار بودم که بیشتر مردمان بتوانند در این جذبه و احساس ناشی از پیشرفت شگرف فیزیک در بیست و پنج سال گذشته شریک گردند.

با این همه اگر از ریاضیات اجتناب گردد، برخی از اندیشه‌ها ناآشنا و برای توضیح دشوار می‌گردند. در اینجا مسئله‌ای برای من مطرح شد: آیا باید مفاهیم ریاضی را توضیح دهم و خطر سردرگمی مردمان را بپذیرم یا باید بر این دشواریها سرپوش بگذارم؟ برخی مفاهیم ناآشنا همچون این واقعیت که ناظرانی که با سرعتهای متفاوت در حرکتند فاصله زمانی میان دو رخداد یکسان را متفاوت اندازه گیری می‌کنند، عنصر اساسی در تصویری که می‌خواستم بکشم به شمار نمی‌رفتند. از این رو احساس کردم که می‌توانم تنها به ذکر آن بسنده و از تعمیق آن خود داری ورزم. اما اندیشه‌های دشوار دیگری بودند که نقش اساسی در آنچه می‌خواستم بیان کنم داشتند. به ویژه دو مفهوم از این دست وجود داشتند که خود را

ناچار از تشریح آنهامی دیدم. یکی از آن دو به اصطلاح 'جمع تاریخها' بود. بر پایه این مفهوم، تنها یک تاریخ برای جهان وجود ندارد بلکه مجموعه‌ای از هر تاریخ ممکن برای جهان وجود دارد و همه این تاریخها به طور یکسان واقعی هستند (به هر معنای ممکن). مفهوم دیگری که برای تعبیر ریاضی جمع تاریخها ضروری است «زمان موهومی» است. بانگاهی به گذشته، اکنون احساس می‌کنم که می‌بایست تلاش بیشتری در توضیح این دو مفهوم بسیار دشوار به عمل می‌آوردم. به ویژه زمان موهومی که به نظر می‌رسد خوانندگان کتاب بیشترین مشکل را با آن داشتند. با این همه به راستی ضروری نیست که دقیقاً فهمید زمان موهومی چیست ــ مهم آن است که زمان موهومی با زمان حقیقی تفاوت دارد.

با نزدیک شدن زمان چاپ کتاب، نسخه‌ای از آن را برای یک دانشمند فرستادیم تا در مجله طبیعت (Nature) بررسی نماید. او با وحشت دریافت که کتاب پر از اشتباه و دارای عکس‌ها و نمودارهایی جابه جا و بازیرنویس‌های نادرست می‌باشد. او با بنتام تماس گرفت و آنان نیز به همین اندازه وحشت زده شدند و همان روز بر آن شدند تا تمام نسخه‌ها را به کناری نهند. آنان سه هفته پر کار را صرف تصحیح و کنترل کردند تا توانستند بموقع در آوریل کتاب را به کتابفروشی‌ها برسانند.

در آن هنگام مجله تایم (Time) مقاله‌ای درباره من به چاپ رساند. ویراستاران از تقاضای موجود برای کتاب «تاریخچه زمان» شگفت زده شده بودند: چاپ هفدهم در امریکا و چاپ دهم در بریتانیا.

چرا گروه زیادی از مردم کتاب تاریخچه زمان را خریدند؟ مطمئن نیستم که بتوانم دلایل عینی آن را بیابم، از این رو به سراغ گفته‌های دیگران می‌روم. بسیاری از مقالات بررسی و نقد کتاب را، اگر چه موافق و مطبوع، اما تا اندازه‌ای غیر روشنگر یافتم. آنها از این فرمول پیروی می‌کردند: استیون هاوکینگ دچار بیماری لوگریگ (Lou Gehrig) ــ به تعبیر امریکایی ــ یا موتور نورون (motor neurone) ــ به تعبیر بریتانیایی ــ است. او مجبور است در یک صندلی چرخدار بنشیند. نمی‌تواند سخن بگوید و تنها می‌تواند انگشتانش را حرکت بدهد. با این همه او کتابی درباره بزرگترین پرسش بشری نوشته است: از کجا آمده‌ایم و به کجا می‌رویم؟ پاسخ پیشنهادی او آن است که جهان نه به وجود آمده و

نه نابود می‌شود: جهان صرفاً هست. برای فرمول بندی کردن این اندیشه، هاوکینگ مفهوم زمان موهومی را معرفی می‌کند که من (نویسنده مقاله بررسی کتاب) آن را به دشواری می‌فهمم. با این همه اگر حق با هاوکینگ باشد و بتوانیم به یک نظریه یکپارچه کامل برسیم، ذهن خداوند را واقعاً در خواهیم یافت. (در مرحله بازنگری نهایی نزدیک بود این جمله را حذف کنم. اگر چنین کرده بودم شاید فروش به نصف کاهش می‌یافت).

مقاله‌ای در روزنامه ایندی پندنت (Independent) در لندن به چاپ رسید که در آن نوشته شده بود حتی کتاب علمی جدی‌ای نظیر «تاریخچه زمان» می‌تواند به کتابی فرقه‌ای تبدیل گردد و همسر من دچار واهمه شد. اما من از اینکه کتابم با "ذن (Zen) و هنر نگهداری موتوسیکلت" مقایسه شده بود احساس خوشحالی می‌کردم. امیدوارم کتاب من همچون ذن به مردمان این احساس را القا کند که لازم نیست از پرسشهای بزرگ روشنفکری و فلسفی دوری گزینند.

بی گمان داستان جالب موفقیت من به عنوان یک فیزیکدان نظری به رغم معلولیت، در اقبال عمومی به کتاب مؤثر بود. اما آنان که از زاویه علایق انسانی کتاب را خریدند احتمالاً دچار سرخوردگی شدند، چرا که تنها اشاره‌ای به وضعیت جسمانی من در آن یافت می‌شود.

قرار بود کتاب درباره تاریخ جهان باشد و نه تاریخ من. این امر مانع از ایراد اتهاماتی در خصوص بهره برداری شرمگینانه بنتام از بیماری من و همدستی من با بنتام از طریق موافقت با چاپ عکس خود روی جلد کتاب، نگردید. در واقع بر اساس قرارداد هیچ اختیاری در خصوص طرح روی جلد نداشتم. با این همه توانستم بنتام را متقاعد سازم که برای جلد چاپ انگلستان کتاب از عکس بهتری نسبت به تصویر کهنه و بیچاره روی جلد چاپ آمریکا، استفاده نماید. بنتام روی جلد چاپ امریکا را تغییر نمی‌دهد چرا که می‌گوید آمریکایی‌ها کتاب را با این عکس می‌شناسند.

همچنین گفته می‌شود که مردم کتاب را از آن رو می‌خرند که نقدهایی از آن را در مجلات خوانده‌اند یا نامش ر ا در لیست کتابهای پر فروش دیده‌اند. اما آن را نه برای خواندن بلکه برای قفسه کتابخانه شان یا گذاشتن روی میز خریداری می‌کنند و به این ترتیب بدون آنکه زحمت فهمیدنش را به خود بدهند، با آن خود نمایی می‌کنند. بی گمان چنین چیزهایی اتفاق می‌افتد اما شاید کما بیش برای بیشتر کتابهای جدی دیگر نظیر شکسپیر نیز

این امر صادق باشد. از سوی دیگر می‌دانم که دست کم بعضی‌ها باید آن را خوانده باشند زیرا هر روز نامه‌های زیادی درباره کتابم دریافت می‌کنم که بسیاری از آنها در بردارنده پرسشها یا اظهار نظرهای مشروحی است که نشان می‌دهد فرستنده، کتاب را خوانده است هر چند شاید همه آن رانفهمیده باشد. در خیابان رهگذران غریبه جلوی مرا می‌گیرند و می‌گویند که از خواندن کتاب بسیار لذت برده‌اند. البته من نسبت به نویسندگان دیگر آسانتر شناسایی می‌شوم. اما با توجه به تناوب دریافت چنین تشویق‌ها و تبریکاتی از سوی مردم (که موجب خجالت پسر نه ساله‌ام می‌شود) به نظر می‌رسد که دست کم بخشی از کسانی که کتاب را می‌خرند، حتماً آن را می‌خوانند.

از من می‌پرسند پس از این چه کار خواهم کرد؟ احساس می‌کنم به سختی بتوانم دنباله‌ای برای «تاریخچه زمان» بنویسم. آن را چه بنامم؟ تاریخ بلندتر زمان؟ پس از پایان زمان؟ فرزند زمان؟ کارگزار من پیشنهاد کرده است که اجازه دهم فیلمی درباره زندگیم ساخته شود. اما اگر من و خانواده‌ام بگذاریم هنر پیشه‌ها به جای ما بازی کنند، دیگر هیچ احترامی برای خود باقی نخواهیم گذاشت.

چنانچه اجازه دهم کسی زندگینامه مرا بنویسد و به او در این راه کمک کنم نیز همین امر البته تا حدی خفیف‌تر صادق خواهد بود. البته نمی‌توانم جلوی نویسنده مستقلی را که بدون افترا زدن می‌خواهد زندگینامه مرا بنویسد بگیرم، اما می‌کوشم تا با گفتن اینکه می‌خواهم زندگینامه خود را به رشته تحریر در آورم آنان را از این کار باز دارم. شاید روزی زندگینامه خود را بنویسم اما عجله‌ای برای این کار ندارم. کارهای علمی زیادی دارم که نخست باید آنهارا انجام دهم.

# مقدمه مترجم

به نـام خـدا

پرفسور استیون هاوکینگ و پژوهشهای وی در زمینهٔ فیزیک نظری، متأسفانه به طور گسترده در ایران معرفی نشده است. کتاب حاضر که ترجمه‌اش تقدیم خوانندگان فارسی زبان می‌گردد، در سال ۱۹۸۸ به چاپ رسیده و ظرف کمتر از دو سال چهارده بار تجدید چاپ شده است. نویسنده این کتاب هم اکنون استاد لوکازین (Lucasian) ریاضیات دانشگاه کمبریج است. این مقام قبلاً به نیوتن (Newton) و بعدها به پی. آ. ام. دیراک (P.A.M. Dirac) تعلق داشت؛ دو پژوهشگر پدیده‌های کلان و خُرد گیتی.

خوشبختانه در مقدمه کتاب به طور مختصر و مفید درباره اهداف نوشته حاضر شرح داده شده است، اما شاید ذکر برخی نکات در ترجمه فارسی، خالی از فایده نباشد. بنای شکوهمند و مجلل علم، در نظر بسیاری افراد همچون کاخی جادویی و دست نیافتنی می‌باشد که برفراز قلل مه آلود دور دست بر پا شده است. خواندن

این کتاب، فرصتی است کم نظیر زیرا یکی از معماران ورزیده و برجسته این بنا، ما را به بازدید قصر می‌برد و با زبانی صمیمانه و بی تکلف می‌کوشد تا راز و مرز این شاخهٔ شگفت‌انگیز و پر قدرت دانش بشری را بازگو نماید و آخرین دستاوردهای آن را شرح دهد. در عین حال خواننده تا اندازه‌ای با تدوین و شکل گرفتن یک نظریه آشنا می‌شود و در می‌یابد که چگونه به‌بوته آزمایش نهاده می‌شود و به چه شرط از آن سربلند بیرون می‌آید. از سوی دیگر، اینجا و آنجا، مستقیم و غیر مستقیم، به او هشدار داده می‌شود که این مجموعه شگفت‌آور از معادلات، مدلی ذهنی است که تنها در ذهن بشر وجود دارد. اگر چه این کتاب، در مجموع، در ستایش علم نگاشته شده است، با این همه از بازگویی محدودیت‌ها و ضعف‌های آن نیز غافل نیست. خواننده هوشیار در می‌یابد که برای حل دشواریهای فکری که فرا روی بشریت است همیاری و گفتگویی سالم و سازنده بین همهٔ شاخه‌های معرفت، اعم از علم و فلسفه و دین...، ضروری است.

در پایان باید متذکر شوم که با وجود آنکه نویسنده اینجا و آنجا بر بعضی از نظریات و ادله کلیسای کاتولیک و شخص پاپ خرده گرفته است، لیکن بی تردید مطالعه این کتاب، بجز افزایش ایمان مؤمنان تأثیری ندارد. فاما الذین آمنوا فزادتهم ایمانا و هم یستبشرون.

دیماه ۱۳۶۸

# تاریخچه زمان

# سپاسگزاری

پس از آنکه در سال ۱۹۸۲ سخنرانی‌های لوئب (Loeb) را در دانشگاه هاروارد به پایان بردم، بر آن شدم که کتابی درباره زمان و مکان بنویسم که مورد استفاده همگان باشد. تا آن زمان کتابهای زیادی درباره آغاز جهان و سیاهچاله‌ها به رشته تحریر در آمده بود که در میان آنها از کتابهای بسیار خوب، نظیر «سه دقیقه آغازین» اثر واینبرگ (Weinberg)، گرفته تا کتابهای بسیار بد که نامشان را نخواهم برد، یافت می‌شد. با این همه احساس کردم که هیچ یک از آنان به راستی در پاسخ به پرسش‌هایی که مرا به کار پژوهش در کیهانشناسی و نظریه کوانتوم کشاند، نوشته نشده بود: جهان از کجا آمد؟ چگونه و چرا بنیاد گرفت؟ آیا پایانی بر آن متصور است و اگر آری، چگونه؟ این سؤالات برای همه ما جالب است. اما دانش نوین چنان پیچیده شده است که تنها شمار اندکی از متخصصان می‌توانند از عهده درک آن روابط ریاضی که برای توصیف و توضیح مقولات فوق به کار می‌روند، برآیند. با این همه مفاهیم اساسی مربوط به سرچشمه و سرنوشت هستی را می‌توان بدون استفاده از ریاضیات چنان تشریح نمود که برای افراد عادی نیز مفهوم واقع گردد.

این است هدف من از نگارش این کتاب. تا چه قبول افتد و چه در نظر آید.

در این رهگذر گفته می‌شد که هر معادله ریاضی که در این کتاب گنجانده شود، میزان فروش را به نصف کاهش خواهد داد. از این رو تصمیم گرفتم که به کلی

از معادلات صرفنظر کنم. با این همه نتوانستم از یکی، یعنی معادله معروف آنیشتین $E=mc^2$ بگذرم.

امیدوارم با این کار نیمی از خوانندگان بالقوهٔ خود را از دست ندهم.

به غیر از یک مورد، یعنی ابتلا به بیماری ای. اِل. اِس. یاموتورنورون (بیماری سلولهای حرکتی دستگاه عصبی مرکزی و محیطی) تقریباً در دیگر موارد زندگی، بخت با من یار بوده است. به یاری همسرم جین و فرزندانم رابرت، لوسی و تیمی، زندگی من به طور نسبی به روال عادی می‌گذرد و موفقیت قرین من بوده است. خوش اقبالی دیگر من، گزینش فیزیک نظری است. چرا که در این رشته، همه چیز در ذهن انسان می‌گذرد. در نتیجه معلولیت من نتوانست مانعی جدی ایجاد کند. در این راه همکاران دانشمند من، بدون استثنا، فوق العاده مرا یاری کرده‌اند.

در نخستین مرحله کلاسیک فعالیتم، نزدیکترین یاران من عبارت بودند از راجر پنروز، رابرت گروچ، برندون کارتر و جرج الیس. از آنان به خاطر یاریشان و فعالیت مشترکمان سپاسگزاری می‌کنم. حاصل این دوره کتاب «ساختمان کلان فضا - زمان» کار مشترک الیس و من بود که در سال ۱۹۷۳ انتشار یافت. این اثر بسیار فنی است و کاملاً دشوار و برای خوانندگان کتاب حاضر احتمالاً قابل استفاده نیست. امیدوارم طی این سالها آموخته باشم چنان بنویسم که به سادگی فهمیده شود.

دومین مرحله فعالیت من از ۱۹۷۴ شروع می‌شود و همکاران اصلی من گری گیبسون، دان پیج و جیم هارتل بوده‌اند. من سخت به ایشان و نیز به دانشجویان پژوهشگر خود مدیونم. آنها بسیار مرا یاری دادند، یاری به معنای فیزیکی و نظری کلمه. اینکه پابه‌پای دانشجویانم پیش روم، انگیزهٔ نیرومندی برای فعالیت در من به وجود آورده، و مرا از جمود و سستی بازداشته است.

یکی از دانشجویانم - برایان ویت - مرا در نگارش کتاب حاضر بسیار یاری داد. در سال ۱۹۸۵ پس از پایان نخستین پیش نویس این اثر مبتلا به ذات الریه شدم و به ناچار مورد عمل جراحی تراک استومی[1] (جراحی روی نای) قرار گرفتم که توانایی سخن گفتن را از من سلب کرد و به کلی مرا از برقراری ارتباط با دیگران بازداشت. اندیشیدم که این کتاب را به پایان نخواهم رساند، اما برایان مرا در ویرایش کتاب کمک

1-Tracheostomy

کرد و به من در استفاده از یک برنامه ارتباطی به نام مرکز زنده[1] که از طرف والت والتسز از موسسه وردزپلاس واقع در سانی‌ویل کالیفرنیا اهدا شده بود، یاری داد. به این ترتیب می‌توانم کتاب بنویسم و با مردم به کمک یک سنت سایزر اهدایی مؤسسه اسپیچ پلاس که باز در سانی ویل کالیفرنیاست صحبت کنم. دیوید میسن، سنت سایزر و یک کامپیوتر شخصی کوچک را روی صندلی چرخدار من نصب کرد. با این سیستم وضع یکسره دگرگون شد: در واقع اینک بهتر از گذشته می‌توانم با دیگران ارتباط برقرار کنم.

کسان بسیاری نگارش‌های نخستین کتاب حاضر را دیدند و نظر خود را درباره بهبود آن با من در میان نهادند. به ویژه ویراستار من در موسسه کتابهای بتام، چندین و چند صفحه مطلب و تفسیر و توضیح و پرسش پیرامون نکاتی که فکر می‌کرد به خوبی روشن نشده‌اند، برایم فرستاد. اذعان می‌کنم که با دیدن این لیست دور و دراز اصلاحات و تغییرات، تا اندازه‌ای برآشفتم، اما حق کاملاً با او بود. بدون شک با پافشاری او بود که کتاب حاضر چیز بهتری از آب درآمد.

از دستیارانم کلین ویلیامز و دیوید توماس و ریموند لافلام بسیار سپاسگزارم، از منشی‌هایم جودی فلا، آن رالف، چریل بیلینگتن و سومیزی و نیز از گروه پرستارانم تشکر می‌کنم. بدون شک بدون تأمین هزینه‌های تحقیقاتی و پزشکی من قادر به هیچ کاری نبودم و این مهم را کالج گانویل و کایوس، شورای تحقیقات علمی و مهندسی و نیز بنیادهای لورهلم، مک‌آرتور، نافیلد، ورالف اسمیت برعهده گرفتند. از آنان بس سپاسگزارم.

**استیون هاوکینگ**
**۲۰ اکتبر ۱۹۸۷**

1- Living Center

# ۱

# تصویر ما از جهان

روزی دانشمندمعروفی (گویا برتراندراسل) برای عموم درباره ستاره‌شناسی سخن رانی می‌کرد. اوتوضیح می‌داد که چگونه‌زمین به دور خورشید می‌چرخد و چطور خورشید به دور مرکز مجموعهٔ وسیعی از ستارگان بنام کهکشان راه شیری می‌گردد. در پایان سخنرانی، پیرزن کوچک اندامی از انتهای اتاق برخاست و گفت: «چرند می‌گویی. راستش را بخواهی، دنیا یک بشقاب تخت است که بر پشت یک سنگ پشت غول‌آسا قرار دارد.» دانشمند با لبخند پیروزمندانه‌ای جواب داد «پس آن سنگ پشت کجا ایستاده است؟» پیرزن گفت «جوان خیلی زرنگی، خیلی زرنگ. اما از آنجا به پائین همه‌اش سنگ پشت است!»

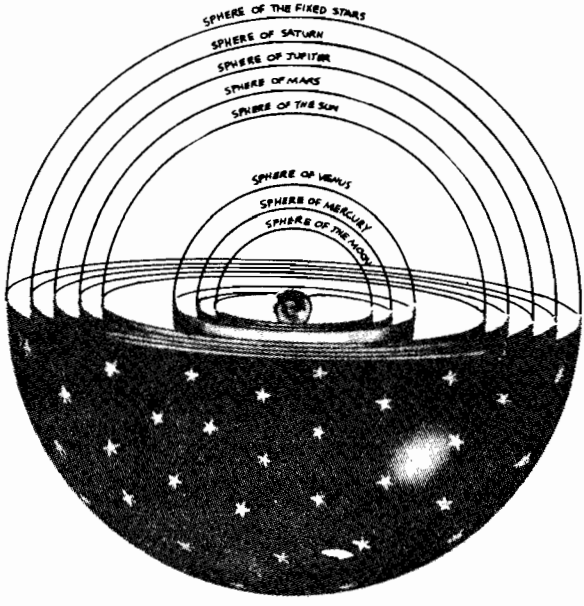
بیشتر مردم، برج بی انتهایی از سنگ پشت را بعنوان تصویری از جهان نمی‌پذیرند و آن را مسخره می‌یابند، اما از کجا معلوم که ما بیشتر از دیگران می‌دانیم؟ ما از جهان چه می‌دانیم و چگونه معلومات خود را بدست

آورده‌ایم؟ جهان از کجا آمده و به کجا می‌رود؟ آیا جهان ابتدائی داشته و اگر آری قبل از آن چه می‌گذشته است؟ سرشت و ماهیت زمان چیست؟ آیا هرگز به پایان خواهد رسید؟ تحولات اخیر در فیزیک، بکمک فنون و تکنولوژی عجیب و غریب کنونی، تا اندازه‌ای پاسخ به برخی ازین مسائل دیر پا را ممکن ساخته است. شاید روزی این پاسخ ها همان اندازه بدیهی بنظر برسد که امروز چرخش زمین بدور خورشید، واضح و بدیهی می‌نماید ــ یا شاید به اندازهٔ برج لاک پشت خنده‌آور باشد.

۳۴۰ سال قبل از میلاد، ارسطو فیلسوف یونانی، در کتاب خود بنام «دربارهٔ افلاک» نوشت که زمین جسمی کروی است و نه یک سطح صاف و برین مدعا دو دلیل خوب بیان داشت. نخست آنکه او دریافته بود ماه گرفتگی بعلت قرار گرفتن زمین میان خورشید و ماه پدید می‌آید. سایه زمین بر ماه همواره گرد است و این تنها براثر کروی‌بودن زمین می‌تواند باشد. اگر زمین سطحی تخت بود، آنگاه سایه اش باریک و دراز می‌شد و بصورت بیضی درمی‌آمد مگر آنکه ماه گرفتگی همیشه هنگامی رخ می‌داد که خورشید درست زیر مرکز قرص زمین باشد. دوم آنکه یونانیان طی سفرهای خود دریافته بودند که ستاره شمال، در مناطق جنوبی، پائین‌تر از نواحی شمالی در آسمان ظاهر می‌شود. (از آنجا که ستاره شمال بر فراز قطب شمال قرار دارد، ناظری که در قطب است، آنرا بالای سر خود می‌یابد اما ناظری که روی خط استواست، آنرا درست در افق مشاهده می‌کند) حتی ارسطو براساس اختلاف موقعیت ظاهری این ستاره در مصر و یونان، محیط دایره استوا را ۴۰۰/۰۰۰ استادیوم برآورد کرد. دقیقاً معلوم نیست یک استادیوم چقدر است اما احتمالاً حدود ۲۰۰ یارد بوده است و در اینصورت برآورد ارسطو نزدیک به دو برابر رقم پذیرفته شده کنونی است. یونانیان دلیل سوّمی هم برای کروی بودن زمین داشتند: چرا وقتی کشتی ای به ساحل نزدیک می‌شود نخست بادبانهای آن در افق پدیدار می‌گردد و سپس بدنه آن؟

ارسطو می اندیشید زمین ثابت است و خورشید، ماه، سیارات و

ستـارگان در مـدارهای کروی گـرد زمیـن می‌چرخند. ایـن باور از آنـجا ناشی می‌شـد که به‌دلایل رازناکـی احساس مـی‌کرد زمین مرکـز عالم است و حرکت کـروی کاملتـریـن حرکـتهـاسـت. بعـدها یـعنی دو قـرن پس از میـلاد مسیح، بطلمـیوس ایـن اندیشه را استادانـه پروراند و بصورت یک مـدل کیهانشنـاختی کامل در آورد. زمین در مرکز کائنات بود و هشت فلک آن را دربر گرفته بودند و بر هـر فلک ماه و خورشـید و سـتارگـان و پنج سیاره‌ای کـه تا بـه‌آن روزگار شناختـه شـده بود یعنـی عطـارد، زهره، مریخ، مـشتری و زحـل قرار داشـتـند (شکل ۱ــ ۱). سیارات بر فلک مربوطهٔ خود، دوایرکوچکتری راهی می‌پیمودند تا




شکل ۱.۱:

مسیرهای نسبتاً پـیچیدهٔ رصد شده‌شان را تـوجیه نمایند. فـلک بیرونی ثوابت را حمل می‌کرد و موقعیت آنها نسبت بـه‌یکدیگر هیچگاه تغییر نـمی‌نمود، اما همه

با هم در آسمان بگرد زمین می‌چرخیدند. هرگز معلوم نشد که فراتر از فلک ثوابت چه چیز قرار داشت اما بیگمان آنجا بخشی از جهان قابل مشاهده برای نوع بشر نبود.

مدل بطلمیوس برای پیش‌بینی موقعیت اجرام سماوی انصافاً دستگاه دقیقی بود. اما بطلمیوس برای آنکه پیش‌بینی‌هایش درست از آب درآید، می‌بایست فرض می‌کرد که مسیر ماه گاه تا دو برابر سایر مواقع، به زمین نزدیک می‌گردد و این بدان معنا بود که ماه می‌بایست گاه دوبرابر دیگر اوقات در آسمان بنظر برسد! بطلمیوس ازین نقص آگاهی داشت، اما با اینهمه مدل او عموماً، هر چند نه کاملاً، پذیرفته شد. کلیسای مسیحی این دستگاه را بعنوان تصویری از جهان که با کتاب مقدس همخوانی داشت، برگزید چرا که در ورای گردون ثوابت باندازهٔ کافی جا برای بهشت و جهنم باقی می‌ماند.

با اینحال، در سال ۱۵۱٤، یک کشیش لهستانی بنام نیکولاس کوپرنیکوس، دستگاه ساده‌تری پیشنهاد کرد. (کوپرنیک در آغاز شاید از ترس حکم ارتداد کلیسا، مدل خود را بطور ناشناس منتشر ساخت). به‌باور او خورشید در مرکز ثابت بود و زمین و دیگر سیارات در مدارهای دوار گرد آن در گردش بودند. کما بیش یک قرن طول کشید تا این طرح جدی گرفته شود. آنگاه دو ستاره‌شناس ــ یوهان کپلر آلمانی و گالیلئو گالیله ایتالیایی ــ آشکارا از نظریه کوپرنیک پشتیبانی کردند، اگر چه مدارهایی که این مدل پیش‌بینی می‌کرد، کاملاً با مدارهای رصد شده مطابقت نداشت.

در سال ۱٦۰۹ ضربه نهایی بر نظریه ارسطو/ بطلمیوس وارد شد. در آن سال گالیله شب هنگام آسمان را با تلسکوپی که به‌تازگی اختراع شده بود، رصد کرد. هنگام مشاهده مشتری دریافت که چندین قمر کوچک گرد آن در گردشند. این واقعیت می‌رساند که الزاماً همه چیز آنطور که ارسطو و بطلمیوس می‌اندیشیدند، ناگزیر از چرخش بدور زمین نیست. (البته، همچنان می‌شد باور داشت که زمین در مرکز جهان ثابت است و اقمار مشتری بر مسیرهای فوق‌العاده پیچیده‌ای گرد زمین در چرخشند و ناظر زمینی آنها را در

حال چرخش حول مشتری می‌پندارد. با اینهمه نظریه کوپرنیک بسیار ساده‌تر بود). در همان هنگام، یوهان کپلر تئوری کوپرنیک را اصلاح کرد و گفت که مسیر سیارات نه دوار که بیضوی است (بیضی یک دایرهٔ باریک و دراز است) اکنون، بالاخره پیش بینی های نظریه با مشاهدات مطابقت می‌کرد.

تا آنجا که به کپلر مربوط می‌شد، مدارهای بیضوی صرفاً فرضیه ای خاص و نه جهان شمول بود و از آنجا که بیضی ها بوضوح باندازهٔ دوایر کامل نبودند، فرضیه ای نسبتاً ناجور به‌شمار می‌رفت. او که کمابیش برحسب تصادف دریافته بود مدارهای بیضوی با مشاهده بخوبی مطابقت دارند، قادر نبود این دریافت را با اندیشهٔ خود مبنی بر آنکه سیارات بر اثر نیروی مغناطیسی گرد خورشید می‌چرخند، سازگاری دهد. سالها بعد یعنی در ۱۶۸۷، سراسحق نیوتن توانست این مطلب را در کتاب خود اصول ریاضی فلسفه طبیعی که شاید مهمترین اثر در فیزیک باشد، توضیح دهد. در این کتاب نیوتن نه تنها نظریه‌ای در باب چگونگی حرکت اشیاء در فضا و زمان عرضه کرد بلکه ریاضیات پیچیده‌ای را که برای تحلیل حرکت آنها لازم بود، بوجود آورد. بعلاوه نیوتن قانون جاذبه عمومی را عرضه کرد که براساس آن، هر جسمی در جهان به‌سوی هر جسم دیگری جذب می‌شود، هر چه جرم اجسام بیشتر باشد و هر چه فاصله آنها نزدیکتر گردد، با نیروی بیشتری به‌سوی هم جذب می‌شوند. همین نیروست که اشیاء را به‌سوی زمین می‌کشاند. (می‌گویند روزی نیوتن زیردرختی نشسته بود و سیبی روی سرش افتاد و این آغاز کشف بزرگ او بود. این داستان بیگمان ساختگی است. آنچه خود او در اینباره گفته آنست که درجایی نشسته بود و «درفکرفرورفته بود»، «سیبی بزمین افتاد و توجه وی را بخود معطوف داشت» و مفهوم جاذبه به ذهنش خطور کرد.) نیوتن نشان داد که بر پایه این قانون، گرانش سبب می‌شود که ماه گرد زمین و سیارات بدور خورشید مسیری بیضوی را بپیمایند.

مدل کوپرنیک از دست افلاک سماوی بطلمیوس خلاصی یافت و این اندیشه که جهان دارای مرز و کرانه ای طبیعی است بکنار نهاده شد. از

آنجا که بنظر می‌رسد ثوابت بجز از چرخش در آسمان که ناشی از چرخیدن زمین حول محورش است، حرکت دیگری ندارند، طبیعی بود که فرض شود آنها اجرامی همانند خورشید خودمان هستند منتها خیلی دورتر.

نیوتن دریافت که براساس نظریه گرانش او، ستارگان باید یکدیگر را جذب کنند و بنابراین بنظر نمی‌رسید که اصلاً ساکن باشند. آیا آنها در نقطه‌ای از جهان همگی بیکدیگر برخورد نخواهند کرد؟ او در سال ۱۶۹۱ طی نامه‌ای به ریچارد بنتلی[1]، یک متفکر برجسته دیگر آن روزگار، یادآور شد که اگر شمار ستارگان جهان بی نهایت نباشد و این ستارگان در ناحیهٔ محدودی از فضا پراکنده باشند، این اتفاق واقعاً رخ خواهد داد. اما اگر تعداد نامحدودی ستاره در فضایی بیکران بطور کمابیش یکسان پراکنده باشند، دیگر نقطهٔ مرکزی‌ای در کار نخواهد بود تا همگی به سوی آن کشیده شوند و لذا این حادثه اتفاق نخواهد افتاد.

این برهان نمونه‌ای است از نکات ظریفی که هنگام بحث دربارهٔ بیکرانگی به آن برخورد خواهیم کرد. در یک جهان بیکرانه، هر نقطه را می‌توان مرکز عالم پنداشت چرا که در هر سوی آن، بی نهایت ستاره وجود دارد. راهبرد درست به این مسئله، که سالها بعد مطرح گردید آنست که جهان را متناهی درنظر بگیریم، وضعیتی که منجر به برخورد ستارگان خواهد شد، و سپس ببینیم چنانچه ستارگان بیشتری که به‌زحمت پراکندگی یکسانی دارند، به این مجموعه افزوده شود، چه تغییراتی رخ خواهد داد. طبق قانون نیوتن، دسته جدید ستارگان در مجموع چیزی را تغییر نخواهند داد و بنابراین فروپاشی به همان سرعت پیشین بوقوع خواهد پیوست. ما هرقدر که بخواهیم می‌توانیم به‌مجموعه اولیه خود ستاره بیفزائیم، اما آنها همچنان به یکدیگر برخورد خواهند کرد. اکنون معلوم شده است که وجود مدلی ایستا از جهان بیکرانی که در آن گرانش همواره بصورت نیروی جاذبه عمل می‌کند، امکانپذیر نیست.

1. Richard Bentley

برای آنکه به‌حال و هوای کلی اندیشه پیش از قرن بیستم پی ببرید، بد نیست بدانید مسئله اینکه جهان در حال گسترش است یا در حال انقباض، برای هیچ کس مطرح نشده بود. عموماً می‌پنداشتند که جهان یا همواره در حالتی ثابت موجود بوده یا آنکه در زمانی معین درگذشته خلق شده و کمابیش بهمان صورت که اکنون هست وجود داشته است. این امر تا حدودی ناشی از تمایل انسان به باور به حقایق جاودانه است، همچنین سرچشمه آن را باید در احساس آرامشی جست که اعتقاد به جهانی جاودان و تغییرناپذیر در انسانِ اسیر پیری و مرگ بوجود می‌آورد.

حتی کسانیکه دریافته بودند که براساس نظریه گرانش نیوتن جهان نمی‌تواند ایستا باشد، به‌فکرشان خطور نمی‌کرد که جهان ممکن است در حال گسترش باشد. درعوض تلاش می‌کردند این نظریه را اصلاح کنند و می‌گفتند نیروی گرانش در فاصله‌های دور، به‌نیروی دافعه تبدیل می‌شود. این اصلاح، تأثیر چندانی بر پیش‌بینی آنها در مورد موقعیت سیارات نمی‌گذاشت، اما اجازه می‌داد که توزیع نامعین و بیکرانه‌ای از ستارگان، در حالت تعادل باقی بمانند ــ نیروهای جاذبه میان ستارگان نزدیک به‌هم با نیروهای دافعه ستارگان دوردست خنثی می‌شد و تعادل پایدار می‌ماند. با اینهمه حال می‌دانیم که چنین تعادلی ناپایدار خواهد بود: اگر ستارگان در ناحیه‌ای از فضا کمی بیکدیگر نزدیک شوند، نیروهای جاذبه میان آنها بیشتر خواهد شد و بر نیروهای دافعه خواهد چربید و روند برخورد ستارگان همچنان ادامه خواهد یافت. از سوی دیگر، اگر ستارگان کمی از یکدیگر بیشتر فاصله گیرند، نیروهای دافعه خواهد چربید و آنها را از یکدیگر دورتر و دورتر خواهد کرد.

اشکال دیگری بر مدل جهان بیکرانه ایستا وارد است که معمولاً آن را به هاینریش اُلبرز[2] فیلسوف آلمانی نسبت می‌دهند. او در سال ۱۸۲۳ در این باره مطالبی نوشت. در واقع بسیاری از معاصرین نیوتن اشکالاتی را مطرح

2. Heinrich Olbers

کرده بودند و مقاله اُلبرز حتی نخستین نوشته ای که در برگیرنده دلایل پذیرفتنی باشد، نبود. با اینهمه نوشتار او اولین مقاله ای بود که بطور وسیع مطرح گردید. اشکال آنجا بود که در صورتیکه جهان را ایستا فرض کنیم تقریباً امتداد هر خط دید به سطح یک ستاره خواهد رسید. در نتیجه تمامی آسمان همانند خورشید نورانی بنظر خواهد رسید، حتی شبها. اُلبرز در رد بر این اشکال اظهار داشت که نوری که از ستارگان دور دست تابیده می‌شود، بوسیله یک ماده جذب می‌شود. امّا با قبول این فرض، ماده جاذب نور روزی گداخته خواهد شد و همانند ستارگان درخشیدن خواهد گرفت. تنها راه اجتناب ازین نتیجه که شب هنگام آسمان چون روز روشن باشد آنست که بپذیریم ستارگان همواره در حال درخشیدن نبوده و نیستند بلکه در زمان معینی در گذشته درخشیدن آغاز کرده‌اند. در اینصورت ماده جاذب نور یا هنوز گداخته نشده است یا نور ستارگان دور دست هنوز بما نرسیده است. باین ترتیب مسئله دیگری برای ما مطرح می‌شود که چه عاملی ستارگان را روشن و درخشان کرده است.

البته موضوع آغاز و پیدایش جهان مدتها قبل ازین مورد بحث قرار گرفته بود. بنابر برخی از نحله های کیهانشناسی و نیز باورهای یهودی/ مسیحی، جهان در زمانی معین و درگذشته ای نه چندان دور پدیدار گردید. یک برهان بر وجود چنین آغازی، این احساس بود که برای توضیح عالم، وجود علت العلل ضروری است. (در متن عالم، هر رویدادی را با رویداد مقدم دیگر یا با علت آن می‌توان توضیح داد، امّا وجود خود عالم را بر این قیاس، تنها با قبول آغازی برای آن می‌توان توجیه کرد.) اگوستین قدیس در کتاب خود «شهر خداوند» برهانی دیگر را مطرح می‌نماید. او خاطرنشان ساخت که تمدن پیشرفت می‌کند و ما بیاد می‌آوریم که فلان عمل را چه کسی انجام داد و چه کسی فلان فن را ابداع نمود. بنابراین انسان و شاید جهان نیز نمی‌توانند به گذشته های چندان دور تعلق داشته باشند. اگوستین قدیس با استفاده از کتاب سفر تکوین، تاریخ آفرینش جهان را ــ/۵۰۰۰

سال قبل از میلاد مسیح برآورد می‌کند. (نکته جالب آنکه این تاریخ از پایان آخرین دوران یخبندان، حدود ۱۰,۰۰۰ سال پیش از میلاد فاصله چندانی ندارد. یعنی همان زمانی که بگفته باستانشناسان آغاز تمدن بشری است.)

از سوی دیگر ارسطو و بیشتر فیلسوفان دیگر یونان، اندیشه آفرینش را چندان نمی‌پسندیدند چرا که بیش از حد حال و هوای ماورای طبیعی و آسمانی داشت. ازینرو چنین می‌پنداشتند که نژاد انسان و جهان پیرامونش همواره وجود داشته و وجود خواهد داشت. این اندیشمندان با برهانی که پیشتر مطرح گردید، آشنا بودند و در پاسخ آن اظهار می‌داشتند سیلهای متناوب یا دیگر فجایع متوالیاً جوامع بشری را مورد تاخت و تاز قرار داده‌اند و بارها آنها را به سرآغاز و پیدایش تمدن پس رانده‌اند.

بعدها اما نوئل کانت در کتاب ماندگار (و بسیار بغرنج) خود «سنجش خرد ناب»[3] منتشره در ۱۷۸۱، این مسئله را که آیا جهان هستی نقطه آغازی در زمان داشته است و آیا در مکان محدود می‌باشد، بطور مشروح مورد بررسی قرار داد. او این مسائل را تناقضات زائیدهٔ خرد ناب خواند چرا که فکر می‌کرد برهان‌های مربوط به‌قضیه وجود آغازی برای جهان هستی و برابر نهاد آن یعنی ازلی بودن عالم، بطور یکسان متقاعد کننده‌اند. دلیل او برای اثبات پیدایش جهان این بود که اگر هستی نقطهٔ آغازی نداشته باشد، پس پیش از هر رویدادی، مدت زمان نامحدودی سپری شده است و این به‌نظر کانت امری مردود است. برای اثبات ازلی بودن جهان می‌گفت که اگر هستی نقطهٔ آغازی داشته باشد، مدت زمان نامحدودی پیش از آن سپری شده است، بنابراین چرا باید در یک لحظه معین پدیدار گردد؟ در حقیقت دلائل او برای اثبات تز و آنتی تز بالا، یکی بیش نیستند. هر دو بر این فرض ناگفته بنیاد گرفته‌اند که خواه جهان هستی ازلی باشد یا نباشد، امتداد زمان تا بی پایان درگذشته ادامه می‌یابد. همانطور که بعداً خواهیم دید، مفهوم زمان پیش از پیدایش جهان

3. Critic of Pure Reason

بی معنی است. این مطلب نخستین بار بوسیله اگوستین قدیس مطرح شد. وقتی از او پرسیدند خداوند پیش از آفرینش جهان چه می‌کرد، پاسخ او این نبود که خداوند جهنم را برای مطرح کنندگان چنین سؤالاتی آماده می‌ساخت. در عوض او چنین جواب داد که زمان یک خاصیت هستی است که خداوند آفریده است و پیش از خلق عالم، وجود نداشته است.

هنگامیکه بیشتر مردمان به جهانی اساساً ایستا و دگرگونی ناپذیر معتقد می‌باشند، مسئله وجود نقطه آغازی بر آن، مقوله ای براستی متافیزیکی یا مربوط به الهیات است. می‌توانیم مشاهداتمان را براساس فرض ازلی بودن هستی و یا با پذیرش وجود نقطهٔ آغازی برای آن، بخوبی توضیح دهیم و مثلاً اگر بپذیریم که هستی در زمان معینی بوجود آمد، می‌توانیم مشاهداتمان را چنان تفسیر کنیم که گویا جهان همواره وجود داشته است. اما در سال ۱۹۲۹ ادوین هابل[4] متوجه شد که به هر سوی جهان که نظر بیفکنیم، کهکشانهای دور بسرعت از ما فاصله می‌گیرند. به دیگر سخن جهان در حال گسترش می‌باشد، یعنی در زمانهای گذشته، اشیاء بیکدیگر نزدیکتر بودند. در واقع، بنظر می‌رسد که روزی، در حدود ده یا بیست هزار میلیون سال قبل، همهٔ آنها در نقطه ای واحد قرار داشتند و در نتیجه چگالی جهان بی نهایت بود. این کشف سرانجام مسئله آغاز جهان را به قلمرو علم وارد ساخت.

بنابه مشاهدات هابل، درگذشته های دور، زمانی رامی توان یافت بنام انفجار بزرگ. در آن هنگام جهان بی نهایت کوچک بود و فوق العاده چگال و آکنده. تحت چنین شرائطی همهٔ قوانین علم فروخواهد ریخت و بنابراین همه توان پیش بینی آینده از هم خواهد گسست. اگر رویدادهایی پیش از این لحظه رخداده باشند، آنگاه تأثیری در آنچه هم اکنون روی می‌دهد نخواهند داشت و وجود آنها را می‌توان نادیده گرفت چرا که هیچ پیامدی در مشاهدات ما ندارند. می‌توان انفجار بزرگ را آغاز زمان خواند صرفاً بدان معنا که زمانهای

4. Edwin Hubble

دیگر مشمول آن نشوند. تأکید می‌کنم که مفهوم بالا از آغاز زمان بسیار متفاوتتر از آن مفاهیمی است که پیش‌تر بمیان آوریم. در جهانی ایستا، آغاز زمان چیزی است که باید موجودی خارج از جهان بر آن تحمیل کند؛ هیچ ضرورت فیزیکی برای یک آغاز وجود ندارد. می‌توان تصور کرد که بطور صوری در لحظه‌ای از زمان، خداوند جهان را آفرید. از سوی دیگر اگر جهان در حال گسترش است، شاید دلایل فیزیکی ای وجود داشته باشد که آغاز ناگزیر جهان را نشان دهد. هنوز می‌توان تصور کرد که خداوند جهان را در لحظه انفجار بزرگ آفرید و یا حتی بعدها دست به خلق عالم زد و کاری کرد که چنان بر آدمیان نمودار گردد که گویا انفجار بزرگی رخداده است، اما فرض اینکه جهان پیش از انفجار بزرگ خلق گردید معنی ندارد. جهانی در حال گسترش منافاتی با وجود یک آفریننده ندارد امّا محدودیتهایی بر زمان آفرینش هستی قرار می‌دهد!

بمنظور آنکه درباره سرشت جهان سخن بگوئیم و مسائلی را نظیر آغاز و پایان جهان مورد بحث قرار دهیم، باید تعریف روشنی از نظریه علمی داشته باشیم. من تعریف ساده زیر را برمی‌گزینم: نظریه مدلی است از جهان یا بخش محدودی از آن باضافهٔ مجموعه‌ای از قواعد و فرمول‌ها که عناصر کمی نظریه را به‌مشاهدات ما مرتبط می‌سازند. نظریه صرفاً در ذهن ماوجود دارد و هیچ واقعیت دیگری ندارد (هر معنایی که داشته باشد). یک نظریه وقتی خوب است که دو شرط را برآورده سازد: باید دقیقاً مجموعهٔ بزرگی از مشاهدات را بر پایهٔ مدلی که تنها چند عنصر دلخواه را داراست، توصیف کند، و باید پیش‌بینی های مشخصی درباره نتیجه مشاهدات آینده بنماید. مثلاً نظریه ارسطو که همه چیز را متشکل از چهار عنصر خاک، هوا، آتش و آب می‌داند بسیار ساده است و شرط اول را برآورده می‌نماید اما هیچ پیش‌بینی مشخصی به‌عمل نمی‌آورد. امّا تئوری گرانش نیوتن حتی براساس مدل ساده‌تری بنا شده است و در آن اجسام بانیروئی متناسب با کمیتی بنام جرم و عکس مجذور فاصله بینشان، یکدیگر را جذب می‌کنند. با اینهمه این نظریه

حرکت خورشید، ماه و سیارات را با دقت بالائی پیش بینی می‌نماید.

هر نظریه فیزیکی همواره موقتی است به این معنا که صرفاً یک فرضیه می‌باشد: ما هرگز قادر به اثبات آن نیستیم. اگر بارها و بارها نتایج تجربه با پیش بینی های نظریه سازگار باشد، نمی‌توان اطمینان داشت که نتایج تجربه بعدی در تناقض با نظریه نخواهند بود. از دیگر سو می‌توان نظریه‌ای را با یافتن حتی یک مشاهده و آزمایش که با پیش بینی های نظریه ناسازگار باشد، ابطال نمود. همانطور که فیلسوف علم کارل پوپر[5] خاطرنشان ساخته است، وجه مشخصه یک تئوری خوب آنست که تعدادی پیش بینی بعمل آورد بنحوی که بطور اصولی بوسیله مشاهده وتجربه ابطال پذیر باشند. هربار که آزمایش جدیدی انجام می‌گیرد و حاصل با پیش بینی های نظریه سازگار است، نظریه جان سالم بدر می‌برد و اطمینان ما بآن افزایش می‌یابد؛ اما اگر روزی مشاهدهٔ تازه‌ای پیش بینی های نظریه را تأیید نکند، یا باید یکسره دست از نظریه شست یا آن را اصلاح نمود. دست کم این چیزی است که باید اتفاق بیفتد اما همواره می‌توان شایستگی و صلاحیت آزمایشگر را مورد تردید قرار داد.

عملاً، در اغلب موارد نظریه جدیدی شکل می‌گیرد که در واقع دنبالهٔ نظریه قبلی است. برای نمونه، رصدهای بسیار دقیق از عطارد نشان داد که اختلاف اندکی میان پیش بینی نظریه گرانش نیوتن و حرکت این سیاره وجود دارد. حرکت عطارد براساس نظریه نسبیت عام انشتین تفاوت اندکی با پیش بینی نظریه گرانش نیوتون داشت. اینکه پیش بینی های انشتین باآنچه مشاهده شده بود، سازگاری داشت و پیش بینی های نیوتن نداشت، یکی از موارد تأیید قاطع نظریه نسبیت بود. با اینهمه ما همچنان در مواردی که استفاده عملی مطرح است، از نظریه نیوتن سود می‌جوئیم چرا که اختلاف پیش بینی های آن با پیش بینی های نسبیت عام در اینگونه موارد بسیار ناچیز است. (نظریه نیوتن ازین برتری نیز برخوردار است که کار با آن در مقایسه با

5. Sir Karl Popper

تئوری انشتین بسیار ساده‌تر است!)

آماج نهائی علم تدبیر نظریه‌ای یگانه است که همهٔ جهان را توصیف نماید. با اینهمه بیشتر دانشمندان عملاً رویکردی را دنبال می‌کنند که مسئله را بدوبخش می‌نماید. نخست، قوانینی هستند که ما را در جریان چگونگی تغییر و تحول هستی نسبت به‌زمان قرار می‌دهند. (اگر در هر لحظه بدانیم جهان چه شکل و شمایلی دارد، این قوانین فیزیکی به‌ما خواهند گفت که در هر لحظه دلخواه پس از آن، هستی چگونه خواهد بود.) ثانیاً، مسئله حالت نخستین هستی مطرح می‌باشد. بعضی ها فکر می‌کنند که سروکار علم صرفاً با بخش نخست است؛ بنظر آنان چگونگی وضعیت اولیه جهان به‌متافیزیک و مذهب مربوط می‌شود. آنها می‌گویند قادر متعال هر طور که می‌خواسته آفرینش را آغاز کرده است. شاید چنین بوده باشد، اما در آنصورت، اراده او می‌توانست برآن قرار گیرد که انکشاف و تکامل عالم بگونه‌ای یکسره دلبخواه انجام گیرد. اما بنظر می‌رسد که خداوند اراده کرد که هستی بگونه‌ای بسیار منظم و طبق قوانین معینی راه تکامل را بپیماید. بنابراین بهمان اندازهٔ فرض اول عقلائی است که فرض کنیم قوانینی وجود دارند که بر وضعیت نخستین هستی حکم می‌رانند.

پیداست که تدبیرنظریه‌ای جامع و مانع که تمامی هستی را توضیح دهددشواراست. درعوض ،مامسئله رابه بخش هایی تقسیم می‌کنیم و تعدادی نظریهٔ پاره‌ای[6] ابداع می‌نمائیم. هر یک ازین نظریه های پاره‌ای، دسته معین و محدودی از مشاهدات را توضیح می‌دهند و تأثیر دیگر کمیت ها را نادیده می‌انگارند یا با مجموعهٔ ساده‌ای از اعداد آنان را نمایش می‌دهند. شاید این رویکرد به کلی نادرست باشد. چنانچه همه چیز در عالم بطور اساسی به‌چیزهای دیگر وابسته باشد، شاید نزدیک شدن به‌یک پاسخ و حل کامل از طریق بررسی اجزاءِ یک مسئله بطور مجزا، امکانپذیر نباشد. با اینهمه مطمئناً

6. Partial Theory

پیشرفت بشر به همین طریق فراچنگ آمده است. مثال کلاسیک در این مورد، باز نظریه نیوتنی گرانش است که می‌گوید نیروی جاذبه بین دو جسم تنها به یک عدد مربوط به جسم، یعنی به جرم آن، وابسته است اما مستقل از جنس این اجسام می‌باشد. بنابراین برای محاسبه مدار خورشید و سیارات نیازی به نظریه ای دربارهٔ سازه و ساختمان آنها نیست.

امروزه دانشمندان هستی را برحسب دو تئوری پاره‌ای بنیادی توضیح می‌دهند ــ نظریه نسبیت عام و مکانیک کوانتوم. ایندو دستاوردهای فکری عظیم نخستین نیمه قرن حاضر می‌باشند. نسبیت عام نیروی گرانش و ساختمان کلان هستی را توضیح می‌دهد، یعنی از مقیاس چند مایل تا یک ملیون ملیون ملیون ملیون مایل (۱ با ۲۴ صفر جلوی آن) اندازهٔ جهان قابل مشاهده. از سوی دیگر مکانیک کوانتوم در مقیاسی بسیار کوچک با پدیده ها سروکار دارد، یعنی یک ملیون ملیونیم یک اینچ. بدبختانه ایندو با یکدیگر ناسازگار می‌باشند ــ هر دوی آنان نمی‌توانند درست باشند. امروزه یکی از موضوعات عمده ای که همّ فیزیکدانان را بخود معطوف داشته، و ضمناً موضوع محوری این کتاب نیز می‌باشد، جستجو بدنبال نظریه ای نوین است که هر دو تئوری را یکپارچه گرداند و وحدت بخشد ــ نظریه کوانتومی گرانش. ما هنوز به چنین نظریه ای دست نیافته ایم و شاید راه درازی تا دست‌یابی بآن باقی مانده باشد اما هم اکنون بر بسیاری از خواصی که آن نظریه باید دارا باشد، آگاهیم و در فصل های بعدی خواهیم دید، چیزهای بسیاری درباره پیش بینی هایی که نظریه کوانتومی گرانش باید به عمل بیاورد، می‌دانیم.

اینک، اگر شما بر این باورید که جهان دلبخواه نبوده بلکه قوانین معینی برآن فرمان می‌راند، بناچار ناگزیر از آنید که نظریه های پاره ای را در قالب نظریه ای واحد، یکپارچه و متحد سازید و با آن همه چیز را در جهان توضیح دهید. اما در جستجو بدنبال چنین نظریه یگانه و کاملی، پارادوکسی[۷]

۷. حکم متناقض‌نما.

اساسی نهفته است. آنچه تاکنون درباره نظریه های علمی گفتیم بر این فرض مبتنی بود که ما موجوداتی معقول هستیم که آزادانه، هر طور که مایل باشیم به مشاهده جهان می‌پردازیم و از آنچه می‌بینیم منطقاً استنتاجاتی به عمل می‌آوریم. در این چهارچوب، عقلائی است که فرض کنیم، به قوانینی که بر جهان ما حاکمند هرچه نزدیک و نزدیکتر می‌شویم. با اینحال اگر براستی نظریه یگانه و کاملی وجود داشته باشد از قرار معلوم کردار و اعمال ما نیز توسط آن معین می‌شود. و این چنین نظریه خود آنچه را که در جستجویش می‌باشیم، تعیین خواهد نمود. و از کجا معلوم که بخواهد ما نتایجی درست از مشاهدات خود بگیریم؟ آیا احتمال آنکه نظریه بخواهد نتایج نادرستی استنتاج نمائیم و یا اصلاً به هیچ نتیجه‌ای دست نیابیم، با احتمال قبلی یکسان نیست؟

تنها پاسخ من به این مسئله بر پایه اصل انتخاب طبیعی داروین می‌باشد. در هر اجتماعی از ارگانیسم های قادربه تولید مثل، از نظر ژنتیک و پرورش ناهمسانی هایی میان افراد جداگانه وجود دارد. این تفاوتها بدان منجر می‌شود که برخی از افراد بیشتر از سایرین بتوانند استنتاجات درستی از جهان پیرامون خود بعمل آورند و برطبق آنها عمل کنند. این افراد بخت بیشتری برای بقا و تولید مثل دارند و کردار و پندار آنان مسلط خواهد گردید. بیگمان درگذشته آنچه که هوش و شعور و اکتشاف علمی نامیده می‌شود از مزیت بقا برخوردار بوده است. اما معلوم نیست که وضع همچنان بدینقرار باشد: اکتشافات علمی ما شاید همه ما را به نابودی بکشاند، و حتی اگر چنین نشود، یک نظریه یگانه و کامل شاید تأثیر چندانی در سرنوشت و بقای ما نداشته باشد. با اینهمه، چنانچه هستی بگونه‌ای منظم و بقاعده راه تکامل را پیموده باشد، می‌توان انتظار داشت که توانائی تعقل که انتخاب طبیعی به ما ارزانی داشته، در جستجوی نظریه‌ای یگانه و کامل همچنان معتبر باشد و ما را براه خطا نکشاند.

از آنجا که با نظریه های پاره‌ای موجود، توانسته ایم پیش بینی های دقیقی در همهٔ زمینه ها مگر در وضعیت های جدّی و بحرانی به عمل آوریم، از

نقطه نظر عملی، توجیه جستجوی نظریه غائی جهان، دشوار بنظر می‌رسد. (شایان ذکر است که دلایل مشابهی را می‌توان بر علیه نسبیت و مکانیک کوانتوم اقامه کرد، اما این نظریه ها انرژی هسته ای وانقلاب میکروالکترونیک را برای ما به ارمغان آورده اند!) بنابراین کشف نظریه ای یگانه و کامل، شاید کمکی به بقای نژاد بشر نکند. شاید حتی بر روش زندگی ما تأثیری نگذارد. اما از سپیده دم تمدن تاکنون انسان ها از دیدن رویدادها همچون مجموعه ای نامربوط و توضیح ناپذیر، ناخشنود بوده اند. آنها همواره در اشتیاق درک نظم نهفته در دل هستی بوده اند. امروزه ما همچنان در آرزوی آگاهی برآنیم که از کجا آمده ایم و آمدنمان بهر چه بوده است. اشتیاق ژرف بشریت برای دانش، کنکاش مداوم ما را بخوبی توجیه می‌کند. ما به هیچ وجه به کمتر از توضیح کامل جهانی که در آن بسر می‌بریم، رضایت نمی‌دهیم.

# ۲

# مکان و زمان

اندیشه‌ها و باورهای کنونی ما پیرامون حرکت اجسام به زمان گالیله و نیوتن باز می‌گردد. پیش از آنان، افکار و نظریات ارسطو مورد قبول عامه بود. ارسطو معتقد بود که وضعیت طبیعی اشیاء، حالت سکون و ایستائی است و تنها در صورتی بحرکت درمی‌آیند که نیرو یا ضربه‌ای بر آنان وارد آید. بر این اساس یک شئ سنگین سریعتر از شئ سبک سقوط خواهد کرد چرا که کشش بیشتری به‌سوی زمین دارد.

سنت ارسطوئی همچنین بر آن بود که همهٔ قوانین حاکم بر جهان به کمک اندیشه ناب قابل کشف و شناسائی اند و برای آزمودن آنان نیازی به تجربه و مشاهده نیست. ازینرو تا زمان گالیله کسی بخود زحمت نداد که ببیند آیا براستی اجسام با وزنهای مختلف با سرعتهای متفاوت سقوط می‌کنند یا نه. گفته‌اند گالیله با انداختن اجسام از فراز برج کج پیزا نشان داد این باور ارسطو نادرست است. کم یا بیش با اطمینان می‌توان گفت این داستان واقعی

نیست، اما گالیله قطعاً کاری مشابه انجام داده است: او گلوله هایی را با وزن های مختلف برسطح شیب‌دار هموارى رها کرد. این حالت همانند سقوط عمودی اجسام سنگینی می‌باشد با این تفاوت که بدلیل پائین بودن سرعتها، مشاهده و آزمایش آسانتر انجام می‌پذیرد. اندازه گیری های گالیله نشان داد که وزن اجسام هر چه باشد، سرعت آنها با آهنگ یکسانی افزایش می‌یابد. مثلاً اگر توپی را روی سطح شیبداری بگذاریم که بازاءِ هر ۱۰ متر روی آن، یک متر از ارتفاعش کاسته شود، پس از یک ثانیه توپ ما سطح شیبدار را با سرعت یک متر در ثانیه خواهد پیمود و پس از دو ثانیه، سرعت آن دو متر در ثانیه خواهد شد و به همین ترتیب پیش خواهد رفت بدون آنکه وزن توپ تأثیری درآن بگذارد. البته یک وزنه سربی تندتر از یک پر سقوط می‌کند، اما علت این تفاوت را باید در مقاومت هوا جست. چنانچه دو جسم را که مقاومت هوای چندانی نداشته باشند، مثلاً دو وزنهٔ متفاوت سربی، رها کنیم، همزمان سقوط خواهند کرد.

نیوتن از اندازه گیریهای گالیله، بعنوان بنیاد قوانین حرکت خود، بهره گرفت. در آزمایش های گالیله، جسمی که روی سطح شیبداری به‌سوی پائین می‌غلتید، همواره تحت تأثیر نیروی ثابتی (وزن جسم) بود و این نیرو موجب افزایش مداوم سرعت جسم می‌گردید. این واقعیت نشان می‌داد که نیروی وارد بر یک جسم، برخلاف باور کهن، صرفاً جسم را به‌حرکت درنمی‌آورد، بلکه پیوسته سرعت آن را می‌افزاید. همچنین اگر جسمی تحت تأثیر هیچ نیروئی نباشد، در مسیری مستقیم و با سرعتی ثابت به‌حرکت خود ادامه می‌دهد. این فکر نخستین بار در سال ۱۶۸۷ در کتاب اصول ریاضی نیوتن بصراحت بیان گردید و به‌قانون اول نیوتن شهرت یافت. قانون دوم نیوتن سخن از حالتی می‌گوید که نیروئی برجسم وارد آید. در اینحالت، جسم متناسب با نیروی وارده، شتاب خواهد گرفت یا به‌دیگر سخن، سرعتش تغییر خواهد نمود. (مثلاً اگر نیرو دو برابر شود، شتاب نیز دو برابر خواهد گردید.) هر چه جرم جسم (یا مقدار ماده تشکیل دهنده آن) بیشتر شود، شتاب کمتر خواهد شد. (همان نیرو

اگر برجسمی با جرم دو برابر جسم اول وارد شود، شتاب حاصل نصف شتاب جسم اول خواهد بود.) اتومبیل می‌تواند مثالی آشنا برای ما باشد: هر چه موتور نیرومندتر باشد، شتاب بیشتر است، هرچه ماشین سنگینتر شود بدون آنکه موتور تغییر کند، شتاب کمتر است.

نیوتن، علاوه بر قوانین حرکت، قانونی مربوط به نیروی گرانش کشف نمود که می‌گوید اجسام یکدیگر را با نیروئی متناسب با جرم‌شان جذب می‌کنند. ازینرو نیروی گرانش بین دو جسم دو برابر خواهد شد چنانچه جرم یکی از آنها (مثلاً جسم A ) دو برابر شود. این امر دور از انتظار نیست چرا که می‌توان در حالت اخیر جسم A را متشکل از دو جسم با جرم اولیه A تصور کرد. هر یک از اینها، جسم B را با نیروی حالت اول جذب می‌کند و در نتیجه نیروی کل بین A و B دو برابر نیروی جاذبه حالت نخست می‌گردد، مثلاً اگر جرم یکی از اجسام دو برابر و جرم دیگری سه برابر شود، آنگاه نیروی جاذبه شش برابر می‌گردد. حالا معلوم می‌شود که چرا همهٔ اجسام با شتاب یکسانی سقوط می‌کنند: بر جسمی که وزنش دو برابر جسم دیگر است، نیروی جاذبه‌ای دو برابر جسم دوم وارد می‌شود اما در عین حال جرم اولی نیز دو برابر جرم دومی است. براساس قانون دوم نیوتن، این دو عامل دقیقاً یکدیگر را خنثی می‌کنند و در نتیجه شتاب در همهٔ موارد ثابت باقی می‌ماند.

قانون گرانش نیوتن همچنین می‌گوید که هر چه اجسام از یکدیگر دورتر باشند، نیروی جاذبه بینشان کمتر است. بر این اساس، نیروی گرانش یک ستاره در فاصله‌ای معین، دقیقاً یک چهارم نیروی گرانش ستاره‌ای مشابه با آن، در فاصله‌ای نصف فاصلهٔ اول است. این قانون مدارهای زمین، ماه و سیارات را با دقت بسیار زیاد تعیین می‌کند. اگر برفرض، بنابر قانون گرانش، نیروی جاذبه گرانشی ستارگان با افزایش فاصله، بیش از میزان فوق الذکر کاهش می‌یافت، دیگر سیارات مدار بیضوی را نمی‌پیمودند و در عوض در مسیری مارپیچی به خورشید نزدیک می‌شدند. حال اگر با افزایش فاصله، نیروی جاذبه گرانشی ستارگان، کمتر از آن میزان کاهش می‌یافت، نیروی

جاذبه ستارگان دور دست، بر نیروی جاذبه زمین می‌چربید.

تفاوت بزرگ میان اندیشه‌های ارسطو و افکار گالیله و نیوتن در آن است که ارسطو می‌پنداشت، سکون حالت طبیعی اشیاء است و اجسام خوشتر دارند در حالت ایستا باقی بمانند مگر آنکه با نیرو یا ضربه‌ای به حرکت درآیند. او بطور مشخص فکر می‌کرد زمین ساکن است. اما از قانون‌های نیوتن چنین برمی‌آید که هیچ معیار واحدی برای سکون وجود ندارد. می‌توان بدرستی گفت جسم A ساکن است و جسم B با سرعتی ثابت نسبت به A در حرکت است و یا اظهار داشت جسم B ثابت است و A درحال حرکت. برای مثال فرض کنید زمین بدور خورشید نمی‌گردد، آنگاه می‌توان گفت زمین ثابت است و قطاری با سرعت نود مایل در ساعت به سمت شمال در حرکت می‌باشد. یا آنکه قطار ساکن است و زمین با نود مایل در ساعت به سوی جنوب راه می‌سپرد. چنانچه آزمایش‌هایی روی اشیاءِ متحرک درون قطار انجام دهیم، همهٔ قوانین نیوتن همچنان صدق می‌کند. مثلاً اگر کسی در قطار پینگ‌پنگ بازی کند، درخواهد یافت که توپ درست همانند توپی که روی میز کنار خط آهن قرار دارد، از قوانین نیوتن تبعیت می‌کند. بنابراین هیچ راهی نیست که بتوان تشخیص داد زمین یا قطار، کدامیک در حال حرکتند.

فقدان معیاری مطلق برای سکون، باین معنا بود که قادر نیستیم تعیین کنیم که دو رویداد در زمانهای متفاوت، آیا در نقطهٔ واحدی از فضا رخداده‌اند یا نه. برای مثال، فرض کنید که توپ تخم مرغی مادر قطار روی میز پینگ پنگ بالا و پائین می‌جهد و دوبار به فاصله زمانی یک ثانیه، به نقطهٔ واحدی روی میز برخورد می‌نماید. اما ناظری که کنار خط آهن ایستاده می‌پندارد که توپ دوبار با میز برخورد داشته و به بالا جهیده است و ایندو جهش در فاصلهٔ تقریباً چهل متر از یکدیگر رویداده‌اند، چرا که قطار در مدت بین دو جهش، همین فاصلهٔ چهل متر را پیموده است. عدم وجود سکون مطلق همچنین باین معنا بود که برخلاف نظر ارسطو نمی‌توان رویدادی را با وضعیت مکانی مطلقی در فضا مشخص نمود. مکان رویدادها و فاصلهٔ بین آنها از دید

مسافر قطار و ناظر کنار خط آهن، با یکدیگر فرق می‌کند و دلیل و علتی در دست نیست که مکان یک ناظر را بر ناظر دیگر برتری دهیم.

نیوتن از فقدان وضعیت مطلق یا آنطور که معروف بود، مکان مطلق پریشان خاطر بود زیرا که با باور او به خداوند مطلق جور درنمی‌آمد. در واقع برغم آنکه قوانین او متضمن عدم وجود مکان مطلق بودند، او از پذیرش آن سر باز زد. این پنداشت غیرمنطقی نیوتن از سوی بسیار کسان و برجسته تر از همه از سوی اسقف برکلی[1] مورد انتقاد قرار گرفت. اسقف برکلی فیلسوفی بود که همهٔ اشیاءِ مادی و زمان و مکان را توهم می انگاشت. وقتی اندیشه های برکلی را برای دکتر جانسون بازگو کردند، او انگشت پایش را به سنگ بزرگی کوبید و فریاد زد: «اینچنین من آنها را رد می‌کنم!»

ارسطو و نیوتن هر دو به زمان مطلق باور داشتند.یعنی معتقد بودند که بدون ابهام و بروشنی می‌توان فاصله زمانی میان دو رویداد را اندازه گرفت و چنانچه ساعت دقیقی را بکار برده باشیم نتیجه همواره یکسان است و به شخص آزمایشگر بستگی ندارد. زمان یکسره از مکان جدا و مستقل از آن بود. بیشتر مردم این فکر را منطبق با عقل سلیم می‌یابند. با اینهمه ما ناگزیر از تغییر عقایدمان درباره زمان و مکان بوده‌ایم. وقتی سروکارمان با اشیائی نظیر سیب یا سیاراتی است که به‌نسبت آهسته حرکت می‌کنند، پندارهای منطبق با عقل سلیم ما، درست از آب درمی‌آیند، اما وقتی پای چیزهائی بمیان می‌آید که با سرعت نور و یا نزدیک به آن حرکت می‌کنند، ناتوانی آنها برملا می‌شود.

برای نخستین بار در سال ۱۶۷۶، ستاره‌شناس دانمارکی اوله کریستن‌سن رومر[2] کشف کرد که نور با سرعتی معین اما بسیار بالا حرکت می‌کند. با فرض آنکه اقمار مشتری با سرعت ثابتی بگرد آن در گردش باشند، مدت زمان واحدی را صرف عبور از پشت مشتری می‌کنند و فاصلهٔ زمانی میان

1. Berkeley
2. Ole Christensen Roemer

خسوف و رؤیت آنان باید ثابت باشد. از سوی دیگر بدلیل گردش زمین و مشتری بدور خورشید، فاصلهٔ بین ایندو سیاره تغییر می‌کند. رومر دریافت که هر چه از مشتری دورتر باشیم، خسوف اقمار آن دیرتر مشاهده می‌شود. او نتیجه گرفت که این پدیده، معلول آنست که هر چه زمین و مشتری دورتر از یکدیگر باشند، مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا نور از اقمار به ما برسد. او موفق به اندازه گیری بسیار دقیق تغییرات فاصلهٔ زمین و مشتری نشد و بنابراین محاسبهٔ سرعت نور توسط او نیز چندان دقیق نبود: ۱۴۰,۰۰۰ مایل در ثانیه در مقایسه با امروز که سرعت نور را ۱۸۶,۰۰۰ مایل در ثانیه محاسبه نموده‌اند. با اینهمه دستاورد رومر قابل توجه بود. او نه تنها نشان داد که سرعت نور مقداری معین است بلکه کوشید تا آنرا اندازه گیری کند. این رویداد یازده سال پیش از انتشار «اصول ریاضی» نیوتن اتفاق افتاد.

تا سال ۱۸۶۵ نظریهٔ شایسته و مناسبی برای انتشار نور تدوین نگردید. در آن سال فیزیکدان انگلیسی جیمز کلارک ماکسول[3] توانست نظریه‌های محدود و پراکنده‌ای را که تا آن روزگار پیرامون نیروهای الکتریسیته و مغناطیس مطرح شده بود، در نظریه‌ای جامع یکپارچه گرداند. معادلهٔ ماکسول پیش‌بینی می‌کرد که آشفتگی های موجی شکلی در میدان الکترومغناطیسی وجود دارد که مثل امواج آب با سرعتی ثابت در فضا منتشر می‌شوند. اگر طول موج این امواج (یعنی فاصله بین دو تاج متوالی موج) یک متر یا بیشتر باشد، آنگاه با پدیده‌ای سروکار داریم که امروزه امواج رادیوئی نامیده می‌شود. طول موجهای پائینتر، میکروموج (چند سانتیمتر) یا فروسرخ (کمتر از یک ده هزارم سانتیمتر) نام دارند. طول موج نور مرئی بین چهل تا هشتاد میلیونیم سانتیمتر است. امواج با طول موجهای باز هم کوچکتر، عبارتند از فرابنفش، اشعه X و اشعه گاما.

نظریه ماکسول می‌گفت امواج رادیوئی یا نور با سرعت ثابت معینی

3. James Clerk Maxwell

منتشر می‌شوند. اما نظریه نیوتون از شرّ مفهوم سکون مطلق خلاصی یافت چرا که اگر قرار بود نور با سرعت ثابتی منتشر شود، این سرعت ثابت را نسبت به چه چیزی باید اندازه گرفت؟ بنابراین گفته شد جهان سراسر آکنده از ماده ای بنام «اتر» است. اتر حتی در فضای تهی نیز وجود دارد. امواج نور همانند عبور امواج صوتی از درون هوا، از درون اتر گذر می‌کند و سرعت نور نیز نسبت به اتر باید محاسبه گردد. ناظرهای متفاوت که با سرعت های مختلف نسبت به اتر درحرکتند، مشاهده می‌کنند که نور با سرعتهای متفاوتی بسویشان در حرکت است، امّا سرعت نور نسبت به اتر همواره ثابت است. بطور مشخص، از آنجا که زمین درون اتر و در مدار خود گرد خورشید حرکت می‌کند، حاصل اندازه گیری سرعت پرتوی از نور، در جهت حرکت زمین درون اتر (وقتی که ما به سوی منبع نور درحرکتیم)، باید بیشتر از سرعت نور در راستای قائم بر حرکت زمین (وقتی که ما به سوی منبع نور حرکت نمی‌کنیم)، باشد. در سال ۱۸۸۷ آلبرت مایکلسون[4] (که بعدها نخستین آمریکائی برنده جایزه نوبل در رشته فیزیک گردید) و ادوارد مورلی[5] آزمایش بسیار دقیقی در مدرسهٔ علوم کاربردی کیس در کلیولند انجام دادند. آنها سرعت نور را وقتی در جهت حرکت زمین سیر می‌کرد با سرعت نور در راستای قائم بر حرکت زمین مقایسه کردند و با کمال تعجب دیدند که دقیقاً با یکدیگر برابرند!

بین سال ۱۸۸۷ و ۱۹۰۵ تلاش های متعددی بعمل آمد تا نتایج آزمایش مایکلسون ــ مورلی را توجیه نمایند و مهمتر از همهٔ آنها نظریات فیزیکدان هلندی هندریک لورنتس[6] بود که پدیدهٔ فوق را با ایدهٔ انقباض اشیاء و کند شدن ساعتها حین حرکت درون اتر، توجیه نمود. با اینهمه، یک کارمند اداره ثبت اختراعات سوئیس، که تا آنزمان شهرتی نداشت، یعنی آلبرت

4. Michelson
5. Morley
6. Hendrik Lorentz

انشتین در سال ۱۹۰۵ در مقاله‌ای معروف خاطرنشان کرد که چنانچه مفهوم زمان مطلق را کنار بگذاریم، فرض وجود اتر اساساً ضرورتی ندارد. چند هفته پس از آن یک ریاضیدان برجسته فرانسوی، هانری پوانکاره[7]، نظری مشابه را مطرح ساخت. برهان‌های انشتین از براهین پوانکاره که این مسئله را بیشتر از دیدگاه ریاضی بررسی می‌نمود، فیزیکی‌تر بودند. معمولاً این نظریه نوین را به انشتین نسبت می‌دهند، اما نام پوانکاره بعنوان کسی که سهم بزرگی در آن دارد، بیاد خواهد ماند.

فرض بنیادین نظریه نوین که نسبیت نام گرفت، این بود که برای همهٔ ناظرانی که حرکت آزاد دارند، سرعتشان هر چه باشد، قوانین علم یکسان است. این اصل در مورد قوانین حرکت نیوتن صادق بود، اما اینک دامنه آن گسترش می‌یافت و شامل نظریه ماکسول و سرعت نور نیز می‌گردید: برای همهٔ ناظران، سرعتشان هر چه باشد، سرعت نور ثابت است. این مفهوم ساده نتایج مهمی را به ارمغان آورد. شاید معروفترین آنها، هم ارز بودن انرژی و جرم است که در قالب فرمول معروف انشتین بیان گردید: $E = mc^2$ (E بیانگر انرژی است و m جرم را نشان می‌دهد و c سرعت نور است)، یا آنکه هیچ چیزی نمی‌تواند سریعتر از نور حرکت کند. طبق اصل هم ارزی انرژی و جرم، انرژی حرکتی یک جسم بر جرمش می‌افزاید. به دیگر سخن، افزایش سرعت جسم دشوارتر می‌گردد. این پدیده تنها برای اشیائی که نزدیک به سرعت نور حرکت می‌کنند، اهمیت می‌یابد. برای مثال، در سرعتی معادل ده درصد سرعت نور، تنها نیم درصد بر جرم طبیعی جسم افزوده می‌شود در حالی که در سرعتی معادل ۹۰ درصد سرعت نور، جرم جسم بیش از دو برابر خواهد شد. وقتی سرعت شئ به سرعت نور نزدیک می‌شود، جرم آن بیشتر و بیشتر افزایش می‌یابد، بنابراین انرژی بیشتر و بیشتری لازم است تا بازهم برسرعت جسم افزود. در واقع هیچگاه نمی‌توان به سرعت نور دست یافت چرا که آنگاه، جرم شئ

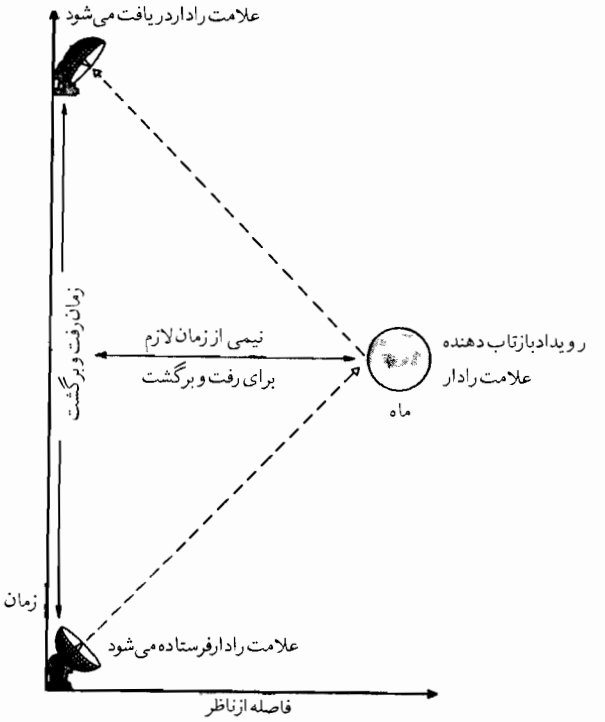
7. Henri Poincaré

بی نهایت می‌شود و نظر به هم ارزی انرژی و جرم، بینهایت انرژی مورد نیاز است تا ما را به سرمنزل مقصود برساند. ازینرو، نسبیت هر شئ معمولی را برای همیشه محکوم به حرکت با سرعتی کمتر از سرعت نور کرده است. تنها نور یا دیگر امواج که ذاتاً از جرم بی بهره‌اند می‌توانند ازین موهبت برخوردار باشند.

پیآمد قابل توجه دیگر نسبیت، ایجاد انقلاب در برداشت ما از زمان و مکان است. بنابرنظریه نیوتن، اگر اشعه‌ای از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر گسیل شود، ناظران متفاوت در مورد مدت زمان سیر نور همداستانند (چرا که زمان مطلق است)، اما لزوماً بر فاصله‌ای که نور پیموده، متفق القول نیستند (چرا که مکان مطلق نیست). از آنجا که سرعت نور برابر با مسافت طی شده بخش بر مدت زمان است، برای ناظران مختلف، سرعت نور یکسان نخواهد بود. از سوی دیگر، بنابر نظریه نسبیت، همهٔ ناظران **باید** سرعت نور را مقداری ثابت اندازه‌گیری کنند. اما هنوز در مورد مسافتی که نور پیموده است همداستان نیستند، بنابراین باید روی زمانی هم که طول کشیده است تا نور این مسافت را بپیماید، همداستان نباشند. (زمان موردنظر مساوی است با مسافتی که نور پیموده ــ که ناظران در این مورد توافقی ندارند ــ تقسیم بر سرعت نور ــ که ناظران در این مورد توافق دارند.) به‌دیگر سخن، نظریه نسبیت فاتحهٔ مفهوم زمان مطلق را خواند! بنظر می‌رسید که هر ناظر خود باید معیاری برای زمان داشته باشد، و ساعتهای مشابه و یکسان که همراه ناظران متفاوت باشد، لزوماً زمان واحدی را نشان نخواهند داد.

هر ناظر می‌تواند با استفاده از رادار و ارسال امواج رادیوئی یا اشعهٔ نور بگوید کی و کجا فلان حادثه اتفاق افتاد. بخشی ازامواج در برخورد با رویداد بازتاب کرده و ناظر زمان دریافت بازتاب را ثبت می‌نماید.

آنگاه زمان رویداد عبارت است ازنصف فاصلهٔ زمانی میان ارسال موج و دریافت بازتاب: مکان رویداد عبارت است از نصف زمان رفت و برگشت، ضربدر سرعت نور. (بدین معنا، یک رویداد، واقعه‌ایست که در نقطهٔ واحدی




**شکل ۲.۱: زمان روی محور عمودی نشان داده شده است و فاصله از ناظر روی محور افقی. مسیر ناظر در فضا و زمان بصورت خط قائم سمت چپ نمایش داده شده است. مسیر پرتوهای نور به‌طرف رویداد و از جانب آن، بصورت خطوط مورب نشان داده شده‌اند.**

از فضا و در لحظه معینی از زمان رخ می‌دهد.) این مفهوم در شکل ۱ــ۲ نمایش داده شده است و نمونه‌ایست از نمودار فضا ــ زمان. ناظران مختلفی که نسبت به‌یکدیگر در حال حرکتند، با کاربست روش فوق، زمان و مکان متفاوتی را به‌یک رویداد واحد نسبت خواهند داد. اندازه‌گیری هیچ یک از ناظران، بر دیگری مزیت و برتری خاصی ندارد اما همهٔ اندازه‌گیریها، بیکدیگر مربوطند. هر ناظری قادر است بطور دقیق محاسبه کند که ناظر دیگر

چه زمان و مکانی را به‌یک رویداد نسبت می‌دهد به‌شرط آنکه سرعت نسبی او را داشته باشد.

امروزه ما برای اندازه‌گیری دقیق مسافات ازین روش سود می‌جوئیم، چرا که زمان را با دقت بیشتری نسبت به مکان می‌توانیم اندازه‌گیری کنیم. درواقع، تعریف متر عبارت است از فاصله‌ای که نور در ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۳۳۳۵۶۴۰۹۵۲ ثانیه می‌پیماید. این اندازه‌گیری بکمک ساعت سزیوم باید انجام شود. (دلیل انتخاب این عدد غریب آنست که با تعریف تاریخی مترسازگار است ــ مترتاریخی فاصله دوعلامت روی یک میلهٔ پلاتینی است که در پاریس نگهداری می‌شود.) به همین سان می‌توان واحد طول نو و راحت‌تری بنام ثانیه نوری را بکار برد. این واحد عبارت است از فاصله‌ای که نور در یک ثانیه می‌پیماید. اینک براساس نظریه نسبیت، مسافت را برحسب زمان و سرعت نور تعریف می‌کنیم، لذا بی درنگ نتیجه می‌گیریم که سرعت نور برای هر ناظری یکسان است (بنابر تعریف، یک متر در هر ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۳۳۳۵۶۴۰۹۵۲ ثانیه) و نیازی به‌معرفی مفهوم اتر نیست. همانطور که آزمایش مایکلسون ــ مورلی نشان داد به‌هیچ طریق نمی‌توان حضور اتر را نمایان و پدیدار ساخت. نظریه نسبیت، اما ناگزیر وادارمان می‌کند تا در عقاید خود در مورد زمان و مکان تجدیدنظری بنیادین به‌عمل آوریم. باید بپذیریم که زمان به کلی جدا و مستقل از مکان نیست بلکه پیوسته با آن، چیز جدیدی را بنام فضا ــ زمان شکل می‌دهد.

بطور معمول هر نقطه از فضا را با سه عدد یا مختصات نشان می‌دهند. مثلاً می‌توان گفت یک نقطه از یک اتاق بفاصله ۷ فوت از یک دیوار، ۳فوت از دیوار دیگر و ۵ فوت بالای کف اتاق قرار دارد. یا آنکه نقطه‌ای در عرض جغرافیائی و طول جغرافیائی معین و در ارتفاع معینی از سطح دریا می‌باشد. دست ما برای انتخاب هر مختصات مناسب سه‌گانه باز است، اگر چه دامنه اعتبار آنها نامحدود نیست. نمی‌توان موقعیت ماه را برحسب اینکه چند مایل شمال و چند مایل غرب میدان فردوسی و چند فوت برفراز سطح دریاست،

تعیین نمود. در عوض می‌توان موقعیت ماه را برحسب فاصله اش از خورشید، از صفحهٔ مدار سیارات، و زاویه میان خطی که خورشید را به ستاره همسایه اش، مثلاً آلفا سنتوری[8]، متصل می‌سازد، مشخص ساخت. حتی این مختصات هم در توصیف موقعیت خورشید در کهکشان ما یا موقعیت کهکشان ما در گروه محلی کهکشانها چندان کارساز نیست. در واقع می‌توان تمامی عالم را چونان مجموعه ای از تکه های همپوش[9] و روی هم افتاده تصور نمود. درهر تکه می‌توان مجموعهٔ متفاوتی از مختصات سه گانه را مورد استفاده قرار داد و موقعیت نقطه ای را تعیین نمود.

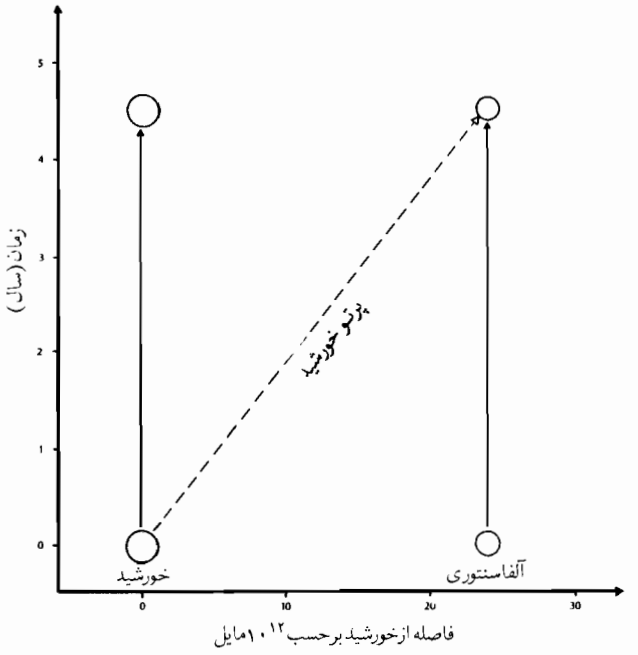
یک رویداد، در نقطه ای معین از فضا و در زمانی مشخص اتفاق می افتد. بنابراین هر رویداد را می‌توان با چهار عدد یا مختصات مشخص نمود. باز، انتخاب مختصات دلخواه است؛ مختاریم که هر مختصات سه گانه مکانی تعریف شده و هر واحد زمانی را برگزینیم. در نظریه نسبیت، تمایز اساسی بین مختصات فضا و زمان وجود ندارد، همانطور که دو دستگاه مختصات نیز تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. می‌توان دستگاه مختصات جدیدی را برگزید که در آن، نخستین مؤلفه، ترکیبی از مؤلفه های اول و دوم دستگاه قبلی باشند. مثلاً بجای تعیین مختصات نقطه ای برحسب آنکه چند مایل در شمال و چند مایل در غرب میدان فردوسی واقع شده است، می‌توان دید آن نقطه چند مایل در شمال شرق و چند مایل در شمال غرب میدان فردوسی قرار دارد. بطور مشابه در نسبیت می‌توان از یک مختصات جدید زمانی ــ که همان زمان متعارف باشد (برحسب ثانیه)ــ باضافهٔ فاصله (برحسب ثانیه نوری) از میدان فردوسی، سود جست.

تصور یک رویداد با چهار مؤلفه در یک دستگاه مختصات چهار بعدی بنام فضاــزمان، غالباً روشنگر و چاره‌ساز است. البته تصور یک فضای

8. Alpha Centauri
9. Overlapping

چهار بعدی محال است. شخصاً، گاه حس می‌کنم تصور فضای سه بعدی هم برایم دشوار است! اما رسم نمودارهای دو بعدی، مثل سطح زمین، آسان است. (سطح زمین دو بعدی است زیرا هر نقطهٔ آن را می‌توان با دو مؤلفه مشخص کرد: عرض و طول جغرافیائی.) معمولاً نمودارهایی را بکار خواهم برد که در آن‌ها، زمان روی محور عمودی نمایش داده می‌شود و یکی از بعدهای مکانی روی محور افقی مشخص می‌گردد. از دو بعد دیگر مکانی صرف نظر می‌کنم و یا گهگاه یکی از آنها را در نمودار سه بعدی نشان خواهم داد. (اینها نمودارهای مکانی ــ زمانی می‌باشند مثل شکل ۱ــ۲) مثلاً در شکل ۲ــ۲، زمان بر محور عمودی بر حسب سال و فاصله برحسب مایل در امتداد خطی که خورشید را به آلفا سنتوری وصل می‌کند، بطور افقی نمایش داده شده‌اند. مسیرهای خورشید و آلفا سنتوری در دستگاه مکان ــ زمان با خطوط عمودی سمت چپ و راست نمودار نشان داده شده‌اند. پرتو خورشید، مسیر نقطه‌چین را می‌پیماید و چهار سال طول می‌کشد تا از خورشید به آلفا سنتوری برسد.

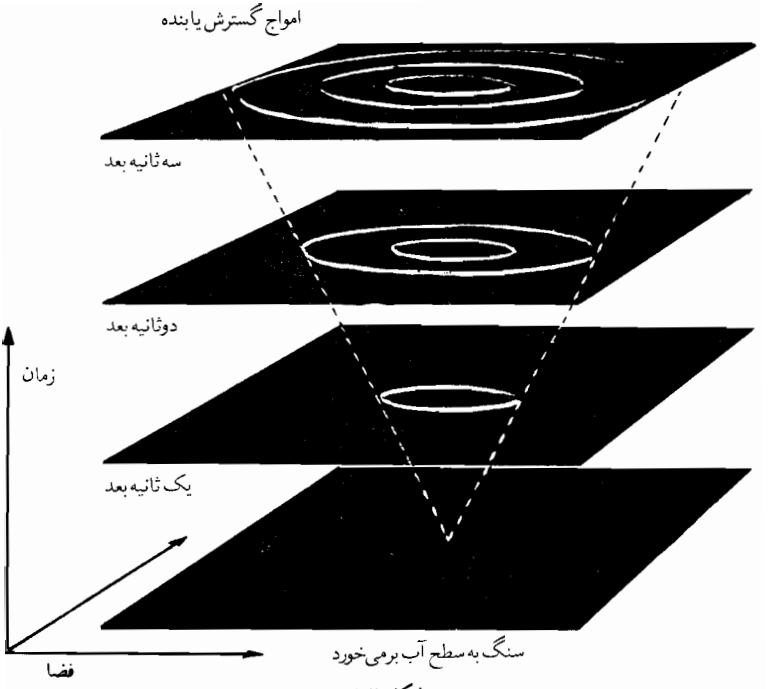
قبلاً گفتیم که براساس قانون ماکسول، سرعت منبع نور هر چه باشد، سرعت نور ثابت است و این امر با اندازه‌گیریهای دقیق تأیید شده است. در نتیجه اگر در نقطه معینی از فضا و در لحظهٔ خاصی از زمان، شعاعی از نور منتشر شود، آنگاه هر چه زمان می‌گذرد، چونان کره‌ای نورانی که اندازه و موقعیت آن مستقل از سرعت منبع نور است، درفضا گسترده خواهد گردید. پس از یک میلیونیم ثانیه، انتشار نور کره‌ای به شعاع ۳۰۰ متر شکل می‌دهد؛ پس از دو میلیونیم ثانیه، شعاع کره به ۶۰۰ متر خواهد رسید؛ و قس علیهذا. چونان امواجی که براثر پرتاب سنگ در یک آبگیر بوجود می‌آیند، دایره‌هایی شکل می‌گیرند که با گذشت زمان بزرگتر و بزرگتر می‌شوند. مدل سه بعدی‌ای را مجسم نمائید که سطح آب آبگیر دو بعد و زمان بعد دیگر این مدل را تشکیل دهند، دایره‌های مواج گسترش یابنده، مخروطی به‌وجود می‌آورند که رأس آن، همان نقطه و زمانی است که سنگ به آب برخورد کرد (شکل ۳ــ۲).



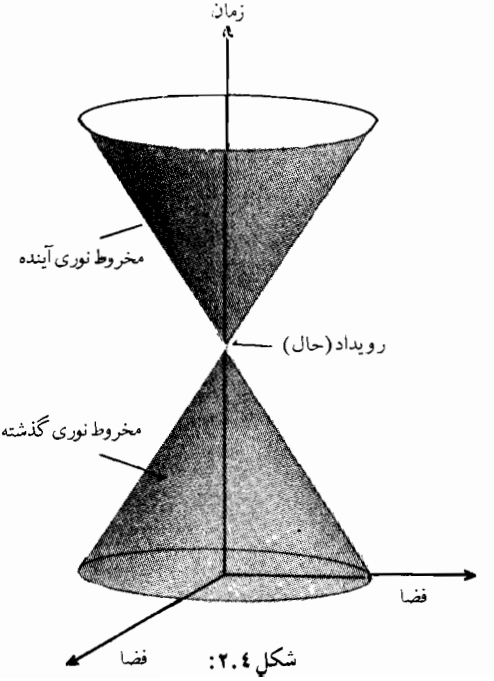

**شکل ۲.۲:**

به‌همـین ترتیـب، انـتشـار نـور بر اثر یک رویـداد، مـخـروطی سه بعدی را در دستگاه فضـا ــ زمان چهـار بعدی بوجود می‌آورد که مـخروط نوری آیندهٔ رویداد نام داد. به‌روشی مشابه، مخروطی دیگر را می‌توان رسم نمود که مخروط نوری گذشته نـامیده می‌شود و مجموعه‌ای از رویـدادهاست که بوسیله آنها، نور قادر است به‌یک رویداد مفروض برسد (شکل ٤ ــ ۲).

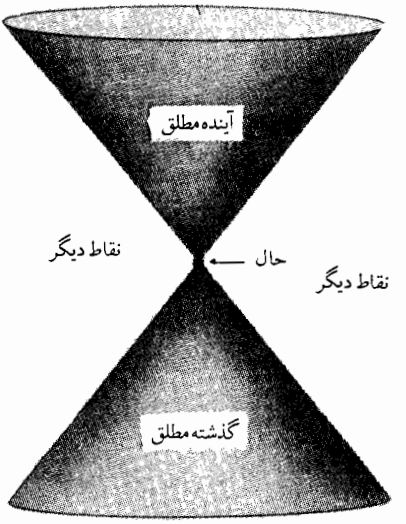
مخروط های نوری گذشـتـه و آینده رویداد P مکان ــ زمـان را بـه‌سه ناحـیه تقسیم مـی‌کنـد (شکل ۵ ــ ۲). آینده مطلق رویداد درون مخروط نوری آیندهٔ P اسـت و مجـموعه از همهٔ رویـدادهایی است که مـحتملاً می‌تـوانند از آنـچـه در P روی مـی‌دهـد، مـتـأثـر گـردنـد. عـلائـم گسـیـل شـده از P به‌رویدادهای خارج مخروط نـوری آیندهٔ P دسترسی ندارند چرا که هیچ چیز


امواج گسترش یابنده
سه ثانیه بعد
دوثانیه بعد
یک ثانیه بعد
زمان
فضا
سنگ به سطح آب برمی‌خورد

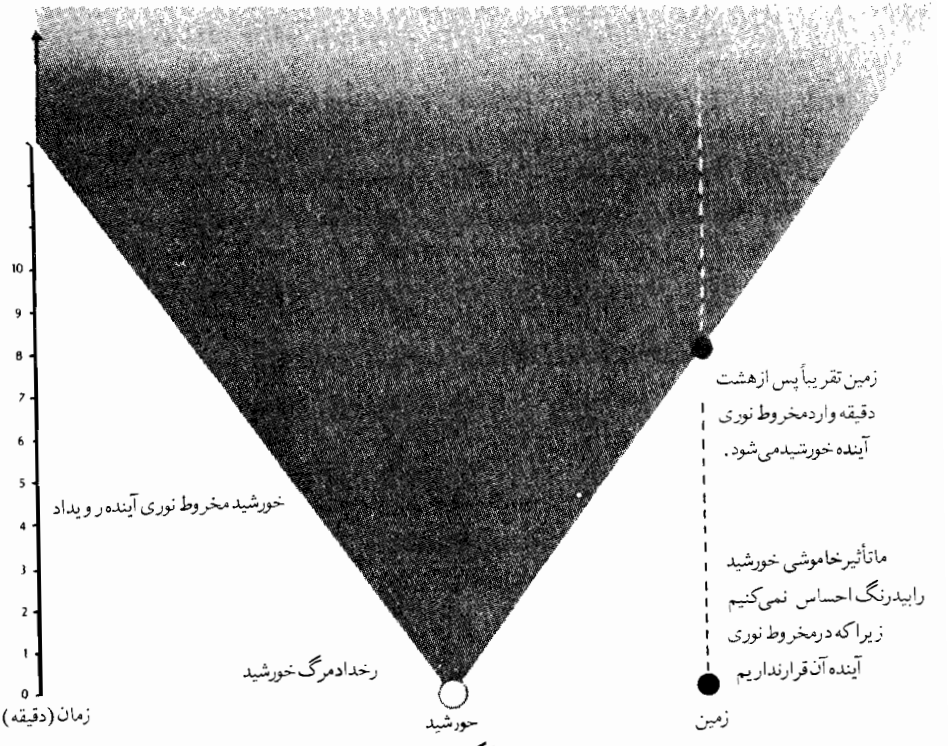
**شکل ۲.۳:**


زمان
مخروط نوری آینده
رویداد (حال)
مخروط نوری گذشته
فضا
فضا

**شکل ۲.٤:**


آینده مطلق
نقاط دیگر
حال
نقاط دیگر
گذشته مطلق

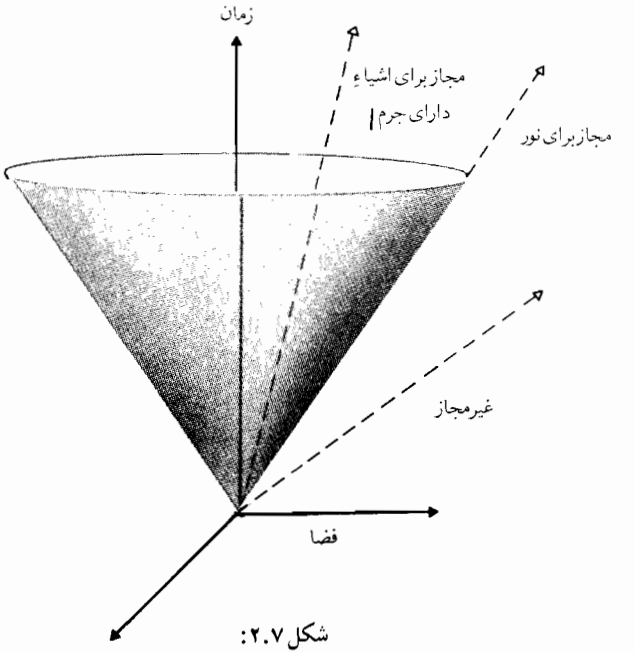
**شکل ۲.۵:**


10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
زمان (دقیقه)
خورشید مخروط نوری آینده را ویداد
رخداد مرگ خورشید
خورشید
زمین تقریباً پس از هشت دقیقه وارد مخروط نوری آینده خورشید می‌شود.
ما تأثیر خاموشی خورشید را بیدرنگ احساس نمی‌کنیم زیرا که در مخروط نوری آینده آن قرار نداریم
زمین

**شکل ۲.۶:**

سریعتر از نور حرکت نمی‌کند. بنابراین، آنچه در P می‌گذرد تأثیری بر این رویدادها ندارد. گذشته مطلق P درون مخروط نوری گذشته قرار دارد و مجموعه‌ای از رویدادهاست که علائم آنها با سرعت نور یا کمتر از آن حرکت می‌کنند و می‌توانند به P برسند. ازینرو، این مجموعهٔ همه رویدادهائی است که محتملاً بر آنچه در P می‌گذرد، تأثیر داشته‌اند. اگر کسی خبر داشته باشد که در زمان معین، در همهٔ نقاط ناحیه‌ای از فضا که درون مخروط نوری گذشته P واقع شده‌است، چه چیزهائی رویداده است، می‌تواند پیش‌بینی کند که در P چه چیز رخ خواهد داد. همهٔ نقاط دیگر، ناحیه‌ای از فضا ــ زمان را تشکیل می‌دهند که در مخروط نوری آینده یا گذشتهٔ P قرار ندارند. آنها نه بر رویدادهای P تأثیر می‌گذارند و نه از آن تأثیر می‌پذیرند. مثلاً اگر قرار باشد خورشید در همین لحظه از درخشش باز بماند، این حادثه بلافاصله چیزی را روی زمین تحت تأثیر قرار نخواهد داد چرا که اگر P حادثه خاموشی خورشید در لحظه‌ای معین باشد، زمین و موجودات روی آن، در هنگام خاموشی خورشید، خارج از مخروط نوری P قرار دارند (شکل ٦ ــ ٢). تنها هشت دقیقه بعد ما ازین حادثه مطلع خواهیم شد چرا که هشت دقیقه طول می‌کشد تا نور از خورشید به زمین برسد. آنگاه رویدادهای روی زمین درون مخروط نوری آینده خاموشی خورشید قرار می‌گیرند. ازینروست که ما از آنچه در حال حاضر در دوردستهای جهان رخ می‌دهد آگاه نیستیم: نوری که از کهکشانهای دوردست به‌ما می‌رسد، میلیونها سال قبل از آنها گسیل شده است، و نور دورترین شئ که بوسیله بشر رؤیت شده است، هشت هزار میلیون سال قبل براه افتاده است. بنابراین، وقتی که به‌عالم نظر می‌کنیم، نظاره‌گر جهانی متعلق به گذشته می‌باشیم.

اگر کسی از تأثیرات گرانش صرفنظر کند، یعنی همان کاری که انشتین و پوانکاره در سال ۱۹۰۵ کردند، به‌نظریه نسبیت خاص دست خواهد یافت. برای هر حادثه‌ای در فضا ــ زمان می‌توان مخروطی نوری ساخت (مجموعهٔ همهٔ مسیرهای ممکن نور در فضا ــ زمان که از آن رویداد منتشر




شکل ۲.۷:

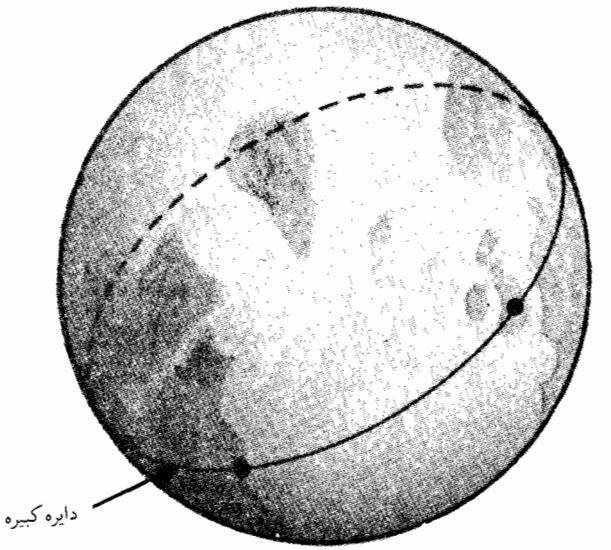
می‌شوند)، و از آنجا که سرعت نور در هر جهت و برای هر رویداد ثابت است، همهٔ مخروط‌های نوری یکسان بوده و همگی همسو و هم جهت می‌باشند. نظریه همچنین می‌گوید که هیچ چیز سریعتر از نور حرکت نمی‌کند، یعنی مسیر هر شئ را درون فضا و زمان باید بوسیله خطی که در مخروط نوری هر رویداد مربوط به‌آن واقع است، نمایش داد (شکل ۷ــ۲).

نظریه نسبیت خاص در توضیح این پدیده که سرعت نور برای همهٔ ناظران ثابت است (همچنانکه آزمایش مایکلسون ـ مورلی نشان داد) بسیار موفق بود و بخوبی توانست آنچه را که در اثر سرعت های نزدیک به‌سرعت نور برای یک شئ اتفاق می‌افتد، توضیح دهد امّا با اینهمه با نظریه گرانش نیوتن همساز نبود. نیوتن می‌گفت که اجسام یکدیگر را با نیروئی که بفاصلهٔ میان

آنان بستگی دارد، جذب می‌کنند. یعنی اگر یکی از آنان را جابجا کنیم، نیروی وارد بر دیگری همزمان با این جابجائی دستخوش تغییر می‌گردد. یا به دیگر سخن تأثیرهای گرانشی بجای آنکه مطابق با نظریه نسبیت خاص، با سرعت نور یا کمتر از آن، سیر کنند، با سرعت بی نهایت اثر می‌کنند. بین سالهای ۱۹۰۸ تا ۱۹۱٤ انشتین چندین بار کوشید نظریه گرانشی تدوین کند که با نسبیت خاص همساز باشد اما موفق نشد. سرانجام در سال ۱۹۱۵، نظریه‌ای را مطرح ساخت که امروز بنام نسبیت عام معروف است.

انشتین این ایدهٔ انقلابی را عرضه کرد که گرانش نیروئی همانند سایر نیروها نیست، بلکه نتیجه این واقعیت است که فضا ــ زمان آنطور که تا آن روزگار تصور می‌رفت، مسطح نمی‌باشد: فضا ــ زمین به سبب توزیع جرم و انرژی، خمیده و یا دارای «پیچ و تاب» است. حرکت اجسامی چون زمین برمدارهایی خمیده بخاطر اعمال نیروی جاذبه نیست، بلکه آنها در فضائی خمیده و پر پیچ و تاب مسیری را که کاملاً مشابه خط راست است و ژئودزیک نام دارد، می‌پیمایند. ژئودزیک، کوتاهترین (یا طولانیترین) مسیر بین دو نقطهٔ مجاور است. مثلاً سطح زمین، فضای خمیده و دو بعدی است. یک ژئودزیک روی سطح زمین، دایره‌ای کبیره است و نشانگر کوتاهترین راه میان دو نقطه است (شکل ۸ــ۲). از آنجا که ژئودزیک کوتاهترین مسیر بین دو فرودگاه است، جهت‌یاب خودکار هواپیما نیز همین راه را به خلبان نشان می‌دهد. در نسبیت عام، اجسام همواره در فضای چهاربعدی خطوط مستقیم را می‌پیمایند، اما با این وجود، ما می‌پنداریم که آنها در فضای سه‌بعدی در راستای مسیری خمیده حرکت می‌کنند. (این موضوع تا حدودی مانند مشاهده پرواز هواپیمائی بر فراز تپه‌هاست. اگر چه هواپیما خود در فضای سه بعدی مسیری مستقیم را طی می‌کند، اما سایه‌اش، مسیری خمیده را برسطح زمین دو بعدی می‌پیماید.)

جرم خورشید فضا ــ زمان را چنان دچار انحنا می‌سازد که گرچه زمین راهی مستقیم را در فضا ــ زمان چهار بعدی در می‌نوردد، در فضای سه‌بعدی

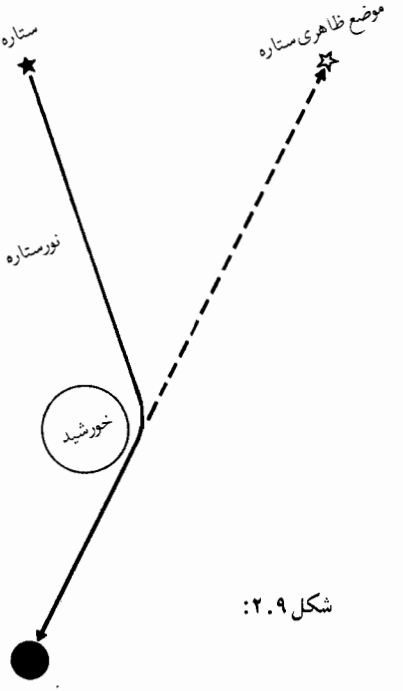



**شکل ۲.۸:**

بنظر می‌رسد مداری دایره شکل را می‌پیماید. در حقیقت مدار سیارات براساس نسبیت عام درست برابر پیش بینی نظریه نیوتونی گرانش است. اما در مورد عطارد قضیه قدری متناوب است. این سیاره نزدیکترین سیارات به خورشید است و بیشترین تأثیر گرانشی برآن وارد می‌شود و مداری نسبتاً کشیده دارد. نسبیت عام می‌گوید که محور اطول بیضی، هر دو هزار سال یکدرجه بدور خورشید می‌چرخد. اگر چه این چرخش بسیار ناچیز است، اما پیش از سال ۱۹۱۵ از آن آگاهی داشتند و از نخستین شواهدی بود که نظریه انشتین را تأیید می‌کرد.

شعاع های نور نیز باید مسیرهای ژئودزیک را در فضا—زمان بپیمایند. این حقیقت که فضا خمیده است باز به این معناست که نور دیگر خطوط راست را طی نمی‌کند. لذا نظریه نسبیت عام پیش بینی می‌کند که نور باید در

میدانهای گرانشی خمیده شود. برای مثال، نظریه می‌گوید مخروطهای نوری نقاط نزدیک خورشید باید بخاطر جرم خورشید، کمی بطرف داخل خم شوند. بنابراین نوری که از ستاره‌ای دور دست گسیل شده و تصادفاً از نزدیکی خورشید می‌گذرد با زاویهٔ کوچکی از مسیر خود منحرف می‌شود و ستاره بدیدهٔ ناظر زمینی، در گوشه دیگری از آسمان پدیدار می‌گردد (شکل ۹ــ۲). البته




شکل ۲.۹:

اگر نور این ستاره همواره از نزدیکی خورشید می‌گذشت ما نمی‌توانستیم بگوئیم که آیا شعاع نور منحرف گردیده است یا آنکه ستاره براستی سرجای واقعی خود قرار دارد. اما زمین بگرد خورشید در حرکت است و ستارگان مختلف بظاهر از پس خورشید می‌گذرند و نورشان دچار انحراف می‌شود. بنابراین موقعیت ظاهری آنها نسبت به‌دیگر ستارگان دستخوش تغییر می‌گردد.

معمولاً مشاهده این پدیده بسیار دشوار است زیرا نور خورشید مانع از رؤیت ستارگانی می‌شود که در آسمان در نزدیکی خورشید قرار می‌گیرند. با اینهمه به هنگام کسوف خورشید، وقتی ماه از عبور نور خورشید جلوگیری می‌کند، این امر امکان‌پذیر می‌شود. در سال ۱۹۱۵ و در هنگامهٔ جنگ جهانی اول، امکان‌نداشت پیش‌بینی انشتین درباره انحراف نور به‌محک تجربه سنجیده شود. تا آنکه در سال ۱۹۱۹ یک گروه تحقیقاتی انگلیسی، دست به‌رصد کسوف خورشید از غرب افریقا زد و معلوم شد که مطابق پیش‌بینی های نظریه، خورشید براستی نور را منحرف می‌سازد. اثبات نظریه آلمانی توسط دانشمندان انگلیسی بعنوان آشتی دو کشور پس از جنگ، بگرمی مورد استقبال قرار گرفت. نکته طعنه‌آمیز اینجاست که بررسی ها و آزمایش های بعدی که روی عکس های هیئت انگلیسی انجام شد، نشان داد که میزان خطاهای آزمایش، به‌اندازهٔ میزان انحرافی بود که آنها در پی سنجیدنش بودند. اندازه گیری گروه انگلیسی، چه حاصل تصادف صرف باشد و چه ناشی از آگاهی از نتیجهٔ آزمایش، پدیده‌ای نادر در علم نیست. با اینهمه انحراف نور بطور دقیق توسط آزمایش های بعدی مورد تأیید قرار گرفته است.

پیش‌بینی دیگر نسبیت عام آنست که در نزدیکی یک جسم دارای جرم مثل زمین، گذشت زمان کند می‌شود. این امر ناشی از رابطه میان انرژی نور و بسامد آن است (یعنی تعداد امواج در هر ثانیه): هرچه انرژی بیشتر باشد، فرکانس بیشتر می‌شود. وقتی نور در میدان‌گرانشی زمین به‌سمت بالا می‌رود، انرژی از دست می‌دهد و بنابراین بسامدش کاهش می‌یابد. (یعنی فاصله زمانی بین دو تاج موج متوالی بیشتر می‌شود.) به‌نظر کسی که در ارتفاع بالاست، رویدادها درآن پائین کندتر اتفاق می‌افتند. این پیش‌گویی در سال ۱۹۶۲ به‌محک آزمایش گذاشته شد و نظریه روسپید از آب درآمد. آزمایش بوسیلهٔ دوساعت دقیق که در بالا و پائین برجی نصب شده بود، انجام گردید. ساعتی که در پائین قرار داشت و به‌زمین نزدیکتر بود، در انطباق کامل با نظریه نسبیت عام، کندتر از دیگری کار می‌کرد. امروزه با توجه به‌ساختن

جهت‌یابهای دقیق که براساس علائم دریافتی از ماهواره‌ها کار می‌کنند، تفاوت سرعت ساعتها در ارتفاعات مختلف نسبت به‌زمین، اهمیت عملی قابل توجهی پیدا کرده است. چنانچه پیش‌بینهای نسبیت عام را نادیده بیانگاریم، در محاسبه مقصد چندین مایل خطا خواهیم کرد!

قانون حرکت نیوتن مفهوم مکان مطلق را بی‌اعتبار ساخت و نظریه نسبیت فاتحه زمان مطلق را خواند. دو فرد دو قلو را درنظر بگیرید. فرض کنید یکی از آنها راه کوهستان در پیش گیرد و در قله کوهی مسکن گزیند و دیگری در ساحل دریا اقامت کند. اولی زودتر از دومی پیر خواهد شد. بنابراین اگر روزی یکدیگر را ملاقات کنند، یکی از دیگری سالخورده‌تر است. البته اختلاف سنی آنها ناچیز است، اما اگر یکی از دوقلوها سوار بر فضاپیمائی شود و با سرعتی نزدیک به‌سرعت نور برای مدتی مدید عزم سفر کند، اختلاف سنی آنها بسیار زیادتر خواهد گردید. وقتی مسافر ما به‌زمین بازگردد، از دیگری بسیار جوان‌تر خواهد بود. این قضیه به‌پارادوکس دوقلوها معروف است، اما پارادوکس برای کسانی که هنوز در ته دل خود به‌مفهوم زمان مطلق باور دارند. در نظریه نسبیت هیچ زمان مطلق واحدی وجود ندارد، در عوض هر کس برای خود واحد زمانی دارد که به‌مکان او و چگونگی حرکتش وابسته است.

پیش از سال ۱۹۱۵، فضا و زمان قلمروهای ثابتی انگاشته می‌شدند که رویدادها در آنها شکل می‌گرفتند امّا آنها از رویدادها تأثیر نمی‌پذیرفتند. این امر حتی در مورد نسبیت خاص نیز صادق بود. اجسام حرکت می‌کردند، نیروها به‌کار جاذبه یا دافعه مشغول بودند، اما زمان و مکان تأثیرناپذیر و بی‌اعتنا امتداد می‌یافتند. همه بطور طبیعی می‌پنداشتند که فضا و زمان تا ابد ادامه خواهند یافت.

اما در پرتو نظریه نسبیت عام، وضع کاملاً فرق کرده است. فضا و زمان اینک کمیت‌هائی پویا هستند: وقتی جسمی حرکت می‌کند یا نیروئی اعمال می‌شود، انحنای فضا و زمان را تغییر می‌دهد و ساختمان فضا ــ زمان

به‌نوبه خود شیوهٔ حرکت اجسام و اعمال نیروها را متأثر می‌سازد. فضا و زمان نه تنها تأثیر گذارند بلکه از آنچه در پهنه هستی رخ می‌دهد، متأثر می‌شوند. همانطور که بدون مفاهیم فضا و زمان نمی‌توان از رویدادهای جهان سخن گفت، در نسبیت عام سخن از فضا و زمان فراتر از مرزهای جهان بی معناست.

این معرفت و آگاهی تازه از فضا و زمان در دهه‌های بعدی، نظرگاه ما از جهان را دستخوش دگرگونی و انقلاب نمود. مفهومِ کهنِ جهانی اساساً تغییرناپذیر که احتمالاً همواره وجود داشته است و برای همیشه به‌موجودیت خود ادامه می‌دهد، جای خود را به‌تصویری پویا و گسترش یابنده از جهان داد. جهانی که ظاهراً در زمانی معین آغاز شده و ممکن است در زمان معینی درآینده پایان یابد. این انقلاب موضوع فصل بعدی است. و سالها بعد، همین موضوع نقطهٔ آغاز کار من در فیزیک نظری شد. راجر پن‌روز و من نشان دادیم که نظریه نسبیت عام انشتین، متضمن آغازی ناگزیر برای جهان و پایانی احتمالی برای آنست.

# ۳

# جهـــان گسترش یابنـــده

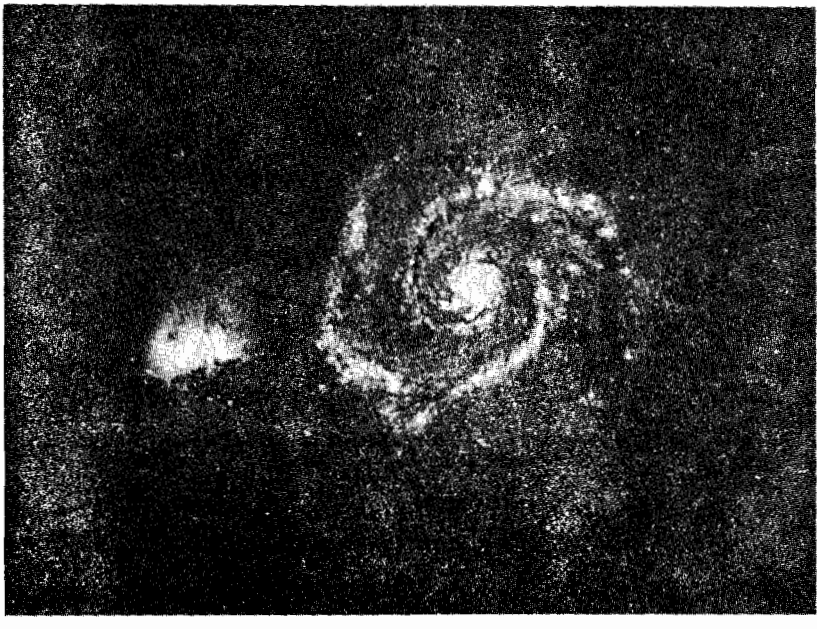
اگر یک شب که هوا صاف است و از ماه خبری نیست به آسمان بنگریم، احتمالاً زهره، مریخ، مشتری، وکیوان رادرخشنده ترازدیگرستارگان و سیارات خواهیم یافت. تعداد بسیار زیادی ستاره نیز که درست مثل خورشید خودمان هستند، در دوردستها پرتوافشانی می‌کنند. بنظر می‌رسد برخی ازین ستارگان ثابت، با حرکت زمین در مدار خود، اندکی وضعیت خود را نسبت به یکدیگر تغییر می‌دهند: در حقیقت آنها به هیچ وجه ثابت نیستند! این بدلیل آنست که این ستارگان بطور نسبی در نزدیکی ما قرار دارند. چون زمین به گرد خورشید می‌گردد، ما از وضعیت های مختلف، آنها را در زمینهٔ ستارگان دوردست تر رؤیت می‌کنیم. این پدیده از خوش اقبالی ماست چرا که ما را قادر می‌سازد مستقیماً فاصلهٔ این ستارگان را از زمین حساب کنیم: هر چه بما نزدیکتر باشند، بنظر بیشتر جابجا می‌شوند. نزدیکترین ستاره بنام پراکسیما سنتوری (قنطروس)، چهار سال نوری (تقریباً چهار سال طول می‌کشد تا نور آن

بما برسد)، یا در حدود بیست و سه میلیون میلیون مایل ازمافاصله دارد. بیشتر ستارگانی که با چشم غیرمسلح دیده می‌شوند در ناحیه ای از فضا به شعاع چند صد سال نوری از ما پراکنده‌اند. برای مقایسه می‌توان گفت خورشید ما تنها هشت دقیقه نوری از ما فاصله دارد! ستارگان مرئی ظاهراً درسراسرآسمان شبانگاهی پراکنده‌اند، اما در واقع به‌طور مشخص همگی اعضای گروه واحدی هستند که ما آن را راه‌شیری نام نهاده‌ایم. تا سال ۱۷۵۰، بعضی ستاره‌شناسان برآن بودند که نمود و ظهور راه شیری را تنها به‌شرطی می‌توان توجیه نمود که بیشتر ستارگان مرئی، درمجموعهٔ دایره مانند واحدی قرار داشته باشند. یک نمونه ازین مجموعه همان چیزی است که ما اینک کهکشان مار پیچی می‌نامیم. تنها چند دهه بعد، سرویلیام هرشل ستاره‌شناس، در رهگذر فهرست کردن موقعیت و فاصله تعداد وسیعی از ستارگان که متضمن زحمت و تلاش بسیار بود، ایدهٔ بالا را مورد تأیید قرار داد. با اینهمه، این فکر تنها در اوایل قرن اخیر پذیرش عام یافت.

تصویر نوین ما از جهان از سال ۱۹۲٤ شروع به‌شکل گرفتن کرد. در آن سال ستاره‌شناس آمریکائی ادوین هابل نشان داد که کهکشان ما تنها کهکشان جهان نیست. کهکشان‌های بسیار دیگری نیز درعالم هست که مابین آنها نواحی خالی وسیعی قرار گرفته است. برای اثبات این موضوع، لازم بود فاصلهٔ کهکشان‌های دیگر از زمین محاسبه شود. این کهکشانها چندان از زمین دور بودند که برخلاف ستارگان نزدیکتر، واقعاً ثابت به‌نظر می‌رسیدند. ازینروهابل ناگزیر بود که برای تعیین فاصله‌ها از روش‌های غیرمستقیم بهره گیرد. روشنائی ظاهری یک ستاره بدوعامل وابسته است: چقدر نور تشعشع می‌کند (درخشندگی)، و چقدر از ما فاصله دارد. ما می‌توانیم روشنائی ظاهری و فاصلهٔ ستارگان نزدیک بخود را اندازه بگیریم و از این طریق درخشندگی شان را بدست آوریم. برعکس، اگر ما درخشندگی ستارگان دیگر کهکشانها را بدانیم، با اندازه‌گیری روشنائی ظاهری آنان، فاصله‌شان را تعیین می‌نمائیم. هابل دریافت که برخی انواع ستارگان که

باندازه کافی به‌ما نـزدیک هستند، همواره درخشـندگی ثابتی دارند، بـنابراین مدلل ساخت که اگر مـا چنین ستارگانـی در دیگر کهکشانها یافتیم، می‌توانیم فرض کنیم کـه درخشندگی شان بـرابر با درخشندگـی ستارگان مشابـه خود در کهکشـان ماست ــ به ایـن ترتیـب فاصله آنـها بدسـت می‌آید. اگر بـتوانیم این عملیات را برای تعـدادی از ستارگان یک کهکشـان تکرار کنیم، و محاسبات ماهمواره فاصلهٔ یکسانی را نشان دهد، می‌توانیم از صحت برآورد خود تا حدی مطمئن باشیم.

به این ترتیـب، ادوین هابل فواصل نُه کهکشان را محاسبه نمود. امروز مـی‌دانیـم که کهکشان‌ما یـکی از چـند صدهـزار ملـیون کهـکشانـی است که بـکمک تلسکوپ هـای مدرن دیده شده‌اند، و هر کهـکشان خود چند صد هزار ملـیون ستاره دربر دارد. شـکل ۱ــ۳ تصـویر کهکشان مار پـیچی ای را نشان



شکل ۱.۳:

می‌دهد که به گمان ما شبیه تصویر کهکشان ما برای ناظری در یک کهکشان دیگر است. ما در کهکشانی زندگی می‌کنیم که قطر آن تقریباً یکصد هزار سال نوری است و همواره در حال چرخش است؛ ستارگان واقع در بازوهای مار پیچی اش، هر چند صدملیون سال یکبار حول مرکزش یکدور می‌زنند. خورشید ما ستاره‌ای معمولی، زردرنگ و میان جثه است که در نزدیکی لبهٔ داخلی یکی از بازوهای مار پیچ قرار دارد. بیگمان از زمان ارسطو و بطلمیوس که زمین را مرکز عالم می‌پنداشتیم، راهی بس دراز طی کرده‌ایم!

ستارگان چنان از ما دورند که باندازه سرسوزنی بنظرمی‌رسند. ما قادر به دیدن شکل و اندازه آنها نیستیم. پس چطور می‌توانیم انواع مختلف آنها را دسته بندی کنیم؟ بخش اعظم ستارگان، تنها دارای یک وجه تمایز قابل رؤیت می‌باشند ــ رنگ نورشان. نیوتن دریافت که نور خورشید هنگام عبور از یک قطعه شیشه به‌شکل مثلث، بنام منشور، به رنگهای متشکله خود (طیف نوری) تجزیه می‌شود، مثل رنگین کمان. هرگاه تلسکوپ را برستاره یا کهکشانی متمرکز نمائیم، بطور مشابهی می‌توانیم طیف نور آن ستاره یا کهکشان را مشاهده نمائیم. ستارگان مختلف، طیفهای مختلف دارند، اما هرگاه نور منتشر شده از یک جسم گداخته سرخ را مورد بررسی قرار دهیم، رنگهای طیف نوری آن همواره نسبتاً روشن بنظر می‌رسند. (درواقع، نور گسیل شده از یک شئ کدر که در اثر گرما گداخته و سرخ شده باشد، طیف مشخصی دارد که تنها به درجه حرارت جسم بستگی دارد ــ طیف گرمائی. در نتیجه با مطالعه طیف نوری یک ستاره می‌توانیم درجه حرارت آن را تعیین کنیم.) علاوه بر این، برخی رنگهای بسیار خاص، در طیف نوری ستارگان وجود ندارد و این رنگها از ستاره به‌ستاره متفاوت است. از سوی دیگر می‌دانیم که هر عنصر شیمیائی، مجموعه مشخصی از رنگهای خاص را جذب می‌کند. بنابراین با مقایسه آنها با رنگهائی که از طیف نوری ستارگان حذف شده‌اند، بطور دقیق می‌توانیم عناصر موجود در جوّ یک ستاره را تعیین نمائیم.

درسالهای ۱۹۲۰ هنگامی که ستاره‌شناسان طیف نوری ستارگان

کهکشانهای دیگر را بررسی می‌کردند، چیزی بس عجیب نظرشان را جلب کرد: مجموعهٔ رنگهایی که در طیف نوری آنان حذف شده بود، همانند ستارگان کهکشان ما بود، اما همگی بطور نسبی بمقدار یکسانی به‌سوی انتهای سرخ طیف جابجا شده بودند. برای آنکه به‌نتایج ضمنی این پدیده پی ببریم، نخست باید با اثر «دوپلر»[1] آشنا شویم. همچنانکه دیده‌ایم، نور مرئی از نوسان‌ها یا موج‌هائی در میدان الکترومغناطیس تشکیل می‌شود. بسامد (یا تعداد موج در ثانیه) نور بسیار زیاد است: از چهار تا هفت صد ملیون ملیون موج در ثانیه. بسامدهای مختلف، به‌دیدهٔ ما بصورت رنگهای مختلف ظاهر می‌شود. پائینترین بسامد در انتهای سرخ طیف نوری و بالاترین بسامد در انتهای آبی آن پدیدار می‌گردد. حالا تصور کنید منبع نوری مثلاً یک ستاره در فاصلهٔ ثابتی از ما قرار دارد و نوری با بسامد ثابت بسوی ما گسیل می‌کند. بدیهی است، بسامد امواج دریافتی با بسامد امواج ارسالی برابر است (میدان گرانشی کهکشان باندازه کافی بزرگ نیست و تأثیر چندانی ندارد). حالا فرض کنید منبع نور به‌سوی ما شروع بحرکت کند، وقتی که دومین تاج موج را گسیل می‌کند، خود در فاصلهٔ کمتری از ما قرار دارد، بنابراین مدت زمانی که طول می‌کشد تا تاج موج به‌ما برسد کمتر از وقتی است که ستاره ساکن بود. در نتیجه، زمان بین دریافت دو تاج موج بوسیله ما، کوتاهتراست، و بنابراین تعداد موجهایی که در هر ثانیه (یعنی بسامد) دریافت می‌کنیم از وقتی که ستاره ثابت بود، بیشتر است. به‌همین ترتیب، اگر منبع نور، از ما دور شود، بسامد امواج دریافتی کمتر خواهد بود. بنابراین با توجه به‌پدیدهٔ فوق متوجه می‌شویم که طیف نوری ستارگانی که از ما دور می‌شوند، به‌سوی انتهای سرخ طیف جابجا می‌شود (انتقال یافته به‌سرخ) و ستارگانی که به‌ما نزدیک می‌شوند، طیف نوریشان به‌سوی انتهای آبی جابجا می‌گردد. در تجربه روزمره نیز به‌این ارتباط میان بسامد و سرعت که اثر دوپلر نامیده می‌شود، بسیار

1. Doppler effect

برمی‌خوریم. به‌صدای ماشینی که از خیابان می‌گذرد، گوش کنید: وقتی بما نزدیک می‌شود، صدای موتور (بخاطر زیاد شدن بسامد امواج صوت) بادانگ (Pitch) بیشتری شنیده می‌شود و چون از ما دور می‌گردد، دانگ صدا کاهش می‌یابد. رفتار نور و امواج رادیوئی نیز بهمین سان است. در واقع پلیس با استفاده از اثر دوپلر و تعیین بسامد امواج رادیوئی بازتابیده از اتوموبیلها، سرعت آنها را مشخص می‌کند.

هابل پس از اثبات وجود کهکشانهای دیگر، سالهای باقی عمر را صرف فهرست کردن فاصله و مطالعهٔ طیف نوری آنها نمود. در آن هنگام بیشتر مردم انتظار داشتند که کهکشانها خط سیری کاملاً تصادفی را بپیمایند و در نتیجه شمار طیفهای انتقال یافته به‌سرخ با طیفهای انتقال یافته به‌آبی برابر باشد. اما با کمال تعجب، طیف بیشتر کهکشانها انتقال یافته به‌سرخ از آب درآمد: تقریباً همگی از ما دور می‌شدند! حیرت‌آورتر از آن چیزی بود که هابل درسال ۱۹۲۹ منتشر کرد: حتی میزان انتقال به‌سرخ طیفها نیزکمیتی تصادفی نیست، بلکه مستقیماً با فاصله کهکشان از ما متناسب است. به‌عبارت دیگر هر چه کهکشان از ما دورتر است، با سرعت بیشتری از ما فاصله می‌گیرد! این اکتشاف به‌معنای آن بود که برخلاف تصور رایج آنزمان، جهان ایستا نیست و در حقیقت مرزهای آن در حال گسترش است. فاصله کهکشانهای مختلف از یکدیگر همواره در حال افزایش است.

کشف اینکه جهان در حال گسترش است یکی از انقلابهای فکری بزرگ قرن بیستم بود. اگر ماوقع را دوباره مرور کنیم، از این که زودتر از اینها کسی به‌این موضوع پی نبرد، دچار شگفتی می‌شویم. نیوتن و دیگران بایستی باین فکر می‌افتادند که جهانی ایستا بزودی زیر تأثیر گرانش شروع به‌انقباض می‌کند. اما فرض کنیم جهان در حال گسترش است. اگر سرعت آن نسبتاً پائین باشد، سرانجام نیروی گرانش موجب توقف و سپس انقباض آن خواهد گردید. در صورتی که جهان با سرعتی بیش از یک سرعت بحرانی در حال گسترش باشد، گرانش هرگز نخواهد توانست آن را متوقف کند و جهان تا ابد

به گسترش خودادامه خواهد داد. ایـن تا حدودی همانند پرتاب موشک از سطح زمین اسـت. اگر سرعـت مـوشک نسبتاً کم باشـد، گرانش سرانـجام آن را از حـرکت بازخـواهد داشت و مـوشـک سقوط خـواهد کرد. از طـرف دیـگر، اگر سرعت موشک از حد معیـن بیشتر بـاشد (تقـریباً هفـت مایل در ثـانیه) گرانش نخواهـد توانست آن را بـاز پس بـکشد و در نتـیجه موشـک همواره از زمـین دور خواهـد شد. این رفتار جـهان، در قـرن نوزدهم، هجدهـم یا حـتی در اواخر قرن هفدهم، از تئـوری گرانش نیوتن قـابل استنبـاط بود. با اینهمه، باور به ایستائی جهان چـنان نیرومـند بود کـه تا اوایل قرن بـیستم پـایدار ماند. حـتی انشـتین، هنگام فرمول بندی نظریه نسبیت عام در سال ۱۹۱۵، چنان به ایستا بودن جهان اطمینان داشت که اصلاحـاتـی در تئوری خود به عمـل آورد تـا آنرا امکان پذیر سازد. او در معادلات خود ثـابتی بنام ثـابت کیهانـی وارد کرد و نیرویی بـنام پادگرانش را مـعرفـی نمود کـه برخـلاف دیگر نیروهـا، از منبع خاصـی ناشی نمی‌شد بـلـکه در کالبـد فضـا ــ زمان نهفـتـه بود. او ادعا کرد که فضـا ــ زمان گرایشی درونی بـه گسترش دارد که دقیـقاً در تقابل بـا خـاصیت جاذبهٔ هـمهٔ اجسام موجود در جـهـان، موجب ثبات و قـرار عالم می‌شود. بـنظر می‌رسد تنـها یک نفر مـــایـل بود نسبیت عـام را با همان شکـل و شمایل دست نـخورده اش بپـذیـرد. هنگـامی که انشتین و دیگر فـیزیـکـدانان در جستجوی راهـی بودند تا مانع از پیش بیـنی جهانی پویا بوسیله نسبیت عام شوند، فیزیکدان و ریاضیدان روسی، الکساندر فریدمان[2] دست به توضیح و تبیین آن زد.

فریدمـان دو فرض بسـیار سـاده دربارهٔ عالـم مطرح نـمود: بـه هر سوی جهان که نظر بـیاندازیم، با دیـگر بخش های آن تفـاوتی ندارد و دیگر آنـکه از هر نقطهٔ دیگری نیز جهان را مورد بررسی قرار دهیم، فرض اول همچنان صادق است. با استفـاده از همین دو فرض، فـریدمان نشان داد که نـباید انتظار داشـته باشیم جهان سـاکـن و ایستا باشد. در واقع سالـها پیش از کشف ادوین هابل،

2. Alexander Friedmann

فریدمان دقیقاً کشفیات او را پیش بینی کرده بود!

اینکه جهان در هر سو یکسان بنظر می‌رسد، به‌وضوح فرض درستی نیست. مثلاً همانطور که دیدیم، ستارگان دیگر در کهکشان ما بانـد نوری متمایزی در آسمان شبانگاهی تشکیل می‌دهند که راه‌شیری نام دارد. اما اگر به کهکشانهای دوردست نگاه کنیم، بنظر می‌رسد کمابیش شمار یکسانی از آنان وجود داشته باشد. بنابراین بشرط آنکه جهان را در ابعاد بسیار بزرگ، در مقایسه با فاصله میان کهکشانها، در نظر آوریم، و اختلاف های موجود در ابعاد خرد را نادیده بگیریم، از هر سو که به جهان نظر کنیم، تصویری تقریباً یکسان دارد. این مطلب، برای مدتی دراز، توجیه مناسبی برای فرض فریدمان به‌شمار می‌رفت ــ یعنی تقریبی نسبی از جهان واقعی. اما اخیراً، حادثه خوش‌یمنی، نشان داد که فرض فریدمان در واقع توصیف دقیقی از جهان ما بدست می‌دهد.

در سال ۱۹۶۵، دو فیزیکدان آمریکائی در آزمایشگاه تلفن بل در نیوجرسی، بنامهای آرنو پنزیاس[3] و رابرت ویلسن[4]، یک آشکارساز بسیار حساس مایکرو ویو را آزمایش می‌کردند. (امواج مایکرو ویو درست مثل امواج نورند اما بسامد آنها از مرتبه ده هزار ملیون در ثانیه است.) آندو متوجه شدند که آشکارساز آنان، بیش از آنکه انتظار می‌رفت، نوفه (Noise) برمی‌گیرد و مشخص نبود نوفه از کدام سو بآنان می‌رسد. نخست مواردی از نقص فنی در آشکارسازشان پیدا شد و آنها به‌دنبال عیوب احتمالی دیگر، دستگاهشان را مجدداً مورد بازرسی قرار دادند و بزودی معلوم شد که دستگاه بخوبی کار می‌کند. آنها می‌دانستند که نوفه‌ای که منبع آن درون جو باشد، وقتی آشکارساز مستقیماً رو به بالا نباشد، قویتر از هنگامی است که رو به بالا باشد، زیرا اشعهٔ نوری که در نزدیکی افق دریافت شود، در مقایسه با نوری که

3. Arno Penzias
4. Robert Wilson

مستقیماً از بالای سرمان دریافت می‌کنیم، مسافت بیشتری را درون جوّپیموده است. آشکارساز را به هر سو که برمی‌گرداندند، نوفه اضافی تغییری نمی‌کرد، بنابراین می‌بایست از خارج جوّ آمده باشد. همچنین میزان نوفه اضافه در طول شب و روز و در سراسر سال با وجود آنکه زمین گرد محور خودش و دور خورشید در حال چرخیدن است، ثابت باقی می‌ماند. در نتیجه سرچشمه آن باید خارج از منظومهٔ شمسی و حتی خارج از کهکشان ما باشد، چرا که در غیر این صورت، حرکت زمین جهت آشکارساز را تغییر می‌داد و باعث تغییر نوفه اضافه می‌گردید. در واقع می‌دانیم که این نوفه باید بیشتر قسمتهای جهان مشاهده‌پذیر را بپیماید تا به‌ما برسد و از آنجا که در جهت های مختلف، ثابت است، جهان نیز باید در همه جهات، هر چند در مقیاس کلان، یکسان باشد. اکنون معلوم شده است که به هر سوئی نظر کنیم، تغییرات این نوفه هیچگاه بیشتر از یک در ده هزار نمی‌شود ــ بنابراین پنزیاس و ویلسون بدون نقشهٔ قبلی گواه نیرومندی در تأیید فرض اول فریدمان فراهم آوردند.

تقریباً همزمان با پنزیاس و ویلسون، ودرنزدیکی آنها، دوفیزیکدان آمریکایی دیگر بنام «باب دیک»[5] و «جیم پی بلز»[6] در دانشگاه پرینستون به میکروموجها علاقمندشده بودند. آنها مشغول کار روی موضوعی بودند که جرج گاموف[7] (که زمانی شاگردفریدمان بود) مطرح نموده بود. او گفته بود که در آغاز، جهان باید بسیار چگال وگداخته بوده باشد، چندان گداخته که نورسفیدازآن منتشر می‌شده. «دیک» و «پی بلز» استدلال می‌کردند که ما هنوز باید بتوانیم تابش جهان آغازین را ببینیم زیرا نور بخش های بسیار دوردست آن، تازه دارد بما می‌رسد. اما بدلیل گسترش یافتن جهان، نور موردنظر باید چندان انتقال یافته به سرخ باشد که اصلاً بصورت میکروموج بنظر ما برسد. «دیک» و «پی بلز» داشتند خود را برای جستجوی این میکروموج آماده می‌کردند که

5. Bob Dicke
6. Jim Peebles
7. George Gamow

پنزیاس و ویلسون از کار آنها خبردار شدند و متوجه گردیدند که قبلاً آن را یافته‌اند. ازینرو جایزه نوبل سال ۱۹۷۸ به آنان اهدا شد (این امر ظاهراً باید بر دیک و پی بلز تا حدی گران آمده باشد، تا چه رسد به جرج گاموف!).

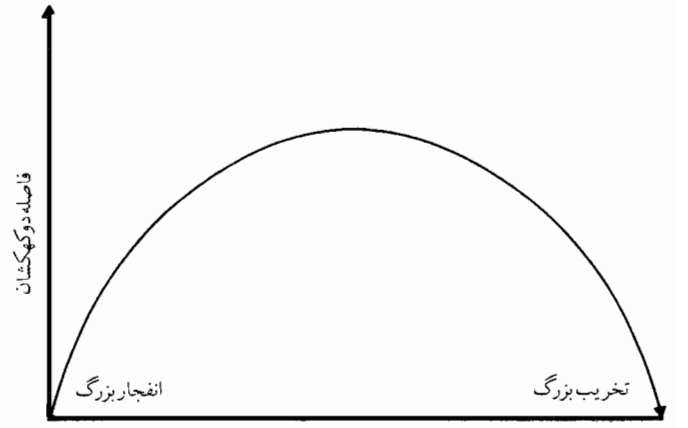
اینکه از هر سو به جهان بنگریم، آنرا یکسان خواهیم یافت، در وهله اول ممکنست به‌ما القا کند که موقعیت و مکان ما در جهان، دارای خاصیت ویژه‌ای است. به‌ویژه اگر همهٔ دیگر کهکشانها از ما دور می‌شوند، پس شاید به‌راستی درمرکز عالم واقع شده باشیم. اما تعبیر دیگری نیز وجود دارد: از هر کهکشان دیگر هم که بر جهان نظاره کنیم، آن را در همهٔ جهات یکسان می‌یابیم. اگر یادمان باشد، این دومین فرض فریدمان بود. ما تنها از سر فروتنی آنرا قبول می‌کنیم: چقدر عالی می‌شد اگر گرداگرد ما و نه هیچ نقطهٔ دیگری غیر از کره زمین، سیمای جهان از همهٔ جهات یکسان بنظر برسد! در مدل فریدمان، همهٔ کهکشانها مستقیماً از یکدیگر دور می‌شوند. این وضع نسبتاً شبیه بادکنکی است که روی آن خالهایی کشیده باشند و پیوسته در آن بدمند. هر چه بادکنک گسترش می‌یابد، فاصلهٔ میان هر دو نقطه افزایش می‌یابد اما هیچ یک از خالها را نمی‌توان مرکز گسترش و انبساط دانست. به‌علاوه هر چه خالها از یکدیگر دورتر باشند، با سرعت بیشتری از یکدیگر فاصله می‌گیرند. در مدل فریدمان نیز سرعت دور شدن دو کهکشان از یکدیگر با فاصلهٔ میانشان متناسب است. بنابراین پیش بینی کرد که انتقال به‌سرخ یک کهکشان مستقیماً متناسب با فاصلهٔ آن از ماست، یعنی درست همان چیزی که هابل نشان داد. به‌رغم موفقیت مدل فریدمان و پیش بینی مشاهدات هابل، کار او تا حد زیادی درغرب ناشناخته باقی ماند تا آنکه در سال ۱۹۳۵ مدلهای مشابهی بوسیله فیزیکدان آمریکایی هاوارد رابرتسن و ریاضیدان انگلیسی آرتور واکر در پاسخ به کشف گسترش و انبساط یکنواخت جهان از سوی هابل، ارائه گردید.

هر چند فریدمان تنها یک مدل ارائه داد، اما سه نوع مدل مختلف وجود دارد که بر دو فرض اساسی فریدمان مبتنی اند. در نوع اول (که فریدمان

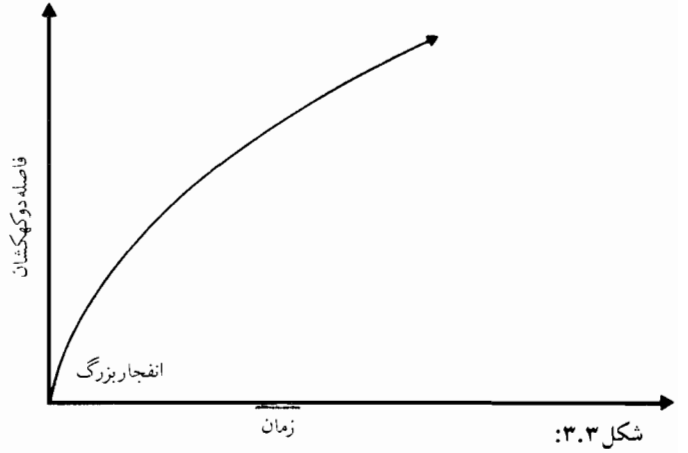
ارائه کرد) جهان با سرعت نسبتاً کمی در حال گسترش است و جاذبه گرانشی بین کهکشانهای مختلف باعث کندی گسترش شده و سرانجام آن را متوقف می‌سازد. آنگاه کهکشانها بسوی یکدیگر شروع به حرکت می‌کنند و جهان انقباض می‌یابد. شکل ۲ــ۳ نشان می‌دهد که چگونه فاصلهٔ بین دو کهکشان با افزایش زمان تغییر می‌کند. از صفر شروع می‌شود، به بیشترین مقدار خود می‌رسد و باز به صفر کاهش می‌یابد. در دومین مدل، جهان چنان با آهنگ تند گسترش می‌یابد که جاذبهٔ گرانشی هرگز قادر به بازداشتن آن از انبساط نیست، هرچند اندکی از سرعت آن می‌کاهد. شکل ۳ــ۳ فاصله میان کهکشانهای همسایه را نشان می‌دهد: از صفر شروع می‌شود و سرانجام کهکشانها با سرعتی ثابت از یکدیگر دور می‌شوند.و بالاخره راه‌حل سوّمی نیز وجود دارد که در آن، سرعت گسترش جهان به اندازه‌ایست که گیتی از فروپاشی بپرهیزد. در این مورد نیز، همانطور که در شکل ٤ــ۳ نشان داده شده، فاصله از صفر شروع می‌شود و همواره افزایش می‌یابد. با اینهمه سرعت دور شدن کهکشانها از یکدیگر کم و کمتر می‌شود ولی هرگز به صفر نمی‌رسد.

مشخصه بارز اولین نوع مدل آنست که جهان در پهنه فضا، بیکرانه نیست اما فضا خود حد و مرزی ندارد. گرانش چنان نیرومند است که فضا را بدور خود خم کرده و کمابیش چیزی مثل سطح زمین بوجود آورده است. اگر روی سطح زمین درجهت معینی براه بیافتیم هرگز به‌مانعی غیرقابل عبور یا پرتگاهی بر کرانه آن برنخواهیم خورد، اما عاقبت به همان نقطهٔ شروع خواهیم رسید. در نخستین مدل فریدمان، فضا همچون مثال بالاست امّا بجای آنکه مثل سطح زمین دو بعد داشته باشد، سه‌بعدی است. بعد چهارم آن یعنی زمان نیز در امتداد خود محدود و معین است اما همچون پاره خطی است که آغاز و انجامی دارد. بعداً خواهیم دید که اگر نسبیت عمومی را با اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتومی در هم آمیزیم، فضا و زمان، هر دو می‌توانند معین بوده و درعین حال هیچ انتها و مرزی نداشته باشند.

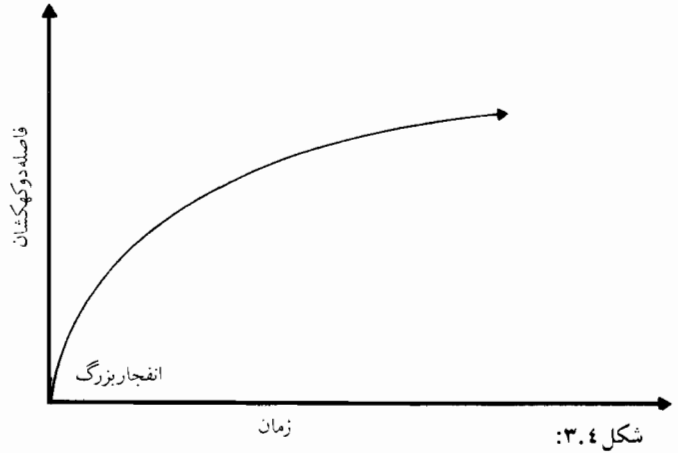
فکر آنکه انسان بتواند جهان را دور بزند و به همان نقطهٔ شروع خود




شکل ۳.۲:




شکل ۳.۳:




شکل ۳.٤:

بازبرسد، برای داستانهای تخیلی علمی بسیار مناسب است اما از اهمیت عملی چندانی برخوردار نیست چرا که می‌توان نشان داد که مسافر ما پیش از آنکه یکدور کامل بدور دنیا بزند، جهان فرو خواهد پاشید و اندازهٔ آن به صفر خواهد رسید. اگر بخواهید قبل از آنکه جهان از هم بپاشد به نقطهٔ شروع خود برسید، باید سریعتر از نور حرکت کنید ــ و این امر مجاز نمی‌باشد!

در نخستین نوع از مدلهای فریدمان، که منبسط می‌شود و فرومی‌پاشد، فضا مثل سطح کره زمین بروی خود خمیده است و بنابراین در امتداد خود متناهی است. در دومین نوع از مدلها، که برای همیشه گسترش می‌یابد، فضا بگونه‌ای دیگر و همانند سطح یک زین خمیده است. بنابراین، در این حالت فضا نامتناهی است. سرانجام در سوّمین نوع از مدلهای فریدمان، که گسترش جهان با سرعت بحرانی انجام می‌پذیرد، فضا تخت و مسطح (و در نتیجه نامتناهی) است.

کدامیک از مدلهای فریدمان تصویر واقعی جهان ماست؟ آیا سرانجام جهان از انبساط بازخواهد ایستاد و منقبض خواهد شد یا آنکه برای همیشه منبسط خواهد شد؟ برای پاسخ به این سؤال باید نرخ کنونی انبساط جهان و چگالی متوسط فعلی اش را بدانیم. اگر چگالی از مقدار بحرانی معینی که بوسیله نرخ انبساط تعیین می‌شود، کمتر باشد، جاذبهٔ گرانشی ضعیف‌تر از آنست که بتواند گسترش عالم را متوقف کند. اگر چگالی از آن مقدار بحرانی بیشتر باشد، روزی گرانش جهان را از گسترش باز خواهد داشت و باعث فروپاشی آن خواهد گردید.

با اندازه گیری سرعت دور شدن دیگر کهکشانها از ما بکمک اثر دوپلر، می‌توان نرخ کنونی گسترش جهان را بدقت تعیین کرد. با این همه فاصله ما از دیگر کهکشانها بخوبی بر ما معلوم نیست چرا که تنها بطور غیرمستقیم می‌توانیم آنها را اندازه بگیریم. بنابراین همهٔ آنچه که در این باره می‌دانیم آنست که جهان در هر هزار ملیون سال بین ۵ تا ۱۰ درصد گسترش می‌یابد. امّا در رابطه با چگالی میانگین کنونی جهان، حتی بیشتر از اینها

دچار تردید و ابهام هستیم. اگر جرم همهٔ ستارگان مرئی در کهکشان خود و دیگر کهکشانها را برهم بیافزائیم، حتی برای پائین‌ترین نرخ گسترش جهان، حاصل جمع از یکصدم مقدار لازم برای توقف انبساط عالم کمتر است. کهکشان ما و دیگر کهکشانها باید دارای مقادیر بسیار زیادی «ماده تاریک» باشند که مستقیماً قابل دیدن نیستند ولی ما از وجودشان اطمینان داریم چرا که جاذبهٔ گرانشی آنها بر مدار ستارگان کهکشانها تأثیر می‌گذارد. ازین گذشته، بیشتر کهکشانها بصورت خوشه ای هستند و به روشی مشابه می‌توان استنتاج کرد که مقادیر بازهم بیشتری ازین مادهٔ تاریکِ میان کهکشانها، در این خوشه هانهفته است. چون همهٔ این موادتاریک راباهم جمع کنیم، هنوزیکدهم مقدار لازم برای توقف گسترش جهان را داریم. اما بهرحال نمی‌توان امکان وجود اشکال دیگری از ماده را منتفی دانست، ماده‌ای که تقریباً بصورت یکنواخت در سراسر جهان توزیع شده و هنوز هویت آن بر ما آشکار نشده است. در این صورت چگالی میانگین جهان بالا خواهد رفت و به‌آن مقدار بحرانی که برای توقف گسترش گیتی لازم است، خواهد رسید. از این رو شواهد کنونی حاکی از آنست که احتمالاً جهان برای همیشه منبسط خواهد شد، امّا چیزی که می‌توان با اطمینان پذیرفت آنست که حتی اگر قرار است جهان از هم بپاشد، دست کم برای یک ده‌هزار ملیون سال دیگر، از هم نخواهد پاشید، زیرا حداقل برای مدت مشابهی در حال گسترش بوده است. لازم نیست بی جهت دلواپس شویم: مدتها قبل از آن زمان، نژاد بشر، همزمان با خاموشی گرفتن خورشید، نابود خواهد شد مگر آنکه جائی بیرون از منظومهٔ شمسی برای اسکان پیدا کرده باشد!

تمام راه‌حلهای فریدمان متضمن آنند که در گذشته‌های دور (بین ده تا بیست هزار میلیون سال قبل) فاصلهٔ میان کهکشانهای مجاور باید صفر بوده باشد. در آن هنگام، که انفجار بزرگ می‌نامیمش، چگالی جهان و انحنای فضا—زمان بی نهایت بود. از آنجا که ریاضیات نمی‌تواند آنطور که باید و شاید به‌اعداد بی نهایت بپردازد، می‌توان نتیجه گرفت که نظریه نسبیت عام

(که مدلهای فریدمان بربنیان آن شکل گرفته اند) پیش بینی می‌کند که نقطه ای در جهان هست که در آن، نظریه خود درمی‌ماند و در هم می‌شکند. این نقطه نمونه ایست از نقاطی که ریاضی دانان تکینگی می‌نامند. در واقع همهٔ نظریه های علم براساس این فرض بنا شده اند که فضا ــ زمان هموار و تقریباً تخت و صاف می‌باشد، بنابراین در تکینگی انفجار بزرگ که انحنای فضا ــ زمان بی نهایت می‌شود، تئوریهای علمی در هم می‌شکنند. معنای این سخن آنست که اگر رویدادهائی هم پیش از انفجار بزرگ رخ داده باشد، نمی‌توان برای تعیین حوادث آینده از آنها بهره گرفت، چرا که قابلیت پیش بینی در انفجار بزرگ درهم می‌شکند. مشابه آن. اگر از رویدادهای پس از انفجار بزرگ آگاه باشیم، باز نمی‌توانیم به حوادث پیش از آن پی ببریم. تا آنجا که به‌ما مربوط می‌شود، حوادث پیش از انفجار بزرگ بدون پیامد می‌باشند بنابراین نمی‌توانند بخشی از مدل علمی جهان را تشکیل دهند. ازینرو باید آنها را از مدل خود خارج سازیم و بگوئیم که زمان با انفجار بزرگ آغاز می‌شود.

خیلی ها از اینکه زمان آغازی داشته باشد، خوششان نمی‌آید، شاید بخاطر آنکه دخالت ماوراءِ طبیعت را تداعی می‌کند. (از سوی دیگر، انفجار بزرگ، فرصتی مناسب برای کلیسای کاتولیک فراهم آورد و در سال ۱۹۵۱، کلیسا این نظریه را موافق با تعالیم انجیل اعلام کرد.) بنابراین برخی ها کوشیدند تا از نتیجه گرفتن انفجار بزرگ اجتناب کنند. پیشنهادی که از بیشترین پشتیبانی برخوردار شد، نظریه حالت پایا[8] بود. این نظریه در سال ۱۹۴۸ بوسیلهٔ دوپناهنده از اطریشِ تحت اشغال نازیها، بنام هرمان بوندی و توماس گلد به همراه یک انگلیسی بنام فرد هویل که در طول جنگ با آنها روی پیشرفت و بهبود رادار کار کرده بود، مطرح گردید. بنظر آنان همچنانکه کهکشانها از یکدیگر فاصله می‌گیرند، پیوسته کهکشانهای جدیدی درشکاف

8. Steady State Theory

آنان شکل می‌گیرند که از ماده جدیدی که بطور مداوم خلق می‌شود، تغذیه می‌کنند. بنابراین همیشه و درهر نقطه از فضا جهان تقریباً یکسان بنظر خواهد رسید. نظریه حالت پایا لازم می‌دید که در نسبیت عام اصلاحی صورت گیرد تا خلق مداوم ماده درآن منظور گردد اما نرخ بوجود آمدن ماده چنان پائین بود (تقریباً یک ذره در مترمکعب در سال) که در تضاد با آزمایش قرار نمی‌گرفت. نظریه حالت پایا تئوری علمی خوبی بود زیرا شرط های فصل اول را برآورده می‌کرد: ساده بود و پیش بینی های مشخصی می‌کرد که با مشاهده و آزمایش قابل محک زدن بود. یکی از این پیش بینی ها آن بود که هرزمان و هر کجا که به جهان نگاه کنیم، شمار کهکشانها یا اشیاءِ مشابه آن در هر حجم مفروضی از فضا باید یکسان باشد. دراواخر دههٔ پنجاه و اوایل دهه شصت قرن حاضر، یک بررسی روی امواج رادیوئی که از فضای خارج به‌ما می‌رسد، بوسیله گروهی از ستاره‌شناسان برهبری مارتین رایل (که در طول جنگ با بوندی، گلد و هویل روی رادار مشغول تحقیق بود) در کمبریج انجام گردید. گروه کمبریج نشان داد که بیشتر این منابع امواج رادیوئی باید بیرون از کهکشان ما قرار داشته باشند (در واقع بسیاری از آنان با کهکشانهای دیگر شناسائی می‌شوند) و نیز منابع ضعیف بسیار بیشتر از منابع قوی هستند. به‌تعبیر آنها، منابع ضعیف در دور دست ها قرار دارند و منابع قوی‌تر در نزدیکی ما واقع شده‌اند. سپس معلوم شد که تعداد منابع معمولی در هر واحد حجم فضا، برای منبع های نزدیک کمتر از منبع های دور است. می‌شد نتیجه گرفت که ما در مرکز ناحیهٔ بزرگی از جهان واقع شده‌ایم که در آن منابع از جاهای دیگر کمتر است. همچنین می‌شد استنباط کرد که در گذشته، به‌هنگامی که امواج رادیوئی خاستگاه خود را ترک کردند و بسوی ما براه افتادند، تعداد منابع بیش از زمان حال بوده است. هر یک از این دو تفسیر و توضیح، با پیش بینی های نظریه حالت پایا ناسازگار است. بعلاوه، کشف تابش میکروموج بوسیله پنزیاس و ویلسون در سال ۱۹۶۵ نیز دلالت برآن داشت که در گذشته، جهان باید بسیار چگالتر از امروز بوده باشد. بنابراین نظریه حالت پایا بناگزیر کنار

گذاشته شد.

در سال ۱۹۶۳، کوشش دیگری از سوی دو دانشمند روس بنامهای «یوگنی لیف‌شیتز»[9] و «ایزاک حالاتنیکوف»[10] بعمل آمد تا از استنتاج یک انفجار بزرگ و بنابراین آغاز زمان، اجتناب شود. آنها برآن بودند که انفجار بزرگ فقط ویژگی مدل فریدمان است و این مدل تنها تقریبی از جهان می‌باشد. شاید، از میان همهٔ مدلهایی که کمابیش شبیه جهان واقعی اند، تنها مدل فریدمان دارای تکینگی انفجار بزرگ است. در مدل فریدمان همهٔ کهکشانها مستقیماً از یکدیگر دور می‌شوند ــ پس اینکه زمانی درگذشته، همگی در یک نقطه جمع شده باشند، تعجب انگیز بنظر نمی‌رسد. اما در جهان واقعی، کهکشانها مستقیماً از یکدیگر دورنمی‌شوند ــ آنها دارای سرعتهای جانبی هم هستند. بنابراین در جهان واقعی هم هرگز لازم نیست در یکجا قرار گرفته باشند، بلکه می‌توان گفت روزگاری بسیار بهم نزدیک بوده‌اند. پس شاید جهان گسترش یابنده کنونی، نه از یک تکینگی انفجار بزرگ، بلکه از یک مرحلهٔ انقباضی مقدم بر آن ناشی شده باشد؛ شاید وقتی جهان فروپاشید، اجزاء متشکله آن، همگی با یکدیگر برخورد نکردند، بلکه از کنار هم گذشته و سپس از یکدیگر دور شدند و در نتیجه جهان گسترش یابندهٔ ما حاصل گردید. پس چطور می‌توان گفت که جهان واقعی با یک انفجار بزرگ آغاز شد؟ آنچه لیفشیتز و خالاتنیکوف انجام دادند عبارت از آن بود که مدلهائی از جهان را که تقریباً مانند مدل فریدمان بودند، مو د بررسی قرار دادند اما بی قاعدگیها و سرعتهای تصادفی کهکشانها را نیز مدّ نظر قرار دادند. آنها نشان دادند که چنین مدلهایی می‌توانند با یک انفجار بزرگ آغاز شوند، حتی اگر کهکشانها همیشه کاملاً از هم دور نشوند، اما مدعی شدند که این امر تنها در بعضی مدلهای استثنائی ممکن است روی دهد که در آنها

9. Evgenii Lifshitz
10. Isaac Khalatnikov

کهکشانها، همگی بگونهٔ خاصی حرکت می‌کنند. آنها استدلال کردند که شمار مدلهایی شبیه مدل فریدمان که فاقد تکینگی است، بینهایت بیشتر از مدلهایی است که دارای آنست. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در واقعیت، انفجار بزرگی رخ نداده است. اما بعداً دریافتند که تعداد بسیار بیشتری مدل دارای تکینگی وجوددارد که درطبقه بندی کلی مدلهای نظیرمدلهای فریدمان می‌گنجند و در آنها، کهکشانها لزوماً راه‌خاصی را نباید در پیش بگیرند. پس آنها در سال ۱۹۷۰، از ادعای خود دست برداشتند.

کار لیفشیتز و خالاتنیکوف از آنجا ارزشمند بود که نشان می‌داد چنانچه نسبیت عام درست باشد، جهان **می‌توانسته است** یک تکینگی یا انفجار بزرگ داشته باشد. اما پژوهش آندو به این سؤال حساس پاسخی نداد: آیا نسبیت عام می‌گوید که جهان **باید** با انفجار بزرگ شروع و زمان از نقطه ای آغاز شده باشد؟ در سال ۱۹۶۵ یک ریاضیدان و فیزیکدان انگلیسی، بارویکردی کاملاً متفاوت، به این سؤال پاسخ داد. راجر پنروز با استفاده از رفتار مخروطهای نوری در نسبیت عام و نیز این واقعیت که گرانش همواره خاصیت جذب دارد، نشان داد که ستاره‌ای که زیر تأثیر گرانش خود در حال فروپاشی است، در ناحیه ای از فضا بدام می‌افتد که سطح آن کوچک و کوچکتر می‌شود تا سرانجام بصفر برسد. و وقتی سطح ناحیه ای به صفر برسد، حجم آن نیز باید صفر شود. تمامی ماده موجود در ستاره باید در ناحیه ای بحجم صفر فشرده گردد، بنابراین چگالی ماده و انحنای فضا ـ زمان بینهایت می‌شود. به سخن دیگر، با تکینگی ای روبرو می‌شویم که در ناحیه ای از فضا ـ زمان بنام حفره سیاه گنجیده است.

در نگاه نخست، نظریات پنروز تنها در مورد ستارگان مصداق دارد و سؤال ما را در مورد اینکه آیا تمامی جهان، دارای تکینگی انفجار بزرگ بوده است یا نه، بیجواب می‌گذارد. با اینهمه، هنگامی که پنروز این قضیه را مطرح ساخت، من دانشجوی در حال تحقیقی بودم و ناامیدانه دربدر بدنبال مسئله ای می‌گشتم تا تز دکترای خود را کامل نمایم. دو سال قبل از آن، متخصصین

تشخیص داده بودند که من مبتلا به ای.ال.اس. یا آنطور که مشهور است مرض لوگهریگ[11]، یا بیماری موتور نورون هستم و بمن فهمانده بودند که یکی دو سال بیشتر زنده نخواهم بود. در چنین شرائطی کار روی تز دکترا چندان محلی از اعراب نداشت. انتظار نداشتم که تا آن هنگام زنده بمانم. با اینهمه دو سال گذشت و حال من آنقدرها هم وخیمتر نشد. در واقع، اوضاع تاحدی هم برای من بروفق مراد بود. من دختر بسیار زیبائی را بنام جین وایلد[12] نامزد کردم. امّا برای ازدواج کردن احتیاج به شغل داشتم و برای آنکه شغل داشته باشم، احتیاج به دکترا داشتم

در سال ۱۹۶۵ درباره قضیه پنروز چنین خواندم که هر جسمی که متحمل یک فروپاشی گرانشی شود، سرانجام باید تشکیل یک تکینگی بدهد. بزودی دریافتم که اگر جهت زمان در قضیه پنروز برعکس شود، فروپاشی تبدیل به گسترش می‌گردد و در عین حال شرایط قضیه او همچنان برآورده می‌شود، مشروط بر آنکه جهان کنونی ما در مقیاس بزرگ کمابیش مثل مدل فریدمان باشد. قضیه پنروز نشان می‌داد که سرانجام هر ستاره در حال فروپاشی، لزوماً یک تکینگی است؛ برهان مبتنی بر زمان معکوس نشان می‌داد که هر جهان در حال گسترش مشابه مدل فریدمان، باید با یک تکینگی آغاز شده باشد. قضیه پنروز بدلایل فنی نیاز به جهانی نامتناهی در فضا داشت. پس با استفاده از آن، می‌توانستم ثابت کنم که تنها اگر سرعت گسترش جهان به اندازه‌ای باشد که از یک فروپاشی مجدد اجتناب کند، تکینگی باید وجود داشته باشد (بدلیل آنکه مدلهای فریدمان که متضمن فضای نامتناهی بودند، فروپاشی مجدد جهان را منتفی می‌دانستند).

در طول چند سال پس از آن، تکنیکهای ریاضی جدیدی ابداع کردم که این شرط و دیگر شرایط فنی را از قضیه‌ها حذف نماید و توانستم ثابت کنم

11. Lou Gehrig's disease
12. Jane Wilde

که تکینگیها باید اتفاق بیفتند. نتیجهٔ نهائی مقالهٔ مشترک پنروز و من بود که در سال ۱۹۷۰ منتشر شد و سرانجام ثابت می‌کرد که اگر نسبیت عام درست باشد و جهان دارای آن مقدار ماده که ما مشاهده می‌کنیم باشد، باید تکینگی انفجار بزرگ در گذشته اتفاق افتاده باشد. مخالفتهای بسیاری با کار ما ابراز شد که بخشی از آن از جانب روسها بود و از باور مارکسیستی آنان به جبر علمی ناشی می‌شد و بخشی از آن از جانب کسانی بود که فکر تکینگیها را اساساً زشت دانسته و ضایع کنندهٔ زیبائی نظریه انشتین می انگاشتند. با وجود این، با یک قضیه ریاضی نمی‌شود زیاد کلنجار رفت. بنابراین بالاخره نظر ما قبول عام پیدا کرد و امروزه تقریباً هر کسی پذیرفته است که جهان با یک تکینگی انفجار بزرگ آغاز شد. شاید طنز ماجرا آنجاست که حالا من عقیده‌ام را عوض کرده‌ام و می‌کوشم دیگر فیزیکدانان را متقاعد سازم که اصلاً در آغاز جهان تکینگی ای در کار نبوده است ــ بعداً خواهیم دید که در صورتی که تأثیرات کوانتومی را بحساب بیاوریم، تکینگی می‌تواند ناپدید شود.

در این فصل دیدیم که چگونه در کمتر از نیم قرن، دیدگاه بشر نسبت به جهان که در طول هزاران سال شکل گرفته بود، تغییر یافت. کشف هابل مبنی بر گسترش جهان و آگاهی از جایگاه بی اهمیت سیاره‌مان در پهنه وسیع جهان، تنها نقطهٔ آغاز بود. با افزایش شواهد تجربی و نظری، هرچه بیشتر معلوم می‌شد که جهان باید در زمان، آغازی داشته باشد، تا آنکه در سال ۱۹۸۰ پنروز و من براساس نسبیت عام انشتین آن را ثابت کردیم. آن اثبات نشان داد که تئوری نسبیت عام، نظریه‌ای ناکامل است: نسبیت عام نمی‌تواند بگوید جهان چگونه آغاز شد، چرا که پیش بینی می‌کند همهٔ نظریه‌های فیزیکی، از جمله خودش در ابتدا و آغاز جهان، توانائی خود را از دست می‌دهند. با اینهمه نسبیت عام مدعی است که نظریه‌ای پاره‌ای می‌باشد، بنابراین آنچه که قضایای تکینگی واقعاً نشان می‌دهند آنست که در روزهای آغازین جهان، قطعاً زمانی یافت می‌شود که جهان بسیار کوچک و خرد

است، آنقدر کوچک که دیگر نمی‌توان از تأثیراتِ مقیاسِ کوچکِ نظریه پاره‌ای دیگر قرن بیستم، یعنی مکانیک کوانتومی، چشم پوشید. در آغاز دههٔ هفتاد، ناگزیر شدیم که سمت و سوی پژوهش برای ادراکِ جهان را از نظریه اجسام کلان به‌نظریه اجزاءِ بسیار خرد برگردانیم. قبل از آن که کوشش‌هایی را که به‌منظور وحدت دو نظریه پاره‌ای و ابداع نظریه کوانتومی گرانش به‌عمل آمده است، مورد بررسی قرار دهیم، به‌سراغ مکانیک کوانتوم می‌رویم.

# ۴

# اصل عـــدم قطعیت

موفقیت نظریه‌های علمی، به‌ویژه نظریه گرانش نیوتن، مارکی دولاپلاس را در اوان قرن نوزدهم متقاعد ساخته بود که جهان بطوردربست از جبر علمی پیروی می‌کند. او معتقد بود که مجموعه‌ای از قانون‌های علمی وجود دارد که ما را قادر می‌سازد هر آنچه درآینده روی خواهد داد، پیش‌بینی کنیم، تنها مشروط برآنکه از وضعیت و حالت جهان در لحظهٔ معینی بطور کامل آگاه باشیم. مثلاً اگر موقعیت و سرعت خورشید و سیارات را در فلان لحظه بدانیم، آنگاه می‌توانیم با استفاده از قوانین نیوتن، وضعیت منظومه شمسی را در هر لحظه دیگری محاسبه نمائیم. در این مورد، جبریگری نسبتاً بدیهی بنظر می‌رسد، امّا لاپلاس به‌این بسنده نکرد و گفت قانونهای مشابهی وجود دارد که بر سایر پدیده‌ها از جمله رفتار بشر حاکمند.

دکترین جبریگری علمی با مخالفت افراد زیادی روبرو شد که احساس می‌کردند این دیدگاه به‌آزادی خداوند در مداخله در امور جهان خدشه

و خلل وارد می‌آورد، اما با اینهمه تا اوائل قرن حاضر، این دکترین، فرض موردقبول عامهٔ اهل علم باقی ماند. یکی ازنخستین نشانه های سست بودن این باور، کارهای دانشمندان انگلیسی لرد ری لی و سرجیمز جینز بود. محاسبات آنها نشان می‌داد که یک جسم داغ، مثلاً یک ستاره، باید بطور نامتناهی انرژی تابش کند. برطبق قانونهای معتبرو رایج در آن زمان، یک جسم داغ باید بطور یکسان در کلیه بسامدها از خود اشعه الکترومغناطیس (مثل امواج رادیوئی، نورمرئی، یا اشعه ایکس) بتاباند. برای نمونه، یک جسم داغ باید همان مقدار انرژی در قالب امواج با بسامدهای بین یک و دو ملیون ملیون موج در ثانیه تشعشع کند که در قالب امواج با بسامدهای دو و سه ملیون ملیون موج در ثانیه تابش می‌نماید. و از آنجا که تعداد موجها در ثانیه نامحدود است، انرژی کل تابیده شده نامتناهی است.

برای اجتناب ازین نتیجهٔ آشکارا مضحک، دانشمند آلمانی ماکس پلانک در سال ۱۹۰۰ اظهار داشت که نور، اشعه ایکس، و دیگر امواج می‌توانند بمیزان دلخواهی گسیل شوند اما این عمل تنها در بسته های معینی بنام کوانتوم انجام می‌پذیرد. به‌علاوه، هر کوانتوم مقدار معینی انرژی داراست که هر چه بسامد موج بیشتر باشد، زیادتر است، بنابراین در فرکانس های بالا، گسیل یک کوانتوم منفرد، بیش از مقدار موجود، انرژی لازم دارد. ازینرو تابش در بسامدهای بالا کاهش می‌یابد و بنابراین میزان انرژی ای که جسم از دست می‌دهد، مقداری معین و متناهی می‌شود.

فرضیه کوانتوم میزان تابش از اجسام داغ را بخوبی توضیح می‌داد، اما نتایج و پیامدهای آن در رابطه با جبریگری تا سال ۱۹۲۶ از نظرها پنهان ماند. در آن سال دانشمند آلمانی دیگری بنام ورنر هایزنبرگ، اصل معروف خود را بنام اصل عدم قطعیت تدوین نمود. برای آنکه وضعیت وسرعت بعدی ذره ای را پیش بینی کنیم باید بتوانیم وضعیت و سرعت فعلی آنرا بدقت اندازه بگیریم. بدیهی است برای اندازه گیری باید ذره را در پرتو نور مورد مطالعه قرار دهیم. برخی از امواج نور بوسیلهٔ ذره پراکنده خواهند شد و در نتیجه وضعیت ذره

مشخص می‌شود. اما دقت اندازه‌گیری وضعیت یک ذره بنا گزیر از فاصلهٔ بین تاج‌های متوالی موج نور کمتر است. در نتیجه برای تعیین دقیق وضعیت یک ذره باید از نوری با طول موج کوتاه استفاده کرد. حال بنابر فرضیه کوانتوم پلانک، نمی‌توانیم هر قدر دلمان خواست مقدار نور را کم اختیار کنیم؛ دست کم باید یک کوانتوم نور مصرف کنیم. این کوانتوم، ذره را متأثر خواهد ساخت و سرعت آنرا بگونه‌ای پیش بینی ناپذیر تغییر خواهد داد. ازین گذشته برای آنکه وضعیت ذره را هر چه دقیقتر اندازه بگیریم، باید از نوری با طول موج کوتاهتر استفاده کنیم و بنابراین انرژی هر کوانتوم، بیشتر می‌شود. در نتیجه سرعت ذره بیشتر دستخوش تغییر می‌شود. بدیگر سخن، هر چه بکوشیم وضعیت ذره را دقیقتر اندازه گیری کنیم، دقت اندازه گیری سرعت آن کمتر می‌شود و برعکس. هایزنبرگ نشان داد که عدم قطعیت در تعیین وضعیت ذره ضربدر عدم قطعیت در سرعت آن ضربدر جرم ذره هرگز نمی‌تواند از کمیت معینی که بنام ثابت پلانک معروف است، کمتر شود. همچنین این حد به راه و روش اندازه گیریِ وضعیت و سرعت ذره بستگی ندارد و مستقل از نوع ذره می‌باشد: اصل عدم قطعیت هایزنبرگ خاصیت بنیادین و گریز ناپذیر جهان است.

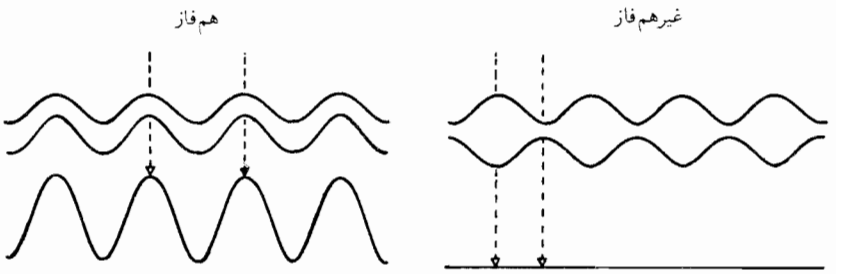
اصل عدم قطعیت متضمن تأثیری ژرف در نگرش ما به جهان بود. حتی پس از بیش از چهل سال، تأثیرات آن از سوی فیلسوفان بسیاری کاملاً مورد ارزیابی قرار نگرفته است و هنوز موضوع مناقشه فراوان می‌باشد. اصل عدم قطعیت مهر پایانی بود برروْیای لاپلاس مبنی بر وجود تئوری علمی و مدلی یکسره جبرگرا از جهان: اگر حتی نتوانیم وضع کنونی جهان را بدقت اندازه گیری کنیم، بطریق اولیٰ قادر به پیش گوئی دقیق رویدادهای آینده نخواهیم بود! هنوز می‌توان تصور کرد که مجموعه ای از قانون‌ها هست که برای موجودات ماوراءِ طبیعی ای که می‌توانند بدون ایجاد اختلال و تغییر در وضع فعلی جهان، آنرا مشاهده کنند، چند و چون رویدادها را بطور کامل تعیین می‌کند. با اینحال مدلهای اینچنینی از جهان، چندان دردی از ما موجودات

فانی و معمولی این دنیا دوا نمی‌کند. بهتر است به اصل صرفه جوئی که بنام تیغ اُکام مشهور است، پایبند باشیم و همهٔ جنبه های نظریه را که مشاهده‌پذیر نیست کنار بگذاریم. این رویکرد، در دهه بیست هایزنبرگ، اروین شرودینگر، و پل دیراک را بر آن داشت تا مکانیک را بازسازی کنند و براساس اصل عدم قطعیت نظریهٔ جدیدی بنام مکانیک کوانتوم تدوین نمایند. در این نظریه، ذرات دیگر دارای وضعیت و سرعت مجزا و معین و در عین حال مشاهده ناپذیر نیستند. در عوض آنها دارای حالت کوانتومی اند که ترکیبی از وضعیت و سرعت می‌باشد.

بطورکلی، مکانیک کوانتومی، برای یک مشاهده، نتیجه ای یگانه و معین پیش بینی نمی‌کند، بلکه چند پیآمد مختلف احتمالی را مطرح می‌سازد و درجه احتمال هر یک را مشخص می‌کند. یعنی اگر کسی تعداد بسیار زیادی از سیستم های مشابه را در شرایط یکسانی اندازه گیری کند، درخواهد یافت که حاصل تعدادمعینی از اندازه گیریها A است و نتیجه تعداد معین دیگری از آنها B می‌باشد وقس علیهذا. می‌توانیم تعداد تقریبی دفعاتی که نتیجه یا B است پیش گویی کنیم اما قادر نیستیم نتیجه مشخص یک اندازه گیری منفرد را پیش بینی نمائیم. مکانیک کوانتوم به این ترتیب عنصر اجتناب‌ناپذیر پیش بینی ناپذیری یا تصادف را وارد علم می‌نماید. انشتین برغم نقش مهمی که در تکامل این ایده ها بازی نمود، قویاً به آنها اعتراض داشت. او بخاطر شرکت و همفکری در نظریه کوانتوم جایزه نوبل دریافت داشت. با اینهمه هرگز نپذیرفت که جهان بر حسب تصادف اداره می‌شود؛ این جملهٔ مشهور او، احساساتش را بخوبی بیان می‌کند: «خداوند در ادارهٔ جهان تاس نمی‌ریزد». امّا بیشتر دانشمندان دیگر، مایل بودند که مکانیک کوانتوم را بپذیرند چرا که کاملاً با آزمایش سازگار بود. در واقع این نظریه بطور درخشانی موفق بوده است و زمینه تقریباً تمامی علم و فن نوین می‌باشد. بررفتار ترانزیستورها و مدارهای مجتمع که جزءِ اساسی وسائلی نظیر تلویزیون و کامپیوترند، فرمان می‌راند و نیز بنیاد شیمی و زیست‌شناسی نوین می‌باشد.

تنها مباحث فیزیکی که مکانیک کوانتوم هنوز بطور شاید و باید موفق به یکپارچگی و وحدت با آنها نشده است، عبارتند از گرانش و ساختمان کلان جهان.

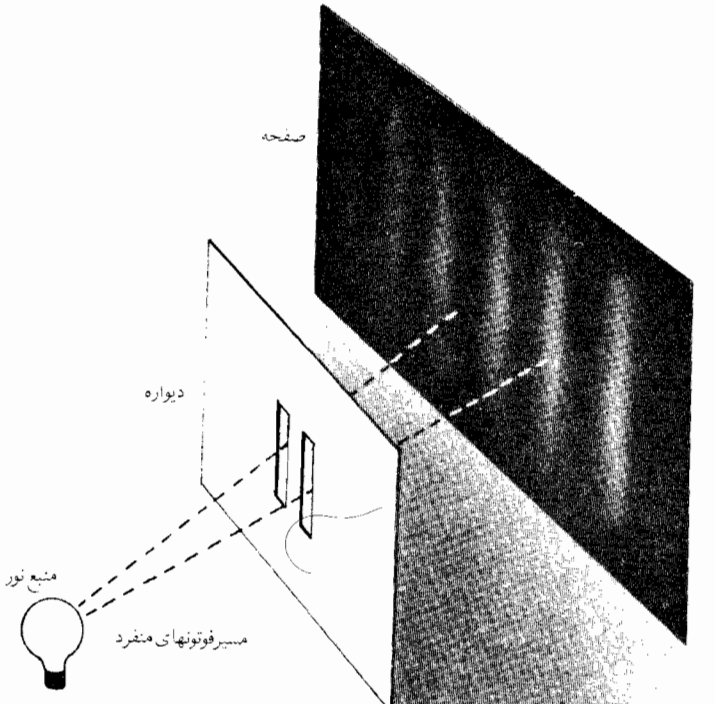
اگر چه نور از امواج تشکیل شده است، فرضیه کوانتوم پلانک می‌گوید که از جهات معینی رفتار نور چنان است که گویی مجموعه ای از ذرات است: نور تنها بصورت بسته های خاص یا کوانتومها، گسیل یا جذب می‌شود. از سوی دیگر، اصل عدم قطعیت هایزنبرگ متضمن آنست که ذرات از پاره‌ای جهات چونان امواج رفتار می‌کنند: آنها وضعیت معینی ندارند بلکه با توزیع احتمال معینی در ناحیه ای از فضا پخش می‌شوند. نظریه مکانیک کوانتوم بر نوع کاملاً جدیدی از ریاضیات استوار است که دیگر جهان واقعیت را برحسب ذرات و امواج توصیف نمی‌کند؛ تنها مشاهده جهان را بر حسب این اصطلاحات می‌توان توصیف کرد. بنابراین میان ذرات و امواج و مکانیک کوانتومی یک دوگانگی وجود دارد: برای برخی مقاصد، درنظر گرفتن ذرات بعنوان امواج، چاره‌ساز است و برای مقاصد دیگر، بهتراست امواج را چون ذره‌هایی در نظر بگیریم. یک پیامد مهم این کار آنست که می‌توان تداخل بین دومجموعه امواج یا ذرات را مشاهده کرد. یعنی تاجهای یک مجموعه امواج بر حضیض های مجموعه دیگری از امواج منطبق می‌شود. آنگاه ایندو مجموعه نور بجای آنکه مطابق انتظار ما با یکدیگر جمع شوند و موجی قویتر را تشکیل دهند، یکدیگر را خنثی می‌کنند (شکل ۱ــ٤). یک نمونه آشنا از تداخل امواج نور، رنگهائی است که در حبابهای صابون جلوه گر می‌شود. بازتاب نور از دو سوی لایه نازک آب جدار حباب، این رنگها را بوجود می‌آورد. نور سفید مشتمل بر امواج نوری با طول موجهای متفاوت یا رنگهای مختلف است. در بعضی از طول موجها، تاج نور بازتابیده از یکطرف حباب، منطبق می‌شود بر حضیض موج دیگری که از طرف دیگر حباب منعکس شده است. رنگهای متناظر با این طول موجها، از مجموعه نورهای منعکس شده، حذف می‌شوند و در نتیجه بنظر رنگی می‌رسند.




تاج ها وحضیض های موج یکدیگر را خنثی می‌کنند.

تاجها وحضیض های موج یکدیگر را تقویت می‌کنند.

**شکل ٤.١:**




**شکل ٤.٢:**

پدیدهٔ تداخل برای ذرات نیز می‌تواند اتفاق بیفتد، چرا که مکانیک کوانتوم بدوگانگی قائل است. آزمایش معروف دو شکاف، مثال خوبی در اینمورد است (شکل ۲ــ٤). یک دیواره با دو شکاف موازی باریک روی آن را درنظر بگیرید. در یک طرف دیواره منبع نور تکرنگی (منظور نوری با طول موج معین است) قرار می‌دهیم. بیشتر نور به دیواره برخورد می‌کند ولی مقدار اندکی از شکافها می‌گذرد. حال فرض کنید در آن سوی دیواره و بفاصله نسبتاً دوری از آن، پرده‌ای قرار دهیم. هر نقطهٔ روی پرده امواجی را از دو شکاف دریافت می‌دارد. امّا بطور کلی مسافتی که نور از منبع تا هر یک از دو شکاف و از شکاف ها تا پرده مقابل می‌پیماید، یکسان نیست. درنتیجه امواجی که از شکافها عبور می‌کنند، هنگام رسیدن به پرده با یکدیگر هم‌فاز نیستند: در پاره‌ای نقاط آنها یکدیگر را خنثی می‌کنند و در پاره‌ای دیگر، همدیگر را تقویت می‌نمایند. حاصل نقشی ازنوارهای تاریک و روشن است.

نکته حائز اهمیت آنست که اگر منبع نور را با یک منبع تولید ذرات عوض کنیم و مثلاً از یک منبع الکترون با سرعت معین (یعنی امواج متناظر، طول موج معینی دارند) استفاده نمائیم، نقشی کاملاً یکسان بدست خواهیم آورد. این پدیده عجیبتر به‌نظر می‌رسد اگر بدانیم که چنانچه دیواره تنها یک شکاف می‌داشت، دیگرسایه‌روشنی در کار نمی‌بود و توزیع یکنواختی از الکترون‌ها روی پرده بوجود می‌آمد. بنابراین ممکن است فکر کنیم که باز کردن شکاف دوم، تعداد الکترونهائی را که به هر نقطهٔ صفحه روبرو برخورد می‌کند، افزایش می‌دهد، اما براثر تداخل، در برخی جاها، این تعداد عملاً کاهش می‌یابد. اگر از هر شکاف در هر لحظه یک الکترون عبور کند، می‌توان انتظار داشت که هر الکترون ازاین یا آن شکاف گذشته باشد و بنابراین چنان رفتار کند که گوئی شکافی که از میانش عبور کرده تنها شکاف موجود بر دیواره بوده است ــ یعنی توزیع یکنواختی روی پرده حاصل شود. امّا در عالم واقع، حتی وقتی که در هر بار یک الکترون ارسال می‌شود، نوارهای سایه روشن همچنان ظاهر می‌شود. بنابراین هر الکترون باید در یک

زمان از هر دو شکاف گذشته باشد.

پدیدهٔ تداخل بین ذرات در شناخت ما از ساختار اتم ها یعنی واحدهای اساسی شیمی/ زیست‌شناسی و عناصر تشکیل دهنده ما و هر آنچه پیرامون ماست، نقشی قاطع بازی کرده است. در ابتدای این قرن، می‌پنداشتند که اتمها کمابیش چونان منظومه شمسی اند. الکترونها (ذرات با بارمنفی )مثل سیارات بگرد هستهٔ مرکزی که بارمثبت دارد،درحرکتند. جاذبه میان بارمثبت ومنفی نیزالکترونهارادرمدارخودحفظ می‌کندهمانطورکه جاذبه گرانشی میان خورشید و سیارات، سیارات را در مدارشان نگه می‌دارد. اما مشکل آنجا بود که قوانین مکانیک و الکتریسیته، پیش از مکانیک کوانتوم، پیش‌بینی می‌کرد که الکترونها انرژی از دست خواهند داد و بطرف مرکز مسیری مار پیچی را طی خواهند کرد تا سرانجام با آن برخورد نمایند. معنی این پیش‌بینی آن بود که اتم و در واقع همهٔ ماده بسوی وضعیتی بسیار چگال فروخواهد پاشید. در سال ۱۹۱۳، نیلز بور دانشمند دانمارکی راه‌حلی نسبی برای این مشکل یافت. بنظر او شاید الکترونها قادر نباشند در هر فاصله ای از مرکز اتم، مدار خود را انتخاب کنند بلکه تنها در فاصله های معین و مشخصی این امر امکانپذیر است. حال اگر فرض کنیم که تنها یک یا دو الکترون، در هر یک ازین فاصله های معین و مشخص گرد هسته بچرخند مسئله فروپاشی اتم حل می‌شود چرا که آنها نمی‌توانند بیش از مدارهایی که کمترین انرژی و کوتاهترین فاصله از مرکز را دارند به هستهٔ اتم نزدیک شوند.

این مدل بخوبی ساختمان ساده‌ترین اتم، هیدروژن، را که تنها یک الکترون بگرد هسته اش می‌گردد، توضیح می‌داد. اما معلوم نبود چگونه باید آن را به اتم های پیچیده‌تر تعمیم داد. بعلاوه، فکر مجموعهٔ محدودی از مدارها بنظر بسیار دلبخواهی می‌رسد. نظریه جدید مکانیک کوانتوم این مشکل را حل کرد. براساس این نظریه الکترونی را که در مدار خود گرد هسته می‌چرخد، می‌توان بمثابه موجی انگاشت که طول موج آن بستگی به‌سرعتش دارد. طول مدارهای معینی، متناظر با تعداد صحیحی (در مقابل یک عدد کسری) از طول

موج های الکترون می‌باشند. در این گونه مدارها، یک تاج موج پس از یکدور گردش بدور هسته، در همان وضعیت اولیه خود قرار می‌گیرد و بنابراین امواج با یکدیگر جمع می‌شوند: این مدارها متناظر با مدارهای مجاز «بور» می‌باشند. امّا در مدارهایی که طول آنها مضرب صحیحی از طول موج نیستند، ضمن گردش الکترون، هر تاج موج با یک حضیض سرانجام خنثی می‌گردد؛ این مدارها مجاز نیستند.

یک شیوهٔ زیبای تجسم دوگانگی موج/ذره باصطلاح جمع تاریخچه ها[1] نام دارد و بوسیلهٔ دانشمند امریکایی ریچارد فین‌مان[2] ابداع شده است. در این رویکرد، ذره مثل نظریه های کلاسیک و غیرکوانتومی تاریخچه یا مسیری واحد در فضا ــ زمان ندارد. در عوض فرض می‌شود که ذره برای رفتن از A به B هر مسیر ممکنی را می‌پیماید. متناظر با هر مسیری یک زوج عدد هست: یکی اندازهٔ یک موج و دیگری وضعیت در سیکل (یعنی اینکه آیا در تاج یا حضیض قرار دارد) را نشان می‌دهد. با جمع کردن امواج کلیهٔ مسیرها، احتمال رفتن از A به B بدست می‌آید. بطور کلی اگر مجموعه ای از مسیرهای همجوار را مورد مقایسه قرار دهیم، فازها یا وضعیت ها در سیکل، اختلاف زیادی با یکدیگر دارند. این به‌معنی آنست که موجهای متناظر با این مسیرها تقریباً یکدیگر را بطور کامل خنثی می‌کنند. اما در بعضی از مجموعه های مسیرهای مجاور، تفاوت زیادی بین فازهای مسیرها بچشم نمی‌خورد. امواج این مسیرها خنثی نمی‌شوند. این مسیرها نظیر مدارهای مجاز «بور» می‌باشند.

وقتی این اندیشه ها بصورت ریاضی و محسوس درآیند، بطور نسبتاً سرراستی می‌توان مدارهای مجاز را در اتمهای پیچیده‌تر و حتی در ملکولها، که از چندین اتم تشکیل شده و الکترونها در مدارهایی بگرد بیش از یک هسته

1. Sum Over Histories
2. Richard Feynman

می‌چرخند، محاسبه کرد. از آنجا که ساختمان ملکولها و واکنش آنها نسبت به یکدیگر اساس تمام شیمی و زیست‌شناسی است، مکانیک کوانتوم بطور اصولی بما اجازه می‌دهد که هر چیز را که پیرامون خویش می‌بینیم در چهارچوب اصل عدم قطعیت پیش بینی کنیم. (امادرعمل، محاسبات مربوط به دستگاههایی که بیش از چند الکترون دارند، چنان پیچیده است که ما قادر به انجام آنها نیستیم.)

نظریه نسبیت عام انشتین بر ساختمان کلان جهان حاکم است. نسبیت عام نظریه‌ای کلاسیک است؛ یعنی اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتومی را، که در صورت سازگاری با دیگر تئوری‌ها باید بحساب آورد، مدنظر قرار نمی‌دهد. علت آنکه اختلافی بین نظریه و مشاهده بچشم نمی‌خورد آنست که معمولاً سروکارمان با میدانهای گرانشی ضعیف می‌باشد. اما قضیه تکینگی که پیشتر مورد بحث قرار گرفت، نشان می‌دهد که میدان گرانشی باید دست کم در دو حالت بسیار قوی باشد: حفره‌های سیاه و انفجار بزرگ. در چنین میدانهای نیرومندی تأثیر مکانیک کوانتوم بسیار برجسته است. بنابراین، به‌یک معنا، نسبیت عام کلاسیک، با پیش بینی نقاطی با چگالی نامتناهی، سقوط خود را پیش گوئی می‌کند، درست همانطور که مکانیک کلاسیک (غیرکوانتومی) با طرح آنکه اتمها فرومی‌پاشند و چگالی شان بینهایت می‌شود، سقوط خود را پیش‌بینی نمود. ما هنوز نظریهٔ کامل و سازگاری که نسبیت عام و مکانیک کوانتوم را وحدت ببخشد، نداریم اما پاره‌ای از ویژگیهایی را که باید داشته باشد، می‌شناسیم. پیامدها و نتایج این ویژگیها در ارتباط با حفره‌های سیاه و انفجار بزرگ، در فصلهای بعدی تشریح می‌شوند. اما فعلاً می‌پردازیم به کوششهای اخیر برای نزدیک کردن دانش ما از دیگر نیروهای طبیعت و وحدت آنها در یک تئوری کوانتومی واحد.

# ۵

# ذرات بنـــیادین و نیـــروهای طبیعت

ارسطو معتقد بود که تمامی اشیاء در جهان از چهار عنصر بنیادی تشکیل شده‌اند: خاک، هوا، آتش و آب. این عناصر تحت تأثیر دو نیرو می‌باشند: گرانش یا گرایش خاک و آب به پائین آمدن، و سبکی یا گرایش هوا و آتش به صعود. این تقسیم بندی محتویات جهان به ماده و نیرو امروزه هنوز رواج دارد.

ارسطو اعتقاد داشت که ماده پیوسته است، یعنی می‌توان یک قطعه از ماده را بدون حد و مرز به قطعه های کوچک و کوچکتر تقسیم کرد بی آنکه به قطعه ای که دیگر تقسیم پذیر نباشد، برخورد نمود. اما چند تن از یونانیان مثل دموکریتوس معتقد بودند که ماده ذاتاً دانه دانه است و همه چیز از تعداد بی شماری اتمهای گوناگون درست شده است. (واژه «اتم» در زبان یونانی به معنای بخش ناپذیر است.) قرنها این بحث ادامه یافت بدون آنکه گواهی واقعی بسود هر یک از طرفین پیدا شود، اما در سال ۱۸۰۳ شیمیدان و

فیزیکدان انگلیسی، جان دالتون، با اشاره به این واقعیت که ترکیب های شیمیائی همواره در نسبتهای معینی با یکدیگر در می‌آمیزند، خاطرنشان ساخت که بهم پیوستن اتمها و تشکیل واحدهایی به نام ملکول، بخوبی پدیده بالا را توضیح می‌دهد. بهرحال بحث بین پیروان این دو مکتب فکری تا سالهای نخست قرن حاضر به نفع اتم گرایان خاتمه نیافت. انشتین یکی از گواههای مهم را ارائه نمود. او در سال ۱۹۰۵، چند هفته پیش از جزوه مشهور نسبیت خاص، طی مقاله ای خاطرنشان ساخت که آنچه حرکت براونی خوانده می‌شود ــ حرکت نامنظم و تصادفی ذرات کوچک غبار معلق در یک مایع ــ ناشی از تصادم و برخورد اتمهای مایع با ذرات غبار می‌باشد.

با اینهمه، در آن هنگام، تردیدهایی نسبت به بخش ناپذیر بودن اتمها ابراز می‌گردید. چندین سال قبل یکی از محصلین ترینیتی کالج کمبریج بنام ج.ج. تامسون وجود یک ذره مادی بنام الکترون را باثبات رسانده بود. این ذره جرمی کمتر از یک هزارم جرم سبکترین اتم داشت. او از وسیله ای مانند لولهٔ تصویر تلویزیون های امروزی سود جست: یک رشته فلزی که از شدت گرما سرخ شده بود، الکترون پرتاب می‌نمود و از آنجا که بارشان منفی بود، الکترونها به کمک یک میدان الکتریکی، باشتاب بسوی صفحه فسفر اندودی رانده می‌شدند و چون بصفحه برخورد می‌کردند، پرتوهائی از نور تولید می‌شد. بزودی معلوم شد که این الکترونها از درون خود اتمها باید بیرون آمده باشند و در سال ۱۹۱۱ فیزیکدان انگلیسی ارنست راترفورد، سرانجام نشان داد که اتمهای ماده خوددارای ساختاری درونی هستند: آنها دارای یک هسته فوق العاده کوچک بابارمثبت اند که گردآن، تعدادی الکترون در حرکتند. او با تحلیل چگونگی انحراف ذرات $\alpha$ــ که دارای بار مثبتند و از اتمهای رادیواکتیو خارج می‌شوند ــ بهنگام برخورد با اتمها به این نتیجه دست یافت.

در آغاز، می‌پنداشتند که هسته اتم از الکترونها و تعداد متفاوتی از ذرات با بار مثبت بنام پروتون تشکیل شده است. پروتون از واژه یونانی بنام «نخست» گرفته شده است زیرا تصور عموم بر آن بود که پروتون واحد اساسی

سازنده اتم است: اما در سال ۱۹۳۲، یکی از همکاران راترفورد در کمبریج بنام جیمز چادویک[1]، کشف کرد که هسته شامل ذرهٔ دیگری بنام نوترون است که جرمی برابر با جرم پروتون دارد اما بار الکتریکی ندارد. چادویک بخاطر این کشف جایزه نوبل را دریافت داشت و بریاست کالج گونویل و کایوس[2] کمبریج (که من هم یکی از اعضای آن هستم) برگزیده شد. او بعدها بخاطر اختلاف نظر بادیگر کارکنان کالج ازین سمت کناره گرفت. گروهی ازاعضای جوان کالج، پس از بازگشت از جنگ، خواستار برکناری پیرترها از سمتهایی که سالیان سال برعهده داشتند، شدند. این مربوط می‌شود بدوره‌های قبل از من. من در سال ۱۹۶۵ وارد کالج شدم، یعنی در پایان یکدوره تلخ، هنگامیکه اختلاف نظرهای مشابهی، یکی دیگر از اساتید برنده جایزه نوبل بنام سر نویل مات[3] را وادار به استعفا نمود.

تا حدود بیست سال پیش، پروتون‌ها و نوترون‌ها ذرات بنیادین انگاشته می‌شدند، اما بررسی های بعمل آمده روی برخورد پروتون‌ها با یکدیگر یا با الکترونها در سرعتهای بالا نشان داد که در حقیقت این ذرات خود از اجزاء کوچکتری تشکیل شده‌اند. این ذرات ریز بوسیله فیزیکدان دانشگاه کلتک، موری گل-مان، کوارک نامیده شدند. او در سال ۱۹۶۹ بخاطر مطالعاتش روی کوارکها جایزه نوبل را ربود. منشأ این نامگذاری را باید در یکی از جملات رازآمیز جیمز جویس جست[4]. کلمهٔ کوارک ظاهراً باید مثل کوارت تلفظ شود با این تفاوت که بجای ت، کاف در انتهای کلمه است، اما معمولاً مثل لارک تلفظ می‌گردد.

چندین نوع کوارک متفاوت وجود دارند: دست کم شش «دسته» شناسائی شده‌اند که بالا، پائین، عجیب، مفتون، ته و سر[5] نامیده شده‌اند. هر

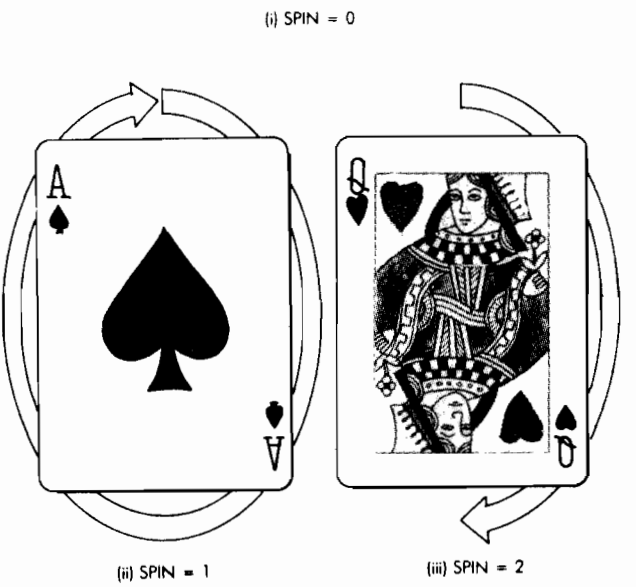
1. James Chadwick
2. Gonville and Caius
3. Sir Nevill Mott
4. Three Quarks for Master Mark
5. up. down. strange, charmed, bottom, top

دسته از سه «رنگ» تشکیل شده است: سرخ، سبز، و آبی. (باید توجه داشت که این اصطلاحات، عناوینی بیش نیستند: کوارک‌ها بسیار کوچکتر از طول موج نورمرئی‌اند و به‌معنای رایج کلمه، هیچ رنگی ندارند. ظاهراً فیزیکدانان مدرن، به قوهٔ تخیل خود پروبال داده‌اند و برای نامگذاری ذرات جدید، دیگر خود را بزبان یونانی محدود نمی‌کنند!) پروتون یا نوترون از سه کوارک با سه رنگ درست شده است. پروتون از دو کوارک بالا و یک کوارک پائین و نوترون از دو پائین و یک بالا تشکیل شده است. می‌توان ذراتی از دیگر کوارکها ساخت (عجیب، مفتون، ته، و سر) اما همهٔ اینها جرمی بس زیاد دارند و بتندی به‌پروتون و نوترون تجزیه می‌شوند.

امروزه می‌دانیم که نه اتمها و نه پروتون و نوترون درون آنها، تقسیم‌ناپذیر نیستند. بنابراین مسئله اینست: ذرات بنیادین واقعی که عناصر ساختمانی اولیه همه اشیاء‌اند، کدامند؟ از آنجا که طول موج نور بسیار بزرگتر از اندازه اتم است، نمی‌توان به «دیدن» اجزاءِ اتم به‌شیوهٔ معمولی دل بست. برای اینکار به‌چیزی با طول موج بس کوتاهتر نیاز داریم. همانطور که در فصل قبل دیدیم، مکانیک کوانتوم می‌گوید که ذرات در واقع موج هستند و هر چه انرژی ذره‌ای بیشتر باشد، طول موجِ موجِ متناظر، کوتاهتر است. بنابراین بهترین پاسخی که به‌سؤال بالا می‌توان داد، بستگی دارد به‌آنکه انرژی ذره‌ای که در اختیار داریم، چقدر زیاد باشد. دلیل این امر آنست که انرژی ذره تعیین می‌کند که حداقل طولی که می‌توانیم ببینیم، چقدر است. انرژی این ذرات برحسب واحدی بنام الکترون‌ولت سنجیده می‌شود. (در آزمایش‌های تامسون روی الکترونها، دیدیم که او به‌کمک یک میدان الکتریکی، به‌الکترونها شتاب داد. مقدار انرژی‌ای که یک الکترون، از یک میدان الکتریکی یکی ولتی کسب می‌کند، یک الکترون ولت می‌باشد.) در قرن نوزدهم، یعنی هنگامیکه مردم تنها می‌توانستند از انرژی ضعیف چند الکترون ولتی واکنش‌های شیمیائی ــ مثل سوختن ــ استفاده کنند، می‌پنداشتند که اتم‌ها کوچکترین واحد ماده‌اند. در آزمایش راترفورد، ذره $\alpha$

میلیونها الکترون ولت انرژی داشت. اینک، ما می‌توانیم با استفاده از میدانهای الکترومغناطیسی، نخست میلیونها و سپس هزاران ملیون الکترون ولت انرژی به ذرات بدهیم. و به این ترتیب می‌دانیم ذراتی که بیست سال قبل «بنیادین» انگاشته می‌شدند، در واقع از ذرات کوچکتری تشکیل شده‌اند. آیا اگر به انرژی‌های بازهم بالا تری دست یابیم، معلوم نخواهد شد که اینها نیز بنوبه خود از ذرات کوچکتری درست شده‌اند؟ بیگمان این امر امکانپذیر است، اما ما دلایل نظری‌ای در دست داریم که باور کنیم سلول‌های نهائی سازندهٔ طبیعت را می‌شناسیم یا به‌شناسائی آنها بسیارنزدیک شده‌ایم.

با استفاده از دوگانگی موج/ذره که در فصل آخر پیرامونش گفتگو کرده‌ایم، درطبیعت همه چیز را، از جمله نور و گرانش، می‌توان برحسب ذرات توضیح داد. این ذرات دارای خاصیتی اند بنام اسپین (Spin). این خاصیت را می‌توان به‌چرخش فرفره‌حول محورش تشبیه کرد. اما اینکار ممکن است باعث سوءِ تفاهم شود، زیرا بنا بر مکانیک کوانتومی، ذرات هیچ محور مشخص و معینی ندارند. اسپین ذرات واقعاً چه می‌گوید؟ این خاصیت بما می‌گوید که ذره، از جهت‌های مختلف چه شکل و شمایلی دارد. یک ذره با اسپین صفر به‌یک نقطه می‌ماند: از هر سو که نگاهش کنیم فرقی نمی‌کند (شکل ۱ــ۵، i). از سوی دیگر، ذره‌ای با اسپین ۱ مثل یک پیکان می‌ماند: از جهت‌های مختلف، به‌شکلهای متفاوت بنظر می‌رسد (شکل ۱ــ۵ ii). تنها وقتی یکدور کامل بچرخانیمش (۳۶۰ درجه) یکسان بنظر می‌رسد. ذره‌ای با اسپین ۲ مثل پیکان دو سر است (شکل ۱ــ۵، iii). اگر ۱۸۰ درجه یا نیمدور بگردانیمش، شکلش فرق نمی‌کند. بهمین ترتیب، ذرات با اسپین بالا تر، تنها وقتی یکسان بنظر می‌رسند که به اندازهٔ کسری از یکدور کامل، آنها را بگردانیم. این‌ها همه ساده و گویا بنظر می‌رسند، اما موضوع قابل تأمل آنست که ذراتی یافت می‌شوند که با یکدور گردش کامل، یکسان بنظر نمی‌رسند: باید آنها دو دور کامل گرداند! اسپین این ذرات برابر با $^{1}/_{2}$ است.




شکل ۵.۱:

تمامی ذرات جهان را بدو گروه می‌توان تقسیم کرد: ذرات با اسپین ۱/۲ که تشکیل دهنده ماده‌اند و ذرات با اسپین ۰، ۱، و۲ که همچنانکه بعداً خواهیم دید منشأ نیروهای بین ذرات ماده‌اند. ذرات ماده از اصل طرد پاولی[6] پیروی می‌کنند. این اصل در سال ۱۹۲۵ بوسیله یک فیزیکدان اتریشی بنام ولفگانگ پاولی کشف شد ــ و جایزه نوبل سال ۱۹۴۵ به‌این خاطر باو تعلق گرفت. او نمونه یک فیزیکدان نظری بود: درباره‌اش می‌گفتند که حضورش در شهر باعث می‌شد آزمایش‌ها خطا از آب درآیند! اصل طرد پاولی می‌گوید که دو ذره همانند، در یک حالت نمی‌توانند وجود داشته باشند، یعنی

6. Pauli's Exclusion Principle

آندو نمی‌توانند در محدوده مقرر بوسیله اصل عدم قطعیت، دارای وضعیت و سرعت یکسان باشند. اصل طرد اهمیت بسیار زیاد دارد چرا که علت عدم فروپاشی ذرات مادی را زیر تأثیر نیروهای ناشی از ذرات با اسپین صفر، یک، و دو، توضیح می‌دهد: اگر ذرات مادی وضعیت تقریباً یکسانی داشته باشند، باید سرعتهاشان با یکدیگر فرق کند، یعنی نمی‌توانند برای مدت زیادی در یکجا قرار بگیرند. اگر جهان بدون اصل طرد آفریده شده بود، کوارکها، پروتون و نوترون‌های جداگانه و مشخص و معینی بوجود نمی‌آوردند و اینها نیز بنوبه خود بهمراه الکترونها، اتمهای مجزا و مشخص ایجاد نمی‌کردند. بلکه همگی فرو می‌پاشیدند و «شوربا»ی متراکم و یکنواختی را بوجود می‌آوردند.

تا ۱۹۲۸ درک کامل الکترون و دیگر ذرات با اسپین ۱/۲، مقدور نشد. در این سال پل دیراک[7] ــ که بعداً بعنوان استاد لوکازین ریاضیات در کمبریج انتخاب شد (همان سمتی که زمانی نیوتن بر عهده داشت و اکنون برعهده من است) ــ نظریه‌ای ارائه داد که در نوع خود بی نظیر بود چرا که هم با مکانیک کوانتوم سازگار بود و هم با نظریه نسبیت خاص. این تئوری بطور ریاضی توضیح می‌داد که چرا اسپین الکترون ۱/۲ است. به‌عبارت دیگر چرا وقتی آنرا تنها یک دور کامل می‌گردانیم، یکسان بنظر نمی‌رسد، اما با دو دور گردش، چنین می‌شود. نظریه او همچنین پیش بینی می‌کرد که الکترون باید یک همراه داشته باشد: یک پاد الکترون یاپوزیترون. در سال ۱۹۳۲ کشف پوزیترون نظریه دیراک را مورد تأیید قرار داد و منجر به اعطای جایزه نوبل ۱۹۳۳ فیزیک به او شد. اکنون ما می‌دانیم که هر ذره، یک پاد ذره دارد که با آن می‌تواند نابود شود. (در مورد ذرات حامل نیرو، پادذره‌ها مثل خود ذرات می‌باشند.) از پاد ذره‌ها، پاد جهان‌ها و پادمردمانی می‌تواند وجود داشته باشد. در هر صورت، اگر روزی با پادخودتان ملاقات کردید، با او دست ندهید!

7. Paul Dirac

وگرنه هر دو در جا محو می‌شوید و یک جرقه بزرگ نورانی تولید خواهد شد. اینکه چرا تعداد ذره‌ها از پادذره‌ها در اطراف، بیشتر بنظر می‌رسد، سؤالی بس مهم است و بعداً در همین فصل به آن خواهم پرداخت.

در مکانیک کوانتوم، فرض برآنست که نیروها یا واکنش های بین ذرات مادی همگی بوسیله ذرات با اسپین عدد صحیح ــ ۰، ۱، یا ۲ــ انجام می‌گیرد. آنچه اتفاق می افتد آنست که یک ذره مادی، مثل یک الکترون یا کوارک، یک ذره حامل نیرو را گسیل می‌کند. پس زدن ناشی ازین گسیل، سرعت ذره مادی را تغییر می‌دهد. ذرهٔ حامل نیرو سپس با یک ذره مادی دیگر برخورد می‌کند و جذب می‌شود. این برخورد سرعت ذرهٔ دوم را تغییر می‌دهد، درست مثل آنکه بین دو ذره مادی نیرویی اعمال شده است.

ویژگی مهم ذرات حامل نیرو آنست که از اصل طرد پیروی نمی‌کنند، یعنی هیچ محدودیتی برای تعداد ذرات رد و بدل شده وجود ندارد، و این خود عامل شکل گیری نیروهای قوی است. اما اگر ذره‌های حامل نیرو جرم زیادی داشته باشند، تولید و مبادله آنها در فاصله های طولانی، دشوار و بنابراین برد حمل نیروها بسیار کوتاه خواهد بود. از سوی دیگر، چنانچه ذرات حامل نیرو هیچ جرمی از خود نداشته باشند، نیروهایی دوربرد خواهیم داشت. گفته می‌شود ذرات حامل نیرو که میان ذرات مادی رد و بدل می‌شوند، ذرات مجازی‌اند زیرا برخلاف ذرات «حقیقی»، آنها را مستقیماً با یک آشکارساز ذره، نمی‌توان نمایان کرد. با اینحال ما می‌دانیم که آنها وجود دارند چرا که دارای تأثیری سنجش پذیر می‌باشند: آنها نیروهای میان ذرات مادی را ایجاد می‌نمایند. ذره‌های با اسپین ۰، ۱، یا ۲ تحت شرائطی مستقیماً آشکارپذیرند و بمثابه ذرات حقیقی تلقی می‌شوند. در این حالت، آنها بصورتی بر ما ظاهر می‌شوند که فیزیکدانان کلاسیک موج می‌نامند، مثل امواج نور یا امواج گرانش. آنها گاه، وقتی ذرات مادی با مبادله ذرات مجازی حامل نیرو، بریکدیگر تأثیر متقابل می‌گذارند، گسیل می‌شوند. (مثلاً نیروی الکتریکی رانش میان دو الکترون، ناشی از مبادله فوتون های مجازی است، که هرگز

بطور مستقیم آشکار نمی‌شوند؛ اما اگر الکترونی از کنار دیگری بگذرد، فوتونهای حقیقی ممکن است خارج شوند که برای ما به شکل امواج نور نمایان می‌گردند.)

می‌توان ذرات حامل نیرو را برحسب شدت نیروئی که حمل می‌کنند و ذراتی که بر آنها متقابلاً تأثیر می‌کنند، به چهار دسته تقسیم بندی کرد. تأکید می‌کنم که این تقسیم بندی ساختگی است؛ و برای ساختن نظریه های پاره‌ای مناسب است، اما هیچ معنای ژرفتری ندارد. بیشتر فیزیکدانان امیدوارند سرانجام نظریه یکپارچه‌ای بیابند که بتواند هر چهار نیرو را بعنوان وجوه مختلف یک نیروی واحد توصیف نماید. در واقع بسیاری برآنند که این آماج نخستین فیزیک امروز است. بتازگی، تلاش های موفقی در جهت وحدت سه نیرو از چهار دسته نیرو بعمل آمده است ـــ و من آنها را درین فصل توضیح خواهم داد. و اما در مورد وحدت دسته نیروهای باقیمانده، یعنی گرانش، در فصل های بعد بسراغش خواهیم رفت.

نخستین دسته، نیروی گرانش است. این نیروئی عام است، یعنی بر هر ذره‌ای متناسب با جرم یا انرژی اش، نیروی گرانش وارد می‌شود. گرانش در مقایسه با سه نیروی دیگر به‌مراتب ضعیفتر است؛ بطوریکه اگر دو ویژگی خاص را دارا نبود، آنرا درنظر نمی‌گرفتیم: گرانش می‌تواند تافاصله های دور عمل کند و همواره نیروئی جذب کننده است. یعنی همین نیروهای ضعیف گرانش میان تک تک ذرات در دو جسم بزرگ، مثل زمین و خورشید، همگی با یکدیگر جمع می‌شوند و نیرویی عظیم بوجود می‌آورند. سه نیروی دیگر یا کوتاه‌برد هستند یا آنکه گاه جاذبه و گاه دافعه‌اند، در نتیجه گرایش آنها به‌خنثی سازی یکدیگر است. در توصیف میدان گرانش از دیدگاه مکانیک کوانتوم نیروی میان دو ذره مادی، بوسیله ذره‌ای با اسپین ۲، بنام گراویتون[8] حمل می‌شود. گراویتون از خود جرمی ندارد، ازینرو نیرویی که حمل می‌کند،

8. Graviton

دور برد است. نیروی گرانشی میان خورشید و زمین را به مبادلهٔ گراویتون‌ها بین اجزاءِ تشکیل دهندهٔ این دو کره نسبت می‌دهند. هر چند ذره‌های رد و بدل شده مجازی‌اند، امّا تأثیرشان سنجش‌پذیر است ــ آنها زمین را بگردش دور خورشید وامی‌دارند! گراویتون‌های حقیقی چیزی را درست می‌کنند که فیزیکدانان کلاسیک امواج گرانشی می‌نامند. آنها بسیار ضعیفند و بدشواری آشکار می‌شوند و در واقع کسی تاکنون آنها را مشاهده نکرده است.

دسته دیگر نیروی الکترومغناطیس است، که با ذره‌های بارداری مثل الکترون و کوارک وارد فعل و انفعال می‌شوند اما تأثیری بر ذرات غیربردار مانند گراویتون ندارند. این نیرو بسیار قویتر از نیروی گرانشی است: نیروی الکترومغناطیسی میان دو الکترون در حدود یک ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون (یک با چهل و دو صفر) برابر گرانش است. امادو نوع بار الکتریکی هست: مثبت و منفی. نیروی بین دو بار مثبت یا دو بار منفی رانشی است، اما برای دو بار غیرهمنام، نیروی مزبور جاذبه است. یک جسم بزرگ مثل زمین یا خورشید، دارای شمار برابری از بارهای مثبت و منفی است. بنابراین نیروهای جاذبه و دافعه بین ذرات، کمابیش یکدیگر را خنثی می‌سازند و نیروی الکترومغناطیسی خالص ناچیزی باقی می‌ماند. با این وجود، در مقیاس کوچک، درون اتمها و ملکولها، نیروهای الکترومغناطیس دست بالا را دارند. جاذبه الکترومغناطیسی بین الکترونها و پروتونهای هسته، موجب گردش الکترونها بدور هسته می‌گردد، همانطور که جاذبه گرانشی باعث حرکت زمین گرد خورشید می‌شود. جاذبه الکترومغناطیسی ناشی از مبادلهٔ شمارِ زیادی ذرهٔ مجازیِ بدونِ جرم با اسپین ۱ می‌باشد که فوتون نامیده می‌شوند. در اینجا، باز فوتونهای رد و بدل شده ذره مجازی‌اند. اما وقتی الکترونی از یک مدار مجاز به مدار مجاز دیگری نزدیک هسته منتقل می‌شود، انرژی آزاد گشته و یک فوتون حقیقی گسیل می‌گردد ــ این فوتون در صورتی که طول موج مناسبی داشته باشد، برای چشم انسان مرئی است یا آنکه با یک آشکارساز فوتون مثل فیلم عکاسی نمایان می‌گردد. به همین ترتیب، اگر

یک فوتون حقیقی با یک اتم برخورد نماید، ممکن است الکترونی را از یک مدار مجاز به‌مدار مجازی دورتر از هسته، انتقال دهد. این باعث مصرف انرژی فوتون و جذب آن می‌شود.

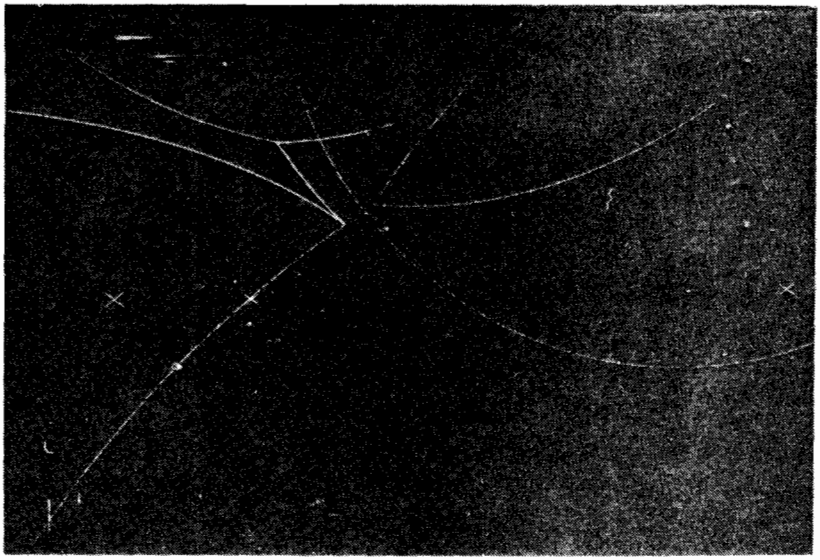
سوّمین دسته، نیروی هسته‌ای ضعیف می‌باشد که موجب پدیده رادیواکتیویته است و روی همهٔ ذرات مادی با اسپین $\frac{1}{2}$ اثر می‌گذارد اما بر ذره‌های با اسپین ۰، ۱، یا ۲ از قبیل فوتون و گراویتون اثر نمی‌کند. تا سال ۱۹۶۷ نیروی هسته‌ای ضعیف بخوبی شناسائی و درک نشده بود. در آن هنگام، عبدالسلام از کالج سلطنتی لندن و استیون واینبرگ از هاروارد، نظریه‌هائی ارائه کردند که موجب یکپارچگی و وحدت این قبیل فعل و انفعالات با نیروی الکترومغناطیسی شد، همانطور که ماکسول یکصد سال پیش به‌الکتریسیته و مغناطیس وحدت بخشیده بود. بگفته آنها، علاوه بر فوتون، سه ذره دیگر وجود دارند که اسپین شان ۱ می‌باشد و همگی بوزون‌های برداری بزرگ[9] (massive) نامیده می‌شوند و حامل نیروی ضعیف‌اند. ذره اول $W^+$ (دابلیو مثبت)، ذره دوم $W^-$ (دابلیو منها) و ذره سوم $Z^0$ (زد صفر) خوانده می‌شود و هر یک جرمی در حدود ۱۰۰ GeV (۱۰۰ بمعنای ژیگا الکترون ولت یا هزار ملیون الکترون ولت است) دارد. نظریه واینبرگ ــ سلام ویژگی ای را بنمایش می‌گذارد که بنام شکست خودانگیز تقارن می‌شناسیمش. یعنی ذراتی که بظاهر در انرژیهای پائین بکلی متفاوت بنظر می‌رسند، در واقع همگی یکنوع ذره را تشکیل می‌دهند منتها با حالتهای مختلف. درانرژیهای بالا، همگی بطور مشابه رفتار می‌کنند، مثل گلولهٔ بازی رولت روی گردونه. در انرژیهای بالا (هنگامیکه گردونه بسرعت می‌چرخد) گلوله اساساً تنها یک شکل رفتار می‌کند ــ می‌چرخد و می‌چرخد. اما چون از سرعت گردونه کاسته می‌شود، انرژی گلوله کم می‌شود و سرانجام در یکی از سی و هفت شکاف گردونه می‌افتد. بدیگر سخن در انرژیهای پائین، گلوله

9. Massive Vector Boson

می‌تواند سی و هفت حالت بخود بگیرد. اگر بدلایلی قادر بودیم گلوله را تنها در انرژیهای پائین مشاهده کنیم، می‌پنداشتیم سی وهفت نوع گلوله مختلف موجود است.

براساس نظریه واینبرگ ــ سلام، در انرژیهای بسیار بالا تر از ۱۰۰ GeV، سه ذره جدید بهمراه فوتون، همگی رفتاری مشابه خواهند داشت. اما در انرژیهای پائینتر، که شامل بیشتر وضعیت های عادی است، این تقارن میان ذره‌ها می‌شکند. $W^+$ و $W^-$ و $Z^0$ جرمهای بزرگی اختیار می‌کنند و در نتیجه نیروهایی که حمل می‌کنند کوتاه‌برد می‌شوند. هنگامیکه سلام و واینبرگ نظریه‌شان را طرح کردند، افراد معدودی سخن آنها را پذیرفتند و شتابدهنده‌های ذره در آن روزها آنقدر نیرومند نبودند تا به ۱۰۰ GeV، انرژی مورد نیاز برای تولید $W^+$ و $W^-$ یا ۰٪ حقیقی، برسند. اما طی ده سال پس از آن، دیگر پیش بینی های نظریه در مورد انرژیهای پائین، چنان بخوبی با آزمایش سازگار از آب درآمد که در سال ۱۹۷۹، سلام و واینبرگ بهمراه شلدن گلاشو از هاروارد که او هم نظریه‌های مشابهی برای وحدت نیروهای الکترومغناطیسی و هسته‌ای ضعیف پیشنهاد کرده بود، جایزه نوبل فیزیک را دریافت‌داشتند. سال ۱۹۸۳ در CERN (مرکز تحقیقات اتمی اروپا)، سه همتای بزرگ پیش گفتهٔ فوتون کشف شدند و کمیته نوبل از نگرانی اینکه مبادا دچار اشتباه شده باشد، نجات یافت. جرم این ذرات و دیگر خواص آنها با پیش بینی های نظریه کاملاً مطابقت داشت. کارلو روبیا که گروه چند صدنفری فیزیکدانان مرکز تحقیقات اروپا را رهبری کرده بود، بهمراه سیمون وان در میر، مهندس CERN که مبدع سیستم ذخیره پاد ماده در این آزمایش بود، بدریافت جایزه نوبل سال ۱۹۸٤ نائل آمد. (امروزه دستیابی به‌نام و نشان در فیزیک تجربی بسیار دشوار شده است مگر آنکه شخص در رأس باشد!)

چهارمین دسته، نیروی هسته‌ای قوی است که در نوترون و پروتون، کوارکها را در کنار هم نگاه می‌دارد و در هسته اتم، نوترون‌ها و پروتون‌ها را



**شکل ۵.۲: یک پروتون ویک پادپروتون در انرژی زیاد به‌یکدیگر برخورد می‌کنند و تعدادی کوارک تقریباً آزاد تولید می‌نمایند.**

دورهم جمع می‌کند. باور عموم برآن است که ذره دیگری بنام گلوئون gluon ، با اسپین ۱، این نیرو را حمل می‌کند و تنها با خودش و نیز با کوارک ها وارد کنش و واکنش می‌گردد. نیروی هسته ای قوی ویژگی عجیبی دارد بنام تحدید: این ویژگی ذرات را بگونه‌ای درکنار یکدیگر قرار می‌دهد که هیچ رنگی حاصل نگردد. نمی‌توان یک کوارک تنها را یافت چرا که بناچار رنگی است (سرخ، سبز، یا آبی). درعوض یک کوارک سرخ باید با یک «رشته» گلوئون به‌یک کوارک سبز و یک آبی متصل گردد (سرخ+سبز+آبی =سفید). این مجموعه سه تائی یک پروتون یا یک نوترون بوجود می‌آورد. امکان دیگر، زوجی مرکب از یک کوارک و یک پادکوارک است (سرخ+پادسرخ یا سبز+پادسبز یا آبی = سفید). چنین ترکیباتی، ذره‌ای

بنام مزون[10] شکل می‌دهند که ناپایدارند زیرا کوارک و پادکوارک می‌توانند یکدیگر را نابود کنند و الکترون و ذره‌هایی دیگر تولید نمایند. به همین سان، خاصیت تحدید مانع از آنست که یک گلوئون تنها بماند، چرا که گلوئونها هم دارای رنگ می‌باشند. در عوض مجموعه‌ای از گلوئونها را می‌توان یافت که از ترکیب رنگهای آنها، رنگ سفید حاصل شود. چنین مجموعه‌ای، ذرهٔ ناپایداری تشکیل می‌دهد که گلوبال[11] نام دارد.

اینکه خاصیت تحدید مانع از مشاهده یک کوارک یا گلوئون بطور مجزا و منفرد است، ممکن است کل مفهوم کوارک و گلوئون را تا حدی متافیزیکی جلوه دهد. اما نیروی هسته‌ای قوی ویژگی دیگری بنام آزادی مجانب‌وار دارد که مفهوم کوارک و گلوئون را کاملاً تعریف می‌نماید. در انرژی‌های معمولی، نیروی هسته‌ای قوی، براستی قوی است، و موجب پیوستگی فشردهٔ کوارکها بیکدیگر می‌گردد. اما آزمایش با شتابدهنده‌های ذره عظیم نشان می‌دهد که در انرژی‌های بالا نیروی هسته‌ای قوی، بسیار تضعیف می‌شود و کوارکها و گلوئونها کمابیش مثل ذرات آزاد رفتار می‌کنند. شکل ۲ــ۵ تصویری است از برخورد بین یک پروتون و یک پادپروتون پرانرژی. چندین کوارک تقریباً آزاد تولید شد که مسیرهای موجود در تصویر را پیمودند.

در پی موفقیت وحدت نیروهای الکترومغناطس ونیروهای هسته‌ای ضعیف، تلاش‌هایی برای یکپارچگی ایندو نیرو با نیروی هسته‌ای قوسی و تدوین نظریه‌ای بنام تئوری بزرگ یکپارچه (GUT)[12] به‌عمل آمد. این عنوان تا حدی اغراق‌آمیز است: نظریه‌های موجود در این زمینه نه آنقدرها بزرگند و نه کاملاً یکپارچه زیرا شامل نیروی گرانش نمی‌شوند. ضمناً آنها رانظریه‌ای کامل نمی‌توان دانست، چرا که دارای تعدادی پارامتر می‌باشند که مقدارشان

10. Meson
11. glueball
12. Grand Unified Theory

را از نظریه نمـی‌تـوان پیش‌بینی نـمود بلکه بـاید بگونه‌ای انـتخاب شوند کـه با تجربه جور دربیایـد. با اینهمه، این تئوریها شاید گامی به‌سوی نظریه‌ای کامل و کاملاً یکپـارچه باشد. اندیشـه بنیادین GUT هـا ازینقرار است: همانطور که پیشتر گـفتیم، نیـروی هسته‌ای قوی، در انرژیهای بالا تضعیف می‌شود. از سوی دیگر، نیـروهای الکترومغناطیس و هسته‌ای ضعیف که بطورمجانب آزاد نیستند، در انرژیهـای بالا تقویت می‌شونـد. در انرژی بسیار بالا و معینی، بنام انرژی بزرگ یکپـارچگی، این سه نـیرو همگی قـوتی یکسان دارند و بـنابراین می‌تواننـد وجـوه مختـلف نـیرویی یگـانـه باشند. تئوریـهای بزرگ یکپـارچه (GUTs) همچـنین پـیش‌بـینی مـی‌کنند کـه در این انرژی، ذره‌هـای مادی مـختلف با اسپـیـن $\frac{1}{2}$، مثل کوارک و الکتـرون، در اسـاس ذراتی یکسانند و به‌این ترتیب، یکپارچگی دیگری بدست می‌آید.

اندازه انرژی بـزرگ یکپارچـگی درست مـعلوم نیسـت، اما احـتـمالاً، دست‌کم یک هـزار مـلیون ملیـون GeV است. نسل کنونـی شتابدهنـده‌های ذره قادر است ذراتی با انرژی تقریباً یکصد GeV را به‌یکدیگر تصادم دهد و ماشینهـائی طراحی شده‌انـد که این مقدار را بـه‌چند هزار GeV برسـانند. اما ماشـینی کـه بتوانـد انرژی ذرات را بـه‌انرژی بزرگ یکپـارچگی برسانـد، باید بـه‌بـزرگـی مـنظـومـه شـمسـی بـاشـد که در اوضـاع واحـــوال‌اقـتصـادی فـعـلی سرمایه‌گذاری روی چنین طرحی نامحتمل است. بنابراین محک زدن مستقیم تئوریـهای بزرگ یـکپـارچه بـه‌عیار تـجـربه آزمایشـگاهی، ممـکن نیسـت، اما درست هـمـانند نظـریـه یکپـارچهٔ نیـروهـای الکتـرو مغنـاطیسی و ضعیف، تئوری‌های بزرگ یـکپارچه، متضـمن نتایجـی در انرژیهای پائین می‌باشند که آزمون پذیرند.

جالـبترین این نـتایـج آنست که پروتون کـه بخش بزرگی از جرم ماده مـعمولـی را تشکیـل مـی‌دهد، بطور خـودانگیـز می‌تواند بـه‌ذرات سبکـتری مثل پادالکترونـها تجزیه شـود. این امر از آنرو امکان‌پذیر است که در انرژی بزرگ یکپـارچـگی، فرق اسـاسی بـین کـوارک و پاد الکـترون نـیست. سه کـوارک

درون پروتون بطور عادی انرژی کافی برای تبدیل شدن به پاد الکترون را ندارند، اما گاه یکی از آنها می‌تواند انرژی لازم را بدست آورد و به پادالکترون تبدیل شود، زیرا اصل عدم قطعیت به معنای آنست که انرژی کوارکهای درون پروتون را بطور دقیق نمی‌توان مشخص و تثبیت نمود. پس آنگاه پروتون مضمحل می‌گردد. احتمال آنکه کوارکی انرژی لازم را بدست آورد، چنان کم است که احتمالاً باید دست کم یک ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون (۱ جلویش ۳۰تاصفر)سال صبر کرد. این مدت بسیار طولانیتر از فاصله زمانی انفجار بزرگ تا حال می‌باشد، که تنها ده هزار ملیون (۱جلویش ۱۰تا صفر) سال به درازا کشیده است. بنابراین شاید فکر کنید که بطور تجربی، امکان اضمحلال خودانگیز پروتون را نمی‌توان به آزمایش گذاشت. امّا می‌توان با زیرنظر گرفتن مقدار زیادی ماده که تعداد زیادی پروتون دربردارد، شانس آشکارسازی یک واپاشی یا اضمحلال را افزایش داد. (برای مثال، اگر تعداد ده ملیون ملیون ملیون ملیون (۱ جلویش ۳۱ تا صفر) پروتون را برای مدت یکسال زیرنظر بگیریم، طبق ساده‌ترین GUT ها، می‌توان انتظار داشت که بیش از یکبار شاهد واپاشی پروتون باشیم.)

چند آزمایش ازین دست انجام گرفته است که از هیچیک گواه مشخصی دال بر واپاشی پروتون یانوترون بدست نیامده است. در یکی از آنها هشت هزار تن آب مورد استفاده قرار گرفت. محل آزمایش در معدن نمک مورتون در اوهایو قرار داشت (به این وسیله می‌خواستند از تأثیر دیگر رویدادهایی که بوسیله پرتوهای کیهانی رخ می‌دهند و می‌توانند با واپاشی پروتون اشتباه شوند، جلوگیری کنند). از آنجا که هیچ واپاشی خودانگیخته پروتون در طول آزمایش مشاهده نشد، می‌توان عمر محتمل پروتون را بیش از ده ملیون ملیون ملیون ملیون سال برآورد نمود. این مقدار از طول عمری که ساده‌ترین نظریه‌های بزرگ یکپارچه پیش‌بینی می‌کنند، بیشتر است، امّا تئوریهای استادانه‌تری هستند که طول عمرهای درازتری را پیش‌بینی می‌نمایند. برای آزمودن این نظریه‌ها، آزمایش‌هایی با دقت بیشتر و روی کمیت‌های بازهم

بیشتر ماده باید بعمل آید.

اگر چه مشاهده واپاشی خودانگیز پروتون بسیار دشوار است، شاید وجود خود ما نتیجهٔ فرآیند معکوس آن باشد، یعنی تولید پروتون‌ها یا بطور ساده‌تر، کوارک‌ها از وضعیتی ابتدائی که تعداد کوارکها بیش از پادکوارکها نیست. این فکر، طبیعی‌ترین روش برای تصور آغاز جهان است. ماده روی زمین بطور عمده از پروتون و نوترون تشکیل شده است که ایندو نیز بنوبه خود از کوارک درست شده‌اند. بجز تعداد کمی پادپروتون و پادنوترون که فیزیکدانها در شتابدهنده‌های عظیم ذره تولید می‌کنند، پادپروتون و پادنوترون دیگری که از پادکوارکها تشکیل شده باشد، وجود ندارد. بنابر شواهد بدست آمده از پرتوهای کیهانی، می‌دانیم که این امر برای تمامی ماده در کهکشان ما نیز صادق است: بجز تعداد اندکی پادپروتون یا پاد نوترون که بعنوان زوج‌های ذره پادذره در تصادمهای با انرژی بالا بوجود می‌آیند، پادپروتون یا پاد نوترون دیگری یافت نمی‌شود. اگر ناحیه‌های وسیعی از پادماده در کهکشان ما وجود می‌داشت، انتظار می‌رفت که تشعشع عظیمی را در مرزهای ماده و پادماده مشاهده کنیم. در این محل ذرات بسیاری با پادذره‌هاشان برخورد می‌کنند، یکدیگر را نابود می‌نمایند و تشعشع با انرژی بالا گسیل می‌دارند.

هیچ گواه روشنی در دست نیست که به‌ما صریحاً بگوید در دیگر کهکشانها، ماده از پروتون و نوترون تشکیل شده است یا پادپروتون و پادنوترون‌سازنده‌آنند، اما تنها یکی از ایندو حالت می‌تواند درست باشد: نمی‌توان آمیزه‌ای از آنها در کهکشانی واحد یافت زیرا در این صورت، باز شاهد تشعشع عظیم ناشی از نابودی خواهیم بود. بنابراین ما برآنیم که همهٔ کهکشانها بجای آنکه از پادکوارک تشکیل شده باشند، از کوارک بوجود آمده‌اند؛ اینکه بعضی کهکشانها از ماده درست شده باشند و برخی دیگر از پاد ماده، بنظر نادرست می‌نماید.

چرا باید تعداد کوارکها اینهمه بیش از پاد کوارکها باشد؟ چرا تعداد آنها با هم برابر نیست؟ البته این از خوش اقبالی ماست که تعدادشان مساوی

نیست، چرا که در غیراینصورت، در همان روزهای نخستین جهان، همهٔ کوارکها و پادکوارکها یکدیگر را نابود می‌کردند و جهانی سرشار از تشعشع و تهی از ماده برجای می‌گذاشتند. نه کهکشانی برجای می‌ماند، نه ستاره‌ای و نه سیاره‌ای که برآن زندگی انسانی بتواند بشکفد. چرا هم اکنون در جهان تعداد کوارکها بیش از پاد کوارکهاست؟ خوشبختانه تئوریهای بزرگ یکپارچه شاید پاسخی به این پرسش بدهند، حتی اگر بپذیریم که جهان، در آغاز دارای تعداد یکسانی کوارک و پادکوارک بوده است. همانطور که دیدیم، این تئوریها، تبدیل کوارکها به الکترون را در انرژیهای بالا مجاز می‌شمارند. آنها همچنین، فرآیندهای وارونه رانیز مجاز می‌دانند: پادکوارکها به الکترون تبدیل شوند و الکترون‌ها و پادالکترونها به کوارک و پادکوارک بدل گردند. در روزگاران نخستین، جهان چنان داغ و گداخته بود که ذرات، انرژی کافی برای این تبدیل و تبدل‌ها را دارا بودند. اما چرا این امر به اینجا منتهی شد که تعداد کوارکها از پادکوارکها بیشتر باشد؟ زیرا قانون‌های فیزیک در مورد ذرات و پاد ذرات چندان هم یکسان نمی‌باشند.

تا سال ۱۹۵۶ بر آن بودند که قوانین فیزیک از هر یک از تفاوتهای سه گانه موسوم به P،C و T پیروی می‌کنند. تقارن C یعنی قوانین برای ذره‌ها و پادذره‌ها یکسانند. تقارن P به معنای آنست که قانون‌های فیزیک برای هر وضعیت و تصویر آن در آینه، یکسانند (ذره‌ای که در جهت راستگرد می‌چرخد، درآینه تصویری دارد که عبارت است از ذره‌ای که در جهت چپگرد می‌گردد.) تقارن T یعنی اگر جهت حرکت ذرات و پادذرات را وارونه سازیم، دستگاه به سوی آنچه که پیشتر بود، حرکت می‌کند؛ بدیگر سخن، قوانین فیزیکی، در راستای جلو یا عقب زمان، یکسان می‌باشند.

در سال ۱۹۵۶، دو فیزیکدان آمریکائی بنامهای تسونگ-دائو لی[13] و چن نینگ یانگ[14]، گفتند که نیروی ضعیف، در حقیقت از تقارن P تبعیت

13. Tsung-Dao Lee
14. Chen Ning Yang

نمی‌کند. به‌عبارت دیگر، نیروی ضعیف جهان را به‌سویی پیش می‌برد که از تکامل تصویر آینه‌ای جهان متفاوت است. در همان سال، یکی از همکارانشان بنام چین-شیونگ وو[15] پیش بینی آنهارابه اثبات رساند. این خانم هسته های اتمهای رادیواکتیو را در یک میدان مغناطیسی قرار داد، و ترتیبی داد که همگی در یک جهت در حال چرخش باشند. معلوم شد که الکترونها در یک جهت، بیشتر از جهت دیگر ساطع می‌گردند. سال بعد، لی و یانگ جایزه نوبل را ربودند. همچنین نیروی ضعیف از تقارن C نیز پیروی نمی‌کند. یعنی به‌موجب این حقیقت، جهانی متشکل از پاد ذرات، رفتاری متفاوت از جهان ما دارد. با اینهمه بنظر می‌رسید که نیروی ضعیف از تقارن مرکب CP تبعیت کند، یعنی اگر هر ذره را با پادذره آن عوض کنند، تکامل جهان و انکشاف تصویرش در آینه یکسان خواهد بود. اما در سال ۱۹٦٤ دو آمریکائی دیگر بنامهای جی .دابلیو.کرونین[16] و وال فیچ[17]، کشف کردند که حتی تقارن CP هم در واپاشی ذرات خاصی بنام مزون K ، برقرار نیست. ایندو سرانجام در سال ۱۹۸۰ جایزه نوبل را دریافت کردند. (عده زیادی از برندگان جایزه نوبل، کسانی بوده اند که نشان دادند جهان به‌آن سادگی ها هم که فکر می‌کنیم نیست!)

یک قضیه ریاضی وجود دارد که می‌گوید هر نظریه‌ای که براساس مکانیک کوانتوم و نسبیت باشد، باید از تقارن مرکب CPT پیروی کند. به‌عبارت دیگر، اگر ذرات را با پاد ذرات جایگزین کنیم، تصویر آینه‌ای جهان را بگیریم و نیز جهت زمان را وارونه سازیم، جهان رفتاری یکسان خواهد داشت. اما کرونین و فیچ نشان دادند که اگر ذرات را با پاد ذرات عوض کنیم و تصویر آینه جهان را بگیریم، اما جهت زمان را تغییر ندهیم، جهان بطور یکسان رفتار نخواهد کرد. بنابراین، اگر جهت زمان را وارونه

15. Chien-Shiung Wu
16. J.W. Cronin
17. Val Fitch

سازیم، قوانین فیزیک باید تغییر کنند ــ آنها از تقارن پیروی نمی‌کنند.

بیگمان جهان نخستین، از تقارن T پیروی نمی‌کرده است: چون زمان بجلو می‌رود، جهان گسترش می‌یابد ــ اگر زمان به‌عقب برود، جهان منقبض می‌شود. و از آنجا که قوانینی هستند که ازتقارن T پیروی نمی‌کنند، در طی گسترش جهان، این نیروها می‌توانند پادالکترونهای بیشتری تولید کنند و اینها به‌نوبه خود به کوارک تبدیل شوند، و از طرف دیگر تولید الکترونها ــ که منجر به ایجاد پادکوارک می‌گردد ــ کاستی می‌گیرد. آنگاه، پس از آنکه جهان گسترش می‌یافت و سرد می‌شد، پادکوارکها، کوارکها را نابود می‌کردند، اما از آنجا که تعداد کوارکها بیشتر بود، شمار محدودی از آنها باقی ماند و در واقع همین ها هستند که مادهٔ کنونی را تشکیل می‌دهند و خودمانیز از آنان تشکیل شده‌ایم. بنابراین وجود خودما، می‌تواند تأییدی بر تئوریهای بزرگ یکپارچه باشد، اگر چه این تنها تأییدی کیفی است؛ عدم قطعیت ها چنان گسترده‌اند که نمی‌توان شمار کوارکهایی را که پس از نابودی باقی می‌ماند، پیش‌بینی نمود، حتی نمی‌توان گفت آنچه باقی می‌ماند کوارک است، یا پادکوارک. (با اینهمه اگر پادکوارکها زیادتر بودند، ما صرفاً کوارکها را پادکوارک و پادکوارکها را کوارک می‌نامیدیم.)

تئوریهای بزرگ یکپارچه، شامل نیروی گرانش نمی‌شوند. این امر چندان مهم نیست زیرا وقتی سروکارمان با ذرات بنیادین یا اتمهاست، معمولاً می‌توان از تأثیرات آن صرفنظر نمود. امّا اینکه، نیروی گرانش دوربرد است و همواره جاذبه می‌باشد، بمعنای آنست که اثراتش همیشه با هم جمع می‌شوند. بنابراین نیروهای گرانشی برای تعداد زیادی ذره مادی، بر همهٔ دیگر نیروها می‌چربند. اینست راز نقش تعیین کننده گرانش در تغییر و تحول جهان. حتی برای اشیائی باندازهٔ یک ستاره، نیروی جاذبه گرانشی، می‌تواند بر همه دیگر نیروها غلبه کند و باعث فروپاشی ستاره گردد. در طول سالهای هفتاد، تحقیقات من متمرکز بود بر حفره های سیاه یا سیاهچاله ها که می‌توانند از همین فروپاشی های ستاره‌ای و میدانهای گرانشی شدید پیرامونشان، ناشی شوند.

ثمرهٔ ایـن پژوهش ها، آن بود کـه نخستـین نشانه هـای چگونـگی تأثیـر متقـابل مکانیک کوانتـــوم و نسبیت عام، آشکار گردیدـــ نیم نگاهی زودگذر برشکل و شمایل نظریه گرانش کوانتومی که هنوز در راه است.

# سیاهچاله‌ها

اصطلاح سیاهچاله قدمت چندانی ندارد. جان ویلر، دانشمند آمریکایی، در سال ۱۹۶۹ این تعبیر را سرزبانها انداخت. حفره سیاه توصیف گرافیکی مفهومیست که دست کم دویست سال پیش مطرح گردید، هنگامیکه دونظریه درباره نور وجود داشت: اولی که مورد علاقه نیوتن بود، نور را مجموعه ای از ذرات می‌دانست؛ و دیگری می‌گفت نور از امواج تشکیل شده است. امروزه می‌دانیم که هر دو نظریه درست می‌باشند. با توجه به دوگانگی مکانیک کوانتوم، نور را هم می‌توان موج بحساب آورد و هم ذره. براساس نظریه ای که نور را متشکل از امواج می‌دانست، روشن نبود که گرانش چه تأثیری بر نور دارد. اما اگر آن را متشکل از ذرات بدانیم، می‌توان انتظار داشت که تحت تأثیر گرانش، همچون گلوله توپ، موشک و سیارات رفتار نماید. در آغاز مردم می‌پنداشتند که ذرات نور با سرعت نامتناهی حرکت می‌کنند، و به این جهت گرانش قادر به کند کردن سرعت آن نیست، اما رومر کشف

کرد که نور با سرعتی متناهی حرکت می‌کند و این بمعنای آن بود که گرانش می‌تواند تأثیری قابل توجه روی نور داشته باشد.

در سال ۱۷۸۳، یک استاد کمبریج بنام جان میچل، مقاله‌ای در «تبادل نظرهای فلسفی انجمن سلطنتی لندن» منتشر کردو در آن خاطرنشان ساخت که اگر ستاره‌ای جرمی بسیار زیاد و فشرده داشته باشد، میدان گرانشی آن، چندان نیرومند است که مجال گریز را از نور می‌گیرد: هر پرتو نور که از سطح ستاره گسیل گردد، پیش از آنکه مسافت زیادی دور شود بوسیله جاذبه گرانشی ستاره، پس کشیده خواهد شد. میچل می‌گفت شاید تعداد این قبیل ستارگان بسیار زیاد باشد. اگر چه بدلیل آنکه نور این ستارگان نمی‌تواند به ما برسد، قادر به دیدنشان نیستیم، اما می‌توانیم جاذبه گرانشی آنها را حس کنیم. این اجسام، همان چیزی‌اند که امروزه حفره سیاه می‌نامیم، اسمی بامسمّی: ناحیه‌ای خالی و سیاه در فضا. چند سال بعد از سوی مارکی دولاپلاس، دانشمند فرانسوی، نظر مشابهی مطرح گردید و از قرار معلوم وی از نوشته جان میچل هنوز مطلع نبود. جالب است بدانیم که این فکر تنها در چاپ اول و دوم کتاب «نظام جهان» لاپلاس درج گردید و در چاپهای بعد این مطالب حذف شد؛ شاید او به این نتیجه رسیده بود که فکر حفره‌های سیاه، نامعقول و جنون‌آمیز است. (همچنین تئوری ذره‌ای بودن نور در سراسر سدهٔ نوزدهم به کناری نهاده شد، گویی نظریه موجی نور همه چیز را توضیح می‌داد، حال آنکه براساس آن تأثیر گرانش روی امواج نور، در پرده ابهام باقی می‌ماند.)

البته یکسان انگاشتن رفتار نور و گلوله توپ در تئوری گرانش نیوتون، چندان سازگار نیست زیرا سرعت نور ثابت است. (سرعت گلوله توپ پس از شلیک بطرف بالا، تحت تأثیر گرانش کاهش می‌یابد و سرانجام گلوله متوقف شده و سقوط می‌کند؛ اما فوتون با سرعتی ثابت باید براه خود ادامه دهد. پس گرانش نیوتونی چگونه قادر است برنور تأثیر گذارد؟) تا سال ۱۹۱۵ و تدوین نسبیت عام بوسیله انشتین، نظریه‌ای سازگار و فارغ از تناقض پیرامون

چگونگی تأثیر گرانش بر نور، ارائه نگردید. و حتی پس از آن هم مدتی طولانی گذشت تا نتایج نظریه در مورد ستارگان بزرگ و با جرم زیاد، معلوم گردد.

برای آنکه به چگونگی شکل گیری یک حفره سیاه پی ببریم، باید شناختی اجمالی از حیات یک ستاره از آغاز تا انجام داشته باشیم. وقتی مقادیر زیادی گاز (عمدتاً هیدروژن) تحت تأثیر جاذبه گرانشی خود، شروع به فروپاشی می‌کند، ستاره‌ای بوجود می‌آید. بهنگام انقباض، اتمهای گاز بیشتر و بیشتر وهر بار سریعتر از پیش با یکدیگر برخورد می‌کنند و در نتیجه گاز داغ می‌گردد و بالاخره چنان گداخته می‌شود که اتمهای هیدرژون پس از برخوردبایکدیگر،دیگرازهم جدانمی‌شوند،بلکه باهم درمی‌آمیزندو بدینسان اتم هلیوم شکل می‌گیرد. حرارت ناشی ازین واکنش، که مثل یک انفجار کنترل شده بمب هیدروژنی است، باعث درخشش نور از ستاره می‌گردد. این حرارت اضافی، همچنین فشار گاز را تا به آنجا افزایش می‌دهد که با جاذبه گرانشی برابر می‌شود، و به این ترتیب، انقباض گاز متوقف می‌شود. این پدیده تا حدودی مثل بادکنک می‌ماند ــ بین فشار هوای درون آن که در صدد انبساط بادکنک است و تنش لاستیک که می‌کوشد آنرا کوچکتر کند، توازنی بوجود می‌آید. ستارگان به همین نحو مدتهای دراز پایدار می‌مانند، یعنی حرارت ناشی از واکنش های هسته‌ای با جاذبه گرانشی شان متوازن است. امّا عاقبت، هیدروژن و دیگر سوختهای هسته ای ستارگان به پایان می‌رسد. نکته تناقض آمیز آنست که هر چه سوخت آغازین ستاره بیشتر باشد، زودتر تمام می‌شود. زیرا هر چه جرم ستاره بیشتر باشد، برای خنثی کردن جاذبه گرانشی اش، باید داغتر شود،وهر چه داغتر شود، سوختش زودتر به پایان می‌رسد. خورشید ما احتمالاً سوخت کافی برای پنج هزار ملیون سال دیگر دارد، اما ستارگان بزرگتر، ظرف مدت یکصد ملیون سال، یعنی خیلی کمتر از عمر جهان، سوخت خود را مصرف می‌کنند. وقتی سوخت ستاره‌ای بپایان می‌رسد، شروع به سرد شدن می‌کند و در نتیجه منقبض می‌گردد. تنها در پایان

دهه بیست قرن حاضر معلوم شد که پس از آن چه به‌سر ستاره ممکن است بیاید.

در سال ۱۹۲۸، یکی از فارغ التحصیلان دانشگاه بنام سوبراهمنیان چاندراسخار[1] اهل هندوستان، برای تحصیل در کمبریج راهی انگلستان شد و نزد سرآرتور ادینگتون، ستاره‌شناس انگلیسی به‌تلمذ پرداخت. این شخص یکی از متخصصین نسبیت عام بود. (می‌گویند در اوایل سالهای ۱۹۲۰، روزی روزنامه‌نگاری به او گفت که شنیده است در سراسر جهان تنها سه نفر نسبیت عام را درک می‌کنند. ادینگتون لحظه‌ای درنگ کرد و پاسخ داد: «دارم فکر می‌کنم ببینم سومین نفر کیست.») در طول سفر، چاندراسخار دست به کار محاسبه آن شد که یک ستاره چه جرمی باید داشته باشد تا پس از اتمام سوختش، همچنان بتواند در برابر گرانش خود تاب آورد. فکر او این بود: وقتی ستاره کوچک می‌شود، ذرات ماده بیکدیگر بسیار نزدیک می‌شوند، و بنابراین طبق اصل طرد پاولی، باید سرعتهای بسیار متفاوتی دارا باشند. این امر باعث دوری ذرات از یکدیگر و گسترش ستاره می‌گردد. بنابراین یک ستاره بواسطه توازن میان جاذبه گرانشی و رانش ناشی از اصل طرد پاولی، می‌تواند شعاع خود را بمقدار ثابتی تثبیت نماید، همانگونه که پیشتر، حرارت، جاذبه گرانشی اش را خنثی ساخته بود. چاندراسخار اما دریافت که رانش سرچشمه گرفته از اصل طرد، حد و نهایتی دارد. نظریه نسبیت اختلاف بیشینه سرعت ذرات مادی را محدود به‌سرعت نور کرده است. این بآن معناست که چون ستاره باندازه کافی فشرده و چگال شد، رانش ناشی از اصل طرد، از جاذبه گرانشی کمتر می‌شود. بنابر محاسبات چاندراسخار، ستارهٔ سردی که یک و نیم برابر جرم خورشید باشد، در برابر گرانش خود تاب نخواهد آورد. (این مقدار هم اکنون به‌حدّ چاندراسخار معروف است.) تقریباً در همین ایام، کشف مشابهی از سوی دانشمند روسی لو داویدویچ لاندائو[2]

1. Subrahmanyan Chandrasekhar
2. Lev Davidovich Landau

بعمل آمد.

این کشف، نتایج و پی‌آمدهای جدی‌ای برای سرنوشت فرجامین ستارگان با جرم زیاد، دربرداشت. اگر جرم ستاره‌ای از حد چاندراسخار کمتر باشد، سرانجام از انقباض بازخواهد ایستاد و احتمالاً وضعیت نهائی آن عبارت خواهد بود از جسمی با شعاع چند هزار مایل و چگالی صدها تن در اینچ مکعب که آنرا «کوتوله سفید» می‌نامیم. نیروی رانش بین الکترونهای کوتولهٔ سفید، که از اصل طرد پاولی ناشی می‌شود، بقای آن را تأمین می‌نماید. تعداد زیادی ازین کوتوله‌های سفید رصد شده‌اند. یکی از اولین کوتوله‌های سفید که کشف شد، ستاره‌ایست که بدور Sirius در گردش است، درخشانترین ستاره در آسمان شبانگاه.

لاندائو خاطرنشان کرد که وضعیت نهائی محتمل دیگری نیز برای یک ستاره می‌توان قائل بود، ستاره‌ای با جرم حدّی تقریباً یک یا دو برابر جرم خورشید، اما از یک کوتوله سفید هم بسیار کوچکتر. اینبار بجای نیروی رانش بین الکترونها، دافعه میان نوترونها و پروتونها (طبق اصل طرد پاولی) است که موجب بقای ستاره می‌شود. شعاع این ستارگان حدود ده مایل است و چگالیشان صدها ملیون تن در اینچ مکعب می‌باشد. زمانی که وجود ستارگانی ازین قبیل پیش بینی گردید، هیچ راهی برای مشاهدهٔ ستارگان نوترونی وجود نداشت و تا مدتها بعد، عملاً کسی موفق به مشاهده آنان نشد.

از سوی دیگر، ستارگانی که جرمشان بیشتر از حدّ چاندراسخار است، بهنگام پایان یافتن سوختشان، با مشکل بزرگی مواجه می‌شوند. در برخی موارد، ممکن است منفجر شوند و یا موفق گردند مقادیر کافی ماده به بیرون پرتاب کنند تاجرمشان ازحدّ چاندراسخار کمترشودو به این ترتیب از یک فروپاشی گرانشی فاجعه‌آمیز پرهیز نمایند، امّا هر قدر هم که ستاره بزرگ باشد، مشکل بتوان پذیرفت که این حادثه همواره رخ می‌دهد. ستاره از کجا بفهمد که باید وزنش را کاهش دهد؟ و حتی اگر همهٔ ستارگان بتوانند باندازهٔ کافی جرم خود را کاهش دهند تا از فروپاشی جلوگیری کنند، چنانچه جرم بیشتری

به‌یک کوتوله سفید یا یک ستارهٔ نوترونی بیفزائیم و از حدّ چاندراسخار تجاوز نمائیم، چه اتفاقی روی خواهد داد؟ آیا فروخواهند پاشید و چگالی شان بی‌نهایت خواهد شد؟ ادینگتون با توجه به‌نتایج و پیآمدهای حیرت‌انگیز نظریه، از پذیرش دستآورد چاندراسخار سر باز زد. به‌عقیدهٔ ادینگتون، اینکه ستاره‌ای فروپاشد و به‌یک نقطه تبدیل شود، ناممکن بود. بیشتر دانشمندان نیز به‌همین عقیده بودند: انشتین خود جزوه‌ای نگاشت و در آن مدعی شد اندازه ستارگان به‌صفر نمی‌رسد. چاندراسخار تحت‌تأثیر مخالفت دانشمندان دیگر، بویژه ادینگتون، که استاد قبلی او بود و مرجعی برجسته در مورد ساختمان ستارگان به‌شمار می‌رفت، دست از تحقیق در این زمینه کشید و به‌دیگر مسائل اختر شناسی نظیر حرکت خوشه‌های ستارگان روی‌آور شد. با اینحال، وقتی در سال ۱۹۸۳ موفق به‌دریافت جایزه نوبل شد، دست‌کم تا حدی پاداش کارهای اولیه‌اش را در مورد جرم حدی ستارگان خاموش، دریافت می‌کرد.

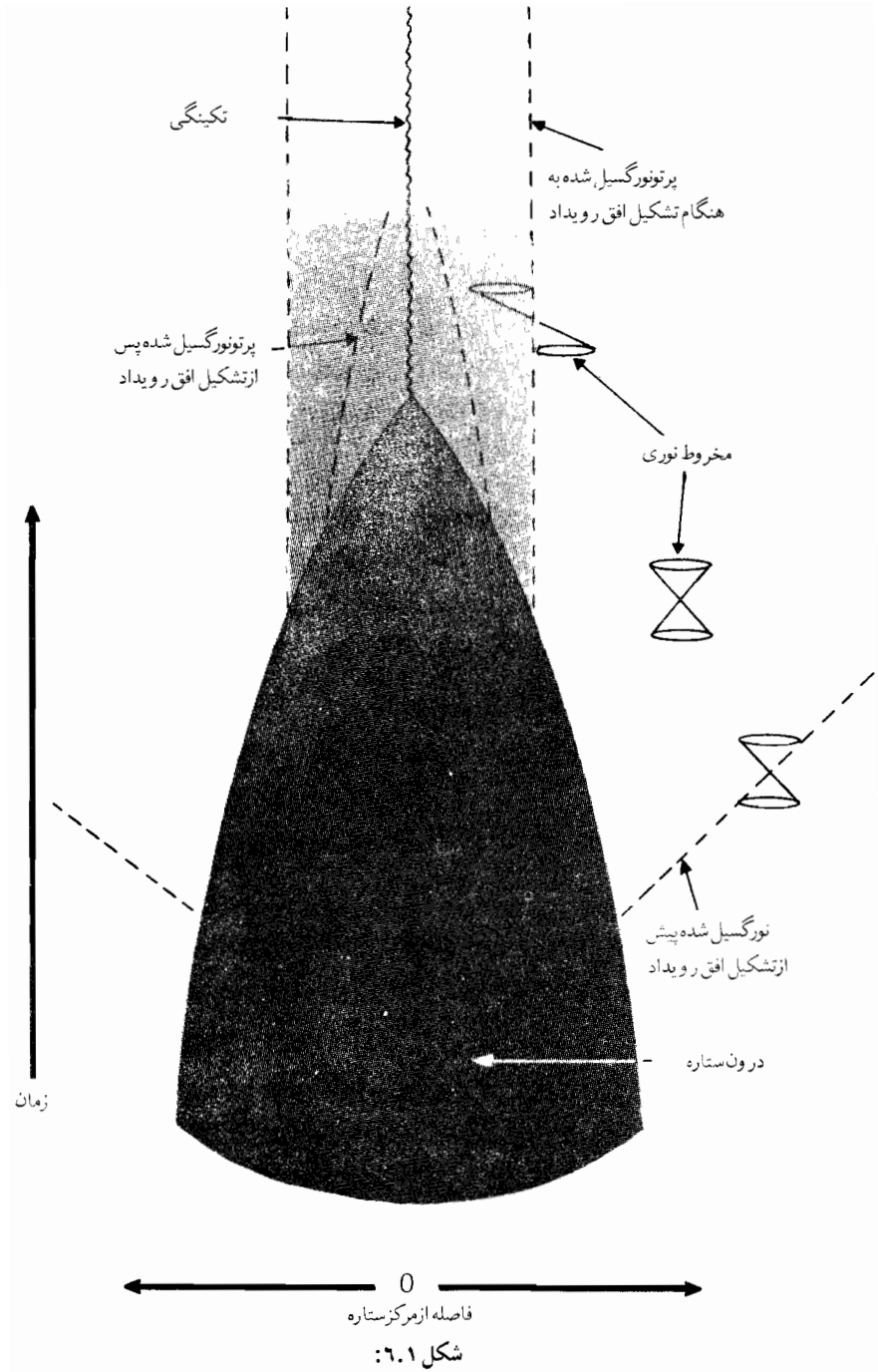
چاندراسخار نشان داده بود که اصل طرد، نمی‌تواند جلوی فروپاشی ستاره‌ای را که جرمش بیش از حد چاندراسخار است، بگیرد، اما اینکه براساس نسبیت عام، چه برسر این ستاره خواهد آمد، نخستین بار در سال ۱۹۳۹ توسط آمریکائی جوانی بنام رابرت اوپنهایمر[3] کشف شد. اما نتیجه کارهای او شامل هیچ چیزی که بوسیلهٔ تلسکوپهای آن روزگار قابل مشاهده و نمایش‌پذیر باشد، نبود. سپس جنگ جهانی دوم درگرفت و اوپنهایمر بشدت درگیر پروژه بمب اتمی شد. پس از جنگ مقوله فروپاشی گرانشی تا حد زیادی بفراموشی سپرده شد زیرا بیشتر دانشمندان مشغول پژوهش روی اتم و هستهٔ آن بودند. در سالهای شصت قرن حاضر، اما، بکارگیری تکنولوژی مدرن، موجب افزایش تعداد و گسترش دامنه مشاهدات نجومی گردید و این بنوبه خود، باعث احیاءِ علاقه و روی‌آوری مجدد دانشمندان به‌مسائل مقیاس کلان نجوم و کیهانشناسی شد. آنگاه کار

3. Robert Oppenheimer

او پنهایمر دوباره کشف گردید و بوسیله چند تن بسط و گسترش داده شد.

تصویر کنونی ما از کار اوپنهایمر بدینقرار است: میدان گرانشی یک ستاره، مسیر شعاع نور را در فضا ــ زمان از حالت عادی آن، یعنی وقتی که ستاره و میدان گرانشی اش در کار نباشد، تغییر می‌دهد. مخروطهای نوری که نشانگر مسیرهائی هستند که پرتوهای گسیل شده از رأس آنها در فضا و زمان می‌پیمایند، در نزدیکی سطح ستاره، اندکی بدرون خم می‌شوند. خم شدن نور ستارگان دور دست که بهنگام کسوف مشاهده می‌شود، مثال خوبی درین زمینه است. چون ستاره منقبض می‌گردد، میدان گرانشی در سطح آن قویتر می‌شود و مخروطهای نوری بیشتر بدرون خم می‌شوند. ازینرو گریز پرتو نور از ستاره دشوارتر می‌گردد، و بچشم یک ناظر دوردست، نور مزبور تارتر و سرختر جلوه خواهد نمود. عاقبت، وقتی ستاره باندازه معینی منقبض شد و شعاع آن به اندازهٔ بحرانی رسید، میدان گرانشی در سطح آن بس نیرومند می‌شود و مخروطهای نوری بدرون چندان خم می‌شوند که دیگر مجال گریز به پرتو نور نمی‌دهند (شکل ۱ــ۶). طبق نظریه نسبیت، هیچ چیز سریعتر از نور حرکت نمی‌کند. پس اگر نور نتواند بگریزد، هیچ چیز دیگری قادر به گریز نخواهد بود؛ میدان گرانشی همه چیز را بعقب خواهد کشید. پس مجموعه ای از رویدادها، و ناحیه ای در فضا ــ زمان وجود دارد که هیچ راه و مفرّی برای دسترسی به ناظر دوردست ندارد. این ناحیه همان چیزی است که امروزه حفره سیاه نام گرفته است. مرز و کرانه آن افق رویداد نامیده می‌شود و منطبق است بر مسیر همان پرتو نوری که موفق به گریز از حفره سیاه نگردید.

اگر شما ناظر فروپاشی یک ستاره و تشکیل سیاهچاله ای بودید و می‌خواستید آنچه را می‌دیدید درک کنید، باید بخاطر می‌سپردید که در نسبیت، زمان مطلقی در کار نیست. هر ناظر، معیار و اندازه زمانی خودش را دارد. زمان برای شخصی که روی ستاره است، با زمان ناظری که از ستاره فاصله دارد، فرق می‌کند، و این بدلیل وجود میدان گرانشی است. فرض کنید فضانوردی بی باک روی سطح ستاره ای در حال فروپاشی فرود آمده و خود نیز


تکینگی
پرتونورگسیل شده به
هنگام تشکیل افق رویداد
پرتونورگسیل شده پس
ازتشکیل افق رویداد
مخروط نوری
نورگسیل شده پیش
ازتشکیل افق رویداد
درون ستاره
زمان
0
فاصله ازمرکزستاره

**شکل ۶.۱:**

در حال فروپاشی است. او از روی ساعت خودش، هر ثانیه یک علامت به سفینه اش که در حال گردش در مدار ستاره است، می‌فرستد. فرض کنیم با ساعت این فضانورد، شعاع ستاره در ساعت ۱۱:۰۰، ازمقدار بحرانی کمتر می‌شود. دراین شعاع بحرانی، میدان گرانشی چنان نیرومند می‌شود که هیچ چیز قادر به گریز نیست و علامتهای فضانوردما دیگر به سفینه نخواهد رسید. وقتی زمان موعود یعنی ۱۱:۰۰، نزدیک می‌شود، همراهان فضانورد که در سفینه اند، درمی‌یابند که فاصله های زمانی میان علامتهای متوالی ارسالی، طولانی و طولانیتر می‌شود، امّا این پدیده پیش از ساعت ۱۰:۵۹:۵۹ بسیار ناچیز است. پس از دریافت علامت ارسالی در ۱۰:۵۹:۵۸، سرنشینان سفینه باید تنها اندکی بیش از یک ثانیه صبر کنند تا علامت ارسالی در ۱۰:۵۹:۵۹ (براساس ساعت روی ستاره) را دریافت دارند. اما برای دریافت علامت ساعت ۱۱:۰۰ باید تا ابد منتظر بمانند. امواج نوری که در فاصله بین ۱۰:۵۹:۵۹ و ۱۱:۰۰ (با ساعت فضانورد بیباک) از سطح ستاره گسیل می‌شوند، بدیدهٔ سرنشینان سفینه، بر یک دورهٔ نامتناهی زمانی منتشر می‌گردند. فاصله های زمانی بین دریافت امواج متوالی بوسیله سفنیه، زیادتر و زیادتر می‌شود و در نتیجه نور ستاره سرخ و سرختر و ضعیف و ضعیفتر بنظر می‌رسد. سرانجام ستاره چنان تاریک می‌گردد که دیگر از سفینه دیده نمی‌شود: آنچه برجای می‌ماند، حفره‌ای سیاه در فضاست. اما سیاره همچنان همان نیروی گرانشی را بر سفینه اعمال می‌کند و فضاپیما به گردش حول ستاره ادامه می‌دهد.

امّا این سناریو بدلیل زیر چندان واقعگرایانه نیست: هر چه فاصله از ستاره بیشتر باشد، گرانش ضعیفتر می‌شود، پس نیروی جاذبهٔ واردبر پاهای فضانوردبیباک ما همواره ازنیروی واردبرسرش بیشتراست. این اختلاف باعث می‌شودپیش ازآنکه ستاره به شعاع بحرانی برسدوافق رویداد شکل بگیرد، فضانوردما مثل اسپاگتی کش بیایدیاآنکه پاره پاره شود! اما می‌دانیم اشیاءِ بسیار بزرگتری در جهان یافت می‌شود که می‌تواند متحمل

فروپاشی گرانشی شود و حفره‌های سیاه بوجود آورد، مثل نواحی مرکزی کهکشانها؛ فضانوردی که روی یکی ازین مناطق باشد، پیش از آنکه حفره سیاه شکل گیرد، تکه تکه نمی‌شود.

کار مشترک راجر پنروزو من در فاصله ۱۹۶۵ و ۱۹۷۰ نشان داد که براساس نسبیت عام، در حفره سیاه باید تکینگی ای با چگالی نامتناهی و انحنای فضا ــ زمان بی نهایت وجود داشته باشد. این پدیده تقریباً همانند انفجار بزرگ در آغاز زمان است با این تفاوت که در اینمورد این تکینگی، پایان زمان برای جسم فروپاشیده و فضانورد محسوب می‌شود. در این تکینگی قوانین علم و توانائی ما برای پیش بینی آینده درهم می‌شکند. اما هیچ یک از ناظرینی که خارج این حفره سیاه‌قرار داشته باشند، ازین پیش بینی ناپذیری متأثر نمی‌شوند، زیرانه نور و نه هیچ علامت دیگری ازین تکینگی به آنان نخواهد رسید. این حقیقت پراهمیت، راجر پنروز را بر آن داشت که فرضیه سانسور کیهانی را پیشنهاد نماید که می‌توان آن را چنین تفسیر کرد: «خداوند از تکینگی عریان نفرت دارد.» بدیگر سخن، تکینگی هایی که از فروپاشی گرانشی ناشی شده‌اند، مثل حفره‌های سیاه، در نقاطی واقع می‌شوند که بوسیلهٔ یک افق رویداد یکسره از دید نامحرمان خارجی محجوب و پنهان می‌مانند. این دقیقاً همان چیزی است که فرضیه سانسور کیهانی ضعیف نامیده می‌شود: این فرضیه ناظرانی را که بیرون حفره سیاه هستند از پیامدهای پیش بینی ناپذیری ویژه تکینگی محافظت می‌کند، اما برای فضانورد بیچاره و نگون‌بختی که در سیاهچاله افتاده است، هیچ کاری از دستش ساخته نیست.

برای معادلات نسبیت‌عام، راه‌حل هایی وجود دارد که براساس آنها، فضانورد ما می‌تواند یک تکینگی عریان را ببیند: او می‌تواند از برخورد با تکینگی اجتناب کند و در عوض درون یک «سوراخ کرم»[4] بیفتد و از یک

4. Wormhole

ناحیه دیگر جهان سردرآورد. این امر امکانات عظیمی برای سیر و سفر در فضا و زمان عرضه می‌نماید، اما بدبختانه این راه‌حلها همگی بسیار ناپایدار بنظر می‌رسند؛ کمترین اختلال، مثل حضور یک فضانورد، می‌تواند تغییراتی در آنها پدید آورد که در اینصورت فضانوردماتنهابابرخوردباتکینگی وپایان گرفتن زمانش،می‌تواند آن رانظاره کند. بدیگرسخن،تکینگی همواره در آینده او قرار دارد و نه در گذشته اش. نگارش قوی فرضیه سانسور کیهانی می‌گوید که در یک راه‌حل واقع بینانه، تکینگی ها همواره یا بطور کامل درآینده قرار دارند (نظیر تکینگی های فروپاشی گرانشی) یا یکسره در گذشته واقع می‌شوند (مثل انفجار بزرگ). امیدواری بسیاری وجود دارد که نگارشی از فرضیه سانسور کیهانی صدق نماید زیرا نزدیک تکینگی های عریان، سفر به گذشته ها شاید امکانپذیر شود. اگر چه این امر برای نویسندگان داستانهای علمی تخیلی خوشایند است ولی متضمن آنست که زندگی هیچ کس دیگر در امان نیست: امکان دارد یکنفر به گذشته برود و پیش از تولدتان، پدر و مادر شما را بقتل برساند!

افق رویداد، یعنی مرز ناحیه ای از فضا—زمان که گریز از آن امکانپذیر نیست، تا حدی مثل پوسته ای یکسویه در اطراف حفره سیاه عمل می‌کند: اشیائی نظیر فضانوردان بی احتیاط می‌توانند از افق رویداد گذشته و درون حفره سیاه بیفتند، اما هیچ چیز نمی‌تواند از افق رویداد بگذرد و از حفره سیاه خارج شود. (بیاد داشته باشید که افق رویداد، مسیر نور در حال گریز از حفره سیاه در فضا—زمان است، و هیچ چیز نمی‌تواند از نور سریعتر حرکت کند.) آنچه که دانته پیرامون راه ورود به جهنم سروده بود، در مورد افق رویداد نیز صادق است: «هر آنکس که به اینجا وارد می‌شود، تمامی امیدش را از دست می‌دهد.» هر چیز یا هر کس در محدودهٔ افق رویداد بیفتد، بزودی به ناحیه ای که چگالی اش نامتناهی است، می‌رسد و برای او، این پایان زمان است.

نسبیت عام پیش بینی می‌کند که اشیاءِ سنگین متحرک، موجب

گسیل امواج گرانشی می‌شوند، چین و شکن‌هایی که با سرعت نور در انحنای فضا منتشر می‌گردند، درست مثل نور که در واقع چین و شکن‌هایی در میدان مغناطیسی می‌باشد، امّا آشکارسازی امواج گرانشی بس دشوارتر است. امواج گرانشی مثل نور، انرژی را از اشیائی که آنها را گسیل کرده‌اند، انتقال می‌دهند. بنابراین انتظار می‌رود که دستگاهی متشکل از اشیاء دارای جرم زیاد، سرانجام از حرکت باز ایستد، چرا که در هر حرکت، مقداری انرژی بوسیله گسیل امواج گرانشی انتقال می‌یابد. (تقریباً مثل انداختن یک چوب پنبه در آب: نخست چوب‌پنبه به شدت بالا و پائین می‌رود، اما رفته رفته چین و شکن‌های امواج، انرژی آن را منتقل می‌سازند و بالاخره چوب پنبه ساکن می‌شود.) برای مثال، حرکت زمین بگرد خورشید موجب گسیل امواج گرانشی می‌شود. نتیجه اتلاف انرژی حاصل ازین امر، تغییر مدار زمین می‌باشد بطوریکه رفته رفته کره ما به خورشید نزدیکتر می‌شود و عاقبت باآن برخورد می‌کند و بحال سکون درمی‌آید. البته میزان اتلاف انرژی در اینمورد بسیار ناچیز است، یعنی تقریباً برابر است با انرژی لازم برای گرم کردن یک اجاق برقی کوچک. در نتیجه حدود یکهزار ملیون ملیون ملیون ملیون سال طول خواهد کشید تا سرانجام زمین با خورشید تصادف کند، بنابراین دلیل عاجلی برای نگرانی وجود ندارد! میزان تغییر در مدار زمین بسیار ناچیز است و قابل مشاهده نیست، امّا در طی چند سال گذشته، همین پدیده در مورد دستگاهی بنام PSR 1913+16 (PSR مخفف کلمهٔ پالسار[5] است، نوع خاصّی از ستاره‌های نوترونی که با ضربانهای منظم، امواج رادیوئی گسیل می‌کنند) مشاهده شده است. این دستگاه از دو ستاره نوترونی تشکیل می‌شود که گرد یکدیگر در حال چرخشند و به سبب گسیل امواج گرانشی و اتلاف انرژی، بطور مارپیچی بسوی هم حرکت می‌کنند.

در طول فروپاشی گرانشی یک ستاره و تشکیل حفره سیاه، سرعت

5. Pulsar

حرکات بسیار بالا تر از پیش است و بنابراین میزان انتقال انرژی بسیار بیشتر می‌باشد و در نتیجه، چیزی نمی‌گذرد که سکون و ایستائی چیره می‌گردد. این وضعیت فرجامین و نهائی به چه چیزمی‌ماند؟ می‌توان فرض کرد که این حالت به ویژگیهای مرکب و مختلف ستاره بستگی دارد ــ بعنوان مثال جرم ستاره و سرعت گردش آن، چگالی بخش های مختلف ستاره و حرکتهای پیچیده گازهای درون آن ــ و چنانچه تنوع و گونه گونی حفره‌های سیاه به همان اندازه تنوع اشیاءِ تشکیل دهندهٔ آن باشد، پیش بینی کلی پیرامون حفره های سیاه بس دشوار خواهد بود.

امّا در سال ۱۹۶۷، ورنر اسرائیل دانشمند کانادائی (او متولد برلن بود و در آفریقای جنوبی بزرگ شده بود و درجه دکترایش را در ایرلند گرفته بود) پژوهش روی حفره های سیاه را دستخوش انقلاب نمود. اسرائیل نشان داد که برطبق نسبیت عام، حفره های سیاهی که در حال چرخش نیستند، باید بسیار ساده باشند؛ آنها کاملاً کروی اند و اندازه‌شان تنها به جرمشان بستگی دارد و هر دو حفره سیاهی که جرم یکسانی داشته باشند، مثل یکدیگرند. در واقع با یک جواب خاص معادلات انشتین، می‌توان آنها را توصیف کرد. این جواب خاص، بفاصله کوتاهی پس از کشف نسبیت عام، یعنی در سال ۱۹۱۷، بوسیله کارل شوارتس شیلد پیدا شده بود. در آغاز افراد بسیاری از جمله خود اسرائیل، استدلال می‌کردند که حفره های سیاه تنها از فروپاشی اجسام کاملاً کروی بوجود می‌آیند چرا که یک حفرهٔ سیاه خود باید کاملاً کروی باشد. بنابراین، هر ستارهٔ حقیقی و واقعی، بخاطر آنکه هرگز بطور کامل کروی نیست، پس از فروپاشی، تنها یک تکینگی عریان بوجود خواهد آورد.

اما از دستاورد اسرائیل، تفسیر متفاوتی هم وجود داشت که راجر پنروز و جان ویلر بویژه از آن هواداری می‌کردند. آنها می‌گفتند که حرکات سریع حین فروپاشی یک ستاره، منجر بآن می‌شود که امواج گرانشی ساطع شده، ستاره را بیش از پیش کروی نمایند و آنگاه که بحالت سکون درآید،

کاملاً صورت کروی بخود گرفته است. بر این اساس، هر ستاره ناچرخانی، هر قدر هم که شکل و ساختارش پیچیده باشد، پس از فروپاشی گرانشی، بصورت حفره سیاه کاملاً کروی درمی‌آید که اندازه‌اش تنها به‌جرم آن بستگی دارد. محاسبات بعدی، این نظر را مورد تأیید قرار داد و بزودی پذیرش همگانی یافت.

دستآوردهای اسرائیل تنها در مورد حفره‌های سیاهی صادق بود که از اجسام ناچرخان شکل یافته بودند. در سال ۱۹۶۳ روی کرٔ نیوزیلندی، مجموعه حل‌هایی برای معادلات نسبیت عام یافت که حفره‌های سیاه چرخان را توصیف می‌نمود. این حفره‌های سیاه «کر» با سرعت ثابتی در حال چرخشند و شکل و اندازه‌شان تنها به‌جرم و نرخ چرخش آنها بستگی دارد. اگر میزان چرخش صفر باشد، حفره سیاه کاملاً گرد است و حل متناظر با آن با حل شوارتس شیلد یکسان می‌باشد. اگر بیش از صفر باشد حفره سیاه در اطراف خط استوایش، دارای برآمدگی ای به‌طرف بیرون می‌شود (مثل زمین یا خورشید که براثر چرخش دارای برآمدگی اند)، و هر چه سریعتر بچرخند، برآمدگی بزرگتر می‌گردد. پس با تعمیم دستآورد اسرائیل در مورد اجسام چرخان، می‌توان حدس زد که هر جسم چرخان پس از فروپاشی و تشکیل حفره سیاه، سرانجام بحال سکون درخواهد آمد که حل «کر» این وضعیت اخیر را توصیف می‌نماید.

در سال ۱۹۷۰ یک همکار که در ضمن دانشجوی پژوهشگر من در کمبریج بود، یعنی برندون کارتر، نخستین گام را در راه اثبات حدس بالا برداشت. او نشان داد که اندازه و شکل یک حفره سیاه چرخان ساکن تنها به‌جرم و سرعت چرخش آن بستگی خواهد داشت اگر مثل فرفره دارای محور تقارن باشد. سپس در ۱۹۷۱ من ثابت کردم که هر حفره سیاه چرخان ساکن، در واقع دارای چنین محور تقارنی هست. عاقبت دیوید رابینسون از کالج

6. Roy kerr

کینگز لندن، با استفاده از کارهای کارترومن نشان داد که حدس بالا درست بوده است: چنین حفره سیاهی باید مطابق با حل «کر» باشد. بنابراین پس از یک فروپاشی گرانشی حفره سیاه باید حالتی چرخان بخود بگیرد ولی در عین حال نمی‌تواند دارای ضربان باشد. ازین گذشته، اندازه و شکل آن تنها به جرم و سرعت چرخش آن بستگی دارد و مستقل از ماهیت جسمی که فروپاشیده و حفره سیاه را بوجود آورده، می‌باشد. اهل ذوق، نتیجه بالا را به اینصورت بیان کرده‌اند «حفره سیاه بی مو است.» قضیه «بی مو» از اهمیت عملی زیادی برخوردار است، زیرا بشدت انواع ممکن حفره‌های سیاه را محدود می‌نماید. بنابراین میتوان با ذکر جزئیات، از اشیائی که ممکن است شامل حفره سیاه باشند، مدلهایی ساخت و پیش بینی های مدلها را با مشاهدات مقایسه نمود. این امر همچنین بدان معناست که مقادیر عظیمی از اطلاعات مربوط به جسمی که فروپاشیده، باید گم شده و از بین رفته باشد، چرا که پس از تشکیل حفره سیاه، همهٔ آنچیزی که در مورد جسم مزبور می‌توان اندازه گیری کرد عبارت است از جرم و سرعت چرخش آن. در فصل بعد، پیرامون اهمیت و معنای این امر سخن خواهیم گفت.

حفره‌های سیاه یکی از موارد نادر در تاریخ علم می‌باشد که تئوری مربوط به آنها به‌تفصیل و در قالب مدل ریاضی تدوین شده است پیش از آنکه هیچ گواه و نشانه تجربی، دال بر درستی آنها در دست باشد. در واقع این عمده‌ترین سلاح مخالفان حفره‌های سیاه است: چگونه می‌توان وجود اشیائی را پذیرفت که تنها گواه موجودیت آنها، مشتی محاسبات است که بر نظریه مشکوک نسبیت عام مبتنی می‌باشند؟ اما در ۱۹۶۳، مارتن اشمیت ستاره‌شناس، از رصدخانه پالومار کالیفرنیا، انتقال به سرخ یک شئ ستاره‌مانندرادرجهت‌منبع امواج رادیوئی موسوم به 3C273 (یعنی منبع شماره ۲۷۳ کاتالوگ کمبریج در مورد منابع رادیوئی) اندازه‌گیری کرد. او دریافت که این مقدار بسیار زیاد است و نمی‌تواند ناشی از میدان گرانشی باشد: اگر این یک انتقال به‌سرخ گرانشی بود، بناچار شئ مورد نظر چنان عظیم بود و

چنان نزدیک بما قرار داشت که مدار سیارات منظومه شمسی را مختل می‌نمود. پس انتقال به‌سرخ ناشی از گسترش جهان است و این بنوبه خود به‌معنای آنست که شئ مزبور در فاصله‌ای بس دور از ما قرار دارد و اگر از این راه دور و دراز بتوان شئ را رؤیت کرد، پس بیگمان باید بسیار نورانی باشد، بدیگر سخن باید مقادیر عظیمی انرژی تشعشع نماید. بنظر می‌رسید تنها ساز و کاری که بتواند چنین حجم عظیمی از انرژی را گسیل دارد، فروپاشی گرانشی نه یک ستاره، بلکه همه منطقه مرکزی یک کهکشان، است. شماری چند از این «اشیاءِ نیمه ستاره‌ای» یا کوازارها[7]، کشف شده‌اند که همگی دارای انتقال به‌سرخ بزرگی می‌باشند. اما تمامی آنها بسیار دورند و بنابراین مشاهده آنان و فراهم آوردن گواهی قطعی برای حفره‌های سیاه، کاری است بس دشوار.

کشف بعدی که هواداران وجود حفره‌های سیاه را دلگرم ساخت، بوسیله یک دانشجوی پژوهشگر کمبریج بنام جاسلین بل، درسال ۱۹۶۷ انجام گرفت. او دریافت که اشیائی در آسمان وجود دارندکه بطور منظم پالس های امواج رادیوئی گسیل می‌کنند. در ابتدا بل و سر پرستش، آنتونی هیوویش، پنداشتند که با یک تمدن بیگانه در کهکشان تماس برقرار کرده‌اند! درست بیاد دارم در سمیناری که آندو کشف خود را اعلام کردند، چهار منبع کشف شده نخستین را LGM 1 - 4 نامیدند، LGM به‌معنای «مردان کوچک سبز» می‌باشد. در پایان، آنها و سایرین به این نتیجه نه چندان رمانتیک رسیدند که این اشیاء که تپ اختر(Pulsar)نامیده می‌شوند، در حقیقت ستارگان نوترونی چرخانی اند که بخاطر کنش متقابل پیچیده‌ای میان میدان مغناطیسی و ماده پیرامونشان، پالس های امواج رادیوئی گسیل می‌کنند. این برای نویسندگان وسترن های فضائی خبری ناگوار بود، اما برای عدهٔ قلیلی که در آن هنگام به حفره‌های سیاه باور داشتند، بسیار امیدوار کننده

7. Quasar

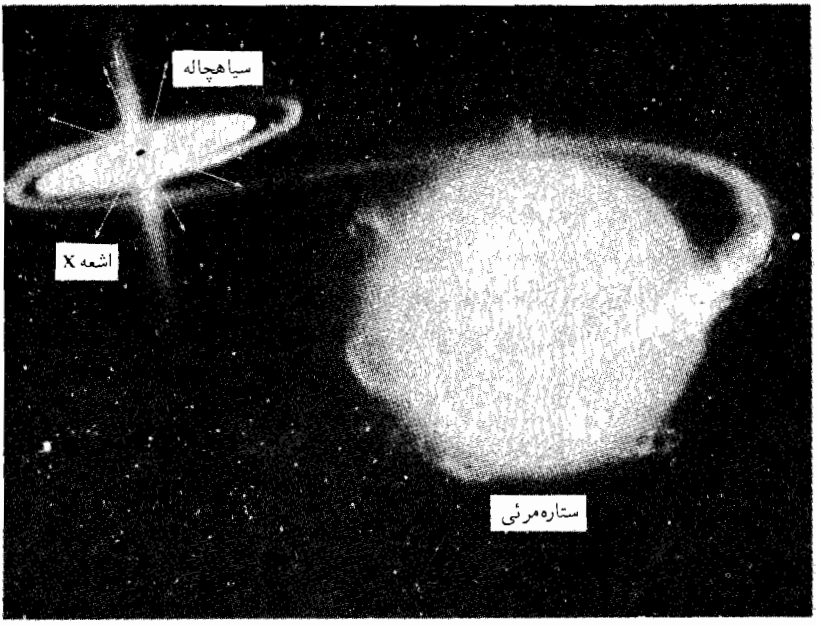
بود: این خبر نخستین گواه به‌نفع وجود ستارگان نوترونی محسوب می‌شد. شعاع ستاره نوترونی تقریباً ده مایل است، یعنی تنها چند برابر شعاع بحرانی می‌باشد. وقتی شعاع ستاره‌ای کاهش یافت و به‌مرز بحرانی خود رسید، حفره سیاه تشکیل می‌گردد. اگر امکانپذیر است که ستاره‌ای پس از فروپاشی به اندازهٔ ستاره نوترونی گردد، پس می‌توان بنحومعقولی انتظار داشت که اندازهٔ دیگر ستارگان پس از فروپاشی ازینهم کوچکتر شود و حفره سیاه بوجود آید.

حال که بنابه تعریف، حفره سیاه نوری گسیل نمی‌کند، پس چگونه می‌توان به آشکارسازی آن امیدوار بود؟ این امر مثل آنست که در یک زیرزمین مخصوص زغال سنگ، دنبال یک گربه سیاه باشیم. خوشبختانه راهی وجود دارد. همانگونه که جان میچل در مقالهٔ پیشتاز خود در سال ۱۷۸۳ خاطرنشان ساخته بود، حفره سیاه همچنان بر اشیائی که در مجاورتش واقعند، نیروی گرانش اعمال می‌کند. ستاره شناسان دستگاههای بسیاری را رصد کرده‌اند که در آنها دو ستاره گرداگرد یکدیگر می‌چرخند و توسط گرانش یکدیگر را جذب می‌کنند. و نیز آنان دستگاههایی را مشاهده کرده‌اند که تنها یک ستاره مرئی در حال گردش دور همراهی نامرئی است. البته بیدرنگ نمی‌توان نتیجه گرفت که این یار و همراه نامرئی، همان حفره سیاه است: شاید صرفاً ستاره‌ای بسیار کم‌سو باشد. اما برخی ازین دستگاهها منابع پرقدرت اشعهٔ X نیز هستند، مثل سیگنوس X - ۱ (شکل ۲ــ۶). بهترین توضیح برای این پدیده، آنست که ماده از سطح ستاره مرئی جدا گشته است و در حین آنکه بسوی همراه‌نامرئی اش سقوط می‌کند، مسیر مار پیچی را می‌پیماید (مثل خروج آب از وان حمام) و بسیار داغ می‌گردد و اشعه X گسیل می‌کند (شکل ۳ــ۶). برای آنکه این سازو کار، درست از آب درآید، اشیاء نامرئی، باید بسیار کوچک باشند، مثلاً همانند کوتولهٔ سفید، ستاره نوترونی یا حفره سیاه. با توجه به‌مدار ستارهٔ مرئی، می‌توان کمترین جرم ممکن را برای شئ نامرئی محاسبه کرد. مثلاً جرم سیگنوس X - ۱ دست‌کم شش برابر جرم خورشید است و نظر به کارهای چاندراسخار، بسیار بیشتر از جرم کوتولهٔ سفید

**شکل ۶.۲: ستاره درخشانتری که نزدیک مرکز تصویر قرار دارد سیگنوس ۱ - X است. دانشمندان برآنند که سیگنوس ۱ - X از یک سیاهچاله و یک ستاره معمولی تشکیل شده است که گرد یکدیگر در گردش اند.**

می‌باشد. همچنین این جرم عظیم نمی‌تواند از آن یک ستاره نوترونی باشد. بنابراین تنها شق باقیمانده حفره سیاه است.

مدلهای دیگری وجود دارند که بدون اشاره به حفره سیاه، سیگنوس ۱ - X را توضیح می‌دهند، اما همگی تا حدی ساختگی بنظر می‌رسند. حفره سیاه خود را تنها توضیح واقعاً طبیعی مشاهدات ما می‌نمایاند. برغم این، من با کیپ ثورن از انستیتو تکنولوژی کالیفرنیا شرط بسته ام که سیگنوس ۱ - X فاقد حفره سیاه است! اینهم یکجور سیاست عاقبت اندیشانه است. من روی حفره‌های سیاه بسیار کار کرده ام و اگر معلوم شود که آنها وجود ندارند، همهٔ زحمت من بباد می‌رود. اما در آنصورت دلم خوش است




**شکل ۶.۳:**

که شرط را برده‌ام و بمدت چهار سال از مجله پرایویت آی[8] استفاده می‌کنم. اگر حفره‌های سیاه وجود داشته باشند، کیپ اشتراک یکساله مجله پنت‌هاوس[9] را از من می‌برد. در سال ۱۹۷۵ وقتی با هم شرط می‌بستیم، ۸۰ درصد مطمئن بودیم که سیگنوس، یک حفره سیاه است. اکنون ۹۵ درصد به‌حرف خود اطمینان داریم، اما شرط ما هنوز بجای خود هست.

همچنین مدارکی حاکی از وجود حفره‌های سیاه دیگری در دستگاههائی نظیر سیگنوس X - 1 ، در کهکشان ما و در دو کهکشان

8. Private Eye
9. Penthouse

همسایه‌مان موسوم به ابرهای ماژلانیک[۱۰]، در دست است. با این وجود شمار حفره‌های سیاه بیگمان بس بیشتر از اینهاست؛ در تاریخ دور و دراز جهان، ستارگان بسیاری همهٔ سوخت هسته‌ای خود را سوزانده‌اند و فروپاشیده‌اند. این تعداد شاید حتی از ستارگان مرئی نیز بیشتر باشد.

در کهکشان ما به‌تنهائی بالغ بر تقریباً یکصد هزار ملیون ستاره مرئی وجود دارد. جاذبه گرانشی اضافه این تعداد حفره سیاه، می‌تواند توضیح دهد که چرا کهکشان ما با سرعت کنونی‌اش در حال چرخش است: جرم ستارگان مرئی از آن حد لازم که بتواند سرعت چرخش فعلی را توجیه کند، کمتر است. مدارک دیگری هم در دست است که حفره سیاه بس عظیمتری در مرکز کهکشان ما هست که جرمش تقریباً یکصد هزار برابر جرم خورشید است. در کهکشان ما آن ستارگانی که به این حفره سیاه بیش از حد نزدیک شوند، به‌سبب اختلاف نیروهای گرانشی وارد برطرف نزدیک به‌ستاره و دور از آن، پاره پاره می‌گردند. بقایای این ستارگان، بعلاوه گازی که از ستارگان دیگر جدا شده است، به‌سوی حفره سیاه سقوط می‌کنند. همچنانکه در مورد سیگنوس X - ۱ دیدیم، گاز بطور مارپیچ به‌طرف حفره حرکت می‌کند و داغ می‌شود، هرچند این گداختگی به‌پای سیگنوس X - ۱ نمی‌رسد و منجر به گسیل اشعه X نمی‌شود، اما می‌تواند بخوبی منبع متراکم امواج رادیویی و اشعه فرو سرخ را که در مرکز کهکشان رصد شده‌اند، تبیین نماید.

حفره‌های سیاه مشابه وحتی بزرگتری هم در مرکز کوازارها وجود دارند که جرم تقریبی‌شان یکصد ملیون برابر جرم خورشید است. ماده‌ای که بدرون چنین حفره ابر متراکمی سقوط کند، تنها منبع نیروی سترگی است که گسیل مقادیر عظیم انرژی توسط این کوازارها را می‌تواند توجیه نماید. در همان حال که ماده در مسیر مارپیچی بدرون حفره سیاه سقوط می‌کند، باعث چرخش حفره سیاه در همان جهت می‌گردد و بدینسان حفره سیاه، میدان مغناطیسی ای نظیر میدان مغناطیسی زمین ایجاد می‌نماید. ماده در حال

10. Magellanic Clouds

سقوط، ذرات بسیار پرانرژی‌ای در نزدیکی حفره سیاه تولید می‌کند. میدان مغناطیسی مزبور چندان نیرومند است که این ذرات را متمرکز کرده، از آنان فواره‌هایی برون‌سو و در امتداد محور چرخش حفره سیاه ــ یعنی در جهت قطب شمال و جنوب آن ــ تشکیل می‌دهد. این فواره‌ها در تعدادی از کهکشانها و کوازارها مشاهده شده‌اند.

امکان وجود حفره‌های سیاهی را که جرمشان از جرم خورشید بسیار کمتر باشد، نمی‌توان از نظر دور داشت. چنین حفره‌های سیاهی به‌طریق فروپاشی گرانشی شکل نگرفته‌اند، چرا که جرم‌شان از حد چاندراسخارکمتر است: ستارگانی که جرمشان اینقدر کم باشد، حتی وقتی سوخت هسته‌ای‌شان پایان یابد، باز در برابر نیروی گرانشی پایداری می‌کنند. حفره‌های سیاه با جرم پائین، تنها وقتی شکل می‌گیرند که یک فشار خارجی بس‌سترگ، ماده را فشرده کند و چگالی آن را بسیار افزایش دهد. این شرائط در یک بمب هیدروژنی بسیار بزرگ تحقق می‌یابد: جان ویلر فیزیکدان محاسبه کرد که اگر آب سنگین در همهٔ اقیانوسهای جهان را بگیریم و با آن بمب هیدروژنی بسازیم، می‌توانیم ماده را در مرکز چنان زیرفشار بگذاریم که حفره سیاهی بوجود آید. (البته برای تماشای این ماجرا، دیگر تماشاگری باقی نمی‌ماند!) یک امکان عملیتر آنست که این حفره‌های سیاه کم‌جرم، در حرارت و فشار بالای روزهای نخست جهان آفریده شده‌اند. حفره‌های سیاه تنها در صورتی شکل می‌گرفتند که جهان نخستین، کاملاً هموار و یکنواخت بود، چرا که فقط ناحیه‌ای کوچک با چگالی‌ای بیشتر از مقدار میانگین، می‌توانست بهمین طریق فشرده و متراکم شود و حفره سیاهی بوجود آورد. اما می‌دانیم که برخی بی‌قاعده‌گیها بناگزیر وجود داشته‌اند، زیرا در غیراینصورت، ماده موجود در جهان، باید در دوران ما، بجای توده شدن در ستارگان و کهکشانها، همچنان بطور یکنواخت توزیع شده باشد.

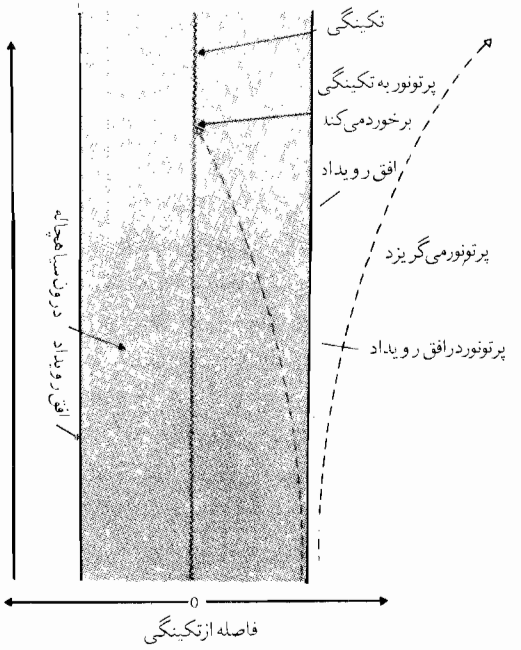
اینکه بی‌قاعده‌گیهای لازم برای توجیه وجودستارگان و کهکشانها، منجر به‌تشکیل تعداد قابل توجهی حفره سیاه «بدوی» شدند یا نه، بروشنی

به‌تک‌تک شرائط حاکم بر جهان نخستین وابسته است. بنابراین چنانچه تعداد حفره‌های سیاه بدوی کنونی را بتوانیم معین کنیم، اطلاعات بسیار زیادی پیرامون مراحل نخستین هستی بدست خواهیم آورد. حفره‌های سیاه بدوی را که جرمشان بیش از یکهزار ملیون تن است (یعنی جرم یک کوه بزرگ)، تنها با تأثیر گرانشی شان روی دیگر اجسام مادی قابل رؤیت و یا با اثر آنها بر گسترش جهان، می‌توان آشکار ساخت. با اینهمه، همانطور که در فصل بعد خواهیم دید، حفره‌های سیاه، آنقدرها هم که می‌گویند سیاه نیستند: آنها مثل یک جسم داغ، فروزانند و هر چه کوچکتر باشند، فروزانترند. بنابراین به گونه‌ای تناقض آمیز، آشکارسازی حفره‌های سیاه کوچکتر، عملاً از حفره‌های سیاه بزرگتر، آسانتر است!

# ۷

# حفره‌های سیاه آنقدرها هم سیاه نیستند

پیش از سال ۱۹۷۰، پژوهش های من روی نسبیت‌عام، عمدتاً بر این مسئله تمرکز یافته بود که آیا تکینگی انفجار بزرگ رخ داده است یا نه. بهرحال یک شب، در نوامبر همان سال، کمی پس از تولد دخترم لوسی، وقتی به‌رختخواب می‌رفتم، دربارهٔ حفره‌های سیاه شروع به‌فکر کردن کردم. این کار بدلیل معلولیت من، نسبتاً طول می‌کشد، بنابراین وقت زیادی داشتم. در آن تاریخ، تعریف دقیقی از اینکه چه نقطه ای در فضا ــ زمان داخل حفره سیاه است و کدام خارج آن، وجود نداشت. من با راجر پنروز پیرامون تعریف زیر بحث و گفتگو کرده بودم: حفره سیاه مجموعه رویدادهایی است که گریز از آن به‌فاصله دور، امکانپذیر نمی‌باشد. این تعریف اینک پذیرش همگانی یافته است. یعنی مرز و کرانه حفره سیاه یا بدیگر سخن افق رویداد، درون فضا ــ زمان از مسیر شعاعهای نوری شکل گرفته است که از گریز از حفره سیاه باز می‌مانند و برای همیشه روی لبه آن، شناورند (شکل ۱ ــ ۷). مثل

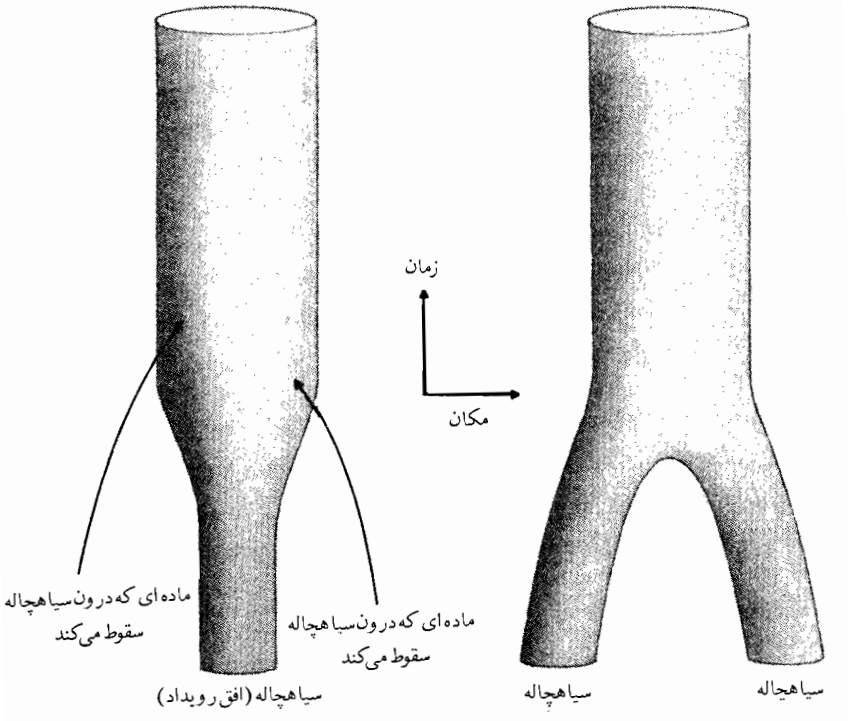



**شکل ۷.۱:**

کسی که از دست پلیس می‌گریزد و یکقدم از آنها جلو می‌افتد ولی نمی‌تواند به کلی از دستشان فرار کند!

ناگهان فهمیدم که مسیرهای این پرتوهای نور هرگز نمی‌توانند به‌یکدیگر نزدیک شوند. اگر نزدیک شوند، بناچار سرانجام بیکدیگر برخورد خواهند نمود. مثل اینکه فراری ما، به‌شخص دیگری که در جهت مخالف از دست پلیس می‌گریزد، برخورد کند ــ هردوشان دستگیر می‌شوند! (یا، هر دو در حفره سیاه می‌افتند.) اما چنانچه حفره سیاه این پرتوهای نور را ببلعد، پس دیگر مرز و کرانه‌ای در کار نخواهد بود. این موضوع را بگونه‌ای دیگر نیز می‌توان تصور کرد: کرانهٔ حفره سیاه یا افق رویداد، مثل لبه‌های یک سایه است ــ سایهٔ نیستی قریب‌الوقوع. اگر به‌سایه‌ای که از منبع نور دوردستی

بهم پیوستن دوسیاهچاله وتشکیل سیاهچاله جدید.




**شکل ۷.۲: وشکل ۷.۳:**

ناشی شـده باشد، نگـاه کنید، مثلاً به سـایهٔ جسمی در برابرخـورشـید، خواهید دید که شعاعهای نوری کـه ازلبه آن می‌گذرنـد، به یکدیگـر نزدیک نمی‌شـوند.

اگر پرتوهای نور تشکـیل دهندهٔ افق رویداد، یا مـرز حفره سیاه، هرگز بیکدیگر نزدیک نمی‌شوند، پس مساحت افق رویداد، ثابت می‌ماند یا در طول زمـان گسـترش می‌یابد، امـا هـرگـز نمی‌تواند کـاهش یـابـد ــ زیرا این حالت به‌معنـای آنسـت که دست‌کم بـرخـی از پرتوهای نـور افـق رویداد، بیکـدیـگر نزدیک می‌شونـد. در واقع هرگاه ماده یـا تشعشعی در دام حفره سیاه بیفتد، این مساحت افـزایش می‌یـابد (شکـل ۲ــ۷). یا چـنانچه دو حفـره سیاه بیکـدیگر برخورد کنند و در هم ادغـام شوند وحفره سیاه واحدی را بوجود آورند، مساحت افق رویداد حفره سیاه حاصل، بیشتر از یا مساوی با مجموع مساحت افق های رویدادحفره‌های سیاه اولـیه خواهد بود(شکل ۳ــ۷). ایـن ویژگی کاهش‌پذیری مسـاحـت افـق رویـداد، رفـتـارحـفـره هـای سـیـاه رادچـارمـحـدودیـت مـهـمـی ساخته است. آنشـب چنان به هیـجان آمدم که نتـوانستم زیاد بخوابم. روز بعد به‌راجر پنروز تلفن زدم. او با نظر من موافق بود. در حقیقت فکر می‌کنم او ازین ویژگی آگـاه بود. بهرحـال، تعریـف او از حفره سیـاه اندکی فـرق داشت. او نفهمیـده بود که مرزهای حفره سیاه، طبق هر دو تعریف،یکسان باقی می‌ماند و ازینرو مساحـت‌های آنان نـیز تفاوتـی نمی‌کـند، به‌شرط آنکه وضعـیت حفره سیاه در طول زمان تغییر ننماید.

ویژگی کاهش ناپذیری مساحت حفره سیاه، یادآور رفتار یک کمیت فـیـزیکی بنام آنـتـروپـی اسـت، که درجه بی‌نظـمـی یـک دسـتگاه را اندازه می‌گیرد. هر کس در زندگی روزمـره خود، ملاحظه کرده است که اگـر کار و زندگی را بحال خود رها کنیم، بی‌نظمی افزایش خواهد یافت. (اگر می‌گوئید نه، مدتی دست از تـعمیر خانه و زندگی بکشید و نتیجه اش را ببینید!) می‌توان از دل بی‌نظـمی، نظـم آفرید (مـثلاً مـی‌توانـیم خان را رنـگ بزنـیم)، امـا این بـه‌صـرف کوشش یا انرژی نیـاز دارد و بـنـابراین مقدار انـرژی نظـم یافته قابل دسترس را کاهش می‌دهد.

دومین قانون ترمودینامیک، این فکر رابدقت بیان می‌دارد. بنا بر این قانون، آنتروپی یک دستگاه منزوی، پیوسته افزایش می‌یابد و هنگامیکه دو دستگاه بیکدیگر می‌پیوندند، آنتروپی دستگاه حاصل، بزرگتر از مجموع آنتروپی های هر یک از دستگاهها خواهد بود. برای مثال، دستگاهی از ملکولهای گاز درون جعبه ای را در نظر بگیرید. ملکولها مثل توپهای بیلیارد کوچک، مدام با یکدیگر و با دیواره جعبه برخورد می‌کنند. هر چه درجه حرارت گاز بیشتر باشد، جنب و جوش ملکولها سریعتر است و میزان و شدت برخورد آنها با دیواره های جعبه بیشتر است و فشار برونسوی بیشتری روی دیواره‌ها اعمال می‌کنند. فرض کنید به کمک یک تیغه، نخست همهٔ ملکولها را در سمت چپ جعبه محبوس سازیم. حال اگر تیغه را برداریم، ملکولها در سراسر جعبه پخش می‌شوند و هر دو قسمت آنرا اشغال می‌نمایند. چندی بعد، برحسب اتفاق و تصادف، همه آنها ممکن است در طرف راست یا چپ جعبه جمع شوند، اما باحتمال بسیار زیاد، تعداد ملکولها در دو طرف جعبه تقریباً برابر خواهد بود. این وضع، نسبت به وضعیت نخست که همه ملکولها در یکطرف جعبه جمع شده بودند، ازنظم کمتری برخوردار است و بی نظیر می‌باشد. پس می‌توان گفت آنتروپی گاز بالا رفته است. به همین ترتیب فرض کنید دو جعبه داشته باشیم، یکی حاوی اکسیژن و دیگری پر از نیتروژن. اگر دو جعبه را بیکدیگر متصل کنیم و دیوارهٔ میانی را برداریم، ملکولهای اکسیژن و نیتروژن در هم مخلوط می‌شوند. چندی بعد، محتملترین حالت عبارت است از مخلوط یکنواختی از ملکولهای اکسیژن و نیتروژن در سراسر دو جعبه. در اینصورت، در مقایسه با وضعیت نخستین نظم کمتری حکمرواست و آنتروپی بیشتر است.

قانون دوم ترمودینامیک در مقایسه با دیگر قوانین علم، مثل گرانش نیوتن، از مرتبت و موقعیت متفاوتی برخوردار است، زیرا این قانون نه همیشه، بلکه در اکثر موارد صدق می‌کند. احتمال آنکه در آزمایش اول، همهٔ ملکولهای گاز در یکطرف جعبه جمع شوند، یک در چند ملیون ملیون است، اما

شاید اتفاق بیفتد. ولی اگر کسی یک حفره سیاه دم دست داشته باشد، بنظر می‌رسد به روشهای ساده‌تری بتواند قانون دوم ترمودینامیک را زیر پا بگذارد: صرفاً باید مقداری ماده با آنتروپی بسیار زیاد، مثل یک قوطی گاز، درون حفره سیاه بیندازد. آنتروپی کل ماده بیرون حفره سیاه کم می‌شود. ممکن است بگوئید که خوب، آنتروپی کل دستگاه که شامل آنتروپی درون حفره سیاه هم هست، کاهش نیافته است. ــ اما از آنجا که هیچ راهی برای مطالعه درون حفره سیاه نیست، نمی‌توانیم بگوئیم آنتروپی درون حفره چقدر است. چقدر خوب بود که به کمک یکی از ویژگیهای حفره سیاه، ناظران بیرون آن، می‌توانستند آنتروپی اش را تعیین کنند و هرگاه مادهٔ حامل آنتروپی درون حفره سیاه می‌افتاد، این ویژگی افزایش می‌یافت. پس از کشف آنکه سقوط ماده درون حفره سیاه، مساحت افق رویداد آن را افزایش می‌دهد، دانشجوی پژوهشگری در پرینستون، بنام جاکوب بکنشتین، اظهار داشت که مساحت افق رویداد، معیار و وسیله سنجشی برای آنتروپی حفره سیاه است. ماده حامل آنتروپی چون درون حفره سیاه می‌افتد، مساحت افق رویدادش زیاد می‌شود و به این ترتیب مجموع آنتروپی ماده بیرون حفره سیاه و مساحت افق های رویداد هرگز کاهش نمی‌یابد.

بنظر می‌رسید که این نظر، از خدشه دار شدن قانون دوم ترمودینامیک در بیشتر موارد جلوگیری کند. اما یک نقص اساسی وجود داشت. اگر حفره سیاه دارای آنتروپی باشد، پس به‌ناچار باید دارای دما باشد. اما جسمی که درجه حرارت معینی دارد، باید به‌میزان معینی پرتو گسیل کند. اغلب دیده‌اید که اگر سیخ بخاری را در آتش داغ کنیم، سرخ می‌شود و پرتوهایی گسیل می‌دارد، امّا اجسامی که درجه حرارتی پائین‌تر دارند نیز پرتو تشعشع می‌کنند؛ لیکن ما قادر به دیدن آن نیستیم چرا که مقدار تابش نسبتاً کم است. برای آنکه قانون دوم خدشه دار نشود، این تابش ضروری است. بنابراین حفره‌های سیاه باید پرتوهایی گسیل بکنند. اما بنابر تعریف خودشان، حفره‌های سیاه نباید هیچ چیزی گسیل کنند. ازینرو بنظر می‌رسید که نمی‌توان مساحت افق

رویداد را، آنتروپی حفره سیاه انگاشت. در سال ۱۹۷۲ همراه با براندون کارتر و یک همکار آمریکایی بنام جیم باردین مقاله ای نوشتم و در آن خاطرنشان ساختم که اگر چه مشابهت های زیادی بین آنتروپی و مساحت افق رویداد یافت می‌شود، اما این اشکال ظاهراً اساسی هم وجود دارد. اقرار می‌کنم که انگیزه من در نوشتن آن مقاله، تا حدّی عصبانیت ازدست بکنشتین بود، زیرا احساس می‌کردم که از کشف من در مورد افزایش مساحت افق رویداد، سوءِ استفاده کرده است. بهرحال، سرانجام کار معلوم شد که اساساً حق با بکنشتین بود، هرچند به‌طریقی که بیگمان انتظارش را نداشت.

در سپتامبر ۱۹۷۳، بهنگام دیداری از مسکو، با دو تن از متخصصان برجسته شوروی، بنامهای یاکوف زلدوویچ والکساندر استاروبینسکی در مورد حفره‌های سیاه به گفتگو نشستم. آنها مرا متقاعد کردند که طبق اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتوم، حفره‌های چرخان باید ذراتی تولید و گسیل کنند. دلایل آنها را در زمینه های فیزیکی پذیرفتم، اما راه ریاضی آنها را برای محاسبه گسیل ذرات نپسندیدم. بنابراین تصمیم گرفتم راه ریاضی بهتری بیابم ودر پایان نوامبر ۱۹۷۳ در یک سمینار غیررسمی به تشریح آن پرداختم. در آن هنگام هنوز محاسبات لازم برای تعیین میزان دقیق تابش را انجام نداده بودم. انتظار داشتم که همان میزان تابشی را که زلدوویچ واستاروبینسکی از حفره‌های سیاه چرخان پیش بینی کرده بودند، بدست آورم. اما وقتی محاسبات را انجام دادم، با کمال تعجب، و آزردگی، دریافتم که حتی حفره‌های سیاه ناچرخان باید با نرخ ثابتی، ذراتی تولید و گسیل کنند. در آغاز پنداشتم که این گسیل نشانگر نادرستی یکی از تقریبهای محاسباتم است. بیم آن داشتم که مبادا بکنشتین ازین نتیجه بوئی ببرد و آنرا بعنوان دلیلی دیگر بر له نظرش در مورد آنتروپی حفره‌های سیاه ــ که من هنوز از آن خوشم نمی‌آمد ــ اقامه نماید. اما هر چه بیشتر در این باره اندیشیدم، متوجه شدم که تقریب مزبور واقعاً درست است. اما با مشاهده آنکه طیف ذرات گسیل شده، دقیقاً با طیفی که از یک جسم داغ گسیل می‌شود، برابر است و نیز با دیدن آنکه حفره

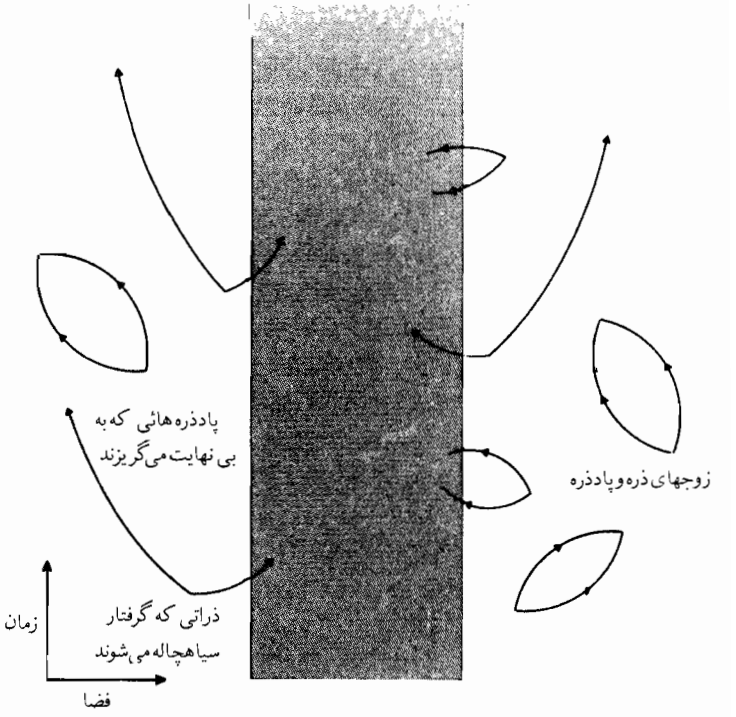
سیاه برای پرهیز از سر پیچی از قانون دوم، به گسیل ذرات به میزانی درست، مشغول است، متقاعد شدم که گسیل ذرات، امری واقعی می‌باشد. از آن پس، کسان دیگری، بگونه های متفاوت محاسبات بالا را تکرار کرده اند. همه آنها تأیید کرده اند که حفره سیاه باید ذرات و پرتوهایی را گسیل کند، چنانکه گویی جسمی داغ است با درجه حرارتی که تنها به جرم حفره سیاه بستگی دارد: هر چه جرم بیشتر باشد، دما پائین تر است.

پس چگونه ممکن است حفره سیاه که قرار است هیچ چیز از حصار افق رویدادش نتواند بگریزد، ذراتی گسیل کند؟ نظریه کوانتوم می‌گوید که ذرات از درون حفره سیاه خارج نمی‌شوند، بلکه از فضای «تهی» خارج افق رویداد سرچشمه می‌گیرند! این حقیقت را به شیوه زیر می‌توان فهمید: آنچه را که ما «تهی» می‌نامیم نمی‌تواند بطور کامل تهی باشد زیرا در غیر اینصورت، همهٔ میدانها نظیر میدانهای گرانشی و الکترومغناطیسی، در آن باید دقیقاً صفر باشند. اما مقدار یک میدان و نرخ تغییر آن نسبت به زمان، همانند وضعیت و سرعت یک ذره اند: بنابر اصل عدم قطعیت، هر چه یکی ازین کمیت ها را بدقت بیشتری بدانیم، کمیت دیگر را با دقت کمتری می‌توانیم تعیین کنیم. بنابراین در فضای تهی، میدان را نمی‌توان دقیقاً برابر صفر پنداشت، چرا که هم بر مقدار دقیق آن آگاهیم (صفر) و هم نرخ تغییرش را بطور دقیق می‌دانیم (صفر). در حالیکه در مقدار میدان، باید عدم قطعیت کمینه، یا افت و خیزهای کوانتومی، معین وجود داشته باشد. این تغییرات و افت و خیزها را می‌توان ناشی از زوج هایی از ذرات نور یا گرانش دانست که گاه با یکدیگر ظاهر می‌شوند، از هم جدا می‌گردند و باز نزد هم باز می‌گردند و یکدیگر را نابود می‌کنند. اینها ذرات مجازی هستند، مثل ذراتی که نیروی گرانشی خورشید را حمل می‌کنند: برخلاف ذرات واقعی، نمی‌توان آنان را با یک آشکارساز ذره مستقیماً نشان داد، اما تأثیرات غیر مستقیم شان، مثل تغییرات اندک در انرژی مدارهای الکترون اتم ها، قابل اندازه گیری است و بادقت بالائی با پیش بینی های نظریه مطابقت دارد. اصل عدم قطعیت همچنین پیش بینی

می‌کند که زوج های مجازی مشابهی از ذرات مادی مثل الکترون و کوارک نیز وجود خواهند داشت. امّا در این صورت، یکی از دو ذرهٔ تشکیل دهندهٔ زوج، ذره و دیگری پادذره می‌باشد (پادذرات نور و گرانش همان ذرات هستند).

از آنجا که انرژی از هیچ بوجود نمی‌آید، یکی از اعضای زوج ذره/پادذره، انرژی مثبت دارا خواهد بود و دیگری انرژی منفی خواهد داشت. آن که انرژی منفی دارد محکوم به زندگی کوتاهی در قالب یک ذرهٔ مجازی است چرا که در شرایط عادی، انرژی ذرات حقیقی همواره مثبت است. بنابراین ناچار است یار و همراه خویش را پیدا کند و خود را در او فنا سازد. اما یک ذره حقیقی وقتی نزدیک یک جسم دارای جرم زیاد است، در مقایسه با زمانی که از آن دور است، انرژی کمتری دارد، زیرا جابجا کردن ذره بدوردستها، در مقابل جاذبه گرانشی جسم، نیازمند صرف انرژی است. بطور عادی، انرژی ذره هنوز مثبت است، اما میدان گرانشی درون حفره سیاه چنان نیرومند است که حتی یک ذره حقیقی هم آنجا می‌تواند انرژی منفی داشته باشد. بنابراین، چنانچه پای حفره سیاه در میان باشد، ممکن است ذره‌ای مجازی با انرژی منفی درون آن بیفتد و تبدیل به ذره‌ای حقیقی یا پادذره شود. در اینصورت دیگر لازم نیست با یار و همراه خود نابود شود. همراه جدا مانده او نیز ممکن است درون حفره سیاه بیفتد، یا، با داشتن انرژی مثبت، می‌تواند بصورت یک ذره حقیقی یا پادذره از مجاورت حفره سیاه بگریزد (شکل ٤ــ٧). برای ناظر دوردست، این پدیده بصورت گسیل ذرات از حفره سیاه نمودار خواهد شد. جرم حفره سیاه رابطه مستقیمی دارد با فاصله‌ای که ذرهٔ دارای انرژی منفی پیش از تبدیل شدن به ذره‌ای حقیقی، باید بپیماید. هر چه حفره سیاه کوچکتر باشد، فاصله کوتاهتر است و بنابراین نوع گسیل ذرات و درجه حرارت ظاهری حفره سیاه بیشتر می‌شود.

انرژی مثبت تابش برونسو مساوی است با جریان ذرات دارای انرژی منفی بدرون حفره سیاه. بنابر معادله انشتین $E = mc^2$ ($E$ بیانگر انرژی




**شکل ۷.٤:**

است، m جرم و c سرعت نور می‌باشد)، انرژی متناسب با جرم است. بنابراین جریان انرژی منفی بدرون حفره سیاه، جرم آن را کاهش می‌دهد. همچنانکه حفره سیاه، جرم خود را از دست می‌دهد، مساحت افق رویدادش کوچکتر می‌شود، اما این کاهش آنتروپی حفره سیاه، از آنتروپی پرتوهای گسیل شده کمتر است و ازینرو قانون دوم هرگز نقض نمی‌شود.

ازین گذشته، هر چه جرم حفره سیاه کمتر باشد، درجه حرارتش بالا تر است. پس همچنانکه جرم حفره سیاه کاهش می‌یابد، درجه حرارت و نرخ تابش آن افزایش می‌یابد و در نتیجه با سرعت بیشتری جرم خود را از دست

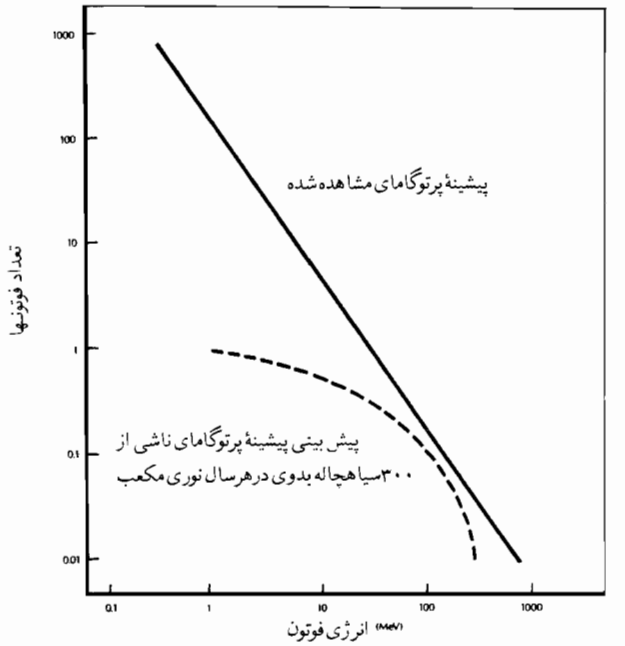
می‌دهد. درست معلوم نیست وقتیکه سرانجام جرم حفره سیاه بسیار کم می‌شود، چه اتفاقی می‌افتد، اما خردپذیرترین حدس آنست که حفره سیاه، با یک انفجار فرجامین که منجر به تابشی عظیم می‌شود، و با انفجار میلیونها بمب هیدروژنی معادل است، ناپدید می‌گردد.

درجه حرارت حفره سیاهی که جرمش چند برابر جرم خورشید است، برابر است با یک ده ملیونیم درجه بالا تر از صفر مطلق. این از درجه حرارت تابش میکروموج که جهان را انباشته است (تقریباً ۲/۷ درجه بالا تر از صفر مطلق) بسیار کمتر می‌باشد، بنابراین، این حفره‌های سیاه، حتی بیش از آنچه جذب می‌کنند، گسیل می‌نمایند. اگر مقدر است که جهان برای همیشه گسترش یابد، درجه حرارت تابش میکروموج، عاقبت از درجه حرارت این حفره‌های سیاه نیز کمتر می‌شود، و در این هنگام است که چنین حفره‌های سیاهی شروع به کاهش جرم می‌نمایند. اما حتی در آن هنگام نیز، درجه حرارتشان چنان کم است که در حدود یک ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون (یک جلویش شصت و شش صفر) سال طول می‌کشد تا بکلی تبخیر گردند. این مدت بسی بیشتر از عمر جهان است که تقریباً ده یا بیست هزار ملیون سال می‌باشد (۱ یا ۲ جلویش ده صفر). بدیگر سخن، همانگونه که در فصل ٦ گفتیم، ممکن است حفره‌های سیاه بدوی با جرم بسیار کمتری وجود داشته باشند که از فروپاشی ناهمگونیهای مراحل اولیه جهان، ایجاد شده باشند. چنین حفره‌های سیاهی، درجه حرارتی بسیار بالا تر دارند و نرخ گسیل پرتو در آنان بس بیشتر است. یک حفره سیاه بدوی که جرم اولیه اش یکهزار ملیون تن است، طول عمر تقریبی اش برابر عمر جهان می‌باشد. حفره‌های سیاه بدوی که جرم اولیه‌شان ازین هم کمتر است، تاکنون یکسره تبخیر شده‌اند، اما آنها که جرمشان اندکی ازین بیشتر است، هنوز در حال گسیل پرتوهایی بصورت اشعه X و اشعه گاما می‌باشند. این اشعه‌های X و گاما همچون موج نورند، اما طول موج بسیار کوتاهتری دارند. چنین حفره‌هایی چندان شایسته لقب «سیاه» نیستند: آنها

از شدت گرما سفیدند و بمیزان تقریباً ده‌هزار مگاوات انرژی گسیل می‌کنند.

اگر می‌توانستیم انرژی این حفره‌های سیاه را مهار کنیم، ده نیروگاه بزرگ با آن بکار می‌افتاد. اما این کاری است نسبتاً مشکل: جرم این اجسام که باندازه جرم یک کوه است، فضایی کمتر از یک ملیون ملیونیم اینچ را که تااندازهٔ هسته اتم است، اشغال می‌کند! اگر یکی ازین حفره‌های سیاه را روی سطح زمین قرار دهیم، بناگزیر بطرف مرکز زمین براه خواهد افتاد و هیچ وسیله‌ای برای متوقف ساختن آن وجود ندارد. سپس در دل زمین بنوسان خواهد پرداخت تا آنکه عاقبت بحال سکون درآید. پس برای استفاده از انرژی آنها، تنها جای مناسب، مدار زمین است ــ و تنها راه برای آنکه این حفره‌های سیاه را در مدار زمین قرار دهیم آنست که جسمی بزرگ را در مقابلش بگذاریم و آنرا بسوی خود بکشانیم، همانطور که با گرفتن مقداری یونجه جلوی یک خر می‌توانیم آنرا بدنبال خود حرکت دهیم. این کار، دست کم تا آیندهٔ نزدیک، چندان عملی به نظر نمی‌رسد.

خوب، حالا که قادر نیستیم انرژی این حفره‌های سیاه بدوی را مهار کنیم، چگونه می‌توانیم آنها را مشاهده کنیم؟ باید در جستجوی اشعه گامایی باشیم که حفره‌های سیاه بدوی در بخش اعظم زندگی خود گسیل می‌کنند. از آنجا که حفره‌های سیاه در فاصله‌ای دور از ما واقعند، تابش بیشتر آنها بسیار ضعیف می‌باشد، با اینحال مجموع این پرتوها آشکار پذیر است. چنین پیشینه‌ای از پرتوهای گاما قابل مشاهده است: شکل ۵ــ۷ نشانگر چگونگی تفاوت شدت پرتوهای مشاهده شده در بسامدهای مختلف می‌باشد. اما این پیشینه ممکن است توسط فرآیندهایی بجز حفره‌های سیاه بدوی ایجاد شده باشد و احتمالاً این حدسی نادرست نیست. در شکل ۵ــ۷ خط نقطه چین، بیانگر چگونگی تغییرات شدت پرتوهای گامای گسیل شده بوسیله حفره‌های سیاه بدوی نسبت به بسامد آنهاست، به شرط آنکه بطور میانگین درهرسال نوری مکعب، ۳۰۰ حفره سیاه بدوی موجود باشد. ممکن است بگوئید پس رصدهای پیشینه اشعه گاما، گواهی مثبت برای وجود حفره‌های سیاه بدوی




**شکل ۷.۵:**

فراهم نمی‌کند. با این وجود، نشانگر آن است که در عالم هستی، در هر سال نوری مکعب بطور میانگین بیش از ۳۰۰ حفره سیاه بدوی نمی‌تواند وجود داشته باشد. یعنی حداکثر یک میلیونیم ماده موجود در جهان از حفره‌های سیاه بدوی تشکیل شده است.

حالا که این اجسام چنین نایاب هستند، بعید بنظر می‌رسد که یکی از آنها آنقدر بما نزدیک باشد که بتوانیم بعنوان یک منبع اشعه گامای جداگانه مشاهده‌اش کنیم. اما از آنجا که گرانش، حفره‌های سیاه بدوی را به سوی هر نقطه حاوی ماده می‌کشاند، پس در درون و دور و بر کهکشانها، بیش از دیگرجاها می‌توان سراغشان را گرفت. با آنکه پیشینهٔ اشعه گاما می‌گوید که

بطور میانگین در هر سال نوری مکعب بیش از ۳۰۰ حفره سیاه بدوی وجود ندارد، حرفی درباره تعداد حفره‌های سیاه بدوی‌ای که در کهکشان خود ما یافت می‌شود، نمی‌زند. چنانچه این میانگین مثلاً یک ملیون بار بیشتر بود، نزدیکترین حفره سیاه به ما احتمالاً در حدود هزار ملیون کیلومتری ما قرار داشت، یعنی به اندازه پلوتو، دورترین سیارهٔ شناخته شده، از ما فاصله داشت. ازین فاصله، هنوز آشکارسازیِ تابش پیوسته یک حفره سیاه، حتی اگر ده هزار مگاوات هم باشد، بسیار دشوار است. برای مشاهدهٔ یک حفره سیاه بدوی باید چندین کوانتوم اشعه گاما را ظرف مدت قابل قبولی، مثل یک هفته از جهت واحدی، آشکار ساخت. درغیر اینصورت، پرتوهای دریافتی ممکن است صرفاً بخشی از پیشینه باشند. اما اصل کوانتوم پلانک می‌گوید که هر کوانتوم پرتو گاما انرژی زیادی دارد زیرا بسامد آن بسیار بالاست، بنابراین برای تابش حتی ده هزار مگاوات هم، کوانتومهای زیادی لازم نیست. و برای رصد کردن این چند کوانتوم که از فاصله‌ای معادل فاصله پلوتو تا زمین گسیل شده باشند، آشکار ساز پرتو گامایی لازم است که از هر آشکار ساز دیگری که تاکنون ساخته شده‌بزرگ‌تر است. از این گذشته این آشکارساز باید در فضا نصب شود چرا که پرتوهای گاما از جوّ زمین عبور نمی‌کنند.

البته اگر قرار باشد که حفره سیاهی در فاصله‌ای برابر فاصله پلوتو از زمین، به پایان عمر خود برسد و منفجر گردد، تشعشع فرجامین آن را بسادگی می‌توان آشکار ساخت. اما اگر حفره سیاه ظرف مدت ده یا بیست هزار ملیون سال گذشته در حال تابش بوده باشد، احتمال آنکه بجای طی چند ملیون سال گذشته یا آینده، ظرف چند سال آتی بپایان راه برسد، واقعاً ناچیز است! پس برای آنکه احتمال دیدن انفجار مزبور پیش از ته کشیدن بودجه تحقیقاتی، به حد معقولی برسد، باید راهی برای آشکارسازی کلیه انفجارهای واقع در مسافتی بطول یک سال نوری پیدا کرد. برای رصد کردن چند کوانتوم پرتو گامای ناشی از انفجار، هنوز هم به آشکارساز اشعه گامای بزرگی نیاز داریم. اما در اینصورت، دیگر لازم نیست همه کوانتومها از جهت واحدی

دریافت شوند: کافی است که همه آنها را ظرف فاصله زمانی کوتاهی مشاهده کنیم تا بطور خردپذیری مطمئن شویم آنها از انفجار واحدی سرچشمه گرفته اند.

از جو زمین به عنوان آشکارسازی که ممکن است قادر به تشخیص حفره سیاه بدوی باشد، می‌توان سود جست. (بهرحال، بعید است بتوانیم آشکارساز بزرگتری بسازیم!) یک کوانتوم اشعه گامای پر انرژی، چون به اتمهای آتمسفر برخورد نماید، زوجهایی از الکترون و پوزیترون (پاد الکترون) بوجود خواهد آورد. اینها در بر خورد با دیگر اتمها، به نوبه خود، زوجهای بیشتری از الکترون و پوزیترون تولید خواهند نمود، بنابراین یک دوش الکتریکی بوجود خواهد آمد و موجب نوعی نور بنام تابش چرنکوف[1] می‌گردد. در نتیجه با جستجوی درخشش نور در آسمان شبانگاهی می‌توان انفجارهای اشعه گاما را آشکار ساخت. البته، پدیده های دیگری نیز وجوددارند که موجب درخشش نور در آسمان می‌شوند مثل برق، بازتاب نور خورشید بوسیله ماهواره‌ها و اجسامی که دور زمین در گردشند. تمیز انفجار پرتوهای گاما از پدیده های دیگر بوسیلهٔ درخشش های همزمان در دو یا چند محل نسبتاً دور از یکدیگر، امکانپذیر است. دو دانشمند از دابلین بنامهای نیل پرتر و ترور ویکز با استفاده از تلسکوپی در آریزونا، دست به پژوهش مشابهی زدند. آندو چند درخشش در آسمان یافتند. لیکن نتوانستند قاطعانه هیچ یک را به انفجارهای اشعه گاما از حفره های سیاه بدوی، نسبت دهند.

حتی اگر پاسخ جستجوی حفره های سیاه بدوی، منفی باشد، و ظاهراً هم جواب منفی است، بازهم اطلاعات مهمی پیرامون مراحل ابتدائی جهان بما خواهد داد. اگر دوران یاد شده، پر آشوب و ناهمگون یا فشار ماده کم باشد، انتظار داریم شمار حفره های سیاه بدوی بسیار بیشتر از حد مقرر بوسیله مشاهدات ما از پیشینه پرتو گاما باشد. فقدان تعداد حفره سیاه بدوی قابل

1. Cerenkov Radiation

مشاهده تنها زمانی قابل توجیه است که جهان نخستین بس هموار و یکنواخت بوده باشد.

اندیشه تابش حفره‌های سیاه، نخستین نمونه پیش بینی بود که بر هر دو نظریه سترگ این قرن، یعنی نسبیت عام و مکانیک کوانتوم، استوار بود و در ابتدا مخالفت بسیاری را موجب گردید چرا که نظرگاه رایج را متزلزل می‌ساخت: «حفره سیاه چگونه می‌تواند چیزی گسیل کند؟» هنگامیکه نخستین بار نتیجه محاسبات خود را در کنفرانسی در آزمایشگاه راترفورد — اپلتون نزدیک آکسفورد اعلام کردم، با دیر باوری همگانی مواجه شدم. در پایان صحبتم، رئیس جلسه، جان ج. تیلر از کالج کینگز لندن، آنرا باوه خواند و مقاله ای هم در این زمینه نگاشت. اما بالاخره بیشتر افراد از جمله جان تیلر به این نتیجه رسیدند که اگر اندیشه های دیگر ما در باب نسبیت عام و مکانیک کوانتوم درست باشد، حفره‌های سیاه باید همچون اجسامی داغ تابش نمایند. بنابراین اگر چه هنوز موفق به یافتن حفره سیاه بدوی ای نشده ایم، تقریباً همگی برآنیم که در صورت موفقیت، باید در حال تابش اشعه گاما و اشعه X بسیار باشد.

بنظر می‌رسد تابش حفره‌های سیاه، گویای این حقیقت است که فروپاشی گرانشی آنقدرها هم که فکرمی‌کردیم، فرجامین و برگشت‌ناپذیر نیست. اگر فضانوردی درون یک حفره سیاه بیفتد جرم حفره زیاد می‌شود، اما سرانجام انرژی معادل جرم اضافی، بصورت تابش به جهان باز پس داده می‌شود. بنابراین به یک معنی، فضانورد باز در «چرخه» وجود قرار خواهد گرفت. اما این یکجور فنا ناپذیری حقیر است چرا که هر گونه تصور شخصی از زمان برای کسی که درون حفره سیاه تکه تکه شده، به پایان می‌رسد! حتی انواع ذراتی که حفره سیاه سرانجام گسیل خواهد کرد بطور کلی با ذرات تشکیل دهنده فضانورد فرق می‌کند: جرم و انرژی او تنها وجوه هستی اش می‌باشند که امکان بقا می‌یابند.

تقریب هایی که در محاسبه تابش حفره‌های سیاه بکار گرفتم، در

مورد حفره سیاهی که جرمش بیش از جزئی از یک گرم است، معتبر می‌باشد. امّا در پایان عمر حفره سیاه، وقتی که جرمش بسیار اندک می‌شود، دیگر کارآیی ندارد. به نظر می‌رسد محتمل‌ترین پیامد آنست که حفره سیاه دست کم از ناحیه‌ای از جهان که به ما تعلق دارد، ناپدید می‌شود، و فضانورد و هر تکینگی ای که درونش نهفته باشد ــ البته اگر تکینگی ای در کار باشد ــ با خود می‌برد. این نخستین نشانه از آنست که مکانیک کوانتوم شاید تکینگی های نسبیت عام را حذف نماید. اما روشهایی که من و دیگران در ۱۹۷٤ بکار بستیم، قادر نبودند به سؤالاتی ازین دست پاسخ دهند که آیا در گرانش کوانتومی هم با تکینگی ها سروکار خواهیم داشت یا نه. ازینرو از سال ۱۹۷۵ به بعد دست به کار ابداع رویکرد نیرومندتری به گرانش کوانتومی شدم که بر اندیشه ریچارد فین‌مان در مورد مجموع تاریخچه ها، بنیاد داشت. در دو فصل آینده آنچه را که این رویکرد در مورد سرچشمه و سرنوشت جهان و موجودات درون آن، مثل فضانورد خودمان، مطرح می‌نماید، شرح خواهم داد. خواهیم دید که اگر چه اصل عدم قطعیت محدودیتهایی بر دقت پیش بینی های ما قرار می‌دهد، اما در عین حال پیش بینی ناپذیری بنیادینی را که در تکینگی فضا-زمان رخ می‌دهد، برطرف می‌سازد.

# ۸

# سرچشمه و سرنوشت جهان

نظریه نسبیت عام انشتین بخودی خود، پیش بینی می‌کرد که فضا ـ زمان از تکینگی انفجار بزرگ آغاز گردیده است و به تکینگی تخریب بزرگ (Big Crunch) (چنانچه تمامی جهان فرو پاشد)، یا به تکینگی درون یک حفره سیاه (اگر یک ناحیه از فضا ـ زمان، مثل یک ستاره، دچار فرو پاشی شود) می انجامد. هر ماده‌ای که به این سیاهچاله بیفتد در تکینگی متلاشی می‌گردد، و تنها تأثیر گرانشی جرم آن در بیرون حفره باقی می‌ماند. از دیگر سو، هنگامی که تأثیرات کوانتومی را بحساب آوردیم، بنظر می‌رسید که جرم یا انرژی ماده، سرانجام به بقیه جهان باز پس داده خواهد شد و حفره سیاه همراه با هر تکینگی درون آن، تبخیر و سرانجام ناپدید می‌شوند. آیا مکانیک کوانتوم می‌تواند تأثیری چنین دراماتیک بر تکینگی های انفجار بزرگ و تخریب بزرگ داشته باشد؟ در مراحل آغازین و پایانی جهان، وقتی که میدانهای گرانشی چنان نیرومندند که تأثیرات

کوانتومی قابل صرف نظر کردن نمی‌باشند، واقعاً چه می‌گذرد؟ آیا در واقع جهان آغاز و پایانی دارد؟ و اگر آری، به چه می‌مانند؟

در طول سالهای هفتاد، بطور عمده به مطالعه حفره‌های سیاه مشغول بودم، اما در ۱۹۸۱ مسائل مربوط به سرچشمه و سرنوشت گیتی باز مرا بخود علاقمند ساخت. قضیه ازین قرار بود که در آن هنگام در کنفرانسی که از سوی یسوعیها در واتیکان برگزار شده بود و به مباحث کیهانشناسی اختصاص داشت، شرکت کردم. کلیسای کاتولیک در مورد گالیله دچار اشتباه بدی شد و با اعلام اینکه خورشید بدور زمین می‌چرخد، کوشید یک قانون علمی وضع کند. اکنون، قرنها پس از آن ماجرا، کلیسای کاتولیک بر آن شده بود که شماری از کارشناسان را دعوت کند تا آنرا در جریان امور کیهانشناسی قرار دهند. در پایان کنفرانس، پاپ برای شرکت کنندگان به سخنرانی پرداخت. اوبما گفت که مطالعهٔ پیدایش هستی پس از انفجار بزرگ کاری است نیکو، اما ما نباید به کنکاش در خود انفجار بزرگ بپردازیم زیرا آن لحظهٔ آفرینش و در نتیجه کار پروردگار است. جالب بود که پاپ موضوع سخنرانی ای که اندکی قبل در آن کنفرانس ایراد کرده بودم، نمی‌دانست ــ امکان متناهی بودن فضا-زمان و در عین حال بیکرانگی آن، که به معنای فقدان آغاز و لحظهٔ آفرینش می‌باشد. البته هیچ دوست ندارم به سرنوشت گالیله دچار شوم. احساس می‌کنم به گالیله بسیار شباهت دارم، واین احساس تا حدی بخاطر آنست که درست ۳۰۰ سال پس از مرگش بدنیا آمدم!

برای آنکه بتوانم اندیشه‌های خود و دیگران را پیرامون چگونگی تأثیر مکانیک کوانتوم بر سرچشمه و سرنوشت هستی توضیح دهم، لازم است ابتدا، تاریخچه هستی مبتنی بر «مدل انفجار بزرگ داغ» را که مورد پذیرش همگانی است، بازگو نمایم. در اینجا فرض بر آنست که جهان از انفجار بزرگ تاکنون بوسیله یک مدل فریدمان توضیح داده می‌شود. درچنین مدلهایی، با گسترش جهان، همهٔ مواد یا تابش های درون آن، سردتر می‌شوند. (وقتی اندازه جهان دو برابر می‌شود، درجه حرارتش نصف می‌گردد.) از آنجا

که درجه حرارت صرفاً بیانگر انرژی ــ یا سرعت ــ میانگین ذرات است، سرد شدن جهان تأثیری عمده بر ماده درونش دارد. در انرژی های بسیار بالا، ذرات چنان تند حرکت می‌کنند که قادرند از هر کششی به سوی یکدیگر که از نیروهای هسته ای یا الکترومغناطیسی ناشی شده باشد، بگریزند، اما چون سرد می‌شوند، می‌توان انتظار داشت که ذراتی که یکدیگر را جذب می‌کنند، روی هم انباشته شوند. ازین گذشته، انواع ذرات موجود در جهان نیز به درجه حرارت بستگی دارند. در درجه حرارتهای بسیار بالا ذرات چنان پر انرژ یند که در هر برخورد، زوجهای متفاوت بسیاری متشکل از ذره/ پاد ذره تولید می‌گردند ــ و اگر چه برخی ازین ذرات در برخورد با پاد ذره ها نابود می‌شوند، سرعت تولید آنها بیشتر از نابودیشان است. اما در دما های پائین تر، ذرات انرژی کمتری دارند، زوجهای ذره/ پاد ذره با سرعت کمتری تولید می‌شوند و نابودی تندتر از خلق و ایجاد انجام می‌گیرد.

در خود انفجار بزرگ، اندازه جهان صفر انگاشته می‌شود و بنابراین درجه حرارت آن بی نهایت زیاد است. اما جهان چون به گسترش آغاز کرد، درجه حرارت تابش کاهش یافت. یک ثانیه پس از انفجار بزرگ، درجه حرارت باید به حدود ده هزار میلیون درجه سقوط کرده باشد، یعنی تقریباً یکهزار برابر حرارت مرکز خورشید، اما در انفجار بمب هیدروژنی به چنین درجه حرارتی می‌توان دست یافت. دراین هنگام، جهان بطور عمده، ذراتی چون فوتون، الکترون و نوترینو[1] (ذره ای بسیار سبک که تنها نیروی ضعیف و گرانش برآن کارگرند) و پاد ذره های آنها بعلاوهٔ مقداری پروتون و نوترون دربرداشت. در همانحال که جهان همچنان گسترش و دما پیوسته کاهش می‌یافت، آهنگ تولید زوجهای الکترون/ پادالکترون بر اثر برخورد ذرات با یکدیگر، از آهنگ نابودی آنها، کمتر شد. بنابراین بیشتر الکترونها و پادالکترونها یکدیگر را نابود می‌کردند و فوتونهای بیشتری تولید می‌نمودند، و

1. Neutrino

تنها تعدادی الکترون باقی می‌ماند. اما نوترینوها و پاد نوترینوها یکدیگر را نابود نمی‌کردند، زیرا کنش متقابل آنها با یکدیگر و با دیگر ذرات بسیار ضعیف است. بنابراین، امروز هم این ذرات هنوز یافت می‌شوند. اگر می‌توانستیم آنها را مشاهده کنیم، آزمون خوبی از این مدل مراحل داغ نخستین جهان ترتیب می‌دادیم. از بخت بد، انرژی آنها آنقدر کم است که مشاهده مستقیم آنان امکان‌پذیر نیست. اما اگر نوترینوها فاقد جرم نیستند و جرم اندکی دارند، همانطور که یک آزمایش تأیید نشده روسی در سال ۱۹۸۱، نشان داد، بطور غیر مستقیم می‌توان آنها را آشکار ساخت: آنها نوعی «ماده تاریک»اند، و همانطور که پیشتر گفتیم، دارای جاذبه گرانشی کافی برای بازداشتن جهان از گسترش و وادار کردن آن به فروپاشی دوباره، هستند.

تقریباً یکصد ثانیه پس از انفجار بزرگ، درجه حرارت به یکهزار ملیون درجه، دمای درون داغترین ستاره، سقوط می‌کند. در این درجه حرارت پروتون‌ها و نوترونها دیگر انرژی کافی برای گریز از کشش نیروی هسته‌ای قوی را ندارند، و شروع به پیوستن به یکدیگر و تولید هسته‌های اتم دوتریوم[2] (هیدروژن سنگین) می‌کنند، که یک پروتون و یک نوترون دارد. هسته‌های دوتریوم، سپس با پروتون‌ها و نوترونهای بیشتری می‌آمیزند و هسته‌های هلیوم را بوجود می‌آورند، که داری دو پروتون و دو نوترون است، و نیز برخی عناصر سنگین‌تر مثل لیتیوم و یریلیوم را تولید می‌نمایند. می‌توان محاسبه کرد که در مدل انفجار بزرگ داغ، در حدود یک چهارم پروتونها و نوترونها تبدیل به هسته هلیوم شدند و مقدار کمی هم هیدروژن سنگین و دیگر عناصر بوجود آمد. نوترونهای باقیمانده به پروتون تبدیل شدند که همان هسته اتمهای هیدروژن معمولی است.

این تصویر از آغازین دورهٔ داغ جهان، نخستین بار در سال ۱۹۴۸ توسط جرج گاموف مطرح شد. او بهمراه یکی از دانشجویانش بنام رالف آلفر،

2. deuterium

در این زمینه جزوه‌ای نگاشتند. گاموف آدم شوخ‌طبعی بود ــ او دانشمند هسته‌ای هانس بت را متقاعد کرد که اسمش را درپای مقاله اضافه کند تا اسم نویسندگان بصورت زیر درآید: «آلفر، بت، گاموف»، مثل سه حرف اول الفبای یونانی، آلفا، بتا، گاما که بویژه برای مقاله‌ای درباره آغاز جهان مناسب بود! در این مقاله آنان پیش‌بینی کردند که تابش (به شکل فوتون) ناشی از نخستین مراحل داغ جهان، هنوز هم باید در اطراف ما باشد، لیکن دمایش به تنها چند درجه بالای صفر مطلق (۲۷۳° C ــ) کاهش یافته است. آنچه پنزیاس و ویلسون در سال ۱۹۶۵ یافتند، همین تابش بود. هنگامیکه آلفر، بت و گاموف مقاله‌شان را می‌نگاشتند، کسی درباره کنش‌های متقابل هسته‌ای پروتونها و نوترونها چیز زیادی نمی‌دانست. بنابراین، پیش بینیهایی که در مورد نسبت‌های عناصر مختلف در آغاز جهان بعمل می‌آمد، نسبتاً نادقیق بود، اما در پرتو آگاهی عمیقتر، این محاسبات باز انجام گرفته‌اند و امروز بخوبی با مشاهدات ما تطابق دارند. ازین گذشته، به هر شیوه‌ای بجز از روش بالا، توجیه وجود اینهمه هلیوم در جهان بس دشوار است. ازینرو تقریباً مطمئنیم که دست‌کم تا حدود یک ثانیه پس از انفجار بزرگ، تصویری درست از جهان در دست داریم.

ظرف مدت تنها چند ساعت پس از انفجار بزرگ، تولید هلیوم و دیگر عناصر متوقف شد. و پس از آن، برای حدود یک ملیون سال، جهان بدون رویداد قابل ذکری، صرفاً گسترش یافت. سرانجام، وقتی درجه حرارت به چند هزار درجه کاهش یافت و الکترونها و هسته‌ها دیگر انرژی لازم برای غلبه بر جاذبه الکترومغناطیسی میان خود را نداشتند، شروع به درآمیختن و تشکیل اتمها کردند. جهان بعنوان یک مجموعه در حال انبساط و سرد شدن بود، اما در نواحی‌ای که کمی از حد میانگین، چگالتر بود، بخاطر جاذبه گرانشی اضافه، گسترش، کندتر انجام می‌پذیرفت. این روند منجر به توقف گسترش بعضی مناطق و آغاز فروپاشی دوباره‌شان شد. در حین فروپاشی، کشش گرانشی مادهٔ بیرون این مناطق، می‌توانسته است موجب چرخش

جزئی آنان شده باشد. همچنانکه ناحیه فروپاشیده کوچکتر می‌شد، سریعتر می‌چرخید ــ مثل یخبازان که هنگام چرخیدن روی یخ، دستهایشان را بطرف بدنشان جمع می‌کنند تا سریعتر بچرخند. سرانجام این نواحی بسیار کوچک شدند و چرخش شان چندان تند شد که با جاذبه گرانشی شان برابر گردید و به این ترتیب کهکشانهای چرخان دایره شکل تشکیل شد. مناطق دیگری که دچار چرخش نشدند، بصورت اشیاءِ بیضی شکلی درآمدند و کهکشانهای بیضوی نام گرفتند. در اینها، کل منطقه از فروپاشی باز می ایستد چرا که بخش های جداگانه ای از آن با استواری گرد مرکزش می‌چرخد، اما کهکشان در مجموع چرخان نیست.

با گذشت زمان، گاز هیدروژن و هلیوم کهکشانها، به ابرهای کوچکتری تقسیم شد که زیر فشار گرانشی خودشان، فروپاشیدند. بر اثر این انقباض و بر خورد اتمهای درونشان با یکدیگر، حرارت گاز افزایش یافت و سرانجام چنان داغ شد که واکنشهای گداخت هسته ای در آنها بوجود آمد. بنابراین هیدروژن به هلیوم بیشتری تبدیل شد، و گرمای ایجاد شده بر فشار افزود و از انقباض بیشتر ابرها جلوگیری کرد. این ابرها برای مدت درازی می‌توانند بصورت ستارگانی مثل خورشید ما، حالتی پایدار داشته باشند، هیدروژن را به هلیوم تبدیل کنند و انرژی حاصل را بصورت نور و گرما در گیتی بتابانند. ستارگان با جرم بیشتر باید داغتر باشند تا بر جاذبه گرانشی نیرومندترشان غلبه کنند و به این دلیل واکنش های گداخت هستی در آنها بسیار سریعتر انجام می‌شود و ظرف دوره کوتاه یکصد ملیون سال سوخت هیدروژنی خود را به پایان می‌رسانند. آنگاه اندکی منقبض می‌گردند، و چون باز هم گرمتر می‌شوند، هلیوم را به عناصر سنگین تری چون کربن یا اکسیژن تبدیل می‌کنند. اما، این فعل و انفعال انرژی چندانی آزاد نمی‌کند، بنابراین، همانطور که در فصل مربوط به حفره های سیاه گفتیم، ستاره دچار بحران می‌شود. آنچه پس از این رخ می‌دهد، کاملاً روشن نیست، اما احتمالاً مناطق مرکزی ستاره، همانند ستاره نوترونی یا حفره سیاه، فروپاشیده و بسیار متراکم

می‌شود. نواحی بیرونی، گاه ممکن است با انفجاری مهیب که سوپرنوا[3] نام دارد، متلاشی شود و همهٔ دیگر ستارگان کهکشان خود را تحت الشعاع قرار دهد. برخی از عناصر سنگینتر که تقریباً در پایان عمر ستاره تولید شده‌اند، به میان گازهای کهکشان پرتاب گردیده و بخشی از مواد خام نسل بعدی ستارگان را فراهم می‌آورند. خورشید خودمان، حدود ۲ درصد از این عناصر سنگین‌تر را در بردارد چرا که خود ستاره‌ای از نسل دوم یا سوم است و حدود پنج هزار ملیون سال قبل از ابری از گازهای چرخان که حاوی خرده‌هایی از سوپرنواهای پیشین بود، بوجود آمد. بخش اعظم گازهای آن ابر، خورشید را تشکیل دادند و یا پراکنده شدند، اما مقدار کمی از عناصر سنگینتر گرد هم جمع شدند و اجسامی را که اینک در مدار خورشید قرار دارند، بوجود آوردند، یعنی سیاراتی همچون زمین.

زمین در آغاز بسیار داغ و فاقد جوّ بود. در طول زمان سرد شد و از گازهای متصاعد از صخره‌ها، جوّ بوجود آمد. این آتمسفر نخستین، چیزی که به درد زندگی ما بخورد، نبود و بجای اکسیژن، از گازهای سمی بسیاری مثل سولفید هیدروژن (گازی که از تخم مرغهای گندیده برمی‌خیزد) آکنده بود. اما اشکال دیگری از زندگی ابتدائی وجود دارند که تحت چنین شرائطی می‌توانند شکوفا گردند. دانشمندان فکر می‌کنند که بنابر تصادف، ترکیبی از اتمها، سازه‌های بزرگی را در اقیانوس‌ها بوجود آوردند بنام ماکروملکول. این ماکروملکولها قادر بودند، دیگر اتمهای موجود در اقیانوس را گرد هم آورده، سازه‌های مشابهی تشکیل دهند. به این ترتیب آنها موفق به باز تولید و تکثیر خودشان شده بودند. در برخی موارد خطاهایی در بازتولید صورت می‌گرفت. بیشتر این خطاها منجر به ناتوانی ماکروملکول جدید از بازتولید خود و سرانجام نابودی آن می‌شد. اما، تعدادی از این خطاها به تولید ماکروملکولهای جدیدی می‌انجامید که در بازتولید خود حتی بسیار بهتر از گذشته بودند. بنابراین نسبت

3. Supernova

به دیگران از برتری برخوردار بودند و به جایگزینی ماکروملکولهای اصلی گرایش داشتند. به این ترتیب، فرآیند تکامل آغاز گردید و به ایجاد سازواره‌های بیش از پیش پیچیده و مولدمثل انجامید. نخستین اشکال بدوی حیات، مواد گوناگونی از جمله سولفید هیدروژن مصرف می‌کردند و اکسیژن آزاد می‌ساختند. به این ترتیب، جوّ زمین رفته رفته به ترکیب امروزی خود تبدیل یافت و به ایجاد اشکال عالیتری از حیات، مثل هیها، خزندگان، پستانداران و بالاخره نژاد بشر، انجامید.

این تصویر از جهانی که در آغاز داغ بود و سپس در حین گسترش، سرد شد، با گواههای تجربی که امروز در دست داریم، مطابقت می‌کند، با اینهمه، همچنان به چند سؤال مهم پاسخی نمی‌دهد:

۱ــ چرا جهان نخستین چنین داغ بود؟

۲ــ چرا گیتی در مقیاس بزرگ چنین یکنواخت است؟ چرا در هر نقطهٔ فضا و در تمامی جهات یکسان می‌نماید؟ بویژه، چرا به هر سو نظر می‌کنیم، درجه حرارت تابش میکروموجهای زمینه، اینقدر به یکدیگر نزدیک است؟ مثل آنکه در یک امتحان، دانش آموزان، همگی پاسخهای یکسانی به سؤالات بدهند. در اینصورت مطمئن خواهید شد که آنها جوابها را با یکدیگر رد و بدل کرده‌اند. با اینحال، در مدل بالا از آغاز انفجار بزرگ تاکنون، نور مجال کافی برای آنکه از این گوشه گیتی به نقطهٔ دوردست دیگری برود، نداشته است، حتی اگر این دو منطقه در آغاز جهان نزدیک یکدیگر بوده باشند. طبق نظریه نسبیت، اگر نور از یک ناحیه نتواند به ناحیه دیگری برسد، هیچ اطلاعات دیگری را یارای رسیدن نیست. پس برای آنکه نواحی مختلف گیتی، در مراحل اولیه تکوین عالم، درجه حرارت یکسانی داشته باشند، هیچ راهی متصور نیست مگر آنکه بنا بدلیل نامعلومی، آنها همگی با درجه حرارت یکسانی پا به عرصه وجود نهاده باشند.

۳ــ چرا سرعت گسترش گیتی در آغاز اینهمه به سرعت بحرانی

گسترش نزدیک بود و حتی هم اکنون، یعنی پس از ده هزار ملیون سال، همچنان با سرعتی نزدیک به سرعت بحرانی در حال گسترش می‌باشد؟ سرعت بحرانی وجه مشخصه مدلهایی است که بازفرو می‌پاشند از مدلهایی که برای همیشه گسترش می‌یابند. اگر سرعت گسترش، یک ثانیه پس از انفجار بزرگ، تنها یکصد هزار ملیون ملیونیم کمتر بود، جهان پیش از آنکه به اندازهٔ کنونی اش برسد، بازفرو می‌پاشید.

٤ــ برغم آنکه گیتی در مقیاس بزرگ یکنواخت و همگن است، اما ناهمگونیهای محلی ای، نظیر ستارگان و کهکشانها در بر دارد. بنظر دانشمندان، اینها ناشی از تفاوتهای اندک در چگالی نواحی مختلف جهان نخستین می‌باشد. سرچشمه این ناهمسانی در چگالی ها چه بوده است؟

نظریه نسبیت عام، بخودی خود، نمی‌تواند این وجه از قضیه را توضیح دهد و یا به این سؤالات پاسخ گوید چرا که چگالی جهان را در تکینگی انفجار بزرگ بی نهایت پیش بینی کرده است. در تکینگی، نسبیت عام و دیگر قوانین فیزیکی از کار باز می‌مانند و به گل می‌نشینند: نمی‌توان پیش بینی کرد که از یک تکینگی چه چیز بیرون می‌آید. همانطور که پیشتر گفتیم، این امر به معنای آنست که می‌توان تکینگی و کلیه رخدادهای پیش از آن را از تئوری کنار گذاشت، چرا که تأثیری بر مشاهدات ما ندارند. فضا-زمان کرانه ای دارد ــ آغازی در لحظه انفجار بزرگ.

به نظر می‌رسد علم، برای ما پرده از مجموعه ای از قوانین برداشته است که در چهارچوب اصل عدم قطعیت و به شرط آگاهی بر وضعیت گیتی در هر لحظه معین، ما را در جریان چگونگی تکامل گیتی در طول زمان قرار می‌دهند. شاید این قوانین در اصل بوسیله پروردگار وضع شده باشند، اما بنظر می‌رسد از آن پس، اراده خداوند برآن بوده است که هستی در چهارچوب همان قوانین راه خود بپیماید و از دخالت ذات باری بی نیاز باشد. اما وضعیت اولیه و ترکیب نخستین جهان را خداوند چگونه تعیین کرد؟ در آغاز زمان، «شرایط مرزی» چه بودند؟

یک پاسخ ممکن آنست که بشر به‌فهم و درک علل گزینش آرایش نخستین جهان توسط قادر متعال نمی‌تواند امیدوار باشد. البته بیگمان این امر در احاطه قدرت قادر مطلق می‌باشد، اما اگر اراده خداوند برآن قرار گرفت که جهان به گونه ای اینچنین ادراک ناپذیر آغاز شود، چرا تکامل بعدی جهان را در مسیری قرار داد که قوانین حاکم بر آن برای ما فهم‌پذیر باشد؟ همه تاریخ علم عبارت بوده است از درک تدریجی این حقیقت که رویدادها به شیوه ای دلخواه رخ نمی‌دهند، بلکه بیانگر نظمی نهفته در دل خویشند که می‌توانند ناشی از ارادهٔ الهی باشند یا نباشند. طبیعی است که فرض کنیم این نظم نه تنها قوانین، بلکه شرایط مرزی فضا-زمان را که مشخص کننده حالت نخستین جهان است، دربرمی‌گیرد. ممکن است مدلهای بسیار زیادی برای جهان یافت که همگی از قوانین هستی پیروی کنند ولی شرائط اولیه متفاوتی داشته باشند. باید اصلی وجود داشته باشد که براساس آن بتوانیم حالت نخستین، و در واقع یک مدل، را برای نمایش جهان‌مان، برگزینیم.

یکی از حالتهای ممکن، شرائط مرزی آشفته نام دارد. در این مدلها، تلویحاً فرض شده است که یا گیتی از نقطه‌نظر مکانی نامتناهی است یا آنکه بی نهایت جهان وجود دارد. تحت شرایط مرزی آشفته، به‌یک معنا، احتمال آنکه ناحیه خاصی از فضا را در این یا آن ترکیب یا آرایش مفروض پس از انفجار بزرگ بیابیم، یکسان است: حالت نخستین جهان به شیوه ای کاملاً تصادفی برگزیده شده است. این به‌معنای آنست که جهان آغازین، احتمالاً بسیار آشفته و ناهمگون بوده است چرا که شمار آرایش ها و ترکیب های آشفته و پرهرج و مرج برای جهان، بسیار بیشتر از آرایش های منظم و یکنواخت است. (اگر شانس گزینش هر یک از آرایش ها یکسان است، پس احتمال آنکه جهان آغازی بی نظم و آشفته داشته باشد، بیشتر است،صرفاً بخاطر آنکه تعداد آرایش های نامنظم بیشتر است.) چگونه چنین شرایط اولیه آشفته و پرهرج ومرجی، به جهان کنونی ما، که در مقیاس بزرگ بسیار یکنواخت و منظم می‌باشد، انجامیده است؟ پاسخ به این سؤال دشوار است. می‌توان انتظار

داشت که نوسانات چگالی دراین مدل پرآشوب، منجر به تشکیل حفره‌های سیاه بدوی بسیار بیشتری نسبت به سقفی که مشاهدات ما از پیشینهٔ پرتوی گاما تعیین نموده است، شده باشد.

اگر جهان واقعاً از نقطه‌نظر مکان نامتناهی است و یا اگر بی نهایت جهان وجود دارد، احتمالاً در جاهایی از گیتی، مناطق وسیعی یافت می‌شوند که آغازی یکنواخت و هموار داشته‌اند. این امر کمی شبیه گلّه مشهور میمونهایی است که بی هدف کلیدهای ماشین‌تحریر را فشار می‌دهند ــ بیشتر آنچه می‌نگارند، بی معناست، اما گاه صرفاً از روی تصادف، قطعه‌ای از شکسپیر را تایپ می‌کنند. بطور مشابه، آیا جهان ما تنها برحسب شانس و تصادف چنین یکنواخت و هموار است؟ در نگاه نخست، این امر سخت نامحتمل می‌نماید، چرا که تعداد مناطق آشفته و پرهرج و مرج، بسی بیشتر از مناطق هموار است. اما، فرض کنید که تنها در مناطق هموار است که کهکشانها و ستارگان شکل می‌گیرند و تنها در این نواحی شرایط برای تکامل سازواره‌های پیچیده‌ای که قادر به تولید مثلند و می‌توانند سؤال کنند که چرا جهان چنین هموار است؟، مساعد می‌باشد. این مصداقی است از آنچه که به اصل بشری معروف است و به‌شرح زیر می‌توان آنرا تفسیر کرد: «ما جهان را به همین شکلی که هست می‌بینیم بدلیل آنکه ما وجود داریم.»

دو نگارش از اصل بشری وجود دارد: یکی ضعیف و دیگری قوی. اصل بشری ضعیف می‌گوید که در دنیایی که از نظر مکانی و/یا زمانی سترگ یا نامتناهی است، شرایط ضروری برای تکامل حیات هوشمند تنها در مناطق معینی که در مکان و زمان محدودند، برآورده می‌شود. بنابراین موجودات هوشمند نباید ازینکه محل زندگیشان در گیتی، شرایط لازم برای حیاتشان را برآورده می‌کند، در عجب و حیرت باشند. مثل آنکه فرد ثروتمندی در محله اعیان‌نشینی ساکن است و در اطراف خود فقیری مشاهده نمی‌کند.

نمونه‌ای از کاربرد اصل بشری عبارت است از «توضیح» چرائی وقوع انفجار بزرگ در ده هزار ملیون سال قبل ــ تقریباً همین مدت طول می‌کشد تا

موجودات هوشمند تکامل یابند. همچنانکه پیشتر گفتیم، نسل اولیه ای از ستارگان می‌بایست شکل می‌گرفت. این ستارگان بخشی از هیدروژن و هلیوم اصلی خود را تبدیل به‌عناصری همچون کربن و اکسیژن نمودند که ما هم از همین عناصر درست شده‌ایم. این ستارگان سپس بعنوان سوپر نواهایی منفجر شدند و خرده‌ریزه‌های آنان، ستارگان و سیاراتی دیگر تشکیل دادند که از آن جمله است منظومه شمسی ما با پنج هزار ملیون سال عمر. زمین در نخستین یا دومین هزار ملیون سال عمرش، چنان داغ و گداخته بود که برآن هیچ موجود پیچیده‌ای یارای رشد نداشت. سه هزار ملیون سال باقیمانده صرف فرآیند کند رشد و شکوفائی بیولوژیک گردید که از ساده‌ترین سازواره‌ها شروع شد و به‌پیدائی موجوداتی فرجامید که قادرند تاریخچه زمان را تا انفجار بزرگ پی گیرند.

افراد اندکی در اعتبار یا سودمندی اصل بشری ضعیف تردید می‌کنند و با آن به‌ستیزه برمی‌خیزند. اما بعضی ها پا را فراتر گذاشته و نگارش قوی این اصل را پیشنهاد می‌کنند. بنا بر این نظریه، یا جهان‌های مختلف بسیاری وجود دارد یا در جهانی واحد، مناطق گوناگونی یافت می‌شود و هر یک آرایش نخستین خاص خود را داشته و،شاید، مجموعه قوانین علمی ویژه خود را داراست. در بیشتر این جهان‌ها، شرایط برای تکامل سازواره‌های پیچیده مساعد نبوده است؛ تنها در تعداد اندکی از آنها، مثل جهان ما، موجودات هوشمند تکامل می‌یابند و می‌پرسند: «چرا جهان به این صورت که می‌بینیم، هست؟» خوب جواب ساده است: اگر غیر از این که هست، می‌بود، دیگر ما وجود نداشتیم!

قوانین علم به‌صورتی که اینک بر ما معلومند، دربرگیرنده اعداد بنیادین بسیاری اند، مثل اندازه بارالکتریکی الکترون و نسبت جرم پروتون به الکترون. دست کم هم اینک، نمی‌توانیم مقادیر این کمیت‌ها را از نظریه استنتاج کنیم ــ بلکه ناگزیریم به کمک مشاهده وتجربه آنان را بدست آوریم. شاید روزی نظریه کامل و یکپارچه‌ای کشف کنیم که همه آنها را پیش بینی

کند، اما همچنین امکان دارد که همه یا بخشی از آنها ازین جهان تا جهان دیگر، یا درون جهان واحد، مقادیر مختلفی داشته باشد. حقیقت قابل توجه آنست که بنظر می‌رسد، مقدار این کمیت‌ها با ظرافت و دقت به گونه‌ای تعیین شده‌اند که تکامل حیات را ممکن سازند. برای مثال اگر بارالکتریکی الکترون تنها اندکی بیشتر یا کمتر بود، ستارگان یا قادر به سوزاندن هیدروژن و تبدیل آن به هلیوم نبودند، یا منفجر نمی‌شدند. البته ممکن است اشکال دیگر زندگی هوشمند وجود داشته باشد که حتی نویسندگان داستانهای علمی تخیلی هم خواب آن را نبینند. موجوداتی که نه به نور ستارگانی نظیر خورشید نیازمندند و نه به‌عناصر شیمیائی سنگینتر که در ستارگان درست می‌شود و بهنگام انفجار آنها، به فضا پرتاب می‌شود. با اینهمه روشن است که اگر بخواهیم اجازه تکامل به هر شکلی از زندگی هوشمند دهیم، دامنه کمیت‌های یاد شده، نسبتاً محدود است. بیشتر مجموعه‌هایی که شامل مقادیر این کمیت‌ها هستند، به ایجاد جهانهایی منجر می‌شوند، که اگر چه شاید بسیار زیبا باشند، درآنها کسی نیست تا ازینهمه زیبائی غرق در حیرت شود. برای بعضی‌ها این مطلب گواهی است از هدفمندی الهی در آفرینش و گزینش قوانین علم و برای بعضی دیگر شاهدی است در تأیید اصل بشری قوی.

اصل بشری قوی به‌عنوان توضیح جهانی که مشاهده می‌کنیم، دارای ایراداتی چند می‌باشد. نخست آنکه وجود همه این جهان‌های مختلف به چه معناست؟ اگر واقعاً همگی از یکدیگر مجزا و برکنارند، آنچه که درجهانی دیگر رخ می‌دهد، پیامد قابل مشاهده‌ای در جهان خودمان ندارد. پس با استفاده از اصل صرفه جوئی، این قسمت را از تئوری حذف می‌کنیم. از سوی دیگر، اگر آنها صرفاً مناطق مختلف جهانی واحدند،قوانین علم بناچار برای همهٔ نواحی باید یکسان باشد، زیرا در غیراینصورت، نمی‌توان بطور پیوسته از یک منطقه به‌منطقه دیگر حرکت کرد. پس از حذف این قسمت از تئوری، تنها تفاوت بین مناطق عبارت است از آرایش اولیه آنها و به این ترتیب اصل بشری قوی به اصل بشری ضعیف تحویل می‌شود.

ایراد دیگر اصل قوی بشری آنست که خلاف جریان تمامی تاریخ علم حرکت می‌کند. نقطه آغاز ما کیهانشناسی زمین مرکزی بطلمیوس و نیاکانش بود، سپس به کیهانشناسی خورشید مرکزی کوپرنیک و گالیله رسیدیم و سرانجام در تصویر مدرن بشر از جهان، زمین سیاره‌ای است با قدوقواره متوسط که بدور ستاره‌ای متوسط در حال چرخش است و خود ستاره در حومهٔ بیرونی کهکشانی مارپیچی و معمولی قرار دارد که خود تنها یکی از حدود یک میلیارد کهکشان موجود در جهان قابل مشاهده است. با اینهمه، اصل بشری قوی مدعی است که ابر و بادومه وخورشیدوفلک جملگی درکارند، صرفاً محض خاطر گل وجود ما. باور کردن این امر بسیار دشوار است. منظومه شمسی ما بیگمان پیش شرط موجودیت ماست، و می‌توان این خاصیت را به سراسر کهکشان مان که نسل پیشین ستارگان را در دل خود جای داد و موجب پیدایش عناصر سنگینتر گردید، تعمیم داد. اما بنظر می‌رسد نیازی نه بوجود بقیه کهکشانهاست و نه به اینکه گیتی در همه جهات، در مقیاس بزرگ چنین یکنواخت و مشابه باشد.

اصل بشری، دست کم در نگارش ضعیفش،راضی کننده‌تر خواهد بود چنانچه بتوان نشان داد که تعدادی آرایش آغازین متفاوت در گیتی، به ایجاد جهانی نظیر جهان کنونی ما انجامیده است. در اینصورت، جهانی که بنا به تصادف، از شرائط آغازین متفاوتی شروع کرده باشد ،باید چند منطقهٔ مناسب برای شکوفائی زندگی هوشمند، دربرداشته باشد. از سوی دیگر، اگر حالت نخستین گیتی به ناگزیر در نهایت دقت تنظیم می‌شد تا به پیدایش چیزی همانند جهان کنونی ما بینجامد، بعید بنظر می‌رسد که اصلاً منطقه‌ای مساعد برای ظهور حیات درآن یافت می‌شد. در مدل انفجار بزرگ گرم که پیشتر توصیف کردیم، در جهان آغازین، گرما فرصت و مجال کافی برای عبور از یک منطقه به منطقه‌ای دیگر را نداشته است. این بدان معناست که حرارت سراسر جهان آغازین باید دقیقاً یکسان بوده باشد تا بتوان برابر بودن درجه حرارت زمینه میکرو موج در کلیه جهات را توجیه نمود. سرعت گسترش

آغازین نیز باید بسیار بدقت انتخاب شده باشد تا جهان قادر باشد همچنان با سرعتی نزدیک به‌سرعت بحرانی ــ که برای پرهیز از فروپاشی دوباره ضروری است ــ منبسط شود. یعنی اگر مدل انفجار بزرگ گرم تا لحظه شروع زمان درست باشد، حالت نخستین جهان باید براستی با دقت بسیار تعیین شده باشد. جز آنکه این امر ناشی از خواست کردگاری است که اراده‌اش برآفرینش موجوداتی همچون ما تعلق گرفته، یافتن توضیحی دیگر، بس دشوار است.

دانشمندی از موسسه تکنولوژی ماساچوست بنام آلن گوث[4]، در تلاش برای یافتن مدلی از جهان که دربرگیرنده آرایش های آغازین مختلف بسیاری باشد و در تکامل خود به‌چیزی مثل جهان حاضر بینجامد، اظهار داشت که جهان آغازین ممکن است یک دوره انبساط بسیار سریع را از سرگذرانده باشد. این گسترش «تورمی» بوده است یعنی روزگاری، سرعت انبساط، بجای نرخ کاهش یابنده کنونی، روندی شتابان داشته است. بنابه‌نظر گوث، شعاع جهان تنها در مدتی بسیار کوتاهتر از یک ثانیه، یک ملیون ملیون ملیون ملیون (یک جلویش سی صفر) برابر شد.

گوث برآن بود که حالت جهان در لحظه آغازین پس از انفجار بزرگ، بس داغ، ولی نسبتاً آشفته بود. این درجه حرارت‌های بالا به‌معنای آنست که ذرات جهان با سرعتی زیاد حرکت می‌کردند و انرژی بالائی داشتند. همانطور که پیشتر گفتیم، درچنین انرژیهای بالائی انتظار می‌رود که نیروهای هسته‌ای قوی و ضعیف و نیروی الکترومغناطیسی همگی به‌نیروی واحدی تبدیل شوند. با گسترش جهان، درجه حرارت کاهش می‌یابد وانرژی ذرات کم می‌شود. سرانجام آنچه که بنام فاز انتقالی نامیده می‌شود، سرمی‌رسد و تقارن میان نیروها از بین می‌رود: نیروی قوی ازنیروی ضعیف و نیروی الکترومغناطیسی متمایز می‌گردد. یک مثال آشنا از فاز انتقالی، همان یخ

4. Alan Guth

بستن آب بهنگام سرماست. آب مایع متقارن می‌باشد، در هر نقطه و در هر جهت یکسان است. اما وقتی کریستالهای یخ شکل می‌گیرند، هر یک وضعیت معینی دارد و رو به سوی خاصی قرار می‌گیرد. اینچنین تقارن آب شکسته می‌شود.

اگر آب را بدقت سرما دهیم، می‌توانیم فرآیند «ابر سرمایش» را روی آن پیاده نمائیم، یعنی درجه حرارت آنرا به زیر نقطه انجماد (۰ درجه سانتیگراد) برسانیم بی آنکه یخ تولید شود. گوش گفت که جهان ممکن است رفتار مشابهی داشته باشد: شاید درجه حرارت به زیرمقدار بحرانی رسیده باشد بی آنکه تقارن بین نیروها از بین رفته باشد. اگر این امر اتفاق افتاده باشد، جهان در حالتی ناپایدار به‌سر می‌برده است و نسبت به‌مدلی که تقارن نیروها شکسته می‌شود، دارای انرژی بیشتری است. می‌توان نشان داد که این انرژی اضافی ویژه دارای اثری یادگرانشی است: نقش آن درست همانند ثابت کیهانی است که انشتین، بهنگامی که می‌کوشید مدلی ایستا از جهان بسازد، وارد نسبیت عام کرد. از آنجا که گیتی طبق مدل انفجار بزرگ در حال گسترش است، تأثیر دفع کننده این ثابت کیهانی، موجب انبساط جهان با سرعتی فزاینده می‌گردد. حتی در آن مناطقی که بیش از حدّ میانگین، ذرات مادی دربر داشت، جاذبه گرانشی ماده تحت‌الشعاع دافعهٔ ثابت کیهانی مؤثر قرار می‌گرفت. ازینرو این مناطق نیز بگونه‌ای تورم‌آسا و شتاب آلود گسترش می‌یافتند. همچنانکه آنها منبسط می‌شدند و ذرات مادی از یکدیگر فاصله می‌گرفتند، جهان هنوز در حال «ابرسرمایش» بسر می‌برد و ذرات مادی چندانی در آن یافت نمی‌شد. هر نوع ناهمگونی در جهان، صرفاً بخاطر انبساط، برطرف و هموار می‌شد، مثل چین و چروک بادکنکی که در اثر بادکردن، صاف و هموار می‌شود. بنابراین، حالت هموار و یکنواخت کنونی جهان می‌تواند از حالات نایکنواخت آغازین مختلفی تکامل یافته باشد.

در جهانی اینچنین، که یک ثابت کیهانی گسترش آن را شتاب می‌بخشد و اجازه نمی‌دهد جاذبه گرانشی ماده سرعت انبساط را کند نماید،

نور مجال کافی برای عبورازیک منطقه به‌منطقه دیگر در روزهای نخستین گیتی داشته است. به‌این ترتیب برای سؤالی که قبلاً مطرح شد مبنی بر آنکه چرا مناطق مختلف جهان آغازین، خاصیت‌های یکسانی دارند، پاسخی بدست آمد. ازین گذشته، سرعت گسترش جهان بطور خودکار به‌سرعت بحرانی که توسط چگالی انرژی گیتی تعیین شده، نزدیک شد. این امر بدون نیاز به‌فرض گزینش بسیار دقیق سرعت گسترش آغازین، توضیح می‌دهد که چرا سرعت انبساط هنوز اینقدر نزدیک به‌سرعت بحرانی است.

اندیشهٔ تورم، همچنین قادر است توضیح دهد چرا در جهان اینقدر ماده وجود دارد. در ناحیه‌ای از فضا که می‌توانیم مشاهده کنیم حدود ده ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون (۱ جلویش هشتاد صفر) ذره یافت می‌شود. اینها از کجا پیدایشان شده است؟ پاسخ آنست که در نظریه کوانتوم، ذرات می‌توانند بصورت زوجهای ذره/پادذره، از انرژی زاده شوند. اما بلافاصله این سؤال پیش می‌آید که خود انرژی از کجا آمده است؟ در پاسخ باید گفت، انرژی کل گیتی، دقیقاً صفر است. ماده موجود در جهان از انرژی مثبت درست شده است. اما ماده بواسطه گرانش خود را جذب می‌کند. دو تکه ماده که نزدیک یکدیگرند، نسبت به‌وقتی که از یکدیگر دورند، انرژی کمتری دارند، زیرا ضمن جدا کردن آنها، باید با صرف انرژی بر نیروی گرانش که آندو را به‌سوی هم می‌کشد، غلبه کرد. بنابراین، به‌تعبیری، میدان گرانشی، انرژی منفی دارد. در جهانی که تقریباً در فضا یکنواخت است، می‌توان نشان داد که این انرژی منفی گرانشی، انرژی مثبتی را که در قالب ماده وجود دارد، دقیقاً خنثی می‌کند و بنابراین انرژی کل گیتی صفر می‌شود.

خوب، صفر ضربدر دو باز هم صفر است. پس جهان می‌تواند مقدار انرژی مثبت مادی خود را دو برابر کند و انرژی منفی گرانشی اش را نیز دو برابر سازد بی آنکه قانون پایستگی انرژی را نقض نماید. در گسترش عادی جهان، که همراه انبساط، چگالی انرژی مادی گیتی کاهش می‌یابد، این

امر اتفاق نمی‌افتد. اما در گسترش متورم و شتابنده این امر رخ می‌دهد چرا که همزمان با انبساط، چگالی انرژی در حالت فوق سرمایش ثابت باقی می‌ماند: وقتی اندازه گیتی دو برابر می‌شود، انرژی مادی مثبت و انرژی منفی گرانشی هر دو دو برابر می‌شوند و انرژی کل صفر باقی می‌ماند. در فاز تورمی، اندازه جهان بمقدار بسیار زیادی افزایش می‌یابد. بنابراین انرژی کل موجود برای ساختن ذرات بسیار زیاد می‌شود. گوث می‌گوید «گفته اند شام مجانی به کسی نمی‌دهند. اما گیتی خود شام مجانی غائی است.»

هم اکنون جهان به گونه ای تورمی در حال گسترش نیست. پس باید سازوکاری وجود داشته باشد که ثابت کیهانی مؤثر بسیار عظیم را حذف کند و نرخ گسترش شتابان را به نرخ کنونی که توسط گرانش کند می‌شود، تغییر دهد. می‌توان انتظار داشت که در گسترش تورمی جهان، عاقبت تقارن میان نیروها شکسته شود، همانطور که همواره آب پس از ابر سرمایش، سرانجام یخ می‌بندد. سپس انرژی اضافی حالت تقارن آزاد می‌شود و باز جهان را گرم می‌سازد و درجه حرارت آنرا درست به زیر درجه حرارت بحرانی مخصوص تقارن میان نیروها می‌رساند. آنگاه گیتی طبق مدل انفجار بزرگ گرم به گسترش و سرد شدن ادامه می‌دهد، با این تفاوت که اینچنین، توضیحی برای گسترش جهان با سرعت بحرانی و یکسان بودن درجه حرارت مناطق مختلف آن وجود دارد.

در طرح پیشنهادی اصلی گوث، فرض برآن بود که فاز انتقالی، مثل پیدایش بلورهای یخ در آب بسیار سرد، بناگاه رخ می‌دهد. اندیشه او به این صورت بود که «حبابهای» فاز جدید تقارن درهم شکسته، در فاز قدیم شکل می‌گیرند، مثل حبابهای بخار در میان آب جوشان. حبابها بزرگ شده به یکدیگر می‌پیوندند تا آنکه سرانجام تمامی گیتی در فاز جدید قرار گیرد. همانطور که من و چند تن دیگر خاطرنشان کردیم، اشکال کار در آنجاست که حتی اگر حبابها با سرعت نور رشد یابند، باز سرعت گسترش جهان چنان زیاد است که مجال کافی برای پیوستن به حبابها نمی‌دهد و در واقع آنها

از یکدیگر دور می‌شوند. گیتی در حالتی بسیار نایکنواخت بسر می‌برد و در برخی از مناطق آن، تقارن میان نیروها همچنان برقرار می‌ماند. این مدل از جهان، با آنچه که مشاهده می‌کنیم مطابقت ندارد.

در اکتبر ۱۹۸۱، برای شرکت در کنفرانسی پیرامون گرانش کوانتومی به مسکو رفتم. پس از کنفرانس در مؤسسه اخترشناسی اشترنبرگ سمیناری داشتم درباره مدل تورمی و مسائل مربوط به آن. پیش از آن، یک نفر دیگر بجای من متن سخنرانی ام را قرائت می‌کرد، زیرا بیشتر افراد نمی‌توانند صدای مرا بفهمند. اما فرصت کافی برای تدارک سمینار وجود نداشت، بنابراین خود به سخنرانی پرداختم و یکی از دانشجویان فارغ التحصیل من، حرفهایم را تکرار می‌نمود. برنامه خوبی از آب درآمد و باعث شد تماس بیشتری با شنوندگان خود داشته باشم. در میان حاضرین، جوان روسی بود از مؤسسه لبدوف در مسکو بنام آندری لیند[5]. او گفت اگر حبابها آنقدر بزرگ باشند که تمامی منطقه ما در یک حباب واحد بگنجد، مشکل حبابهایی که بیکدیگر نمی‌پیوندند، برطرف می‌شود. برای آنکه این فرض درست دربیاید، تغییر از تقارن به شکستن تقارن، درون حباب باید بسیار بکندی انجام پذیرفته باشد، اما طبق نظریه های بزرگ یکپارچگی این امر کاملاً امکانپذیر است. فکر لیند در مورد شکستن تدریجی تقارن بسیار خوب بود، اما بعداً متوجه شدم که حبابهای او باید از اندازه جهان بزرگتر باشند! درعوض نشان دادم که تقارن باید همه جا و در یک زمان، و نه فقط درون حبابها، شکسته شود. این امر به جهانی یکنواخت، مثل جهانی که مشاهده می‌کنیم می انجامد. ازین اندیشه بسیار به هیجان آمدم و آنرا با یکی از دانشجویانم بنام یان‌موس در میان نهادم. کمی بعد، از یک مجله علمی مقاله لیند را به‌پیوست یک نامه دریافت داشتم که در آن از من پرسیده بودند نظرات لیند برای انتشار مناسب است یا نه. بعنوان دوست لیند، ازین موضوع کمی ناراحت شدم. در پاسخ نوشتم که

5. Andrei Linde

اشکال این نظر آنست که حبابها بزرگتر از جهان از آب درمی‌آیند اما اندیشه بنیادین آن یعنی شکست تدریجی تقارن بسیار جالب است و توصیه کردم که مقاله بهمان صورت که هست چاپ شود چرا که تصحیح آن توسط لیند بدلیل سانسور دولتی شوروی که در مورد مقاله های علمی نه چندان مهارت دارد و نه خیلی سریع است، چندین ماه طول می‌کشد. درعوض بهمراه یان‌موس نوشتار کوتاهی در همان مجله منتشر کردم و در آن ضمن اشاره به اشکال حبابها، راه برون رفت از آنرا نشان دادم.

روز بعد از بازگشت از شوروی، راهی فیلادلفیا شدم تا مدالی را از موسسه فرانکلین دریافت دارم. منشی من جودی‌فلا ناگزیر شد برای متقاعد کردن خطوط هوایی بریتانیا از دلربایی خود که بسادگی نمی‌توان از کنارش گذشت، سود جوید تا بعنوان یک کارتبلیغاتی دو جای خالی در یک هواپیمای کنکورد برای خودش و من اختصاص دهند. اما در راه فرودگاه بدلیل باران شدید معطل شدم و از هواپیما جا ماندم. با اینحال، بالاخره به‌فیلادلفیا رفتم و مدالم را دریافت کردم. سپس از من خواستند تا در دانشگاه درکسل فیلادلفیا دربارهٔ جهان متورم سخنرانی کنم. من نیز به ایراد همان مطالبی که در مسکو مطرح شد، پرداختم.

چند ماه بعد، ایده‌ای که به‌فکر لیند بسیار شبیه بود، بطور مستقل از سوی پل اشتاینهارت[6] و آندره‌آس آلبرخت[7] از دانشگاه پنسیلوانیا مطرح گردید. هم اکنون، آنچه که «مدل تورمی نو ین» خوانده می‌شود، بنام ایندو تن و نیز لیند ثبت شده است و بر اندیشه شکست تدریجی تقارن بنیان دارد. (مدل متورم قدیمی، همان طرح اولیه گوث مبنی بر شکست سریع تقارن همراه با تشکیل حبابهاست.)

مدل تورمی نو ین، تلاشی شایسته بود برای توضیح حال و روزگنونی

6. Paul Steinhardt
7. Andreas Albrecht

جهان. اما من و چندین تن دیگر نشان دادیم که این مدل، دست کم در شکل نخستین خود، در درجه حرارت تابش میکروموج زمینه، تغییرات بسیار بیشتری را نسبت به آنچه مشاهدات ما نشان می‌دهد، پیش بینی می‌نماید. کارهای بعدی نیز برسپری شدن یک فاز انتقالی، از آن نوع که لازم است، در نخستین روزهای جهان، سایه شک و تردید می اندازد. شخصاً فکر می‌کنم که مدل نوین تورمی، اینک به‌عنوان یک نظریه علمی مرده است، هر چند عده زیادی هنوز از فرو مردن آن چیزی نشنیده‌اند و همچنان مقالاتی می‌نگارند که گویی این مدل زنده می‌ماند. در سال ۱۹۸۳، لیند مدل بهتری بنام مدل تورمی آشفته ارائه کرد. در این مدل خبری از فاز انتقالی و ابر سرمایش نیست. بجای آن میدانی با اسپین صفر وجود دارد که بخاطر تغییرات کوانتومی، در برخی مناطق جهان آغازین، مقادیر بسیار زیادی می‌گیرد. انرژی میدان در آن مناطق، همانند یک ثابت کیهانی رفتار می‌کند یعنی دارای تأثیر گرانشی دفع کننده است و بنابراین باعث گسترش آن مناطق بگونه‌ای تورمی می‌گردد. همزمان با گسترش این مناطق، انرژی میدان در آنها رفته رفته کاهش می‌یابد تا آنکه گسترش تورمی تبدیل به انبساطی همانند مدل انفجار بزرگ داغ می‌شود. یکی ازین مناطق، آن چیزی می‌شود که امروز بعنوان جهان قابل مشاهده، در اطراف خود می‌بینیم. این مدل از همهٔ مزایای مدل های تورمی قبلی برخوردار است اما وابسته به یک فاز انتقالی مشکوک نیست و بعلاوه می‌تواند اندازه خردپذیری برای افت و خیزهای درجه حرارت زمینه میکرو موج بدست آورد که با مشاهدات ما جوردرمی آید.

کار روی مدلهای تورمی نشان داد که حالت کنونی گیتی می‌تواند از آرایش های آغازین بسیار متعددی ناشی شده باشد. این امر از اهمیت زیادی برخوردار است چرا که نشان می‌دهد حالت نخستین منطقه‌ای از جهان که در آن سکونت داریم، لزوماً با دقت و مراقبت زیاد انتخاب نشده است. بنابراین، اگر دلمان بخواهد، می‌توانیم اصل بشری ضعیف را بکار بریم و حال و روزگار کنونی جهان را توجیه نمائیم. اما معنایش آن نیست که **هر** آرایش

آغازینی به‌جهانی که اکنون مشاهده می‌کنیم می‌انجامیده است. می‌توان برای جهان کنونی، حالتی بسیار متفاوت، مثلاً متلاطم و پرهرج و مرج، در نظر گرفت و نشان داد که هر آرایش آغازینی به‌وضعیت فعلی نمی‌انجامد. با استفاده از قوانین علم، جهان را به گذشته می‌رانیم تا آرایش آنرا در زمانهای نخستین مشخص سازیم. بنابر قضایای تکینگی نسبیت عام کلاسیک، همچنان تکینگی انفجار بزرگ پابرجاست. حال اگر چنین جهانی را طبق قوانین علم بجلو برانید، باز به همان حالت متلاطم و پرآشوبی که آغاز کرده بودید، خواهید رسید. پس آرایش های نخستینی باید وجود داشته باشد که به‌جهانی نظیر آنچه امروز شاهدیم نمی‌انجامد. بنابراین حتی مدل تورمی نیز به‌ما نمی‌گوید که چرا آرایش آغازین بگونه‌ای نبود که چیزی بسیار متفاوت با آنچه می‌بینیم، بوجود آورد. آیا برای یافتن توضیح باید به اصل بشری روی آوریم؟ آیا همه این رویدادها، یک خوش‌شانسی محض بوده است؟ از این کار بوی ناامیدی به‌مشام می‌رسد، گویی همهٔ امیدهای ما برای فهم نظم نهفته در دل هستی، به‌ناامیدی انجامیده است.

برای پیش بینی چگونگی آغاز جهان، به‌قوانینی نیازداریم که درابتدای جهان نیز صدق کنند. اگر نظریه کلاسیک نسبیت عام صادق بود، قضیه‌های تکینگی که من و راجر پنروز ثابت کردیم، نشان می‌دهند که ویژگی ابتدای زمان، چگالی نامتناهی و انحنای بی‌نهایت فضا ـ زمان است. تمامی قوانین مکشوف علم، در چنین نقطه‌ای بی اثر می‌شوند و چون کشتی به گل می‌نشینند. می‌توان فرض کرد که قوانین جدیدی وجود دارند که در تکینگی ها صدق می‌کنند، اما تدوین این قوانین در مورد نقاطی چنین بد رفتار، بسیار دشوار است و هیچ نشانه و گواهی از مشاهدات خود که شکل و شمایل احتمالی آنها را برایمان بازگو کند، یافت نمی‌شود. اما قضایای تکینگی واقعاً گویای آنند که میدان گرانشی چنان نیرومند می‌شود که تأثیرات گرانش کوانتومی برجسته می‌شوند: نظریه کلاسیک دیگر توصیف خوبی از گیتی بدست نمی‌دهد. بنابراین برای بحث پیرامون مراحل آغازین گیتی باید از یک

نظریه کوانتومی گرانش سود جست. همانگونه که خواهیم دید، در نظریه کوانتوم، قوانین معمولی علم می‌توانند همه جا صدق کنند، از جمله در ابتدای زمان: لازم نیست قوانین نوینی برای تکینگی ها وضع نمود، چرا که در نظریه کوانتوم، نیازی به تکینگی وجود ندارد.

هنوز نظریه کامل و سازگاری که مکانیک کوانتوم و گرانش را بهم درآمیزد، دردست نیست. اما تقریباً از برخی از وجوهی که چنین نظریه یکپارچه ای باید داشته باشد، کاملاً آگاهیم. یکی از این وجوه عبارت است از آنکه نظریه مزبور باید پیشنهاد فین‌مان مبنی بر فرموله کردن تئوری کوانتوم برحسب مجموع تاریخچه ها را در خود ادغام نماید. در این رویکرد، برخلاف نظریه کلاسیک، یک ذره تنها دارای یک تاریخچه واحد نیست. درعوض، فرض برآنست که هر مسیر ممکن در فضا ـ زمان را می‌پیماید، و هر یک ازین تاریخچه ها با دو عدد نمایش داده می‌شوند، یکی بیانگر اندازه یک موج و دیگری نشانگر موقعیت آن در چرخه است (فاز موج). احتمال آنکه ذره، مثلاً از فلان نقطه خاص بگذرد، با جمع کردن همه امواج متناظر با کلیه تاریخچه های ممکنی که از آن نقطه عبور می‌کنند، بدست می‌آید. امّا وقتی کسی عملاً به جمع بستن این امواج می‌پردازد، با مسائل تکینگی جدی ای برخورد می‌کند. تنها راه برون رفت دستورالعمل عجیب زیر است: باید امواجی را جمع کرد که متناظر با تاریخچه های ذراتی اند که در زمان «حقیقی» که شما و من تجربه می‌کنیم، واقع نشده اند بلکه در آنچه که موسوم به زمان موهومی است رخ می‌دهند. زمان موهومی آدم را یاد داستانهای علمی تخیلی می اندازد، اما در واقع یک مفهوم ریاضی است که بخوبی تعریف شده است. اگر هر عدد معمولی (یا «حقیقی») را در خودش ضرب کنیم، حاصل عددی مثبت است. (مثلاً ۲ ضربدر ۲، ٤ می‌شود و ۲ــ در ۲ــ هم ٤ می‌شود.) اما اعداد خاصی هم هستند (اعداد موهومی) که وقتی در خودشان ضرب شوند حاصل منفی است. (i ضربدر i می‌شود ۱ــ و i ۲ در ۲ i می‌شود ٤ــ و قس علیهذا.) برای آنکه از دشواریهای تکینگی در جمع تاریخچه های فین مان

پرهیز کنیم، باید از زمان موهومی استفاده نمائیم. یعنی برای مقاصد محاسباتی باید بکمک اعداد موهومی و نه اعداد حقیقی، زمان را اندازه گرفت. این امر تأثیر جالبی بر فضا ـ زمان می‌گذارد: تمایز میان فضا و زمان یکسره از میان برداشته می‌شود. فضا ـ زمانی که رویدادهای آن، مقادیر موهومی از محور زمان دارند، به‌یاد اقلیدس یونان باستان که مطالعه هندسی رویه‌های دوبعدی را بنیان گذاشت، اقلیدسی نامیده می‌شود. آنچه که ما اکنون فضا ـ زمان اقلیدسی می‌نامیم، بسیار مشابه با ابداعات اقلیدس است جز آنکه بجای دوبعد، چهاربعد دارد. در فضا ـ زمان اقلیدسی تفاوتی میان جهت زمانی و جهات فضایی وجود ندارد. از سوی دیگر، در فضا ـ زمان حقیقی، که رویدادهایش با مقادیر حقیقی و معمولی محور زمان مشخص می‌شود، بسادگی می‌توان تفاوت را نشان داد ــ جهت زمانی در تمام نقاط درون مخروط نوری قرار دارد، و جهات فضائی در خارج آن واقعند. در هر صورت، تا آنجا که به کوانتوم مکانیک روزمره مربوط می‌شود، سود جستن از زمان موهومی و فضا ـ زمان اقلیدسی را، می‌توان صرفاً تدبیری (یا حقه ای) ریاضی برای محاسبه پاسخهایی درباره فضا ـ زمان حقیقی انگاشت.

یکی دیگر از وجوهی که فکر می‌کنیم در دل هر نظریهٔ غائی جای دارد، اندیشه انشتین مبنی بر نمایش میدان گرانشی توسط فضا ـ زمان خمیده است: ذرات می‌کوشند تا راهی را در پیش گیرند که نزدیکترین مسیر به خط مستقیم در یک فضای خمیده است، اما از آنجا که فضا ـ زمان صاف و مسطح نیست، مسیرشان، گویی بواسطه یک میدان گرانشی، خمیده بنظر می‌رسد. حال اگر جمع تاریخچه های فین‌مان را بردیدگاه انشتین از گرانش وفق دهیم، بجای سرگذشت یک ذره، فضا ـ زمان خمیده کاملی بدست می‌آید که بیانگر سرگذشت تمامی گیتی است. برای اجتناب از دشواریهای تکنیکی که بهنگام جمع تاریخچه ها پیش می‌آید، این فضا ـ زمانهای منحنی را باید اقلیدسی در نظر گرفت، یعنی زمان موهومی است و از جهات فضایی تمیز داده نمی‌شود. برای محاسبه احتمال یافتن فضا ـ زمان حقیقی ای که

دارای خاصیت معینی باشد، مثلاً فضا ـ زمانی که در همه نقطه و در کلیه جهات، یکسان بنظر برسد، امواج متناظر با تاریخچه هایی را که دارای آن خاصیت اند، بر یکدیگر می افزاییم.

در نظریه کلاسیک نسبیت عام، فضا ـ زمانهای خمیده ممکن بسیاری یافت می‌شوندوهریک باحالت آغازین متفاوتی از جهان متناظر است. اگر حالت آغازین جهانمان رامی‌دانستیم، بر تمامی تاریخ آن آگاه می‌شدیم. بهمین ترتیب، در نظریه گرانش کوانتومی، حالات کوانتومی ممکن بسیاری برای جهان وجود دارد. باز، اگر از چگونگی رفتار فضا ـ زمانهای خمیده اقلیدسی در جمع تاریخچه ها در روزگاران آغازین، آگاهی داشتیم، حالت کوانتومی جهان بر ما معلوم بود.

در نظریه کلاسیک گرانشی، که مبتنی بر فضا ـ زمان حقیقی است، جهان تنها به دو طریق ممکن می‌تواند رفتار کند: یا ازلی است و یا با یک تکینگی درزمانی معین در اعماق گذشته، شروع می‌شود. ولی در نظریه کوانتومی گرانش، امکان سوّمی پدیدار می‌گردد. از آنجا که از فضا ـ زمان های اقلیدسی استفاده می‌کنیم که جهت زمانیشان از همان جایگاه جهت های فضایی برخوردار است، فضا ـ زمان می‌تواند از نقطه نظر وسعت، متناهی باشد اما هیچ تکینگی ای که مرز و لبه ای بوجود آورد، نداشته باشد. در اینحال، فضا ـ زمان به سطح زمین می‌ماند بجز آنکه دو بعد دیگر هم داراست. سطح زمین از نظر وسعت متناهی است اما کرانه و لبه ای ندارد: اگر بادبان بکشید و راهی دریا شوید، وقتی به افق شامگاهی می‌رسید، نه به پائین پرت می‌شوید و نه با یک تکینگی برخورد می‌کنید. (خودم دور دنیا گشته ام و ازین موضوع مطمئنم!)

اگر قلمرو فضا ـ زمان اقلیدسی به اعماق گذشته ها و زمان موهومی نامتناهی گسترش یابد، یا آنکه در لحظه ای از زمان موهومی با یک تکینگی آغاز گردد، همان مشکل نظریه کلاسیک یعنی مشخص کردن حالت آغازین گیتی، پیشاروی ما قرار می‌گیرد: خداوند از چگونگی شروع جهان آگاه

است، اما ما نمی‌توانیم هیچ دلیل خاصی ارائه دهیم که چرا گیتی به این گونه و نه به گونه‌ای دیگر آغاز شد. از سوی دیگر، نظریه کوانتومی گرانش، امکان دیگری را گشوده است که بر اساس آن، فضا ــ زمان فاقد کرانه است و بنابراین نیازی به مشخص نمودن رفتار مرزی گیتی نیست. نه تکینگی ای در کار است که قوانین علم را خنثی سازد و نه لبه‌ای برای فضا ــ زمان در نظر گرفته می‌شود که ناگزیر به قانون نوینی جهت تعیین شرایط مرزی فضا ــ زمان، متوسل شویم. به تعبیری: «شرط مرزی جهان عبارت است از آنکه مرزی ندارد.» جهان یکسره در خود می‌گنجد و متأثر از چیزی خارج از خود نیست. نه آفریده شده و نه از بین می‌رود و صرفاً وجود دارد.[۸]

نخستین بار در همان کنفرانسی که در واتیکان برگزار شده بود، این فکر را مطرح ساختم که شاید زمان و مکان با یکدیگر سطحی را به وجود آورده‌اند که از نقطه نظر اندازه متناهی است اما فاقد مرز و لبه است. اما مقاله من قدری ریاضی بود و دلالتهای آن در زمینه نقش خداوند در آفرینش جهان در آن هنگام مورد توجه قرار نگرفت (برای من هم وضع از این قرار بود). به هنگام برگزاری کنفرانس واتیکان، نمی‌دانستم برای پیش‌بینی درباره جهان چگونه از اندیشه بیکرانگی استفاده کنم. اما تابستان بعد را در دانشگاه سانتاباربارای کالیفرنیا گذراندم. در آنجا به همراه یک دوست و همکار به نام جیم‌هارتل به یافتن شرایطی که پرداختم جهان در صورت بیکرانگی فضا ــ زمان، باید برآورده سازد. چون به کمبریج بازگشتم، این کار را همراه دو تن از دانشجویان پژوهشگرم، جولین لاترل و جاناتان هالیول، دنبال کردم.

میل دارم تأکید کنم که این اندیشه که زمان و فضا باید متناهی و بیکرانه

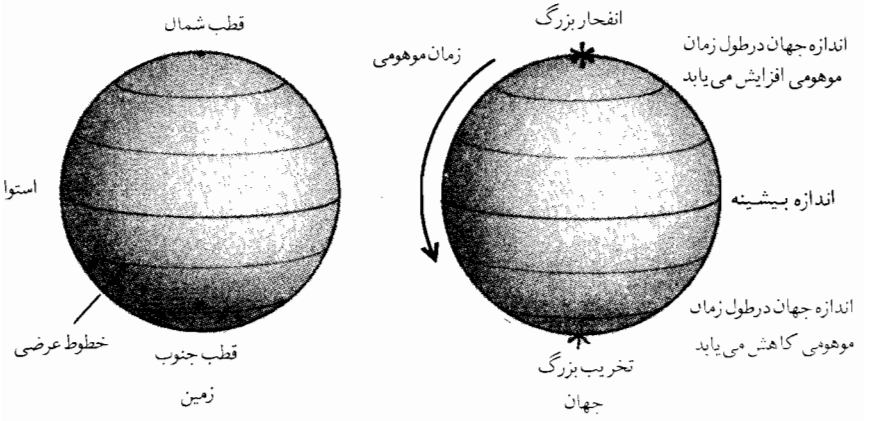
۸- از زمان انتشار کتاب در اروپا و آمریکا، مباحثی از این دست مورد نقد و پاسخگویی واقع شده است که یک نمونه از آن ترجمه شده و در پایان کتاب به چاپ رسیده‌است.

باشند، صرفاً یک پیشنهاد است: این فکر را از هیچ اصل دیگری نمی‌توان استنتاج کرد. همانند هر نظریه علمی دیگر، می‌توان آن را به دلیل زیباشناسی یا متافیزیکی مطرح ساخت، اما آزمون واقعی این فکر آن است که پیش‌بینی هایش با مشاهده سازگار است یا نه. به هر حال، به دو دلیل این امر در مورد گرانش کوانتومی دشوار می‌باشد. نخست، همانطور که در فصل بعد خواهیم دید، هنوز مطمئن نیستیم دقیقاً کدام نظریه با موفقیت نسبیت عام را با مکانیک کوانتوم پیوند می‌دهد، با این همه درباره شکلی که این تئوری باید داشته باشد، مطالب زیادی می‌دانیم. دوم آنکه، هر مدلی که سراسر جهان را به تفصیل توصیف کند، از نظر ریاضی بس پیچیده است و محاسبه پیش بینی‌های دقیق برای ما دشوار است. بنابراین باید از فرض‌ها و تقریب هایی که منجر به ساده سازی مسئله شود، استفاده کرد ــ و حتی آنگاه نیز پیش بینی کردن، کاری است کارستان.

در جمع تاریخها، هر تاریخی نه تنها فضا ــ زمان، بلکه هر آنچه در فضا ــ زمان هست، را توصیف می‌کند؛ از جمله همه سازواره‌های پیچیده مثل انسانها که قادرند ناظر تاریخ جهان باشند. این امر می‌تواند به عنوان توجیه دیگری به نفع اصل بشری قلمداد گردد، زیرا اگر همه تاریخها امکان‌پذیرند، پس مادامی که ما در یکی از آنان وجود داریم، می‌توانیم با استفاده از اصل بشری توضیح دهیم چرا گیتی به همین صورت است که می‌بینیم. اینکه برای دیگر تاریخهایی که در آنهاوجود نداریم، دقیقاً چه معنایی می‌توان یافت، روشن نیست. اما اگر می‌توانستیم نشان دهیم که با استفاده از جمع تاریخها، جهان ما نه فقط یکی از جهان‌های ممکن، بلکه یکی از محتملترین آنهاست، آنگاه این دیدگاه از نظریه کوانتومی گرانش، بسیار رضایت‌بخش‌تر بود. بدین منظور، باید برای همهٔ فضا ـ زمان‌های اقلیدسی ممکن که فاقد کرانه‌اند، جمع تاریخها را انجام داد.

بر اساس پیشنهاد و طرح بیکرانگی، در می‌یابیم که شانس اینکه جهان، بیشتر تاریخهای ممکن را دنبال کرده باشد قابل صرف‌نظر کردن است، اما

خانواده ویژه‌ای از تاریخها هستند که احتمال وقوعشان بسیار بیش از دیگران می‌باشد. این دسته از تاریخها را می‌توان همچون سطح زمین تصویر کرد. در این تصویر فاصله از قطب شمال نشانگر زمان مجازی است و اندازه دایره‌ای که فاصله نقاطش از قطب شمال ثابت است، نمایش دهنده اندازه فضایی جهان می‌باشد. جهان، در قطب شمال چونان نقطه‌ای واحد آغاز می‌گردد. چون به سوی جنوب حرکت می‌کنیم، دایره‌های عرضی متساوی الفاصله از قطب شمال، متناظر با جهانی که در طول زمان موهومی گسترش می‌یابد، بزرگتر می‌شوند (شکل ۱-۸). در خط استوا اندازه جهان بیشینه است و با گذشت زمان موهومی، منقبض می‌گردد و در قطب جنوب به اندازه یک نقطه می‌شود. هر چند اندازه گیتی در قطبهای شمال و جنوب به صفر می‌رسد، این نقاط نمایشگر تکینگی نیستند، همان طور که قطبهای شمال و جنوب کره زمین، تکینه نیستند و قوانین علم در این نقاط صادق است همان گونه که در قطبهای کره زمین نیز صادق می‌باشد.




شکل ۸.۱

اما تاریخ جهان در زمان حقیقی، چهره‌ای بسیار متفاوت دارد. در حدود ده یا بیست هزار میلیون سال قبل، اندازه جهان کمینه و برابر با شعاع بیشینه تاریخ در زمان موهومی بود. پس از مدتی در زمان حقیقی، جهان مثل مدل تورمی آشفته لیند، گسترش یافت (اما دیگر لازم نیست فرض کنیم که جهان در وضعیتی آن چنان که شاید و باید آفریده شد). گسترش گیتی ادامه خواهد یافت تا آنجا که سخت پهناور گردد و سرانجام دوباره فروخواهد پاشید و تبدیل به چیزی می‌شود که در زمان حقیقی، مثل یک تکینگی به نظر می‌رسد. بنابراین، به تعبیری، حتی اگر از سیاهچاله‌ها هم دوری جوییم، باز همگی محکوم به فنا هستیم. تنها در صورتی که جهان را در چهارچوب زمان موهومی به تصویر بکشیم، تکینگی ای در کار نخواهد بود.

اگر گیتی به راستی دارای چنین حالت کوانتومی باشد، در تاریخ جهان در زمان موهومی، هیچ تکینگی‌ای وجود ندارد. از این رو شاید فکر کنید که کارهای اخیر من، یکسره دستاوردهای پیشینم پیرامون تکینگی‌ها را بر باد داده است. اما همان گونه که در بالا نشان داده شد، اهمیت واقعی قضایای تکینگی آن بود که نشان داد که میدان گرانشی چنان نیرومند باید بشود که تأثیرات کوانتومی گرانش غیر قابل صرف نظر کردن می‌گردد. این امر به نوبه خود به پیدایش این اندیشه انجامید که در زمان موهومی جهان می‌تواند متناهی و فاقد کرانه یا تکینگی باشد. اما وقتی به زمان حقیقی که در آن زندگی می‌کنیم باز می‌گردیم، به نظر می‌رسد تکینگی‌ها همچنان پا برجایند. فضا نورد بیچاره‌ای که درون سیاهچاله بیفتد، همچنان سرنوشت ناگواری خواهد داشت ؛ او تنها در صورتی که در زمان موهومی زندگی می‌کرد، با هیچ تکینگی‌ای روبرو نمی‌شد.

این امر شاید ما را به فکر آن بیندازد که زمان به اصطلاح موهومی در واقع، زمان حقیقی است، و آنچه که زمان حقیقی می‌نامیم، صرفاً ساخته و پرداخته تخیلاتمان می‌باشد. در زمان حقیقی، تکینگی‌هایی که شکل دهنده کرانه فضا ـ

زمانند و در آنهاقوانین علم کارایی خود را از دست می‌دهند، آغاز و انجام گیتی را تشکیل می‌دهند. اما در زمان موهومی، تکنیگی و کرانه‌ای وجود ندارد. پس شاید آنچه زمان موهومی می‌نامیم، به راستی بنیادی‌تر باشد و آنچه حقیقی می‌خوانیم، تنها انگاره‌ای است ساخته و پرداخته ذهن ما برای آنکه در توصیف تصویری که از جهان داریم، یاریمان کند. اما طبق رویکردی که شرح آن در فصل یک آمد، نظریه علمی صرفاًیک مدل ریاضی است که به منظورتوصیف مشاهدات خویش می‌سازیم: این نظریه تنها در ذهن ما وجود دارد. پس پرسیدن این سؤال بی معنی است:کدام یک حقیقی است: زمان «حقیقی» یا زمان «موهومی»؟ مهم آن است که کدام یک توصیف سودمندتری ارائه می‌کند.

همچنین با استفاده از جمع تاریخها به همراه طرح بیکرانگی، می‌توان نسبت به یافتن آن خواصی از جهان که احتمال وقوع همزمانشان می‌رود، اقدام نمود. برای مثال، می‌توان احتمال آن راکه جهان به هنگامی که چگالیش معادل مقدارکنونی است، با سرعتی تقریباً یکسان در همهٔ جهات مختلف گسترش یابد، محاسبه کرد. در مدلهای ساده‌ای که تاکنون مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، معلوم شده است احتمال این امر زیاد است ؛ یعنی شرط پیشنهادی بیکرانگی به این پیش‌بینی می‌انجامد که احتمال یکسان بودن تقریبی سرعت کنونی گسترش جهان در کلیه جهات فوق العاده زیاد است. این پیش بینی بامشاهدات ما ازتابش میکروموج زمینه که تقریباً حاکی‌از شدتی دقیقاً یکسان درهمه جهات است، سازگار می‌باشد.اگر در برخی جهات، سرعت گسترش بیش از جهتهای دیگر بود، شدت تابش در آن جهات توسط یک انتقال به سرخ اضافی،کاهش می‌یافت.

هم اکنون پیش‌بینی‌های دیگر شرط بیکرانگی در دست تهیه و تدوین است. مسئله‌ای که به ویژه جلب نظر می‌کند، میزان انحرافات از چگالی یکنواخت جهان آغازین است که در درجه اول به‌پیدایش کهکشانها و سپس به ایجاد ستارگان وبالاخره ما انسانها انجامید. بر اساس اصل عدم قطعیت، جهان نخستین

نمی‌توانسته است یکسره یکنواخت بوده باشد، زیرا ناگزیر از داشتن برخی عدم قطعیت‌ها یا نوساناتی در وضعیت و سرعت ذرات بوده است. با استفاده از شرط بیکرانگی، پی می‌بریم که جهان در واقع باید باکمترین نایکنواختی مجاز از سوی اصل عدم قطعیت، شروع شده باشد. آنگاه همچون مدل تورمی، یک دوران گسترش سریع را سپری کرده است. در طول این مدت، بر دامنه نایکنواختی‌های اولیه افزوده شد، تا آنکه سرانجام چنان بزرگ شدند که توانستند سرمنشأ سازه‌هایی که در اطراف خود مشاهده می‌کنیم باشند. در جهان گسترش یابنده‌ای که چگالی ماده، اینجا و آنجا اندک تفاوتی با یکدیگر داشت، گرانش موجب کاهش سرعت گسترش مناطق چگالتر و انقباض آنها گردید. این امر به تشکیل کهکشانها، ستارگان و عاقبت موجودات حقیری همچون ما انجامید. بنابراین شرط بیکرانگی جهان دست در دست اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتوم، می‌توانند همه سازه‌های پیچیده‌ای را که مشاهده می‌کنیم توضیح دهند.

این اندیشه که فضا و زمان سطح بستهٔ بی‌کرانه‌ای را تشکیل می‌دهد، دلالتهای ضمنی ژرفی پیرامون نقش خداوند در امور عالم در بر دارد. موفقیت نظریه‌های علمی در توضیح رویدادها موجب شد که بیشتر مردم باور کنند که خداوند گردش جهان را مطابق مجموعه‌ای از قوانین اراده کرده است، و برای شکستن و نقض این قوانین دخالتی در امور آن نمی‌کند. اما قوانین درباره آغاز جهان چیزی به ما نمی‌گویند ــ هنوز این خداوندگار است که ساعت جهان را کوک می‌کند و چگونگی آغاز آن را برمی‌گزیند. مادامی که جهان آغازی داشته باشد، می‌توان برای آن آفریدگاری فرض کرد. اما اگر جهان واقعاً یکسره خودگنجا و بدون کرانه و لبه‌ای باشد، آنگاه نه آغازی خواهد داشت و نه پایانی: جهان صرفاً هست. آنگاه جایگاه آفریدگار چه خواهد بود؟[۹]

۹- از زمان انتشار کتاب در اروپا و آمریکا، مباحثی از این دست مورد نقد و پاسخگویی واقع شده است که یک نمونه از آن ترجمه شده و در پایان کتاب به چاپ رسیده‌است.

# پیکان زمان

در فصلهای پیشین دیدیم که دیدگاه ما از سرشت زمان در طول سالیان دستخوش تغییر بوده است. تا آغاز قرن حاضر، مردمان به‌زمان مطلق باور داشتند. یعنی می‌پنداشتند که به‌شیوه‌ای یگانه و واحد به هر رخدادی می‌توان عددی بنام «زمان» نظیر نمود، و همه ساعتهای دقیق نیز، فاصله زمانی واحدی برای دو رخداد نشان می‌دهند. اما کشف ثابت بودن سرعت نور برای همه ناظران صرف‌نظر از چگونگی حرکتشان، به‌نظریه نسبیت انجامید ــ و برطبق آن می‌بایست فکر زمان مطلق واحد را به کنار گذاشت. درعوض هر ناظری معیار زمانی خود را داراست که توسط ساعتی که با خود حمل می‌کند تعیین می‌شود: ساعتهای ناظران مختلف لزوماً با یکدیگر همخوانی ندارند. اینچنین، زمان به‌مفهومی شخصیتر تبدیل شد که به‌ناظری که آنرا اندازه می‌گرفت، بستگی داشت.

اگر بخواهیم گرانش را با مکانیک کوانتومی وحدت بخشیم، باید

مفهوم زمان «موهومی» را معرفی کنیم. زمان موهومی قابل تمیز از جهات فضایی نمی‌باشد. اگر کسی به‌سوی شمال براه افتد، می‌تواند برگردد و رو به جنوب روان شود؛ همینطور اگر در زمان موهومی می‌توان بجلو رفت، پس باید بتوان در درازنای زمان به‌عقب بازگشت. این به‌معنای آنست که تفاوت مهمی میان جهات جلو و عقب در زمان موهومی نیست. از سوی دیگر، با نگاهی به‌زمان «حقیقی»، تفاوتی بس مهم بین جهتهای پیش و پس وجود دارد که همه بر آن آگاهیم. این تفاوت میان آینده و گذشته از چیست؟ چرا ما گذشته و نه آینده را بخاطر می‌آوریم؟

قوانین علم تمایزی میان آینده و گذشته قائل نیستند. به‌بیان دقیقتر، همانطور که پیشتر گفتیم، تحت ترکیب عملیاتی (یا تقارنهایی) که به C، P، و T معروفند (C یعنی تعویض ذرات با پادذرات، P یعنی گرفتن تصویر اشیاء در آینه، درنتیجه چپ و راست با هم عوض می‌شوند، و T یعنی معکوس کردن جهت همه ذرات: در واقع پس راندن حرکات) قوانین علم دستخوش تغییر و تحول نمی‌شوند. قوانین علمی که بررفتار ماده در کلیه حالات عادی حاکمند، تحت ترکیب دو عمل C و P به‌تنهایی، تغییر نمی‌کنند. به‌دیگر سخن، زندگی برای ساکنان کره دیگری که هم تصویر آینه‌ای ما هستند و هم بجای ماده، متشکل از پاد ماده‌اند، هیچ تفاوتی نمی‌کند.

اگر قوانین علم تحت ترکیبی از عملیات C و P و نیز ترکیبی از C، P، و T تغییر نمی‌کند، پس به‌تنهایی تحت عمل T نیز به‌ناگزیرناوردا است. با اینهمه در زندگی روزمره، میان جهات پیش و پس زمان حقیقی، تفاوت بزرگی وجود دارد. تصور کنید فنجان آبی از روی میز بیفتد و بشکند. اگر ازین حادثه فیلم برداری کنیم، بسادگی می‌توانیم بگوئیم که فیلم دارد برمی‌گردد یا نه. اگر فیلم را به‌عقب برگردانیم، می‌بینیم که تکه‌های فنجان ناگهان بهم دیگر می‌چسبند و دوباره روی میز فنجانی تشکیل می‌دهند. از آنجا که چنین واقعه‌ای هرگز در زندگی روزمره مشاهده نشده است، بسادگی می‌توان فهمید که فیلم به‌عقب برمی‌گردد. در غیراینصورت کار و بار

چینی بندزنها بکلی کساد می‌شد.

چرا ما فنجان شکسته ای را نمی‌بینیم که به‌یکباره تکه هایش جمع شوند و با یک پرش روی میز بازگردند و فنجان سالمی را بوجود آورند؟ پاسخی که معمولاً به این سؤال داده می‌شود آنست که طبق قانون دوم ترمودینامیک، این امر مجاز نیست. قانون دوم می‌گوید که در هر دستگاه بسته ای، هرج و مرج، یا آنتروپی، با گذشت زمان همواره افزایش می‌یابد. به‌دیگر سخن، این نوعی از قانون مورفی است: سال به‌سال دریغ از پارسال! فنجان سالم روی میز نماینده نظم بالایی است، و فنجان شکسته روی زمین در حالت هرج ومرج بسر می‌برد. به‌سادگی می‌توان از فنجان روی میز گذشته، به‌فنجان شکسته روی زمین آینده رسید، اما عکس این فرایند ممکن نیست.

افزایش آنتروپی یا بی‌نظمی نسبت به‌زمان، نمونه‌ایست ازآنچه که پیکان زمان خوانده می‌شود، و چیزی است که گذشته را از آینده مشخص می‌نماید و به‌زمان جهت می‌بخشد. دست‌کم سه‌پیکان مختلف زمان‌وجود دارد. نخست پیکان ترمودینامیکی زمان است. بی‌نظمی یا آنتروپی در جهت ترمودینامیکی زمان افزایش می‌یابد. سپس پیکان روانشناختی زمان است. در جهت پیکان روانشناختی زمان، احساس می‌کنیم که زمان می‌گذرد و گذشته را بخاطر می‌آوریم ولی چیزی از آینده در ذهنمان یافت نمی‌شود. و سرانجام پیکان کیهانشناختی زمان است. در این جهت زمانی، گیتی بجای انقباض گسترش می‌یابد.

در این فصل استدلال خواهم کرد که شرط بیکرانگی جهان، بهمراه اصل بشری ضعیف، قادرند توضیح دهند که چرا هر سه پیکان جهت واحدی را نشانه رفته‌اند ــ و ازین گذشته، چرا اصلاً تعریف دقیقی از پیکان زمانی باید وجود داشته باشد. استدلال خواهم کرد که پیکان روانشناختی توسط پیکان ترمودینامیکی معین می‌شود، و این هر دو پیکان لزوماً هم جهتند. اگر فرض بیکرانگی جهان را بپذیریم، خواهیم دید که به‌ناگزیر پیکانهای زمانی

ترمودینامیکی و کیهانشناختی خوش تعریفی باید وجودداشته باشند، اما در سراسر تاریخ گیتی، به‌یک سونشانه نمی‌روند. ولی استدلال خواهم کرد که تنها هنگامیکه ایندو هم جهتند شرایط برای تکامل موجودات هوشمندی مساعد است که قادرند بپرسند: چرا بی‌نظمی در همان جهت زمانی افزایش می‌یابد که جهان منبسط می‌شود؟

نخست به‌پیکان ترمودینامیکی زمان می‌پردازم. قانون دوم ترمودینامیک ازین واقعیت سرچشمه می‌گیرد که همواره حالات آشفته بسیار پرشمارتر از حالات دارای نظم اند. برای مثال، تکه های یک عکس را درون یک جعبه در نظر بگیرید. این تکه‌ها در یک و تنها در یک آرایش، تصویری کامل می‌سازند: از سوی دیگر، آرایش های بسیار زیادی هستند که تصویر چیزی را درست نمی‌کنند و تکه های عکس در حالت بی نظمی بسر می‌برند.

فرض کنید دستگاهی، از یکی از معدود حالتهای دارای نظم، شروع می‌شود. با گذشت زمان، دستگاه طبق قوانین علم رشد می‌کند و حالتش دستخوش تغییر می‌گردد.پس از چندی، احتمال آنکه دستگاه در حالتی نظم یافته باشد، کمتر از احتمال وقوع بینظمی در آنست، چرا که تعداد حالات آشفته و بینظم بیشتر است. بنابراین چنانچه دستگاه در آغاز نظم یافته باشد، بی نظمی در طول زمان افزایش می‌یابد.

فرض کنید تکه‌های عکسی که در جعبه بودند، آرایش منظمی بخود گرفته، تصویری را نمایش دهند. با تکان دادن جعبه، تکه عکسها، آرایش دیگری بخود می‌گیرند. آرایش جدید، احتمالاً آرایشی آشفته است که تصویر درستی را نمایش نمی‌دهد، صرفاً باین خاطر که آرایش های نظم نایافته بسیار بیشتر است. برخی از تکه عکسها ممکن است بخشهایی از تصویر را بسازند، اما هر چه جعبه را بیشتر تکان بدهیم، احتمال آنکه این گروه از تکه عکسها از هم بپاشند و آرایشی یکسره درهم و برهم بوجود آید که بیانگر هیچ تصویری نباشد، بیشتر می‌گردد. بنابراین چنانچه در آغاز تکه عکسها بسیار نظم یافته باشند، با گذشت زمان، بینظمی احتمالاً بالا خواهد گرفت.

حال فرض کنید که اراده خداوند برآن قرار گرفت که جهان در حالتی بسیار نظم یافته به‌پایان خود برسد ولی اینکه حالت آغازینش چه باشد، اهمیتی نداشته باشد. در دوره‌های نخستین، جهان احتمالاً در آشوب و هرج و مرج بوده است. به‌این ترتیب بی‌نظمی در طول زمان کاهش می‌یابد و شما فنجانهای شکسته‌ای را خواهید دید که خود جمع می‌شوند و بصورت فنجانی سالم روی میز قرار می‌گیرند. بهرحال، هر انسانی که شاهد این منظره باشد در جهانی می‌زید که بینظمی در طول زمان کاهش می‌یابد. استدلال خواهم کرد که چنین موجوداتی دارای پیکان روانشناختی زمانی عقب سویند. یعنی رویدادهای آینده و نه رویدادهای گذشته را بیاد می‌آورند. وقتی فنجان شکست، آنها فنجان روی میز را بیاد می‌آورند امّا وقتی فنجان روی میز است، آنان قادر نیستند بیاد آورند که فنجان روی زمین بوده است.

صحبت درباره حافظه بشر، قدری دشوار است زیرا بر جزئیات کارکرد مغز آگاهی نداریم، اما کاملاً از چگونگی کارکرد حافظه کامپیوترها اطلاع داریم. ازینرو پیکان روانشناختی زمان را در مورد کامپیوترها بررسی می‌کنم. فکر می‌کنم فرض هم جهت بودن پیکان برای کامپیوترها و انسانها، خردپذیر است. اگر چنین نبود، آدم می‌توانست با یکدستگاه کامپیوتری که قیمت‌های فردا را بخاطر می‌آورد، در بازار بورس غوغا بپا کند!

حافظه کامپیوتر، اساساً وسیله‌ایست که عناصری را دربر دارد که در یکی از دو حالت می‌توانند قرار گیرند. مثال ساده‌ای می‌آوریم و آن چرتکه‌ای است که چند سیم دارد و روی هر سیم، یک مهره وجود دارد که می‌تواند یکی از دو حالت را بخود بگیرد. پیش ازآنکه مطلبی در حافظه کامپیوتر ضبط شود، حافظه حالتی نظم نایافته دارد، هر یک از دو حالتِ ممکن، بطور یکسانی محتمل می‌باشد. (مهره‌های چرتکه بطور تصادفی روی سیمها پراکنده‌اند.) پس از آنکه حافظه وارد فعل و انفعال با سیستمی گردید که قرار است بخاطر سپرده شود. بطور قطع، طبق حالت سیستم، این یا آن وضعیت را خواهد گرفت. (هر مهره چرتکه در سمت چپ یا راست سیم قرار خواهد

گرفت.) بنابراین حافظه از حالتی نظم نایافته، به حالتی نظم یافته خواهد رسید. اما برای آنکه مطمئن شویم حافظه حالتی درست دارد، صرف مقدار معینی انرژی ضروری است (برای جابجا کردن مهره، یا راه انداختن کامپیوتر). این انرژی بصورت حرارت درمی‌آید و مقدار بی نظمی در جهان را افزایش می‌دهد. می‌توان نشان داد که این افزایش بی نظمی همواره از افزایش نظم در خود حافظه بیشتر است. بنابراین حرارتی که بوسیله بادبزن کامپیوتر بیرون فرستاده می‌شود، به معنای آنست که بهنگام ضبط مطلبی در حافظه کامپیوتر، مقدار کل بی نظمی همچنان افزایش می‌یابد. کامپیوتر در همان جهت زمانی، گذشته را بخاطر می‌آورد که بی نظمی افزایش می‌یابد.

پس حس ذهنی ما از جهت زمان یا پیکان روانشناختی زمان، درون مغزمان و بوسیله پیکان ترمودینامیکی زمان تعیین می‌گردد. درست مثل کامپیوتر، ما رویدادها را بهمان ترتیبی بیاد می‌آوریم که آنتروپی افزایش می‌یابد. این امر قانون دوم ترمودینامیک را تقریباً بدیهی می‌سازد. بی نظمی با گذشت زمان افزایش می‌یابد زیرا ما زمان را در همان سویی اندازه می‌گیریم که بی نظمی افزایش می‌یابد. گویی داریم با چشم بسته غیب می‌گوئیم!

اما اصلاً چرا پیکان ترمودینامیکی زمان باید وجود داشته باشد؟ یا بدیگر سخن، چرا باید در یک سر جهان که آنرا گذشته می‌نامیم، نظم زیادی حاکم باشد؟ چرا همواره در حالتی یکسره نظم نایافته بسر نمی‌برد؟ تازه این امر محتمل‌تر به نظر می‌رسد. و چرا بی نظمی در همان جهت زمانی افزایش می‌یابد که جهان منبسط می‌شود؟

در نظریه کلاسیک نسبیت عام نمی‌توان پیش بینی کرد که جهان چگونه آغاز شد زیرا همهٔ قوانین علم در تکینگی انفجار بزرگ بی اثر می‌شوند. ممکن است جهان از حالتی بسیار هموار و نظم یافته شروع شده باشد و در اینصورت، پیکانهای زمانی ترمودینامیکی و کیهانشناختی خوش تعریفی بدست می‌آید، همانطور که امروز شاهد هستیم. اما بطور یکسان امکان دارد که جهان از حالتی بسیار متلاطم و بی نظم شروع شده باشد. در آن صورت،

هم اینک باید جهان یکسره گرفتار بی نظمی و هرج و مرج باشد، و چون چنین نیست، بی نظمی نمی‌تواند با گذشت زمان افزایش یابد، یا مقدارش ثابت باقی می‌ماند، که در اینصورت دیگر خبری از پیکانِ ترمودینامیکیِ زمانیِ خوش تعریف نبود، یا مقدارش کاسته می‌شد، که در اینصورت پیکان ترمودینامیکی زمان، خلاف جهت پیکان کیهانشناختی نشانه می‌رفت. هیچ یک از این دو امکان، با مشاهدات ما وفق نمی‌دهد. اما همانطور که دیدیم نسبیت عام کلاسیک سقوط خود را پیش بینی می‌کند. وقتی انحنای فضا-زمان بسیار زیاد شود، تأثیرات گرانشی کوانتومی برجسته می‌شوند و نظریه کلاسیک دیگر توصیف خوبی از جهان بدست نمی‌دهد. باید از تئوری کوانتومی گرانش سود جوئیم تا چگونگی آغاز جهان را درک نمائیم.

در یک تئوری کوانتومی گرانش، همچنانکه در فصل قبل دیدیم، به‌منظور مشخص ساختن حالت جهان، باید از چگونگی رفتار تاریخچه های ممکن گیتی در کرانه و مرز فضا-زمان درگذشته، مطلع باشیم. تنها در صورتی می‌توانیم از مشکل توصیف آنچه نمی‌دانیم و نمی‌توانیم بدانیم، اجتناب ورزیم که تاریخچه ها شرط بیکرانگی را برآورده سازند: آنها از نظر وسعت متناهی اند اما نه کرانه ای دارند و نه لبه ای و نه تکینگی ای. در اینصورت، آغاز زمان، نقطه ای هموار و قاعده‌مند از فضا-زمان است و جهان با حالتی بسیار هموار و نظم یافته شروع به گسترش نموده است. گیتی در آن هنگام نمی‌توانسته است یکسره یکنواخت باشد، زیرا این امر نقض اصل عدم قطعیت نظریه کوانتوم محسوب می‌شود. تغییرات و افت و خیزهایی در چگالی و سرعت ذرات باید وجود داشته باشد. با اینحال، شرط بیکرانگی متضمن آنست که این افت و خیزها، تا حد امکان و تا جایی که با اصل عدم قطعیت سازگار باشد، کوچکند.

جهان با دوره‌ای از گسترش غائی یا «تورمی» آغاز یدن گرفت و اندازه اش را بسیار افزایش داد. در طی این گسترش، افت و خیزهای چگالی، در آغاز کوچک باقی ماندند، اما بعد، شروع به‌رشد کردند. در مناطقی که

چگالی اندکی بیش از مقدار میانگین بود، جاذبه گرانشی ماده اضافی از سرعت گسترش کاست. سرانجام چنین مناطقی از گسترش باز ماندند و فروپاشیدند تا کهکشانها، ستارگان و موجوداتی مثل ما را بوجود آورند. جهان از حالتی هموار و نظم یافته آغاز شده است و با گذشت زمان متلاطم و بی نظم خواهد گردید. این امر وجود پیکان ترمودینامیکی جهان را توضیح می‌دهد.

اما وقتی جهان از گسترش باز ایستاد و شروع به انقباض کرد، چه اتفاقی خواهد افتاد؟ آیا پیکان ترمودینامیکی وارونه خواهد شد و بی نظمی در طول زمان کاهش خواهد یافت؟ این امر در مورد مردمانی که دوران گسترش را از سرگذرانده، وارد مرحله انقباض می‌شوند، به همه گونه امکاناتی که بیشتر به داستانهای علمی تخیلی می‌ماند، منجر می‌گردد. آیا آنها ناظر فنجانهای شکسته‌ای خواهند بود که جمع شده، فنجان‌های سالمی را تشکیل داده و دوباره روی میز قرار می‌گیرند؟ آیا آنها قادر خواهند بود قیمتهای فردا را به‌یاد بیاورند و در بازار بورس ثروت و مال و منالی بهم بزنند؟ نگرانی درباره روزگاری که جهان باز رو به انقباض گذارد، اندکی آکادمیک به‌نظر می‌رسد، چرا که دست کم در ده هزار ملیون سال آینده چنین نخواهد شد. اما اگر کسی برای دانستن پاسخ این سؤال خیلی اصرار دارد، راه سریعتری هم وجود دارد: می‌تواند درون یک حفره سیاه بپرد. فروپاشی یک ستاره و شکل گیری حفره سیاه تا حدی مثل مراحل بعدی فروپاشی همه جهان است. پس اگر قرار باشد بی نظمی در مرحله انقباضی جهان افزایش یابد، می‌توان انتظار داشت که درون یک حفره سیاه نیز چنین شود. پس شاید فضانوردی که درون یک حفره سیاه می‌افتد، قادر است در بازی رولت، پیش از شرط بندی، با یادآوری محلی که توپ به‌آنجا خواهد رفت، پول خوبی به‌چنگ بیاورد. (بدبختانه، او وقت زیادی برای بازی ندارد، چون بسرعت به اسپاگتی تبدیل می‌شود. حتی قادر نخواهد بود درباره وارونه شدن پیکان ترمودینامیکی با ما سخن گوید و یا بردهایش را در بانک بگذارد، چرا که پشت افق رویداد حفره سیاه بدام می‌افتد.)

در آغاز فکر می‌کردم که بهنگام بازفروپاشی جهان، بی‌نظمی کاهش خواهد یافت زیرا می‌پنداشتم که گیتی وقتی دوباره کوچک می‌شود، ناگزیر از بازگشت به حالت هموار و نظم یافته است. این به‌معنای آنست که مرحله انقباضی همانند وارونِ زمانیِ مرحله گسترش می‌باشد. در مرحله انقباضی، زندگی مردمان وارونه خواهد بود: آنان پیش از تولد می‌میرند و با انقباض جهان، جوانتر می‌شوند.

این پنداریست جذاب زیرا متضمن تفارنی زیبا میان مراحل انبساطی و انقباضی می‌باشد. اما نمی‌توان سرخود و مستقل از دیگر اندیشه‌های مربوط به جهان، آنرا پذیرفت. مسئله اینست: آیا این موضوع در بطن شرط بیکرانگی قرار دارد یا آنکه با این شرط ناسازگار است؟ همانطور که گفتم، در آغاز می‌پنداشتم که شرط بیکرانگی براستی متضمن آنستکه بی‌نظمی در مرحله انقباضی کاهش می‌یابد. قیاس با سطح کره زمین، تا حدی موجب گمراهی من شد. اگر آغاز جهان را متناظر با قطب شمال فرض کنیم، آنگاه پایان جهان، بهمان ترتیب که قطب جنوب مثل قطب شمال است، همانند آغاز جهان خواهد بود. اما، قطبهای شمال و جنوب در چهارچوب زمان موهومی متناظر با آغاز و انجام جهانند. در زمان حقیقی، آغاز و پایان آن می‌توانند بسیار متفاوت از یکدیگر باشند. عامل دیگری که باعث گمراهی من شد، مدل ساده‌ای از جهان بود که رویش کار کرده بودم و در آن، مرحله فروپاشی شباهت بسیاری به وارونِ زمانیِ مرحله انبساطی داشت. اما یکی از همکارانم بنام دان‌پیج از دانشگاه ایالتی پن، خاطرنشان ساخت که شرط بیکرانگی لزوماً به‌معنای آن نیست که مرحله انقباضی، وارونِ زمانیِ مرحله انبساطی است. بعلاوه، یکی از دانشجویانم بنام ریموند لافلام، دریافت که در مدلی با پیچیدگی اندکی بیشتر، فروپاشی جهان با انبساط بسیار فرق دارد. متوجه شدم که دچار اشتباه شده‌ام: شرط بیکرانگی متضمن آن بود که بی‌نظمی در طول انقباض، در واقع همچنان افزایش می‌یابد. پیکانهای ترمودینامیکی و روانشناختی زمان با شروع انقباض مجددِ جهان و یا درون حفره‌های سیاه،

وارونه نخواهد شد.

اگر روزی دریابید که اشتباهی ازین دست مرتکب شده اید، چه می‌کنید؟ بعضی ها هرگز به اشتباه خود اعتراف نمی‌کنند و همچنان به جستجوی دلایل تازه و اغلب متقابلاً ناسازگاری در جهت تأیید نظر خود می‌پردازند ــ مثل کاری که ادینگتون درمخالفت با حفره های سیاه کرد. بعضی دیگر ادعا می‌کنند که هرگز براستی از نظرگاه نادرست پشتیبانی نکرده اند یا اگر کرده اند، تنها برای برملا کردن ناسازگاری آن بوده است. بنظر من راه بسیار بهتر و کمتر گیج کننده آنست که انسان کتباً به اشتباه خود اقرار کند. بعنوان یک نمونه خوب، می‌توان از انشتین نام برد. او ثابت کیهانی را که بهنگام تلاش در راه ساختن مدلی ایستا از جهان، معرفی کرده بود، بزرگترین خطای زندگیش خواند.

برگردیم به پیکان زمان و مسئله ای که همچنان بی پاسخ مانده است: چرا شاهد آنیم که پیکانهای ترمودینامیکی و کیهانشناختی در یک جهت نشانه رفته اند؟ یا به‌عبارت دیگر، چرا بی نظمی در همان جهتی افزایش می‌یابد که جهان گسترش می‌یابد؟ اگر کسی همانطور که ظاهراً از شرط بیکرانگی استنتاج می‌شود، به گسترش جهان و سپس به انقباض دوباره معتقد باشد، حق دارد بپرسد که چرا ما در مرحله انبساط و نه انقباض به سر می‌بریم.

براساس اصل بشری ضعیف می‌توان به این پرسش پاسخ گفت. شرائط موجود در مرحله انقباضی برای موجودات هوشمندی که سؤال می‌کنند: «چرا بی نظمی در همان جهت زمانی افزایش می‌یابد که جهان منبسط می‌شود»، مناسب نیست. تورم مراحل آغازین جهان که از سوی پیشنهاد بیکرانگی پیش بینی می‌شود، به‌معنای آنست که سرعت گسترش گیتی باید به‌سرعت بحرانی بسیار نزدیک باشد. در سرعت بحرانی، جهان از فروپاشی دوباره اجتناب می‌کند و در نتیجه برای مدتی دراز نیز دچار آن نخواهد شد. آنگاه، همهٔ ستارگان مشتعل شده و پروتونها و نوترونهای شان احتمالاً به ذرات نور و تابش تبدیل خواهد شد. جهان در حالتی یکسره آشفته و بی نظم

فروخواهد رفت. پیکان ترمودینامیکی زمان نیرومندی وجود نخواهد داشت و بی نظمی چندان بیشتر نخواهد شد، زیرا در آن هنگام جهان تقریباً یکسره دستخوش بی نظمی است. اما برای بقای حیات هوشمند، پیکان ترمودینامیکی نیرومندی لازم است. انسانها برای بقا ناگزیر از مصرف غذا و تبدیل آن به حرارتند. غذا شکل نظم یافته ای از انرژی است و گرما شکلی است نظم نایافته از آن. بنابراین حیات هوشمند در مرحله انقباضی گیتی نمی‌تواند وجود داشته باشد. این امرتوضیح می‌دهد که چرا ما شاهد همسویی پیکانهای ترمودینامیکی و کیهانشناختی هستیم. گسترش گیتی موجب افزایش بی نظمی نمی‌شود، بلکه شرط بیکرانگی باعث افزایش بی نظمی گردیده است و شرائط مساعد برای زندگی هوشمند تنها در مرحله انبساطی فراهم می‌باشد.

خلاصه کنیم، قوانین علم بین جهات جلو سو و عقب سوی زمانی تفاوتی قائل نیستند. امادست کم سه پیکان زمانی وجود دارند که میان گذشته و آینده تمایز می‌نهند. آنها عبارتند از پیکان ترمودینامیکی؛ در این جهت زمانی، بی نظمی افزایش می‌یابد؛ پیکان روانشناختی، در این جهت زمانی ما گذشته و نه آینده را بخاطر می‌آوریم؛ و پیکان کیهانشناختی، در این جهت زمانی گیتی بجای انقباض، گسترش می‌یابد. نشان دادم که پیکان روانشناختی اساساً با پیکان ترمودینامیکی یکسان است و ایندو همواره به‌یکسو نشانه می‌روند. پیشنهاد بیکرانگی جهان، وجود پیکان ترمودینامیکی خوش تعریفی از زمان را پیش بینی می‌کند زیرا گیتی باید در حالتی هموار و نظم یافته آغازشود. ودلیل اینکه مشاهده می‌کنیم پیکان ترمودینامیکی با پیکان کیهانشناختی همسوست، عبارت از آنستکه موجودات هوشمند تنها در مرحله گسترش یابنده می‌توانند وجود داشته باشند. مرحله انقباضی برای آنان نامساعد است زیرا فاقد پیکان ترمودینامیکی زمان نیرومند می‌باشد.

پیشرفت نژاد بشر در فهم و ادراک جهان، گوشه ای دنج و نظم یافته، در جهانی که بیش از پیش دستخوش بی نظمی می‌شود، بوجود آورده است.

اگر شما هم واژه‌های این کتاب را بخاطر آورید، حافظه شما تقریباً دو ملیون واحد اطلاعات را ضبط کرده است: در مغزشما نظم به اندازهٔ تقریباً دو ملیون واحد افزایش یافته است. اما در حین مطالعه کتاب، دست کم یکهزار کالری انرژی نظم یافته بصورت غذا را، تبدیل به انرژی نظم نایافته ای بصورت گرما نموده اید که از طریق همرفت و عرق به هوای اطراف تان منتقل می‌شود. این امر به افزایش بی نظمی جهان به اندازهٔ تقریبی بیست ملیون ملیون ملیون ملیون واحد می انجامد. یعنی در حدود ده ملیون ملیون ملیون برابر افزایش نظم در مغز شما ــ و تازه اگر شما هرآنچه در کتاب است بخاطر آورید. در فصل بعد پیرامون تلاشهای جاری برای پیوند زدن نظریه هایی که تا اینجا برشمردم، و ایجاد نظریه ای یکپارچه و کامل که همه چیز را در جهان تحت پوشش قرار دهد، سخن خواهم گفت.

# ۱۰

# وحدت فیـــزیک

همچنانکه در فصل اول توضیح دادم، ساختن نظریه‌ای کامل و یکپارچه که یکضرب همهٔ کائنات را دربرگیرد، کاری است بس دشوار. بنابراین بجای اینکار، پیشرفت بشر از طریق یافتن تئوریهای پاره‌ای که رویدادهای محدودی را توصیف می‌کنند و صرف‌نظر کردن از دیگر تأثیرات یا گذاشتن اعداد تقریبی معینی بجای آنها، انجام گرفته است. (مثلاً در شیمی اجازه داریم کنش و واکنش‌های اتمها را بدون آگاهی از ساختمان داخلی هسته اتم، محاسبه می‌نمائیم.) اما امیدواریم در نهایت بتوانیم به‌نظریه‌ای کامل، سازگار، و یکپارچه دست یازیم که همه این تئوریهای پاره‌ای را بعنوان تقریبهایی دربرداشته باشد و برای جور درآمدن با واقعیات، نیازی به‌برخی اعداد دلخواه در نظریه نداشته باشد. جستجوی چنین نظریه‌ای «وحدت و یکپارچگی فیزیک» نام گرفته است. انشتین بیشتر سالهای پایانی عمرش را با جستجوی ناموفق همین نظریه سپری کرد، اما شرائط آن

زمان مساعد نبود: هرچند نظریه های پاره ای مربوط به گرانش و نیروی الکترومغناطیسی موجود بود، اما آگاهی اندکی درباره نیروهای هسته ای وجود داشت. ازین گذشته، انشتین برغم آنکه نقش برجسته ای در تکامل مکانیک کوانتوم بازی کرده بود، از پذیرش واقعیت این علم سر باز زد. با اینحال به نظر می‌رسد که اصل عدم قطعیت، وجه بنیادین جهان است و یک نظریه یکپارچگی موفق باید ضرورتاً این اصل را در بر داشته باشد.

همانطور که توضیح خواهم داد، چشم انداز یافتن چنین نظریه ای بسیار روشن تر شده است زیرا دانش ما از گیتی بسیار گسترش یافته است. اما زنهار از غرور ــ زنهار از سرابهای دروغین، که برای ما ناآشنا و غیرمترقبه هم نیستند! مثلاً در آغاز این سده می‌پنداشتند که خواص ماده پیوسته، قادر است همه چیز، از جمله کشسانی و رسانش حرارت، را توضیح دهد. کشف ساختمان اتم و اصل عدم قطعیت بطور قطع پایان بخش این نظریه بود. باز در سال ۱۹۲۸، ماکس برن، فیزیکدان و برنده جایزه نوبل، به گروهی از بازدیدکنندگان ازدانشگاه گوتینگن اظهار داشت: «فیزیکی که ما می‌شناسیم، ظرف شش ماه خاتمه می‌یابد.» اطمینان او ناشی از کشف معادلهٔ حاکم بر الکترون توسط دیراک بود. فکر می‌کردند که معادلهٔ مشابهی نیز بر پروتون که تنها ذره دیگر شناخته شده در آن زمان بود، حاکم است، و این پایان فیزیک نظری است. اما کشف نوترون و نیروهای هسته ای نیز بی‌پایگی این باور را برملاساخت. با اینهمه هنوز فکر می‌کنم زمینه هایی برای خوش بینی محتاطانه در مورد نزدیک شدن احتمالی به پایان جستجوی قوانین نهایی طبیعت، وجود دارد.

درفصلهای پیشین به توصیف نسبیت عام، نظریه پاره ای گرانش ونیز نظریه های پاره ای که برنیروهای ضعیف، قوی، والکترومغناطیسی حاکمند، پرداختیم. سه نظریه آخر رامی‌توان درتئوریهایی که به تئوریهایی بزرگ یکپارچگی (GUT) معروفند، متحدساخت. این تئوریهاچندان رضایت بخش نیستند زیراشامل گرانش نمی‌شوندوتعدادی کمیت، نظیرجرمهای نسبی ذرات مختلف،

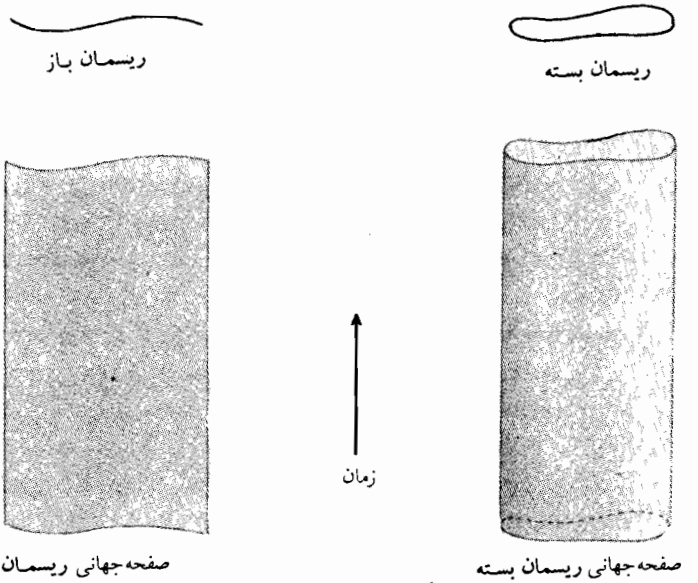
در بردارند که بوسیله تئوری پیش بینی نشده و باید به نحوی برگزیده شوند که با مشاهده وفق دهند. مشکل اصلی دریافتن نظریه ای که گرانش را با دیگر نیروها متحد سازد، آنستکه نسبیت عام، نظریه ای «کلاسیک» است؛ یعنی اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتوم رادرخودجای نداده است. ازدیگرسو، بقیه تئوریهای پاره ای بگونه ای بنیادین به مکانیک کوانتوم وابسته اند. بنابراین نخستین گام ضروری، عبارت است از اتحاد نسبیت عام با اصل عدم قطعیت. همانطورکه دیدیم، این کار پیآمدهای شایان توجه چندی داشت نظیر آنکه حفره های سیاه، چندان سیاه هم نیستند، وجهان فاقد تکینگی است، اما کاملاً خودگنجا[1] می باشدوکرانه ای ندارد. مشکل آنجاست که، همانطورکه درفصل ۷ گفتیم، طبق اصل عدم قطعیت، حتی فضای «تهی» نیز پر از جفتهای ذرات و پاد ذرات مجازی است. این جفتها دارای انرژی نامتناهی اند و بنابراین بنابر معادله معروف انشتین $E = mc$، جرمشان نیز نامتناهی است. ازینرو جاذبه گرانشی شان جهان را چنان خم خواهد کرد که اندازه اش بی نهایت کوچک شود.

بی نهایت های بی معنی مشابهی، در دیگر نظریه های پاره ای نیز رخ می‌دهد، اما در همه اینها، به کمک فرایندی به نام بازبهنجارش[2]، بی نهایت ها حذف می‌شوند. دراین فرایند، برای حذف بی نهایت ها، بی نهایت های دیگری وارد می‌شوند. هرچند این تکنیک ازنظر ریاضی تا حدی مشکوک بنظر می‌رسد، اما درعمل مؤثر بوده و در این تئوریها بکار رفته است و پیش بینی هایی انجام داده که با دقت فوق العاده زیادی با مشاهدات ما مطابقت دارد. اما باز بهنجارش، از نقطه نظر تلاش برای یافتن نظریه ای کامل، دارای نقصی جدی است زیرا به معنای آنست که مقادیر واقعی جرم و قدرت نیروها را نمی‌توان با نظریه پیش بینی نمود، بلکه باید بنحوی انتخاب شوند که با مشاهدات جور در بیایند.

1. Self Contained
2. Renormalization

در تلاش برای گنجاندن اصل عدم قطعیت در دل نسبیت عام، تنها دو کمیت وجود دارند که می‌توانند مطابقت داده شوند: قدرت گرانش و مقدار ثابت کیهانی. اما تطبیق اینها برای از میان برداشتن همه بی نهایت‌ها کافی نیست. بنابراین تئوری ای در دست داریم که پیش بینی می‌کند برخی کمیت‌ها از قبیل انحنای فضا-زمان، براستی نامتناهی اند، با این وجود، می‌توان این کمیت‌ها را مشاهده کرد و اندازه گرفت و مطمئن شد که کاملاً متناهی اند! این مسئله در راه وحدت نسبیت عام و اصل عدم قطعیت برای مدتی مورد تردید و شک واقع شد، اما سرانجام در سال ۱۹۷۲، محاسبات مفصل آنرا تأیید نمود. چهار سال بعد، یک راه حل ممکن مطرح گردید بنام «ابرگرانش». موضوع ازینقرار بود که ذره دارای اسپین ۲ بنام گراویتون را که حامل نیروی گرانش است، با برخی ذرات جدید دیگر با اسپین ۳/۲، ۱، ۱/۲ و صفر ترکیب کنند. به تعبیری، همه این ذرات را می‌توان چونان وجوه مختلف یک «ابر ذره» در نظر گرفت و به این ترتیب ذرات مادی با اسپین ۱/۲ و ۳/۲ را با ذرات حامل نیروی دارای اسپین صفر، ۱، و ۲ متحد ساخت. جفتهای ذره/ پادذره مجازی با اسپین ۱/۲ و ۳/۲ انرژی منفی دارند و انرژی مثبت جفتهای مجازی دارای اسپین ۱،۲، وصفر را خنثی می‌سازند. این امر باعث حذف بسیاری از بی نهایت‌های ممکن می‌گردد، اما گمان می‌رود که برخی بی نهایت‌ها همچنان باقی می‌مانند. اما محاسبات لازم برای پی بردن به اینکه آیا بی نهایت حذف نشده‌ای باقی مانده است یا نه، چنان طولانی و دشوار بود که هیچکس آمادگی بر عهده گرفتن آنرا نداشت. حتی با یک کامپیوتر هم گمان می‌رفت دست کم چهار سال طول بکشد، و شانس اینکه دست کم یک، و شاید بیشتر، خطا و لغزش انجام گیرد، بسیار زیاد بود. بنابراین تنها وقتی از درستی پاسخ محاسبات اطمینان حاصل می‌شد که فرد دیگری آنرا تکرار کرده، پاسخی یکسان بدست می‌آورد، و این امر چندان محتمل به نظر نمی‌رسد!

برغم این مسائل، و نیز این واقعیت که در تئوریهای ابرگرانش، بنظر

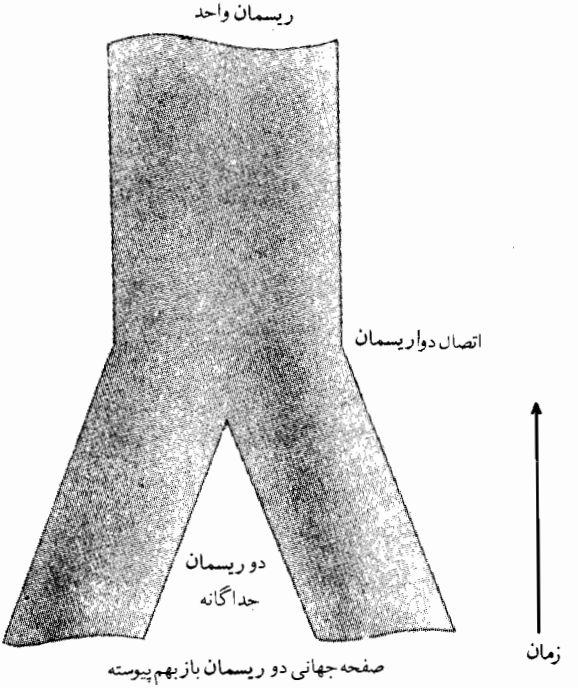



**شکل ۱۰.۱: و شکل ۱۰.۲:**

نمی‌رسید ذرات با مشاهدات سازگار باشند، بیشتر دانشمندان برآن بودند که ابرگرانش احتمالاً پاسخ درست مسئله وحدت فیزیک بود. این بهترین روش وحدت گرانش با دیگر نیروها به‌شمار می‌رفت. اما در سال ۱۹۸٤ تغییر مهمی به‌نفع آنچه که نظریات ریسمانی[1] نامیده می‌شود، پدید آمد. در این تئوریها اشیاءِ بنیادین، ذرات که نقطه‌ای واحد از فضا را اشغال می‌کنند، نیستند، بلکه چیزهایی اند که دارای طول می‌باشند و هیچ بعد دیگری ندارند، مثل رشته نخی بی‌نهایت باریک. این ریسمانها می‌توانند دارای دو سر باشند (باصطلاح ریسمانهای باز) یا آنکه در حلقه‌های بسته‌ای بخودشان متصل باشند (ریسمانهای بسته) (شکل ۱ــ ۱۰ و ۲ــ ۱۰). در هرلحظه، یک ذره یک نقطه

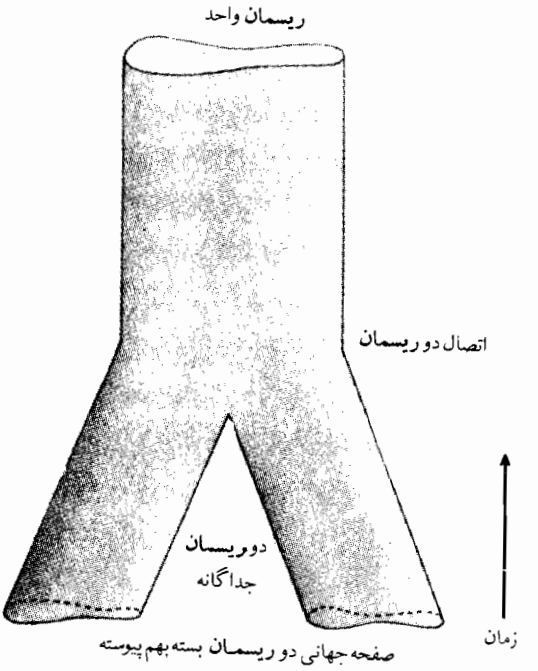
1. String theories

از فضا را اشغال می‌کند. بنابراین تاریخچه‌اش با یک خط در فضا-زمان نمایش داده می‌شود («جهان خط»). یک ریسمان از طرف دیگر، در هر لحظه یک خط را در فضا-زمان اشغال می‌نماید. بنابراین تاریخچه‌اش در فضا-زمان سطحی دوبعدی است بنام جهان رویه. (هر نقطه روی این جهان‌رویه، با دو عدد مشخص می‌شود: یکی بیانگر زمان و دیگری مشخص کننده موقعیت نقطه روی ریسمان می‌باشد.) صفحه جهانی یک ریسمان بازنواری است که لبه‌هایش نمایشگر مسیر دو سرِ ریسمان در فضا-زمان می‌باشد (شکل ۱ــ ۱۰). صفحهٔ جهانی یک ریسمان بسته، استوانه یا لوله‌ایست که با یک برش از میانش، دایره‌ای بدست می‌آید که موقعیت ریسمان را در لحظه‌ای معین نمایش می‌دهد.



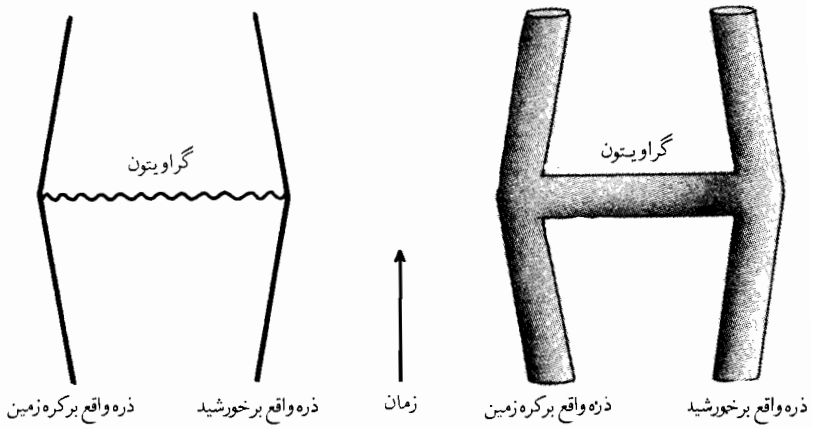

صفحه جهانی دو ریسمان بازبهم پیوسته

**شکل ۱۰.۳**




**شکل ۱۰.٤:**

دو تکه ازین ریسمانها می‌توانند به یکدیگر بپیوندند و ریسمان واحدی تشکیل دهند؛ در مورد ریسمانهای باز، انتهای دو ریسمان بهم وصل می‌شود (شکل ۳ــ۱۰)، و در مورد ریسمانهای بسته، این امر همانند بهم پیوستن دو پاچه شلوار است (شکل ٤ــ۱۰). در تئوریهای ریسمانی، آنچه که پیشتر بعنوان ذره تصور می‌شد، هم اکنون بصورت امواجی که روی یک ریسمان حرکت می‌کنند تصویر می‌شود، مثل امواج روی یک رشته نخ مرتعش یک بادبادک. گسیل یا جذب یک ذره توسط دیگری، متناظر است با انشعاب یا پیوستن دو ریسمان. مثلاً نیروی گرانشی خورشید روی زمین، در تئوریهای ذره‌ای به این صورت تصویر می‌شد که گراویتونی از یک ذره روی خورشید گسیل می‌شود و ذره‌ای روی زمین آنرا جذب می‌کند (شکل ۵ــ۱۰). در




**شکل ۱۰.۵: و شکل ۱۰.۶:**

تئوری ریسمانی، این فرآیند متناظر با لوله‌ای H شکل است (شکل ۶ــ۱۰) (تئوری ریسمانی تا اندازه‌ای به لوله کشی می‌ماند). دو طرف عمودی H متناظرند با دو ذرهٔ روی خورشید و زمین و لولهٔ افقی متقاطع، به گراویتونی که بین ایندو سیر می‌کند نظیر می‌شود.

تئوری ریسمانی سرگذشتی عجیب دارد. این نظریه نخست در اواخر سالهای ۱۹۶۰، در تلاش برای یافتن نظریه‌ای که توصیف کننده نیروی قوی باشد، ابداع گردید. این تئوری می‌گفت که ذراتی مثل پروتون و نوترون را می‌توان همچون امواج روی یک رشته نخ در نظر گرفت. نیروهای قوی بین ذرات متناظر تکه‌هایی از نخ هستند که از میان تکه‌نخهای دیگر می‌گذرد، مثل تارعنکبوت. برای اینکه، این نظریه مقدار تجربی نیروی قوی میان ذرات را، بدست دهد، رشته‌ها می‌بایست همچون طنابهای لاستیکی با کشش تقریبی ده‌تن باشند.

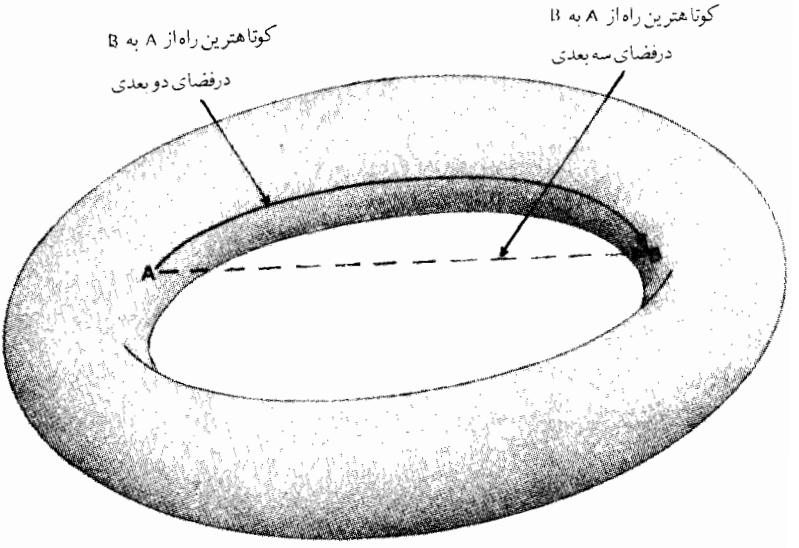
در سال ۱۹۷٤ جوئیل شرک[3] از پاریس و جان شوارتز[4] از انستیتو تکنولوژی کالیفرنیا مقاله ای منتشر ساختند و درآن نشان دادند که نظریه ریسمانی می‌تواند نیروی گرانشی را توصیف نماید مشروط برآنکه تنش رشته نخ بسیار زیادتر باشد، یعنی حدود یکهزار ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون ملیون تن (۱ جلویش سی و نه صفر). پیش بینی های نظریه ریسمانی، در مقیاس های طولی معمولی، درست همانند پیش بینی های نسبیت عام است، اما در فاصله های بسیار کوچک، یعنی کمتر از یکهزار ملیون ملیون ملیونیم سانتیمتر، پیش بینی هایشان فرق می‌کند. امّا کار ایندو چندان مورد توجه قرار نگرفت، چرا که تقریباً در همان زمان، بیشتر افراد، تئوری ریسمانی اصلی را که در مورد نیروی قوی سخن می‌گفت، کنار گذاشته و به تئوری دیگری که بر کوارکها و گلوئونها بنیاد داشت، و ظاهراً با مشاهدات خیلی سازگارتر بود، روی آورده بودند. شرک در شرائطی غم انگیز درگذشت (او از دیابت رنج می‌برد و زمانیکه هیچکس در کنارش نبود تا به او انسولین تزریق کند، دچار کوما شد.) بنابراین شوارتز بعنوان تقریباً تنها پشتیبان نظریه ریسمانی باقی ماند، اما اینک میزان تنش پیشنهادی ریسمان بسیار بالا تر رفته بود.

در سال ۱۹۸٤، توجه و علاقه همگان به ریسمان ها مجدداً احیا شد، ظاهراً بدو دلیل: یکی آنکه پیشرفت چندانی در جهت نمایش متناهی بودن ابر گرانش یا توانائی آن در توضیح انواع ذراتی که مشاهده می‌کنیم، بعمل نیامد. و دیگری انتشار مقاله ای بود از سوی جان شوارتز و مایک گرین[5] از کوئین مری کالج لندن، که نشان می‌داد تئوری ریسمانی ممکن است قادر باشد وجود ذراتی را که ساختار درونی چپگرد دارند، مثل برخی از ذراتی که مشاهده می‌کنیم، توضیح دهد. به هرحال، دلیلش هرچه باشد، بزودی افراد

3. Joel Scherk
4. John Schwarz
5. Mike Green

زیادی شروع به کار روی تئوری ریسمانی کردند و نگارش جدیدی از آن فراهم آمد؛ ریسمان باصطلاح هتروتیک (heterotic) ، که بنظر می‌رسید می‌تواند انواع ذراتی را که مشاهده می‌کنیم، توضیح دهد.

تئوریهای ریسمانی نیز به بی نهایت هایی منجر گردید، اما پنداشته می‌شود که درنگارش هایی نظیر ریسمان هتروتیک، بی نهایتها همگی حذف می‌شوند (هر چند این موضوع قطعی نیست). اما، تئوریهای ریسمان ها مشکل بزرگتری هم دارند: بنظر می‌رسد آنها وقتی سازگارند که فضا-زمان بجای چهار بعد فعلی اش، ده یا بیست و شش بعد داشته باشد! البته ابعاد اضافی فضا-زمان در داستانهای علمی تخیلی امری پیش پا افتاده است، در حقیقت این ابعاد اضافی یک ضرورت به‌حساب می‌آیند، زیرا در غیراینصورت، نظر




شکل ۱۰.۷:

به آنکه نسبیت می‌گوید هیچ چیز سریعتر از نور حرکت نمی‌کند، سفر میان ستارگان و کهکشانها بسیار دور و دراز می‌شد. اندیشه داستانهای تخیلی آنستکه شاید بتوان ازابعاد بالا تر راه میانبری یافت. این مطلب را می‌توان بطریق زیر ترسیم نمود: تصور کنید فضایی که در آن زندگی می‌کنیم تنها دو بعد دارد و مثل سطح یک حلقه لنگر خمیده است (شکل ۷ــ ۱۰). اگر کسی روی یکطرف درونی حلقه باشد و بخواهد به‌نقطه‌ای در آن طرف برود، مجبور است دور لبه درونی بگردد تا به آن نقطه برسد. اما اگر می‌توانست در بعد سوم نیز سفر کند، مستقیماً میانبر می‌زد و به‌نقطه دلخواهش می‌رفت.

اگر این ابعاد اضافی واقعاً وجود دارند، پس چرا ما از آنها خبردار نمی‌شویم؟ چرا ما تنها سه بعد مکانی و یک بعد زمانی را می‌بینیم؟ در پاسخ گفته می‌شود که ابعاد دیگر در فضایی بسیار کوچک، یعنی در چیزی حدود یک ملیون ملیون ملیون ملیون ملیونیم اینچ، خمیده شده‌اند. این اندازه چنان کوچک است که ما متوجه آن نمی‌شویم؛ و تنها یک بعد زمانی و سه بعد مکانی را می‌بینیم. در این چهار بعد، فضا ـ زمان نسبتاً صاف و تخت است. این موضوع مثل پوست پرتقال است: اگر از نزدیک به آن نگاه کنیم، خمیده و چروکدار است، اما اگر از دور به آن نگاه کنیم، برآمدگیها را ندیده و فکر می‌کنیم صاف و هموار است. در مورد فضا ـ زمان نیز می‌توان گفت: در مقیاس بسیار کوچک، ده بعدی است و بشدت خمیده، اما در مقیاس های بزرگتر، انحنا یا ابعاد اضافی دیده نمی‌شوند. اگر این تصویر درست باشد، خبرهای ناگواری برای مسافران فضایی آینده بهمراه دارد: ابعاد اضافه آنقدر کوچکند که کشتی فضایی قادر به‌عبور از آنها نیست. بهرحال یک مشکل اساسی دیگر نیز ظاهر می‌شود. چرا باید برخی و نه همهٔ ابعاد خمیده و حلقه شوند و بصورت توپ کوچکی درآیند؟ از قرار معلوم، در جهان آغازین، همهٔ ابعاد بسیار خمیده بوده‌اند. چرا یک بعد زمانی و سه بعد فضایی صاف شدند و دیگر ابعاد [illegible] خمیده باقی ماندند؟

کلید اصل بشری است. دو بعد فضایی برای رشد

حیوان دو بعدی

**شکل ۸. ۱۰:**

موجودات پیچیده‌ای همچون ما، کافی به‌نظر نمی‌رسد. مثلاً، حیوانات دو بعدی‌ای که بر زمینی یک بعدی زندگی کنند، برای گذشتن از کنار یکدیگر، باید از روی هم بگذرند. اگر یک موجود دو بعدی غذایی را بخورد، قادر به گوارش کامل آن نیست، زیرا باید از همان راه که آنها را بلعیده، بقایای غذا را بالا بیاورد، چنانچه راه عبوری از میان بدن این جانور بگذرد، آن را به‌دو بخش جدا از هم تقسیم خواهد نمود؛ موجود دو بعدی ما به‌دو تکه تقسیم می‌شود (شکل ۸ــ ۱۰). به‌همین ترتیب معلوم نیست گردش خون در بدن چنین مخلوقی به‌چه صورت است.

چنانچه فضا بیش از سه بعد داشته باشد، همچنان مشکلاتی خودنمایی می‌کنند. در چنین فضاهایی، نیروی گرانشی بین دو جسم، با

افزایش فاصله، بیشتر از فضای سه‌بعدی کاهش خواهد یافت. (در سه بعد، با دو برابر کردن فاصله، نیروی گرانشی به $\frac{1}{4}$ کاهش می‌یابد. در چهار بعد، به $\frac{1}{8}$ و در پنج بعد به $\frac{1}{16}$ و... کاهش می‌یابد.) معنای این امر آنستکه مدار سیارات بدور خورشید ناپایدار می‌گردد: کوچکترین انحرافی در یک مدار دایره‌ای سیاره‌ای مثل زمین (مثلاً براثر جاذبه گرانشی دیگر سیارات) باعث حرکت مار پیچی سیاره به‌طرف خورشید یا برعکس می‌شود. در نتیجه ما یا همگی می‌سوزیم یا از سرما یخ می‌زنیم. در واقع رفتار مشابه گرانش نسبت به‌فاصله در فضاهای دارای بیش از سه بعد، به‌معنای آنستکه خورشید نیز در حالتی پایدار قادر به‌حفظ تعادل میان فشار و گرانش و در نتیجه به‌ادامه وجود نیست و یا متلاشی می‌گردد یا تشکیل یک حفره سیاه می‌دهد که در هر صورت بعنوان منبع گرما و نور، برای زندگی روی زمین بی‌فایده است. در مقیاس کوچکتر نیز، نیروهای الکتریکی که باعث گردش الکترونها بدور هسته اتم می‌شوند، رفتاری نظیر نیروی گرانشی دارند. ازینرو، الکترونها یا همگی از اتم می‌گریزند یا بصورت مار پیچی به‌سوی هسته حرکت می‌کنند که در هر صورت، هر چه باشند، اتمهای کنونی نیستند.

پس روشن است که حیات، دست‌کم به‌شکلی که ما می‌شناسیم، تنها در مناطقی از فضا-زمان می‌تواند وجود داشته باشد که یک بعد زمانی و سه بعد مکانی حلقه‌ای و کوچک نشده باشند. یعنی چنانچه نشان داده شود که تئوری ریسمانها دست‌کم وجود چنین مناطقی را در جهان مجاز می‌داند ــ و ظاهراً هم مجاز می‌داند ــ می‌توان دست بدامان اصل بشری شد. کاملاً امکان دارد مناطق دیگری از جهان، یا جهانهایی دیگر (حال هر معنایی که داشته باشد) وجود داشته باشند که همه ابعادشان حلقه‌وار و کوچک شده باشد یا آنکه در آنها بیش از چهار بعد تخت وجود داشته باشد، اما در آنها خبری از موجودات هوشمندی نیست که شاهد تعداد متفاوت ابعاد مؤثر باشند.

جدای از مسائل مربوط به‌تعداد ابعاد فضا-زمان، نظریه رشته‌ای هنوز چندین مشکل دیگر پیشاروی خود دارد که باید پیش از آنکه به‌افتخار نظریه

غایی وحدت فیزیک نائل آید، حل گردند. ما هنوز نمی‌دانیم که همه بی نهایت ها یکدیگر را خنثی می‌کنند یا نه، یا آنکه دقیقاً نمی‌دانیم امواج روی یک رشته را چگونه به‌یک نوع ویژه ذره که مشاهده می‌کنیم، مربوط سازیم. با اینهمه احتمال دارد که پاسخ این سؤالات ظرف چند سال آینده پیدا شود و در پایان قرن بالاخره بفهمیم که آیا تئوری ریسمانها واقعاً کیمیای گمشدهٔ نظریه وحدت فیزیک هست یا نه.

اما آیا براستی چنین نظریه یکپارچه ای می‌تواند وجود داشته باشد؟ یا آنکه شاید بدنبال سراب هستیم؟ به‌نظر می‌رسد سه امکان وجود داشته باشد:

۱. براستی نظریه کامل یکپارچه ای وجود دارد که اگر به اندازه کافی هوشیار باشیم روزی کشف خواهد شد.
۲. نظریه نهایی ای از جهان یافت می‌نشود و تنها رشته ای از نظریه ها که جهان را دقیق و دقیقتر توصیف می‌کنند وجود دارند.
۳. نظریه ای در باب توصیف جهان وجود ندارد: رویدادها را فراتر از حد و دامنه ای معین، نمی‌توان پیش بینی نمود، بلکه آنها بگونه ای تصادفی و دلخواه رخ می‌دهند.

بعضی ها به‌طرفداری از امکان سوّم استدلال می‌کنند که اگر مجموعه کاملی از قوانین وجود داشته باشد، آزادی خداوند را برای تغییر عقیده و دخالت در جهان نقض می‌کند. این موضوع تا حدی شبیه پارادوکس قدیمی زیر است: آیا خداوند قادر است سنگی چنان سنگین بسازد که خود نتواند آن را بلند کند؟ اما اینکه پروردگار بخواهد نظرش را تغییر دهد، نمونه ایست از مغالطه ای که آگوستین قدیس متذکر شد و بآن پاسخ گفت: تصور وجود خداوند در زمان. حال آنکه زمان تنها خاصیتی از جهان است که خداوند آفریده است. قطعاً او به‌هنگام آفرینش از قصد و هدف خود بخوبی آگاه بوده است!

با ظهور مکانیک کوانتوم، متقاعد شده ایم که رویدادها را نمی‌توان با دقت کامل پیش بینی نمود بلکه همواره درجه ای از عدم قطعیت وجود دارد. اگر بخواهیم، می‌توانیم این تصادفی بودن را به مداخله کردگار نسبت دهیم، اما این مداخله قدری عجیب به‌نظر می‌رسد زیرا مدرک و گواهی در دست نیست که حاکی از مقصودی برای آن باشد. اگر مدرکی داشتیم، دیگر طبق تعریف، تصادفی نبود. در عصر جدید، با تعریف دوباره هدف علم، بطور مؤثری امکان سوم بالا رد شده است. هدف علم عبارتست از: تدوین و فرمولبندی مجموعه قوانینی که رویدادها را تنها در محدوده ای که اصل عدم قطعیت وضع نموده است، پیش بینی نماید.

امکان دوم که می‌گوید رشته ای نامتناهی از نظریه های بیش از پیش دقیقتر و بهتر وجود دارد، تاکنون با تمام تجربیات ما سازگار بوده است. در مواقع بسیاری، با افزایش حساسیت اندازه گیری هایمان یا با انجام دسته جدیدی از مشاهدات، پدیده های جدیدی کشف شده اند که تئوریهای موجود قادر به‌پیش بینی آنها نبوده اند و لذا برای توجیه شان، ناگزیر نظریه های پیشرفته تری ابداع کرده ایم. بنابراین چندان تعجب آور نخواهد بود اگر نسل حاضر نظریه های یکپارچه بزرگ در ادعای خود مبنی بر آنکه بین انرژی یکپارچگی ضعیف الکتریکی در حدود ۱۰۰ GeV و انرژی یکپارچگی قوی در حدود یکهزار ملیون ملیون GeV ، هیچ چیز جدیدی بوقوع نخواهد پیوست، راه خطا پیموده باشند. شاید واقعاً لایه های تازه بنیادی‌تر از کوارکها و الکترونها که اکنون ذرات «اولیه» نامیده می‌شوند، وجود داشته باشند.

با اینحال شاید گرانش بر این رشته «جعبه های تودرتو»، حد و مرزی قرار دهد. اگر انرژی ذره ای بیش از انرژی پلانک، یعنی ده ملیون ملیون ملیون GeV (۱ جلویش نوزده صفر) باشد، جرمش آنقدر متمرکز می‌گردد که خود را از بقیه جهان جدا می‌کند و حفره سیاه کوچکی تشکیل می‌دهد. بنابراین بنظر می‌رسد رشته نظریات دقیق و دقیقتر، با بالا و بالاتر رفتن انرژیها، دارای حد و مرزی می‌شود و لذا یک نظریه نهایی از جهان باید وجود داشته باشد. البته،

خیلی مانده است تا از انرژیهای حدود یکصد GeV، که حداکثر چیزی است که فعلاً در آزمایشگاه تولید می‌شود، به انرژی پلانک برسیم. درآینده قابل پیش‌بینی، شکافی چنین سترگ را با شتابدهنده‌های ذره پر نخواهیم توانست کرد! نخستین مراحل جهان اما، صحنه‌های حضور چنین انرژیهایی باید بوده باشد. فکر می‌کنم شانس آن هست که مطالعه جهان نخستین و لوازم سازگاری ریاضی، ما را بزودی به‌نظریه یکپارچه کامل رهنمون گردد، البته به‌شرط آنکه زودتر از آن ما خود را بدست خود نابود نکنیم.

حال اگر عملاً به‌نظریه غائی جهان دست یافتیم، چه می‌شود؟ همانطور که در فصل یک توضیح داده شد، هرگز نمی‌توانیم کاملاً مطمئن باشیم که به‌نظریه‌ای درست دست یافته‌ایم، چرا که هیچ نظریه‌ای را نمی‌توان ثابت نمود. اما اگر تئوری از نظر ریاضی سازگار باشد و پیش‌بینی‌هایش همواره با مشاهده تطبیق کند، به گونه‌ای خردپذیر می‌توانیم مطمئن باشیم که به‌نظریه‌ای درست دست یافته‌ایم. به‌این ترتیب فصلی دراز و با شکوه در تاریخ مبارزه فکری بشر در راه فهم هستی به‌پایان می‌رسد. اما این نظریه، فهم افراد عادی از قوانین حاکم بر جهان را نیز دستخوش انقلاب و تحول خواهد کرد. در روزگار نیوتن، یک فرد تحصیلکرده قادر بود، دست کم خطوط اساسی تمامی دانش بشری را درک کند. اما از آن پس، آهنگ تحول علم این امر را ناممکن ساخته است. از آنجا که نظریه‌ها همواره در انطباق با مشاهدات جدید دستخوش تغییر می‌گردند، هرگز بطور کامل هضم یا ساده نمی‌شوند تا مردم عادی آنها را درک کنند. شما باید یک متخصص باشید، و حتی آنگاه نیز، تنها می‌توانید امیدوار باشید که درک کاملی از بخش کوچکی از نظریه‌های علمی داشته باشید. ازین گذشته، سرعت پیشرفت چنان شتابان است که آنچه در مدرسه یا دانشگاه آموخته می‌شود همواره کمی مانده و بیات است. تنها افراد معدودی قادرند همگام با مرزهای به‌سرعت گسترش یابنده دانش پیش روند، آنها مجبورند تمامی وقت خود را وقف آن سازند و در عرصه کوچکی تخصص یابند. بقیه مردمان چندان در جریان

پیشرفتهایی که رخ می‌دهد نیستند و از هیجان و نشاطی که در اثر این پیشرفتها بوجود می‌آید، محرومند. هفتاد سال قبل، اگر حرف ادینگتون را باور داشته باشیم، تنها دو نفر نسبیت عام را درک می‌کردند. امروزه دهها هزار فارغ التحصیل دانشگاه آنرا درک می‌کنند و ملیونها نفر دست کم با آن آشنایند. اگر تئوری یکپارچه بزرگ کشف شود، هضم و ساده‌سازی و تدریس آن در مدارس، دست کم در خطوط کلی اش، مسئله‌ایست مربوط به زمان. آنگاه همه ما قادر خواهیم بود تا حدی قوانین حاکم برجهان و عهده‌دار موجودیت خودمان را درک کنیم.

حتی اگر نظریه‌ای کامل و یکپارچه کشف کنیم، به‌دو دلیل به‌معنای آن نخواهد بود که می‌توانیم رویدادها را بطور کلی پیش بینی کنیم. دلیل اول آنکه اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتوم، قدرت پیش بینی ما را محدود ساخته است. اما در عمل، این محدودیت اول، از دومی کمتر دست و پاگیر است. محدودیت دوم ازین واقعیت ناشی می‌شود که ما قادر نیستیم معادلات نظریه را دقیقاً حل کنیم، مگر در شرایط بسیار ساده. (ما حتی نمی‌توانیم معادلات حرکت سه جسم را در نظریه نیوتونی گرانش، بطور دقیق حل کنیم، و با افزایش تعداد اجسام و پیچیدگی تئوری، دشواری باز هم فزونی می‌گیرد.) اینک قوانینی که برفتار ماده در همه حالات، مگر حدی ترین شرایط، حاکمند، برما معلومند. بویژه، ما برقوانین بنیادین همه شیمی و بیولوژی آگاهیم. اما هنوز قطعاً این مباحث را به‌صورت مسائلی حل شده، درنیاورده‌ایم؛ هنوز در پیش بینی رفتار انسان بوسیله معادلات ریاضی توفیق ناچیزی داشته‌ایم! بنابراین حتی اگر هم به‌مجموعه کاملی از قوانین بنیادین دست یابیم. در سالهای آینده، وظیفه ابداع روش های تقریب بهتر، پهلوانان اندیشه را به‌مبارزه می‌طلبد، تا آنکه بتوانیم در شرائط پیچیده و واقعی، پیش بینی های سودمندی از نتایج احتمالی به‌عمل آوریم. یک نظریه یکپارچه کامل و سازگار، تازه نخستین گام است: هدف ما اینست: **درک** کامل رویدادهای پیرامونمان، و فهم کامل وجود خودمان.

# ۱۱

# سخن آخر

ما در دنیایی حیرت‌انگیز و گیج کننده زندگی می‌کنیم. می‌خواهیم معنای آنچه را که در پیرامون خویش می‌یابیم بدانیم و دوست داریم بپرسیم: سرشت گیتی چیست؟ جایگاه ما در آن کدام است؟ از کجا آمده‌ایم و آمدنمان از بهر چه بوده است؟ سرمنشأ جهان چیست و چرا بصورت کنونی اش درآمده است؟

برای پاسخ به این سؤالات، بشر «تصویری جهانی» را اختیار می‌کند. برج بی انتهایی از لاک پشت که سطح تخت زمین بر آن قرار گرفته، یک تصویر از جهان است و ابر ریسمان‌ها نیز تصویری دیگر می‌باشد. هر دو نظریه‌هایی درباره جهانند، هر چند دومی خیلی ریاضی تر و دقیقتر از اولی است. هر دو نظریه فاقد گواه و مدرک عینی اند: تاکنون نه کسی سنگ پشت غول‌پیکری که بار زمین را بر پشت گرفته باشد، دیده است و نه کسی موفق بدیدن یک ابر ریسمان شده‌است. اما نظریه سنگ‌پشتی، یک تئوری خوب

علمی نیست. زیرا پیش بینی می‌کند که مردم قادرند از بام دنیا به‌پائین بپرند. تجربه چنین چیزی را تأیید نکرده است، مگر آنکه روزی معلوم شود، این نظریه ناپدید شدن افراد در مثلث برمودا را توضیح می‌دهد!

نخستین کوششهای تئوریک برای توصیف و توضیح جهان مبتنی بر این اندیشه بود که رویدادها و پدیده‌های طبیعی، توسط ارواحی با عواطف انسانی کنترل می‌شوند که به‌نحوی بشدت انسان گونه و پیش بینی ناپذیر رفتار می‌کنند. این ارواح در جاهای طبیعی مثل رودخانه‌ها و کوهها و اجرام آسمانی همچون ماه و خورشید، سکنا گزیده‌اند. باید رضای خاطرآنان را فراهم آورد تا خاک بارور شود و گردش فصول برقرار. اما رفته رفته مردمان باید متوجه شده باشند که برخی قاعده‌مندیها هم وجود دارد: خورشیدهمواره از شرق طلوع می‌کند و در غرب غروب، خواه برای خورشید قربانی ای کرده باشند یا نکرده باشند. ازین گذشته، خورشید و ماه و سیارات مسیرهای دقیقی را دنبال می‌کردند که با دقت قابل ملاحظه‌ای پیشاپیش تعیین می‌گردید. خورشید و ماه ممکن است هنوز خدا باشند، اما خدایانی که از قوانین تخطی ناپذیری تبعیت می‌کردند ــ که اگر داستانهایی از قبیل توقف خورشید برای یوشع را قبول نداشته باشید، ظاهراً استثناء بردار نبودند.

در آغاز، این نظم و قوانین تنها در نجوم و برخی موقعیتهای دیگر هویدا بودند. اما با پیشرفت تمدن، و بویژه در ۳۰۰ سال گذشته، قاعده‌مندیها و قوانین بیشتر و بیشتری کشف شده‌اند. موفقیت این قوانین لاپلاس را به‌آنجا رهنمون ساخت که در آغاز قرن نوزدهم جبر علمی را وضع نماید، یعنی بگوید که مجموعه‌ای از قوانین وجود دارند که تکامل و رشد جهان را بدقت معین می‌سازند به‌شرط آنکه آرایش آنرا در لحظه‌ای معین داشته باشیم.

جبریگری لاپلاس از دو جهت ناقص بود. نظریه او درباره چگونگی انتخاب این قوانین و نیز مشخص کردن آرایش و ترکیب نخستین جهان خاموش بود. این امور به‌عهده کردگار گذاشته شده بود. خداوند چگونگی آغاز عالم و مجموعه قوانینی را که بر آن حاکم است برمی‌گزید اما پس از شروع،

دیگر در امور آن مداخله نمی‌نمود. در واقع نقش آفریدگار محدود به عرصه هایی شده بود که علم قرن نوزدهم از فهمش ناتوان بود.

اکنون می‌دانیم که امیدهای جبرگرایانه لاپلاس، دست کم آنچنانکه در تصور او بود، تحقق ناپذیرند. اصل عدم قطعیت مکانیک کوانتوم متضمن آنست که بعضی از زوج کمیتها نظیر وضعیت و سرعت یک ذره، با دقت تمام پیش بینی ناپذیرند.

برخورد مکانیک کوانتوم با این موقعیت از طریق دسته ای از نظریه های کوانتومی انجام می‌پذیرد که براساس آنها ذرات دارای وضعیت و سرعت خوش تعریفی نیستند بلکه بوسیله یک موج نمایش داده می‌شوند. این تئوریهای کوانتومی به این معنا جبرینند که قوانینی برای تغییر و تحول موج نسبت به زمان فراهم می‌آورند. بنابراین اگر در لحظه ای از چند و چون موج آگاه باشیم، در هر لحظه دیگری قادر به محاسبه آن هستیم. عنصر تصادف و پیش بینی ناپذیری تنها زمانی وارد می‌شود که بکوشیم موج را برحسب وضعیت و سرعت ذرات تعبیر نمائیم. اما شاید اشتباه ما همینجا باشد: شاید اصلاً وضعیت و سرعتی برای ذرات در کار نباشد و تنها امواج وجود داشته باشند و ما می‌کوشیم که این امواج را بر مفاهیم و تصوراتی که پیشاپیش از وضعیت و سرعت در ذهن داریم، منطبق سازیم. عدم تطابق حاصل، موجب پیش بینی ناپذیری ظاهری می‌باشد.

در واقع ما وظیفه علم را از نو به این شرح تعریف کرده ایم: کشف قوانینی که ما را قادر سازد رویدادها را در چهارچوب محدودیتهای اصل عدم قطعیت پیش بینی نمائیم. به هر حال، این سؤال باقی ماند: چراوچگونه حالت آغازین جهان انتخاب شد؟

در این کتاب، توجه خاصی به قوانینی که برگرانش حاکمند، مبذول شده است، زیرا این گرانش است که ساختمان کلان مقیاس گیتی را شکل می‌دهد، هر چند در بین طبقه بندی چهارگانه نیروها، گرانش ضعیف ترین آنهاست. قوانین گرانش با دیدگاهی که تا همین اواخر مرسوم بود و متضمن

عدم تغییر جهان نسبت به زمان بود، انطباق و سازگاری نداشت: این واقعیت که گرانش همواره جذب کننده است گویای آن است که گیتی باید یا در حال گسترش باشد و یا در حال انقباض. بر اساس نسبیت عام، در گذشته باید چگالی جهان بی‌نهایت بوده باشد و انفجار بزرگ آغاز مؤثر زمان به شمار می‌رود. به طور مشابه اگر همهٔ عالم باز دچار فروپاشی شود، در آینده چگالی جهان دوباره بی نهایت خواهد شد که پایان زمان به شمار می‌رود. حتی اگر تمامی جهان فرو نپاشد، در مناطق خاصی از آن تکینگی هایی به وجود می‌آید که به تشکیل سیاهچاله‌ها می‌انجامد.این تکینگی‌ها برای هر کس که درون سیاهچاله بیفتد، پایان زمان محسوب می‌گردد. در انفجار بزرگ و تکینگی‌های دیگر، همه قوانین در هم می‌شکنند و بنابراین خداوند در انتخاب رخدادها و چگونگی شروع جهان آزادی کامل داشته است.

با ترکیب مکانیک کوانتوم و نسبیت عام، امکان تازه‌ای پدیدار می‌گردد که پیشتر در نظر گرفته نشده بود: فضا و زمان با هم تشکیل فضای چهار بعدی متناهی‌ای می‌دهند که فاقد تکینگی یا کرانه است. به نظر می‌رسد که این اندیشه بسیاری از جنبه‌های مشاهده شده جهان را، نظیر یکنواختی در مقیاس بزرگ و انحرافات از حالت همگن در مقیاس کوچکتر که به تشکیل کهکشانها و ستارگان و حتی انسانها انجامیده است، توضیح می‌دهد. حتی پیکان زمانی را که مشاهده می‌کنیم، توجیه می‌نماید.

زمانی آینشتین پرسید: «خداوند در ساختمان عالم چقدر حق انتخاب داشت؟» اگر پیشنهاد بیکرانگی درست باشد، او در انتخاب شرایط اولیه از آزادی عمل برخوردار نبوده است.

البته بی گمان همچنان در گزینش قانونهای حاکم بر جهان مختار بوده است. با این همه این مقدار واقعاً حق انتخاب زیادی نیست. شاید تنها یک و یا تعداد اندکی تئوری یکپارچه کامل، مثل نظریه رشته هتروتیک یافت شود که خود

سازگار بوده واجازه دهد سازه‌های پیچیده‌ای چون انسانها وجود داشته باشند و بتوانند به کندوکاو در قوانین گیتی بپردازند و درباره سرشت خداوندگار پرس و جو کنند.

حتی اگر تنها یک نظریه یکپارچه ممکن وجود داشته باشد، صرفاً مجموعه‌ای از قوانین و معادلات است. آن دم مسیحایی چیست که به این معادلات معنا می‌بخشد و جهانی می‌آفریند تا معادلات به توصیف آن بنشینند؟ رویکرد معمول و متداول علم که مشتمل بر ساختن مدلی ریاضی است، به سؤالاتی از این قبیل که چرا باید جهانی وجود داشته باشد که مدل به توصیف آن بپردازد، نمی‌تواند پاسخ دهد. چرا جهان این همه زحمت و رنج وجود را برخود هموار کرده است؟ آیا نظریه یکپارچه چنان وادارگر است که سبب وجود خودش نیز شده است؟ یا آنکه خود نیازمند آفریدگار است، و اگر آری آیا او تأثیر دیگری بر جهان داراست؟ و چه کسی او را آفریده است؟

تا کنون، بیشتر دانشمندان آنچنان مشغول ابداع نظریه‌های نوین که توصیف کننده آنچه گیتی هست، بوده‌اند که فرصت طرح چرا را نداشته‌اند. از دیگر سو، مردمانی که حرفه شان پرداختن به چراهاست، یعنی فیلسوفان، نتوانسته‌اند همگام با پیشرفت تئوریهای علمی گام بردارند. در قرن هجدهم، فیلسوفان تمامی دانش بشری از جمله علم را قلمرو خود می‌دانستند و پرسش‌هایی از این دست را مورد بحث قرار می‌دادند: آیا جهان آغازی داشته است؟ اما در قرن نوزدهم و بیستم، علم برای فیلسوفان و یا همهٔ مردمان بجز معدودی متخصص، بیش از حد جنبه فنی و ریاضی به خود گرفت. فیلسوفان دامنهٔ کنکاشهای خود را تا بدانجا کاستند که مشهورترین فیلسوف این قرن یعنی ویتگنشتین گفت:«تنها وظیفه‌ای که برای فلسفه باقی می‌ماند، عبارت است از تحلیل زبان» چه هبوط چشم‌گیری از سنت عظیم فلسفهٔ ارسطو تا کانت!

اما اگر نظریه‌ای کامل کشف کنیم، به‌موقع خود، همگان و نه معدودی از

دانشمندان خطوط اصلی آن را درک خواهند کرد. آنگاه همگی ما، فلاسفه، دانشمندان و حتی مردمان عادی، قادر خواهیم بود در بحثی پیرامون این سؤال شرکت جوییم که چرا ما و جهان وجود داریم. اگر پاسخی به این سؤال بیابیم، همانا پیروزی فرجامین خرد انسان خواهد بود ــ چرا که آنگاه بر ذهن خداوند آگاهی یافته‌ایم.[۱]

۱ – از زمان انتشار کتاب در اروپا و آمریکا، مباحثی از این دست مورد نقد و پاسخگویی واقع شده است که یک نمونه از آن ترجمه شده و در پایان کتاب به چاپ رسیده است.

# آلبـــرت انشـــتین

رابطهٔ انشتین بـا امور سیاسیِ مـربوط به‌بمب هسـته‌ای بخوبی آشـکار است: او نامه مشـهـوری را که به‌پرزیـدنـت فرانکلیـن روزولت نوشته شـده بود امضا کرد و ایالات متحده را مـتقاعد ساخت که این فکر را جدی بگیرد، و در فعـالیت‌های پس از جنـگ برای جـلوگیری از جنـگ هسته‌ای شرکت جست. اما اینها فـعالیتهـای منفرد و جداگـانه دانشمندی کـه به‌میدان سیاست کشیده شده،بـاشد نـیست. زنـدگـی انشـتین در واقـع به‌قول خـودش «بیـن سیـاست و معادلات تقسیم شده بود.»

نخستین فعالیتهای سیاسی انشـتین در طول جنگ جهـانی اول انجام گـرفت. در آن هنگام او در برلـین استاد بود. آنچـه که بدیده او اتلاف زندگی انسـانها بـود، او را آزرده می‌ساخـت و ازینرو درگیـر تظاهرات ضـدجنگ شد. هواداری او از نافرمـانـی عمومی و تشـویـق علنی مردم بـه‌سر پیچی از خـدمت نظـام، تأثیر چندانـی در محبوب کردن انشتیـن نزد همکارانش نداشت. پس از

جنگ، همّ خود را صرف آشتی و بهبود روابط بین المللی نمود. این نیز به او محبوبیت نبخشید و بزودی بر اثر فعالیتهای سیاسی اش، بازدید از ایالات متحده حتی برای انجام سخنرانی، برایش دشوار گردید.

دومین آرمان انشتین صهیونیسم بود. اگر چه او یهودی زاده بود، اندیشه تورات درباره خدا را رد می‌کرد. اما رشد احساسات ضدیهودی، هم پیش از جنگ و هم در طول جنگ اول جهانی، رفته رفته او را به سوی جامعه یهود سوق داد و سپس انشتین پشتیبان برجسته صهیونیسم گردید. یکبار دیگر، بیم از عدم محبوبیت، او را از بیان نظراتش بازنداشت. تئوریهای او زیر ضرب قرار گرفت: حتی یک سازمان ضد انشتین تأسیس شد. یک نفر به برانگیختن دیگران به قتل انشتین محکوم شد (و تنها شش دلار جریمه گردید). اما انشتین پروایی نداشت: وقتی کتابی بنام **صد نویسنده علیه انشتین** بچاپ رسید پاسخ او چنین بود: «اگر من بر خطا بودم، آنگاه یک نفر هم کافی بود!»

در سال ۱۹۳۳، هیتلر بقدرت رسید. انشتین در آمریکا به سر می‌برد و اعلام کرد که به آلمان باز نخواهد گشت. سپس، وقتی میلیشیای نازی به خانه اش حمله برد و حساب بانکی اش را مصادره کرد، یک روزنامه برلینی با تیتر درشت نوشت: «خبرهای خوب ــ انشتین به آلمان بار نمی‌گردد.» در برابر تهدید نازیسم، انشتین دست از صلح طلبی کشید، و در نهایت، از بیم آنکه مبادا دانشمندان آلمانی بمب اتمی بسازند، پیشنهاد کرد که ایالات متحده باید در این مورد دست بکار شود. اما حتی قبل از آنکه نخستین بمب اتمی منفجر شود، او خطرات جنگ هسته ای را گوشزد می‌کرد و کنترل بین المللی تسلیحات هسته ای را پیشنهاد می‌نمود.

تلاش های انشتین برای تحکیم صلح در طول زندگیش، احتمالاً دستاورد پایدار اندکی ببار آورد ــ و البته دوستان کمی گردش جمع شدند. اما پشتیبانی پرسروصدایش از آرمان صهیونیسم، بی پاداش نماند و در سال ۱۹۵۲ پست ریاست جمهوری اسرائیل به او پیشنهاد شد. او نپذیرفت و گفت

که برای سیاست بیش از حد ساده است. اما شاید دلیل اصلی او چیز دیگری بود: باز هم از قول او بخوانید: «معادلات برای من مهمترند چرا که سیاست برای زمان حال است و یک معادله برای ابدیت.»

# گالیـــلئو گالیـــله

گالیله شاید بیش ازهرفرددیگری،مسئول تولدعلم نوین باشد. مجادله معروف او با کلیسای کاتولیک در کانون فلسفه اش قرار داشت،چراکه اواز نخستین کسانی بود که استدلال کرد بشر می‌تواند امیدوار باشد که چگونگی کارکرد جهان را درک کند و این مهم با مشاهده جهان واقعی تحقق می‌پذیرد.

گالیله از همان آغاز به‌نظریه کوپرنیکی (سیارات در مدار خورشید می‌گردند) باور داشت اما تنها وقتی علناً به‌پشتیبانی از آن برخاست که گواه لازم را برای دفاع از آن فراهم آورد. او به‌زبان ایتالیایی (ونه به‌لاتین آکادمیک) درباره نظریه کوپرنیک مطالبی نوشت و بزودی افکارش در خارج از دانشگاهها، هوادارانی گسترده یافت. این موضوع استادان ارسطوئی را برآشفت و آنان را برعلیه او متحد ساخت. این استادان درصدد برآمدند کلیسای کاتولیک را متقاعد کنند که کوپرنیک گرایی را موقوف سازد.

گالیله نگران شد و به‌رم رفت تا با مقامات روحانی گفتگو کند. او

استدلال کرد که هدف از کتاب مقدس آن نیست که تمامی نظریه های علمی را بازگو نماید و ادامه داد که طبق معمول هر جا که کتاب مقدس با عقل سلیم تعارض دارد، بنابر روش معمول، فرض می‌شود که مطلب به زبان تمثیلی ادا شده است. اما کلیسا که بیم آن داشت به پا شدن هیاهو و جنجال به مبارزه اش علیه پروتستانیزم آسیب برساند، اقدامات سرکوبگرانه در پیش گرفت و در ۱۶۱۶ کوپرنیک گرایی را «خطا و نادرست» خواند و به گالیله فرمان داد هرگز دوباره ازین نظریه دفاع نکند و از آن دست بکشد. گالیله به این فرمان تن در داد.

در ۱۶۲۳، یک دوست دیرینه گالیله، پاپ شد. گالیله فوراً کوشید تا فرمان ۱۶۱۶ را ملغی سازد. او موفق نشد، اما توانست اجازه نوشتن کتابی را پیرامون نظریه های ارسطویی و کوپرنیکی بدست آورد بدو شرط: او باید جانب بی طرفی را بگیرد و چنین نتیجه گیری کند که بشر در هر صورت نمی‌تواند سر ازکارجهان دربیاورد، چرا که خداوند می‌تواند تأثیرات یکسانی را از راههایی که بفکر انسان خطور هم نمی‌کند، تحقق بخشد و انسان نمی‌تواند قدرت مطلقه او را محدود سازد.

کتاب **مناظره در رابطه با دو دستگاه جهانی عمده**، در سال ۱۶۳۲ با پشتیبانی کامل دستگاه سانسور، تکمیل شد و بچاپ رسید و بسرعت درسراسر اروپا بعنوان شاهکاری ادبی و فلسفی مورد استقبال قرار گرفت. بزودی پاپ دریافت که مردم کتاب را به چشم دلیلی متقاعد کننده بنفع کوپرنیک گرایی می‌نگرند و از اجازه انتشار آن پشیمان شد. پاپ گفت که اگر چه کتاب با موافقت رسمی سانسور چاپ شده است، با اینهمه گالیله فرمان ۱۶۱۶ را نقض کرده است. او گالیله را به دادگاه تفتیش عقاید فراخواند و در آنجا گالیله محکوم به زندگی تحت نظر در خانه اش شد و دادگاه تفتیش عقاید به او فرمان داد تا علناً از کوپرنیک گرایی دوری جوید. گالیله برای دومین بار تسلیم شد.

گالیله یک کاتولیک مؤمن باقی ماند، لیکن ایمان او به استقلال علم از بین نرفت. چهار سال پیش از مرگش، هنگامیکه همچنان در خانه اش

بازداشت بود، دست‌نویس دومین کتاب عمده‌اش، بطور قاچاق بدست ناشری هلندی رسید. این اثر که بنام **دو علم نوین** شهرت یافت، حتی بیش از پشتیبانی‌اش از کوپرنیک، به‌ام‌الکتاب فیزیک جدید تبدیل شد.

# اســحاق نیــوتون

اســحاق نیــوتــن فــردی خــوش‌مشرب نــبــود. رابطه‌اش بـا دیـگـر آکادمیسین‌ها بد بود و بیشتر واپسین دوره زندگیش به‌منازعات و درگیریهای داغ سپری شد. پس از انتشار **اصول ریاضی** ــ که بی تردید پرنفوذترین کتاب تاریخ فیزیک است ــ نیوتن به‌سرعت معروفیت و شهرت عام پیدا کرد. او به‌ریاست انجمن سلطنتی گماشته شد و نخستین دانشمندی بود که به‌مقام شوالیه گری دست یافت.

نیوتن بزودی با منجم سلطنتی، جان فلم ستید درافتاد. این شخص پیشتر اطلاعات فراوانی را که بهنگام نگارش **اصول**، مورد نیاز نیوتن بود، در اختیارش قرار داد، اما اینک از دادن اطلاعاتی که نیوتن می‌خواست، سر باز می‌زد. نیوتن پاسخ نه را نمی‌پذیرفت؛ او کاری کرد که خود به‌عضویت نهاد حاکم بر رصدخانه سلطنتی منصوب گردد و سپس کوشید تا اطلاعات به‌سرعت انتشار یابد. سرانجام ترتیبی داد که کارهای فلم استید توسط دشمن قسم خورده او، ادموندهالی، ضبط و آماده چاپ شود. اما فلم استید بدادگاه

شکایت کرد و سربزنگاه دعوا را برد و دادگاه دستور داد که از توزیع کارهای مسروقه جلوگیری شود. نیوتن برآشفت و در چاپهای بعدی **اصول** کلیه موارد رجوع به فلم ستید را حذف نمود و به این ترتیب انتقام خود را ازو گرفت.

مجادله جدی تری بین او و فیلسوف آلمانی گوتفرید لایبنیتز درگرفت. لایبنیتزو نیوتن هر دو بطور مستقل شاخه ای از ریاضیات را بوجود آورده بودند بنام کالکولس، که بنیاد بخش اعظم فیزیک نوین است. اکنون می‌دانیم که نیوتن سالها پیش از لایب نیتز کالکولس را کشف کرده بود، اما مدتها بعد کارش را منتشر ساخت. برسرآنکه چه کسی این کشف را زودتر انجام داد، جنجالی بزرگی بپا شد و دانشمندان با تمام قوا به جانبداری از یکی ازیندو رقیب پرداختند. اما خوب است بدانید که بیشتر مقالا تی که به دفاع از نیوتن به چاپ رسید، در اصل بوسیله خود او نوشته شده بود ــ و تحت نام دوستان انتشار می‌یافت! با بالا گرفتن جنجال، لایب نیتز به خطا به انجمن سلطنتی متوسل شد تا دعوا را حل کند. نیوتن به‌عنوان رئیس انجمن، هیئتی «بی طرف» را مأمور رسیدگی کرد که تصادفاً همگی از دوستان نیوتن از آب درآمدند! اما این همه ماجرا نبود: سپس نیوتن خود گزارش هیئت را نوشت و انجمن سلطنتی آنرا منتشر ساخت. در این گزارش رسماً لایب نیتز به سرقت آثار علمی متهم شده بود. نیوتن که هنوز کاملاً راضی نشده بود، مقاله ای بدون امضا در نشریه انجمن سلطنتی به چاپ رساند و در آن، به‌مرور و بازنگری گزارش مزبور پرداخت. می‌گویند پس از درگذشت لایب‌نیتز،نیوتن اعلام کرد که از «شکستن قلب لایب نیتز، بسیار خشنود شده است.»

در طول این دو مجادله، نیوتن کمبریج و فرهنگستان را ترک گفت. او در کمبریج و بعداً در پارلمان فعالیت های ضدکاتولیکی داشت و سرانجام به سمت پردرآمد سر پرست ضرابخانه سلطنتی منصوب شد. در اینجا، او استعداد خود برای آزار و گمراهی را در مسیری که از نظر اجتماعی قابل قبول تر بود، بکار انداخت ومبارزه‌مهمی را بر علیه تقلب و جعل رهبری نمود، و حتی چند تن را به بالای دار فرستاد.

# افزودگی

# دیدگاه مردمان نسبت به علم[1]

چه بخواهیم و چه نخواهیم جهانی که در آن زیست می‌کنیم در یکصد سال گذشته دستخوش تغییرات بسیاری شده است و چه بسا در یکصد سال آینده دگرگونیهای بیشتری هم پیدا کند. برخی‌ها دوست دارند این تغییرات را متوقف سازند و به روزگاری که می پندارند ساده‌تر و منزه‌تر است باز گردند. همان گونه که تاریخ نشان می‌دهد، گذشته چندان هم دل‌انگیز و شگفت نیست و اگر چه برای اقلیت ممتاز چندان بد نبود، اما باید توجه داشت که آنان از داروهای امروز بی‌بهره بودند و زنان هنگام زایمان در معرض خطر بزرگی قرار داشتند. زندگی برای گروه کثیری از مردم، کوتاه، خشن و دشوار بود.

به هر روی حتی اگر کسی بخواهد عقربه زمان را به عقب برگرداند، چنین کاری از او ساخته نیست. دانش و فن را نه می‌توان به سادگی از یاد برد و نه می‌توان از پیشرفت آینده جلوگیری کرد. اگر همه بودجه‌های دولتی پژوهش و تحقیق قطع شود، نیروی رقابت همچنان پیشرفت فناوری را به ارمغان خواهد آورد.

افزون بر آن کسی نمی‌تواند ذهنها را از اندیشیدن و پرسشگری پیرامون علوم پایه باز دارد

---

۱- برگرفته از کتاب «سیاهچاله‌ها و جهانچه‌ها و مقالات دیگر» نوشته استیون هاوکینگ، چاپ ۱۹۹۳.

هرچند ازین بابت پولی به اندیشمندان پرداخت بشود یا نشود. تنها راه جلوگیری از پیشرفت عبارت است از پدید آمدن یک حکومت جهانی توتالیتر که هر چیز تازه و جدید را سرکوب نماید، با این همه نیروی نوآوری و نبوغ بشر چنان است که حتی این ترفند نیز راه به جایی نمی‌برد و تنها می‌تواند نرخ و سرعت تغییرات را کند نماید.

اگر بپذیریم که نمی‌توانیم دانش و فن را از تغییر جهانمان باز داریم، دست کم می‌توانیم بکوشیم اطمینان حاصل نماییم که تغییرات در سمت و سوی درستی انجام می‌پذیرد. این امر در یک جامعه مردم سالار به معنای آن است که مردم نیاز به آگاهی و شناخت پایه‌ای از دانش دارند تا بتوانند تصمیم‌های آگاهانه بگیرند و تصمیم‌گیری را تنها به عهده کارشناسان نگذارند. هم اکنون مردم دیدگاهی متناقض نسبت به علم دارند. آنان از یکسو انتظار دارند استانداردهای زندگیشان بر اثر پیشرفتهای دانش و فن بالا رود. اما از سوی دیگر به دانش و علم بی اعتمادند چرا که از درک آن عاجزند. این بی اعتمادی در شخصیت کارتونی دانشمند دیوانه‌ای که در آزمایشگاه خود به ساختن فرانکشتین مشغول است، تجلی می‌یابد و همچنین عنصر مهمی در پشتیبانی عموم از احزاب سبز می‌باشد. اما مردم علاقه وافری به دانش و به ویژه اخترشناسی و داستانهای تخیلی علمی دارند و گواه آن، انبوه بینندگان سریالهای تلویزیونی چون کاسموس (Cosmos) است. برای مهار این اشتیاق و علاقه و دادن زمینه علمی لازم به مردمان جهت گرفتن تصمیم‌های آگاهانه درباره بارانهای اسیدی، اثر گلخانه‌ای، جنگ افزارهای اتمی و مهندسی ژنتیک چه می‌توان کرد؟ روشن است که چاره بنیادی در آموزشهای دبستان یافت می‌شود. اما علم در دبستان به گونه‌ای خشک و غیر جالب عرضه می‌گردد. کودکان آن را به طور حفظی و برای قبولی در امتحان فرا می‌گیرند و ارتباطی میان آن و دنیای پیرامون نمی‌بینند. افزون بر آن دانش بر حسب معادلات آموخته می‌شود. اگر چه معادلات راهی کوتاه و دقیق برای توضیح اندیشه‌های ریاضی است، اما بیشتر مردمان را می‌ترساند. هنگامی که کتابی پیرامون علم برای عموم مردمان می‌نوشتم (تاریخچه زمان)، به من گفته شد که هر معادله ریاضی که در کتاب بگنجانم، فروش کتاب به نصف کاهش می‌یابد. من فرمول معروف آینشتین $E=mc^2$ را در کتاب ذکر کردم. بدون این فرمول شاید خوانندگان کتاب من دو برابر می‌شدند. دانشمندان و مهندسان دوست دارند اندیشه‌های خود

را به صورت معادلات بیان کنند چراکه لازم است مقدار دقیق کمیت‌ها را بدانند. اما برای بقیه ما درک کیفی مفاهیم علمی کافی است و این در قالب واژه‌ها و نمودارها و بدون معادلات امکانپذیر است.

دانشی که در دبستان آموخته می‌شود چهارچوب اصلی را فراهم می‌آورد. اما شتاب پیشرفت علمی چندان زیاد است که همواره دستاوردهای علمی تازه‌ای نسبت به آنچه در دبستان ودانشگاه آموخته‌ایم وجود دارد. من هرگز درباره زیست‌شناسی مولکولی یا ترانزیستورها چیزی در دبستان نیاموختم، اما مهندسی ژنتیک و کامپیوترها دو پدیده‌ای هستند که راه رسم زندگی ما را در آینده دگرگون خواهند ساخت.

مقاله‌های مجلات و کتابهای علمی مردم پسند در مطرح ساختن تحولات دانش کمک مهمی به شمار می‌روند اما موفق‌ترین کتاب علمی مردم پسند نیز تنها به وسیله گروه کوچکی از مردم خوانده می‌شود. تنها تلویزیون مخاطبانی انبوه دارد و برخی برنامه‌های علمی بسیار خوب از تلویزیون پخش می‌شود. اما در بسیاری موارد شگفتیهای علمی صرفاً همچون جادو عرضه می‌گردند بی‌آنکه توضیح داده شود که چگونه در چهارچوب اندیشه‌های علمی می‌گنجند. تهیه کنندگان برنامه‌های تلویزیونی علمی باید بدانند که وظیفه آنان آموزش و نه صرفاً سرگرم کردن مردمان می‌باشد.

آن موضوعات مرتبط با علم که مردمان در آینده باید برای آنان تصمیم‌گیری کنند کدامند؟ فوری‌ترین موضوع جنگ افزارهای هسته‌ای می‌باشد. دیگر مسایل جهانی همچون تغذیه یا اثر گلخانه‌ای چندان فوریتی ندارد. اما یک جنگ هسته‌ای به معنای پایان زندگی بشر روی کره زمین ظرف چند روز است.

کاهش تنش‌های میان غرب و شرق بر اثر پایان جنگ سرد موجب پس رفتن واهمه جنگ هسته‌ای از وجدان آگاه بشر شده است، اما خطر تا زمانی که جنگ‌افزار کافی برای کشتن چندین برابر جمعیت جهان وجود دارد، همچنان پابرجاست. در شوروی سابق و در امریکا، جنگ افزارهای هسته‌ای آماده‌اند تا همه شهرهای بزرگ را در نیمکره شمالی نابود سازند. یک اشتباه کامپیوتر یا یک نافرمانی از سوی مسئولان نگهداری جنگ افزارهای هسته‌ای کافی است تا آتش جنگ جهانی را بر افروزد.

نگران کننده‌تر آنکه قدرت‌های کوچکتری اینک در پی بدست آوردن این سلاح مرگبار می‌باشند. قدرتهای بزرگ تا کنون به گونه مسئولانه‌ای رفتار کرده‌اند اما به قدرتهای کوچکتر نظیر عراق و پاکستان نمی‌توان اطمینان کرد. اگر چه جنگ‌افزارهای هسته‌ای که قدرتهای کوچک به زودی به دست خواهند آورد می‌تواند باعث مرگ میلیونها تن شود، هر چند نسبتا ابتدایی می‌باشند و خطر اصلی را تشکیل نمی‌دهند. خطر اصلی آن است که یک جنگ هسته‌ای میان دو قدرت کوچک می‌تواند قدرتهای بزرگ را با زرادخانه‌های عظیمشان به میدان نبرد بکشاند.

بسیار مهم است که مردمان خطر را درک کنند و بر همه دولتها فشار بیاورند که با کاهش قابل ملاحظه تسلیحات موافقت نمایند. شاید از میان برداشتن کامل جنگ افزارهای هسته‌ای عملی نباشد اما می‌توان با کاستن از شمار جنگ‌افزارها خطر را کاهش داد.

اگر بتوانیم از یک جنگ هسته‌ای اجتناب ورزیم، همچنان خطرهای دیگری وجود دارند که می‌توانند همه ما را نابود سازند. لطیفه‌ای هست که می‌گوید علت عدم ارتباط تمدنهای بیگانه فضایی با بشر آن است که تمدنها وقتی به مرحله تکامل بالایی همچون مرحله کنونی ما می‌رسند، خود را نابود می‌سازند. اما من به عقل سلیم مردمان بس ایمان دارم و معتقدم که میتوانیم خلاف چنین اندیشه‌ای را ثابت نماییم.

# استیون هاوکینگ، انفجار بزرگ و خداوند[1]

کتاب تاریخچه زمان استیون هاوکینگ پرخواننده‌ترین کتابی است که تاکنون درباره کیهان‌شناسی نوشته شده است. پرسشهایی که کیهان‌شناسی مطرح می‌سازد از نظر علمی و از منظر الهیات ژرف می‌باشند. کتاب هاوکینگ هر دوی این عرصه‌ها را پوشش می‌دهد.

کیهان‌شناسی مطالعه جهان چونان یک کل است. مطالعه ساختار، سرچشمه و تکامل آن. من به همه پرسشهایی که هاوکینگ درباره کیهان‌شناسی مطرح

---

۱- مقاله زیربازنویس بخشهای عمده‌ای ازسخنرانی دکترفریتز شفر(Fritz Schaefer) است که در دانشگاه کلورادوی امریکا در بهار ۱۹۹۴ و به دعوت رهبری مسیحی و دیگر مسئولان دانشگاه انجام شد.بیش از پانصد تن از دانشجویان و استادان به شنیدن این سخنرانی آمده بودند.
دکتر فریتز شفر(Fritz Schaefer) استاد شیمی و رئیس مرکز شیمی کوانتومی محاسباتی دانشگاه جرجیا(Georgia) است. روزنامه اخبار جهان و امریکا در ۲۳ دسامبر ۱۹۹۱ از قول او می‌نویسد «من در لحظاتی که چیز تازه‌ای را کشف می‌کنم به خود می‌گویم پس خداوند این چنین آفرینش خود را انجام داد! هدف من فهمیدن گوشه‌ای از نقشه خداوندگار است. این است سرچشمه اهمیت و شادی پژوهش‌های علمی من».

می‌سازد پاسخ نخواهم داد اما خواهم کوشید پیرامون بسیاری از آنان نظریاتی را بیان کنم. در اینجا باید یادآور شوم که نباید کیهان‌شناسی (Cosmology) را با هنر آرایش مو و پوست و ناخن‌ها (cosmetology) اشتباهی بگیرید! برخی از پرسشهایی که کیهان‌شناسی مطرح می‌سازد عبارتنداز (در این سخنرانی من از کتابهای بسیار خوب هیو راس (Hugh Ross) اختر فیزیک شناس به نامهای «ردپای خداوند» و «کیهان و آفریدگار» استفاده کرده‌ام.):

۱- آیا جهان در گستره و عمق بیکران و نامحدود است یا محدود؟

۲- آیا ازلی است یا آغازی دارد ؟

۳- آیا آفریده شده است؟ اگر نه چگونه به اینجا رسیده است؟ و اگر آری این آفرینش چگونه انجام پذیرفت و از این عامل و رخدادهای آفرینش چه می‌توان آموخت؟

۴- برقوانین و ثابت‌های فیزیک چه کسی یا چه چیزی حکمفرماست؟ آیا چنین قوانینی محصول بخت و شانس هستند یا طراحی شده‌اند؟ چنین قوانینی چگونه به ایجاد و تکامل زندگی مربوط می‌شوند ؟

۵- آیا هیچ وجود شناخت‌پذیر دیگری فراتر از ابعاد شناخته شده جهان موجود است؟

۶- آیا جهان به گونه برگشت ناپذیری به جلو می‌رود یا به عقب برخواهد گشت؟

بگذارید از پنج دلیل سنتی اثبات وجود خداوند آغاز کنیم. شاید به نظر رسد شروع مناسبی برای این بحث نباشد اما فکر می‌کنم با گذشت زمان این دلیل‌ها مطرح خواهند شد. منظور من آن نیست که الان بگویم این دلایل معتبرند یا نه، اما علت ذکر آنها آن است که در تمامی ادبیات اختر فیزیک اغلب به این دلایل رجوع می‌شود:

**۱- برهان کیهان شناختی:**

جهان به عنوان یک معلول باید علتی شایسته داشته باشد.

**۲- برهان الهیات:**

طراحی جهان مؤید وجود هدف یا جهتی در ورای آن است.

**۳- برهان عقلی:**

کارکرد منظم و قانونمند جهان بیانگر وجود یک ذهن در ورای آن است.

**۴- برهان بودشناسی:**

تصور بشر از خداوند (آگاهی او نسبت به خداوند) حاکی از وجود خداوندی است که چنین آگاهی را در ذهن او نهاد.

**۵- دلیل اخلاقی:**

حس درونی خوب و بد در بشر را می‌توان تنها با یک آگاهی ذاتی از قوانین اخلاقی که به وسیله موجودی متعالی در او به ودیعه گذاشته شده است، توضیح داد.

## انفجار بزرگ

تنی چند از دانشمندان بسیار برجسته از نقطه نظر فلسفی با انگاشتن آغاز مشخصی برای جهان مخالفت کرده‌اند. برای نمونه از آرتور ادینگتون (Arthur Eddington) که با انجام آزمایشی نظریه نسبیت عام آینشتین را در سال ۱۹۱۹ مورد تأیید قرار داد، آغاز می‌کنیم. او چندین سال بعد اظهار داشت «از نظر فلسفی، انگاشتن آغازی برای نظم کنونی جهان به نظرم ناهمساز است و من مایلم یک حلقه واقعی و اصیل پیدا کنم.» سپس افزود «زمان نامتناهی لازم بود تا تکامل آغاز شود».

آلبرت آینشتین ظاهراً پذیرفت که پیامدهای نظری فرضیه نسبیت عام می‌تواند به نوعی با اندیشه خداوند مواجهه نماید. می‌توان از طریق معادلات نسبیت عام، سرچشمه جهان را تا آغاز آن رد یابی کرد. اما آینشتین پیش از انتشار استنتاجات کیهان شناختیش، ضریب ثابت کیهانی را معرفی نمود تا یک مدل ایستا از جهان به دست دهد. او بعدها این رخداد را بزرگترین اشتباه زندگی علمی

خود دانست.

آینشتین نهایتاً با بی میلی «ضرورت یک آغاز» و سرانجام «حضور یک نیروی خردمند» را پذیرفت. اما هرگز واقعیت یک آفرینشگر شخصی را نپذیرفت.

چرا در برابر اندیشه آغازی مشخص برای جهان چنین مقاومت می‌شود؟ این امر درست از دلیل اول خداشناسی یعنی برهان کیهان شناختی ناشی می‌گردد: (الف) هر چیز که بوجود می‌آید باید علتی داشته باشد ؛ (ب) اگر جهان آغازی داشته باشد آنگاه (پ) جهان باید علتی داشته باشد. جهت و سمت و سوی این استدلال برای برخی فیزیکدانان چندان خوشایند نیست.

در سال ۱۹۴۶، دانشمندی روس تبار به نام جرج گاموف (George Gamov) پیشنهاد کرد که گلوله آتشین آغازین، انفجار بزرگ، تمرکز شدید انرژی ناب و سرچشمه همه ماده موجود در جهان بوده است. این فرضیه پیش‌بینی می‌کرد که بر اثر انفجار آغازین تمامی کهکشانهای جهان باید با سرعتی زیاد از یکدیگر دور شوند. در فرهنگ لغات تعریف زیر را برای «انفجار بزرگ» می‌توان یافت: «همه جهان فیزیکی، تمامی ماده و انرژی و حتی چهار بعد زمان و مکان، از یک حالت بی‌نهایت یا تقریباً بی‌نهایت چگال، داغ و فشرده، دچار انفجار گردید.»

با مشاهده میکرو ویو زمینه توسط آرنوپنزیاس و رابرت ویلسون از آزمایشگاه‌های تلفن بل در ۱۹۶۵ بیشتر دانشمندان اعتبار نظریه انفجار بزرگ را پذیرفتند. مشاهدات دیگر که در سال ۱۹۹۲ گزارش شده اجماع موجود بر سر این نظریه را به اتفاق نظر مبدل ساخت. جهان حدود پانزده میلیارد سال پیش آغاز شد.

مشاهدات انجام شده در سال ۱۹۹۲، توسط COBE (ماهواره پژوهشگر زمینه کیهانی متعلق به ناسا) صفحه اول بسیاری از روزنامه‌های جهان را به خود اختصاص داد. تایمز لندن ونیویورک تایمز و برخی دیگر روزنامه‌ها اظهار نظر

سرپرست گروه آزمایشگاه لارنس ـ برکلی را به چاپ رساندند: «گویی به خداوند می‌نگریم.» بدیهی است توجه همگانی به این موضوع جلب شد.

اظهار نظر نسبتاً سنجیده‌تری درباره یافته‌های بالا، از سوی یک مورخ علم به نام فردریک برنهام (Fredrick Barnham) اعلام گردید.

او گفت: «اینک این یافته‌ها، اندیشه آفرینش جهان توسط خداوند را بیش از هر زمان دیگر در صد سال گذشته مورد توجه قرار داده است.»

البته همه از مشاهداتی که نظریه به اصطلاح "انفجار بزرگ" را تأیید می‌کرد، به وجد نیامدند. آنان که مجدانه از مدل ایستای جهان هواداری می‌کردند، از تفسیرهای مترتب بر این نتایج خوششان نیامد.

به ویژه ستاره‌شناس بریتانیایی، فرد هویل (Fred Hoyle) و اختر فیزیکدان معروف در دانشگاه کالیفرنیا در سن دیگو به نام جفری بربیج (Jeffrey Burbidge).

با ارزیابی اظهارات بربیج (که در یک مناظره رادیویی با هیو راس ابراز شد) می‌توان به پیامدهای فلسفی این مشاهدات پی برد. بربیج آزمایش جدید را کوچک می‌شمرد.

او به رغم گواههای نیرومند، همچنان هوادار نظریه جهان ایستاست. او معتقد است آزمونهای جدید سرچشمه در کلیسای مسیحی دارد. همکار سابق من در آزمایشگاه لارنس - برکلی به نام جرج اسموت (George Smoot)، این اظهارات را رد می‌کند و مصرانه بر آن است که مشاهداتش به هیچ وجه رنگی از پیش فرضهای مذهبی ندارد.

بربیج به درستی بر آن است که نظریه مورد علاقه او هندوییزم و نه مسیحیت را تأیید می‌کند. نظریه جهان ایستا ـ چنانچه درست باشد ـ بر چرخه‌های بی پایان که از آموزه‌های هندوییزم است مهر تأیید می‌زند. نظریه انفجار بزرگ گواهی بزرگ بر علیه هندوئیزم است.

هیو راس اخترفیزیکدان، نوشته‌های متقاعد کننده‌ای در این زمینه دارد و

پیامدهای ضمنی فلسفی را مطرح می‌سازد. راس می‌گوید بنابر تعریف، «زمان، بعدی است که پدیده علت و معلول در آن رخ می‌دهد... اگر همان گونه که نظریه فضا ـ زمان می‌گوید آغاز زمان مقارن با آغاز جهان باشد، آنگاه علت جهان باید موجودی باشد که در بعد زمانی کاملاً مستقل و اسبق نسبت به بعد زمانی جهان، عمل می‌نماید. این نتیجه برای درک ما از اینکه خداوند کیست و که یا چه نیست بسیار اهیمت دارد. بر این پایه آفریدگار موجودی متعالی است و فراتر از محدودیت‌های ابعادی جهان عمل می‌کند. خداوند خود جهان نیست و درون جهان نمی‌گنجد.»

دو دیدگاه بسیار رایج وجود دارد که ما را به نتایج فلسفی و متافیزیکی مهمی می‌رساند. اگر نظریه انفجار بزرگ درست است آنگاه می‌توان نتیجه گرفت که خداوند همان جهان نیست (یک دیدگاه رایج) و خداوند درون جهان نمی‌گنجد (دیدگاه رایج دیگر).

استیون هاوکینگ می‌گوید «نقطه واقعی آفرینش از دامنه قوانین فیزیک که تا کنون بشر بر آن دست یافته است، بیرون است» و یک گیتی شناس بسیار بر جسته اما کمتر شناخته شده به نام پرفسور الن گوث از MIT می‌گوید «لحظه آفرینش توضیح‌ناپذیر است.»

دوست دارم چند جمله از کتابی که خواندنش را توصیه نمی‌کنم، نقل کنم. این کتاب ذره خدا (God Particle) نام دارد و توسط یک فیزیکدان با هوش و برنده جایزه نوبل به نام لئون لدرمان (Leon Lederman) نوشته شده است. اگر چه عنوان آن بسیار پر جاذبه است، اصل اطلاعات آن در پاراگراف اول نهفته است. بقیه کتاب به ساختن SSC ، ابر رسانا ـ ابر برخورد کننده می‌پردازد که می‌دانیم قرار نیست ساخته شود. از این رو کتاب تا حدی همانند آزمون ریپ‌ون وینکل (Rip Van Winkle) است. اما نخستین پاراگراف شگفت‌انگیز است و آنچه را تا کنون گفته‌ام به کوتاهی بازگو می‌کند:

«در آغاز خلأ وجود داشت، شکلی عجیب از حالت تهی و عدم بدون فضا،

زمان، ماده، نور و صدا. اما قوانین طبیعت برقرار بود و این خلأ شگفت نیروی بالقوه‌ای در برداشت. یک داستان منطقاً از آغاز شروع می‌شود، اما داستان گیتی متأسفانه هیچ اطلاعاتی درباره لحظه آغاز به دست نمی‌دهد، هیچ اطلاعی، صفر. ماهیچ چیز درباره جهان نمی‌دانیم تا اینکه به یک میلیونیوم از یک تریلیونیوم ثانیه می‌رسیم، یعنی زمان بسیار کوتاهی پس از انفجار بزرگ. هنگامی که دارید درباره تولد جهان، چیزی می‌خوانید یا می‌شنوید، در حوزه فلسفه قرار دارید. نویسنده یا گوینده دارد چیزهایی را سر هم می‌کند. تنها خداوند می‌داند که در آن اولین لحظات چه گذشت.»

این است همه آنچه لدرمان درباره خداوند در اولین پاراگراف می‌گوید و دیگر چیزی در این خصوص بیان نمی‌کند. آنچه کتاب هاوکینگ را این همه محبوب ساخته، آن است که او از آغاز تا پایان کتابش درباره خداوند سخن می‌گوید.

## استیون هاوکینگ

هاوکینگ احتمالاً معروفترین دانشمند زنده است. کتاب اوبه نام "تاریخچه زمان" با جلد شمیز نیز به چاپ رسیده است و من قویاً خواندنش را توصیه می‌کنم. این کتاب تا سال ۱۹۹۳ بیش از ده میلیون نسخه به فروش رفته است، و فکر می‌کنم ۵ میلیون نسخه با جلد زرکوب هم به فروش رسیده است.

در تاریخ کتابهای علمی چنین فروش گسترده‌ای تقریباً بی‌سابقه است.

فیلمی هم درباره کتاب تاریخچه زمان ساخته شد که آن هم خوب است. حتی کتابی هم در مورد این فیلم نوشته شد. هاوکینگ شوخ طبعی شگفت انگیزی دارد و در دیباچه دومین کتاب می‌نویسد «این کتاب درباره فیلم کتاب است. نمی‌دانم آیا می‌خواهند فیلمی درباره کتاب فیلم کتاب بسازند یا نه.»

دوست دارم بحث را با ذکر مطلبی درباره پژوهشهای هاوکینگ آغاز کنم. شهرت او مربوط به کنکاشهای مشروحش درباره مجموعه‌ای مشخص از مسائل

است: تکینگی و افق پیرامون سیاهچاله و آغاز زمان. اکنون کاملاً مسلم شده است که اگر با یک سیاهچاله روبه رو شوید، این آخرین چیزی است که مشاهده می‌کنید و این حقیقت دارد. سیاهچاله یک سیستم بسیار چگال و متمرکز است که هیچ چیز حتی نور یارای گریختن از پنجه نیرومندش را ندارد.

نخستین اثر عمده هاوکینگ به طور مشترک با یک فیزیکدان به نوبه خود مشهور به نام راجر پنروز (Roger Penrose) و جرج الیس (George Ellis) طی سالهای ۱۹۷۰-۱۹۶۸ نگاشته شد و به چاپ رسید.

آنها نشان دادند که هر پاسخ معادله نسبیت عام متضمن وجود یک مرز تکینه برای زمان و فضا در گذشته می‌باشد. این دستاورد اکنون قضیه تکینگی نام گرفته واز اهمیت سترگی برخوردار است.

سپس در سال ۱۹۷۴، به تنهایی آغاز به فرموله کردن اندیشه هایی پیرامون بخار شدن کوانتومی سیاهچاله‌های در حال انفجار نمود که اکنون به «تابش هاوکینگ» شهرت یافته است. همه اینها آثار بس مهم علمی به شمار می‌روند.

اثری که بیش از همه در کتاب تاریخچه زمان مورد اشاره و رجوع واقع شده، و بیش از همه نظریه پردازانه است، کار مشترکی با پروفسور جیمزهارتل (James Hartle) می‌باشد که در دانشگاه کالیفرنیا در سانتاباربارا به تدریس اشتغال دارد. با استفاده از یک مدل دقیق افت و خیز خلأ، آنهاتوانستند به زبان ریاضی جهش همه هستی به عالم وجود را در آغاز زمان بیان نمایند. این مدل "جهان چونان یک تابع موجی" نیز نامیده می‌شود. باید تأکید کنم که آنهااز مدلهای بسیار ساده‌ای سود جستند. اینک اگرچه چنین تمرینات ریاضی بسیار نظری است، ممکن است ما را به درک ژرفتری از رویداد آفرینش رهنمون سازد.

بی گمان هاوکینگ نامدارترین فیزیکدان در تاریخ است که جایزه نوبل را نربوده است. مردم از این امر شگفت زده‌اند. آنها به طور خود به خود فکر می‌کنند که او جایزه نوبل را برده است، در حالیکه هنوز چنین نیست، چرا که آکادمی سلطنتی سوئد لازم می‌داند یک کشف شایسته جایزه نوبل توسط آزمونها یا

مشاهدات تأیید شده باشد. کارهای هاوکینگ تاکنون ثابت نشده باقی مانده‌اند. با این همه ریاضیات نظریه او بسیار زیبا و استادانه است. دانش، تازه دارد وجود سیاهچاله‌ها را ثابت می‌کند چه رسد به اثبات "تابش هاوکینگ" یا هریک ازپیشنهادهای نظری رادیکال او.

به باور من ظرف یکی دو سال آینده شواهد بسیار متقنی برای وجود سیاهچاله‌ها به دست خواهیم آورد. و متأسفانه گمان می‌کنم کسی که جایزه نوبل را دریافت خواهد کرد، همانا مشاهده گری است که‌اطلاعات مربوط را ارائه می‌نماید. از این رو شاید هاوکینگ به این زودیها جایزه نوبل را دریافت نکند هر چند نام‌آورترین دانشمند جهان باشد. حتی اگر برخی جنبه‌های پژوهش هاوکینگ نادرست از آب در آید، او تأثیری ژرف بر تاریخ اندیشه علمی داشته است. نظر آینشتین درباره خیلی چیزها به ویژه مکانیک کوانتومی نادرست بود و با این همه ما او را به عنوان یکی از سه نابغه بزرگ فیزیک می‌شناسیم.

## و خداوند

«تار یخچه زمان» درباره خداوند بسیار سخن می‌گوید. در این کتاب از آغاز تا پایان از خداوند یاد شده است. پس اجازه دهید اندیشه‌های هاوکینگ درباره خداوند را در یک چهارچوب کلی مورد بررسی قرار دهیم. در واقع استیون هاوکینگ بسیار پیش از آنکه یک کیهان شناس شود نظرش را درباره خداوند سامان داده بود.

هنگامی که هاوکینگ ۱۳ ساله بود، قهرمان مورد علاقه‌اش فیلسوف آتئیست و ریاضیدان، برتراند راسل بود. در این سن، دو تن از دوستان هاوکینگ در نتیجه کوششهای بیلی گراهام (Billy Graham) در سال ۱۹۵۵ به مسیحیت گرویدند. به گفته زندگی‌نامه نویسان وی در سال ۱۹۹۲، هاوکینگ با "نوعی بیطرفی" خود را از این رخدادها بر کنار نگاه داشت. در کتاب تاریخچه زمان چیزی که به طور اساسی با دیدگاهای استیون هاوکینگ سیزده ساله متفاوت باشد یافت نمی‌شود.

مهمترین رویداد زندگی هاوکینگ در ۳۱ دسامبر ۱۹۶۲ بود. او با همسر آینده‌اش جین وایلد (Jane Wilde) در جشن شب سال نو آشنا شد. یک ماه بعد معلوم شد که او به بیماری ترسناکی به نام ALS دچار است. به او گفته شد ۲ سال بیشتر زنده نمی‌ماند.

این ماجرا به ۳۲ سال پیش بر می‌گردد، سه نفر از دوستان من از این بیماری مردند، بیماری هولناکی است. آنهاهر یک ۲، ۳ و ۵ سال بیشتر زنده نماندند. به باور همگان، زنده ماندن استیون هاوکینگ یک معجزه پزشکی است.

هاوکینگ در این مقطع از زندگی در سال ۱۹۶۲، یک فارغ التحصیل متوسط در دانشگاه کمبریج بود.

بگذارید از وایت (White) و گریبون (Gribbon) دو تن از زندگی‌نامه نویسان او نقل کنم:

«ظهور جین وایلد در زندگی استیون هاوکینگ نقطه عطفی به شمار می‌رود. هر دوی آنان چیزهای بسیار بیشتری درباره هم دانستند و رابطه محکمی پدیدار گردید. با یافتن جین، هاوکینگ توانست افسردگی خود را شکست دهد و امید تازه‌ای به زندگی و کارش به دست آورد. برای هاوکینگ نامزدی با جین شاید مهمترین رویداد زندگیش به شمار می‌رود. این رویداد زندگی او را تغییر داد، به او هدفی برای زنده ماندن عطا کرد و او را مصمم به زنده ماندن ساخت. بدون کمک جین، تقریباً محال بود او بتواند به زندگی ادامه دهد یا چنین اراده‌ای برای ادامه زندگی داشته باشد.»

آنان در جولای ۱۹۶۵ با یکدیگر ازدواج کردند. هاوکینگ خود می‌گوید «آنچه واقعاً باعث تغییر شد نامزدی من با زنی به نام جین وایلد بود. این رویداد چیزی برای زنده ماندن به من داد.»

جین هاوکینگ به نوبه خود شخص جالبی است. او بزودی تصمیم گرفت رشته تحصیلی برگزیند که تا حد امکان از رشته شوهرش متفاوت باشد. او دکترای "ادبیات پرتغال در سده‌های میانه" دارد.

جین هاوکینگ یک مسیحی است. او در سال ۱۹۸۶ گفت «بدون ایمان به خداوند هرگز قادر به زندگی در این وضعیت نبودم»، یعنی شرایط جسمانی بسیار بد همسرش. «اساساً قادر به ازدواج با استیون نبودم چرا که خوش بینی لازم برای ادامه روابط و توان زندگی با او را نداشتم.»

علت فروش ده میلیون نسخه از این کتاب، یا دلیل موفقیت هاوکینگ در عمومی کردن دانش آن است که او به مسائل معنا و هدف که دغدغه همه مردمان اندیشمند است، پرداخته است.

کتاب با باور مسیحی همپوشی دارد. این کار عامدانه اما بزرگوارانه و بدون تنگ‌نظری انجام پذیرفته است. این کتابی مهم است که باید با احترام و توجه به آن پرداخت.

لازم نیست با هر آنچه در کتاب تاریخچه زمان آمده است موافق بود و خواهید دید که من با بخشهایی از آن مخالفم. گفته شده است که این کتاب ناخوانده‌ترین نوشتار تاریخ ادبیات است. من نخست این مطالب را برای یک سخنرانی در دسامبر ۱۹۹۲ آماده کرده بودم زیرا دوستی در استرالیا آن را از من خواسته بود. او می‌گفت: «عده زیادی از مردم سیدنی این کتاب را خریده‌اند و برخی ادعا می‌کنند آن را خوانده‌اند.» بنابراین من به شما سفارش می‌کنم که از کسانی باشید که واقعاً «تاریخچه زمان» را بخوانید.

## بخش دوم

سخن را از جنبه‌های فلسفی «تاریخچه زمان» که در واقع علت فروش بسیار بالای آن است، آغاز می‌کنیم. استیون هاوکینگ می‌گوید «بدون اشاره به مفهوم خداوند بحث درباره آغاز جهان دشوار است. کارهای من در خصوص سرچشمه جهان در مرز میان علم و دین قرار دارد، اما من می‌کوشم در طرف علمی مرز بایستم. کاملا ممکن است خداوند به گونه‌ای عمل نماید که نتوان آن را توسط قوانین علمی توصیف نمود، اما در این صورت

تنها باید بر پایه ایمان شخصی عمل نمود.»

هاوکینگ در پاسخ به این پرسش که آیا معتقد است علم و مسیحیت دو نظرگاه رقیب جهانی هستند، می‌گوید «.... آنگاه نیوتن نمی‌بایست قانون گرانش را کشف کند.» او می‌دانست که نیوتن عقاید استوار دینی داشت.

«تاریخچه زمان» سخنانی را در بردارد که به گونه‌ای شگفت‌انگیز مبهم می‌باشند همانند «حتی اگر تنها یک نظریه یکپارچه ممکن وجود داشته باشد [در اینجا او پیرامون وحدت مکانیک کوانتومی با درکی از گرانش سخن می‌گوید] تنها مجموعه‌ای از قوانین و معادلات است. آن دم مسیحایی چیست که به این معادلات معنا می‌بخشد و جهانی می‌آفریند تا معادلات به توصیف آن بنشینند؟»من به این سخنان عشق می‌ورزم.

هاوکینگ با آلبرت آینشتین بدلیل ناباوری نسبت به مکانیک کوانتومی، شوخی می‌کند. هنگامی که از آینشتین پرسیدند چرا به مکانیک کوانتومی باور ندارد پاسخ داد «خوب خداوند دوست ندارد با آدمیان تاس بازی کند.» پاسخ هاوکینگ آن است که خداوند نه تنها تاس بازی می‌کند بلکه آن را جایی می‌اندازد که کسی نتواند آن را ببیند.

نخستین باری که به خواندن تاریخچه زمان پرداختم، پس از مطالعه ۱۲۲ صفحه اندیشیدم «کتاب بسیار خوبی است ؛ هاوکینگ دارد ماجرای آفرینش را توسط موجودی هوشمند باز سازی می‌کند.» اما پس از آن همه چیز تغییر می‌کند و فلسفه و الهیاتی ضعیف جایگزین این قصیده با شکوه کیهان‌شناسی می‌شود.

برای نمونه او می‌نویسد: «این قوانین ممکن است در اصل توسط خداوند وضع شده باشند، اما به نظر می‌رسد از آن پس او گیتی را به حال خود واگذاشته تا مطابق آن قوانین تحول یابند. او اینک در کارگیتی دخالت نمی‌کند.» هاوکینگ توضیح نمی‌دهد بر چه اساسی چنین حکمی به نظرش رسیده است.

بدین ترتیب این خداوند دیگر خداوند تاریخ انجیلی نیست. از این پس شاهد آمیزه‌ای شگفت از دئیسم (باور به وجود خداوند بر پایه دلایل منطقی محض) و باور به خداوند قادر مطلق می‌باشیم.

اینک بگذارید برای جلوگیری از سوء تفاهم بگویم که هاوکینگ به شدت اتهامات

آتئیستی و عدم اعتقاد به خداوند را رد می‌کند وبا عصبانیت تمام آنها را کاملاً نادرست می‌داند.

او یک لا ادری (agnostic) یا دئیست یا چیزی عمدتاً در این خطوط می‌باشد. او بدون شک یک آتئیست و منکر خداوند نیست و حتی چندان هواداری و سمپاتی نسبت به آتئیسم ندارد.

یکی از جمله‌های مشهورکتاب که بسیار از آن یاد می‌شود این است: «مادامی که جهان آغازی داشته باشد، می‌توان فرض کرد که آفریدگاری دارد [برهان کیهان‌شناسی]. اما اگر جهان به راستی کاملاً خودگنجا (Self Contained) است و مرز وکرانه‌ای نداشته باشد، آنگاه نه آغازی خواهد داشت و نه پایانی: جهان صرفا هست. آنگاه چه جایگاهی برای آفریننده می‌توان متصّور شد؟»

پس هاوکینگ در خصوص باورش به آفریدگار دچار تردید است.

در پایان کتاب می‌گوید «با این همه اگر ما یک نظریه کامل راکشف نماییم.... آنگاه بر ذهن خداوند آگاهی خواهیم یافت.» من طرفدار این نظر هستم اما فکر می‌کنم او در این مدعا اندکی به گزافه سخن گفته است. من این جمله را چنین اصلاح می‌کنم: اگر ما به یک نظریه یکپارچه و کامل دست یابیم، آنگاه بسیار بیشتر (از حالا) بر ذهن خداوند آگاهی خواهیم یافت.

## اصل بشری

در اینجا باید چند جمله‌ای درباره اصل انسانی بگویم: چندین پارامتر یا ثابت علمی وجود دارند که اگر هر یک از آنان اندکی تغییر کند، زمین جایگاهی غیر قابل زیست برای بشر می‌گردد. کتاب هیو راس (Hugh Roos) به نام آفریدگار و جهان را قویاً توصیه می‌کنم. او بحثی اساسی درباره اصل انسانی را پیش می‌کشد و نشان می‌دهد چرا فیزیکدانان و اخترشناسان بسیاری امکان نه تنها آفرینش قدسی جهان، بلکه در حقیقت طراحی قدسی آن را مورد بررسی قرار داده‌اند.

یکی از این کسان، اختر شناس پانتئیست و وحدت وجودی (معتقد به اینکه خداوند نه

یک شخص بلکه مجموعه قوانین، نیروها و تجلیات جهان می‌باشد) جرج گرینشتین (George Greenstein) است که می‌گوید «هنگامی که همه شواهد را بررسی می‌کنیم، این اندیشه مصرانه مطرح می‌شود که عاملی فراطبیعی باید در کار باشد.

آیا می‌شود تصادفاً و بدون تعمد به اثبات علمی وجود یک ابر موجود دست یابیم؟ آیا این خداوند بود که به عرصه آفرینش گام نهاد و جهان را به قدرت خویش برای بهره جستن ما خلق کرد؟»

من فکر می‌کنم گرینشتین کمی مبالغه آمیز سخن گفته است. گمان نمی‌کنم یک اثبات (علمی) وجود خداوند رادر دست داشته باشیم. اما آنچه از انفجار بزرگ می‌فهمیم شواهد خوبی برای وجود خداوند می‌باشد.

دیگران درباره این شواهد سخن گفته‌اند. خواندن کتاب «رؤیای یک نظریه نهایی» نوشته استیون واینبرگ (Steven Weinberg) را توصیه می‌کنم. در عنوان کتاب واژه خداوند نیست اما کتاب درباره خداوند به بحث می‌پردازد. او داستانی از شعر شاعری مذهبی و متعلق به قرون وسطی به نام ونرابل بده (Venerable Bede) نقل می‌کند. این شعر را، شاعر درباره سالن پذیرایی ای سروده است که همانا وجود معمولی و عادی ماست و واینبرگ در این خصوص می‌گوید «انسان به گونه‌ای مقاومت‌ناپذیر وسوسه می‌شود که همانند شاعر بپذیرد باید چیزی بیرون سالن پذیرایی برای ما وجود داشته باشد.» باید چیزی فراتر از ماده گرایی باشد.

البته این دیدگاه در کتاب مقدس نیز بیان شده است. برای نمونه، یکی از حواریون به نام پل (Paul) می‌نویسد «از زمان آفرینش جهان، قدرت ازلی و ذات قدسی خداوند اگر چه نادیدنی است، اما از پس آنچه آفریده است، درک و دیده می‌شود.» این دقیقاً درباره همان چیزی است که واینبرگ می‌گوید؛ آن وسوسه مقاومت‌ناپذیر.

## آتئیسم

بسیار نادرند فیزیکدانانی که به راستی منکر خداوند باشند. چرا چنین است؟ فریمن دایسون (Freeman Dyson) یک عضو دانشگاه پرینستون می‌گوید «طبیعت بیش از

آنچه انتظارش را داشته باشیم نسبت به ما مهربان است.»

یکی از همکاران هاوکینگ در کمبریج به نام مارتین ریز (Martin Rees) می‌گوید «امکان زندگی به گونه‌ای که می‌شناسیمش وابسته به مقادیر چند ثابت فیزیکی است و این وابستگی در برخی جنبه‌ها بسیار حساس است.طبیعت تصادفات همزمان قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد.»

برخی دانشمندان از این همه رویدادهای تصادفی شگفت‌زده می‌شوند. اما هنگامی که به جای دلبخواهی بودن قوانین طبیعت، هدف قدسی را جایگزین سازیم، این شگفتی به زودی رنگ می‌بازد.

## پیشنهاد بیکرانگی هاوکینگ

اجازه دهید به پیشنهاد بیکرانگی هاوکینگ بازگردیم ـ جهان چونان یک تابع موجی، که ۱۵ تا ۲۰ میلیون سال پیش به عرصه وجود پا گذاشت. به کاربردن زمان موهومی (imaginary time) یک فن ریاضی بسیار توانمند است که هر از گاهی به وسیله شیمیدانان و فیزیکدانان نظری مورداستفاده قرارگرفته است. بهترین دوست من دربرکلی به نام ویلیام میلر (William Miller) در سال ۱۹۶۹ زمان موهومی را در راستای درک ساز و کار واکنش‌های شیمیایی به کار گرفت. زمان موهومی ابزار نیرومندی است.

در پیشنهاد بیکرانگی هاوکینگ و هارتل، مفهوم بی‌آغازی و بی‌انجامی جهان چیزی است که تنها در قالب ترمهای ریاضی وجود دارد. در زمان حقیقی، که ما به عنوان انسان در آن چهار چوب زندگی می‌کنیم و به آن محدود هستیم، همواره یک تکینگی که آغاز زمان محسوب می‌شود، وجود دارد.

در میان مطالب تناقض آمیز «تاریخچه زمان»، هاوکینگ این امر را عملاً می‌پذیرد. «وقتی که به زمان حقیقی که در آن زندگی می‌کنیم باز می‌گردیم، به نظر می‌رسد تکینگی‌ها همچنان پا بر جایند....» در «زمان حقیقی، تکینگی‌هایی که شکل دهنده کرانه فضا ـ زمانند و در آنهاقوانین علم کارایی خود را از دست می‌دهند، آغاز و انجام گیتی را تشکیل می‌دهند.» تنها اگر در زمان موهومی زندگی می‌کردیم آنگاه تکینگی وجود نداشت. از این

رو هاوکینگ در اینجا پاسخ پرسش خویش را به راستی داده است.

علم در درجه نخست به حقیقت‌ها و نه انگیزه‌ها می‌پردازد، از این رو یک توضیح کامل علمی از آفرینش، نافی یک اراده خداوندی نیست. برهان مشهور ویلیام پلی (William Paley) می‌گوید اگر هنگام قدم‌زدن در جنگل یک ساعت پیدا کنید نتیجه نمی‌گیرید که ساعت خود به خود سر هم شده است. این نتیجه گیری علیرغم آن است که می توانید ساعت را باز کنید و به هر جزء آن نگاه کنید و کاملاً از چگونگی کارکرد آن آگاه شوید. ما ساعت را در جنگل پیدا می‌کنیم و نتیجه می‌گیریم که توسط هوش برتری طراحی شده است.

هاوکینگ در «تاریخچهٔ زمان» می‌گوید «اگر پیشنهاد بیکرانگی درست باشد، خداوند در گزینش شرایط اولیه هیچ آزادی عمل نداشت.» این گزاره یک پرش به بی‌منطقی است. چرا هاوکینگ در کارکرد جهان جلوه هایی که به نظر او محدودیتهایی بر قدرت خداوندی است، می‌یابد؟ ریشه این امر نه در مفهوم خداوند نامتناهی بلکه در تصور ما از انسان متناهی است. یعنی ما به عنوان انسان تنها آن ویژگی‌های آفریننده را می توانیم به طور علمی تشخیص دهیم که به آفریده‌ها مربوط و قابل مشاهده باشند. این محدودیت ما فوراً آنچه را که ممکن است نامتناهی باشد به تناهی و محدودیت وجود ما کاهش می‌دهد.

البته از نظر انجیل هیچ اشکالی در پذیرش محدودیت‌های قدسی بر انتخابهای قدسی وجود ندارد. پروردگار اراده کرده است که جهان را مطابق قوانین موضوعه خود اداره کند. پایبندی خداوندی به قوانین خودش، بی‌گمان جوهر خداوند انجیل را تشکیل می‌دهد.

لازم است یک سخن مناقشه برانگیز دیگر هاوکینگ را مورد بررسی قرار دهیم. اصل این سخن از هاوکینگ نیست ولی گفته هاوکینگ به قرار زیر است «ما مخلوقات بی‌اهمیتی بر روی سیاره‌ای کوچک از یک خورشید متوسط در حومه‌های بیرونی یکی از یکصد میلیارد کهکشان هستیم. از این رو به سختی می توان به خداوندی باور داشت که چندان در فکر ما یا حتی متوجه وجود ما باشد.»

پاسخ من به این سخن هاوکینگ و دیگرانی که آن را طی سالها به زبان رانده‌اند اینست که این گفته‌ای ابلهانه است. تاکنون هیچ گواهی مبنی بر وجود زندگی در جای دیگری از جهان یافت نشده است.

به نظر می‌رسد انسانها پیشرفته‌ترین موجود جهان باشند. شاید خداوند در فکر ما هست! هاوکینگ جهان را مورد کنکاش قرار می‌دهد ونتیجه می‌گیرد ویژگی انسان گمنامی است، در حالی که من همان اطلاعات و داده‌ها را بررسی می‌کنم و نتیجه می‌گیرم که نوع بشر بسیار ویژه و ممتاز است.

## دانشمندان با ایمان

آیا در موارد فوق همه با استیون هاوکینگ هم عقیده‌اند؟ پاسخ منفی است. یک استاد MIT به نام آلن لایتمن (Alan Lightman) در کتاب «سرچشمه‌ها؛ زندگی و آثار کیهانشناسان مدرن» (انتشارات دانشگاه هاروارد، ۱۹۹۰) می‌گوید «بر خلاف باور رایج، دانشمندان در خصوص موضوعات مذهبی همان دیدگاههای عمومی و رایج را دارا هستند.»

انجمن علمی Sigma Xi، چند سال پیش با انجام یک نظر سنجی نشان داد ۴۶ درصد دانشمندان دارای .Ph.D روز یکشنبه به کلیسا می‌روند، در حالی که این رقم برای عموم مردم ۴۷ درصد است. از این رو به نظر می‌رسد آنچه ایمان مردمان را پیرامون خداوند تحت تأثیر قرار می‌دهد ربط چندانی به اخذ درجه دکترا در علوم ندارد.

نمونه‌های زیادی از دانشمندان برجسته که بر خلاف هاوکینگ می‌اندیشند وجود دارد. یکی از آنان چارلی تاونس (Charlie Townes) است که ۱۸ سال با او در برکلی همکار بودم. او به خاطر کشف میزر (Maser) جایزه نوبل را ربود. او می‌گوید «به نظر من پرسش سرچشمه هستی از دیدگاه صرفاً علمی بی پاسخ مانده است. از این رو یک توضیح مذهبی یا متافیزیکی لازم است. من به مفهوم خدا و وجود او ایمان دارم...»

## محدودیت‌های علم

قهرمان علمی من اروین شرودینگر (Erwin Schradinger) که مشهورترین معادله علم به افتخار او معادله شرودینگر نام گرفته است سخنی دارد که به آنچه گفته شد تا حدی تعادل می‌بخشد. من بخشی از زندگی حرفه‌ای ام را صرف حل این معادله برای اتمها و

ملکولها کرده‌ام.

شرودینگر در سالهای پایانی زندگی علمی خود گفت: «از اینکه تصویر علمی جهان واقعی پیرامون خود را بس ناقص می‌یابم بسیار شگفت‌زده می‌شوم. این تصویر اطلاعات زیادی ارائه می‌دهد، همه تجربه ما را به زیبایی در یک نظام همساز سامان می‌دهد، اما به طرز ترسناکی درباره آنچه پیرامون قلب و دل ما می‌گذرد و برای ما واقعا مهم است خاموش می‌باشد.»

به باور شرودینگر علم محدودیتهایی دارد؛ چیزی از زیبا و زشت، خوب و بد، خداوند و ازلیت نمی‌داند.

علم گاه وانمود می‌کند که به پرسشهایی در این قلمروها پاسخ می‌دهد اما جوابها اغلب چنان احمقانه‌اند که نمی‌توانیم آنها را جدی بگیریم....

یک نظریه میدانی یکپارچه البته دستاورد علمی دلفریب و با شکوهی است، اما برای هاوکینگ صرفا گامی است به سوی هدفی دور ولی قابل دستیابی که چنین می‌نامیدش «درک کامل رویدادهای اطراف ما و وجود خود ما».

به نظر می‌رسد راهی که به این هدف ختم می‌شود خواندن انجیل یا شکسپیر، زندگی با فرهنگهای گوناگون، تجربه هنری، کوهنوردی یا عشق ورزی و بچه دار شدن را در بر نمی‌گیرد. آنچه مطرح است فعالیت از نظر فکری چالشگرانه برای یافتن روش‌های تخمین و تقریب بهتر است.

ریچارد فاینمن (Richard Feynmen) در آخرین کتاب فنی خود به نام «مشخصه قانون فیزیک» می‌نویسد «در حالی که در دانش فیزیک همه چیز عبارت است از شمار زیادی پروتون، نوترون و الکترون، در زندگی روزمره ما درباره انسانها و تاریخ یا زیبایی و امید سخن می‌گوییم. کدام یک به خداوند نزدیک‌تر است؛ زیبایی و امید یا قوانین بنیادین؟ پای فشردن بر هر یک از اینها و امیدواری به اینکه با جهت‌گیری یک جانبه به سوی یکی از اینان به درکی کامل دست خواهیم یافت، اشتباهی بیش نیست.» باید بگویم استیون هاوکینگ چنین کرده است.

# واژه‌نامه

**اتم:** واحد بنیادین ماده معمولی است که از یک هسته کوچک (متشکل از پروتون و نوترون) و الکترونهایی که بدورش در گردشند، درست شده است.

**اسپین (چرخش):** یک خاصیت درونی ذرات بنیادین است که با مفهوم روزمرهٔ چرخش مربوط است ولی با آن یکسان نیست.

**اصل بشری:** جهان را به‌صورت کنونی اش مشاهده می‌کنیم زیرا، اگر به‌این صورت نبود، بشری وجود نداشت تا آنرا نظاره‌گر باشد.

**اصل طرد:** دو ذرهٔ یکسان دارای چرخش $\frac{1}{2}$ نمی‌توانند (در محدودهٔ اصل عدم قطعیت) وضعیتی یکسان و سرعتی همانند داشته باشند.

**اصل عدم قطعیت:** نمی‌توان دقیقاً از وضعیت و سرعت یک ذره در لحظه‌ای خاص اطمینان حاصل کرد؛ هر یک ازین دو را دقیقتر بدانیم، دقت دیگری کمتر می‌شود.

**اصل کوانتومی پلانک:** اندیشه انتشار و جذب نور (یا هر موج کلاسیک دیگر) تنها در کوانتومهای گسسته‌ای که انرژی‌شان با بسامدشان متناسب است.

**افق رویداد:** مرز یک سیاهچاله

**الکترون:** ذره‌ای که بارمنفی داراست و بدور هسته اتم می‌گردد.

**انتقال به‌سرخ:** سرخ شدن نور ستاره‌ای که از ما دور می‌شود، بخاطر اثر دوپلر.

**انرژی الکتریکی ـ ضعیف یکپارچگی:** انرژی (حدود $10^{15}$ ۱۰۰) ای است که فراتر از آن تمایز میان نیروی الکترومغناطیسی و نیروی ضعیف از بین می‌رود.

**انرژی بزرگ یکپارچگی:** انرژی‌ای که فراتر از آن، نیروهای الکترومغناطیسی، ضعیف و قوی غیرقابل تمیز از یکدیگر انگاشته می‌شوند.

**انفجار بزرگ:** تکینگی آغاز جهان

**بارالکتریکی:** خاصیت ذره‌ای است که بوسیله آن ذرات دیگر را که دارای علامت یکسان (یا مخالف) هستند دفع (یا جذب) می‌کند.

**بسامد:** تعداد سیکلهای کامل موج در ثانیه (در مورد موج)

**بعدفضایی:** هریک ازسه بعدفضا ـ زمان که‌مشخص کننده مکانند ـ یعنی هریک ازابعاد بجز بعد زمان.

**پادذره:** هر نوع ار درات مادی، پادذرهٔ متناظری داراست. وقتی ذره‌ای با پادذره‌اش برخورد می‌کند، هر دو نابود می‌شوند و انرژی برجای می‌ماند.

**پایستگی انرژی:** قانونی علمی لمحت که براساس آن انرژی (یا معادل جرمی آن) نه بوجود می‌آید و نه از بین می‌رود.

**پرتوگاما:** امواج الکترومغناطیسی با طول موج بسیار کوتاه که درفرو افت رادیواکتیویا در برخورد ذرات بنیادین پدیدار می‌شود.

**پروتون:** ذارت‌مثبتی که تقریباً نیمی از هسته بیشتر اتمها را می‌سازند.

**پوزیترون:** پادذره (دارای بار مثبت) الکترون

**تخریب بزرگ:** تکینگی پایان جهان

**تشعشع میکروموج زمینه:** تابش حاصل از جهان فروزان و گداخته آغازین که هم اکنون، آنقدر به‌سرخ منتقل شده است که دیگر بصورت نور پدیدار نمی‌گردد، بلکه همچون میکرو موج (امواج رادیویی با طول موجی برابر با چند سانتیمتر) به‌نظر می‌رسد.

**تکینگی:** نقطه‌ای درفضا ـ زمان که انحنای فضا ـ زمان، در آن بی نهایت می‌شود.

**تکینگی عریان:** تکینگی فضا ـ زمان که پیرامونش سیاهچاله‌ای نباشد.

**ثابت کیهانی:** مفهومی ریاضی که انشتین بکار برد تا به فضا ـ زمان گرایشی درونی به گسترش ببخشد.

**ثانیه نوری (سال نوری):** فاصله‌ای که نور در یک ثانیه (سال) می‌پیماید.

**جرم:** کمیت ماده درون یک جسم؛ مانده یک جسم یا مقاومتش در برابر شتاب

**حالت سکون:** حالتی که با زمان تغییر نمی‌کند: کره‌ای که با سرعت ثابتی حول محورش در گردش است، ساکن است زیرا، اگرچه ایستا نیست، لیکن در هر لحظه یکسان می‌نماید.

**حد چاندراسخار:** جرم بیشینه ستاره پایدار و سرد. اگر جرم ستاره‌ای بیشتر از این حد باشد، فروپاشیده تبدیل به سیاهچاله می‌شود.

**دوگانگی موج/ذره:** مفهومی است در کوانتوم مکانیک که براساس آن تمایزی بین امواج و ذرات وجود ندارد؛ ذرات گاه همچون موج رفتار می‌کنند، و امواج گاه نظیر ذرات.

**ذره بنیادین:** ذره‌ای که تقسیم‌ناپذیر انگاشته می‌شود.

**ذره مجازی:** در مکانیک کوانتوم، ذره‌ای است که هرگز مستقیماً آشکار پذیر نیست، اما وجود آن تأثیرات سنجش‌پذیری دارد.

**رادار:** دستگاهی که تپش‌های امواج رادیویی را بکار می‌گیرد تا وضعیت اشیاء را آشکار سازد. به‌این ترتیب که زمانی را که طول می‌کشد تا موج ارسالی به شئ موردنظر برخورد کند و بازتابش، بازگردد، اندازه گرفته، مکان شئ را محاسبه می‌کند.

**رادیواکتیویته:** تجزیه خود انگیخته یکنوع هسته اتم به‌نوعی دیگر.

**رویداد:** نقطه‌ای در فضا-زمان که با زمان و مکانش مشخص می‌شود.

**زمان موهومی:** زمانی که بوسیلهٔ اعداد موهومی سنجیده می‌گردد.

**ژئودزیک:** کوتاهترین (یا درازترین) مسیر بین دو نقطه.

**ستاره نوترونی:** ستاره‌ای سرد که بواسطه رانش میان نوترونها (براساس اصل طرد) پا برجا باقی می‌ماند.

**سیاهچاله یا حفره سیاه:** منطقه‌ای از فضا-زمان که بدلیل گرانش بسیار نیرومندش، هیچ چیز، حتی نور یارای گریز ندارد.

**سیاهچاله‌بدوی:** سیاهچاله‌ای که در مراحل اولیه جهان بوجود آمده است.

**شتاب:** نرخ تغییر سرعت اشیاء.

**شتابدهنده ذره:** ماشینی که با استفاده از الکترومغناطیس‌ها، می‌تواند ذرات باردار متحرک را شتاب دهد و بر انرژی آنها بیفزاید.

**شرط بیکرانگی:** اندیشه‌ای که جهان را متناهی ولی بدون کرانه می‌انگارد (در زمان موهومی).

**صفر مطلق:** پائین‌ترین درجه حرارت ممکن. در این درجه حرارت، ماده دارای هیچ انرژی گرمایی نیست.

**طول موج:** در مورد یک موج، طول موج فاصله بین دو حضیض یا تاج مجاور است.

**طیف:** تجزیه مثلاً یک موج الکترومغناطیسی به بسامدهای متشکله آن.

**فاز:** در مورد یک موج، فاز عبارت است از وضعیت آن در چرخه اش در لحظه‌ای مشخص: معیاری برای دانستن اینکه موج در تاج یا حضیض یا در نقطه‌ای بینابین بسر می‌برد.

**فضا-زمان:** فضایی چهاربعدی که نقاط متشکله آن، رویدادها می‌باشند.

**فوتون:** یک بسته انرژی

**قضیه تکینگی:** قضیه‌ای که نشان می‌دهد تکینگی باید تحت شرایط معینی وجود داشته باشد ــ بویژه آنکه جهان باید با یک تکینگی آغاز شده باشد.

**کوارک:** ذره بنیادین باردار که از نیروی قوی تأثیر می‌پذیرد. پروتونها و نوترونها هر یک از سه کوارک تشکیل می‌شوند.

**کوانتوم:** واحد بخش ناپذیر گسیل یا جذب امواج

**کوتوله سفید:** ستاره سرد پایداری که بواسطه رانش میان الکترونها (طبق اصل طرد) پابرجا مانده است.

**کیهانشناسی:** مطالعه گیتی به‌مثابه یک کل

**گداخت هسته‌ای:** فرآیند برخورد دو هسته و ادغام آنها در هسته‌ای یگانه و سنگین‌تر.

**متناسب:** «X با Y متناسب است» یعنی وقتی هر عددی در Y ضرب شود، X نیز چنین می‌شود. «X با Y نسبت عکس دارد» یعنی وقتی هر عدد در Y ضرب شود، X برآن عدد تقسیم می‌شود.

**مختصات:** اعدادی که وضعیت نقطه‌ای را در فضا و زمان مشخص می‌کنند.

**مخروط نوری:** رویه‌ای است در فضا-زمان که جهات ممکن پرتوهای نور را که از رویداد مفروضی می‌گذرند، مشخص می‌سازد.

**مکانیک کوانتوم:** مکانیکی که با توجه به اصل کوانتومی پلانک و اصل عدم قطعیت هایزنبرگ ابداع گردید.

**میدان:** چیزی که در سراسر فضا-زمان وجود دارد، در مقابل ذره که در هر لحظه تنها در یک نقطه واقع می‌شود.

**میدان مغناطیسی:** میدانی که نیروی مغناطیسی را بوجود می‌آورد، و اکنون همراه با میدان الکتریکی در میدان الکترومغناطیسی ادغام شده است.

**نسبیت خاص:** نظریه انشتین که بر این فکر استوار است که قوانین علم برای همه ناظرانی که حرکت آزاد دارند، صرف‌نظر از سرعتشان، یکسان است.

**نسبیت عام:** نظریه انشتین که براساس اصل یکسان بودن قوانین جهان برای کلیه ناظران، صرف‌نظر از سرعت آنان، بنا شده است. این نظریه نیروی گرانش را برحسب انحنای یک فضا-زمان چهار بعدی توضیح می‌دهد.

**نظریه بزرگ یکپارچه (GUT):** نظریه‌ای که نیروهای الکترومغناطیسی، ضعیف و قوی را وحدت می‌بخشد.

**نوترون:** ذره‌ای بدون بار و بسیار شبیه پروتون، که در بیشتر اتمها تقریباً نیمی از ذرات موجود در هسته را تشکیل می‌دهد.

**نوترینو:** ذره مادی بنیادینی که بسیارسبک است (و احتمالاً جرم ندارد) و تنها نیروی ضعیف و گرانش بر آن موثرند.

**نیروی الکترومغناطیسی:** نیرویی که بین ذرات دارای بارالکتریکی وجود دارد. این نیرو از نظر قدرت در بین نیروهای چهارگانه، رتبهٔ دوم را داراست.

**نیروی ضعیف:** نیرویی است که در میان نیروهای چهارگانه، از نظر ضعف، دومین مرتبه را داراست و برد آن بسیار کوتاه است. این نیرو بر همه ذرات مادی تأثیر می‌کند ولی بر ذرات حامل نیرو بی اثر است.

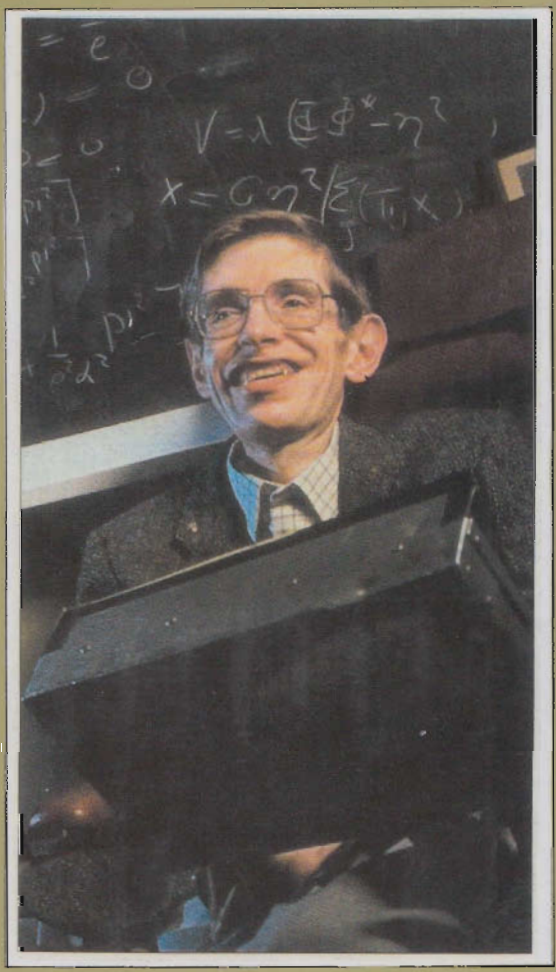
**نیروی قوی:** قویترین نیرو از نیروهای چهارگانه که کوتاهترین برد را نیز داراست. این نیرو موجب کنار هم قرار گرفتن کوارکها در پروتون‌ها و نوترونها، و پروتون‌ها و نوترونها در اتمهاست.

**وزن:** نیرویی که در یک میدان گرانشی برجسمی وارد می‌شود. این نیرو با جرم جسم متناسب است ولی با آن یکسان نیست.

**هسته:** بخش مرکزی یک اتم، که تنها از پروتون‌هایی که توسط نیروی قوی بهم پیوسته‌اند، تشکیل شده است.

# A BRIEF HISTORY OF TIME

## FROM THE BIG BANG TO BLACK HOLES



STEPHEN W. HAWKING