

Stephen Hawking & Leonard Mlodinow  
**THE GRAND DESIGN**

# طرح بزرگ

لئونارد ملودینو

استیون هوکینگ

ترجمه‌ی سارا ایزدیار / علی هادیان





# طرح بزرگ

استیون هوکینگ

لئونارد ملودینو

ترجمه‌ی سارا ایزدیار - علی هادیان

نقش‌ات‌مازیار

مطالب این کتاب صرفاً نظرات شخصی نویسنده است و در مورد مفاهیم فرهنگی عمیقی مانند معجزه، برهان نظم و افسانه پنداشتن تعبیر دینی طبیعت به بیراهه می‌رود. علمای دینی تشریح می‌کنند که چگونه معجزه کاری شدنی است و نه خلاف قوانین طبیعت؛ همچنین بیانات ادیان الهی افسانه نیست و نباید نسبت به تعبیر دینی طبیعت به دیده‌ی افسانه نگریسته شود؛ و نیز نظریات مطرح شده در این کتاب راجع به قوانین فیزیکی و نظم موجود در جهان، نافی برهان نظم یا وجود خداوند نیست و بحث راجع به برهان نظم خود مقدماتی دارد که باید قبل از طرح احتمالات مختلف راجع به این برهان مستحکم، ذکر گردد.

## فهرست مطالب

فصل ۱	معمای وجود	۷
فصل ۲	حکومت قانون	۱۳
فصل ۳	واقعیت بیرونی چیست؟	۳۵
فصل ۴	تاریخچه‌های جایگزین	۵۷
۵	نظریه‌ی همه چیز	۷۹
فصل ۶	جهان‌مان را انتخاب کنیم	۱۱۳
فصل ۷	معجزه آشکار	۱۳۵
فصل ۸	طرح بزرگ	۱۵۳
	واژه‌نامه	۱۶۴

سرشناسه : هوکینگ، استیون ویلیام، ۱۹۴۲- م.

Hawking, Stephen William

عنوان و نام پدیدآور : طرح بزرگ/ استیون هوکینگ و لئونارد ملودینو؛ ترجمه‌ی علی هادیان - سارا ایزدیار

مشخصات نشر : تهران: مازیار، ۱۳۸۹.

مشخصات ظاهری : ۱۶۸ ص.

شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۶۰۴۳-۰۱-۲

وضعیت فهرست نویسی : فیپا

یادداشت : عنوان اصلی: The Grand Design, 2010

موضوع : کیهان‌شناسی

موضوع : کیهان‌شناسی - تحقیق

موضوع : فیزیک

موضوع : فیزیک - تحقیق

شناسه افزوده : ملودینو، لئونارد، ۱۹۵۴- م.

شناسه افزوده : Mlodinow, Leonard

شناسه افزوده : هادیان، علی، ۱۳۴۸- ، مترجم

شناسه افزوده : ایزدیار، سارا، ۱۳۵۸- ، مترجم

رده بندی کنگره : ۱۳۸۹ ط ۲۴۷-۹۸۱ QB

رده بندی دیویی : ۵۲۳/۱

شماره کتابشناسی ملی : ۲۱۳۲۷۰۰

انتشارات مازیار

www.mazyarpub.com

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

طرح بزرگ

استیون هوکینگ و لئونارد ملودینو

ترجمه‌ی سارا ایزدیار و علی هادیان

ویراستار م. کاظم‌زاده

چاپ دوم ۱۳۹۱

شمارگان ۳۳۰۰

طرح جلد و صفحه‌آرایی آتلیه تردید

لیتوگرافی خاورمیان

چاپ و صحافی طیف‌نگار

شابک ۹۷۸-۶۰۰-۶۰۴۳-۰۱-۲

بها ۵۵۰۰ تومان

## معمای وجود

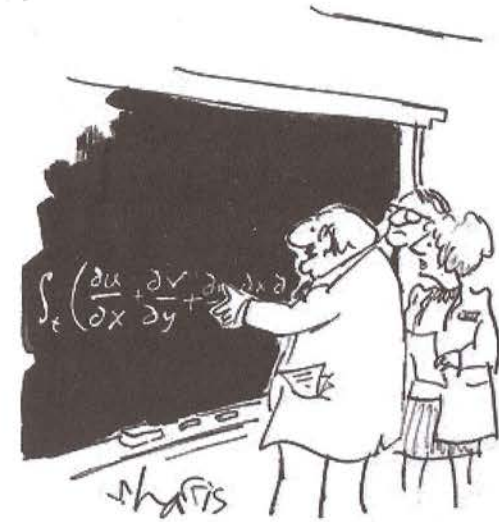
هریک از ما مدت کوتاهی زندگی می‌کنیم که در آن سعی داریم تا در کل جهان اگر شده اندکی کاوش کنیم. انسان‌ها گونه‌ی کنجکاوی هستند. ما از خود سوالاتی می‌پرسیم و بدنبال پاسخ آن‌ها می‌گردیم. انسان‌ها همواره، با زندگی در این دنیای پهناور، که هم مهربان و هم بیرحم است، و تعمق در آسمان‌های بی‌کران، از خود سوالات بسیاری پرسیده‌اند: چگونه می‌توانیم جهانی که خود را در آن یافته‌ایم درک کنیم؟ جهان چگونه رفتار می‌کند؟ واقعیت بیرون از وجود ما چیست؟ همه این‌ها از کجا آمده‌اند؟ آیا جهان به خالق نیاز دارد؟ ما اغلب، زمان زیادی برای یافتن پاسخ این سوالات صرف نمی‌کنیم، اما تقریباً همه ما گاهی اوقات به آن‌ها می‌اندیشیم.

به طور معمول این سوالات در حوزه فلسفه‌اند، اما فلسفه اینک مرده است. فلسفه نتوانست پیشرفت‌های جدید در علم، مخصوصاً فیزیک را تاب بیاورد. به این ترتیب دانشمندان، در تلاش برای آگاهی بیشتر، حامل مشعل اکتشافات شدند. هدف این کتاب پاسخ به سوالاتی است که از طریق کشفیات جدید و پیشرفت‌های نظری مطرح شده‌اند. این پاسخ‌ها تصویر جدیدی از جهان و جایگاه ما در آن ارائه کرده که نه تنها با آنچه مدت‌ها پیش تصور می‌کردیم بسیار متفاوت است، بلکه حتی تصویر یک یا دو دهه پیش را هم به چالش می‌کشد. با این حال رد پای طرح‌های اولیه این تصویر جدید را می‌توان در یک قرن پیش جستجو کرد.

براساس تصویر متداول از جهان، اجرام در مسیرهای از پیش تعریف شده حرکت کرده و تاریخیچه قطعی و مشخصی دارند. مکان دقیق آن‌ها را می‌توان در هر لحظه از زمان تعیین کرد. اگرچه این محاسبات به اندازه‌ی



کافی برای اهداف روزمره کارآمد هستند، ولی در دهه ۱۹۲۰ دریافتند که این تصویر کلاسیک نمی‌تواند در توصیف رفتار ظاهراً نامانوسی که در مقیاس‌های اتمی و زیراتمی مشاهده می‌شوند، به کار آید. در عوض، لزوم استفاده از چارچوب متفاوتی به نام فیزیک کوانتومی مطرح گردید. نظریه‌های کوانتومی، در پیش‌بینی رویدادها در ابعاد اتمی، به‌طور قابل توجهی دقیق بودند. در ضمن، با اعمال آن‌ها به دنیای بزرگ مقیاس روزمره، شاهد هستیم که همان پیش‌بینی‌های نظریات کلاسیک قدیمی حاصل می‌شوند. اما آنچه اهمیت دارد این است که فیزیک کلاسیک و کوانتوم براساس دو مفهوم کاملاً متفاوت از واقعیت فیزیکی بنا شده‌اند.



«و این فلسفه من است ....»

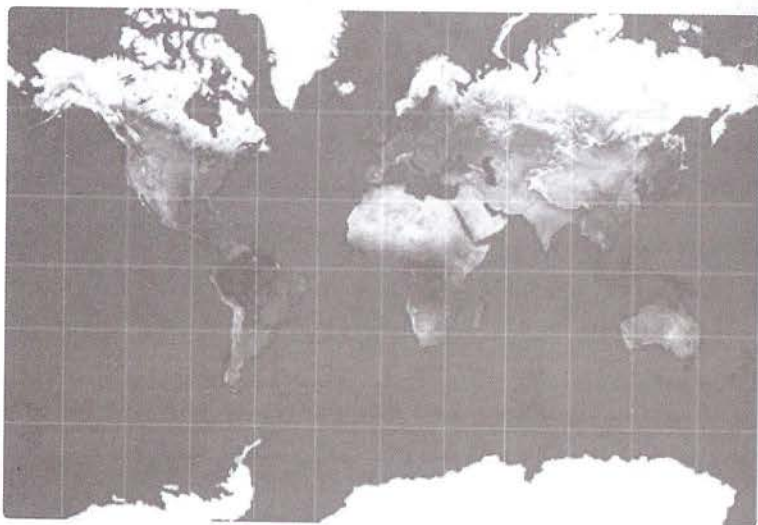
نظریات کوانتومی را می‌توان به روش‌های متعددی صورت‌بندی کرد، اما احتمالاً شهودی‌ترین این توصیفات به وسیله ریچارد فاینمن ارائه شده است، شخصیت سرزنده‌ای که در انستیتوی تکنولوژی کالیفرنیا کار می‌کرد

و در گروه خیابانی طبل بانگو می‌نواخت. بنا به عقیده فاینمن، یک سیستم، نه یک مسیر مشخص، بلکه همه مسیرهای ممکن را طی می‌کند. در جستجو برای یافتن پاسخ این سوالات، رویکرد فاینمن را با جزئیات بررسی کرده و آن را برای طرح این ایده به کار می‌گیریم که خود جهان نیز نه تنها دارای یک پیشینه نیست، بلکه حتی یک وجود مستقل ندارد. این ایده، حتی برای بسیاری از فیزیکدان‌ها افراطی به نظر می‌رسد. در حقیقت، همانند بسیاری از ایده‌های علم امروز، به نظر می‌رسد این مسأله با عقل سلیم در تناقض باشد. اما عقل سلیم براساس تجارب روزمره شکل گرفته، نه براساس جهانی که از طریق شگفتی‌های فناوری بر ما آشکار می‌شود که به ما امکان می‌دهند تا به اعماق اتم رفته یا به روزهای اولیه جهان بازگردیم.

تا قبل از ظهور فیزیک مدرن، تصور عمومی بر این بود که تمام آگاهی ما نسبت به جهان از طریق مشاهده مستقیم قابل حصول است، این‌که اشیاء همان چیزی هستند که دیده می‌شوند و یا آنطور که از طریق حواس ما دریافت می‌شوند. اما فیزیک مدرن در توفیقی چشمگیر، براساس مفاهیمی نظیر ایده فاینمن که با تجارب روزانه در تضاد است، نشان داده است که این طور نیست. در نتیجه، تصویر خام از واقعیت با فیزیک مدرن سازگار نیست. برای پاسخ به چنین پارادوکس‌هایی نیاز به رویکردی است که به آن واقع‌گرایی وابسته به مدل<sup>۱</sup> می‌گویند. بر این اساس که مغز ما داده‌های ورودی از حواس پنجگانه را تفسیر می‌کند و مدلی برای جهان می‌سازد. وقتی چنین مدلی در توضیح رویدادها موفق عمل می‌کند، ما چپستی واقعیت و حقیقت مطلق را به آن مدل و اجزاء و مفاهیم تشکیل دهنده آن، نسبت می‌دهیم. اما ممکن است راه‌های مختلفی برای مدل‌سازی یک موقعیت فیزیکی وجود داشته باشد، که هر کدام از آن‌ها مفاهیم و عناصر بنیادین متفاوتی را به خدمت گرفته باشند. اگر دو تا از چنین نظریه‌ها یا مدل‌های فیزیکی دقیقاً یک رویداد را پیش‌بینی کنند، نمی‌توان تعیین کرد که کدامیک نسبت به دیگری واقعی‌تر هستند؛ در عوض می‌توان از هر کدام از آن‌ها که راحت‌تر است استفاده کرد.



مثل نقشه‌های هم‌پوشان نسبت به نقشه‌های برجسته‌نما، که در موقعیت‌های مختلف هم‌پوشانی دارند، همگی پدیده‌های یکسانی را پیش‌بینی می‌کنند. اما درست همان‌طور که هیچ نقشه مسطحی وجود ندارد که نمایش مناسبی از سطح کلی کره زمین فراهم آورد، هیچ نظریه منفردی نیز وجود ندارد که توصیف مناسبی برای مشاهدات در تمام موقعیت‌ها باشد.



نقشه جهان. برای توصیف جهان ممکن است نیاز به مجموعه‌ای از نظریه‌های هم‌پوشان باشد، همان‌طور که برای نمایش جهان به نقشه‌های هم‌پوشان نیاز است.

در این کتاب نشان خواهیم داد که چگونه نظریه M به پرسش‌های آفرینش پاسخ می‌دهد. بر طبق نظریه M، جهان ما تنها جهان موجود نیست<sup>۱</sup>، بلکه آن‌طور که این نظریه پیش‌بینی می‌کند تعداد زیادی جهان‌های دیگر نیز هستند. این جهان‌های چندگانه به‌طور طبیعی از قوانین فیزیکی نتیجه می‌شوند. آن‌ها پیش‌بینی علم هستند. هر جهانی دارای پیشینه‌های

در تاریخ علم، زنجیره‌ای از نظریات و مدل‌های رو به بهبود را مشاهده می‌کنیم، از افلاطون گرفته تا نظریه کلاسیک نیوتون و در نهایت نظریه‌های جدید کوانتومی. طبیعی است از خود پرسیم: آیا این دنباله در نهایت به نقطه پایانی می‌رسد، نظریه‌ای نهایی برای جهان، که همه نیروها را شامل شود و هر آنچه را که مشاهده می‌کنیم پیش‌بینی کند، و یا این که این روند همیشه با یافتن نظریه‌های بهتر ادامه می‌یابد، بدون این که نظریه‌ای یافت شود که نتوان دیگر آن را بهبود بخشید. با این که هنوز جواب قطعی برای این پرسش نداریم، اما در حال حاضر نظریه M، گزینه مناسبی است برای نظریه نهایی همه چیز، البته اگر واقعاً چنین نظریه‌ای وجود داشته باشد. نظریه M تنها مدلی است که تمام ویژگی‌هایی را که نظریه نهایی باید داشته باشد، داراست و این همان نظریه‌ای است که از این پس بحث‌های ما بیش‌تر براساس آن خواهد بود.

نظریه M یک نظریه به مفهوم معمولی آن نیست. بلکه خانواده کاملی از نظریه‌های متفاوت است که هر کدام از آن‌ها توصیف خوبی از مشاهدات را تنها در برخی از موقعیت‌های فیزیکی فراهم می‌آورند. کمی شبیه به یک نقشه است. همان‌طور که همه می‌دانیم نمی‌توان تمام سطح کره زمین را بر روی یک نقشه نشان داد. نقشه برجسته‌نما که به عنوان نقشه کره زمین استفاده می‌شود، نواحی انتهایی شمالی و جنوبی را بزرگ‌تر و بزرگ‌تر نموده و قطب‌های شمال و جنوب را پوشش نمی‌دهد. اگر بخواهیم کل کره زمین را بر روی نقشه بیاوریم، باید مجموعه‌ای از نقشه‌ها را به کار بگیریم که هر کدام ناحیه محدودی را پوشش می‌دهند. این نقشه‌ها با یکدیگر هم‌پوشانی داشته و در این نواحی اطلاعات یکسانی را نشان می‌دهند. نظریه M این گونه است. ممکن است نظریات مختلف خانواده نظریه M خیلی متفاوت به نظر برسند، اما همه آن‌ها را می‌توان به عنوان جنبه‌های مختلف همان نظریه اصلی دانست. آن‌ها نسخه‌هایی از نظریه هستند که تنها در موقعیت‌های محدودی کاربرد دارند. به عنوان مثال وقتی مقادیر معلومی مثل انرژی، بسیار کوچک باشند. این نظریه‌های مختلف، درست

۱. برای اطلاعات بیشتر کتاب میچو کاکو، *جهان‌های موازی*، ترجمه سارا ایزدیار و علی هادیان، سال ۱۳۸۹، مازیار، از همین مجموعه را ببینید. ناشر



## فصل ۲

### حکومت قانون

اسکول گرگ ماه را تا جنگل اندوه رماند،  
آنجا هتی گرگ را دید که خورشید را تعقیب می کرد.  
«گریم نیسمال» ادای پیر

در افسانه وایکینگ ها، دو گرگ به نام های اسکول و هتی، به ترتیب ماه و خورشید را دنبال می کنند. وقتی گرگ ها هر کدام از آن ها را بگیرند، گرفتگی رخ می دهد. زمانی که این پدیده رخ می دهد، مردم روی زمین برای آزاد کردن آن ها دست به کار می شوند. آن ها هر چه قدر که بتوانند صدا ایجاد می کنند تا بلکه با ترساندن گرگ ها، خورشید یا ماه را نجات دهند. در فرهنگ های دیگر نیز افسانه های مشابهی وجود دارند. اما احتمالاً پس از مدتی انسان ها متوجه شده اند که خورشید و ماه، بدون نیاز به ایجاد سر و صدا و پریشانی، خیلی زود از گرفتگی خارج می شوند. به همین ترتیب، احتمالاً آن ها پس از مدتی متوجه شده اند که این گرفتگی ها به صورت اتفاقی و تصادفی رخ نمی دهند، بلکه از یک الگوی منظم تکرار شونده پیروی می کنند. برای مردم قدیم، الگوی ماه گرفتگی مشخص بوده است و در واقع مردم قدیم بابل قادر به پیش بینی دقیق آن بوده اند؛ حتی با این که نمی دانستند علت ماه گرفتگی افتادن سایه زمین بر ماه است. پیش بینی خورشید گرفتگی به مراتب مشکل تر است، زیرا بر روی سطح زمین فقط در نوار باریکی به عرض حدود ۴۵ کیلومتر قابل رویت است. به هر حال، وقتی این الگوها کشف شدند، فهمیدیم که گرفتگی ها ربطی به امیال دلبخواهی موجودات ماوراءالطبیعی ندارند و از قواعد مشخصی پیروی می کنند.

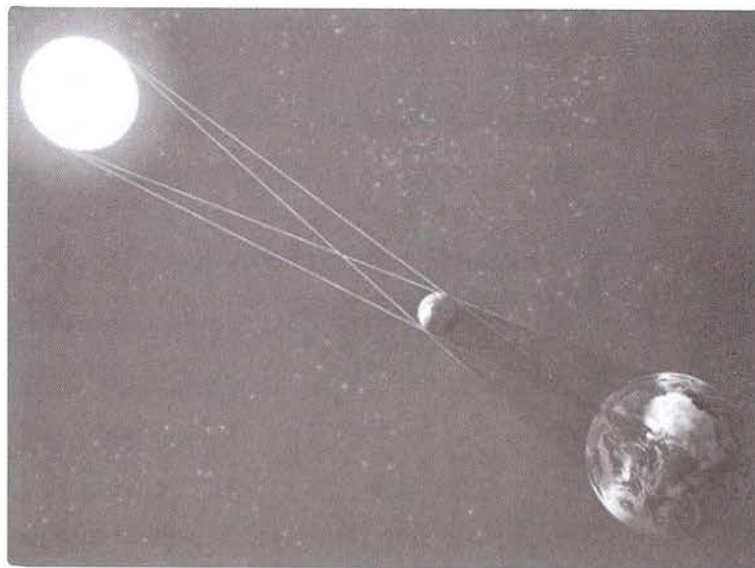
محتمل بسیار و همین طور حالات محتمل متعدد در آینده است؛ یعنی زمانی مثل اکنون که مدتی طولانی از پیدایش آن ها می گذرد. بسیاری از این حالات اصلاً با جهانی که ما می بینیم شباهت ندارد و برای وجود هر گونه حیات اصلاً مناسب نیستند. تنها تعداد کمی از این جهان ها به موجوداتی مثل ما امکان زندگی می دهند. بنابراین جهان ما، از بین این آرایه ی گسترده از جهان هایی که با وجود ما سازگاری دارند، انتخاب شده است. اگرچه در مقیاس این کیهان، کوچک و ناچیزیم، اما همین مسأله ما را تا اندازه ای اشرف مخلوقات می گرداند.

برای درک جهان در سطوح عمیق آن، هم باید بدانیم جهان چگونه رفتار می کند و هم لازم است بررسی کنیم که جهان چرا این گونه رفتار می کند؟ چرا به جای هیچ، چیزی هست؟ چرا ما وجود داریم؟

چرا این قوانین و نه قوانین دیگری؟

این سؤال نهایی زندگی، جهان و همه چیز است. ما تلاش می کنیم تا در این کتاب به این سوالات پاسخ دهیم. برخلاف پاسخ هایی که در کتاب راهنمای مسافران مجانی کهکشان داده شده است، جواب های ما ساده نخواهند بود.





خورشید گرفتگی. مردم عهد باستان نمی دانستند که علت گرفتگی ها چیست، ولی به وجود نظم زمانی در رویداد آن ها پی برده بودند.

علیرغم موفقیت های ابتدایی در پیش بینی حرکت چند جرم آسمانی، پیشینیان ما دریافتند که پیش بینی برخی وقایع در طبیعت به نظر غیر ممکن است. به نظر می رسید آتش فشان، زمین لرزه، توفان و بیماری های همه گیر، همه بدون هیچ الگو یا دلیل مشخص روی می دهند. در گذشته، نسبت دادن رویدادهای خشن طبیعت به شیاطین و یا خدایان بدذات، امری رایج بود. فجایع طبیعی اغلب نشانه هایی بودند مبنی بر این که خداوند به نوعی از دست ما انسان ها رنجیده یا ناراحت شده است. به عنوان مثال، در حدود ۵۶۰۰ سال پیش از میلاد، آتش فشان کوه مازاما در اورگن، فوران کرد و سنگ ها و خاکستر داغ ناشی از آن برای سال ها بر زمین فرو می ریخت. این فوران باعث شد سال ها باران ببارد و در دهانه آتش فشان آب جمع شود که امروزه به دریاچه کراتر معروف است. سرخپوست های کلامات در اورگن افسانه ای دارند که به خوبی با تمام جزئیات زمین شناسی این رویداد

مطابقت دارد. اما در این افسانه با اضافه کردن کمی چاشنی داستان پردازی، انسان ها به عنوان عامل اصلی فاجعه معرفی می شوند. ظرفیت انسان برای جُرم به گونه ای است که همواره راهی برای سرزنش کردن خود می یابد. بر طبق این افسانه، لیائو، خدای عالم زیرین، عاشق دختر زیبای فرمانروای کلامات می شود. دختر به او پشت پا زده و لیائو تصمیم می گیرد با به آتش کشیدن کلامات انتقام بگیرد. خوشبختانه، بر طبق این افسانه، اسکیل، خدای جهان بالا، دلش برای مردم می سوزد و با رقیب پایینی خود می جنگد. در نهایت، لیائو زخمی شده و به درون کوه مازاما سقوط می کند. بر اثر آن سوراخ بزرگی ایجاد می شود، همان دهانه ای که سرانجام با آب پر شده است.

عدم آگاهی نسبت به رویدادهای طبیعی باعث شده است که مردم باستان خدایان متعددی اختراع کنند تا بر هر کدام از جنبه های زندگی آن ها حکمرانی کنند. خدایان عشق و جنگ؛ خدایان خورشید، زمین و آسمان؛ خدایان اقیانوس ها و رودخانه ها؛ خدایان باران و توفان ها، حتی خدایان زمین لرزه ها و آتش فشان ها. زمانی که خدایان راضی و خشنود بودند، انسان ها در وضعیت آب و هوایی مساعد، در صلح و آرامش، و رها از فجایع و امراض طبیعی زندگی می کردند. اما، اگر ناراضی بودند، در این صورت خشکسالی، جنگ و بیماری های همه گیر همه جا را فرا می گرفتند. از آنجا که ارتباط بین علت و معلول در طبیعت از چشم آن ها پنهان بوده است، این خدایان به نظر مرموز بوده و انسان ها همه تحت رحم و شفقت آن ها قرار داشتند. اما در حدود ۲۶۰۰ سال قبل، با ظهور تالس ملطی (حدود ۶۲۴ تا ۵۴۶ پیش از میلاد) تغییری آغاز شد. این ایده مطرح شد که طبیعت از اصول ثابتی تبعیت می کند که قابل کشف هستند. به این ترتیب فرآیندی طولانی شروع شد که طی آن ایده حکمرانی خدایان با مفهومی جدید از جهان جایگزین شد. جهانی که با قوانین طبیعی اداره می شود، بر اساس طرح از پیش تعیین شده ای ساخته شده و ممکن است روزی بتوان آن را فهمید.



بررسی علمی طبیعت، با نظر به خط سیر تاریخ انسان، بسیار جدید است. حدود ۲۰۰,۰۰۰ سال پیش، گونه ما، هومو ساپینس، در جنوب صحرای آفریقا پدید آمدند. ظهور زبان نوشتاری به حدود ۷۰۰۰ سال پیش از میلاد باز می‌گردد، حاصل زندگی جوامعی که به منظور کشت دانه یکجا تمرکز یافته بودند. (برخی از قدیمی‌ترین سنگ نوشته‌ها، حاکی از حیره بندی روزانه آبجو برای هریک از افراد بومی است.) اولین نسخه‌های ثبت شده از تمدن بزرگ یونان باستان، به قرن نوزده پیش از میلاد باز می‌گردد. اما عظمت این تمدن، «عصر کلاسیک»، صدها سال بعد، کمی قبل از ۵۰۰ سال پیش از میلاد پدیدار شد. آنطور که ارسطو (۳۸۴ تا ۳۲۲ پیش از میلاد) گفته است، این زمان حدوداً همان زمانی بوده است که تالس برای اولین بار ایده قابل فهم بودن جهان را مطرح کرد و این که رویدادهای پیچیده‌ی اطراف مان را می‌توان به مفاهیم کوچک‌تر تقلیل داده و بدون توسل به تفاسیر افسانه‌ای یا الهی توضیح داد.

تالس در سال ۵۸۵ پیش از میلاد، به دلیل محاسباتش در مورد خورشید گرفتگی اعتبار یافت؛ اگرچه دقت فوق‌العاده محاسبات او احتمالاً تنها ناشی از یک حدس خوب بوده است. تالس شخصیتی مبهم داشته و از خود هیچ دست‌نوشته‌ای به جا نگذاشته است. خانه او یکی از مراکز روشنفکری در منطقه یونیه محسوب می‌شده است. یونیه، در کرانه باختری آسیای صغیر، مستعمره یونان بود و سرانجام گستره نفوذ آن در سراسر منطقه از ترکیه تا ایتالیا کشیده شد. دانش این منطقه، مشخصاً تلاشی بوده است در جهت پاسخگویی به علاقه وافر برای پرده‌برداری از قوانین اساسی توضیح دهنده پدیده‌های طبیعی، مرحله‌ای چشمگیر در تاریخ انسان. رویکرد آن‌ها کاملاً عقلانی بوده و در بسیاری از موارد منجر به استخراج نتایجی شده که در کمال تعجب با آنچه از روش‌های پیچیده‌تر امروزی ما حاصل می‌شوند، یکی است. این مرحله، یک آغاز بزرگ محسوب می‌شود. اما در طول قرن‌ها بخش اعظم دانش منطقه یونیه به فراموشی سپرده شده است - گاهی حتی بیش از یکبار مجدداً کشف و اختراع شده‌اند.



یونیه. پژوهشگران یونیه‌ی قدیم جزء اولین‌هایی بودند که پدیده‌های طبیعی را به جای علوم الهی و اساطیری، از طریق قوانین طبیعت توضیح دادند.

برطبق روایات، اولین صورت‌بندی ریاضی از آنچه ما امروز قانون طبیعت می‌نامیم، به وسیله‌ی یکی دیگر از اهالی یونیه به نام فیثاغورث (۵۸۰ تا ۴۹۰ پیش از میلاد) انجام گرفته است، بر طبق این قضیه که به نام خودش نیز معروف شده است، مربع اندازه وتر مثلث قائم الزاویه برابر با مجموع مربع‌های دو ضلع دیگر است. گفته می‌شود فیثاغورث روابط ریاضی حاکم بین طول ریسمان‌های آلات موسیقی و ترکیبات مختلف هارمونیک صدا را نیز به دست آورده است. امروزه این روابط را این‌گونه توصیف می‌کنیم که فرکانس (تعداد ارتعاشات ریسمان در یک ثانیه) برای ریسمانی که تحت کشش معینی قرار دارد، با عکس طول ریسمان متناسب است. از نقطه نظر تجربی، این توضیحی است که چرا گیتارهای باس باید نسبت به گیتارهای معمولی سیم‌های بلندتری داشته باشند. در حقیقت، احتمالاً فیثاغورث تا این حد به مسئله نپرداخته و حتی احتمال می‌رود قضیه‌ای را نیز که



نامش بر آن است کشف نکرده باشد، اما شواهدی وجود دارد مبنی بر این که در آن روزگار برخی روابط بین طول ریسمان و زیر و بم بودن صدا معلوم بوده است. در این صورت، می‌توان این فرمول‌های ریاضی ساده را اولین نمونه دانست از آنچه ما امروزه به عنوان فیزیک نظری می‌شناسیم. به غیر از قانون فیثاغورث برای ریسمان‌ها، تنها قوانین فیزیکی که به درستی به مردم باستان نسبت داده می‌شوند، سه قانونی هستند که به وسیله ارشمیدس (۲۸۷ تا ۲۱۲ پیش از میلاد مسیح) به تفصیل بیان شده‌اند. ارشمیدس در بین فیزیکدانان عهد باستان به مراتب از دیگران برجسته‌تر است. قانون اهرم‌ها، به زبان امروز توضیح می‌دهد که چگونه نیروهای کوچک می‌توانند بارهای سنگین را بلند کنند؛ زیرا اهرم نیرو را با ضریبی به اندازه نسبت فواصل تا تکیه گاه تقویت می‌کند. قانون نیروی ارشمیدس بیان می‌کند بر هر جسمی که درون سیال غوطه‌ور شود، نیرویی به سمت بالا وارد می‌شود که با وزن سیال جابجا شده برابر است. در قانون بازتاب، ثابت می‌شود زاویه بین یک پرتو نوری و آئینه برابر است با زاویه بین آئینه و پرتو نور بازتابیده. اما ارشمیدس از کلمه قانون برای این سه استفاده نکرد. به علاوه، حتی آن‌ها را با استناد به مشاهده و اندازه‌گیری نیز توضیح نداد. در عوض به گونه‌ای با آن‌ها برخورد کرد گویی آن‌ها نظریه‌های خالص ریاضی، در سیستمی کاملاً بدیهی هستند درست شبیه به آنچه اقلیدس در هندسه ایجاد کرد.

با گسترش قدرت نفوذ یونیه، افراد دیگری نیز وارد عمل شده و پی بردند جهان دارای یک نظم درونی است، نظمی که می‌توان از طریق مشاهده و منطق به راز و رمز آن پی برد. آناکسیماندر (۶۱۰ تا ۵۴۶ پیش از میلاد)، دوست و احتمالاً یکی از شاگردان تالس، چنین استدلال کرده: از آنجا که نوزاد انسان در بدو تولد ناتوان است، اگر اولین انسان به شکل نوزاد پا بر زمین می‌گذاشت، زنده نمی‌ماند. در آنچه که ممکن است اولین آگاهی انسان نسبت به تکامل بوده باشد، آناکسیماندر چنین پاسخ می‌دهد «ممکن است انسان‌ها از حیوانات دیگری که نوزادان قوی‌تری داشته‌اند،

تکامل پیدا کرده باشند.» در سیسیل، ایندُقِلِس (۴۹۰ تا ۴۳۰ پیش از میلاد) استفاده از ابزاری به نام ساعت آبی کلیپسیدرا (clepsydra) را مورد بررسی قرار داد. این وسیله از یک کره با دهانه باز تشکیل شده است که در زیر آن سوراخ‌های ریزی قرار دارند و گاهی نیز به عنوان ملاقه از آن استفاده می‌شد. اگر ساعت آبی کلیپسیدرا را درون آب غوطه‌ور سازیم، از آب پر شده و در صورتی که دهانه آن را ببندیم، می‌توان بدون این که آب از سوراخ‌ها به بیرون بریزد آن را خارج کرد. ایندُقِلِس مشاهده کرد، اگر قبل از غوطه‌ور ساختن کلیپسیدرا درون آب، دهانه آن را ببندیم، در این صورت از آب پر نمی‌شود. او این‌گونه استدلال کرد که چیزی نامرئی باید از ورود آب از طریق سوراخ‌ها به درون کره جلوگیری کند — او در آن زمان موفق به کشف ماده‌ای شده بود که امروزه آن را هوا می‌نامیم.

در همان دوره زمانی، دموکریتوس (۴۶۰ تا ۳۷۰ پیش از میلاد)، از اهالی یکی از مستعمرات یونیه در شمال یونان، به این فکر افتاد که هر گاه جسمی به قطعات کوچک‌تر تقسیم شده یا شکسته شود چه اتفاقی می‌افتد. او بیان کرد نمی‌توان این فرآیند را به‌طور نامتناهی تکرار کرد. به این ترتیب او فرض مسلمی را مطرح کرد که براساس آن همه چیز، شامل تمام موجودات زنده، از ذرات بنیادی تشکیل شده‌اند که نمی‌توان آن‌ها را شکسته و یا به قطعات ریزتر تقسیم کرد. او این ذرات نهایی را، با استناد به صفتی یونانی به معنای «غیرقابل تقسیم»، اتم نامید. دموکریتوس عقیده داشت تمام پدیده‌های مادی، در نتیجه برخورد اتم‌ها رخ می‌دهند. بنا بر ایده او، که ذره‌گرایی نامیده می‌شود، تمام اتم‌ها در فضا حرکت می‌کنند و در صورتی که چیزی مانع نشود، به‌طور نامحدود به حرکت خود رو به جلو ادامه خواهند داد. امروزه این ایده به نام قانون اینرسی معروف است. این ایده انقلابی که انسان را نه موجودی خاص در مرکز جهان بلکه تنها یکی از ساکنین معمولی این جهان بدانیم، اولین بار از جانب آریستارخوس (۳۱۰ تا ۲۳۰ پیش از میلاد)، یکی از آخرین دانشمندان یونیه، مطرح شد. متأسفانه اکنون تنها یکی از محاسبات انجام گرفته به وسیله او باقی مانده



است که تحلیل هندسی پیچیده‌ای است از مشاهدات دقیقی که او از اندازه سایه زمین بر روی ماه، حین رخداد خورشید گرفتگی، انجام داده است. او نتیجه گرفت خورشید باید بسیار بزرگ‌تر از زمین باشد. شاید تحت تاثیر این ایده که همواره اجسام کوچک‌تر به دور اجسام بزرگ‌تر می‌چرخند، او اولین فردی بود که این موضوع را مطرح کرد که زمین مرکز سیستم سیاره‌ای ما نیست و در عوض، زمین و دیگر سیاره‌ها همه به دور خورشیدی که از همه بزرگ‌تر است می‌چرخند. درک این مسأله که زمین تنها یکی از مجموع سیارات منظومه است، گام کوچکی در فهمیدن این امر بوده که حتی خود خورشید نیز جرمی استثنائی و ویژه نیست. آریستارخوس این مسأله را پذیرفته و عقیده داشت که ستارگان در آسمان شب، چیزی نیستند مگر خورشیدهایی که در فواصل دوری از ما قرار دارند.

مکتب مردمان یونیه تنها یکی از مکاتب متعدد فلسفه یونان باستان محسوب می‌شود. مکاتبی که هر کدام عقاید متفاوت و اغلب متناقضی داشتند. متاسفانه تصویر اهالی یونیه از طبیعت، مبنی بر این که می‌توان آن را از طریق قوانین عمومی توضیح داده و به مجموعه ساده‌ای از اصول تقلیل داد، تنها برای چند قرن توانست تاثیر قدرتمندش را حفظ کند. زیرا اغلب به نظر می‌رسید در نظریات مطرح شده اهالی یونیه، مفهوم اختیار یا هدف و یا این ایده که خداوندان در کارکرد جهان دخالت دارند، جایگاهی نداشتند. این‌ها مسائلی مهم ولی از قلم افتاده بودند و همانقدر افکار بسیاری از متفکرین یونانی را به هم می‌ریختند که امروزه افکار بسیاری از مردم را. به عنوان مثال، فیلسوفی به نام اپیکور (۳۴۱ تا ۲۷۰ پیش از میلاد) تنها با این استدلال با ذره‌گرایی مخالف کرد که «بهتر است از افسانه‌های مربوط به خدایان پیروی کنیم تا این که برده سرنوشت فیلسوفان طبیعی باشیم». ارسطو نیز مفهوم اتم را رد کرد تنها به این دلیل که نمی‌توانست بپذیرد انسان‌ها از اجزاء بی‌جان تشکیل شده باشند. ایده اهالی یونیه مبنی بر این که جهان، انسان - تمرکز نیست، مرحله مهمی در درک ما از کیهان محسوب می‌شود. اما این ایده در آن زمان به فراموشی سپرده شد و تا

زمان گالیله، تقریباً ۲۰ قرن بعد، که مجدداً مطرح شد، به طور عمومی مورد پذیرش واقع نشد.

برخی ایده‌های یونان باستان، گرچه در رابطه با طبیعت روشن‌گرانه بودند، اغلب مثل علم معتبر امروزی سربلند بیرون نمی‌آمدند. یکی از دلایل این بود که چون یونانیان باستان هنوز روش‌های علمی را اختراع نکرده بودند، نظریه‌های آن‌ها با هدف تایید تجربی تهیه نشده بود. از اینرو اگر پژوهشگری ادعا می‌کرد که یک اتم به حرکت در مسیر مستقیم ادامه می‌دهد تا زمانی که به اتم دیگری برخورد کند، و یا دیگری که ادعا می‌کرد اتم در مسیر مستقیم حرکت می‌کند تا به یک گول یک چشم برخورد کند، هیچ روش عینی وجود نداشت تا به بحث خاتمه دهد. همچنین تمایز آشکاری بین انسان و قوانین فیزیکی وجود نداشت. به عنوان مثال، در پانصد سال پیش از میلاد آناکسیماندر نوشت همه چیز از یک ماده اولیه ایجاد شده و در نهایت به همان باز می‌گردد، مبدا که «ناچار گردند بابت شرارت خود جریمه و مجازاتی پرداخت کنند». همچنین بنا به عقیده فیلسوف اهل یونیه، هراکلیت (۵۳۵ تا ۴۷۵ پیش از میلاد)، خورشید آنگونه که باید عمل می‌کند، زیرا در غیر این صورت الهه عدالت او را به پایین خواهد کشید. صدها سال بعد از آن رواقیون، جماعتی از فیلسوفان یونانی که در حدود سه قرن پیش از میلاد پدید آمدند، وجه تمایزی بین قوانین مربوط به انسان و طبیعت قائل شدند. اما آن‌ها قوانین جهان شمول رفتار انسان را نیز در زمره قوانین طبیعی گنجانده بودند. مثل پرستش پروردگار و احترام به والدین. به عکس آن‌ها اغلب فرایندهای فیزیکی را با عبارات قضایی توصیف کرده و عقیده داشتند آن‌ها نیاز به دستگاه اجرایی دارند، حتی اگر اشیائی که باید از احکام تبعیت کنند بی‌جان باشند. اگر گمان می‌کنید وادار کردن انسان‌ها به تبعیت از چراغ راهنمایی مشکل است، تصور کنید وادار کردن یک سیاره به چرخش در مدار بیضی تا چه حد می‌تواند مشکل باشد.

تاثیر این سنت در اندیشمندانی که از پی یونانیان برآمدند، تا قرن‌ها پس



از آن نیز ادامه داشت. در قرن سیزدهم، فیلسوف مسیحی، توماس آکوئیناس (۱۲۲۵ تا ۱۲۷۴) از این دیدگاه برای بحث پیرامون وجود خدا بهره گرفت. او می‌نویسد «روشن است [اجسام بی‌جان] با سرنوشت خود، نه از روی اتفاق بلکه از روی اراده، مواجه می‌شوند ... بنابراین یک موجود هوشمند وجود دارد که سرنوشت هر چیزی در طبیعت به فرمان او تعیین می‌شود.» حتی تا قرن شانزدهم، ستاره‌شناس برجسته آلمانی، یوهان کپلر (۱۵۷۱ تا ۱۶۳۰) عقیده داشت که سیارات قوه‌ی ادراک دارند و به‌طور خودآگاه از قوانین حرکتی که از طریق ذهن به آن دست یافته‌اند تبعیت می‌کنند.

این تصور که قوانین طبیعت باید از روی عمد اطاعت شوند نشان می‌دهد که مردم عهد باستان به جای تمرکز بر چگونگی رفتار طبیعت بیش‌تر به این موضوع می‌اندیشیدند که طبیعت چرا این‌گونه رفتار می‌کند. ارسطو یکی از حامیان پیشروی این رویکرد بوده و این ایده را نپذیرفت که علم اساساً بر مشاهده بنا می‌شود. به هر ترتیب اندازه‌گیری‌های دقیق و محاسبات ریاضی در عهد باستان مشکل بوده است. استفاده از روش شمارش ده تایی که امروزه ما اینقدر ساده در ریاضیات از آن استفاده می‌کنیم، تنها به ۷۰۰ سال پس از میلاد مسیح باز می‌گردد، زمانی که هندوها اولین گام‌های بزرگ را در جهت استفاده از این ابزار قدرتمند برداشتند. علائم جمع و تفریق تا قرن پانزدهم به‌وجود نیامده بودند. نه علامت تساوی و نه ساعتی که بتواند زمان را با دقت ثانیه محاسبه کند، تا قبل از قرن شانزدهم وجود نداشت.

با این حال ارسطو وجود مشکل در محاسبات و اندازه‌گیری‌ها را، مانعی برای توسعه‌ی فیزیک - آنگونه که بتواند مقادیر عددی را پیش‌بینی کند - نمی‌دید. او حتی نیازی به انجام محاسبه و اندازه‌گیری نمی‌دید. در عوض ارسطو فیزیک خود را براساس اصولی بنا نهاد که به‌نظر او روشن‌فکرانه بودند. او بر روی حقایقی که به‌نظر غیرمنطقی می‌رسیدند سرپوش گذاشته و تلاش خود را بر روی دلایل اتفاق افتادن رویدادها متمرکز کرد. به این ترتیب انرژی به مراتب کم‌تری را بر شرح کامل آنچه

دقیقاً رخ می‌دهد، صرف کرد. ارسطو زمانی که نمی‌توانست تضاد مشهود بین نتیجه‌گیری‌هایش را با مشاهدات نادیده بگیرد، آن‌ها را تعدیل می‌نمود. اما این تعدیل‌ها اغلب توضیحات موردی بودند که در بیش‌تر مواقع تنها اندکی فراتر از وصله پینه کردن یک تناقض بودند. به این ترتیب، بدون توجه به این که نظریه او تا چه حد دور از واقعیت است، به تغییری که ظاهراً تعارض موجود را از بین ببرد، اکتفا می‌کرد. به‌عنوان مثال، نظریه او در مورد حرکت بیان می‌کند که اجسام سنگین با سرعت ثابتی سقوط می‌کنند که با وزن آن‌ها متناسب است. برای توضیح این مسأله که اجسام حین افتادن بر سرعتشان افزوده می‌شود او اصل جدیدی را اختراع کرد. بنابراین اصل، اجسام هرچه به تکیه گاه طبیعی خود نزدیک‌تر می‌شوند، شادمانه‌تر حرکت کرده و بنابراین شتاب می‌گیرند. امروزه به‌نظر می‌رسد این اصل بیش‌تر در مورد توضیح رفتار افراد مشخصی صادق باشد تا اجسام بی‌جان. اگرچه نظریه‌های ارسطو اغلب ارزش پیش‌گویانه کمی داشتند، اما رویکرد او به علم توانست تفکر غربی را به مدت حدود ۲۰۰۰ سال تحت تاثیر خود قرار دهد.

پیروان مسیحی یونان، این ایده را که جهان از طریق قوانین بی‌اهمیت طبیعت اداره می‌شود نپذیرفتند. آن‌ها همچنین با این ایده که انسان جایگاه ویژه‌ای در جهان ندارد، مخالف بودند. بنابراین در قرون وسطی سیستم فلسفی منسجم و مشخصی وجود نداشت. در عوض ایده مشترک این بود که جهان خانه اسباب بازی خداست و مطالعه‌ی مذهب نسبت به مطالعه‌ی پدیده‌های طبیعی موضوع به مراتب ارزشمندتری است. در حقیقت در سال ۱۲۷۷، بیشاپ تمپیر از پاریس، به دستور پاپ جان بیست و یکم، فهرستی شامل ۲۱۹ مورد از کجروی‌ها و عقاید نادرست محکوم را منتشر کرد. در بین این عقاید نادرست این ایده که طبیعت از قوانین پیروی می‌کند نیز وجود داشت، زیرا این ایده ظاهراً با قدرت مطلق خالق در تناقض بود. جالب است که خود پاپ جان، تنها چند ماه بعد، بر اثر ریزش سقف قصر محل اقامتش تحت تاثیر قانون گرانش، جان سپرد.





«اگر در دوران حکومت تنها یک چیز را فهمیده باشیم، این است که حرارت بالا می‌رود.»

مفهوم جدید قوانین طبیعت در قرن هفدهم پدیدار شد. به نظر می‌رسد کپلر نخستین دانشمندی بوده است که روابط را طبق علم جدید درک کرده است؛ اگرچه همان‌طور که گفتیم دیدگاه جان گرایانه‌ی خود را نسبت به اشیاء فیزیکی حفظ کرد. گالیله (۱۵۶۴ تا ۱۶۴۲) در اغلب کارهای علمی خود از کلمه «قانون» استفاده نکرد (اگرچه در برخی از ترجمه‌ها کارهای او این کلمه دیده می‌شود). صرف نظر از این‌که از این لغت استفاده کرده باشد یا نه، او پرده از بسیاری قوانین برداشت و حامی این اصل بزرگ بود که مشاهده، اساس علم بوده و هدف از علم تحقیق در مورد روابط کمی موجود بین پدیده‌های فیزیکی است. اما فردی که برای نخستین بار

به صراحت و دقت زیاد مفهوم قوانین طبیعت را آن‌طور که ما می‌فهمیم صورت‌بندی کرد، کسی نبود جز رنه دکارت (۱۵۹۶ تا ۱۶۵۰).

دکارت عقیده داشت تمام پدیده‌های فیزیکی را باید بتوان از طریق برخورد اجرام در حال حرکت، که از طریق سه قانون اداره می‌شوند، توضیح داد — پیش طرح قوانین مشهور حرکت نیوتون. او ادعا کرد این قوانین طبیعت در همه مکان‌ها و زمان‌ها معتبرند و صراحتاً بیان کرد که پیروی از این قوانین دلیل بر این نیست که اجرام متحرک دارای ذهن هستند. دکارت همچنین به اهمیت آنچه ما امروزه «شرایط اولیه» می‌نامیم پی برده بود. شرایطی که وضعیت یک سیستم را در ابتدای هر دوره زمانی که بخواهیم در آن محاسباتی انجام دهیم، مشخص می‌کند. قوانین طبیعت، با داشتن مجموعه‌ای از شرایط اولیه تعیین می‌کنند که سیستم در طول زمان چگونه تغییر می‌کند. اما از طرفی با نبود شرایط اولیه، این سیر تحول را نمی‌توان تعیین کرد. به‌عنوان مثال اگر در زمان صفر، کبوتری درست بالای سر ما شئی را رها کند، مسیر شئی در حال سقوط از طریق قوانین نیوتون تعیین می‌شود. اما بسته به این‌که در زمان صفر کبوتر روی سیم برق نشسته باشد یا با سرعت ۳۰ کیلومتر در ساعت در حال حرکت باشد، نتیجه کاملاً متفاوت خواهد بود. برای استفاده از قوانین فیزیک باید بدانیم یک سیستم در چه وضعیتی شروع به کار کرده است و یا حداقل باید وضعیت آن را در زمان مشخصی بدانیم. (همچنین می‌توان از قوانین استفاده کرد و رفتار سیستم را در زمان به عقب برگردانیم).

هم‌زمان با ظهور این باور جدید در مورد قوانین طبیعت، تلاش شد مفهوم خداوند با آن‌ها سازگار شود. بنا به عقیده دکارت خداوند در لحظه می‌تواند درستی یا نادرستی گزاره‌های اخلاقی، یا نظریه‌های ریاضی را تغییر دهد؛ ولی در مورد قوانین طبیعت چنین نیست. او عقیده داشت خداوند قوانین طبیعت را خود مقدر ساخته است، اما در مورد آن‌ها حق انتخابی نداشته است؛ بلکه آن‌ها را انتخاب کرده، زیرا قوانینی که ما تجربه می‌کنیم تنها قوانین ممکن هستند. چنین به نظر می‌رسید این ایده قدرت



خداوند را به چالش می کشد که دکارت آن را اصلاح کرد و گفت قوانین غیر قابل تغییرند چون بازتابی از طبیعت ذاتی خود خداوند هستند و بدین ترتیب خود را از آن اتهام مبرا ساخت. حتی با این توضیح، باز هم ممکن است کسی بگوید هنوز هم خداوند این انتخاب را دارد تا جهان های متنوع و متفاوتی ایجاد کند که هر کدام مجموعه متفاوتی از شرایط اولیه داشته باشند، اما دکارت این را هم رد کرد. او بیان کرد در ابتدای جهان ترکیب اولیه مواد هر چه بوده باشد، با گذشت زمان جهانی مشابه جهان ما، سر از سیر تحول بیرون خواهد آورد. به علاوه دکارت احساس می کرد از زمانی که خداوند جهان را به کار انداخته، دیگر کاری به آن نداشته است.

آیزاک نیوتون (۱۶۴۳ تا ۱۷۲۷) نظریه مشابهی (البته با کمی تفاوت) مطرح کرد. نیوتون کسی است که با ارائه سه قانون حرکت و قانون گرانش خود که مسئول مدارات زمین، ماه و سیارات محسوب شده و پدیده هایی مثل مد را توضیح می دهند، موفق شد مفهوم جدید قانون علمی را در سطحی گسترده تثبیت کند. معادلات او و چارچوب ریاضی استادانه ای که از آن زمان به بعد از آن ها استخراج شده، هنوز هم تدریس می شوند و هرگاه یک معمار، ساختمانی را طراحی می کند، یک مهندس اتومبیلی را می سازد و یک فیزیکدان چگونگی پرتاب موشک را برای این که مستقیماً بر روی مریخ فرود آید محاسبه می کند، همگی از آن ها استفاده می کنند. همان طور که الکساندر پوپ شاعر گفته است:

**طبیعت و قوانین آن در تاریکی شب پنهان بودند،  
خدا گفت، بگذار نیوتون باشد! و همه جا نور بود!**

امروزه اغلب دانشمندان معتقدند که قانون طبیعت، قانونی است براساس یک نظم مشهود به علاوه ای توانایی پیشگویی هایی فراتر از مشاهدات فعلی. به عنوان مثال اگر در طول زندگی خود هر روز شاهد آن باشیم که خورشید از سمت شرق طلوع می کند، این قانون را نتیجه بگیریم که «خورشید

همواره از شرق بالا می آید»، این تعمیمی است که فراتر از مشاهده محدود ما از طلوع خورشید بوده و پیش بینی های آزمون پذیری را در مورد آینده فراهم می آورد. از طرف دیگر جمله ای مثل «رایانه های این دفتر سیاه هستند» یک قانون طبیعی نیست، زیرا تنها در مورد رایانه های یک دفتر خاص گفته شده و قادر به انجام هیچ پیش گویی دیگری مثل «اگر کامپیوتر جدیدی خریداری شود سیاه خواهد بود» نیست.

درک جدید ما از عبارت «قانون طبیعت» موضوعی است که فیلسوفان مفصلاً به آن پرداخته اند و این سوال از آنچه در ابتدا به نظر می رسید، پیچیده تر است. به عنوان مثال، فیلسوف جان دبلیو کارول، جمله «تمام کره های از جنس طلا قطری کم تر از یک مایل دارند» را با جمله ای مثل «تمام کره های اورانیوم - ۲۳۵ قطری کم تر از یک مایل دارند» مقایسه کرد. مشاهدات ما از این جهان نشان می دهد که هیچ کره طلایی با قطر بیش از یک مایل وجود ندارد و می توان تاحدی مطمئن بود که در آینده نیز نخواهد داشت. با این حال دلیلی وجود ندارد بپذیریم که هرگز نمی تواند باشد و بنابراین نمی توان این جمله را به صورت یک قانون در نظر گرفت. از طرف دیگر جمله «تمام کره های اورانیوم - ۲۳۵ قطری کم تر از یک مایل دارند» را می توان یک قانون طبیعت دانست، زیرا بر طبق آنچه از فیزیک هسته ای می دانیم، هرگاه کره ای از اورانیوم - ۲۳۵ به قطری بزرگ تر از ۲۰ سانتی متر برسد، بر اثر یک انفجار هسته ای نابود خواهد شد. بنابراین می توان مطمئن بود که چنین کره ای وجود ندارد. (حتی تلاش برای ساخت آن هم ایده خوبی نیست!) اهمیت این تفاوت در این است که نشان می دهد تمام تعمیم هایی را که شاهد آن هستیم، نمی توان به عنوان قوانین طبیعت در نظر گرفت و این که اغلب قوانین طبیعت، بخشی از یک سیستم بزرگ تر به هم پیوسته از قوانین هستند.

در علم جدید، قوانین طبیعت معمولاً به زبان ریاضیات بیان می شوند. آن ها می توانند دقیق یا تقریبی باشند، اما باید بدون استثناء، در همه موارد، درست عمل کنند. اگر جهان شمول نباشند، در این صورت حداقل تحت



مجموعه‌ای از شرایط درست عمل کنند. به عنوان مثال امروزه می‌دانیم اگر اشیاء نزدیک به سرعت نور حرکت کنند، قوانین نیوتون نیاز به اصلاح خواهد داشت. با این حال ما هنوز قوانین نیوتون را به عنوان قانون قبول داریم به این دلیل که حداقل با تخمین بسیار خوبی، تحت شرایط زندگی روزمره که سرعت‌ها بسیار کم‌تر از سرعت نور هستند، درست عمل می‌کنند.

اگر بر طبیعت قوانینی حاکم باشد، سه سؤال مطرح می‌شود:

۱. منشأ این قوانین چه هستند؟
۲. آیا استثنایی هم برای قوانین وجود دارد، مثلاً معجزه؟
۳. آیا تنها یک مجموعه از قوانین ممکن وجود دارد؟

دانشمندان، فیلسوفان، و الهیون با روش‌های متفاوتی به این سؤال‌های مهم پاسخ گفته‌اند. جوابی که به‌طور معمول به نخستین سؤال داده می‌شد - پاسخ کپلر، گالیله، دکارت و نیوتون - این بود که این قوانین کار خدا هستند. این پاسخ چیزی نیست جز تعریفی از خداوند به عنوان تجلی قوانین طبیعت. مگر این که افرادی به خدا صفات دیگری مثل خدای عهد عتیق اختصاص دهند، وگرنه به کار گرفتن خدا در پاسخ به سؤال اول صرفاً باعث تعویض سؤال با سؤال جدیدی خواهد شد. بنابراین اگر در پاسخ به سؤال اول از مفهوم خداوند استفاده کنیم، مشکل اصلی در سؤال دوم بروز می‌کند. آیا معجزه یا همان استثناء برای قوانین وجود دارد؟

در پاسخ به سؤال دوم نظرات کاملاً متفاوتی وجود دارند. افلاطون و ارسطو، تأثیرگذارترین نویسندگان یونان باستان، عقیده داشتند استثنایی برای قوانین وجود ندارد. اما اگر از منظر کتب آسمانی بنگریم خواهیم دید که خداوند نه تنها قوانین را ایجاد کرده، بلکه قادر است در صورت تمایل در پاسخ به دعای بندگان، استثنائاتی نیز قائل شود. به عنوان مثال بیماری را علاج را درمان کند، به خشکسالی پایان دهد. در مخالفت با نظر دکارت، تقریباً تمام متفکرین مسیحی این ایده را مد نظر داشتند که

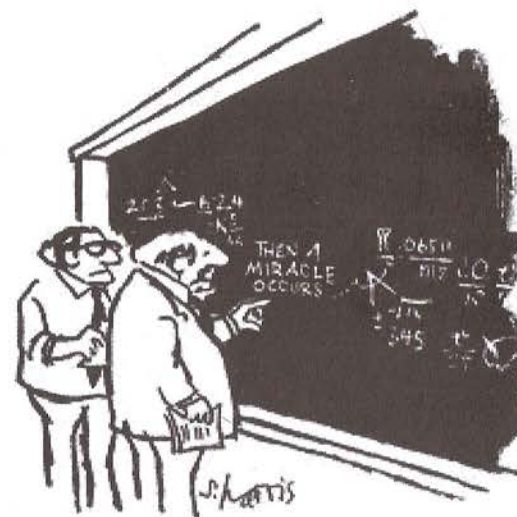
خداوند باید بتواند به منظور انجام معجزات، اجرای قوانین را به تعلیق درآورد. حتی نیوتون نیز تا حدی به معجزه اعتقاد داشته است. او عقیده داشت مدار حرکت سیارات به دلیل کشش گرانشی سیارات دیگر ناپایدار است. به این ترتیب که این کشش گرانشی باعث ایجاد اختلالاتی در مدار حرکت سیاره می‌شود که در طول زمان افزایش می‌یابد و سرانجام باعث می‌شود سیاره یا به درون خورشید سقوط کند و یا از منظومه شمسی به بیرون پرتاب شود. او معتقد بود خداوند باید مدارات را به جای اول خود بازگردانده و یا «این ساعت آسمانی را کوک کند، مبادا از کار بیفتد.» پیر سیمون مارکوس دو لاپلاس (۱۷۴۹ تا ۱۸۲۷)، که معمولاً به نام لاپلاس شناخته می‌شود، بیان کرد که این اختلالات متناوب هستند؛ یعنی به جای این که با یکدیگر جمع شوند، در سیکل‌های تکرار شونده رخ می‌دهند. به این ترتیب، منظومه شمسی خود را از نو تنظیم می‌کند و بنابراین برای توضیح این امر که چگونه تا کنون به حیات خود ادامه داده است نیازی به دخالت هیچ نیروی خداگونه‌ای نخواهد بود.

لاپلاس، اغلب به عنوان اولین کسی شناخته می‌شود که آشکارا جبرگرایی علمی را مسلم می‌شمرد: وضعیت جهان را در یک زمان بدهید، مجموعه‌ی کامل قوانین گذشته و آینده را به‌طور کامل تعیین می‌کنند. این مسأله احتمال وجود معجزه و یا نقش فعال خالق را منتفی می‌سازد. جبرگرایی علمی که لاپلاس صورت‌بندی کرد، پاسخ دانشمندان مدرن به سؤال دوم است. این مسأله در حقیقت پایه و اساس تمام علم مدرن بوده و اصلی است که در طول این کتاب از اهمیت زیادی برخوردار است. قانون علمی را نمی‌توان قانون علمی نامید، مگر زمانی که درست عمل کند و موجودات ماوراءالطبیعی تصمیم بگیرند در آن دخالت نکنند. گفته می‌شود ناپلئون، پس از شنیدن نقطه نظر لاپلاس، از او پرسید جایگاه خداوند در این تصویر چیست؟ و لاپلاس جواب داد: «سرورم، چنین فرضی را لازم نداشتم.»

از آنجاکه انسان‌ها در این جهان زندگی می‌کنند و با دیگر اشیاء موجود در آن تعامل دارند، به نظر می‌رسد جبرگرایی علمی باید در مورد انسان‌ها



نیز صادق باشد. با این حال بسیاری با این که قبول دارند جبرگرایی علمی بر فرآیندهای فیزیکی حاکم است، با این حال برای رفتار انسان‌ها استثنا قائل می‌شوند؛ زیرا عقیده دارند ما دارای اختیار هستیم. به عنوان مثال دکارت، برای حفظ ایده اختیار، ادعا می‌کند که ذهن انسان با دنیای فیزیکی تفاوت داشته و از قوانین آن تبعیت نمی‌کند. از دیدگاه او انسان از دو بخش تشکیل شده است، بدن و روح. بدن انسان یک ماشین معمولی است، در حالیکه روح تابع قوانین فیزیکی نیست. دکارت به آناتومی و فیزیولوژی بسیار علاقه‌مند بود و عضو کوچکی را در مرکز مغز به نام غده صنوبری جایگاه اصلی روح می‌دانست. او عقیده داشت این غده محل شکل‌گیری تمام افکار ما است و به بیان دیگر چشمه جوشان اختیار است.



«من فکر می‌کنم باید در مرحله دوم اینجا را کمی روشن‌تر کنید.»

آیا انسان‌ها دارای اختیار هستند؟ اگر ما اختیار داریم، در کدام مرحله از تکامل شکل گرفته است؟ آیا جلبک سبز-آبی و یا یک باکتری نیز دارای

اختیار است و یا این که رفتارشان کاملاً اتوماتیک بوده و در قلمرو قوانین علمی رخ می‌دهد؟ آیا تنها جانداران پرسولولی می‌توانند اختیار داشته باشند، یا تنها پستانداران؟ ممکن است تصور کنید یک شامپانزه زمانی که موز می‌خورد، یا یک گربه که به مبل راحتی شما چنگ می‌زند، دارای اختیار است، اما در مورد کرم روده‌ای به نام کانورابدیتیس الگانس چطور؟ موجود کوچکی که تنها از ۹۵۹ سلول تشکیل شده است. این موجود احتمالاً هیچگاه با خود نمی‌اندیشد که «عجب باکتری خوشمزه‌ای بود. باید برای شام دوباره برگردم.» با این حال او نیز دارای سلیقه مشخصی در مورد غذا بوده و می‌تواند یا به غذای ناخوشایند تن در داده و یا براساس تجربیات اخیر خود، برای یافتن غذای بهتر به جاهای دورتر برود. آیا این به کار بردن اختیار است؟

با این که گمان می‌کنیم قادریم آنچه را که انجام می‌دهیم خود انتخاب کنیم، دانش ما در مورد اساس مولکولی زیست‌شناسی نشان می‌دهد که فرآیندهای بیولوژیکی از طریق قوانین فیزیک و شیمی اداره می‌شود و بنابراین به اندازه‌ی مدار یک سیاره، مشخص و معلوم هستند. تجربیات اخیر عصب‌شناسی از این ایده حمایت می‌کنند که این مغز فیزیکی ماست که با پیروی از قوانین شناخته شده علمی، فعالیت‌های ما را تعیین می‌کند و نه یک سری عامل که خارج از این قوانین وجود دارند. به عنوان مثال، مطالعه بر روی بیمارانی که جراحی مغز در حالت هوشیاری انجام داده‌اند نشان داده با تحریک الکتریکی منطقه مناسب، می‌توان بیمار را وادار کرد تا دست، بازو یا پای خود را حرکت دهد یا با حرکت لب‌ها صحبت کند. اگر رفتار ما از طریق قوانین فیزیکی تعیین می‌شود، تصور این امر که اختیار چگونه عمل می‌کند، مشکل است. بنابراین به نظر می‌رسد ما چیزی جز یک ماشین زیستی نیستیم و مفهوم اختیار تنها یک خیال باطل است.

با پذیرش این مطلب که رفتار انسان در حقیقت از طریق قوانین طبیعت تعیین می‌شود، منطقی به نظر می‌رسد که نتیجه بگیریم تعیین خروجی این فرآیند چنان پیچیده است و تعداد متغیرهای آن چنان زیاد که عملاً



پیشگویی و محاسبه آن را غیر ممکن می‌سازد. برای این کار نیاز داریم تا حالت اولیه هر یک از هزاران تریلیون تریلیون مولکول بدن انسان را بدانیم و تقریباً به همین تعداد معادله را حل کنیم. این کار چندین میلیارد سال زمان لازم دارد که برای تصمیم‌گیری در مورد سرنوشت اردکی که تفنگ فردی به سمتش نشانه رفته، کمی زیاد است!

از آنجاکه استفاده از قوانین فیزیکی برای پیش‌بینی رفتار انسان عملی نیست، از یک نظریه موثر استفاده می‌کنیم. در فیزیک، نظریه موثر چارچوبی است که پدیده‌های مشخص مشاهده شده‌ای را بدون توضیح جزئیات فرآیندهای پس‌زمینه آن، مدل‌سازی می‌کند. به عنوان مثال نمی‌توان به دقت معادلات مربوط به برهم‌کنش‌های گرانشی هر اتم موجود در بدن انسان را با اتم‌های کره زمین حل کرد. اما از نظر عملی، نیروی گرانش بین یک فرد و زمین را می‌توان تنها با استفاده از چند عدد، مثل مجموع جرم فرد توضیح داد. به طور مشابه ممکن است نتوان معادله رفتار اتم‌ها و مولکول‌های پیچیده را حل کرد، ولی با تهیه نظریه موثری به نام شیمی توضیحات کافی برای این که چگونه اتم‌ها و مولکول‌ها در واکنش‌های شیمیایی عمل می‌کنند، فراهم می‌آید، بدون این که تمام جزئیات این واکنش‌ها را در نظر بگیریم. به طور مشابه در مورد انسان‌ها، از آنجاکه نمی‌توان معادلات مربوط به رفتار انسان‌ها را حل نمود، از نظریه موثری استفاده می‌کنیم که بر طبق آن انسان‌ها دارای اختیار هستند. مطالعه اختیار و رفتار ناشی از آن، علم روانشناسی نامیده می‌شود. اقتصاد نیز یک نظریه موثر است که بر مفهوم اختیار به علاوه این فرض که انسان‌ها عملکردهای ممکن را ارزیابی کرده و بهترین را انتخاب می‌کنند، بنا شده است. این نظریه موثر در پیش‌بینی رفتار همواره موفق نیست، زیرا آن‌طور که می‌دانیم تصمیمات اغلب عاقلانه نیستند و یا براساس تحلیلی ناقص از نتیجه‌ی یک تصمیم اتخاذ می‌شوند. برای همین است که دنیا چنین آشفته است.

سوال سوم به این مطلب اشاره دارد که آیا قوانینی که هم رفتار انسان و هم رفتار جهان را تعیین می‌کنند، منحصر به فرد هستند؟ اگر پاسخ شما به

سوال اول این باشد که خداوند قوانین را آفریده است، آنگاه این سوال به این شکل خواهد بود که آیا خداوند در گزینش قوانین حق انتخاب داشته است یا نه؟ افلاطون و ارسطو، مثل دکارت و بعدها ایشیتین، عقیده داشتند که اصول حاکم بر طبیعت به واسطه «ضرورت» وجود دارند، یعنی آن‌ها تنها قوانینی هستند که از نظر منطقی معنی می‌دهند. ارسطو و پیروانش با اعتقاد به این که منشأ قوانین طبیعت در منطق است، تصور کردند می‌توان این قوانین را بدون توجه زیاد به این که در واقع طبیعت چگونه رفتار می‌کند، استخراج نمود. این مسأله به همراه تمرکز بر روی این که چرا اجسام از قوانین تبعیت می‌کنند به جای این که ببینند قوانین مشخصاً چه هستند، آن‌ها را به سمت قوانین اساساً کیفی سوق داد که اغلب اشتباه بودند و در هر صورت خیلی مفید از آب در نیامدند، حتی با این که برای قرن‌ها افکار علمی را تحت تاثیر خود قرار دادند. مدت‌ها گذشت تا افرادی مثل گالیله جرات کردند حوزه اقتدار ارسطو را به چالش بکشند و آنچه را طبیعت واقعاً انجام داده مشاهده کنند، به جای این که ببینند خرد ناب چه گفته که طبیعت باید انجام دهد.

این کتاب ریشه در مفهوم جبرگرایی علمی دارد که بیان می‌کند در پاسخ پرسش دوم معجزه یا استثنایی برای قوانین طبیعت وجود ندارد. در هر صورت برای پاسخ دادن به پرسش‌های یک و سه نیز باز خواهیم گشت؛ این که قوانین از کجا بر می‌خیزند و آیا آن‌ها تنها قوانین ممکن هستند؟ اما نخست در فصل بعد، به این مطلب می‌پردازیم که قوانین طبیعت چه چیزی را توصیف می‌کنند. اغلب دانشمندان می‌گویند آن‌ها صورت‌بندی ریاضی یک واقعیت بیرونی هستند که مستقل از ناظر مشاهده‌گر، وجود دارند. اما با اندیشیدن به نحوه مشاهده و مفاهیمی که در رابطه با آن شکل می‌گیرند، به این سوال بر می‌خوریم که آیا واقعاً دلیلی داریم باور کنیم واقعیت بیرونی وجود دارد؟



## واقعیت بیرونی چیست؟

چندین سال قبل، شورای شهر مونترال در ایتالیا، طی بیانیه‌ای نگهداری ماهی‌های خانگی را در تَنگ‌های مدور ممنوع اعلام کرد. وضع کنندگان این قانون معتقد بودند نگهداری ماهی در تنگ با دیواره‌های منحنی، بیرحمانه است، زیرا ماهی از درون تنگ تصویر تحریف شده‌ای از واقعیت بیرونی را خواهد دید. اما سؤال اینجاست، از کجا می‌دانیم تصویر خود ما از واقعیت بیرونی تحریف نشده و حقیقی است؟ آیا این امکان وجود دارد که خود ما نیز درون یک تنگ بزرگ بوده و تصویر مان از واقعیت بیرونی به وسیله یک عدسی بسیار بزرگ اعوجاج یافته باشد؟ تصویر ماهی درون تنگ از واقعیت بیرونی، با آنچه ما می‌بینیم تفاوت دارد، اما آیا می‌توان مطمئن بود تصویر ما به واقعیت نزدیک‌تر است؟

تصویری که ماهی درون تنگ می‌بیند با آنچه ما می‌بینیم تفاوت دارد، با این حال ماهی نیز می‌تواند قوانین علمی مربوط به حرکت اشیاء بیرون از تنگ را تدوین کند. به عنوان مثال، به دلیل اعوجاج ایجاد شده، شیء متحرکی که از دید ما روی یک خط مستقیم حرکت می‌کند، از نظر ماهی بر روی یک مسیر منحنی حرکت خواهد کرد. با این وجود، هنوز هم ماهی می‌تواند از چارچوب دایره‌ای تحریف شده خود، قوانین علمی را صورت‌بندی کرده و به کمک آن‌ها پیشگویی‌هایی را در رابطه با حرکت بعدی اشیاء بیرون از تنگ انجام دهد. درست است که به نظر می‌رسد قوانین ماهی‌ها بسیار پیچیده‌تر از قوانین چارچوب ما باشد، اما این که چه چیزی پیچیده‌تر است خود مسأله‌ای سلیقه‌ای است. اگر یک ماهی چنین نظریه‌ای را صورت‌بندی کرده بود، ناچار تصویر ماهی را به عنوان تصویر صحیح از واقعیت بیرونی می‌پذیرفتیم.



فره‌یخته، حداقل از زمان ارسطو به بعد چنین افکاری را باور داشتند. ارسطو عقیده داشت زمین به دلایل مرموزی باید در مرکز جهان قرار داشته باشد. در مدل بطلمیوس، زمین در حالتی ایستا در مرکز قرار گرفته و دیگر سیارات و ستارگان در مداراتی پیچیده، روی دوایی که مرکزهایشان بر روی محیط دایره دیگر به مرکزیت زمین قرار دارند، چون چرخ روی چرخ دیگر، به دور زمین می‌گردند.

این مدل طبیعی به نظر می‌رسید زیرا ما حرکت زمین را در زیر پاهایمان حس نمی‌کنیم (مگر در مواقع زلزله و یا لحظات پر شور). بعدها دانش اروپایی براساس منابع یونانی شکل گرفت و ایده‌های ارسطو و بطلمیوس اساس بخش عظیمی از افکار غربی را تشکیل دادند. مدل بطلمیوس از کیهان، به وسیله کلیسای کاتولیک مورد قبول واقع و برای ۱۴۰۰ سال به عنوان آیینی رسمی پذیرفته شد. این وضع تا سال ۱۵۴۳ ادامه داشت؛ زمانی که کوپرنیک در کتاب خود با نام *اندر گردش کرات آسمانی*، که در سالمرگ او منتشر شد، مدل جایگزینی را مطرح کرد (اگرچه او چندین دهه بر روی نظریه خود کار کرده بود).

کوپرنیک، مانند آریستارخوس در هفده قرن قبل از آن، دنیایی را توصیف کرد که در آن خورشید آسوده و سیارات در مدارات دایره‌ای به دور آن در گردش هستند. اگرچه این ایده جدید نبود، با این حال احیای مجدد آن با مخالفت سرسختانه‌ای مواجه شد. مدل کوپرنیک در تناقض آشکار با انجیل قرار داشت. اگرچه در انجیل این موضوع آشکارا بیان نشده بود، اما تفاسیر انجام گرفته از آن بیان می‌داشتند که سیارات به دور زمین می‌چرخند. در حقیقت در زمان نگارش انجیل مردم می‌پنداشتند زمین تخت است. مدل کوپرنیک منجر به بروز مباحثات آتشینی گردید و بحث پیرامون مسأله ثابت بودن زمین به حد اعلی خود رسید. در سال ۱۶۳۳ گالیله به جرم ارتداد، به دلیل حمایت از مدل کوپرنیک و همچنین به جرم این طرز فکر که «می‌توان به یک ایده محتمل باور داشت و از آن دفاع کرد، حتی در صورتی که طبق تشخیص، مخالف با کتب مقدس باشد»



جهان بطلمیوس. بطلمیوس عقیده داشت ما در مرکز جهان زندگی می‌کنیم.

یک مثال مشهور از تصاویر مختلف واقعیت بیرونی، مدلی است که در حدود سال ۱۵۰ میلادی به وسیله بطلمیوس (حدود ۸۵ تا ۱۶۵ میلادی) برای توصیف نحوه حرکت اجرام آسمانی مطرح شد. بطلمیوس کار خود را به صورت یک رساله سیزده جلدی منتشر کرد که اغلب با عنوان عربی آن، *مجسطی*، شناخته می‌شود. در *مجسطی* نخست به توضیح دلایلی برای این که چرا تصور می‌شود زمین کروی و بی حرکت در مرکز جهان قرار گرفته و در مقایسه با فواصل آسمانی بسیار کوچک است، پرداخته می‌شود. با وجود مدل خورشید مرکزی آریستارخوس، باز هم اغلب یونانیان



معجزه شناخته شد و باقی عمر خود را در حبس خانگی به سر برد. به علاوه، وادار شد تا حرف خود را پس بگیرد. گفته می‌شود او زیر لب این جمله را زمزمه کرده است: «اما هنوز حرکت می‌کند.» بالاخره در سال ۱۹۹۲، کلیسای کاتولیک رم، اعتراف کرد محکوم کردن گالیله اشتباه بوده است.

اما کدامیک واقعی هستند، سیستم بطلمیوس یا کوپرنیک؟ با این که اغلب مردم می‌گویند کوپرنیک ثابت کرد که ادعای بطلمیوس نادرست است، ولی این حقیقت ندارد. درست همانند مسأله تصویر معمولی ما در مقایسه با تصویر ماهی درون تنگ، می‌توان هریک از تصاویر فوق را به عنوان مدلی برای جهان به کار برد، زیرا مشاهدات ما از افلاک را می‌توان با فرض هریک از حالات زمین یا خورشید ایستا توضیح داد. مزیت اصلی سیستم کوپرنیک، صرفنظر از نقش آن در مناظره‌های فلسفی پیرامون طبیعت جهان ما، به سادگی این است که معادلات مربوط به حرکت در چارچوب مرجعی که در آن خورشید ثابت است، بسیار ساده‌تر از حالات دیگر خواهد بود.

نوع دیگری از واقعیت جایگزین در فیلم علمی - تخیلی ماتریکس به نمایش گذاشته شده است. در این فیلم نژاد انسان، بی‌خبر در واقعیت مجازی شبیه‌سازی شده توسط کامپیوترهای هوشمند، زندگی می‌کند. در این وضعیت، درحالی‌که انسان‌ها در آرامش و رضایت بسر می‌برند، کامپیوترها از انرژی بیوالکتریکی آن‌ها (یا هر چیزی که هست) استفاده می‌کنند. شاید چنین روزی زیاد هم دور نباشد، زیرا حتی امروزه هم بسیاری از افراد ترجیح می‌دهند ساعات خود را در فضاهای شبیه سازی شده تارنماهایی مثل زندگی دوم (Second Life) بگذرانند. از کجا معلوم که ما تنها شخصیت‌های یک نمایش کامپیوتری پیش پا افتاده نباشیم؟ اگر ما در یک دنیای تخیلی ساختگی زندگی می‌کردیم، رویدادها لزوماً از منطق خاصی پیروی نکرده و یا تابع هیچ قانونی نبودند. در این صورت ممکن بود برای بیگانگان کنترل کننده‌ی ما، جالب‌تر یا سرگرم کننده‌تر باشد که عکس العمل ما را تماشا کنند، زمانی که به عنوان مثال، ماه کامل

به دو نیم تقسیم شود و یا هرکسی که در این جهان رژیم غذایی می‌گیرد، هوس کیک خامه‌ای موزی کند. اما اگر کنترل کنندگان، قوانین پایداری را بر این جهان اعمال کنند، به هیچ وجه نمی‌توان فهمید آیا واقعیت دیگری در ورای واقعیت شبیه سازی شده وجود دارد یا نه. راحت‌تر است دنیای آن‌ها را دنیای «واقعی» و دنیای ساختگی را دنیای «دروغین» بنامیم. اما اگر مثل ما، موجودات درون دنیای شبیه‌سازی شده نتوانند از بیرون به دنیای خود نگاه کنند، دلیلی وجود نخواهد داشت که به تصویر خود از واقعیت شک کنند. این فکر، صورت جدیدی است از این ایده که همه ما بخشی از رویای شخص دیگری هستیم.



این یک نوار ضبط شده است...مهم نیست، خودم یک هولوگرام هستم.



این مثال‌ها ما را به یک نتیجه می‌رساند، که در این کتاب از اهمیت بسزایی برخوردار است: هیچ تصویری یا مفهومی مستقل از نظریه، برای واقعیت بیرونی وجود ندارد. در عوض تصویری را می‌پذیریم که به آن واقع‌گرایی وابسته به مدل گفته می‌شود و مطابق آن نظریه فیزیکی یا تصویر جهان، شامل یک مدل (عموماً با ماهیت ریاضی) و مجموعه‌ای از قوانین است که ارکان مدل را به مشاهدات پیوند می‌دهد. این مفهوم، چارچوبی را برای تفسیر علم جدید فراهم می‌کند.

از زمان افلاطون به بعد، سال‌ها فیلسوفان به موضوع ماهیت واقعیت بیرونی پرداخته‌اند. علم کلاسیک بر این باور پایه‌گذاری شده است که یک جهان بیرونی واقعی وجود دارد که ویژگی‌های آن معین و مستقل از ناظری هستند که آن‌ها را مشاهده می‌کنند. برطبق علم کلاسیک، اشیاء مشخصی بیرون از ذهن ما وجود دارند که دارای ویژگی‌های فیزیکی کاملاً معین، مثل سرعت و جرم هستند. از این دیدگاه، نظریه‌های ما تنها تلاش‌هایی برای توصیف آن اشیاء و تعیین ویژگی‌های آن‌ها هستند و اندازه‌گیری و درک ما از آن‌ها وابسته به وجود خارجی آن‌هاست. هم مشاهده‌گر و هم مشاهده‌شونده، بخشی از جهانی هستند که دارای وجودی عینی بوده و تمایز بین آن‌ها معنی ندارد. به بیان دیگر، مثلاً اگر شاهد گله‌ای گورخر باشید که در پارکینگ خانه، برای پناهگاه با هم می‌جنگند، این تنها به این دلیل است که گله‌ای گورخر در پارکینگ برای یک پناهگاه با هم می‌جنگند. هر مشاهده‌گر دیگری که به این ماجرا نگاه کند، همان ویژگی‌ها را خواهد دید و جالب است که گله، فارغ از این که کسی به آن‌ها نگاه کند یا نه، همان ویژگی‌ها را حفظ خواهد کرد. این نوع عقیده در فلسفه واقع‌گرایی نامیده می‌شود.

اگرچه ممکن است ایده واقع‌گرایی وسوسه‌انگیز به نظر آید، اما همان‌طور که بعداً خواهیم دید، آنچه در مورد فیزیک مدرن می‌دانیم، دفاع از این ایده را مشکل می‌سازد. به عنوان مثال، برطبق اصول فیزیک کوانتوم، که توصیف دقیقی از طبیعت محسوب می‌شود، هر ذره نه مکان

و نه سرعت دقیقی دارد، مگر این که این مقادیر به وسیله مشاهده‌گری اندازه‌گیری شوند. از این رو صحیح نیست بگوییم که اندازه‌گیری، منجر به حصول نتایجی دقیق می‌شود، زیرا مقدار اندازه‌گیری شده تنها در زمان اندازه‌گیری چنین مقداری داشته است. در حقیقت، در برخی موارد اشیاء حتی وجود مستقل نیز ندارند و تنها به عنوان بخشی از یک مجموعه موجودیت می‌یابند. اگر صحت نظریه‌ای به نام اصل هولوگرافیک به اثبات برسد، می‌توان گفت احتمالاً ما و دنیای چهار بعدی ما، تنها سایه‌هایی بر روی مرزهای یک فضا-زمان بزرگ‌تر پنج بعدی هستیم. در آن صورت، وضعیت ما در جهان مشابه وضعیت ماهی درون تنگ خواهد بود.

حامیان سرسخت واقع‌گرایی اغلب معتقدند که موفقیت نظریه‌های علمی بیانگر وجود واقعیت بیرونی است. اما نظریه‌های مختلف می‌توانند با موفقیت، پدیده‌ای را از طریق چارچوب‌های مفهومی متفاوت توضیح دهند. در حقیقت بسیاری از نظریه‌های علمی که موفقیت آن‌ها به اثبات رسیده، بعدها با نظریات دیگری جایگزین شدند؛ نظریات موفقی که براساس مفاهیم کاملاً جدیدی از واقعیت بیرونی بنا شده بودند.

کسانی که واقع‌گرایی را نپذیرفتند، اغلب ضد واقع‌گرا نامیده شدند. ضد واقع‌گرایان بین علم تجربی و علم نظری تمایز قائل‌اند. آن‌ها معمولاً اعتقاد دارند اگرچه مشاهده و تجربه اهمیت دارند، اما نظریه‌های مبتنی بر آن‌ها چیزی بیش از یک ابزار مفید نبوده و حقایق عمیق‌تری را در ارتباط با پدیده مشاهده شده در بر ندارند. برخی ضد واقع‌گراها حتی خواسته‌اند علم را تنها به چیزهای قابل مشاهده محدود کنند. به این ترتیب، در قرن نوزدهم بسیاری ایده اتم را تنها به این دلیل نپذیرفتند که نمی‌توان آن را دید. جورج برکلی (۱۶۸۵ تا ۱۷۵۳) حتی تا آنجا پیش رفته که می‌گوید چیزی جز ذهن و افکار درون آن وجود ندارد. زمانی که یک دوست به نویسنده و لغت نویس انگلیسی، دکتر ساموئل جانسون (۱۷۰۹ تا ۱۷۸۴) خاطر نشان کرد که ممکن است ادعای برکلی اشتباه نباشد، جانسون به بالای سنگ بزرگی رفت و به آن لگدی زد و گفت: «از قرار من آن را رد



کردم. البته می‌توان گفت دردی که دکتر جانسون در پای خود احساس کرد نیز خود در ذهن او بود و بنابراین واقعاً ایده برکلی را رد نمی‌کرد. اما کار او دیدگاه دیوید هیوم فیلسوف (۱۷۱۱ تا ۱۷۷۶) را به نمایش می‌گذاشت؛ کسی که نوشت اگرچه ما هیچ اساس منطقی برای باور یک واقعیت عینی نداریم، با این حال چاره‌ای نداریم جز این که طوری عمل کنیم انگار واقعیت وجود دارد.

واقع‌گرایی وابسته به مدل، به تمام بحث و جدل‌های بین مکاتب فکری واقع‌گرا و ضد واقع‌گرا پایان می‌دهد.



«شما هر دو یک وجه اشتراک دارید. دکتر دیویس ذره‌ای را کشف کرده که کسی تا به حال ندیده، و پروفیسور هایب کهکشانی را کشف کرده که کسی تاکنون ندیده است.»

است. می‌توان از هرکدام از دو مدل که در شرایط مورد نظر بهتر عمل می‌کند، استفاده کرد. به عنوان مثال اگر درون تنگ باشیم، تصویری که ماهی درون تنگ می‌بیند کارآمد خواهد بود، ولی برای آن‌هایی که بیرون از تنگ هستند، توصیف رویدادهای مربوط به کهکشانی دور، از منظر ماهی درون تنگ بسیار مشکل خواهد بود. مخصوصاً به این دلیل که با حرکت زمین به دور خورشید و چرخش‌های محوری آن، تنگ نیز حرکت خواهد کرد. ما در زندگی روزمره نیز مانند حوزه علم مدل می‌سازیم. واقع‌گرایی وابسته به مدل نه تنها در مورد مدل‌های علمی مطرح است، بلکه در مورد مدل‌های ذهنی خودآگاه و ناخودآگاه ما برای تفسیر و درک دنیای روزمره خود نیز به کار می‌آید. هیچ راهی برای حذف مشاهده‌گر - یعنی ما - از درک جهان، که از طریق پردازش حسی و از طریق روش تفکر و استدلال ایجاد می‌شود، وجود ندارد. درک ما و در نتیجه مشاهداتی که براساس آن‌ها نظریات مان بنا می‌شوند، مستقیم نبوده و تا حدی از طریق نوعی عدسی، یا به عبارتی ساختار تفسیری مغز ما، شکل گرفته است.

واقع‌گرایی وابسته به مدل، به شیوه درک ما از اشیاء مربوط می‌شود. تصور بر این است که مغز ما دنباله‌ای از سیگنال‌ها را از طریق اعصاب بینایی دریافت می‌کند. این سیگنال‌ها در نوع تصویری که شما می‌بینید، دخالتی ندارند. در شبکه چشم نقطه کوری وجود دارد که در آن عصب بینایی به شبکه متصل می‌شود و بخشی از میدان دید شما که دارای وضوح مطلوب است، تنها منطقه کوچکی در حدود ۱ درجه از زاویه دید اطراف مرکز شبکه است، مساحتی به عرض انگشت شست در حالت بازوی تمام کشیده. بنابراین اطلاعات خامی که به مغز فرستاده می‌شوند، تصویری مخدوش با یک سوراخ در وسط آن خواهد بود. خوشبختانه مغز انسان این اطلاعات را پردازش می‌کند. به این ترتیب که ورودی‌های دریافتی از جانب دو چشم را ترکیب کرده و جاهای خالی را با این فرض که ویژگی‌های تصویری مکان‌های مجاور، مشابه و قابل جایگزینی هستند، پر می‌کند. به علاوه مغز آرایه‌ای دو بعدی از اطلاعات شبکه را خوانده و

برطبق واقع‌گرایی وابسته به مدل، اگر مدلی با مشاهدات سازگار باشد، دیگر این سؤال که آیا واقعی است یا نه بی‌معنی به نظر می‌رسد. اگر دو مدل وجود دارند که با مشاهدات مطابقت می‌کنند، مثل تصویر ماهی درون تنگ و تصویر ما، در این صورت نمی‌توان گفت که یکی از دیگری واقعی‌تر



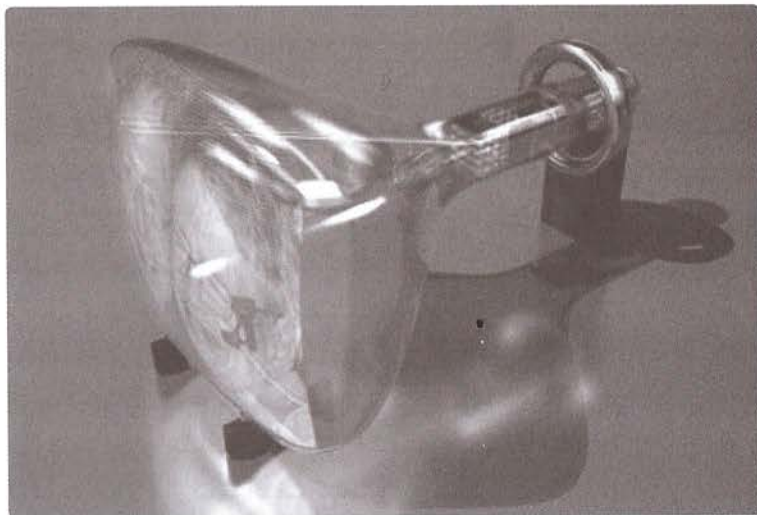
از آن برداشتی سه بعدی ایجاد می‌کند. به بیان دیگر مغز، تصویر یا مدل ذهنی می‌سازد.

مغز در ساخت مدل چنان خوب عمل می‌کند که اگر از عینکی استفاده کنیم که تصاویر را وارونه نشان دهد، پس از مدتی مغز ما، مدل را به گونه‌ای تغییر داده که ما باز هم تصاویر را درست می‌بینیم. به همین ترتیب اگر عینک را از چشم برداریم، برای مدتی جهان را وارونه دیده و سپس دوباره به حالت اول باز می‌گردیم. این نشان می‌دهد وقتی می‌گوییم «من یک صندلی می‌بینم»، صرفاً منظور این است که از نور پراکنده شده به وسیله صندلی برای ساخت تصویر یا مدلی ذهنی از صندلی استفاده کرده‌ایم. اگر این مدل وارونه شود، خوشبختانه قبل از این که کسی تصمیم بگیرد بر روی صندلی بنشیند، مغز ما مدل را تصحیح خواهد کرد.

مشکل دیگری که واقع‌گرایی وابسته به مدل حل یا دست‌کم از آن اجتناب می‌کند، معنی وجود است. چگونه می‌توان مطمئن بود که میزی، در حالیکه از اتاق خارج شده‌ایم و نمی‌توانیم آن را ببینیم، هنوز هم وجود دارد؟ این که چیزهایی که نمی‌توانیم ببینیم، مثل الکترون‌ها و کوارک‌ها - ذراتی که گفته می‌شود تشکیل دهنده پروتون و نوترون هستند - وجود دارند، چه معنی می‌دهد؟ می‌توان مدلی اتخاذ کرد که در آن با ترک اتاق میز ناپدید شده و با بازگشت ما درست در همان محل دوباره پدیدار شود. اما این مدل استادانه نیست و این سؤال پیش می‌آید که در زمان بیرون رفتن از اتاق، مثلاً در صورت ریزش سقف، چه اتفاقی می‌افتد؟ چگونه با در نظر گرفتن مدل «با خارج شدن من از اتاق میز ناپدید می‌شود»، می‌توان این حقیقت را که بار دیگر با بازگشت به اتاق، میز به صورت شکسته زیر آوار سقف ظاهر می‌شود یا نه، تصمیم گرفت؟ مدلی که در آن میز در جای خود مستقر باقی مانده، ساده‌تر به نظر می‌آید و با مشاهدات نیز تطابق دارد. این تمام چیزی است که می‌توان گفت.

در مورد ذرات زیراتمی غیرقابل رؤیت، الکترون، مدل کارآمدی است که مشاهداتی از قبیل ردیابی ذرات در اتاقک ابر و یا نقاط نور در لامپ

تلویزیون و همین‌طور بسیاری پدیده‌های دیگر را توضیح می‌دهد. گفته می‌شود الکترون در سال ۱۸۹۷ به وسیله فیزیکدان بریتانیایی جی. جی. تامسون در آزمایشگاه کاوندیش دانشگاه کمبریج کشف شد. تامسون بر روی پدیده‌ی عبور جریان الکتریکی در داخل یک تیوب شیشه‌ای خالی آزمایش می‌کرد؛ پدیده‌ای به نام پرتو کاتدی. او از این آزمایش نتیجه گرفت که پرتوهای مرموز از اجزای کوچکی که ماده تشکیل دهنده اتم‌ها هستند تشکیل شده که در آن زمان تصور می‌شد واحد بنیادی غیرقابل تقسیم مواد هستند. تامسون نه تنها خود شخصاً الکترون را مشاهده نکرد، حتی آزمایش‌های او نیز به‌طور مستقیم و بی‌پرده نشان دهنده وجود الکترون نبودند. اما مدل او در کاربردهای مختلفی اعم از علوم بنیادی و حتی مهندسی نقش تعیین‌کننده‌ای ایفا کرد و امروزه تمام فیزیکدانان به وجود الکترون باور دارند؛ حتی با این که نمی‌توان آن را دید.



پرتوهای کاتدی. اگرچه در پرتوهای کاتدی نمی‌توان الکترون‌ها را دید اما می‌توان اثر ایجاد شده به وسیله آن‌ها را مشاهده کرد.



می‌سازد تا به بحث در مورد سوآلهایی از این قبیل بپردازیم که اگر جهان در زمان مشخصی در گذشته خلق شده باشد، قبل از آن چه اتفاقی افتاده است؟ یکی از فیلسوفان قدیمی مسیحی به نام سن آگوستین (۳۴۵ تا ۴۳۰ میلادی)، گفته است جواب این سوآل مسلماً این نیست که خداوند در آن زمان در حال آماده ساختن جهنم برای کسانی بوده است که چنین سوآلاتی می‌پرسند، بلکه زمان خود ویژگی جهانی است که خدا آفریده و پیش از آفرینش، زمان وجود نداشته است؛ آفرینشی که به عقیده او زمان زیادی از آن نگذشته است. یک مدل ممکن وجود دارد که مورد توجه کسانی است که عقیده دارند این تخمین زمانی در داستان پیدایش (Genesis) واقعاً درست است، حتی اگر جهان شامل فسیل‌ها و شواهد دیگری باشد که آن را مسن‌تر نشان دهد. (آیا این شواهد برای این گذاشته شده‌اند تا ما را فریب دهند؟) می‌توان مدل دیگری را نیز در نظر گرفت که در آن، زمان ۱۳/۷ میلیارد سال تا زمان انفجار بزرگ، به عقب باز می‌گردد. مدلی که مشاهدات فعلی ما، شامل شواهد تاریخی و زمین‌شناختی را بیش‌تر از همه توضیح دهد، بهترین بازنمایی از گذشته خواهد بود. مدل دوم می‌تواند فسیل‌ها، سوابق رادیواکتیو و همچنین این حقیقت را که نور کهکشان‌هایی که از فاصله میلیون‌ها سال نوری به ما می‌رسد، توضیح دهد و بدین ترتیب این مدل، یعنی نظریه انفجار بزرگ، از اولین مدل، کاربردی‌تر است. البته بازهم نمی‌توان گفت کدامیک از دیگری واقعی‌تر هستند.

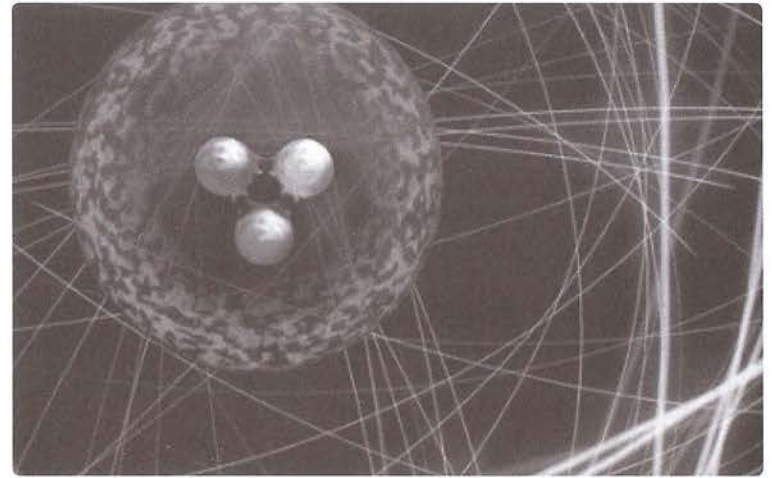
برخی افراد از مدلی حمایت می‌کنند که در آن، زمان حتی به قبل از انفجار بزرگ باز می‌گردد. هنوز مشخص نشده است که آیا چنین مدلی در توصیف مشاهدات فعلی ما بهتر عمل می‌کند یا نه، زیرا به‌نظر می‌رسد قوانین مربوط به تکامل جهان در نقطه انفجار بزرگ فرو می‌ریزند. اگر چنین باشد، مدلی که زمان قبل از انفجار بزرگ را نیز شامل شود، بی‌فایده به‌نظر می‌رسد زیرا هر آنچه در آن زمان وجود داشته است هیچ اثر قابل مشاهده‌ای در حال حاضر نخواهد داشت و بنابراین شاید بهتر است تصور کنیم انفجار بزرگ نقطه خلقت جهان بوده است.

کوارک، یکی دیگر از ذرات غیرقابل رؤیت، مدلی است برای توصیف ویژگی‌های پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته اتم. اگرچه گفته می‌شود پروتون‌ها و نوترون‌ها از کوارک تشکیل شده‌اند، اما هرگز نمی‌توان یک کوارک را دید، زیرا نیروی همبستگی بین کوارک‌ها با جداسازی آن‌ها افزایش می‌یابد و بنابراین کوارک‌های تنها و آزاد نمی‌توانند در طبیعت وجود داشته باشند. در عوض آن‌ها همیشه در گروه‌های سه تایی (پروتون‌ها و نوترون‌ها) و یا دوتایی کوارک و آنتی کوارک (مزون‌های پی) دیده می‌شوند و به گونه‌ای رفتار می‌کنند که گویی به وسیله نوارهای لاستیکی به هم متصل شده‌اند.

این سوآل که آیا، حتی با دانستن این موضوع که هرگز نمی‌توان یک کوارک را از کوارک‌های دیگر جدا کرد، بازهم می‌توان گفت کوارک وجود دارد، تا سال‌ها پس از مطرح شدن مدل کوارک منجر به مجادلات بحث‌انگیزی شد. این ایده که ذرات گوناگون، از ترکیب ذرات زیر هسته‌ای مختلف تشکیل می‌شوند، منجر به اصل سامان‌بخشی شده است که ویژگی‌های ذرات را به صورت جالب و ساده توصیف می‌کند. قبلاً فیزیکدانان عادت داشتند تنها وجود ذراتی را بپذیرند که روی آشکار سازهای مربوط به آزمایش‌های برخورد ذرات ردی به جا می‌گذاشتند. بدین ترتیب پذیرش وجود ذره‌ای که ممکن است اصولاً غیرقابل رؤیت باشد، برای بسیاری از فیزیکدانان سنگین بود. با این حال در طول سال‌ها وقتی مدل کوارک پیش‌بینی‌های صحیح‌تر و بیش‌تری انجام داد، مخالفت‌ها رو به افول گذاشت. مطمئناً این احتمال وجود دارد که برخی موجودات بیگانه، با هفده بازو و دید فروسرخ، که از گوش‌هایشان خامه بیرون می‌ریزد، مشاهدات تجربی مشابهی داشته باشند، اما آن‌ها را بدون فرض وجود کوارک توصیف کنند. با این وجود، مطابق واقع‌گرایی وابسته به مدل، کوارک با مشاهدات ما از چگونگی رفتار ذرات زیر هسته‌ای مطابقت دارد.

واقع‌گرایی وابسته به مدل، با فراهم آوردن چارچوبی ما را قادر





کوارک. مفهوم کوارک رکن حیاتی در نظریات ما در زمینه فیزیک بنیادی است، حتی با این که نمی توان کوارک ها را به طور مجزا مشاهده کرد.

یک مدل خوب، مدلی است که:

۱. زیبا باشد.
۲. عناصر تصادفی و تعدیل پذیر کمی داشته باشد.
۳. با تمام مشاهدات موجود مطابقت داشته و آن ها را توضیح دهد.
۴. پیش گویی های دقیقی در مورد مشاهدات آتی بدهد، به گونه ای که اگر پیش گویی ها نادرست از آب در آمدند، عدم صحت و نادرستی مدل معلوم شود.

به عنوان مثال نظریه ارسطو مبنی بر این که جهان از چهار عنصر زمین، هوا، آتش و آب تشکیل شده است و این که اشیاء به گونه ای رفتار می کنند که هدف خود را تأمین کنند، هم زیبا است و هم دارای عناصر تعدیل پذیر نیست. اما این نظریه، در بسیاری موارد پیش گویی های قطعی انجام نمی دهد و حتی در مواردی هم که پیش بینی هایی دارد، اغلب با مشاهدات تطابق ندارند. یکی از این پیش گویی ها بیان می داشت که اجسام سنگین تر باید سریع تر سقوط کنند، زیرا هدف نهایی آن ها سقوط است.

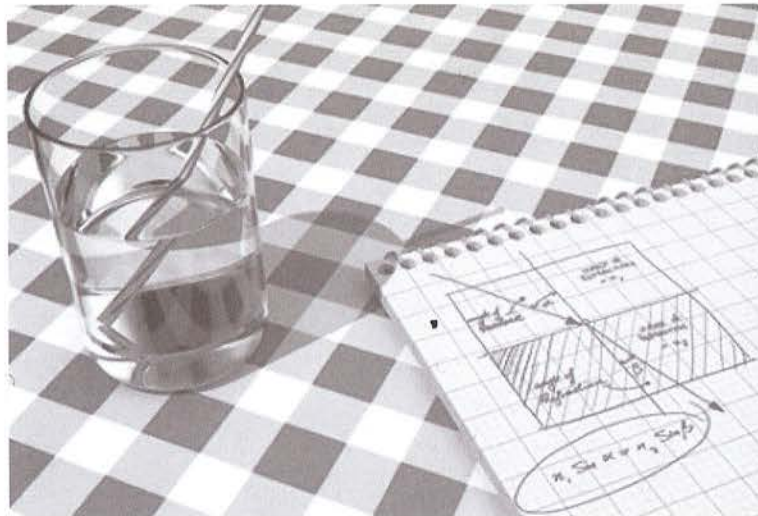
به نظر می رسد هیچ کس تا زمان گالیله به این فکر نیفتاد که این مسأله مهم را مورد آزمایش قرار دهد. داستانی وجود دارد که بر طبق آن گالیله با رها کردن وزنه های مختلف از بالای برج کج پیزا این مسأله را آزمایش کرد. این داستان احتمالاً ساختگی است ولی امروزه می دانیم که او از روی یک سطح شیب دار وزنه های مختلفی را به پایین رها کرده و مشاهده نموده است که تمام آن ها با نرخ ثابتی سرعت گرفته اند و این مخالف با پیش گویی ارسطو بوده است.

واضح است که چهار معیار بالا غیر عینی هستند. به عنوان مثال زیبایی معیاری نیست که به راحتی قابل سنجش باشد، با این حال در بین دانشمندان بسیار اهمیت دارد. زیرا قوانین طبیعت باید بتوانند بسیاری از موارد بخصوص را در یک فرمول ساده فشرده کنند. با این که زیبایی معیاری است که به شکل نظریه باز می گردد، اما به میزان زیادی به نبود عناصر تعدیل پذیر وابسته است، زیرا مسلماً نظریه ای با فاکتورهای سرهم بندی شده خیلی زیبا نخواهد بود. به گفته اینشتین، یک نظریه باید تا جایی که امکان دارد ساده باشد، ولی نه ساده تر از آن. بطلمیوس، دوایر دیگری بر روی مدارهای مدور اجرام آسمانی افزود تا بتواند با استفاده از این مدل جدید حرکت این اجرام را به دقت توضیح دهد. اگر دوایر دیگری را، یا حتی بیش تر، بر روی دوایر افزوده شده اضافه کنیم، این مدل می تواند دقیق تر از این باشد. اگر فکر می کنید پیچیدگی بیش تر می تواند دقت مدل را بالا ببرد، باید بدانید دانشمندان نشان داده اند چگونه مدلی که به منظور تطابق با مجموعه ای از مشاهدات، از شکل می افتد، تا چه حد نارضی کننده است. به عبارت دیگر چنین مدلی بیش تر شبیه به فهرست اطلاعات است تا نظریه ای که شامل اصول قابل استفاده باشد.

در فصل ۵ خواهیم دید بسیاری از افراد به «مدل استاندارد» معتقدند، مدلی که اثرات متقابل ذرات اصلی طبیعت را به صورت نازیبا توضیح می دهد. این مدل بسیار موفق تر از مدل دوایر بطلمیوس است. مدل استاندارد وجود ذرات جدید بسیاری را، حتی قبل از مشاهده آن ها، پیش گویی کرده



باشد. در عوض او دریافت تقریباً تمام کهکشان‌ها در حال دور شدن از ما هستند، و هرچه از ما دورتر باشند، سرعت دور شدنشان نیز بیش‌تر است. به این ترتیب هابل نتیجه گرفت که جهان در حال انبساط است. اما دیگران، در تلاش برای حفظ نظریات قدیمی خود، سعی کردند تا مشاهدات او را در محدوده جهان ایستا توضیح دهند. به عنوان مثال، فیزیکدان دانشگاه کلتک، فریتز زوئیکی، پیشنهاد کرد که به دلایل هنوز نامعلومی، وقتی نور مسافت‌های زیادی را می‌پیماید، احتمالاً انرژی خود را کم کم از دست می‌دهد. این کاهش در انرژی می‌تواند منجر به تغییر در طیف نور شود و به این ترتیب مشاهدات هابل را توضیح دهد. تا چندین دهه بعد از هابل، دانشمندان زیادی به حمایت از نظریه حالت پایدار ادامه دادند. اما تا به امروز، مدل هابل که نشانگر جهان در حال انبساط است، بدیهی‌ترین مدل و تنها مدلی است که مورد پذیرش واقع شده است.



پدیده شکست نور. مدل نور نیوتون توضیح می‌دهد چرا نور با ورود از یک محیط به محیط دیگر خم می‌شود، اما نمی‌تواند پدیده دیگری را که امروزه حلقه‌های نیوتون نامیده می‌شود، توضیح دهد.

است. به علاوه در طول چندین دهه توانسته نتایج آزمایش‌های متعددی را با دقت فوق‌العاده توضیح دهد. اما این مدل شامل پارامترهای تعدیل‌پذیر بسیاری است که به جای این که مقدارشان از طریق خود نظریه تعیین شود، باید برای تطبیق با مشاهدات آن‌ها را به‌طور دستی تعیین کرد.

در خصوص چهارمین نکته، دانشمندان همواره زمانی که صحت پیش‌گویی‌های جدید و مهیج تایید می‌شود تحت تاثیر قرار می‌گیرند. از طرف دیگر، زمانی که صحت یک مدل مورد تردید واقع می‌شود، یکی از عکس‌العمل‌های شایع این است که بگوییم آزمایش انجام شده نادرست بوده است. اگر ثابت شود که آزمایش مشکلی نداشته، اغلب افراد بازمه مدل را رها نکرده و در عوض سعی می‌کنند با اعمال اصلاحات، آن را حفظ کنند. با این که فیزیکدانان در تلاش‌های خود برای نجات نظریه‌هایی که به آن‌ها تمایل دارند واقعاً سخت‌گیر هستند، با این حال تمایل برای بهبود و اصلاح یک نظریه تا حدی پیش می‌رود که این تغییرات باعث مصنوعی و سنگین شدن نظریه و در نتیجه نازیبا شدن آن نگردد.

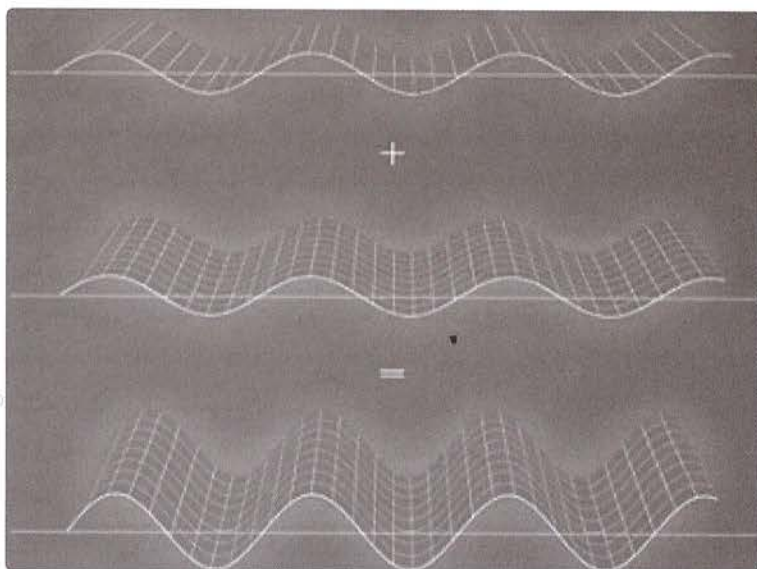
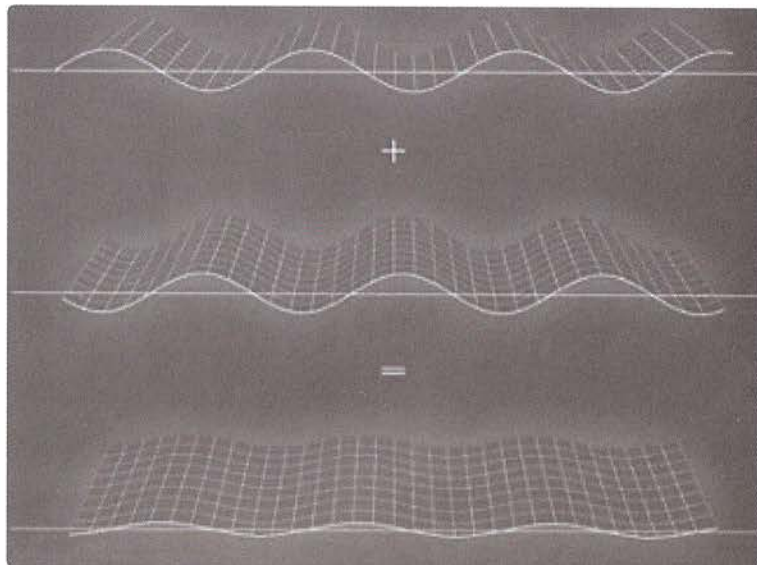
اگر اصلاحات و بهبودهایی که برای سازگاری و انطباق با مشاهدات لازم است، تا مدل را بیش از اندازه بی‌قاعده و بی‌تناسب کنند، ناچار نیاز به یک مدل جدید مطرح می‌شود. یک مثال از مدلی قدیمی که پس از مشاهدات جدید ناچار کناره گرفت، ایده جهان ایستا بود. در دهه ۱۹۲۰ اغلب فیزیکدانان عقیده داشتند که جهان ایستا است و یا به عبارت دیگر ابعاد آن تغییر نمی‌کند. سپس در سال ۱۹۲۹ ادوین هابل، پس از انتشار مشاهدات خود نشان داد جهان در حال انبساط است. اما هابل خود مستقیماً انبساط جهان را مشاهده نکرده بود. او نور منتشر شده از جانب کهکشان‌ها را مشاهده کرده بود. این نور، در حقیقت یک اثر یا طیف مشخصه‌ای است که متناسب با ترکیبات تشکیل دهنده کهکشان‌ها است. اگر کهکشان نسبت به ما دور یا نزدیک شود این طیف به اندازه قابل محاسبه‌ای جا به جا می‌شود. بنابراین هابل توانست با تحلیل طیف کهکشان‌های دور دست سرعت آن‌ها را به دست آورد. او انتظار داشت تعداد کهکشان‌هایی که در حال دور شدن از ما هستند با تعداد آن‌هایی که به ما نزدیک می‌شوند یکی



در تلاش برای یافتن قوانین حاکم بر جهان، تعداد زیادی نظریه یا مدل را صورت‌بندی کردیم، مثل نظریه چهار عنصر سازنده جهان، مدل بطلمیوس، نظریه اصل آتش، نظریه انفجار بزرگ و الی آخر. با هریک از نظریه‌ها و مدل‌ها، درک ما از واقعیت بیرونی و از مواد اصلی تشکیل دهنده جهان تغییر کرده است. به عنوان مثال نظریه نور را در نظر بگیرید. نیوتون فکر می‌کرد نور از ذرات یا اجزاء ریز تشکیل شده است. این مدل توضیح می‌دهد چرا نور در خط مستقیم حرکت می‌کند. همچنین نیوتون با استفاده از این مدل توانست توضیح دهد که چرا نور پس از عبور از محیطی به محیط دیگر، مثلاً از هوا به درون شیشه یا آب، خم یا شکسته می‌شود.

با این حال نظریه ذره‌ای نتوانست پدیده‌ای را که نیوتون خودش هم مشاهده کرد و به نام حلقه‌های نیوتون شناخته می‌شود، توضیح دهد. یک عدسی را بر روی یک صفحه آئینه‌ای تخت قرار داده و یک نور تک رنگ، مثل نور سدیم، را بر آن بتابانید. اگر از بالا به پایین نگاه کنید، مجموعه‌ای از حلقه‌های تاریک و روشن را خواهید دید که در محل اتصال عدسی به سطح آئینه هم مرکز شده‌اند. توضیح این مسأله با نظریه ذره‌ای نور مشکل است، اما با استفاده از نظریه موجی می‌توان آن را توضیح داد.

بر طبق نظریه موجی نور، حلقه‌های تاریک و روشن بر اثر پدیده‌ای به نام تداخل ایجاد می‌شوند. یک موج، مثلاً موج آب، از یک سری برآمدگی و فرو رفتگی تشکیل شده است. زمانی که دو موج با هم برخورد می‌کنند، اگر نقاط برآمده دو موج بر هم و نقاط فرو رفته هم بر یکدیگر منطبق شوند، دو موج یکدیگر را تقویت کرده و در نتیجه موج بزرگ‌تری ایجاد می‌کنند. به این پدیده تداخل سازنده می‌گویند. در این حالت گفته می‌شود امواج با یکدیگر «هم فاز» هستند. از طرف دیگر، ممکن است در برخورد دو موج، نقطه برآمده یکی بر فرو رفته دیگری منطبق شود. در این حالت دو موج یکدیگر را خنثی کرده و اصطلاحاً می‌گویند که با هم «غیر هم فاز» هستند. به این حالت تداخل مخرب می‌گویند.

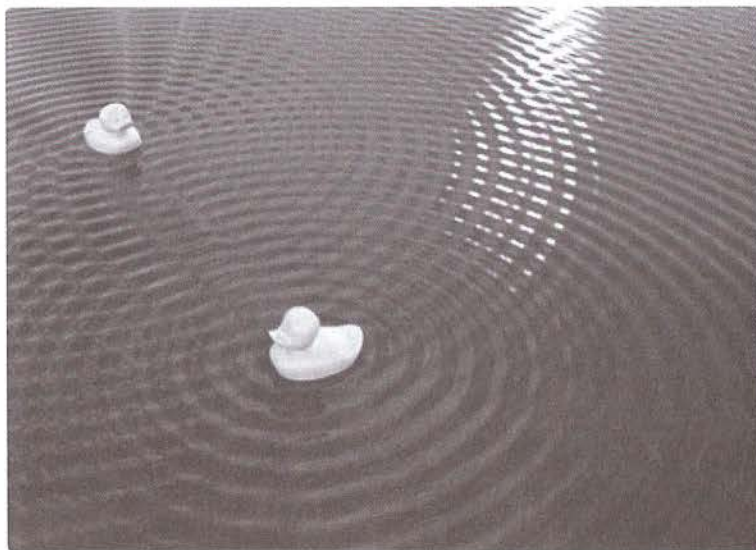


پدیده تداخل امواج، درست مثل افراد، وقتی با یکدیگر برخورد می‌کنند می‌توانند یکدیگر را تقویت کرده و یا باعث تضعیف هم شوند.



در پدیده حلقه‌های نیوتون، حلقه‌های روشن، در فواصلی از مرکز قرار دارند که جدایی بین عدسی و سطح آینه به گونه‌ای است که موج عبوری از عدسی با موج منعکس شده از صفحه به اندازه ضریب صحیحی (۱، ۲، ۳ و ...) از طول موج با هم تفاوت دارند. این امر باعث به وجود آمدن تداخل سازنده می‌شود. (طول موج عبارت است از فاصله بین دو نقطه‌ی متناظر روی یک موج - مانند دو قله یا دو پاستیخ). از طرف دیگر، حلقه‌های تاریک در فواصلی از مرکز قرار دارند که جدایی بین دو موج مذکور به اندازه ضریب نیم صحیحی ( $0/5$ ،  $1/5$ ،  $2/5$  و ...) از طول موج است و در نتیجه باعث به وجود آمدن پدیده تداخل مخرب می‌شود. - موج عبوری از عدسی، موج منعکس شده از صفحه را خشی می‌سازد. در قرن نوزدهم، این مسأله به عنوان تاییدی بر صحت نظریه موجی نور و نشان دهنده نادرست بودن نظریه ذره‌ای محسوب می‌شد. در اوایل قرن بیستم، اینشتین نشان داد که اثر فوتوالکتریک (که امروزه در تلویزیون و دوربین‌های دیجیتال به کار می‌رود) را می‌توان از طریق ذره یا کوانتوم نور توضیح داد، به این ترتیب که کوانتوم نور پس از برخورد با اتم، یک الکترون را بیرون می‌اندازد. بنابراین می‌توان گفت نور هم به صورت موجی و هم به صورت ذره‌ای رفتار می‌کند.

شاید به این دلیل مفهوم موج به ذهن انسان خطور کرد که او در زندگی خود امواج اقیانوس‌ها و پدیده افتادن سنگ به درون آب را دیده بود. احتمالاً شما اگر دو قلوه سنگ را به درون گودال آب پرتاب کرده باشید، احتمالاً مثل تصویر زیر پدیده تداخل را مشاهده کرده‌اید. بر طبق مشاهدات، مواد مایع دیگر نیز به همین حالت رفتار می‌کنند. از طرف دیگر ایده ذره‌ای نیز احتمالاً از مواردی مثل سنگ، قلوه سنگ و شن اقتباس شده است. اما این دوگانی موج/ذره - ایده‌ای که براساس آن می‌توان یک شیء را هم به صورت ذره و هم موج توصیف کرد - به همان اندازه با تجربیات روزمره بیگانه است که تصور کنید بتوان تکه سنگ بزرگی را نوشید.



پدیده تداخل در گودال آب. ما در زندگی روزمره خود، از یک گودال گرفته تا اقیانوس، همواره شاهد پدیده تداخل هستیم.

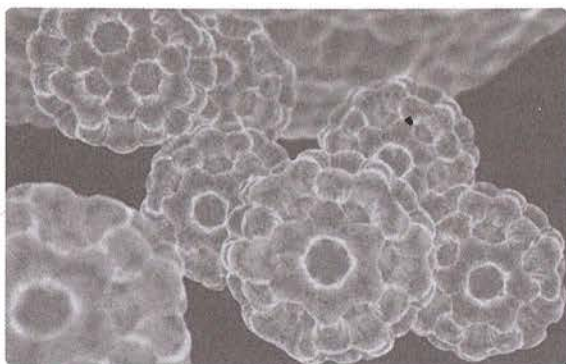
چنین شرایطی، که در آن دو نظریه بسیار متفاوت به دقت یک پدیده را توصیف می‌کنند، با واقع‌گرایی وابسته به مدل مطابقت دارند. هر نظریه‌ای می‌تواند ویژگی‌های مشخصی را توصیف کرده و توضیح دهد و نمی‌توان گفت هیچ‌کدام از دیگری بهتر یا واقعی‌تر است. در خصوص قوانینی که بر جهان حاکم هستند، چیزی که می‌توان گفت این است: به نظر می‌رسد هیچ مدل یا نظریه ریاضی منفردی وجود ندارد که بتواند تمام ابعاد وجودی جهان را توضیح دهد. در عوض، همان‌طور که در ابتدای فصل گفتیم به نظر می‌رسد شبکه‌ای از نظریه‌ها وجود داشته باشد، که آن را نظریه M می‌نامیم. هریک از نظریه‌های موجود در شبکه نظریه M در توصیف پدیده‌های محدوده مشخصی، خوب عمل می‌کنند. هرگاه که محدوده‌های کاری آن‌ها هم پوشانی پیدا می‌کند، نظریات متفاوت موجود در شبکه، با هم موافق بوده و بنابراین می‌توان گفت همه آن‌ها بخشی از یک نظریه



## فصل ۴

### تاریخچه‌های جایگزین

در سال ۱۹۹۹، تیمی متشکل از فیزیکدانان در اتریش، شبکه‌ای از مولکول‌ها به شکل توپ فوتبال را به یک مانع شلیک کردند. این مولکول‌ها که هر کدام از شصت اتم کربن تشکیل شده‌اند، باکی‌بال (Buckyball) نامیده می‌شوند. باکی‌بال، از نام معماری به نام باکمینستر فولر گرفته شده که ساختمان‌هایی به این شکل ساخته است. احتمالاً گنبد‌های هندسی فولر، بزرگ‌ترین اجرامی هستند که تاکنون به شکل توپ فوتبال ساخته شده‌اند و باکی‌بال‌ها، کوچک‌ترین آن‌ها محسوب می‌شوند. مانعی که دانشمندان باکی‌بال‌ها را به سمت آن شلیک کردند، دارای دو شکاف بود و باکی‌بال‌ها از درون این دو شکاف عبور می‌کردند. فیزیکدانان در پشت این مانع، صفحه آشکارسازی را قرار دادند تا بتوانند مولکول‌های بیرون آمده از شکاف‌ها را آشکار و شمارش کنند.

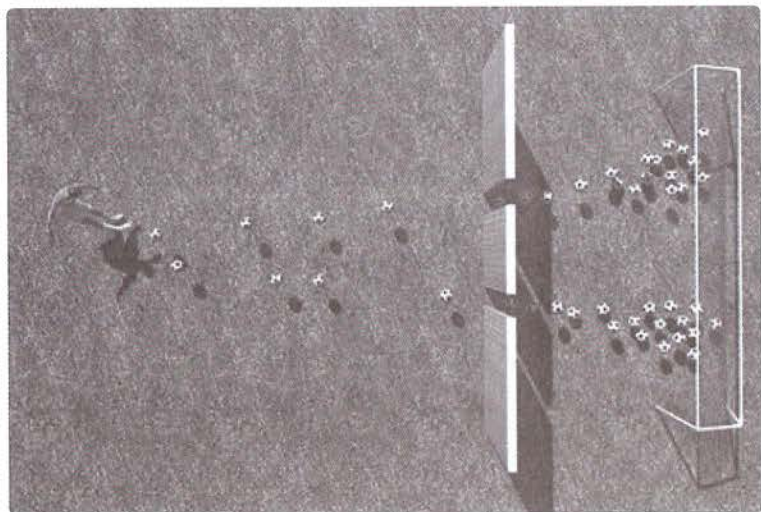


باکی‌بال. باکی‌بال‌ها شبیه به توپ فوتبال و میکروسکوپی هستند که از اتم‌های کربن تشکیل شده‌اند.

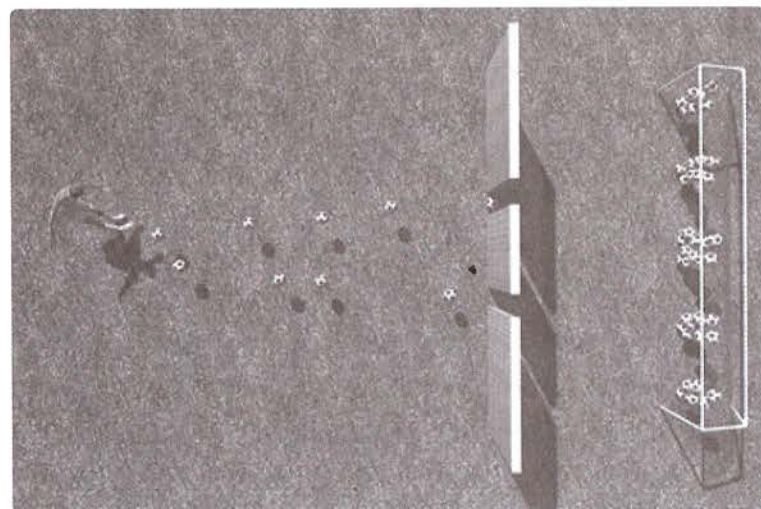
واحد هستند. اما هیچ یک از نظریه‌های موجود در شبکه نمی‌تواند تمام جنبه‌های جهان را توضیح دهد - تمام نیروهای طبیعت، ذراتی که تحت تاثیر این نیروها قرار می‌گیرند و چارچوب فضا - زمانی که همه در آن اجرا می‌شوند. اگرچه این وضعیت رویای باستانی فیزیکدانان را در مورد تحقق یک نظریه یکپارچه محقق نمی‌سازد، اما با این حال در چارچوب واقع‌گرایی وابسته به مدل، قابل قبول است.

در فصل ۵ بیش‌تر به مسأله دوگانی و نظریه  $M$  می‌پردازیم، اما قبل از آن به اصلی اساسی باز می‌گردیم که دیدگاه جدید ما از طبیعت براساس آن شکل گرفته است: نظریه کوانتوم، و بخصوص رویکردی به نظریه کوانتوم به نام تاریخچه‌های جایگزین. در این دیدگاه، جهان تنها یک وجود یا تاریخچه ندارد، بلکه هر نسخه امکان‌پذیری از جهان به‌طور هم‌زمان، در آنچه که برهم نهی کوانتومی (Quantum superposition) نامیده می‌شود، وجود دارد. شاید این هم به اندازه نظریه‌ای که در آن «هرگاه از اتاق خارج می‌شویم میز ناپدید می‌شود»، غیر منطقی باشد، اما این بار نظریه، تمام آزمایش‌های تجربی را با موفقیت پشت سر گذاشته است.





بازی فوتبال با دو شکاف. بازیکنی که توپ‌ها را به سمت شکاف‌های دیوار شوت می‌کند، الگوی مشخصی ایجاد می‌کند.



فوتبال باکی‌بال. زمانی که مولکول‌ها به سمت شکاف‌های روی یک صفحه شوت می‌شوند، الگوی مشاهده شده، قوانین ناآشنای کوانتوم را به نمایش می‌گذارد.

اگر بخواهیم آزمایش مشابهی را با توپ فوتبال واقعی انجام دهیم، در این صورت به بازیکنی نیاز داریم که بتواند توپ را با سرعت دلخواه ما، پی در پی شوت کند. به این ترتیب بازیکن در مقابل دیواری با دو شکاف قرار می‌گیرد. در پشت دیوار و به صورت موازی با آن، تور بزرگی قرار داده می‌شود. بیش‌تر شوت‌های بازیکن به دیوار برخورد کرده و به عقب باز می‌گردند، اما تعدادی نیز از شکاف‌ها عبور کرده و با تور برخورد می‌کنند. اگر شکاف‌ها تنها به میزان کمی از توپ بزرگ‌تر باشند، آنگاه دو جریان خیلی مشابه و مستقیم از طرف دیگر بیرون می‌آیند. اما اگر این شکاف‌ها از این هم بزرگ‌تر باشند، هرکدام از جریان‌های خروجی، همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده است، کمی عریض می‌شوند.

فراموش نکنید اگر یکی از شکاف‌ها را ببندیم، تنها جریان مربوط به آن شکاف قطع خواهد شد، اما این تأثیری بر جریان شکاف دیگر نخواهد داشت. اگر شکاف دوم را مجدداً باز کنیم، تعداد توپ‌هایی که با تور برخورد می‌کنند، افزایش خواهد یافت. زیرا در این حالت، تعداد توپ‌هایی که با تور برخورد می‌کنند ناشی از جریان شکاف اول به‌علاوه جریان شکاف دوم است. به بیان دیگر، آنچه در حالت باز بودن دو شکاف مشاهده می‌کنیم، حاصل جمع حالت‌هایی است که در آن‌ها هرکدام از شکاف‌ها به تنهایی باز هستند. این واقعیتی است که ما در زندگی روزمره با آن مواجه بوده و به آن عادت کرده‌ایم. اما جالب است بدانید، چیزی که دانشمندان اتریشی در آزمایش باکی‌بال با آن مواجه شدند، کاملاً متفاوت بود.

در آزمایش محققان اتریشی، پس از باز کردن شکاف دوم، تعداد مولکول‌هایی که با برخی نقاط روی صفحه برخورد می‌کنند افزایش می‌یابد، اما همان‌طور که در شکل زیر می‌بینید در عوض در برخی نقاط دیگر این تعداد کاهش می‌یابد. در حقیقت نقاطی وجود دارند که وقتی هر دو شکاف باز هستند هیچ تویی به آن‌ها برخورد نمی‌کند، اما در صورتی که تنها یکی از شکاف‌ها باز باشند، توپ به آن‌ها برخورد می‌کند. این بسیار عجیب به‌نظر می‌رسد. چگونه باز کردن شکاف دوم می‌تواند تعداد توپ‌هایی را که به نقاط مشخصی برخورد می‌کنند، کاهش دهد.



بررسی جزئیات در یافتن سرنخ به ما کمک می‌کند. در آزمایش مشاهده می‌شود، نقاطی که مولکول‌ها با آن‌ها برخورد می‌کنند، درست در وسط نقاطی قرار دارند که در صورت باز بودن هر یک از شکاف‌ها به تنهایی با آن‌ها برخورد می‌کردند. کمی دورتر از این نقاط، تعداد مولکول‌هایی که با صفحه برخورد می‌کنند، بسیار کم شده و اگر بازهم دورتر برویم، مجدداً مولکول‌ها ظاهر می‌شوند. این الگو، حاصل جمع الگوهای مشاهده شده در هر یک از حالات باز بودن شکاف‌ها به تنهایی نیست، اما احتمالاً با رجوع به فصل ۳، می‌توان از آن به عنوان مشخصه الگوی امواج متداخل یاد کرد. نقاطی که هیچ مولکولی به آن‌ها برخورد نمی‌کند، همان نواحی هستند که در آن‌ها، امواج منتشر شده از دو شکاف به صورت غیرهم فاز به هم می‌رسند و بنابراین تداخل مخرب رخ می‌دهد. به همین ترتیب، نقاطی که مولکول‌های زیادی با آن‌ها برخورد می‌کنند، نقاطی هستند که امواج در آن‌ها به صورت هم فاز به هم رسیده و پدیده تداخل سازنده اتفاق می‌افتد. در دو هزار سال نخست تفکر علمی، تجربه عادی و دریافت مستقیم، اساس و پایه توضیحات نظری محسوب می‌شدند. با پیشرفت تکنولوژی و گسترش محدوده پدیده‌های قابل مشاهده، جستجو برای دانستن رفتارهایی در طبیعت آغاز شد که کم‌تر با تجربیات روزمره و در نتیجه با درک مستقیم ما تطابق داشتند، مثل شواهد موجود در آزمایش باکی‌بال. آزمایش باکی‌بال، از نوع پدیده‌هایی است که نمی‌توان آن را از طریق علم کلاسیک توضیح داد، ولی در عوض، از طریق آنچه فیزیک کوانتوم نامیده می‌شود قابل توضیح است. طبق نوشته ریچارد فاینمن، آزمایش دو شکاف، همان آزمایشی که در قبل توضیح دادیم، «تمام اسرار مکانیک کوانتومی را در بر دارد».

اصول فیزیک کوانتوم، در چندین دهه نخست قرن بیستم ارائه شد، زمانی که نظریه نیوتون در توصیف طبیعت سطوح اتمی و زیراتمی، ناموفق ظاهر شد. نظریات بنیادی فیزیک، نیروهای طبیعت و این‌که چگونه اشیاء به آن‌ها عکس العمل نشان می‌دهند را توصیف می‌کنند. چارچوبی که نظریات کلاسیک، مثل نظریه نیوتون، براساس آن شکل می‌گیرند،

منعکس کننده تجربیات روزمره است؛ تجربیاتی که براساس آن‌ها، اشیاء مادی دارای وجود مستقل هستند، می‌توانند در مکان مشخص و قطعی قرار گیرند، مسیرهای مشخص و قطعی را دنبال کنند و الی آخر. فیزیک کوانتوم، چارچوبی را فراهم می‌کند که به کمک آن می‌توان به این مطلب پی برد که طبیعت در مقیاس اتمی و زیر اتمی چگونه رفتار می‌کند. همان‌طور که بعداً با جزئیات بیش‌تر خواهیم دید، این نظریه طرح مفهومی کاملاً متفاوتی را اعمال می‌کند، که در آن، مکان، مسیر و حتی گذشته و آینده یک شیء، دقیقاً مشخص و قطعی نیستند. نظریات کوانتومی نیروها، مثل گرانش یا نیروی الکترومغناطیسی، درون چنین چارچوبی شکل گرفته‌اند. آیا نظریاتی که براساس چارچوبی چنین نامتجانس با تجارب روزمره ما شکل گرفته‌اند، می‌توانند رویدادهای مربوط به تجارب معمولی را هم، که قبلاً به وسیله فیزیک کلاسیک به دقت مدل شده بودند، توضیح دهند؟ پاسخ این است که می‌توانند، زیرا ساختار مرکبی که ما و دنیای اطرافمان داریم، از تعداد باورنکردنی اتم تشکیل شده است. تعداد این اتم‌ها حتی بیش‌تر از تعداد ستارگان قابل رؤیت در جهان است. اگرچه اتم‌های تشکیل دهنده چنین ساختارهایی، از اصول فیزیک کوانتوم پیروی می‌کنند، می‌توان نشان داد چگونه برای اجتماع بزرگی که توپ فوتبال، شلغم و جت‌های غول آسا - همچنین ما - را تشکیل می‌دهند، پدیده پراش از درون شکاف رخ نمی‌دهد. بنابراین اگرچه اجزای تشکیل دهنده اشیائی که در زندگی روزمره می‌بینیم، از فیزیک کوانتوم تبعیت می‌کنند، با این حال قوانین نیوتون، نظریه موثری را ارائه کرده‌اند که قادر است به دقت، چگونگی رفتار ساختارهای مرکب تشکیل دهنده جهان ما را توضیح دهد. ممکن است عجیب باشد، ولی مثال‌های متعددی در علم وجود دارند که نشان می‌دهند توده بزرگ متشکل از اجزای کوچک‌تر، به گونه‌ای کاملاً متفاوت با اجزای سازنده‌اش رفتار می‌کند. چگونگی واکنش یک عصب، به سختی می‌تواند نشان دهنده رفتار مغز انسان باشد، همچنین اطلاعات مربوط به مولکول آب، در مورد رفتار دریاچه چیز زیادی به ما

زمانی که نظریه نیوتون در توصیف طبیعت سطوح اتمی و زیراتمی، ناموفق ظاهر شد. نظریات بنیادی فیزیک، نیروهای طبیعت و این‌که چگونه اشیاء به آن‌ها عکس العمل نشان می‌دهند را توصیف می‌کنند. چارچوبی که نظریات کلاسیک، مثل نظریه نیوتون، براساس آن شکل می‌گیرند،



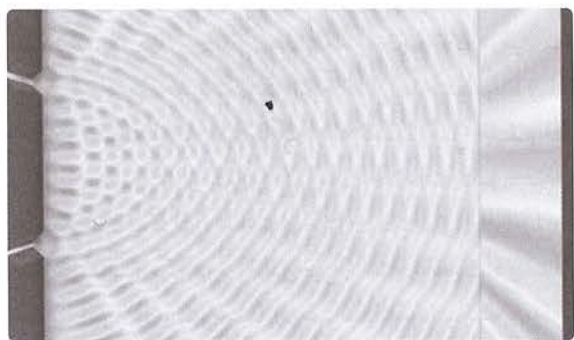
نخواهد گفت. فیزیکدانان هنوز بر روی این موضوع کار می‌کنند تا بتوانند به جزئیات بیرون آمدن قوانین نیوتون از درون فیزیک کوانتوم پی ببرند. می‌دانیم اجزای تشکیل دهنده تمام اشیاء، از قوانین فیزیک کوانتوم تبعیت می‌کنند. همچنین می‌دانیم قوانین نیوتون، تقریب خوبی از فیزیک کوانتوم هستند، برای توصیف چگونگی رفتار اشیاء بزرگ مقیاس که از اجزای کوانتومی تشکیل شده‌اند.

بنابراین، پیش‌گویی‌های نظریه نیوتون با تصویری که ما از طریق تجربه جهان اطراف خود، از واقعیت می‌سازیم، سازگاری دارد. با این حال، اتم‌ها و مولکول‌های تنها، به گونه‌ای کاملاً متفاوت با آنچه در زندگی روزمره تجربه می‌کنیم، رفتار می‌کنند. فیزیک کوانتوم مدلی جدیدی از واقعیت بیرونی است، که تصویری از جهان را به ما ارائه می‌کند. در این تصویر، بسیاری از مفاهیم بنیادی مربوط به درک مستقیم ما از واقعیت بیرونی، دیگر معنی ندارند.

آزمایش دو شکاف اولین بار در سال ۱۹۲۷، در آزمایشگاه بل، به وسیله فیزیکدانان تجربی، کلیتون دیویسون و لستر گرمر، انجام گرفت. دیویسون و گرمر، چگونگی رفتار پرتو الکترون — که بسیار ساده‌تر از باکی‌بال‌ها هستند — را در برخورد با کریستال نیکل مورد بررسی قرار دادند. این حقیقت که ذرات مادی مثل الکترون‌ها، شبیه به امواج آب رفتار می‌کنند، تجربه شگفت‌انگیزی بود که الهام بخش فیزیک کوانتوم شد. از آنجا که این رفتار در بزرگ مقیاس قابل رؤیت نیست، دانشمندان تا مدت‌ها این سؤال را از خود می‌پرسیدند که یک شیء تا چه اندازه می‌تواند بزرگ و پیچیده باشد، ولی هنوز از خود ویژگی‌های موج گونه به نمایش بگذارد. واضح است اگر می‌شد این اثر را در انسان یا مثلاً کرگدن نشان داد، هیاهوی بزرگی ایجاد می‌شد، ولی همان‌طور که گفتیم به‌طور کلی هرچه جسم بزرگ‌تر باشد اثرات کوانتومی آن ضعیف‌تر و کم‌تر مشهود هستند. بنابراین هر حیوانی در باغ وحش نمی‌تواند با رفتار موج گونه، از درون میله‌های قفس عبور کند. فیزیکدانان هنوز هم، شاهد رفتار موجی در ابعاد

روز به روز بزرگ‌تر هستند. دانشمندان امیدوارند بتوانند روزی آزمایش باکی‌بال را با یک ویروس تکرار کنند؛ با این‌که ویروس خیلی بزرگ نیست، ولی به عقیده بعضی‌ها موجود زنده محسوب می‌شود.

برای درک مباحثی که در بخش‌های بعدی به آن‌ها می‌پردازیم، به تنها وجوه اندکی از فیزیک کوانتوم نیاز داریم. یکی از ویژگی‌های کلیدی این مقوله، دوگانی موج/ذره است. فهمیدن این‌که ذرات مادی شبیه موج رفتار می‌کنند، شگفتی همگان را برانگیخت. اما این‌که نور شبیه به موج رفتار می‌کند، دیگر کسی را شگفت زده نکرد. رفتار موجی نور، برای ما طبیعی به‌نظر می‌رسد و از زمان پذیرفته شدن این حقیقت حدود دو قرن می‌گذرد. اگر در آزمایش بالا، پرتو نور را به دو شکاف بتابانیم، دو موج از طرف دیگر بیرون آمده و به صفحه برخورد می‌کنند. در برخی نقاط، برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌های آن‌ها بر هم منطبق شده و نقاط روشنی ایجاد می‌کنند؛ در نقاط دیگر برآمدگی یک پرتو با فرورفتگی دیگری برخورد کرده و یکدیگر را خنثی می‌کنند و بنابراین نقاط تاریکی باقی می‌گذارند. فیزیکدان انگلیسی، توماس یانگ، این آزمایش را در اوایل قرن نوزدهم انجام داد و به کمک آن دیگران را متقاعد ساخت که نور، موج بوده و آن‌طور که نیوتون عقیده داشت از ذرات تشکیل نشده است.



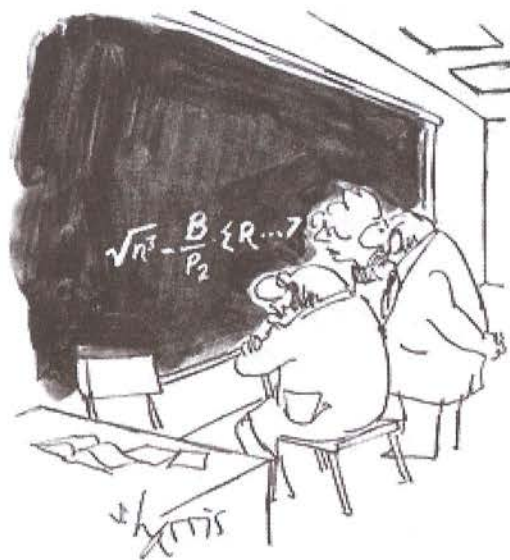
آزمایش یانگ. دانشمندان، از زمان نظریه موجی نور، با الگوی مشاهده شده در آزمایش باکی‌بال آشنا بوده‌اند.







برای تحقق دارند، امکان پذیر می‌سازد. به تعبیر اینشنین، گویی خدا قبل از تصمیم‌گیری در مورد نتایج فرآیندهای فیزیکی، تاس می‌اندازد. این ایده اینشتین را ناراحت می‌کرد و به همین دلیل، با این که او یکی از پدران فیزیک کوانتوم محسوب می‌شد، بعدها به انتقاد از آن پرداخت.



«اگر این درست باشد، هرآنچه می‌پنداشتیم موج است، در حقیقت ذره بوده و هرآنچه می‌پنداشتیم ذره است، در حقیقت موج است.»

ممکن است تصور کنید فیزیک کوانتوم، ایده اداره شدن طبیعت از طریق قوانین را زیر سؤال می‌برد، ولی در اصل این گونه نیست. بلکه این دیدگاه ما را به سمت پذیرش شکل جدیدی از جبرگرایی پیش می‌راند: قوانین طبیعت، با مشخص بودن حالت سیستم در یک زمان، به جای این که آینده و گذشته را با قطعیت تعیین کنند، احتمالات مربوط به آینده‌ها و گذشته‌های مختلف را تعیین می‌کنند. با این که از دید برخی ناخوشایند به نظر می‌رسد، اما دانشمندان ناچارند نظریاتی را که با آزمایش‌ها مطابقت دارند، بپذیرند.

چیزی که علم از یک نظریه انتظار دارد، قابل آزمایش بودن آن است. اگر سرشت احتمال‌گرایی پیش‌گویی‌های فیزیک کوانتوم، به این معنی بود که تایید آن پیش‌گویی‌ها غیرممکن است، در این صورت نظریات کوانتومی در زمره نظریات معتبر قرار نمی‌گرفتند. اما علی‌رغم این طبیعت احتمال‌گرا، باز هم می‌توان نظریه‌های کوانتومی را مورد آزمایش قرار داد. به عنوان مثال، می‌توان یک آزمایش را به دفعات زیادی تکرار و این مسأله که فرکانس خروجی‌های مختلف با احتمال پیش‌گویی شده مطابقت دارند، را تایید کرد. به آزمایش باکی‌بال بر می‌گردیم. فیزیک کوانتوم به ما می‌گوید، هیچ چیز هرگز نمی‌تواند در نقطه مشخص و قطعی قرار داشته باشد، زیرا در این صورت، میزان عدم قطعیت در اندازه حرکت بی‌نهایت می‌گردد. در حقیقت، بر طبق فیزیک کوانتوم، هر ذره با احتمال مشخصی می‌تواند در هر کجای این جهان باشد. بنابراین، با این که احتمال یافتن یک الکترون مشخص در سیستم دو شکاف بسیار زیاد است، اما همواره این احتمال وجود دارد که بتوانید آن را آن سوی ستاره آلفا قنطورس یا در بشقاب غذای محل کارتان بیابید. در نتیجه اگر یک باکی‌بال کوانتومی را پرتاب کنید، هیچ آگاهی و مهارتی نمی‌تواند به شما این امکان را بدهد که از پیش محل قطعی فرود آمدن آن را پیش‌گویی کنید. اما اگر این آزمایش را به دفعات تکرار کنید، اطلاعات به دست آمده احتمال یافتن توپ را در مکان‌های مختلف نشان خواهد داد. محققان تایید می‌کنند که نتایج چنین آزمایش‌هایی با پیش‌گویی‌های نظریه مطابقت دارند.

مسأله مهمی که باید به آن توجه کرد این است که مفهوم احتمال در فیزیک کوانتوم با احتمال در فیزیک نیوتونی، یا به عبارتی در زندگی روزمره، متفاوت است. برای درک بهتر این مسأله می‌توان الگوی مشاهده شده در شلیک باکی‌بال‌ها و الگوی ناشی از پرتاب دارت را با یکدیگر مقایسه کرد. احتمال برخورد دارت به مرکز صفحه بسیار زیاد بوده و با هر چه دورتر شدن بازیکن از صفحه کاهش می‌یابد. اما از طرف دیگر، در مورد دارتهای باکی‌بالی، هر دارت می‌تواند با هریک از نقاط برخورد کند



و در طول زمان الگویی از سوراخ‌ها پدیدار می‌شود که نشان دهنده احتمال مربوط به نقاط است. در دنیای روزمره، می‌توان گفت برای برخورد دارت به هریک از نقاط روی صفحه احتمال مشخصی وجود دارد. اما این تعبیر نشان می‌دهد، برخلاف حالت باکی‌بال‌ها، دانسته‌های ما در مورد شرایط پرتاب ناقص بوده است. اگر شیوه پرتاب، میزان چرخش، زاویه و سرعت پرتاب دارت به وسیله بازیکن را بدانیم، می‌توانیم توصیف بهتری از وقایع اتفاق افتاده ارائه دهیم. در این صورت می‌توانیم مکان فرود آمدن دارت را، با هر میزان دقت، تعیین کنیم. بنابراین استفاده از عبارت احتمال، برای توصیف خروجی وقایع روزمره به طبیعت ذاتی فرآیند مربوط نمی‌شود، بلکه ناشی از عدم آگاهی نسبت به جنبه‌های مشخصی از آن است.

مفهوم احتمال در نظریات کوانتومی کاملاً متفاوت است. این مفهوم بیانگر ذات تصادفی طبیعت است. مدل کوانتومی در برگزیده اصولی از طبیعت است که نه تنها با تجربیات روزمره، بلکه با درک شهودی ما از واقعیت بیرونی در تضاد هستند. آن‌هایی که باور اصول کوانتوم را عجیب و غریب یا مشکل می‌یابند، وضعی شبیه فیزیکدانان بزرگی مثل اینشتین و فاینمن دارند، که به قرائت آن‌ها از نظریه کوانتوم خواهیم پرداخت. در حقیقت فاینمن گفته است، «به جرئت می‌توانم بگویم هیچ کس مکانیک کوانتوم را نمی‌فهمد.» اما فیزیک کوانتوم با مشاهدات مطابقت دارد. این نظریه از تمام آزمایش‌های سربلند بیرون آمده و بیش از هر نظریه دیگری در علم مورد آزمایش قرار گرفته است.

در دهه ۱۹۴۰، ریچارد فاینمن، به درک حیرت‌انگیزی از تفاوت بین جهان کوانتومی و نیوتونی دست یافت. این سؤال که در آزمایش دو شکاف الگوی تداخل چگونه ایجاد می‌شود، کنجکاو فاینمن را برانگیخت. اگر بخاطر داشته باشید، در حالتی که هر دو شکاف باز هستند، الگوی تداخلی که از شلیک مولکول‌ها ایجاد می‌شود با مجموع حالاتی که در آن‌ها هر شکاف به تنهایی باز است، برابر نیست. در عوض، وقتی هر دو شکاف باز باشند، با مجموعه‌ای از نوارهای تاریک و روشن مواجه هستیم. نوارهای

تاریک مربوط به مناطقی هستند که هیچ ذره‌ای با آن‌ها برخورد نمی‌کند. یعنی ذراتی که در صورت باز بودن تنها یک شکاف، با نواحی تاریک برخورد می‌کنند، در حالتی که هر دو شکاف هم‌زمان باز هستند، دیگر با این نواحی برخورد نمی‌کنند. این طور به نظر می‌رسد: ذرات جایی در مسیر بین منبع تا صفحه، به اطلاعاتی در مورد وضعیت دو شکاف دست پیدا می‌کنند. این نوع رفتار، بسیار با شیوه رفتار اشیاء در زندگی روزمره، متفاوت است. در زندگی روزمره توپ مسیر منتهی به یکی از شکاف‌ها را بدون تأثیرپذیری از وضعیت شکاف دیگر طی می‌کند.

براساس فیزیک نیوتونی — همان رفتاری که در صورت استفاده از توپ فوتبال به جای مولکول شاهد آن هستیم — هر ذره، مسیر مشخصی را در فاصله بین منبع تا صفحه طی می‌کند. در این تصویر، در طول مسیر جایی برای انحراف ذره از مسیر خود و مشاهده وضعیت شکاف مجاور وجود ندارد. از طرف دیگر، مدل کوانتوم می‌گوید ذره، زمانی که بین نقاط آغاز و پایان حرکت می‌کند، مکان قطعی ندارد. فاینمن دریافت معنی این عبارت لزوماً این نیست که ذرات هنگام طی مسافت بین منبع و ذره، هیچ مسیری را دنبال نمی‌کنند. در عوض، می‌توان این‌گونه معنی کرد که ذرات تمام مسیرهای ممکن بین منبع و صفحه را می‌پیمایند. برطبق ادعای فاینمن، این همان چیزی است که فیزیک کوانتوم را از فیزیک نیوتونی متفاوت می‌سازد. به این ترتیب واضح است که وضعیت هر دو شکاف اهمیت پیدا می‌کند، زیرا ذرات به جای این‌که تنها در یک مسیر حرکت کنند، تمام مسیرهای ممکن را به صورت هم‌زمان دنبال می‌کنند! این ادعا کمی شبیه به داستان‌های علمی تخیلی به نظر می‌رسد، اما اصلاً این طور نیست. عبارت ریاضی فرمول‌بندی شده توسط فاینمن — انتگرال مسیر فاینمن — مبین این ایده است و تمام قوانین فیزیک کوانتوم را بازتولید می‌کند. ریاضیات و تصویر فیزیکی نظریه فاینمن، با صورت‌بندی اصلی فیزیک کوانتوم متفاوت است، ولی هر دو پیش‌گویی‌های یکسانی انجام می‌دهند.

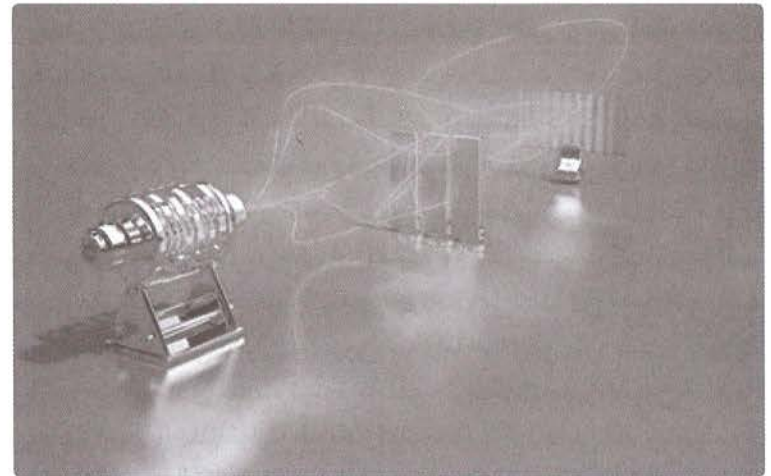
در آزمایش دو شکاف، معنی ایده فاینمن این است که ذره، مسیرهایی را



درک دیدگاه فاینمن در فهمیدن نظریاتی که در ادامه معرفی خواهند شد، ضروری است. بنابراین لازم است زمانی را برای دریافت صحیح چگونگی عملکرد آن اختصاص دهیم. فرآیند ساده‌ای را تصور کنید که در آن، یک ذره حرکت آزادانه خود را از مکان A آغاز می‌نماید. از نقطه نظر مدل نیوتون، ذره مسیر مستقیمی را دنبال خواهد کرد. پس از گذشت زمان معینی، می‌توان ذره را در مکان B، که روی مسیر مستقیم قرار گرفته است، یافت. در مدل فاینمن، یک ذره کوانتومی از تمام مسیرهای اتصال دهنده A و B نمونه‌برداری کرده و فاز هریک از مسیرها را با هم جمع می‌کند. فاز، عددی است که موقعیت سیکل موج را نشان می‌دهد، یعنی اینکه موج در برآمدگی، فرو رفتگی، یا جایی بین این دو نقطه است. دستورالعمل ریاضی فاینمن برای محاسبه فاز، نشان داد زمانی که امواج مربوط به تمام مسیرها را با یکدیگر جمع می‌کنیم، «دامنه احتمالی» را به دست می‌آوریم که ذره طبق آن از نقطه A حرکت کرده و به B می‌رسد. مربع دامنه احتمال، بیانگر احتمال صحیح رسیدن ذره به نقطه B خواهد بود.

فاز مربوط به هر یک از مسیرها به تنهایی را که از جمع آن‌ها حاصل جمع فاینمن (و در نتیجه احتمال مربوط به حرکت از A به B) به دست می‌آید، می‌توان به صورت بردارهایی با طول مشخص ولی در جهات مختلف نشان داد. به منظور جمع دو فاز، بردار مربوط به فاز دوم را در انتهای بردار فاز اول قرار می‌دهیم و به این ترتیب بردار جدید، که از ابتدای بردار اول به انتهای بردار دوم رسم می‌شود، حاصل جمع دو بردار خواهد بود. برای جمع تعداد بیش‌تر بردارها نیز کافی است همین فرآیند را ادامه دهیم. توجه داشته باشید که احتمالاً حاصل جمع تمام بردارها، بردار نسبتاً بلندی خواهد بود. اما از طرف دیگر، اگر این بردارها دارای جهات مختلف باشند، می‌توانند یکدیگر را خنثی کرده و در مجموع، برداری تنها به اندازه یک بردار معمولی به جای بگذارند. این فرآیند در شکل زیر دیده می‌شود. با استفاده از دستورالعمل فاینمن، برای محاسبه دامنه احتمال ذره‌ای که از مکان A حرکت کرده به مکان B می‌رسد، فازها یا بردارهای مربوط به

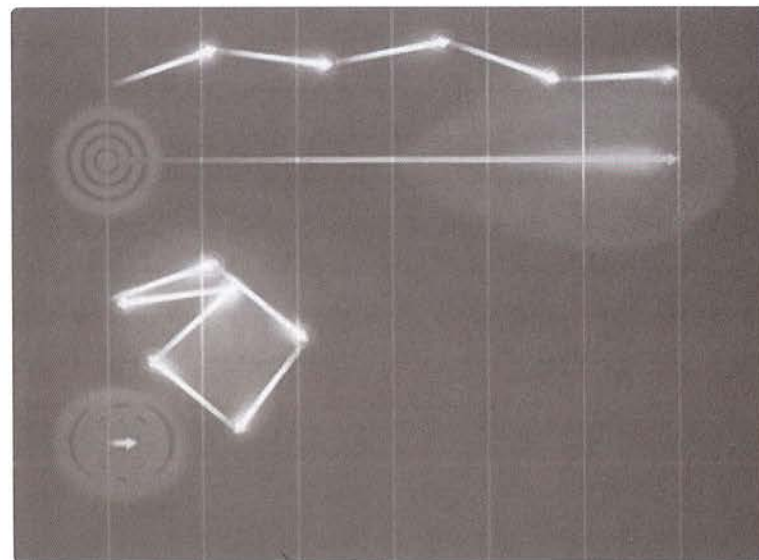
دنبال می‌کند که تنها به یکی از شکاف‌ها منتهی می‌شوند، شامل مسیرهایی که از درون یکی از شکاف‌ها عبور کرده، از درون شکاف دوم بازگشته و سپس به درون اولی می‌رود، همین‌طور مسیری که از رستوران مورد علاقه شما گذشته، و قبل از بازگشتن به جای خود به دور مشتری نیز می‌گردد، حتی مسیرهایی که در سراسر گیتی ادامه داشته و در نهایت به جای خود باز می‌گردند. به این ترتیب می‌توان توضیح داد چگونه ذره اطلاعات مربوط به باز یا بسته بودن شکاف دوم را به دست می‌آورد - اگر شکاف باز باشد، ذره مسیری را هم که از درون آن عبور می‌کند، بر می‌گزیند. هنگامی که هر دو شکاف باز هستند، مسیری که ذره برای عبور از درون یکی از شکاف‌ها می‌پیماید، ممکن است با مسیر پیموده شده از درون شکاف دیگر تداخل پیدا کند. شاید کمی احمقانه به نظر برسد، اما دیده می‌شود صورت‌بندی فاینمن، از دیدگاه بخش عمده فیزیک بنیادی تا به امروز و همچنین از دیدگاه این کتاب، مفیدتر از ایده اصلی عمل می‌کند.



مسیرهای ذره. صورت‌بندی فاینمن از نظریه کوانتوم توضیح می‌دهد که چرا ذراتی مثل باکی‌بال‌ها و الکترون‌ها، هنگام شلیک به سمت شکاف‌های صفحه، الگوهای تداخلی ایجاد می‌کنند.



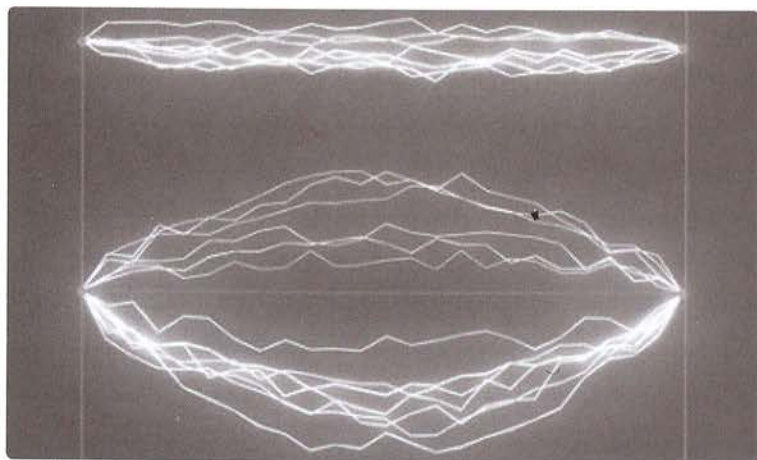
هریک از مسیرهایی را که این دو نقطه را به یکدیگر وصل می‌کنند، با هم جمع می‌کنیم. با این که تعداد مسیرها بی‌نهایت بوده و در نتیجه ریاضیات مسأله کمی پیچیده می‌شود، ولی این روش به خوبی عمل می‌کند. برخی از مسیرها در زیر به تصویر کشیده شده‌اند.



جمع مسیرهای فاینمن. تاثیر مسیرهای مختلف فاینمن بر یکدیگر، درست مثل امواج می‌تواند هم تقویت‌کننده و هم تضعیف‌کننده باشد. بردارهای زرد نشان‌دهنده آنهایی هستند که باید با یکدیگر جمع شوند. خط آبی، مجموع این بردارها را نشان می‌دهد، خطی که از ابتدای بردار اول تا انتهای بردار آخر کشیده می‌شود. در پایین تصویر، بردارها به جهات مختلفی کشیده شده‌اند و بنابراین مجموع آن‌ها، بسیار کوتاه است.

نظریه فاینمن به وضوح بیان می‌کند چگونه تصویر جهان نیوتونی، که بسیار متفاوت به نظر می‌رسد، از درون فیزیک کوانتوم بر می‌خیزد. بر طبق نظریه فاینمن، فازهای مربوط به هر یک از مسیرها، به ثابت پلانک بستگی دارند. این نظریه بیان می‌کند از آنجا که ثابت پلانک عدد بسیار کوچکی است، هنگام جمع کردن فازهای مربوط به مسیرهای بسیار نزدیک به هم،

به‌طور معمول، تغییرات فازی آن‌ها بسیار زیاد بوده و بنابراین همان‌طور که در شکل بالا نشان دادیم نتیجه به سمت صفر میل می‌کند. اما نظریه همچنین نشان می‌دهد، مسیرهای مشخصی وجود دارند که فاز آن‌ها با یکدیگر جمع شده و بردارهای بزرگی ایجاد می‌کنند، و در نتیجه این مسیرها از اهمیت خاصی برخوردار هستند. یعنی می‌توان گفت این مسیرها، در رفتار مشاهده شده ذره نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند. این گونه استنباط می‌شود که برای اشیاء بزرگ، مسیرهایی که بسیار شبیه به مسیرهای پیش‌بینی شده نیوتونی هستند، فازهای مشابه داشته، با یکدیگر جمع می‌شوند و در نهایت بیش‌ترین سهم را در حاصل جمع مسیرها به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین تنها سرنوشتی که دارای احتمالی بسیار بزرگ‌تر از صفر است، همان سرنوشتی است که از طریق نظریه نیوتون برای حرکت ذره پیش‌بینی شده و این سرنوشت دارای احتمالی بسیار نزدیک به ۱ است. بنابراین اشیاء بزرگ درست به همان ترتیب که نظریه نیوتون پیش‌بینی می‌کند، حرکت می‌کنند.



مسیرهای بین نقاط A و B. مسیر کلاسیک بین دو نقطه، یک خط مستقیم است. فاز مربوط به مسیرهایی که به مسیر کلاسیک نزدیک هستند، یکدیگر را تقویت می‌کنند، در حالیکه فاز مربوط به مسیرهای دورتر یکدیگر را خنثی می‌کنند.



تا اینجا، ایده فاینمن را در تحلیل آزمایش دو شکاف مورد استفاده قرار دادیم. در این آزمایش ذرات به سمت دیوار شکافدار شلیک می‌شوند و ما با قرار دادن صفحه‌ای پشت آن، نقاط برخورد را مشخص می‌کنیم. به‌طور کلی‌تر، با استفاده از نظریه فاینمن می‌توان تنها به جای یک ذره، خروجی‌های محتمل یک «سیستم» را پیش‌بینی کرد که خود می‌تواند یک ذره، مجموعه‌ای از ذرات و یا حتی کل جهان باشد. در فاصله بین حالات اولیه و اندازه‌گیری‌های بعدی ما، ویژگی‌های سیستم به نوعی تغییر پیدا می‌کنند که فیزیکدانان به آن تاریخچه سیستم می‌گویند. به‌عنوان مثال در آزمایش دو شکاف، به سادگی می‌توان گفت تاریخچه ذره، مسیر آن است. همان‌طور که در آزمایش دو شکاف، احتمال مشاهده برخورد ذره با هر نقطه، به تمام مسیرهای منتهی به آن نقطه بستگی دارد، فاینمن نشان داد به‌طور کلی برای یک سیستم، احتمال مشاهده هر نتیجه‌ای، از تمام تاریخچه‌های احتمالی که منجر به آن نتیجه می‌شوند، ساخته می‌شود. به‌همین دلیل این روش، صورت‌بندی «مجموع تاریخچه‌ها»<sup>۱</sup> یا «تاریخچه‌های جایگزین»<sup>۲</sup> فیزیک کوانتومی نامیده می‌شود.

حال که رویکرد فاینمن را به فیزیک کوانتوم بهتر درک کردیم، زمان آن رسیده است تا یکی دیگر از اصول کلیدی کوانتوم را که بعداً مورد استفاده قرار می‌گیرد، مورد بررسی قرار دهیم. این اصل بیان می‌دارد که مشاهده یک سیستم می‌تواند مسیر آن را تغییر دهد. آیا می‌توان تنها به تماشا نشست و دخالتی نکرد، درست مثل هنگامی که روی چانه مدیر سس خردل ریخته است؟ نه. بر طبق فیزیک کوانتوم، نمی‌توانیم «تنها» ناظر یک پدیده باشیم. یعنی مطابق فیزیک کوانتوم، برای مشاهده ناچار باید با شیء مشاهده شونده برهم‌کنش داشته باشیم. به‌عنوان مثال برای دیدن یک شیء، به معنای مرسوم آن، بر روی آن نور می‌تابانیم. تابش نور حتی بر روی یک کدو نیز اثراتی بر آن می‌گذارد. اما تاباندن حتی یک نور بسیار خفیف بر روی یک ذره کوچک کوانتومی — که به معنی شلیک فوتون

به سمت آن است — دارای تاثیر قابل توجهی است و آزمایش‌ها نشان می‌دهند این کار نتایج آزمایش را به شیوه‌ای که فیزیک کوانتوم توصیف می‌کند، تغییر می‌دهد.

فرض کنید در آزمایش دو شکاف، جریانی متشکل از ذرات را به سمت مانع گسیل کرده و اطلاعات مربوط به یک میلیون ذره نخست را جمع‌آوری کنیم. اگر تعداد ذرات فرود آمده در نقاط مختلف را ترسیم کنیم، شاهد شکل‌گیری الگوی تداخلی خواهیم بود. همین‌طور اگر فازهای مربوط به تمام مسیرهای محتمل بین نقاط A و B را با هم جمع کنیم، دیده می‌شود احتمال محاسبه شده برای برخورد ذره با نقاط مختلف، با اطلاعات به‌دست آمده مطابقت می‌کند.

حال فرض کنید آزمایش را این‌بار با تاباندن نور بر روی شکاف‌ها تکرار کنیم، به گونه‌ای که شاهد نقطه میانی C، که ذره از آن عبور می‌کند، باشیم. (C می‌تواند مکان قرار گرفتن هر یک از شکاف‌ها باشد.) به این داده‌های حاصل شده، اطلاعات مربوط به «کدام - مسیر» گفته می‌شود، زیرا به این ترتیب می‌توان فهمید ذره‌ای که از A به B رسیده، از کدام شکاف عبور کرده است. از آنجا که اکنون می‌دانیم هر ذره از داخل کدام شکاف عبور کرده است، حاصل جمع مربوط به هر ذره، شامل مسیرهایی است که تنها از شکاف شماره یک یا شماره دو عبور کرده‌اند و هرگز شامل مسیرهایی که از هر دو شکاف عبور کرده‌اند نخواهد شد. به گفته فاینمن، مسیرهایی که از درون یک شکاف می‌گذرند با مسیرهای عبور کننده از درون شکاف دیگر تداخل می‌یابند و به این ترتیب الگوی تداخلی شکل می‌گیرد. اما اگر شما با تاباندن نور، شکافی را که ذره از درون آن عبور کرده تعیین، و به این ترتیب گزینه دیگر را حذف کنید، الگوی تداخلی را از بین خواهید برد. حقیقتاً با تاباندن نور و انجام مجدد آزمایش، شاهد تغییر در الگوی تداخل هستیم! از طرف دیگر، می‌توان از چنان نور خفیفی استفاده کرد که تمام ذرات با نور برهم‌کنش پیدا نکنند. در این حالت قادریم اطلاعات مربوط به «کدام - مسیر» را تنها در مورد گروهی از ذرات



به دست آوریم. در این صورت اگر اطلاعات مربوط به ذرات فرود آمده را به دو بخش تقسیم کنیم — ذراتی که در مورد آن‌ها اطلاعات «کدام — مسیر» را داریم و آن‌هایی که نداریم — خواهیم دید گروهی که به اطلاعات مربوط به «کدام — مسیر» آن‌ها دسترسی نداریم، الگوی تداخلی ایجاد می‌کنند، و در مورد آن‌هایی که اطلاعات داریم، تداخل رخ نمی‌دهد. این ایده، معنای جدیدی به درک ما از مفهوم «گذشته» می‌دهد. در نظریه نیوتون، فرض بر این است که گذشته، دنباله معینی از رویدادها است. اگر روزی مشاهده کردید گلدانی که سال گذشته از ایتالیا خریده بودید، روی زمین افتاده و شکسته، در حالیکه کودک نوپای شما با ترس بالای سر آن ایستاده است، می‌توانید به عقب بازگشته و مجموعه اتفاقاتی که منجر به این فاجعه شده است را دنبال کنید: حرکت انگشتان کوچک، سقوط گلدان و پخش هزاران تکه در برخورد با زمین. در حقیقت با کمک قوانین نیوتون و با دانستن اطلاعات کامل در مورد اکنون، می‌توان تصویر کامل مربوط به گذشته را محاسبه کرد. این مسأله با درک شهودی ما، مبنی بر این که جهان، خواه دردناک، خواه لذت بخش، گذشته معلوم و معینی داشته، سازگار است. ممکن است نظاره‌گری نبوده باشد ولی مطمئناً گذشته را به همان شکلی می‌دیدید که اگر دنباله‌ای از عکس‌های فوری از آن می‌گرفتید. اما نمی‌توان گفت یک باکی‌بال کوانتومی، مسیر معینی را از منبع تا صفحه پیموده است. ممکن است بتوانیم مکان باکی‌بال را از طریق مشاهده تعیین کنیم، ولی در فاصله بین مشاهدات ما، باکی‌بال تمام مسیرها را دنبال خواهد کرد. فیزیک کوانتوم به ما می‌گوید، مهم نیست مشاهدات ما از اکنون تا چه حد کامل هستند، گذشته (مشاهده نشده)، درست مثل آینده، نامعین بوده و تنها به صورت طیفی از احتمالات وجود دارد. به این ترتیب، بر طبق فیزیک کوانتوم، جهان هیچ گذشته یا تاریخ منحصر به فردی ندارد.

این حقیقت که گذشته صورت معینی ندارد، به این معنی است که مشاهداتی که اکنون بر روی یک سیستم انجام می‌دهید، گذشته آن را تحت

تأثیر قرار می‌دهد. این مسأله، به کمک آزمایشی به نام گزینش تأخیری<sup>۱</sup> که به وسیله فیزیکدانی به نام جان ویلر انجام گرفت، به شیوه شگفت‌انگیزی مورد تأکید واقع شد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت آزمایش گزینش تأخیری، شبیه به آزمایش دو شکاف است که در آن شما دارای حق انتخاب برای مشاهده مسیری هستید که ذره طی می‌کند. اما تفاوت در اینجاست که در انتخاب تأخیردار، شما تصمیم‌گیری خود را مبنی بر این که مسیر ذره را مشاهده کنید یا نه، تا زمان برخورد ذره با صفحه به تأخیر می‌اندازید. نتایج حاصل از آزمایش گزینش تأخیری مشابه با حالتی است که در آن انتخاب می‌کنیم اطلاعات «کدام — مسیر» را از طریق نگاه کردن به شکاف‌ها مشاهده کنیم (یا نکنیم). اما در این حالت، مسیری که هر ذره دنبال می‌کند — یعنی گذشته آن — مدت طولانی پس از این که از شکاف عبور کرد تعیین می‌شود، زمانی که ذره به ناچار تصمیم گرفته است تنها از درون یک شکاف عبور کند (که در نتیجه تداخل ایجاد نمی‌شود) و یا از درون هر دو (که تداخل ایجاد می‌شود).

ویلر حتی از این هم فراتر رفته و نسخه کیهانی از این آزمایش را ارائه کرد، که در آن ذرات همان فوتون‌هایی هستند که توسط کوازارهای قدرتمندی منتشر شده‌اند که، در فاصله میلیاردها سال نوری از ما، قرار دارند. این نور می‌تواند در بین راه به دو مسیر منشعب شده و مجدداً از طریق عدسی گرانشی یک کهکشان به سمت زمین متمرکز شود. اگرچه این آزمایش فراتر از فن آوری امروز ماست، ولی اگر می‌توانستیم به اندازه کافی فوتون از این نور جمع کنیم، احتمالاً شاهد الگوی تداخلی می‌بودیم. باز هم اگر می‌توانستیم، کمی قبل از آشکارسازی، ابزاری را برای اندازه‌گیری اطلاعات کدام — مسیر قرار دهیم، این الگو از بین می‌رفت. در این حالت، احتمالاً تصمیم‌گیری برای این که یک و یا هر دو مسیر پیموده شوند، میلیاردها سال پیش، قبل از این که زمین و حتی خورشید به وجود آمده باشند، انجام گرفته است و جالب اینجاست که هنوز هم ما می‌توانیم

1. Delayed-choice experiment



## فصل ۵

### نظریه‌ی همه چیز

غیر قابل فهم‌ترین چیز در مورد جهان  
این است که جهان قابل فهم است.  
آلبرت اینشتین

جهان قابل فهم است، چون قوانین علمی بر آن حکمفرماست، بدین معنی که می‌توان آن را مدل‌سازی کرد. اما این قوانین یا مدل‌ها چیستند؟ اولین نیرویی که به زبان ریاضی توصیف شد گرانش بود. قانون گرانش نیوتون که در سال ۱۶۸۷ منتشر شد، بیان می‌دارد که هر جسمی در جهان توسط هر جسم دیگری با نیرویی متناسب با جرمش جذب می‌شود. این امر تأثیر شگرفی بر حیات فکری دوران خود بر جای گذاشت، زیرا برای اولین بار نشان می‌داد که دست‌کم یک جنبه از جهان را می‌توان به دقت مدل‌سازی کرد به علاوه دستگاه ریاضی مورد نیاز برای انجام چنین کاری را بنا نهاد. این ایده که قوانین طبیعت وجود دارند، همان مسائلی را مطرح می‌کرد که پنجاه سال پیش از آن موجب محکومیت گالیله به ارتداد شده بودند. به عنوان نمونه، انجیل داستان یوشع پیامبر را نقل می‌کند که دعا کرد خورشید و ماه از خط سیر خود خارج شوند تا با افزایش طول روز، وی بتواند جنگ با شورشیان آموریت در کنعان را به پایان برساند. مطابق کتاب یوشع، خورشید حدود یک روز درنگ کرد. امروز می‌دانیم که این امر بدان معناست که زمین از گردش به دور خود باز ایستد. اگر چرخش زمین به دور خود به ناگاه متوقف شود، مطابق قوانین نیوتون، هر جسمی که به زمین محکم نشده باشد، با همان سرعت حرکت زمین (۱۸۰۰ کیلومتر بر

با مشاهدات خود در آزمایشگاه، آن را تحت تأثیر قرار دهیم. در این فصل، آزمایش دو شکاف را از دیدگاه فیزیک کوانتوم مورد بررسی قرار دادیم. در ادامه، صورت‌بندی فاینمن از مکانیک کوانتومی را به‌طور کلی به جهان اعمال خواهیم کرد. خواهیم دید که جهان درست مثل یک ذره، تنها دارای یک تاریخچه نیست؛ بلکه هر تاریخچه احتمالی را (هرکدام با احتمال مربوط به خود) داراست و مشاهدات ما از حالات فعلی آن، گذشته‌اش را تحت تأثیر قرار می‌دهد، همان‌طور که مشاهده ذره در آزمایش دو شکاف، گذشته آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تحلیل نشان می‌دهد چگونه قوانین طبیعت در جهان ما از انفجار بزرگ ناشی شده‌اند. اما قبل از این که چگونگی برخاستن قوانین را مورد بررسی قرار دهیم، کمی در مورد چیرستی این قوانین و برخی از اسرار ناشی از آنها، صحبت خواهیم کرد.



می‌شود، میدان مغناطیسی هم باید قادر باشد جریان الکتریکی تولید کند. او این اثر را در سال ۱۸۳۱ به نمایش گذاشت. ۱۴ سال بعد فارادی نشان داد که میدان مغناطیسی قوی می‌تواند بر خواص نور قطبیده (پلاریزه) اثر بگذارد و بدین ترتیب ارتباط بین الکترومغناطیس و نور را کشف کرد.

فارادی تحصیلات دانشگاهی نداشت. او در خانواده‌ای آهنگر و فقیر در نزدیکی لندن متولد شد و مدرسه را در ۱۳ سالگی ترک کرد تا در یک کتابفروشی پادوئی و صحافی کند. در آنجا طی سال‌ها با مطالعه کتاب‌هایی که مسئول مراقبت از آن‌ها بود و با انجام آزمایش‌های ساده و ارزان در اوقات فراغت به فراگیری علم پرداخت. سرانجام او در آزمایشگاه شیمیدان بزرگ سر هامفری دیوی، کاری به عنوان دستیار به دست آورد. فارادی تمام چهل و چهار سال ادامه زندگی‌اش را در آنجا گذراند و پس از درگذشت دیوی، کار وی را ادامه داد. فارادی با ریاضیات مشکل داشت و هرگز مقدار زیادی از آن را نیاموخت و بنابراین برایش مشکل بود که از آنچه در آزمایشگاهش راجع به پدیده عجیب الکترومغناطیس مشاهده می‌کرد، تصویری نظری بسازد، گرچه دست آخر او موفق شد.

یکی از بزرگترین نوآوری‌های هوشمندانه فارادی، ایده میدان‌های نیرو بود. امروزه بیش‌تر مردم به لطف کتاب‌ها و فیلم‌های موجودات بیگانه چشم‌حشره‌ای و فضایی‌هایشان، با این موضوع آشنا هستند و شاید فارادی در این مورد باید حق اختراع بگیرد، ولی در سده‌های بین نیوتون و فارادی، یکی از بزرگترین معماهای فیزیک این بود که به نظر می‌رسید قوانین فیزیک بیان می‌دارند که نیروها از میان فضای خالی که اجسام را از هم جدا می‌کند، عمل می‌کنند که این به مذاق فارادی خوش نمی‌آمد. او معتقد بود که برای به حرکت درآوردن یک جسم، چیزی باید با آن در تماس باشد. بنابراین او فضائی را بین بارهای الکتریکی و بین آهن رباها تصور کرد که با میله‌های نامرئی پر شده‌اند و عمل کشش یا رانش فیزیکی را انجام می‌دهند. فارادی این میله‌ها را میدان نیرو نامید. برای تصور یک میدان نیرو، همان آزمایش مدرسه — قرار دادن یک آهن ربای میله‌ای زیر

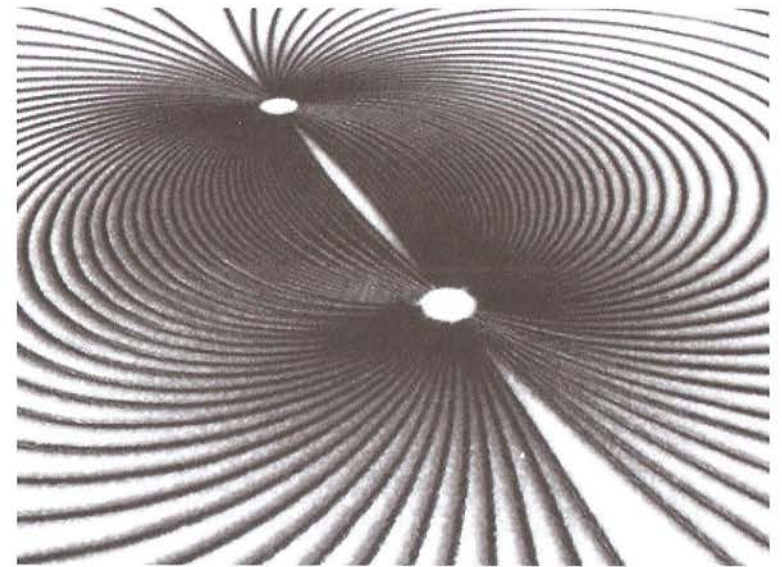
ساعت روی خط استوا) به حرکت خود ادامه می‌دهد که بهایی سنگین برای تأخیر غروب خورشید است. نیوتون به هیچ‌وجه خودش را برای چنین موضوعاتی ناراحت نمی‌کرد، چون همان‌طور که همواره می‌گفت معتقد بود که خدا می‌تواند و باید در کار جهان مداخله کند.

جنبه‌های دیگر جهان که برایشان قانون یا مدلی کشف شد، نیروهای الکتریکی و مغناطیسی بودند. آن‌ها همانند جاذبه رفتار می‌کردند، با این تفاوت مهم که دو بار الکتریکی همان‌جا یا دو قطب مغناطیسی همان‌جا یکدیگر را دفع و بارها یا قطب‌های مخالف یکدیگر را جذب می‌کنند. نیروهای الکتریکی و مغناطیسی بسیار قوی‌تر از نیروی گرانش هستند، ولی ما معمولاً در زندگی روزمره متوجه این امر نمی‌شویم. زیرا مقدار ذرات با بار الکتریکی مثبت و منفی در اجسام تقریباً برابر است. این امر بدان معناست که نیروهای الکتریکی و مغناطیسی بین دو جسم در ابعاد معمولی، تقریباً یکدیگر را خنثی می‌کنند. بر خلاف گرانش که همواره نیرویی هم‌افزاست. دانسته‌های امروزی ما در مورد الکتریسیته و مغناطیس در طول یک دوره صد ساله از اواسط قرن هجدهم میلادی تا اواسط قرن نوزدهم میلادی شکل گرفته است. دوره‌ای که در آن فیزیکدانان کشورهای مختلف آزمایش‌های مشروحی در مورد نیروهای الکتریکی و مغناطیسی انجام دادند. یکی از بهترین یافته‌ها در این زمینه، کشف ارتباط بین نیروهای الکتریکی و مغناطیسی بود: یک ذره باردار متحرک بر آهن رباها نیرو وارد می‌کند و یک آهنربای متحرک به بارهای الکتریکی نیرو وارد می‌کند. اولین کسی که به این ارتباط پی برد هانس کریستیان اورستد، فیزیکدان دانمارکی بود. در سال ۱۸۲۰ هنگامی که سخنرانی‌اش را برای ارائه در دانشگاه آماده می‌کرد، ارستد متوجه شد که جریان الکتریکی باتری مورد استفاده‌اش، بر عقربه قطب‌نمای کنار باتری، تأثیر می‌گذارد. او سریعاً دریافت که عبور جریان الکتریکی نیروی مغناطیسی تولید می‌کند و واژه‌ی الکترومغناطیس را ابداع کرد. چند سال بعد، دانشمند بریتانیایی مایکل فارادی استدلال کرد که به زبان امروزی چنانچه جریان الکتریکی سبب ایجاد میدان مغناطیسی



یازده نظریه الکترومغناطیس - همگی ناقص - عرضه شدند. بعداً در عرض چند سال در دهه ۱۸۶۰ جیمز کلارک مکسول اندیشه‌های فارادی را در چارچوبی ریاضی توسعه داد و رابطه‌ی صمیمانه و مرموز بین الکتریسیته، مغناطیس و نور را توضیح داد. نتیجه یک سری معادله بود که هویت فیزیکی مستقلى به نام میدان الکترومغناطیسی را معرفی کرد که جلوه‌های مختلف آن می‌شدند نیروهای الکتریکی و مغناطیسی و نور. مکسول نیروهای الکتریکی و مغناطیسی را یکپارچه کرده بود. فراتر از این، وی نشان داد که میدان الکترومغناطیسی می‌تواند در فضا به عنوان یک موج منتشر شود. سرعت انتشار این موج به عددی که در معادلاتش ظاهر می‌شد، بستگی داشت و با آزمایش‌های چند سال گذشته قابل محاسبه بود. درکمال حیرت دید که سرعت موج برابر سرعت نور است که در آن سال‌ها با دقت یک درصد اندازه‌گیری شده بود. او کشف کرده بود که نور موج الکترومغناطیسی است! امروزه معادلاتی که میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را توصیف می‌کنند، معادلات مکسول نامیده می‌شوند. افراد اندکی راجع به آن‌ها چیزی شنیده‌اند، ولی آن‌ها احتمالاً مهم‌ترین معادلات پول ساز موجودند. نه تنها بر عملکرد هر چیز از لوازم منزل تا رایانه‌ها حاکمند، بلکه غیر از نور انواع دیگر موج نظیر ریزموج (مایکروویو)، امواج رادیویی، نور فروسرخ و پرتو ایکس را توضیح می‌دهند. همه این‌ها فقط در یک جنبه با نور مرئی متفاوتند: طول موج. امواج رادیویی طول موجی در حدود یک متر یا بیش‌تر دارند، در حالی که طول موج نور مرئی چند ده میلیونم متر و در مورد پرتو ایکس زیر یک صد میلیونم متر است. خورشید ما در همه طول موج‌ها می‌درخشد، اما شدیدترین پرتوهایش در طول موج‌هایی است که برای ما قابل رویت‌اند. احتمالاً این تصادفی نیست که طول موج‌هایی که ما با چشم غیر مسلح می‌بینیم، همان‌هایی هستند که خورشید در آن‌ها پر شدت می‌تابد: چشمان ما برای دریافت طول موج‌هایی تکامل یافته‌اند که در محیط فراوان‌تر بوده است. اگر ساکن سیارات دیگری بودیم، محدوده طول موج قابل «دیدن» توسط چشمان ما در همان بازه‌ای بود که خورشید

یک ورق شیشه‌ای و پاشیدن براده آهن روی آن - روش خوبی است. اگر برای غلبه بر اصطکاک، چند ضربه به ورق بزنید، براده‌ها طوری جابجا می‌شوند که انگار به یک نیروی نامرئی اشاره می‌کنند و بالاخره مطابق یک الگو به شکل خطوط منحنی که از یک قطب به قطب دیگر می‌روند، مرتب می‌شوند. این الگو، نقشه‌ای از نیروی مغناطیسی نامرئی است که در فضا نفوذ می‌کند. امروزه ما معتقدیم که همه نیروها بوسیله میدان‌ها منتقل می‌شوند، یک مفهوم مهم در فیزیک مدرن که به مفاهیم علمی-تخیلی خیلی شبیه است.

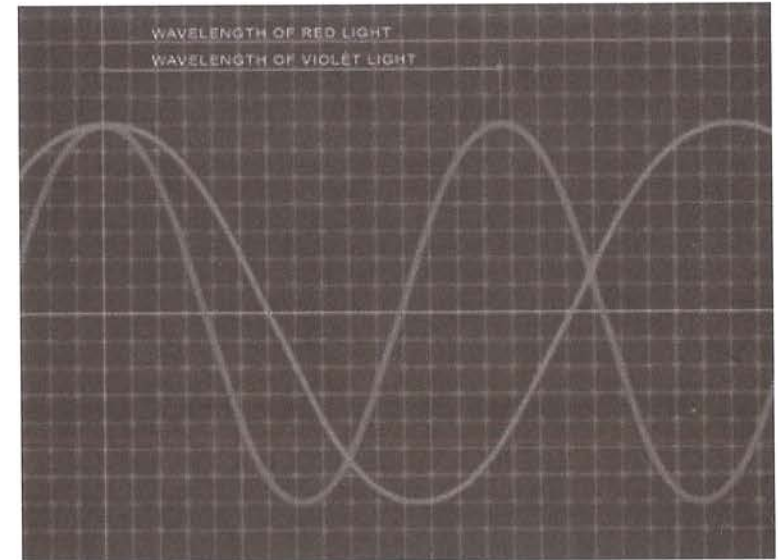


میدان‌های نیرو. میدان نیروی یک آهن ربای میله‌ای، آن گونه که براده‌های آهن به تصویر کشیده‌اند.

برای چندین دهه، فهم ما از الکترومغناطیس در جا زد و محدود بود به دانستن چند قانون تجربی نظیر ارتباط نزدیک اما اسرار آمیز الکتریسیته و مغناطیس و رابطه‌ی بین آن‌ها با نور به همراه ایده‌ی ابتدایی میدان‌ها. دست‌کم



آن سیارات تابش شدیدتری داشت و البته گازها و گرد و غبار موجود در جو آن سیارات به دلیل جذب بعضی طول موج‌ها بر آن اثر می‌گذاشت. پس بیگانگانی که در حضور مقادیر بالای پرتو ایکس تکامل یافته باشند، در امنیت پرواز فرودگاه‌ها فوراً استخدام می‌شوند.



طول موج. ریز موج‌ها، امواج رادیویی، نور فروسرخ، پرتو ایکس — رنگ‌های مختلف نور — فقط در طول موج شان تفاوت دارند.

معادلات مکسول اقتضا می‌کنند که امواج الکترومغناطیسی با سرعت ۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت کنند. ولی صحبت از سرعت بدون مرجعی که سرعت نسبت به آن اندازه‌گیری شود، بی‌معنی است. در زندگی روزمره معمولاً به این موضوع توجه نمی‌کنیم. وقتی تابلوی محدودیت سرعت به ۱۰۰ کیلومتر در ساعت را می‌بینید، فوراً می‌فهمید که سرعت شما نسبت به جاده سنجیده می‌شود، نه نسبت به مرکز کهکشان راه شیری. ولی حتی در زندگی روزمره هم گاهی لازم است چارچوب مرجع را به حساب

آوریم. مثلاً اگر با یک فنجان قهوه در راهروی هواپیمای جت در حال پرواز قدم بزنید، از نظر شما سرعتتان ۳ کیلومتر بر ساعت است. در صورتی که از نظر ناظر زمینی سرعت شما ۹۰۰ کیلومتر بر ساعت است. اگر فکر می‌کنید که احتمالاً حق با شماست یا با ناظر زمینی، به یاد داشته باشید که زمین در حال چرخش به دور خورشید است و ناظری روی سطح یک جرم آسمانی با هر دو شما مخالف است و می‌گوید شما با سرعت ۳۰ کیلومتر در ثانیه حرکت می‌کنید. با وجود این اختلاف نظر، وقتی مکسول می‌گوید سرعت نور با معادلات من قابل محاسبه است، طبیعی است که پرسید سرعت نور در معادلات مکسول نسبت به کجا اندازه‌گیری می‌شود؟

دلیلی ندارد بگویید سرعت نور در معادلات مکسول نسبت به زمین اندازه‌گیری می‌شود. هر چه باشد معادلات او جهان شمول هستند. جواب دیگری که مدتی اذهان را مشغول کرد آن است که سرعت نور در معادلات او نسبت به یک محیط واسط نادیدنی که قبلاً در همه جای فضا نفوذ کرده است و اتر نام دارد، سنجیده می‌شود. این نام را ارسطو به ماده‌ای داد که به عقیده او تمام جهان را اشغال کرده است. این اتر فرضی محیطی بود که امواج الکترومغناطیسی در آن منتشر می‌شدند، همانند امواج صوتی که در هوا منتشر می‌شوند. اگر این اتر وجود داشت می‌توانست مرجعی برای سکون مطلق باشد (که عبارتست از سکون نسبت به اتر) و بنا براین برای تعریف مطلق حرکت هم به کار می‌رفت. اتر مرجعی قابل قبول در سراسر گیتی فراهم می‌کرد که می‌شد سرعت هر جسمی را نسبت به آن سنجید. این بود که در نظریه‌ها وجود اتر مسلم شمرده شد و عده‌ای از دانشمندان به فکر افتادند تا راهی برای بررسی آن یا دست‌کم اثبات وجود آن بیابند. یکی از این دانشمندان خود مکسول بود.

اگر در هوا به سمت یک موج صوتی حرکت کنید، موج زودتر به شما می‌رسد و اگر از آن بگریزید، دیرتر به شما می‌رسد. به‌طور مشابه اگر اتر وجود داشته باشد، سرعت نور بسته به حرکت شما در اتر، تغییر خواهد کرد. اگر نور همانند صوت رفتار کند، کسی که با سرعت کافی در اتر حرکت



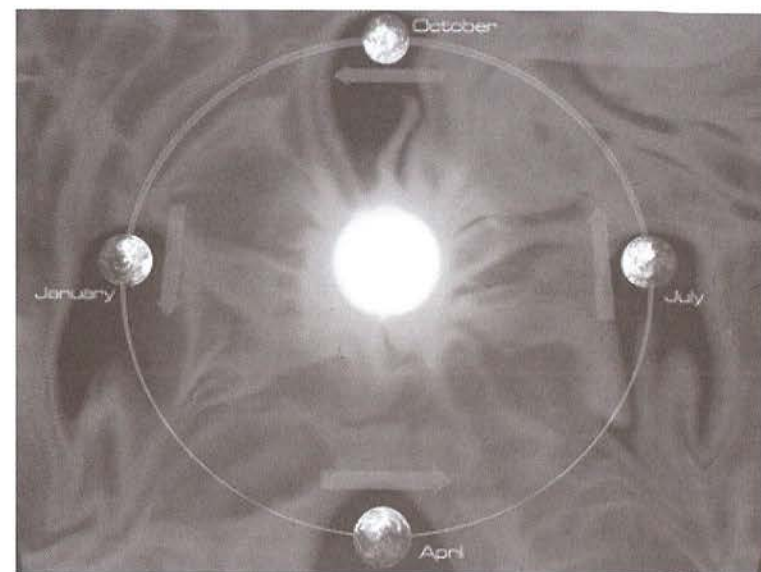
بود. تحت تاثیر اندیشه مکسول، در سال ۱۸۸۷ مایکلسون و ادوارد مورلی آزمایشی بسیار دقیق ترتیب دادند که می‌توانست سرعت نور را با توجه به حرکت زمین در اتر اندازه بگیرد. آن‌ها سرعت نور را در دو جهت مختلف با زاویه‌های صحیح اندازه گرفتند. اگر سرعت نور نسبت به اتر ثابت بود، اندازه‌گیری‌ها باید نشان می‌دادند که سرعت نور بسته به جهت پرتو نور، تغییر می‌کند. اما مایکلسون و مورلی چنین تغییری مشاهده نکردند.

نتیجه آزمایش مایکلسون مورلی با مدل حرکت امواج الکترومغناطیسی در اتر آشکارا در تضاد است و مدل اتر را نفی می‌کند. اما هدف مایکلسون اندازه‌گیری سرعت حرکت زمین نسبت به اتر بود و نه اثبات یا رد فرضیه اتر و بنابر این از آنچه یافت نتیجه نگرفت که اتر وجود ندارد. دیگران هم چنین نتیجه‌ای نگرفتند. در واقع فیزیکدان معروف ویلیام تامسون (لرد کلونین) در سال ۱۸۸۴ گفت که اتر «تنها موضوعی است که در دینامیک از آن مطمئنیم. چیزی که می‌دانیم واقعیت و اساس وجود اتر است.»

چگونه می‌توان به رغم نتایج آزمایش مایکلسون-مورلی به وجود اتر باور داشت؟ همان گونه که قبلاً گفتیم اغلب پیش می‌آید که طرفداران نظریه‌ای سعی می‌کنند مدل را با حک و اصلاح نجات دهند. بعضی فرض کردند که زمین اتر را با همراه خود می‌کشد و بنابر این ما عملاً نسبت به اتر ثابت هستیم. فیزیکدان هلندی هندریک آنتون لورنتس و فیزیکدان ایرلندی چرخ فرانسیس فیتزجرالد پیشنهاد کردند که در یک چارچوب در حال حرکت نسبت به اتر احتمالاً به دلیل بعضی اثرات مکانیکی ناشناخته، ساعت‌ها کند و فاصله‌ها کوتاه می‌شوند و بنا بر این سرعت اندازه‌گیری شده برای نور ثابت می‌ماند. این تلاش‌ها برای حفظ مفهوم اتر نزدیک به بیست سال ادامه یافت تا این که مقاله‌ای مهم از یک کارمند جوان و ناشناخته در اداره ثبت اختراعات سوئیس در برن به نام آلبرت اینشتین منتشر شد.

اینشتین در سال ۱۹۰۵ که مقاله‌اش را تحت عنوان «در الکترودینامیک اجسام متحرک»<sup>۱</sup> چاپ کرد، بیست و شش ساله بود. اینشتین این فرض ساده را مطرح کرد که قوانین فیزیک و به ویژه سرعت نور باید برای همه

کند می‌تواند از نور سبقت بگیرد، درست شبیه مسافران جت مافوق صوت که صدای پشت هواپیما را نمی‌شنوند. با این ملاحظات، مکسول آزمایشی پیشنهاد کرد. اگر یک نوع اتر وجود دارد، پس زمین در حال حرکت در مدار خود، از درون آن می‌گذرد. چون جهت حرکت زمین در فروردین با ماه‌های دیگر مثل تیر یا دی تفاوت دارد، باید بتوانیم تغییر کوچکی در سرعت نور طی ماه‌های مختلف سال مثل شکل زیر مشاهده کنیم.



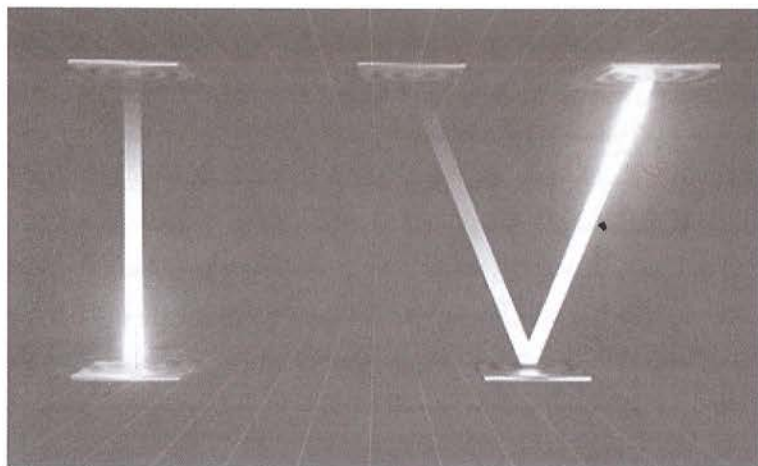
حرکت در اتر. اگر در اتر حرکت می‌کردیم باید قادر می‌بودیم با اندازه‌گیری تغییرات اندک فصلی در سرعت نور، این حرکت را آشکار کنیم.

سر دبیر نشریه جامعه سلطنتی که فکر می‌کرد چنین آزمایشی کار نمی‌کند، با انتشار ایده مکسول در آن نشریه مخالفت کرد. اما در سال ۱۸۷۹ کمی پیش از مرگ دردناکش بر اثر سرطان معده در سن ۴۸ سالگی، مکسول مطلب را در نامه‌ای برای دوستش فرستاد. این نامه پس از مرگش در مجله نیچر چاپ شد که یکی از خوانندگان آن فیزیکدان آمریکایی آلبرت مایکلسون

1. zur Elektrodynamik bewegter Körper.

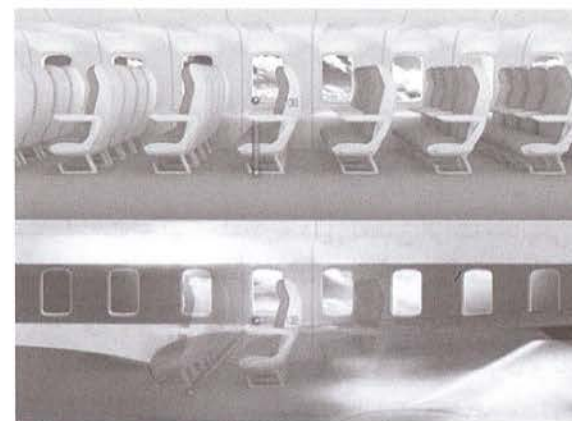


هر دو یک ناظر یک واقعیت فیزیکی را مشاهده می‌کنند، ولی عجیب است که زمان‌های متفاوتی را اندازه می‌گیرند. اینشتین توضیح ساختگی نمی‌خواست. نتیجه‌گیری منطقی ولی شگفت‌انگیز او این بود که اندازه‌گیری فاصله زمانی بین دو رویداد همانند فاصله مکانی، بستگی به ناظر دارد. این اثر یکی از نکات کلیدی مقاله سال ۱۹۰۵ است که نسبیت خاص نام دارد. بیایید ببینیم تحلیل متفاوت دو ناظری که یک ساعت را مشاهده می‌کنند چیست. نسبیت خاص بیان می‌دارد، ساعت از دید ناظری که نسبت به آن ساکن است، سریعتر و از دید ناظری که نسبت به آن ساکن نیست، کندتر کار می‌کند. اگر یک پالس نوری را، که از انتها به طرف جلوی هواپیما حرکت می‌کند، به عقربه ساعت تشبیه کنیم، خواهیم دید از دید ناظر روی زمین، ساعت کندتر کار می‌کند. زیرا پرتو نوری باید فاصله به مراتب بیش‌تری را در آن چارچوب مرجع طی کند. اما این اثر به طرز کار ساعت بستگی ندارد و برای تمام ساعت‌ها، حتی ساعت بیولوژیکی بدن انسان‌ها صادق است.



انبساط زمان. به‌نظر می‌رسد ساعت‌های متحرک کندتر کار می‌کنند. از آنجاکه این اثر در مورد ساعت بیولوژیکی بدن انسان نیز صادق است، افراد در حال حرکت باید کندتر پیر شوند. اما زیاد خوشبین نباشید. در سرعت‌های معمولی، هیچ ساعتی نمی‌تواند این تغییر را احساس کند.

ناظرانی که حرکت یکنواخت دارند، یکسان باشند. این ایده، انقلابی در فهم ما از فضا و زمان پدید آورد. برای درک چگونگی آن، دو رویداد را در یک هواپیمای جت تصور کنید که در مکانی مشابه و زمانی متفاوت رخ می‌دهند. برای ناظر درون جت، فاصله بین دو رویداد صفر است. ولی برای ناظر روی زمین، بین دو رویداد به اندازه‌ای که جت در این مدت حرکت کرده، فاصله هست. یعنی بین دو ناظر که نسبت به هم حرکت می‌کنند، در مورد فاصله مکانی بین دو رویداد توافق وجود ندارد. حال فرض کنید که دو ناظر پرتو نوری را در حال حرکت از انتهای جت به سمت جلوی آن، مشاهده می‌کنند. در این جا، دو ناظر در مورد مسافتی که پرتو نور از لحظه‌ی حرکت از انتها تا رسیدن به جلوی جت پیموده است، توافق ندارند. چون سرعت برابر است با فاصله‌ی پیموده شده تقسیم بر زمان حرکت، پس اگر آن‌ها هر دو سرعت حرکت پرتو - همان سرعت نور - را یکسان بدانند، در مورد مدت زمان بین شروع و خاتمه حرکت پرتو، توافق نخواهند داشت.



جت هوابرد. اگر در هواپیمای جت، توپی را متناوباً به زمین بزنید، از نظر ناظر درون هواپیما توپ، در هر بار رفت و برگشت، به همان نقطه قبلی برخورد می‌کند. در حالیکه ناظر روی زمین بین نقاط برخورد در زمان‌های مختلف تفاوت زیادی را مشاهده می‌کند.



اینشتین نشان داد، مشابه مفهوم سکون، زمان نیز نمی تواند آنگونه که نیوتون تصور می کرد، مطلق باشد. به بیان دیگر، این امکان وجود ندارد بتوان زمان مشخصی را به یک رویداد اختصاص داد، به گونه ای که تمام ناظران در مورد آن هم نظر باشند. در عوض، تمام ناظران اندازه گیری خود را از زمان داشته و زمان اندازه گیری شده به وسیله دو ناظر که نسبت به یکدیگر حرکت می کنند، یکسان نخواهد بود. ایده اینشتین با قوه درک مستقیم ما تناقض دارد، زیرا در سرعت های معمولی زندگی روزمره ما، اثرات آن قابل مشاهده نیست. اما این اثرات به طور مکرر از طریق آزمایش های تجربی به اثبات رسیده اند. به عنوان مثال، ساعت مرجعی را در حالت سکون در مرکز کره زمین و ساعت دیگری را بر روی سطح زمین تصور کنید. فرض کنید ساعت سومی درون هواپیمایی قرار دارد که در جهت، یا خلاف جهت چرخش زمین به دور خود، حرکت می کند. نسبت به ساعتی که در مرکز زمین قرار دارد، ساعت درون هواپیمایی که در جهت شرق حرکت می کند (در جهت چرخش کره زمین)، سریع تر از ساعت روی سطح کره زمین حرکت کرده و بنابراین باید کندتر کار کند. به طور مشابه، نسبت به ساعت مرکز زمین، ساعت درون هواپیمایی که به سمت غرب حرکت می کند (خلاف جهت چرخش زمین)، کندتر از ساعت روی سطح زمین حرکت کرده و بنابراین باید سریع تر از ساعت روی سطح زمین کار کند. این دقیقاً همان چیزی است که در اکتبر سال ۱۹۷۱، با ارسال یک ساعت اتمی بسیار دقیق به مدار زمین، مورد آزمایش قرار گرفته و تایید شد. به این ترتیب شاید بتوان با پرواز مداوم به سمت شرق، زندگی خود را طولانی تر کرد، اگرچه ممکن است تماشای آن همه فیلم خسته کننده باشد! به هر حال، این اثر بسیار کوچک است، ۱۸۰ میلیاردم ثانیه در هر دور (و تاحدی نیز به دلیل اثرات تغییرات گرانشی، کم تر نیز می شود که در اینجا به آن نمی پردازیم).

پس از کار اینشتین فیزیکدانان متوجه شدند که شرط ثابت بودن سرعت نور در معادلات مکسول اقتضا می کند که زمان با سه بعد فضا یکپارچه باشد. یعنی، زمان و فضا در هم پیچیده اند. این مفهوم، مثل

افزودن یک جهت چهارم به نام آینده/گذشته به سه جهت متداول چپ/راست، جلو/عقب و بالا/پایین است. فیزیکدانان حاصل یکپارچگی فضا و زمان را «فضا-زمان» و جهت چهارم را بُعد چهارم می نامند. در قالب فضا-زمان، دیگر زمان از سه بعد فضا مجزا نیست و همان طور که تعریف ما از جهت های مختلف بالا/پایین، چپ/راست و عقب/جلو به محل قرارگیری ناظر بستگی دارد، جهت زمان نیز با سرعت ناظر تغییر خواهد کرد. ناظرانی که با سرعت های مختلف حرکت می کنند، برای زمان جهات مختلفی را در قالب فضا-زمان بر می گزینند. بنابراین، نظریه نسبیت خاص اینشتین مدل جدیدی بود که به کمک آن مفاهیم زمان مطلق و سکون مطلق (سکون نسبت به اتر) از صحنه حذف شدند.

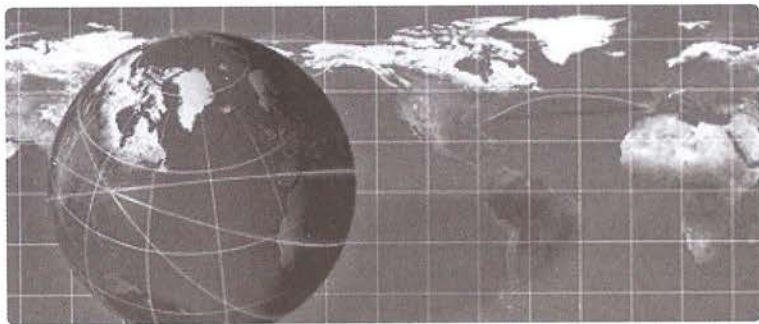
اینشتین به سرعت دریافت برای سازگار کردن گرانش با نسبیت، تغییر دیگری نیز باید انجام گیرد. برطبق نظریه گرانش نیوتون، اجرام در هر زمان، یکدیگر را با نیرویی که مقدار آن به فاصله بین آن ها در همان زمان بستگی دارد، جذب می کنند. اما نظریه نسبیت مفهوم زمان مطلق را از بین می برد، بنابراین چاره ای نیست جز این که زمان اندازه گیری فاصله بین دو جرم را تعیین کنیم. بنابراین نظریه گرانش نیوتون با نسبیت خاص سازگار نیست و باید اصلاح شود. این تضاد ممکن است انحصاراً یک معضل تخصصی باشد، که شاید به گونه ای امکان اصلاح آن بدون نیاز به تغییرات زیاد بر روی نظریه گرانش وجود داشته باشد. معلوم شد این درست نیست.

اینشتین، در طول یازده سال پس از آن، نظریه جدیدی از گرانش را توسعه داد که آن را نسبیت عام نامید. مفهوم گرانش در نسبیت عام به هیچ وجه شبیه گرانش نیوتون نیست. بلکه براساس این طرح انقلابی، فضا-زمان، آنطور که قبلاً تصور می شد، تخت نبوده و در عوض منحنی است و تحت تاثیر جرم و انرژی درون آن خمیده می شود.

سطح زمین مثال خوبی از خمیدگی است. اگرچه سطح زمین تنها دوبعدی است (شمال/جنوب و شرق/غرب)، قصد داریم به عنوان مثال از آن استفاده کنیم. زیرا به تصویر کشیدن یک فضای منحنی دوبعدی بسیار



در غیاب ماده، کوتاه‌ترین مسیر در فضا-زمان چهاربُعدی، مشابه خط مستقیم در فضای سه بُعدی خواهد بود. اما در حضور ماده، فضا-زمان خمیده شده و مسیر اجرام در فضای سه بُعدی به همان گونه‌ای انحنای می‌یابد که در نظریه نیوتونی به صورت جاذبه گرانش توصیف می‌شد. وقتی فضا-زمان تخت نباشد، به نظر می‌رسد مسیر اجرام خمیده شده و این حس ایجاد می‌شود که نیرویی بر آن‌ها وارد شده است.



کوتاه‌ترین مسیر. اگر کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه روی سطح کره زمین را بر روی نقشه‌ای تخت نمایش دهیم، منحنی به نظر می‌رسد. بهتر است این نکته را برای تست هوشیاری بخاطر داشته باشید!

نسبیت عام اینشتین، در غیاب گرانش، مجدداً نسبیت خاص را تولید می‌کند و تقریباً همان پیش‌گویی‌های نظریه گرانش نیوتون در محیط‌های با گرانش ضعیف منظومه شمسی ما را تکرار می‌کند، البته نه کاملاً. در حقیقت اگر در سیستم‌های ناوبری ماهواره‌های GPS، نسبیت عام مد نظر قرار نگیرد، در یک روز، خطاهای انباشته شده در مکان‌یابی‌ها به حدود ده‌ها کیلومتر خواهد رسید! با این حال، اهمیت حقیقی نسبیت عام، کاربرد آن در تجهیزاتی نیست که مثلاً شما را به یک رستوران جدید راهنمایی می‌کنند، بلکه این نظریه، مدل بسیار متفاوتی از جهان است که اثرات جدیدی مثل امواج گرانشی و سیاهچاله‌ها را پیش‌گویی می‌نماید. بنابراین نسبیت عام، علم فیزیک را به هندسه تغییر داده است. فناوری جدید به

ساده‌تر از چهار بعدی است. هندسه فضاهای منحنی مثل سطح زمین، همان هندسه آشنای اقلیدسی نیست. به عنوان مثال بر روی سطح زمین، کوتاه‌ترین مسافت بین دو نقطه — که می‌دانیم در هندسه اقلیدسی یک خط است — مسیری است که دو نقطه را، در طول آنچه دایره عظیمه نامیده می‌شود، به هم وصل می‌کند (دایره عظیمه، دایره‌ای بر روی سطح کره زمین است که مرکز آن بر مرکز کره زمین منطبق است. خط استوا، مثالی از یک دایره عظیمه است).

فرض کنید قصد دارید از نیویورک به مادرید سفر کنید، دو شهری که تقریباً در یک عرض جغرافیایی قرار دارند. اگر زمین تخت بود، کوتاه‌ترین مسیر، حرکت مستقیم به سمت شرق بود. در این صورت شما پس از پیمودن ۵۹۶۵ کیلومتر به مادرید می‌رسیدید. اما به دلیل انحنای زمین، مسیر دیگری وجود دارد که بر روی یک نقشه تخت، منحنی و در نتیجه طولانی‌تر دیده می‌شود. اما در واقع کوتاه‌تر است. اگر مسیر دایره عظیمه را دنبال کنید، پس از پیمودن ۵۸۰۱ کیلومتر به مقصد می‌رسید، مسیری که ابتدا به سمت شمال شرق، سپس به تدریج به سمت شرق و در نهایت به سمت جنوب شرق جهت‌گیری می‌کند. دلیل وجود تفاوت در مسافت بین دو مسیر، انحنای زمین بوده که نشانه‌ای است از هندسه نااقلیدسی آن. شرکت‌های هواپیمایی با اطلاع از این موضوع تا آنجاکه ممکن است از مسیرهای دایره عظیمه استفاده می‌کنند.

برطبق قوانین حرکت نیوتون، اشیائی مثل گلوله توپ یا سیارات، در مسیر مستقیم حرکت می‌کنند، مگر این‌که تحت تاثیر نیرویی مثل گرانش قرار گیرند. اما گرانش در نظریه اینشتین، نیرویی مشابه نیروهای دیگر نیست، بلکه پیامد این حقیقت است که جرم، فضا-زمان را خمیده کرده و انحنای می‌دهد. در نظریه اینشتین، اشیاء بر روی کوتاه‌ترین مسیر حرکت بین دو نقطه، حرکت می‌کنند. تعبیری که نزدیک‌ترین مفهوم به خط مستقیم در یک فضای منحنی است. در یک صفحه تخت، نزدیک‌ترین مسیر، یک خط است. اما بر روی کره زمین دایره‌های عظیمه، نزدیک‌ترین مسیرها هستند.



اندازه کافی پیشرفته هست که به ما امکان ترتیب بسیاری آزمایش‌های حساس را در مورد نسبیت عام بدهد، البته این نظریه از همه آن‌ها سربلند بیرون آمده است.

اگرچه هر دو نظریه الکترومغناطیس مکسول و نسبیت عام اینشتین، انقلابی در فیزیک به پا کردند، با این حال هر دو مشابه فیزیک نیوتون، نظریه‌هایی کلاسیک هستند. یعنی مدل‌هایی هستند که در هر دو آن‌ها، جهان تنها یک تاریخ دارد. همان‌طور که در بخش قبل دیدیم، این مدل‌ها در سطوح اتمی و زیراتمی با مشاهدات مطابقت ندارند. در عوض باید از نظریه‌های کوانتومی استفاده کنیم که در آن‌ها جهان می‌تواند هر تاریخ احتمالی داشته باشد و هر کدام دارای شدت یا دامنه احتمال مربوط به خود هستند. در ارتباط با محاسبات عملی جهان روزمره، می‌توان مثل گذشته از نظریه‌های کلاسیک استفاده کرد، اما اگر هدف درک رفتار مولکول‌ها و اتم‌ها باشد، این‌بار نیاز به نسخه کوانتومی از نظریه الکترومغناطیس مکسول خواهد بود. به همین ترتیب اگر هدف درک جهان اولیه باشد، یعنی زمانی که تمام ماده و انرژی موجود در جهان در حجم کوچکی فشرده بوده‌اند، در این صورت باید از نسخه کوانتومی نسبیت عام بهره گرفت. به‌علاوه ما از این جهت به چنین نظریه‌هایی نیاز داریم که به دنبال درک اساسی از طبیعت هستیم و مناسب نیست اگر برخی از قوانین، کوانتومی و برخی دیگر کلاسیک باشند. بنابراین ناچار باید نسخه‌های کوانتومی تمام قوانین طبیعت را بیابیم. چنین نظریه‌هایی، نظریه‌های میدان کوانتومی<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند.

نیروهای شناخته شده طبیعت را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد:

۱. **گرایش.** که در بین دیگر نیروها از همه ضعیف‌تر است. اما از طرفی، گرایش نیرویی دوربرد است و همواره در طبیعت به صورت جاذبه عمل می‌کند. برای اجرام بزرگ، نیروی گرایش بزرگ است و می‌تواند تمام نیروهای دیگر را تحت الشعاع قرار دهد.

1. Quantum field theories

۲. **الکترومغناطیس.** این نیرو نیز دوربرد و بسیار قوی‌تر از گرایش است. نیروی الکترومغناطیسی تنها بر روی ذرات باردار عمل کرده و برای بارهای هم نام به صورت دافعه و برای بارهای غیرهم نام به صورت جاذبه است. به این ترتیب در اجرام بزرگ نیروهای الکتریکی یکدیگر را خنثی می‌کنند. اما در مقیاس اتمی و مولکولی، این نیرو غالب می‌شود. نیروهای الکترومغناطیسی عامل اصلی در سراسر علوم شیمی و زیست‌شناسی محسوب می‌شوند.

۳. **نیروی هسته‌ای ضعیف.** این نیرو عامل پرتوزایی بوده و نقش مهمی را در شکل‌گیری عناصر در ستارگان و جهان اولیه به عهده داشته و دارد. البته ما در زندگی روزمره با این نیرو مواجه نیستیم.

۴. **نیروی هسته‌ای قوی.** این نیرو عامل کنارهم قرارگرفتن پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته اتم است. به‌علاوه خود نوترون‌ها و پروتون‌ها نیز به دلیل وجود همین نیرو از هم نمی‌پاشند، زیرا آن‌ها نیز خود از ذرات کوچکتري به نام کوارک تشکیل شده‌اند که در بخش ۳ به آن‌ها اشاره کردیم. نیروی هسته‌ای قوی منبع انرژی خورشید و انرژی هسته‌ای است، اما مشابه نیروی هسته‌ای ضعیف، در زندگی روزمره با آن سر و کار نداریم.

اولین نیرویی که نسخه کوانتومی آن ساخته شد، نیروی الکترومغناطیسی بود. نظریه کوانتومی میدان الکترومغناطیسی که الکترودینامیک کوانتومی<sup>۱</sup>، نامیده می‌شود، در دهه ۱۹۴۰ از سوی ریچارد فاینمن و دیگران تهیه شد و به مدلی برای نظریه‌های میدان کوانتومی بدل گردید. همان‌طور که گفتیم، برطبق نظریه‌های کلاسیک، نیروها از طریق میدان منتقل می‌شوند. اما در تصویری که نظریه‌های میدان کوانتومی ارائه می‌کنند، میدان‌های نیرو از ذرات بنیادی مختلف به نام بوزون تشکیل شده‌اند. بوزون‌ها ذرات حامل نیرو هستند که بین ذرات مادی رفت و آمد کرده و به این ترتیب نیرو را

1. Quantum ElectroDynamic (QED)



در شکل صفحه ۹۸، برخی از روش‌های اعمال نیروی الکترومغناطیسی بین دو الکترون نشان داده شده است. در این شکل، خطوط صاف نشان‌دهنده الکترون‌ها و خطوط موج، نشان‌دهنده فوتون‌ها هستند. حرکت زمان از پایین به بالا بوده و مکان‌هایی که در آن‌ها خطوط با یکدیگر برخورد می‌کنند، لحظه‌ای است که الکترون یک فوتون را جذب یا گسیل می‌کند. در دیاگرام (A)، دو الکترون به یکدیگر نزدیک شده، فوتونی را مبادله کرده و سپس به راه خود ادامه می‌دهند. این ساده‌ترین روشی است که دو الکترون می‌توانند به صورت الکترومغناطیسی برهم‌کنش داشته باشند. اما فراموش نکنید که تمام تاریخچه‌های محتمل باید در نظر گرفته شوند. بنابراین باید دیاگرامی مثل (B) را نیز در نظر بگیریم. در این دیاگرام دو خط به هم نزدیک شده (الکترون‌ها به سمت هم می‌آیند) و سپس از هم دور می‌شوند (دفع می‌شوند). اما در این دیاگرام، الکترون‌ها قبل از این‌که از هم دور شوند، دو فوتون را بین خود مبادله می‌کنند. دیاگرام‌های به تصویر کشیده شده تنها بخش کوچکی از حالات محتمل هستند. درحقیقت تعداد بیشماری از دیاگرام‌ها وجود دارند که باید از نظر ریاضی مد نظر قرار بگیرند.

دیاگرام‌های فاینمن، نه تنها روش به تصویر کشیدن و دسته‌بندی نحوه برهم‌کنش ذرات، بلکه شامل قوانینی هستند که به ما امکان می‌دهند از رئوس و خطوط موجود در هر دیاگرام، یک تعبیر ریاضی استخراج کنیم. به این ترتیب می‌توان گفت احتمال این‌که الکترونی با اندازه حرکت اولیه، سرانجام با اندازه حرکت مشخصی دفع شود، از جمع سهم هریک از دیاگرام‌های فاینمن به دست می‌آید. از آنجا که دیدیم تعداد بیشماری از این دیاگرام‌ها وجود دارند، بنابراین انجام این کار زمان زیادی خواهد گرفت. به علاوه، با این‌که الکترون در ابتدا و انتهای فرآیند دارای اندازه حرکت و انرژی مشخصی است، ولی ذرات درون حلقه‌های بسته بخش داخلی دیاگرام، می‌توانند هر مقداری از انرژی و اندازه حرکت را داشته باشند. این بدان جهت اهمیت دارد که در تهیه مجموع فاینمن، نه تنها تمام دیاگرام‌ها، بلکه باید تمام مقادیر انرژی و اندازه حرکت را نیز جمع کرد.

منتقل می‌کنند. ذرات مادی، فرمیون نامیده می‌شوند. الکترون‌ها و کوارک‌ها مثال‌هایی از فرمیون هستند. فوتون، یا ذره نور، مثالی از یک بوزون است. بوزون نیروی الکترومغناطیسی را منتقل می‌کند. آنچه اتفاق می‌افتد این است که یک ذره مادی، مثل الکترون، یک بوزون یا ذره نیرو را منتشر کرده و عقب نشینی می‌کند، درست مثل یک توپخانه که پس از شلیک گلوله توپ، عقب می‌نشیند. سپس، ذره نیرو با ذره مادی دیگری برخورد کرده و جذب می‌شود. طی فرآیند جذب، نحوه حرکت آن ذره مادی تغییر می‌کند. برطبق نظریه الکترودینامیک کوانتومی، تمامی برهم‌کنش‌های بین ذرات باردار - ذراتی که تحت تاثیر نیروی الکترومغناطیسی قرار می‌گیرند - به صورت تبادل فوتون توصیف می‌شوند.

پیشگویی‌های الکترودینامیک کوانتومی مورد آزمایش واقع شده‌اند و مطابقت دقیقی با نتایج تجربی نشان می‌دهند. اما انجام محاسبات ریاضی مورد نیاز الکترودینامیک کوانتومی می‌تواند مشکل باشد. همان‌طور که در ادامه خواهیم دید، مشکل این است که اگر تمام تاریخچه‌های ممکن برای برهم‌کنش را به چارچوب فوق‌الذکر مبادله ذرات بیفزاییم - مثلاً تمام راه‌هایی که از طریق آن مبادله ذره می‌تواند صورت پذیرد - ریاضیات مسأله پیچیده می‌شود. خوشبختانه فاینمن، درکنار ابداع مفهوم تاریخچه‌های جایگزین به عنوان روش نگرش به نظریه‌های کوانتومی که در بخش قبل به آن پرداخته شد، یک روش گرافیکی مرتب و دقیق برای محاسبه تاریخچه‌های مختلف ارائه کرده است. روشی که امروزه نه فقط برای الکترودینامیک کوانتومی بلکه برای تمام نظریه‌های میدان کوانتومی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

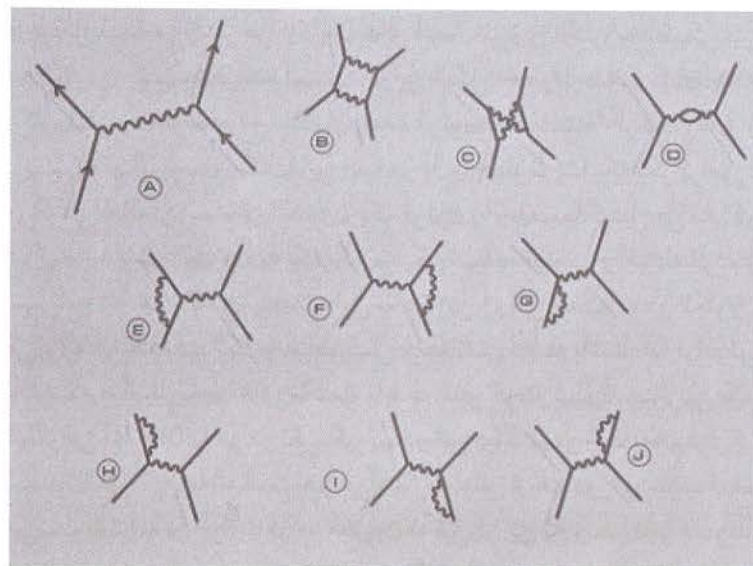
روش گرافیکی فاینمن، شیوه‌ای را برای به تصویر کشیدن هریک از جمله‌های مجموع تاریخچه‌ها فراهم می‌کند. این تصاویر که به دیاگرام‌های فاینمن معروفند، یکی از مهم‌ترین ابزارهای علم جدید به شمار می‌روند. در الکترودینامیک کوانتومی، مجموع تمام تاریخچه‌های محتمل را می‌توان مشابه شکل صفحه ۹۸ به صورت مجموع دیاگرام‌های فاینمن نشان داد.





دیاگرام‌های فاینمن. بدنه وَن معروف ریچارد فاینمن، مملو از دیاگرام‌هایش بوده است. تصویر فوق توسط هنرمندی طراحی شده تا دیاگرام‌های مذکور را نمایش دهد. اگرچه فاینمن در سال ۱۹۸۸ درگذشت، اما وَن او هنوز در انباری نزدیک کلتیک در کالیفرنیا جنوبی نگهداری می‌شود.

به این ترتیب که با محاسبات ریاضی دقیق، مجموع مقادیر نامتناهی منفی و مثبتی که در نظریه ایجاد می‌شوند، تقریباً یکدیگر را خنثی کرده و مقادیر ناچیز باقی مانده، همان مقادیر اندازه‌گیری شده بار و جرم خواهند بود. چنین دستکاری شبیه به همان کاری است که در امتحانات ریاضی، اغلب باعث از دست دادن نمره می‌شود و در حقیقت، همان‌طور که به نظر می‌رسد، روش بازبهنجارش از نظر ریاضی مشکوک است. با اعمال این روش مقدار حاصله برای بار و جرم الکترون می‌تواند هر عدد محدودی باشد. اما این مزیت هم وجود دارد که فیزیکدانان می‌توانند مقادیر نامتناهی منفی را به شیوه‌ای انتخاب کنند که پاسخ صحیح حاصل شود. اما این اشکال هم وجود دارد که بار و جرم الکترون را نمی‌توان از این نظریه نتیجه گرفت. با این حال، اگر جرم و بار الکترون را به این شیوه تثبیت کنیم، قادر خواهیم بود با اعمال الکترودینامیک کوانتومی، پیش‌گویی‌های دقیق بسیاری انجام دهیم که همگی به دقت با مشاهدات سازگارند. به عنوان مثال، یکی



دیاگرام‌های فاینمن. دیاگرام‌های فوق مربوط به حالتی هستند که در آن دو الکترون یکدیگر را دفع می‌کنند.

دیاگرام‌های فاینمن، کمک زیادی به فیزیکدانان کرد تا فرآیندهایی را که الکترودینامیک کوانتومی توصیف می‌کند به تصویر بکشند و احتمالات مربوط را حساب کنند. اما آن‌ها هنوز موفق نشده‌اند راه حل مشکل اساسی نظریه را پیدا کنند: وقتی سهم تعداد بیشمار از تاریخچه‌های مختلف را با هم جمع می‌کنیم، نتیجه عددی نامتناهی خواهد شد. (اگر مقدار جملات متوالی در یک حاصل جمع نامحدود، به اندازه کافی سریع کاهش پیدا کنند، این امکان وجود دارد که حاصل متناهی گردد، اما متأسفانه در این حالت این اتفاق نمی‌افتد.) به‌طور خاص، زمانی که دیاگرام‌های فاینمن را با یکدیگر جمع می‌کنیم، به نظر می‌رسد پاسخ به دست آمده دلالت بر مقدار بار و جرم بی‌نهایت دارد. این بی‌معنی است، زیرا می‌توان بار و جرم الکترون را اندازه‌گیری کرد و مشاهده می‌شود که هر دو، دارای مقادیر متناهی هستند. برای خلاصی از این مقادیر نامتناهی، روشی به نام بازبهنجارش ابداع شد.



نوترون و بسیاری از ذرات بنیادی مادی دیگر از کوارک تشکیل شده‌اند. کوارک دارای ویژگی قابل توجهی است که فیزیکدانان به آن رنگ می‌گویند (و از اینرو کلمه «کرومودینامیک» را انتخاب کرده‌اند. رنگ کوارک‌ها، تنها اسامی سودمند هستند و هیچ ارتباطی با رنگ‌های قابل رؤیت ندارند). کوارک‌ها در سه رنگ قرمز، سبز و آبی وجود دارند. به علاوه، هر کوارک دارای یک زوج ضد ماده است (ضد-قرمز، ضد-سبز و ضد-آبی). ایده این است که فقط ترکیبات بدون رنگ خالص می‌توانند به صورت ذره آزاد وجود داشته باشند. دو روش برای دستیابی به این گونه ترکیبات خنثی از کوارک‌ها وجود دارد. از آنجاکه رنگ و ضد-رنگ یکدیگر را خنثی می‌کنند، بنابراین یک کوارک و ضد-کوارک نیز قادرند زوج بی‌رنگی را شکل دهند. این ذره بی‌رنگ، ذره ناپایداری است به نام مزون<sup>۱</sup>. به علاوه، زمانی که هر سه رنگ (یا هر سه ضد-رنگ) با هم ترکیب می‌شوند، حاصل رنگ خالصی نخواهد داشت. سه کوارک، با رنگ‌های مختلف، ذرات پایداری به نام باریون<sup>۲</sup> می‌سازند. پروتون و نوترون مثالی از باریون هستند (همین‌طور سه ضد-کوارک، ضد ذرات باریون‌ها را می‌سازند). پروتون‌ها و نوترون‌ها، باریون‌هایی هستند که هسته اتم را می‌سازند و به این ترتیب اساس تمام مواد عادی جهان محسوب می‌شوند. کرومودینامیک کوانتومی، همچنین دارای یک ویژگی به نام آزادی مجانبی<sup>۳</sup> است که قبلاً، بدون ذکر نام، در بخش ۳ به آن اشاره کردیم. آزادی مجانبی بیان می‌کند، نیروی هسته‌ای قوی بین کوارک‌ها، هنگامی که به یکدیگر نزدیکند، کوچک است، اما با دور شدن آن‌ها از یکدیگر افزایش می‌یابد، گویی به وسیله باند لاستیکی به هم وصل شده‌اند. آزادی مجانبی توضیح می‌دهد، چرا در طبیعت کوارک‌های منفرد یافت نشده و در آزمایشگاه نیز نمی‌توان آن‌ها را تولید کرد. با این حال، اگرچه کوارک منفرد را نمی‌بینیم، اما این مدل را می‌پذیریم. زیرا در توصیف رفتار پروتون‌ها، نوترون‌ها و دیگر ذرات مادی به خوبی عمل می‌کند.

از اولین پیروزی‌های الکتروودینامیک کوانتومی، پیش‌گویی صحیح پدیده‌ای به نام جابه جایی لمب<sup>۱</sup> است؛ تغییر کوچکی در انرژی یکی از ترازهای اتم هیدروژن که در سال ۱۹۴۷ کشف شد. به این ترتیب می‌توان گفت بازبهنجارش، یکی از ضروریات الکتروودینامیک کوانتومی است.

موفقیت بازبهنجارش در الکتروودینامیک کوانتومی، انگیزه‌ای برانگیخت تا برای یافتن نظریه‌های میدان کوانتومی مربوط به سه نیروی دیگر طبیعت تلاش شود. اما احتمالاً دسته‌بندی چهارگانه نیروهای طبیعت، ساختگی و حاصل ضعف آگاهی ماست. بنابراین مردم به دنبال یک نظریه برای همه چیز هستند که هر چهار دسته نیرو را در یک قانون واحد سازگار با نظریه کوانتوم، یکپارچه کند. این جام مقدس فیزیک است.

نظریه نیروی هسته‌ای ضعیف، نشان می‌دهد که رویکرد یکپارچه‌سازی، رویکرد صحیحی است. نظریه میدان کوانتومی توصیف کننده نیروی ضعیف را نمی‌توان بازبهنجار نمود. این نظریه در خود دارای مقادیر نامتناهی است که نمی‌توان از طریق کسر مقادیر متناهی کمیت‌هایی مثل جرم و بار، آن‌ها را حذف نمود. با این حال، در سال ۱۹۶۷، عبدالسلام و استیون واینبرگ، هرکدام به‌طور مستقل، نظریه‌ای ارائه کردند که در آن الکترومغناطیس با نیروی ضعیف، یکپارچه می‌شود. به این ترتیب، این دو دریافتند که یکپارچه‌سازی، راه حل معضل مقادیر نامتناهی است. این نیروی یکپارچه شده، الکتروضعیف (Electroweak) نامیده می‌شود و قابلیت بازبهنجارش دارد. به علاوه این نظریه همچنین وجود سه ذره جدید به نام‌های  $Z^0$  و  $W^+$ ،  $W^-$  را پیش‌گویی کرد. شواهد دال بر وجود  $Z^0$  در سال ۱۹۷۳، در مرکز سرن در ژنو یافت شد. در سال ۱۹۷۹، عبدالسلام و واینبرگ، مشترکاً برنده جایزه نوبل شدند، گرچه تا سال ۱۹۸۳، ذرات  $Z$  و  $W$  مستقیماً مشاهده نشدند.

نیروی هسته‌ای قوی، در نظریه‌ای به نام QCD<sup>۲</sup> یا کرومودینامیک کوانتومی، بازبهنجار می‌شود. بر طبق کرومودینامیک کوانتومی، پروتون،

۱. Lamb shift (۱۹۲۳-۱۹۰۸) برگرفته از نام ویلیس لمب.

۲. Quantum Chromodynamics

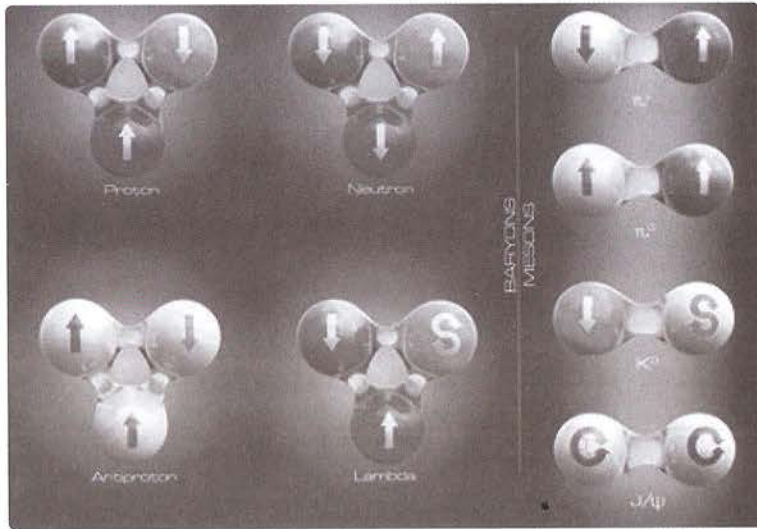
1. Meson

2. Baryon

3. Asymptotic freedom



صورت کاملاً مجزا عمل کرده و در حقیقت به‌طور کامل یکپارچه نشده‌اند. مدل استاندارد بسیار موفق و با تمام مشاهدات سازگار است. اما این مدل نیز در نهایت چندان رضایت‌بخش نیست. زیرا صرف‌نظر از این‌که نیروهای قوی و الکتروضعیف را متحد نمی‌سازد، گرانش را نیز شامل نمی‌شود.



باریون‌ها و مزون‌ها. گفته می‌شود باریون‌ها و مزون‌ها از کوارک‌هایی تشکیل شده‌اند که به وسیله نیروی هسته‌ای قوی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. زمانی که این ذرات با یکدیگر برخورد می‌کنند، می‌توانند کوارک مبادله کنند، ولی کوارک‌های منفرد را نمی‌توان مشاهده کرد.

ممکن است قراردادادن نیروی قوی در کنار نیروهای ضعیف و الکترومغناطیس دشوار باشد، اما این مشکل در مقایسه با مشکل ادغام گرانش با سه نیروی دیگر و یا حتی ایجاد یک نظریه کوانتومی مستقل برای گرانش، چیزی نیست. دلیل این امر که ساخت یک نظریه کوانتومی برای گرانش تا این حد مشکل است، به اصل عدم قطعیت هایزنبرگ که در بخش ۴ به آن پرداختیم، باز می‌گردد. بدیهی نیست، اما به‌نظر می‌رسد

فیزیکدانان در دهه ۱۹۷۰، پس از یکپارچه ساختن نیروی الکترومغناطیسی و نیروی هسته‌ای ضعیف، به دنبال راهی بودند تا نیروی هسته‌ای قوی را نیز در این نظریه بگنجانند. تعداد متعددی از نظریه‌های بزرگ یکپارچگی یا GUT وجود دارند که نیروی هسته‌ای قوی را با نیروهای ضعیف و الکترومغناطیسی یکپارچه می‌سازند. اما بر طبق پیش‌بینی اغلب این نظریه‌ها، پروتون‌ها، یعنی موادی که ما از آن‌ها ساخته شده‌ایم، باید به‌طور میانگین پس از حدود  $10^{32}$  سال از بین بروند که در مقایسه با عمر جهان (تنها در حدود  $10^{10}$  سال)، زمانی طولانی است. اما در فیزیک کوانتوم، وقتی می‌گوییم میانگین عمر یک ذره  $10^{32}$  سال است، منظور این نیست که اغلب ذرات در حدود  $10^{32}$  سال و قدری بیشتر یا کم‌تر عمر می‌کنند، بلکه در یک سال احتمال واپاشی یک ذره برابر با ۱ به  $10^{32}$  است. در نتیجه، اگر مخزنی حاوی  $10^{32}$  پروتون را تنها برای چند سال زیر نظر بگیرید، خواهید دید برخی از پروتون‌ها واپاشی می‌کنند. ساخت چنین مخزنی کار دشواری نیست، زیرا تنها چند هزار لیتر آب  $10^{32}$  پروتون دارد. دانشمندان چنین آزمایشی را ترتیب داده‌اند. آن‌ها دریافته‌اند که شناسایی رویداد واپاشی پروتون و به‌علاوه تشخیص آن از رویدادهای دیگری که از طریق پرتوهای کیهانی ایجاد می‌شوند، اصلاً کار آسانی نیست. به منظور کاهش میزان اثرات پدیده‌های دیگر، آزمایش‌های در مکان‌های عمیق انجام می‌گیرد مثل معدن شرکت استخراج و ذوب کامیوکای ژاپن که در عمق ۱ کیلومتری زیر زمین قرار دارد. تجهیزات در این عمق، به نوعی در مقابل پرتوهای کیهانی محافظت شده‌اند. محققین از مشاهدات انجام گرفته در سال ۲۰۰۹، نتیجه گرفتند که عمر پروتون‌ها، بیش‌تر از  $10^{32}$  سال است، خبری که برای نظریه‌های بزرگ یکپارچگی خوشایند نبود.

از آنجا که شواهد تجربی پیشین نتوانستند نظریه‌های بزرگ یکپارچگی را تایید کنند، اغلب فیزیکدانان نظریه‌ای ویژه به نام مدل استاندارد را ارائه کردند. این نظریه، نیروی الکتروضعیف و کرومودینامیک کوانتومی را شامل می‌شود. اما در مدل استاندارد، نیروهای الکتروضعیف و نیروهای قوی به



با توجه به این اصل، مقدار میدان و سرعت تغییر آن، درست مثل سرعت و موقعیت یک ذره عمل می‌کنند. یعنی، هرچه هریک از این دو را با دقت بیش‌تری تعیین کنیم، دقت در تعیین میزان دیگری کاهش می‌یابد. پیامد مهم این امر آن است که چیزی به نام فضای خالی وجود ندارد. زیرا فضای خالی یعنی جایی که در آن، مقدار و سرعت تغییر یک میدان، هردو دقیقاً صفر باشند. (اگر سرعت تغییرات میدان صفر نباشد، فضا خالی نمی‌ماند.) از آنجا که برطبق اصل عدم قطعیت امکان ندارد تغییرات میدان و سرعت هردو دقیقاً مشخص باشند، بنابراین فضا، هرگز خالی نخواهد بود. در عوض فضا می‌تواند حالتی از انرژی مینیمم به نام انرژی خلاء داشته باشد. اما این حالت انرژی مینیمم در معرض آنچه ناپایداری‌های کوانتومی یا افت و خیزهای خلاء نامیده می‌شوند، قرار دارد — ذرات و میدان‌هایی می‌آیند و از بین می‌روند.

افت و خیزهای خلاء را می‌توان به صورت جفت ذراتی در نظر گرفت که گاهی اوقات با هم ظاهر شده و از هم جدا می‌شوند، سپس به سمت هم آمده و یکدیگر را از بین می‌برند. در دیاگرام‌های فاینمن، این تغییرات به صورت حلقه‌های بسته نمایش داده می‌شوند. به این ذرات، ذرات مجازی می‌گویند. برخلاف ذرات حقیقی، ذرات مجازی را نمی‌توان به وسیله یک آشکارساز ذره مستقیماً مشاهده کرد. اما اثر غیرمستقیم آن‌ها، مثل تغییرات کوچک در انرژی مدارهای الکترون، قابل اندازه‌گیری و با دقت قابل توجهی با پیش‌گویی‌های نظری سازگار است. مشکل اینجاست که ذرات مجازی دارای انرژی هستند و از آنجا که تعداد ذرات مجازی موجود نامتناهی است، مقدار مجموع انرژی آن‌ها نیز نامتناهی خواهد بود. یعنی برطبق نسبیت عام، این ذرات باید جهان را تا اندازه بی‌نهایت کوچکی خمیده کنند و بدیهی است که چنین اتفاقی نمی‌افتد!



«دور نوشته‌ها کادر بکش، می‌ترسم با این شکل، نظریه یکپارچه نباشد.»

مشکل وجود مقادیر نامتناهی، مشابه مشکلی است که در نظریه‌های نیروهای قوی، ضعیف و الکترومغناطیسی رخ می‌دهد، به جز در مواردی که فرآیند بازبهنجارش، بی‌نهایت‌ها را از بین می‌برد. اما حلقه‌های بسته در دیاگرام‌های مربوط به گرانش فاینمن، مقادیر نامتناهی ایجاد می‌کنند که نمی‌توان آن‌ها را از طریق بازبهنجارش حذف کرد. زیرا در نسبیت عام، به اندازه کافی پارامترهای قابل بازبهنجارش (مثل مقادیر جرم و بار) وجود ندارند تا بتوان تمام بی‌نهایت‌های کوانتومی را از نظریه حذف کرد. بنابراین آنچه باقی می‌ماند نظریه‌ای برای گرانش است که برای مقادیر مشخصی مثل انحنای فضا-زمان، اعداد نامحدودی پیش‌بینی می‌کند. به این ترتیب هیچ راهی برای وجود جهان قابل سکونت باقی نمی‌ماند! به این ترتیب نتیجه می‌گیریم تنها احتمال دستیابی به نظریه‌ای معقول زمانی رخ می‌دهد که تمام



زوج می‌دهند یا نه. چنین ذرات همزادی هنوز مشاهده نشده‌اند. اما محاسبات متعددی که فیزیکدانان انجام داده‌اند نشان می‌دهد، جرم ذرات همزاد متناظر با ذراتی که ما مشاهده می‌کنیم، باید هزاران برابر جرم یک پروتون یا حتی بیش‌تر باشد. چنین جرم سنگینی تا به امروز حتماً باید مشاهده می‌شد، ولی امید می‌رود این ذرات سرانجام در برخورددهنده بزرگ هادرون در ژنو ایجاد شوند.

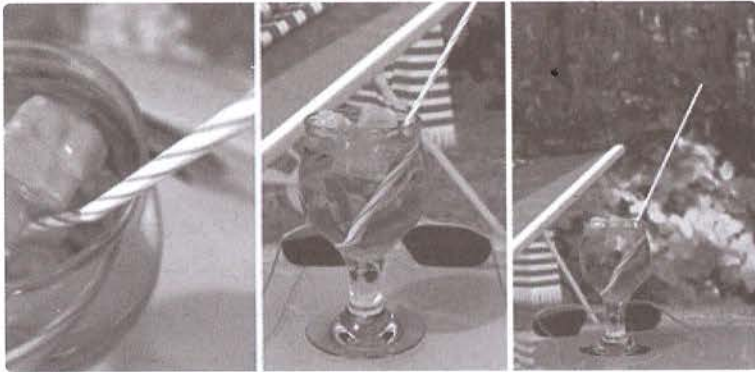
ایده اَبَرْتقارن، کلید دستیابی به اَبَرگرانش محسوب می‌شود و مفهوم آن در واقع سال‌ها قبل، هنگامی که نظریه‌پردازان در حوزه جدیدی به نام نظریه ریسمان‌ها مطالعه می‌کردند شکل گرفت. برطبق نظریه ریسمان‌ها، ذرات نقطه‌ای نیستند، بلکه الگوهای از ارتعاش هستند و مشابه ریسمان‌های نازک، تنها دارای طول بوده و عرض و ارتفاع ندارند. نظریه‌های مختلف ریسمان‌ها نیز با مشکل مقادیر نامتناهی مواجه شده‌اند، اما عقیده بر این است که در نسخه صحیحی از این نظریه، تمام این مقادیر حذف خواهند شد. این نظریه‌ها ویژگی نامتعارف دیگری نیز دارند: این‌که تنها در صورت ده بُعدی بودن فضا-زمان پایدارند. وجود ده بُعد ممکن است هیجان‌انگیز به نظر آید، اما اگر فراموش کنید ماشین خود را کجا پارک کرده‌اید، دچار دردسر بزرگی می‌شوید! اما اگر این ده بُعد واقعاً وجود دارند، چرا نمی‌توانیم آن‌ها را مشاهده کنیم. برطبق نظریه ریسمان‌ها، ابعاد اضافی درون فضایی بسیار کوچک حلقه شده‌اند. برای تصور این مسأله صفحه‌ای دو بُعدی در نظر بگیرید. به این فضا دو بُعدی می‌گوییم زیرا برای نشان دادن مکان هر نقطه بر روی آن نیاز به دانستن دو عدد (به عنوان مثال محورهای عمودی و افقی) داریم. مثالی دیگر از یک فضای دو بُعدی، سطح یک نی است. برای مشخص کردن یک نقطه در آن فضا، باید بدانید آن نقطه در کجای طول نی و همچنین در کجای سطح دوار آن قرار دارد. اما اگر نی خیلی باریک باشد، تنها با دانستن مختصات نقطه در طول نی می‌توان با دقت خوبی مکان آن را تعیین کرد. بنابراین اگر قطر این نی، در حدود یک میلیون میلیون میلیون سانتی‌متر باشد، اصلاً متوجه ابعاد دایره‌ای

مقادیر نامتناهی، بدون توسل به بازبهنجارش، به گونه‌ای حذف شوند. در سال ۱۹۷۶، برای رفع این مشکل، راه حلی به نام اَبَرگرانش مطرح شد. دلیل افزودن پیشوند «اَبَر» این نبود که فیزیکدانان دستیابی به این نظریه کوانتومی گرانش را به دلیل عملکرد موفق، نوعی برتری می‌دانستند. بلکه، «اَبَر» به نوعی تقارن موجود در نظریه، به نام اَبَر تقارن اشاره دارد. در فیزیک، زمانی گفته می‌شود یک سیستم متقارن است که ویژگی‌های آن، در نتیجه برخی تبدیلات مثل چرخش در فضا و یا تصویر آئینه‌ای، بدون تغییر باقی بمانند. به عنوان مثال، اگر یک پیراشکی را بچرخانیم، به همان شکل اول دیده می‌شود (مگر این‌که دارای روکش شکلاتی باشد، که در این صورت بهتر است آن را نوش جان کنید!). اَبَر تقارن نوع دقیق‌تری از تقارن است که نمی‌توان آن را با تبدیل معمولی فضا، معادل دانست. یکی از تعابیر مهم اَبَر تقارن این است که، ذرات نیرو و ماده و در نتیجه خود نیرو و ماده، در حقیقت تنها دو شکل مختلف از یک چیز هستند. این امر بدان معناست که هر ذره از ماده، مثلاً کوارک، دارای یک همزاد، به صورت ذره‌ای از نیروست. همین‌طور هر ذره‌ی نیرو، مثل فوتون، دارای همزادی به صورت ذره‌ی مادی است. این مفهوم می‌تواند مشکل مقادیر نامتناهی را حل کند. زیرا به نظر می‌رسد مقادیر نامتناهی مربوط به حلقه‌های بسته ذرات نیرو، عددی مثبت بوده، درحالی‌که مقادیر مربوط به ذرات مادی، منفی هستند. به این ترتیب مقادیر نامتناهی مربوط به ذرات نیرو به وسیله همزادهای آن‌ها، یا همان ذرات مادی، خنثی می‌شوند. متأسفانه محاسبات مورد نیاز برای تعیین مقادیر احتمالی نامتناهی خنثی نشده در اَبَرگرانش، چنان طولانی و مشکل هستند و امکان به وجود آمدن خطا در آن‌ها چنان زیاد بود که هیچ فیزیکدانی آن را انجام نداد. با این حال اغلب فیزیکدانان عقیده داشتند احتمالاً اَبَرگرانش پاسخ صحیح مشکل یکپارچه سازی گرانش با دیگر نیروها است.

ممکن است تصور کنید تعیین صحت اَبَر تقارن کار آسانی باشد. تنها کافی است ویژگی‌های ذرات موجود را بررسی کرده و ببینیم آیا تشکیل



موقعیت‌های مختلف به خدمت گرفت. هر نظریه می‌تواند حکایت خود را از واقعیت فیزیکی داشته باشد، ولی مطابق واقع‌گرایی وابسته به مدل، این مسأله در صورتی قابل قبول است که در محدوده‌های مشترک — جایی که هر دو نظریه صدق می‌کنند — پیش‌گویی نظریه‌ها با هم سازگار باشند. ما به برخی از ویژگی‌های نظریه  $M$  خواه به صورت یک صورت‌بندی منفرد، خواه به صورت یک شبکه از نظریه‌ها، آگاهیم. اولین ویژگی این است که نظریه  $M$  دارای یازده بُعد فضا-زمان است، نه ده بُعد. نظریه پردازان ریسمانی مدت‌ها در شک بودند که آیا پیش‌گویی ده بُعد باید به نوعی اصلاح شود یا نه، ولی کارهای اخیر نشان دادند که آن یک بُعد واقعاً از قلم افتاده بوده است. به علاوه، نظریه  $M$  می‌تواند علاوه بر ریسمان‌های مرتعش شامل ذرات نقطه‌ای، پوسته‌های دو بعدی، حباب‌های سه بعدی و اشیاء دیگری باشد که به تصویر کشیدن‌شان مشکل است و می‌توانند تا ۹ بعد داشته باشند. به این اشیاء  $p$ -brane گفته می‌شود. ( $P$  می‌تواند مقداری از صفر تا ۹ داشته باشد).



نی و خط. سطح نی دو بُعدی است. اما اگر قطر آن به اندازه کافی کوچک باشد و یا اگر از فاصله دور دیده شود، به نظر می‌رسد مثل یک خط دارای تنها یک بعد است.

آن نمی‌شود. این تصویری است که نظریه پردازان ریسمانی از ابعاد دیگر ارائه می‌کنند. در حقیقت این ابعاد دیگر، چنان در اندازه کوچکی خمیده و یا حلقه شده‌اند که ما قادر به مشاهده آن‌ها نیستیم. در نظریه ریسمان‌ها، ابعاد اضافی برخلاف سه بُعد معمول که در زندگی می‌بینیم، داخل آنچه که فضای درونی نامیده می‌شود، حلقه شده‌اند. همان‌طور که خواهیم دید این حالات درونی تنها ابعادی مخفی نیستند که زیر فرش پنهان شده باشند، بلکه آن‌ها معنای فیزیکی مهمی دارند.

علاوه بر مسأله ابعاد، نظریه ریسمان‌ها از مشکل دیگری نیز رنج می‌برد: به نظر می‌رسد حداقل پنج نظریه مختلف و میلیون‌ها روش وجود دارند که به کمک آن‌ها می‌توان ابعاد اضافی را حلقه کرد. این امر برای کسانی که عقیده داشتند نظریه ریسمان‌ها نظریه منحصربه فردی برای همه چیز است، شرم آور محسوب می‌شد. سپس در حدود سال ۱۹۹۴، دوگانی‌ها یافت شدند، این که نظریه‌های مختلف ریسمان‌ها و روش‌های مختلف حلقه شدن ابعاد بالاتر، همگی راه‌های مختلف برای توصیف یک پدیده واحد در چهار بعد هستند. به علاوه آن‌ها دریافتند که ابرگرانش نیز به همین شیوه به دیگر نظریه‌ها ارتباط پیدا می‌کند. نظریه پردازان ریسمانی هم‌اکنون متقاعد شده‌اند که پنج نظریه ریسمانی مختلف به همراه ابرگرانش که هر کدام در شرایط متفاوتی معتبرند، تنها تخمین‌های گوناگونی از یک نظریه بنیادی‌تر هستند.

نظریه بنیادی‌تر، همان‌طور که پیش‌تر گفتیم، نظریه  $M$  نام دارد. به نظر می‌رسد کسی نمی‌داند  $M$  به چه معناست، ولی ممکن است سرنام کلمات Master (به معنای اصلی)، Miracle (معجزه) و یا Mystery (رمز و راز) باشد. شاید هم هر سه معنا در آن نهفته باشد. با این که انسان‌ها هنوز در تلاشند تا به طبیعت نظریه  $M$  دست یابند، اما ممکن است این کار امکان‌پذیر نباشد. شاید انتظارات متداول فیزیکدانان از یک نظریه مستقل برای طبیعت، قابل دفاع نبوده و هیچ صورت‌بندی یگانه‌ای از قوانین طبیعت وجود نداشته باشد. شاید برای توصیف جهان باید نظریات متفاوتی را در



اما در مورد روش‌های متعددی که برای حلقه کردن ابعاد اضافی وجود دارد چه می‌توان گفت؟ در نظریه  $M$ ، ابعاد اضافی فضا را نمی‌توان به هر شیوه‌ای حلقه کرد. ریاضیات نظریه شیوه حلقه کردن ابعاد اضافی را محدود می‌کند. شکل دقیق فضای درونی هم ثابت‌های فیزیکی، مثل بار الکتریک و هم طبیعت برهم‌کنش ذرات بنیادی را تعیین می‌کند. به بیان دیگر، نحوه حلقه شدن ابعاد فضای درونی، قوانین ظاهری طبیعت را تعیین می‌کند. استفاده از کلمه ظاهری به این جهت است که منظور ما قوانینی است که در جهان مشاهده می‌کنیم — قوانین مربوط به چهار نیرو و پارامترهایی مثل جرم و بار که مشخصات ذرات بنیادی را تعیین می‌کنند. اما قوانین بنیادی‌تر آن‌هایی هستند که به نظریه  $M$  مربوط می‌شوند.

طبق قوانین نظریه  $M$ ، بسته به نحوه حلقه شدن فضای درونی، امکان وجود جهان‌های متفاوت با قوانین ظاهری مختلف وجود دارد. نظریه  $M$  پاسخ‌هایی دارد که فضاهای درونی بی‌شماری را امکان‌پذیر می‌سازد، شاید به تعداد  $10^{500}$  که معنای آن امکان وجود  $10^{500}$  جهان مختلف، هر کدام با قوانین مخصوص به خود است. برای درک بهتر از بزرگی این عدد فرض کنید که اگر موجودی بتواند قوانین پیشگویی شده برای هریک از این جهان‌ها را تنها در یک میلی ثانیه تحلیل کند، از زمان انفجار بزرگ تا این لحظه، تنها  $10^{500}$  تا از آن‌ها را بررسی کرده است، البته بدون احتساب زمان استراحت.

قرن‌ها پیش نیوتون نشان داد که معادلات ریاضی می‌توانند تعریف دقیق و شگفت‌انگیزی را از نحوه برهم‌کنش اشیاء ارائه دهند، هم بر روی زمین و هم در آسمان‌ها. دانشمندان به این باور رسیدند که تنها با دانستن نظریه درست و قدرت محاسبه کافی، می‌توان آینده جهان را تعیین کرد. سپس عدم قطعیت کوانتومی، فضای خمیده، کوارک‌ها، ریسمان‌ها و ابعاد اضافی مطرح شدند و حاصل کار  $10^{500}$  جهان است، جهان‌هایی که هر کدام قوانین خود را دارند و ما تنها یکی از آن‌ها را می‌شناسیم. شاید امید اصلی فیزیکدانان برای ایجاد یک نظریه واحد که توصیف‌کننده قوانین

ظاهری جهان ما بوده و پیامد منحصر به فرد تعداد اندکی فرض ساده باشد، باید فراموش شود. شاید سؤال این است که ما کی نو می‌شویم؟ اگر نظریه  $M$  امکان وجود  $10^{500}$  مجموعه از قوانین ظاهری را فراهم می‌آورد، عاقبت کار ما در این جهان چگونه خواهد بود؟ و سرانجام، در مورد دیگر جهان‌های محتمل چه می‌توان گفت؟



## جهان مان را انتخاب کنیم

مردم بوشونگو<sup>۱</sup> در آفریقای مرکزی عقیده داشتند در ابتدا، فقط تاریکی، آب و خداوند بزرگ بومبا<sup>۲</sup> وجود داشتند. تا این که یکروز بومبا، پس از احساس درد شدید در شکم، خورشید را بالا آورد. با گذشت زمان، خورشید مقداری از آب را خشک کرد و زمین پدیدار شد. اما بومبا هنوز هم درد داشت و بازهم بالا آورد. به این ترتیب ماه، ستارگان و برخی حیوانات بیرون آمدند: گربه وحشی، تمساح، لاک پشت و در آخر انسان. مایاهای مکزیک و آمریکای مرکزی، به طور مشابه می گویند زمانی در گذشته، تنها دریا، آسمان و آفریننده وجود داشته اند. در افسانه مایاها، آفریننده ناراحت از این که در آن زمان کسی وجود نداشته تا او را پرستش کند، زمین، کوه ها، درختان و بسیاری از حیوانات را آفریده است. اما حیوانات قادر به صحبت نبودند و بنابراین او تصمیم می گیرد انسان را بیافریند. در ابتدا او انسان را از گل و خاک آفرید، اما آن ها فقط حرف های بی معنی می زدند. او انسان را تجزیه کرده و مجدداً امتحان کرد. این بار انسان را از چوب ساخت. ولی در این حالت نیز آن ها خسته کننده و کسالت آور بودند. آفریننده تصمیم گرفت دوباره آن ها را خراب کند، ولی انسان ها به درون جنگل فرار کردند و در این مسیر آسیب دیده و کمی تغییر یافتند و ما الان به آن ها میمون می گوییم. پس از این ناکامی، آفریننده به فرمولی دست یافت که به کمک آن اولین انسان ها را از دانه های سفید و زرد ذرت ساخت.

در تمام چنین افسانه هایی تلاش شده است تا به سوآلی که ما در این کتاب مطرح می کنیم پاسخ داده شود: چرا جهان وجود داشته و چرا

ترتیب او نتیجه گرفت جهان در حال انبساط است. اگر این امر حقیقت می‌داشت، بنابراین جهان باید در گذشته کوچک‌تر از این بوده باشد. در حقیقت، زمانی در گذشته دور، تمام انرژی و ماده موجود در جهان باید در مکانی بسیار کوچک با چگالی و دمایی غیرقابل باور متمرکز بوده و اگر به اندازه کافی به عقب بازگردیم به زمانی خواهیم رسید که نقطه آغاز جهان است — رویدادی که آن را انفجار بزرگ می‌نامیم.

جهان در حال انبساط، ایده دقیقی است. مثلاً، منظور این نیست که جهان به همان شیوه‌ای در حال انبساط است که مثلاً فردی خانه خود را بزرگ‌تر می‌کند، با تخریب یکی از دیوارها و افزودن سرویس بهداشتی جدید در جایی که قبلاً درخت بلوط باشکوهی قرار داشته است. بلکه فضا، خود کشیده و باز می‌شود، این فاصله بین هر دو نقطه در جهان است که رشد می‌کند. این ایده، که در میانه دهه ۱۹۳۰ مطرح شد، بحث‌های بسیاری را برانگیخت. اما یکی از بهترین راه‌ها برای به تصویر کشیدن آن تشبیهی است که در سال ۱۹۳۱ به وسیله ستاره‌شناس دانشگاه کمبریج، آرتور ادینگتون، مطرح شد. ادینگتون جهان را به شکل سطح یک بادکنک تصور کرد که در حال باد شدن است. تمام کهکشان‌ها به صورت نقطه‌هایی بر روی سطح آن قرار دارند. این تصویر به خوبی نشان می‌دهد چرا کهکشان‌های دورتر سریع‌تر از آن‌هایی که به ما نزدیکند، از ما فاصله می‌گیرند. به عنوان مثال، اگر قطر بادکنک در هر ساعت دو برابر شود، در این صورت فاصله بین هر دو کهکشان نیز در هر ساعت دو برابر خواهد شد. اگر در یک زمان مشخص، دو کهکشان در فاصله یک سانتی‌متری از هم قرار داشته باشند، یک ساعت بعد فاصله آن‌ها از هم دو سانتی‌متر خواهد بود و به نظر می‌رسد آن دو نسبت به یکدیگر با سرعت ۱ سانتی‌متر در ساعت در حرکت هستند. اما اگر آن‌ها در ابتدا ۲ سانتی‌متر با یکدیگر فاصله داشته باشند، یک ساعت بعد آن‌ها ۴ سانتی‌متر از یکدیگر فاصله دارند و به نظر می‌رسد با سرعت ۲ سانتی‌متر در ساعت در حال دور شدن از هم هستند. این همان چیزی است که هابل متوجه شد: هر چه یک کهکشان دورتر باشد، با سرعت بیش‌تری از ما فاصله می‌گیرد.

این گونه است؟ در طول قرن‌ها، از زمان یونانیان باستان تا کنون، توانایی ما در پاسخ به چنین سوالاتی روز به روز افزایش یافته است و به جرات می‌توان گفت بخش اعظم آن در قرن گذشته به وقوع پیوسته است. با پیش زمینه‌ای که از بخش‌های قبلی داریم هم‌اکنون می‌توانیم پاسخ احتمالی را برای این پرسش‌ها ارائه کنیم.

فرقی نمی‌کند که جهان به تازگی خلق شده باشد یا نه، در هر صورت آنچه احتمالاً از همان ابتدا مسلم بوده است، این است که انسان‌ها تنها در بخش بسیار کوچکی از تاریخ کیهان زیسته‌اند. در حمایت از این ایده می‌توان گفت نژاد انسان چنان سریع در علم و فناوری پیشرفت کرده که اگر انسان‌ها میلیون‌ها سال بر روی زمین می‌بودند، هم‌اکنون نژاد انسان در حکمرانی خود بسیار جلوتر از این می‌بود.

مطابق تورات، خداوند آدم و حوا را در طول شش روز آفرینش خلق کرده است. اسقف آشِر، کشیش ارشد ایرلند (۱۶۲۵ تا ۱۶۵۶)، آغاز جهان را حتی تا به این حد دقیق تعیین کرده است: در ساعت نه صبح بیست و هفتم اکتبر ۴۰۰۴ سال پیش از میلاد مسیح. ولی ما منظر متفاوتی را بر می‌گزینیم: این که انسان‌ها به تازگی خلق شده‌اند، در حالیکه خود جهان در زمانی بسیار قبل‌تر آغاز شده است، یعنی حدود ۱۳/۷ میلیارد سال پیش.

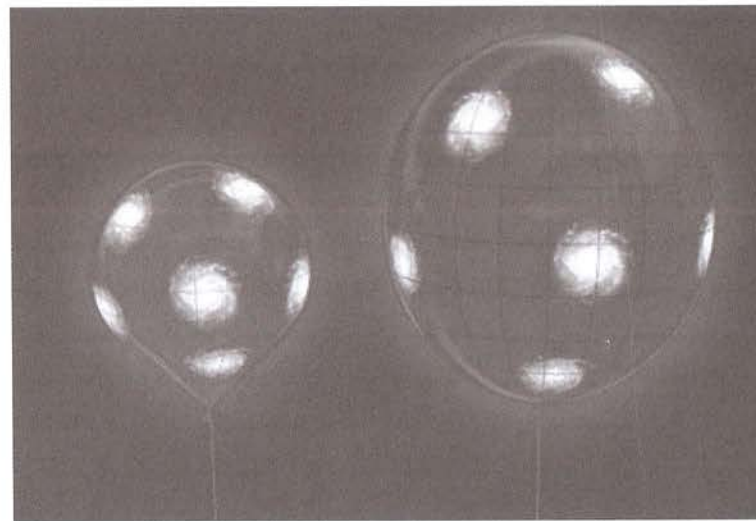
اولین گواه علمی بر این که جهان دارای یک نقطه آغاز است، در دهه ۱۹۲۰ پدیدار شد. همان‌طور که در بخش ۳ گفتیم، زمانی اغلب دانشمندان به جهانی ایستا معتقد بودند که همواره وجود داشته است. شواهد مخالف با این ایده، که بر اساس مشاهدات ادوین هابل و با کمک تلسکوپ ۱۰۰ اینچی او در مونت ویلسون، در کوه‌های بالای پاسادنا، در کالیفرنیا ارائه شده بودند، غیرمستقیم و اندکی پیچیده بودند. هابل، با تحلیل طیف نور منتشر شده، به این نتیجه رسید که تقریباً تمام کهکشان‌ها در حال دور شدن از ما هستند و البته هر چه از ما دورتر باشند، با سرعت بیش‌تری از ما فاصله می‌گیرند. در سال ۱۹۲۹، هابل قانونی را ارائه کرد که نشان‌دهنده رابطه بین فاصله اجرام از ما و سرعت دور شدن آن‌ها از ما بود. به این



اینشتین پیشنهاد شده بود. در سال ۱۹۲۲، فیزیکدان و ریاضیدان روسی، الکساندر فریدمن، به این مسأله پرداخت که با در نظر گرفتن دو فرض برای ساده سازی ریاضیات مسأله، در مدلی از جهان مطابق معادلات نسبیت عام چه اتفاقی می افتد: اول اینکه به هر طرف نگاه کنید جهان شکل یکسانی دارد و دوم آنکه از هر نقطه ای در جهان این مشاهده را انجام دهید باز هم نتیجه همان خواهد بود. می دانیم فرض اول فریدمن کاملاً صحیح نیست — خوشبختانه جهان در همه جا یکنواخت نیست! اگر در یک جهت به سمت بالا نگاه کنیم ممکن است خورشید را ببینیم، ولی در جهت دیگر ممکن است نظاره گر ماه یا دسته ای از خفاشان خون آشام مهاجر باشیم. با این حال به نظر می رسد زمانی که جهان را در مقیاس بسیار بزرگ — در مقیاسی حتی بزرگ تر از فاصله بین کهکشانی — مشاهده می کنیم، جهان تقریباً در جهات مختلف یکسان است. می توان این مسأله را به نگاه کردن به جنگل تشبیه کرد. اگر از نزدیک به جنگل نگاه کنید، حتی می توانید برگ های درختان و یا حداقل خود درختان و فواصل بین آن ها را از هم تشخیص دهید. اما اگر تا اندازه ای بالا رفته باشید که بتوانید با انگشت شست خود یک کیلومتر مربع از درختان را بپوشانید، در این حالت جنگل به صورت زمینه یکنواختی از درختان سبز به نظر خواهد رسید. در این مقیاس می توان گفت جنگل یکنواخت است.

فریدمن با در نظر گرفتن دو فرض خود توانست راه حلی برای معادلات اینشتین بیابد که براساس آن جهان انبساط می یابد، به همان شیوه ای که صحت آن اندکی بعد توسط هابل تایید شد. یعنی جهان فریدمن، با ابعاد صفر آغاز شده و تا جایی انبساط می یابد که کشش گرانش سرعت آن را کاهش داده و نهایتاً منجر به فروپاشی آن بر روی خود می گردد. (دو راه حل دیگر برای معادلات اینشتین وجود دارند که آن ها نیز فرضیات مدل فریدمن را برآورده می سازند. یکی از آن ها جهانی را مطرح می کند که اگرچه در آن سرعت انبساط به میزان اندکی کاهش می یابد، اما در عوض تا ابد ادامه پیدا می کند و در دیگری جهانی داریم که در آن سرعت انبساط به

مهم این است که دریابیم انبساط فضا، بر روی اندازه اشیاء مادی مثل کهکشان، ستارگان، سیب ها، اتم ها، و یا دیگر اشیایی که با کمک برخی نیروها کنار هم نگاه داشته شده اند، تاثیری ندارد. مثلاً کشش گرانشی بین کهکشانی یک خوشه کهکشانی، باعث می شود آن ها هنگام انبساط جهان، اندازه و تنظیمات خود را حفظ کنند. اهمیت این مسأله از این جهت است که تنها زمانی می توانیم انبساط را آشکار کنیم که ابزار اندازه گیری ما ابعاد ثابت و مشخصی داشته باشند. اگر همه چیز انبساط می یافت، ما، مقیاس ما و آزمایشگاه های ما متناسب با هم انبساط می یافتند و دیگر قادر به تشخیص هیچ تغییری نبودیم.



جهان بادکنکی. کهکشان های دور دست به گونه ای از ما دور می شوند که گویی تمام کیهان بر روی سطح یک بادکنک عظیم الجثه قرار دارد.

این که جهان در حال انبساط است، برای اینشتین خبر جدیدی بود. ولی این احتمال که کهکشان ها در حال دور شدن از یکدیگر هستند، اندکی قبل از انتشار مقالات هابل، در زمینه ی نظری برخاسته از معادلات خود

و فوق‌العاده کوچک ابتدایی ارائه می‌کند، ردپاهای دیگری نیز یافته‌اند. به‌عنوان مثال، در طول یک ثانیه ابتدایی، دمای جهان بیش‌تر از دمای مرکز یک ستاره معمولی بوده است. در آن زمان، کل جهان به صورت یک راکتور گداخت هسته‌ای عمل می‌کرده است. وقتی جهان انبساط یافته و دمای آن به میزان کافی پایین آمده، این واکنش متوقف شده است. بنا به پیش‌بینی این نظریه، آنچه باقی مانده احتمالاً جهانی است متشکل از عموماً هیدروژن و حدود ۲۳ درصد هلیوم و مقدار اندکی لیتیم (تمام عناصر سنگین‌تر بعدها درون ستارگان ایجاد شده‌اند). محاسبات انجام گرفته، با مقادیر مشاهده شده هیدروژن، هلیوم و لیتیم به میزان خوبی مطابقت دارند. سنجش فراوانی هلیوم و کشف تابش ریزموج پس‌زمینه، شواهدی قانع‌کننده برای تصویر انفجار بزرگ از جهان اولیه فراهم آورده‌اند. ولی اشتباه است اگر انفجار بزرگ را تحت الفظی معنی کنیم و فکر کنیم نظریه اینشتین تصویری حقیقی از منشأ جهان ارائه می‌دهد. براساس پیش‌بینی نسبیت عام، نقطه‌ای در زمان وجود داشته است که در آن دما، چگالی و انحناى جهان همه نامتناهی بوده‌اند، وضعیتی که ریاضیدانان به آن تکینگی می‌گویند. از نظر یک فیزیکدان، نظریه اینشتین در آن نقطه، در هم می‌شکند و بنابراین نمی‌توان از آن برای پیش‌بینی نحوه آغاز جهان بهره جست، بلکه تنها می‌توان چگونگی رشد آن را پس از آغاز مورد بررسی قرار داد. بنابراین از معادلات نسبیت عام و مشاهدات انجام شده در آسمان‌ها، می‌توان برای درک جهان نوپا بهره گرفت، ولی صحیح نیست تصویر انفجار بزرگ را تا لحظه آغاز به عقب بازگرداند.

قبل از این‌که به اختصار به بحث در مورد آغاز جهان بپردازیم، نخست کمی در مورد فاز اولیه انبساط صحبت می‌کنیم. این همان چیزی است که فیزیکدانان به آن تورم می‌گویند. ممکن است کلمه تورم به اندازه کافی انفجاری به نظر نرسد، مگر این‌که شما در کشور زیمبابوه زندگی کنید که در آن میزان تورم اخیراً از ۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰ درصد نیز فراتر رفته است. اما حتی برطبق محافظه کارانه‌ترین تخمین‌ها، در طول این تورم کیهانی، جهان

سمت صفر کاهش پیدا کرده، اما هرگز به صفر نمی‌رسد. فریدمن اندکی بعد از ارائه کار خود درگذشت و به این ترتیب ایده‌هایش تا زمان کشف هابل، ناشناخته باقی ماند. اما در سال ۱۹۲۷، فیزیکدان و کشیش کاتولیک اهل روم، ژورژ لِمِتره، ایده مشابهی را مطرح کرد: اگر تاریخچه جهان را به سمت عقب دنبال کنید، آنقدر کوچک و کوچک می‌شود تا به رویداد خلقت برسید — چیزی که امروزه به آن انفجار بزرگ می‌گوییم.

همه از تصویر انفجار بزرگ راضی نبودند. در حقیقت خود عبارت «انفجار بزرگ» اولین بار در سال ۱۹۴۹ به وسیله اخترشناس کمبریج، فرد هویل، کسی که به جهان تا ابد در حال انبساط اعتقاد داشت، با رویکردی استهزاءآمیز مطرح شد. در حقیقت تا سال ۱۹۶۵ که وجود امواج ضعیف ریزموج در پس‌زمینه فضا کشف گردید، هیچ مشاهده مستقیمی درتایید این ایده انجام نگرفته بود. تابش کیهانی ریزموج پس‌زمینه یا CMBR<sup>۱</sup>، از همان نوعی است که در مایکروفر آشپزخانه خود دارید، البته بسیار بسیار ضعیف‌تر از آن. شما می‌توانید این تابش پس‌زمینه را، با تنظیم تلویزیون خود بر روی یکی از کانال‌های بلااستفاده، مشاهده کنید — چند درصد از برفکی که بر روی صفحه می‌بینید به وسیله همین تابش ایجاد شده است. این تابش اولین بار تصادفاً به وسیله دو دانشمند آزمایشگاه بل که سعی داشتند نویز آنتن رادیویی خود را حذف کنند، کشف شد. در ابتدا آن‌ها تصور می‌کردند این نویز ناشی از فضولات کبوترانی است که بر روی دستگاه لانه کرده‌اند، اما مشخص شد که مشکل آن‌ها منشأ جالب‌تری دارد. تابش ریزموج زمینه، تشعشع باقی مانده از جهان داغ و متمرکز اولیه است که لحظه‌ای پس از انفجار بزرگ وجود داشته است. جهان طی فرآیند انبساط، رفته رفته خنک شد تا جایی که از آن تنها تابش خفیفی باقی مانده است که امروزه شاهد آن هستیم. در حال حاضر این امواج ریزموج تنها قادرند غذای شما را تا دمای ۲۷۰- درجه سانتی گراد (تنها ۳ درجه بالاتر از صفر مطلق) گرم کنند.

اخترشناسان در حمایت از تصویری که انفجار بزرگ از یک جهان داغ





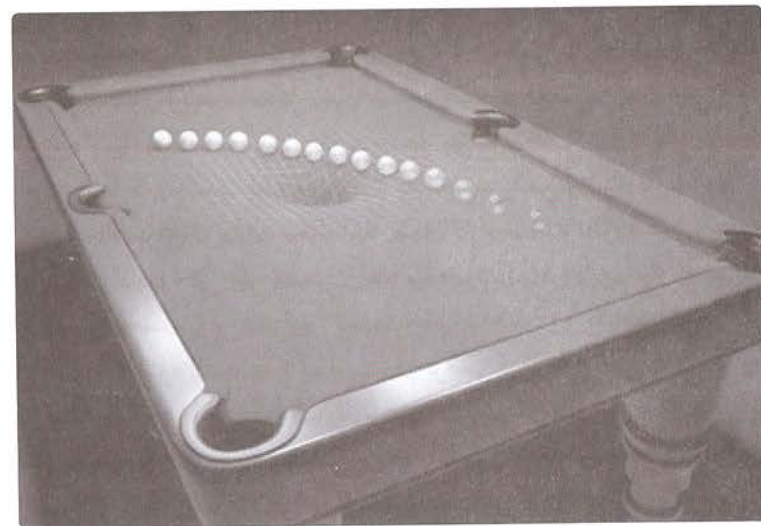
قابل رؤیت است. تصور انحنای فضا-زمان در جهان ما مشکل تر خواهد بود، زیرا قادر نیستیم از فضا-زمان خودمان بیرون برویم و انحنای آن را ببینیم. اما انحنای آن را می توان آشکار کرد، حتی اگر نتوانیم بیرون برویم و از منظر ابعاد بالاتر آن را ببینیم. انحنای آن را می توان درون خود فضا آشکار کرد. مورچه ای را تصور کنید که به حرکت در سطح یک میز محدود شده باشد. حتی در صورتی که مورچه نتواند از میز خارج شود، باز هم می تواند با اندازه گیری دقیق فواصل انحنای آن را شناسایی کند. به عنوان مثال، مسافت طی شده بر روی محیط یک دایره در فضای تخت، همواره کمی بیش تر از سه برابر قطر آن است (با ضرب عدد  $\pi$ ). اما اگر مورچه، دایره ای حول فرورفتگی تصویر بالا را میانبر بزند، خواهد دید که مسافت طی شده از این طرف تا آن طرف دایره بیش از حد انتظار است، یعنی بزرگ تر از یک سوم محیط آن. در حقیقت، اگر حفره به اندازه کافی عمیق باشد، مورچه خواهد دید که مسافت طی شده به دور محیط دایره حتی کوتاه تر از قطر آن است. در مورد انحنای فضای ما نیز همین امر صادق است. فاصله بین نقاط فضا کشیده یا فشرده می شوند، هندسه یا شکل فضا تغییر می کند، طوری که از درون خود جهان قابل اندازه گیری است. انحنای زمان، به شیوه ای مشابه، باعث فشرده شدن یا کش آمدن بازه های زمانی می شود.

مسئله به این دانسته ها، به مسأله آغاز جهان باز می گردیم. تنها وقتی می توان در مورد زمان و فضا به طور مجزا صحبت کرد، مثل همین بحث ما، که شرایط شامل سرعت پایین و گرانش ضعیف باشند. در حالت کلی، زمان و فضا می توانند در هم تنیده شوند و بنابراین فشردگی و کشیدگی آن ها هم قدری آمیخته می شوند. این آمیختگی، در جهان اولیه اهمیت دارد و کلید فهم آغاز زمان است.

مسأله آغاز زمان، از جهاتی شبیه مسأله لبه های جهان است. زمانی که مردم عقیده داشتند دنیا تخت است، این سؤال مطرح بوده که در لبه های جهان چه اتفاقی برای آب دریاها می افتد. این مسأله عملاً آزمایش شده است. می توان در سراسر کره زمین سفر کرد و دید که هیچ لبه ای برای

درست همان طور که — حداقل موقتاً — نظریه کوانتوم را با نسبیت عام ترکیب کردیم تا نظریه تورم را استخراج کنیم، اگر می خواهیم حتی بیش تر به عقب بازگشته و به چگونگی آغاز جهان پی ببریم، باید آنچه را در مورد نسبیت عام می دانیم با نظریه کوانتوم ترکیب کنیم.

برای فهم بهتر این موضوع، لازم است ابتدا این اصل را درک کنیم که گرانش، فضا و زمان را دچار انحنای می کند. به تصویر کشیدن انحنای فضا راحت تر از انحنای زمان است. تصور کنید جهان، سطح یک میز بیلیارد است. سطح میز، حداقل در دو بعد فضایی تخت است. اگر توپی را روی میز بغلتانید، در یک مسیر مستقیم حرکت می کند. اما اگر همان طور که در شکل زیر نشان داده شده است، چنانچه میز دچار انحنای یا فرورفتگی شود، در این صورت توپ مسیری منحنی خواهد داشت.



انحنای فضا. ماده و انرژی، فضا را انحنای داده و مسیر حرکت اشیاء را تغییر می دهند.

در این مثال، مشاهده انحنای سطح دو بعدی میز بیلیارد بسیار ساده است، زیرا انحنای آن به درون یک بعد سوم رخ می دهد که برای ما

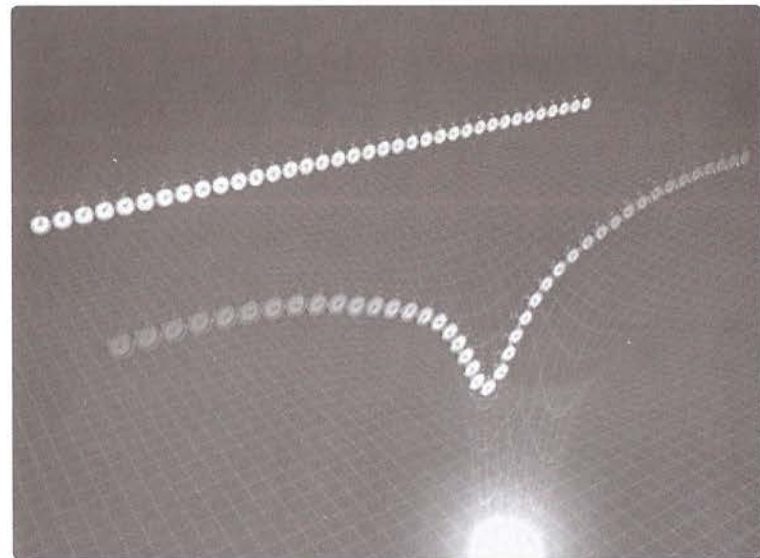


زمان وجود داشته است. یعنی وقتی در مورد آغاز جهان صحبت می‌کنیم یا وقتی به جهان خیلی ابتدایی به عقب باز می‌گردیم، زمان آنطور که ما می‌شناسیم وجود نداشته است! باید پذیرفت ایده‌های متداول ما در زمینه فضا و زمان، در جهان ابتدایی صادق نبوده‌اند. این فراتر از تجربه ماست، اما نه فراتر از تخیل یا ریاضیات ما. اگر در جهان اولیه، تمام چهار بُعد مثل فضا عمل می‌کردند چه بر سر ابتدای زمان می‌آمد؟

درک این مسأله که زمان می‌تواند مثل بُعد دیگری از فضا رفتار کند، به این معنی است که می‌توان مشکل آغاز زمان را، به شیوه‌ای مشابه با مسأله لبه جهان، حل کرد. فرض کنید آغاز جهان مشابه قطب جنوب کره زمین باشد و در آن درجات مختلف عرض جغرافیایی، نقش زمان را ایفا می‌کنند. با حرکت به سمت شمال، دوایر مربوط به عرض‌های جغرافیایی، که نشان دهنده اندازه جهان هستند، بزرگ‌تر می‌شوند. جهان در نقطه قطب جنوب آغاز شده، اما قطب جنوب خیلی شبیه نقاط دیگر است. این پرسش که قبل از آغاز جهان چه روی داده، بی‌معنی خواهد بود، زیرا جنوب‌تر از قطب جنوب چیزی وجود ندارد. در این تصویر، فضا-زمان هیچ مرزی نخواهند داشت، قوانین طبیعت حاکم در قطب جنوب مشابه نقاط دیگر خواهد بود. به شیوه‌ای مشابه، وقتی نظریه نسبیت عام را با کوانتوم ترکیب می‌کنیم، این سؤال که قبل از آغاز جهان چه اتفاقی افتاده است، بی‌معنی خواهد شد. این ایده که تاریخچه‌ها باید سطوح بسته بی‌مرز باشند، شرایط بی‌مرزی نامیده می‌شود.

در طول قرن‌ها، بسیاری از افراد از جمله ارسطو، عقیده داشتند جهان همواره بوده است تا به این ترتیب از مشکل چگونگی آغاز جهان پرهیز کنند. از طرف دیگر، برخی بر این باور بودند که جهان آغازی داشته و از آن به عنوان دلیلی برای وجود خداوند استفاده می‌کردند. درک این مسأله که زمان مثل فضا رفتار می‌کند، گزینه دیگری را مطرح می‌سازد. این گزینه، مشکل قدیمی آغاز جهان را از بین می‌برد. به علاوه بیان می‌کند که آغاز جهان از طریق قوانین علمی اداره شده و نیازی به فرض‌های دیگر نیست.

افتادن وجود ندارد. این مسأله که در لبه‌های دنیا چه اتفاقی می‌افتد، زمانی حل شد که مردم فهمیدند جهان صفحه‌ای تخت نیست و سطحی منحنی دارد. به نظر می‌رسد زمان، شبیه به یک خط آهن است. اگر ابتدایی داشته باشد، ناچار باید یکی (مثلاً خدا) قطار را برای اولین بار راه انداخته باشد. با این که نظریه نسبیت عام اینشتین، زمان و فضا را به صورت فضا-زمان با هم متحد و نوعی از آمیختگی فضا و زمان را مطرح کرد، اما زمان — چه دارای یک ابتدا و انتها، چه جاری تا ابد — باز با فضا متفاوت است. با این حال، هرگاه اثرات نظریه کوانتوم را به نظریه نسبیت بیفزاییم، انحنای فوق‌العاده می‌تواند با چنان شدتی رخ دهد که زمان مثل بُعد دیگری از فضا عمل کند.



انحنای فضا. زمان. ماده و انرژی باعث انحنای زمان شده و باعث می‌شوند بعد زمان با «ابعاد فضا» آمیخته شود.

در جهان اولیه، زمانی که جهان به قدری کوچک بوده که نسبیت عام و کوانتوم هر دو بر آن حکمفرما بودند، عملاً چهار بُعد فضایی بدون بُعد

چندگانه (Multiverse) نامیده می شود. اما این ها همه تعبیر متفاوتی از مجموع تاریخچه های فاینمن هستند.



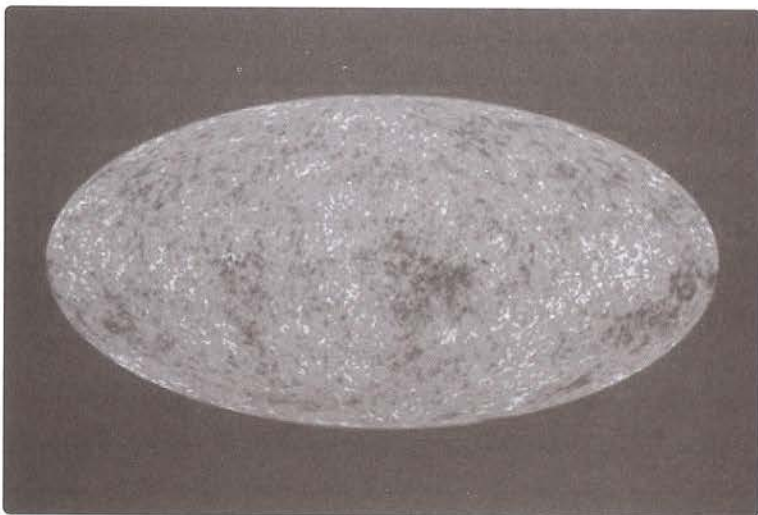
جهان های چندگانه، افت و خیزهای کوانتومی منجر به پیدایش جهان های کوچکی از هیچ می شوند. تعداد اندکی از این جهان ها به اندازه بحرانی رسیده و سپس به روش تورمی انبساط یافته و منجر به شکل گیری کهکشان، ستاره ها و حداقل در یک مورد، موجوداتی مثل ما می شوند.

برای تصور این موضوع بهتر است مثال بادکنک ادینگتون را اندکی تغییر دهیم و فکر کنیم جهان در حال انبساط، سطح یک حباب است. در این حالت، تصویر ما از خلقت کوانتومی خود انگیزه جهان، کمی شبیه به شکل گیری حباب های بخار در آبی است که دارد می جوشد. حباب های ریز بسیاری ایجاد شده و سپس ناپدید می شوند. این ها ریزجهان های کوچکی هستند که منبسط شده، ولی در همان ابعاد میکروسکوپی فرو می پاشند. آن ها معادل جهان های محتمل دیگر هستند که اهمیت زیادی

اگر آغاز جهان، رویدادی کوانتومی باشد، باید بتوان به دقت آن را از طریق مجموع تاریخچه های فاینمن توصیف کرد. اعمال نظریه کوانتوم به کل جهان — جایی که مشاهده گران، خود بخشی از سیستم مورد مشاهده هستند — به هر حال تردستی است. در بخش ۴ دیدیم چگونه ذرات مادی که به طرف صفحه ای با دو شکاف پرتاب شدند، همانند امواج آب، الگوهای تداخلی به نمایش گذاشتند. فاینمن نشان داد این مسأله به این دلیل رخ می دهد که یک ذره، تاریخچه منحصر به فردی ندارد. یعنی با حرکت از نقطه شروع A به سمت نقطه پایان B، ذره مسیر قطعی منحصر به فردی را نمی پیماید، بلکه به طور هم زمان، هر مسیر ممکن را که دو نقطه را به هم متصل کند، می پیماید. از این دیدگاه، رخ دادن تداخل چیز عجیبی نیست. زیرا به عنوان مثال، ذره می تواند در یک زمان، از درون هر دو شکاف عبور کرده و با خود تداخل کند. اگر روش فاینمن را به حرکت ذره اعمال کنیم، خواهیم دید برای محاسبه احتمال رسیدن ذره به یک نقطه به خصوص، باید تمام تاریخچه های محتمل را که ممکن است ذره از نقطه شروع تا پایان دنبال کند، در نظر بگیریم. می توان از روش فاینمن برای محاسبه احتمالات کوانتومی آنچه در جهان مشاهده می شود نیز استفاده کرد. اگر جهان را به صورت یک کل در نظر بگیریم، هیچ نقطه ای به عنوان A وجود نخواهد داشت. بنابراین کافی است تمام تاریخچه های منطبق با شرایط بی مرزی را که به جهان فعلی منجر می شوند، با هم جمع کنیم.

در این دیدگاه، جهان به نحوی خودانگیزه ظاهر می شود و می تواند هر راه ممکن را طی کند. اغلب جهان های دیگری حاصل می شوند. برخی از این جهان ها شبیه به جهان ما هستند، ولی اغلب آن ها بسیار متفاوتند. آن ها تنها در جزئیات تفاوت ندارند، مثل این که آیا الویس واقعاً در جوانی در گذشته یا این که آیا شلغم جزو میوه جات است یا سبزیجات، بلکه آن ها حتی در قوانین ظاهری طبیعت نیز متفاوتند. در حقیقت، جهان های بسیاری، با مجموعه های متعدد و متفاوتی از قوانین فیزیکی وجود دارند. برخی افراد از این ایده معمای بزرگی می سازند که گاهی مفهوم جهان های





ریزموج زمینه. این تصویر، منتشر شده در سال ۲۰۰۷، تصویری است از آسمان که در نتیجه هفت سال جمع آوری اطلاعات به وسیله ماهواره دیلیومپ تهیه شده است. در اینجا افت و خیزهای دمایی مربوط به  $13/7$  میلیارد سال پیش، با رنگ‌های مختلف به نمایش در آمده است. تفاوت‌های دمایی در افت و خیزها، کم‌تر از یک هزارم درجه در مقیاس سانتیگراد هستند. این‌ها دانه‌هایی هستند که رشد کرده و در نهایت به کهکشان تبدیل شده‌اند. حق امتیاز: تیم علمی NASA/WMAP.

تصویر این ایده جدید از جهان، عمیقاً با مفهوم سنتی تفاوت دارد و ما را ملزم می‌کند تا نحوه اندیشیدن خود را در مورد تاریخ جهان تنظیم کنیم. برای انجام پیش‌بینی در کیهان‌شناسی، لازم است احتمالات مربوط به حالات مختلف کل جهان را در زمان حال، محاسبه کنیم. معمولاً در فیزیک، برخی حالات اولیه را برای یک سیستم فرض می‌کنیم و با استفاده از معادلات ریاضی مربوطه، آن را در زمان به جلو پیش می‌بریم. با داشتن حالت یک سیستم در یک زمان، می‌توان احتمال مربوط به این‌که آن سیستم در زمان دیگری در حالت دیگری باشد، را محاسبه کرد. معمولاً در کیهان‌شناسی فرض بر این است که جهان دارای یک تاریخچه قطعی است. می‌توان با استفاده از قوانین فیزیک محاسبه کرد که چگونه این تاریخچه

ندارند، زیرا به اندازه کافی عمر نمی‌کنند تا ستارگان و کهکشان بتوانند در آن‌ها شکل بگیرند، چه برسد به حیات هوشمند. به هر حال تنها تعداد اندکی از حباب‌های کوچک، به اندازه‌ای بزرگ می‌شوند که از خطر فروپاشی مصون بمانند. آن‌ها با سرعتی رو به افزایش به انبساط خود ادامه می‌دهند و حباب‌هایی از بخار ایجاد می‌کنند که ما قادر به دیدن آن‌ها هستیم. این‌ها جهان‌هایی هستند که با انبساط سریع‌شونده آغاز می‌شوند (جهان‌هایی در حالت تورم).

همان‌طور که گفتیم، انبساط ناشی از تورم کاملاً یکنواخت نخواهند بود. در مجموع تاریخچه‌ها، تنها یک تاریخچه کاملاً منظم و یکنواخت وجود دارد که دارای بالاترین احتمال است. اما بسیاری از تاریخچه‌های دیگر نیز هستند که بی‌نظمی بسیار کم و احتمال بالایی دارند. به همین دلیل تورم پیش‌بینی می‌کند که جهان اولیه اندکی غیریکنواخت بوده که امروزه اثرات آن به صورت افت و خیزهای کوچک در دمای تابش ریزموج پس‌زمینه مشاهده می‌شوند. در مورد بی‌نظمی‌ها در جهان اولیه، بخت با ما یار بوده است. اما چرا؟ وجود همگنی، در صورتی که مایل نباشید خامه از شیر جدا شود، خوب است. اما از طرفی، جهان یکنواخت، جهانی کسل‌کننده خواهد بود. وجود بی‌نظمی در جهان اولیه از این نظر اهمیت دارد که اگر تراکم برخی نواحی از برخی دیگر بیش‌تر باشد، جاذبه گرانشی انبساط آن ناحیه را در مقایسه با نواحی اطراف کندتر می‌سازد. نیروی گرانش، مواد را به آرامی به هم نزدیک کرده و در نهایت منجر به فروپاشی آن‌ها و در نتیجه شکل‌گیری کهکشان و ستارگان و در ادامه، سیارات و حداقل در یک مورد، انسان‌ها شود. بنابراین به دقت به نقشه ریزموج آسمان نگاه کنید. در حقیقت این نقشه، طرح کلی تمام ساختارهای موجود در جهان است. ما محصول افت و خیزهای کوانتومی در جهان اولیه هستیم. به این ترتیب افراد معتقد می‌توانند بگویند خداوند واقعاً تاس ریخته است.

واحد وجود دارد که قوانین ظاهری و ثابت‌های فیزیکی طبیعت را توضیح می‌دهد (مثل جرم الکترون یا چگونگی ابعاد فضا-زمان). اما کیهان‌شناسی از بالا به پایین حکم می‌کند که قوانین ظاهری طبیعت برای تاریخچه‌های مختلف، متفاوت باشد.

ابعاد ظاهری جهان را در نظر بگیرید. براساس نظریه M، فضا-زمان دارای ده بعد فضایی و یک بعد زمان است. ایده مطرح شده این است که هفت تا از ابعاد فضا در چنان اندازه کوچکی درخود حلقه شده‌اند که دیگر قادر به دیدن آن‌ها نیستیم و باعث شده فکر کنیم تمام آنچه وجود دارد همین سه بعد بزرگی هستند که با آن‌ها آشناییم. یکی از سوالات قابل بحث در نظریه M این است که چرا در جهان ما ابعاد بزرگ دیگری وجود ندارند و چرا اصلاً هریک از ابعاد این‌گونه حلقه می‌شوند؟

بسیاری از افراد به وجود ساز و کارهایی باور دارند که باعث شده همه ابعاد فضا به‌جز سه تا خودبه‌خود حلقه شوند. اما از طرف دیگر، شاید بتوان گفت تمام ابعاد در ابتدا کوچک بوده‌اند و به برخی دلایل قابل فهم، تنها سه تا از آن‌ها انبساط یافته‌اند. به‌هر حال ظاهراً چهار بعدی بودن جهان دلیل دینامیک ندارد. در عوض، بنا به رویکرد کیهان‌شناسی بالا به پایین هیچ یک از اصول فیزیک تعداد ابعاد بزرگ فضا را معین نمی‌کند. هر تعداد از ابعاد بزرگ فضا از صفر تا ده، دامنه احتمال کوانتومی دارد. مجموع فاینمن، همه این اعداد را برای هر تاریخچه احتمالی از جهان مجاز می‌داند، اما مشاهده این‌که جهان ما دارای سه بعد بزرگ فضا است، دسته‌ای از تاریخچه‌ها را جدا می‌کند که با مشاهده سازگارند. به عبارت دیگر، احتمال کوانتومی اینکه جهان بیش‌تر یا کم‌تر از سه بعد بزرگ فضا دارد بی‌ربط است چون مشاهده شده جهان ما سه بعد بزرگ فضا دارد. بنابراین مادامی‌که دامنه احتمال برای سه بعد بزرگ فضا دقیقاً صفر نیست، مهم نیست که این احتمال در مقایسه با دامنه احتمال تعداد دیگر ابعاد، چقدر کوچک است. درست مثل حالتی که بخواهیم دامنه احتمال چینی بودن پاپ فعلی را تعیین کنیم. می‌دانیم پاپ آلمانی است، گرچه احتمال

با زمان پیش می‌رود. به این روش در کیهان‌شناسی، رویکرد «پایین به بالا» می‌گویند. اما از آنجا که نباید طبیعت کوانتومی جهان فراموش شود، براساس مجموع تاریخچه‌های فاینمن، دامنه احتمال این‌که جهان هم‌اکنون در یک حالت خاص قرار داشته باشد، از طریق جمع کردن سهم تمام تاریخچه‌هایی که شرایط بی‌مرزی را برآورده می‌سازند و به حالت فعلی جهان منتهی می‌شوند، به دست می‌آید. به بیان دیگر، در کیهان‌شناسی نباید تاریخ جهان را از پایین به بالا دنبال کرد. زیرا در این صورت ناچار تنها یک تاریخچه، با نقطه شروع مشخص و روند رشد معلوم، وجود خواهد داشت. در عوض باید تاریخ را از بالا به پایین دنبال کرد، یعنی از زمان حال به سمت گذشته. در این حالت، احتمال برخی تاریخچه‌ها بیش از دیگران خواهد بود و مجموع همه آن‌ها، به تنها یک تاریخچه منجر می‌شود که نقطه آغاز آن، پیدایش جهان و انتهای آن وضعیت موجود خواهد بود. اما تاریخچه‌های متفاوتی برای حالات محتمل مختلف جهان فعلی وجود خواهند داشت. این منجر به دیدگاه اساساً متفاوتی از کیهان‌شناسی و ارتباط بین علت و معلول می‌شود. تاریخچه‌هایی که در مجموع فاینمن شرکت می‌کنند، دارای وجود مستقلاً نیستند، بلکه بستگی به این دارند که چه چیزی مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. ما با مشاهدات خود تاریخ را می‌سازیم، نه این‌که ما حاصل تاریخ هستیم.

این ایده که جهان، یک تاریخ یکتا و مستقل از مشاهده‌گر ندارد، ممکن است ظاهراً با حقایق مسلمی که می‌دانیم مغایر باشد. ممکن است تاریخی وجود داشته باشد که در آن، ماه از پنیر راکفورت درست شده باشد. اما می‌دانیم که ماه از پنیر درست نشده (خبر بد برای موش‌ها)، پس تاریخچه‌هایی که در آن‌ها ماه از پنیر درست شده، در حالت فعلی جهان شرکت ندارند، اگرچه ممکن است در مورد جهان‌های دیگر شرکت داشته باشند. این مسأله به‌نظر علمی-تخیلی می‌آید، ولی این طور نیست.

یکی از تعابیر مهم از رویکرد «بالا به پایین» این است که قوانین ظاهری طبیعت به تاریخ جهان وابسته‌اند. بسیاری از دانشمندان معتقدند یک نظریه



آنچه اهمیت دارد، دامنه احتمال نسبی جهان‌های همسایه (مشابه) است. شرایط بی‌مرزی، بر این امر دلالت دارد که دامنه احتمال تاریخچه‌هایی که در آن‌ها جهان به صورت کاملاً هموار آغاز می‌شود، از همه بالاتر است. به این ترتیب، برای جهان‌های نامنظم‌تر، این دامنه کاهش می‌یابد. یعنی جهان اولیه تقریباً هموار، اما دارای اندکی بی‌نظمی بوده است. همان‌طور که دیدیم، این بی‌نظمی‌ها را می‌توان به صورت افت و خیزهای کوچک در ریزموج مشاهده کرد که از جهات مختلف آسمان می‌آید. دریافته‌ایم که این مشاهدات با ضروریات عمومی نظریه تورم کاملاً مطابقت دارند. با این حال، نیاز به اندازه‌گیری‌های دقیق‌تری است تا بتوان نظریه بالا به پایین را به‌طور کامل از نظریات دیگر تفکیک کرد و آن را تایید یا رد نمود. در آینده ماهواره‌ها می‌توانند به خوبی این اندازه‌گیری‌ها را انجام دهند.

صدها سال پیش، مردم تصور می‌کردند کره زمین یکنواست و در مرکز جهان واقع شده است. امروزه می‌دانیم که صدها میلیارد کهکشان هست، صدها میلیارد ستاره فقط در کهکشان ما وجود دارند که درصد بالایی از آن‌ها سیستم‌های سیاره‌ای دارند. نتایج این بخش بیان می‌دارند که کل جهان ما، یکی از بسیار است و قوانین ظاهری آن به‌طور یکتا معین نشده است. این می‌تواند برای کسانی که امید به دستیابی به یک نظریه نهایی — نظریه همه چیز — دارند که طبیعت فیزیک را پیش‌بینی کند، ناامید کننده باشد. ما نمی‌توانیم ویژگی‌های گسسته، مثل تعداد ابعاد بزرگ فضا و یا فضای درونی که مقادیر فیزیکی مشاهده شده (مثل جرم یا بار الکترون و دیگر ذرات بنیادی) را تعیین می‌کنند، پیش‌بینی کنیم. در عوض ما از این اعداد استفاده کرده تا بتوانیم تاریخچه‌هایی را تعیین کنیم که در مجموع فاینمن شرکت می‌کنند.

به‌نظر می‌رسد هم‌اکنون در نقطه بحرانی تاریخ علم قرار داریم. زمانی که باید مفهوم اهدافمان را و این‌که چه چیزی یک نظریه فیزیکی را قابل قبول می‌کند، تغییر دهیم. ظاهراً اعداد بنیادی و حتی شکل قوانین ظاهری طبیعت، از ضروریات اصول فیزیکی یا منطقی می‌باشند. پارامترها می‌توانند

چینی بودن او بیش‌تر است، چون چینی‌ها از آلمانی‌ها بیش‌ترند. به‌طور مشابه می‌دانیم که جهان ما تنها سه بعد بزرگ فضا دارد. بنابراین حتی اگر دامنه احتمال برای تعداد دیگر ابعاد بزرگ‌تر باشد، ما فقط به تاریخچه‌هایی علاقه داریم که سه بعد دارند.

در مورد ابعاد حلقه شده چه؟ به یاد بیاورید که در نظریه  $M$ ، اندازه مقادیر فیزیکی مثل بار الکترون و طبیعت برهم‌کنش بین ذرات بنیادی یعنی نیروهای طبیعت توسط شکل دقیق ابعاد حلقه شده، یا همان فضای درونی تعیین می‌شود. اگر نظریه  $M$  برای ابعاد حلقه شده یک یا چند شکل را مجاز می‌دانست و همه آن‌ها به‌جز یکی به دلایلی رد می‌شدند و تنها یک حالت ممکن برای قوانین ظاهری طبیعت باقی می‌ماند، کارها مرتب بود. ولی شاید بیش از  $10^{500}$  دامنه احتمال برای فضا‌های داخلی مختلف وجود دارد که هر کدام منجر به قوانین و ثابت‌های فیزیکی گوناگون می‌شوند.

اگر تاریخ جهان را از پایین به بالا بنا کنیم، دلیلی ندارد که جهان به جایی برسد که فضای درونی برای برهم‌کنش ذرات این‌گونه باشد که ما عملاً می‌بینیم، یعنی همان مدل استاندارد (مربوط به برهم‌کنش‌های ذرات بنیادی). اما در رویکرد بالا به پایین، می‌پذیریم که جهان‌هایی با تمام فضا‌های درونی محتمل وجود دارند. در برخی جهان‌ها، الکترون‌ها وزن یک توپ گلف را دارند و نیروی گرانش قوی‌تر از نیروی مغناطیس است. در جهان ما، مدل استاندارد، با تمام پارامترهایش، حکمفرماست. می‌توان براساس شرایط بی‌مرزی، دامنه احتمال را برای فضای درونی که منجر به مدل استاندارد شده است، محاسبه کرد. مشابه با احتمال وجود جهانی با سه بعد بزرگ فضایی، مهم نیست این احتمال در مقایسه با احتمالات دیگر تا چه حد کوچک باشد، زیرا پیش از این مشاهده کرده‌ایم که مدل استاندارد جهان ما را توصیف می‌کند.

نظریه‌ای مطرح شده در این بخش قابل آزمایش است. در مثال‌های قبلی، تاکید کردیم که دامنه احتمال نسبی برای جهان‌های اساساً متفاوت، مثل آن‌هایی که تعداد متفاوتی ابعاد فضایی بزرگ دارند، اهمیت ندارد.

## فصل ۷

### معجزه آشکار

مردم چین عقیده دارند که زمانی در دوره حکمرانی سلسله شیا (حدود ۲۲۰۵ تا ۱۷۸۲ پیش از میلاد مسیح) ناگهان محیط کیهانی ما تغییر یافته است. ده خورشید، به ناگاه در آسمان ظاهر شدند. گرمای شدید ناشی از این ده خورشید مردم را بی تاب کرد و بنابراین امپراتور به یکی از کمان داران نامی دستور می دهد تا خورشیدهای اضافی را با تیر هدف قرار داده و سرنگون کند. امپراتور برای تشکر از کمانگیر، قرصی به او هدیه می دهد که با خوردن آن ابدی می شود. اما همسر کماندار قرص را از او می دزد و در نهایت به خاطر این نافرمانی به ماه تبعید می شود.

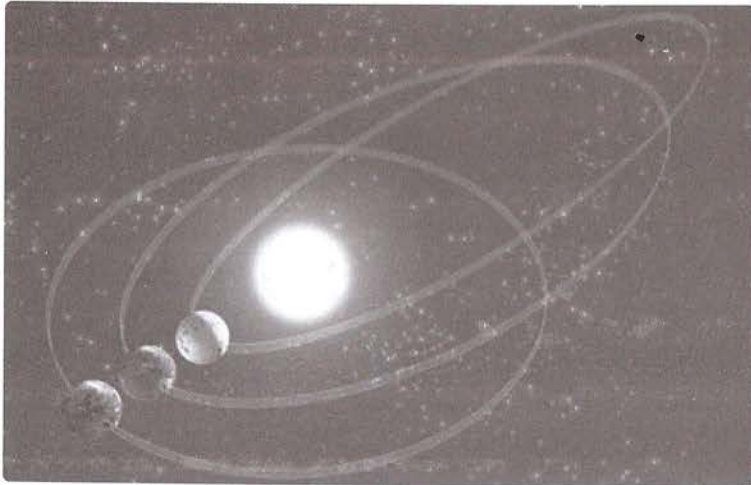
چینی ها حق داشتند، وجود ده خورشید در منظومه شمسی شرایط را برای حیات انسان غیرممکن می ساخت. امروزه ما می دانیم منظومه ای با چندین خورشید، گرچه برای برنزه شدن بسیار عالی است، اما احتمالاً هیچ گاه به حیات فرصت بروز نمی دهد. البته دلیل آن، گرمای سوزان افسانه چینی نیست. در حقیقت، این امکان وجود دارد که یک سیاره با چرخش به دور چندین خورشید، حداقل برای مدت کوتاهی، دمای مطلوبی داشته باشد. اما گرمایش یکنواخت در طول مدت طولانی که برای حیات ضروری است، غیرممکن به نظر می رسد. برای درک این موضوع بهتر است به نحوه عملکرد ساده ترین نوع یک سیستم چند ستاره ای نگاهی بیندازیم یعنی سیستمی با دو خورشید که منظومه دوتایی نامیده می شود. حدود نیمی از ستارگان آسمان چنین سیستمی دارند. اما حتی منظومه های دوتایی نیز تنها قادرند انواع مشخصی از مدارهای پایدار را که در شکل زیر نشان داده شده اند، حفظ کنند. احتمالاً در هر یک از این مدارها گاهی سیاره چنان داغ

مقادیر متعددی بگیرند و قوانین آزادند هر شکلی را که منجر به یک نظریه ریاضی خودسازگار شود، اتخاذ کنند. آن ها در جهان های مختلف، مقادیر و شکل های متفاوت می گیرند. ممکن است این دیدگاه، تمایل ما به ممتاز بودن و یا کشف یک بسته مرتب شامل تمام قوانین فیزیک را برآورده نسازد، ولی به نظر می رسد روش طبیعت همین است.

چشم انداز وسیعی از جهان های محتمل پیش روی ماست. با این حال، آنطور که در بخش بعد خواهیم دید جهان هایی که در آن ها حیات، مثل ما، وجود داشته باشد بسیار نادرند. ما در جهانی زندگی می کنیم که حیات در آن ممکن شده است. اما اگر همین جهان اندکی متفاوت بود، موجوداتی مثل ما امکان وجود نمی یافتند. از این تنظیم دقیق چه بهره ای می بریم؟ سرانجام، آیا شواهدی هست که جهان به وسیله خالق خیراندیش طراحی شده است؟ یا علم توضیح دیگری دارد؟

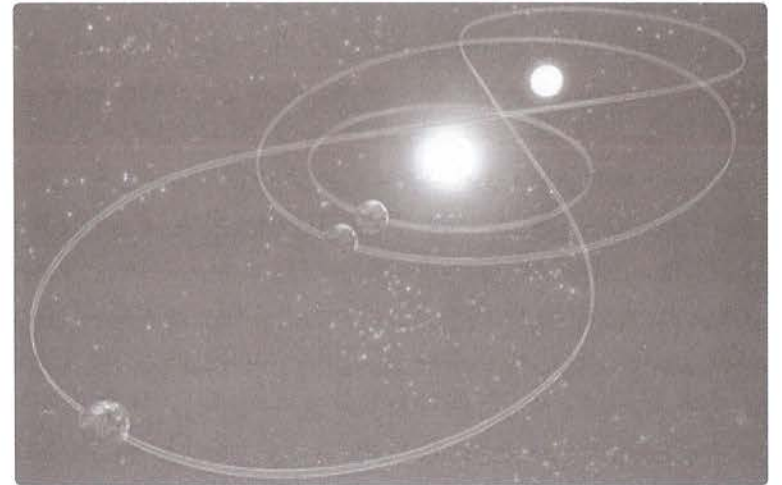


در نیم کره شمالی در طول زمستان، قطب شمال از خورشید دور می‌شود. این حقیقت که زمین در آن زمان از همیشه به خورشید نزدیک‌تر است (تنها  $147/2$  میلیون کیلومتر فاصله در مقایسه با  $152$  میلیون کیلومتر فاصله در ابتدای تیرماه) در مقایسه با کج بودن محور چرخش آن، قابل چشم پوشی است. اما در مورد سیاراتی با خروج از مرکز بزرگ، تغییر فاصله نسبت به خورشید نقش موثرتری ایفا می‌کند. به عنوان مثال، در مریخ که دارای خروج از مرکز  $0/2$  است، دما در نزدیک‌ترین حالت سیاره به خورشید (حضیض) از دورترین حالت آن (اوج) بیش از  $100$  درجه سانتیگراد گرم‌تر است. در حقیقت اگر میزان خروج از مرکز مدار زمین عددی نزدیک به یک بود، اقیانوس‌ها هنگام رسیدن به نزدیک‌ترین نقطه به خورشید به جوش آمده و در دورترین نقطه منجمد می‌شدند. به این ترتیب نه تعطیلات تابستان و نه زمستان هیچ‌کدام خوشایند نمی‌بود. با خروج از مرکز بزرگ حیات شکل نمی‌گیرد. پس شاید این از خوش اقبالی ماست که خروج از مرکز سیاره ما عددی نزدیک به صفر است.



خروج از مرکز. خروج از مرکز معیاری است که نشان می‌دهد یک بیضی تا چه حد به دایره نزدیک است. مدارات دایره‌ای برای حیات مساعد هستند، در حالیکه مدارات باریک و کشیده منجر به تغییرات دمایی بزرگ فصلی می‌شوند.

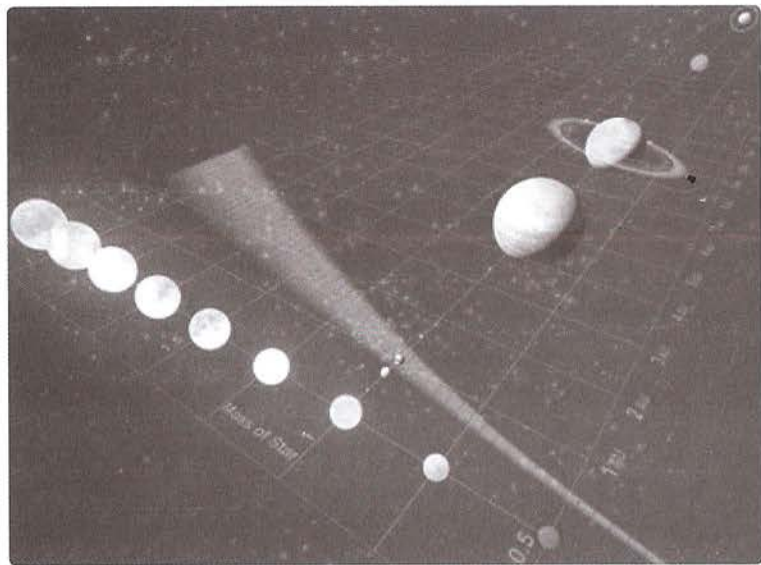
و گاهی چنان سرد می‌شود که دیگر حیات در آن امکان پذیر نیست. برای خوشه‌های ستاره‌ای، وضعیت حتی از این هم وخیم‌تر است. از این خوش اقبالی‌ها در منظومه شمسی ما فراوان دیده می‌شود که بدون آن‌ها احتمالاً نوع پیچیده حیات امکان توسعه نمی‌یافت. به عنوان مثال، طبق قوانین نیوتون مدارات سیاره‌ای می‌توانند دایره یا بیضی باشند. میزان فشرده‌گی یک بیضی با پارامتری به نام خروج از مرکز (Eccentricity) سنجیده می‌شود. این پارامتر عددی است بین صفر و یک. عدد صفر، به معنای دایره کامل و عدد یک نشان دهنده بیضی فوق‌العاده باریک است. کپلر از این که سیارات در مداری کاملاً دایره‌ای حرکت نمی‌کنند، خرسند نبود. اما از طرفی میزان خروج از مرکز زمین تنها در حدود  $0/02$  (یعنی تقریباً دایره) است. بنابراین ظاهراً این حالت نیز نشانه‌ای از خوش اقبالی ماست.



مدارات دوتایی. سیاراتی که در منظومه‌های دوتایی حرکت می‌کنند احتمالاً دارای آب و هوایی نامساعد هستند، در برخی فصول بسیار سرد و در برخی دیگر بسیار گرمند.

الگوهای آب و هوایی فصلی، اساساً به دلیل کج بودن محور چرخش زمین نسبت به صفحه چرخش آن به دور خورشید به وجود می‌آیند. به عنوان مثال،

شکی نیست که تعداد بی شماری از آن‌ها حول میلیاردها ستاره موجود در جهان وجود دارند. وقتی این موضوع را می‌دانیم دیگر شرایط خوش تنظیم سیاره‌ای ما شامل وجود خورشیدی با جرم مناسب و فاصله ایده‌آل زمین با آن، آن‌چنان استثنایی و ویژه جلوه نمی‌کند و تصور اینکه زمین به‌دقت طراحی شده تا تنها ما انسان‌ها را خوشنود کند، کمرنگ می‌شود. در جهان، انواع گوناگونی از سیارات وجود دارند که در برخی یا حداقل یکی از آن‌ها شرایط حیات مهیاست. بدیهی است که وقتی موجودات زنده ساکن یک سیاره، جهان اطراف خود را مورد بررسی قرار می‌دهند، قهراً درمی‌یابند که محیطی زندگی آن‌ها شرایط حیات را برآورده می‌سازد.



منطقه گولدیلاکس. اگر موطلابی‌ها قصد انتخاب سیاره‌ای را داشتند، تنها آن‌هایی را مناسب برای حیات می‌یافتند، که در نوار سبز قرار دارند. ستاره زرد خورشید ماست. ستارگان سفیدتر، بزرگتر و داغ‌تر هستند، در حالیکه قرمزترها کوچکتر و سردتر هستند. سیاراتی که از خط سبز رنگ به ستاره خود نزدیک‌تر هستند، برای حیات بسیار داغ بوده و سیارات دورتر بسیار سرد هستند. پهنای محدوده قابل سکونت برای ستارگان سردتر باریک‌تر است.

یکی دیگر از نشانه‌های خوش اقبالی ما، در رابطه بین جرم خورشید و فاصله آن از زمین نهفته است. زیرا جرم خورشید میزان انرژی گسیل شده از آن را تعیین می‌کند. جرم بزرگترین ستاره‌ها صدها برابر جرم خورشید ما و جرم کوچکترین آن‌ها صدها بار کم‌تر از جرم خورشید ماست. به‌علاوه، اگر جرم خورشید ما، با همین فاصله از زمین، تنها ۲۰ درصد کم‌تر یا بیش‌تر باشد، سطح زمین یا سردتر از سطح فعلی مریخ و یا داغ‌تر از سطح فعلی زهره خواهد بود.

معمولاً دانشمندان محدوده قابل سکونت برای حیات را در هر ستاره، به‌صورت منطقه باریکی دور آن تعریف می‌کنند که در آن دما به گونه‌ای است که آب بتواند به‌صورت مایع وجود داشته باشد. این منطقه قابل سکونت را گاهی منطقه گولدیلاکس<sup>۱</sup> (آدم موطلابی) می‌نامند. زیرا، اینکه آب بتواند به‌صورت مایع وجود داشته باشد، به معنای مقدار صحیح دمای سیاره برای به‌وجود آمدن حیات هوشمند است. محدوده قابل سکونت در منظومه شمسی ما که در شکل زیر به‌تصویر کشیده شده است، بسیار باریک و کوچک است. خوشبختانه برای افرادی از بین ما که شکل هوشمند حیات می‌شوند، زمین در این محدوده قرار گرفته است!

نیوتون عقیده داشت که منظومه شمسی ما، «صرفاً از طریق قوانین طبیعت، سر از آشوب در نیآورده است.» در عوض او باور داشت «نظم موجود در جهان، در ابتدا به‌وسیله خداوند ایجاد شده و تا به امروز در همان حالت و شرایط حفظ شده است». درک دلیل چنین تصویری آسان است. اگر منظومه شمسی ما تنها منظومه موجود در جهان باشد، در این‌صورت وقوع این اتفاقات متعدد غیرمحتمل که دست به دست هم داده و با برنامه‌ای مساعد برای زندگی انسان، وجود ما را امکان‌پذیر ساخته‌اند، واقعاً حیرت‌انگیز خواهد بود. اما در سال ۱۹۹۲، اولین مشاهدات مبنی بر وجود سیاره‌ای که به دور خورشیدی غیر از خورشید ما در حال چرخش است، تایید شد. ما هم‌اکنون صدها عدد از چنین سیاراتی را می‌شناسیم و

1. Goldilocks zone





به وجود آمدن انسان، ناچار باید این روند پیشرفت درست و دقیق انجام گرفته باشد.

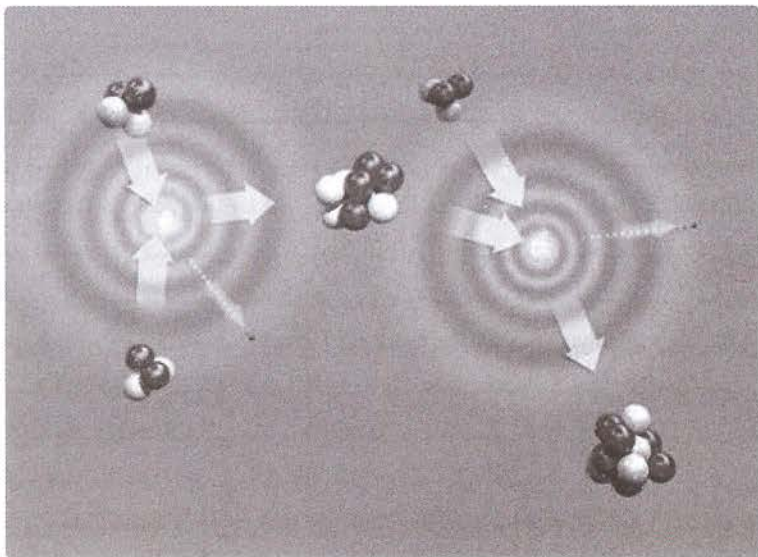
یکی از اولین کسانی که دریافت این موضوع می تواند معیار خوبی برای خوش اقبالی ما باشد، فرد هویل در دهه ۱۹۵۰ بود. هویل عقیده داشت که تمام عناصر شیمیایی اساساً از هیدروژن نشأت گرفته اند که به عقیده او عنصر ابتدایی جهان است. هیدروژن، دارای ساده ترین هسته اتمی، شامل تنها یک پروتون است که به تنهایی و یا در ترکیب با یک یا دو نوترون ظاهر می شود. (اشکال مختلف هیدروژن و یا هر هسته دیگری، با تعداد پروتون ثابت و نوترون های متفاوت، ایزوتوپ های آن عنصر نامیده می شوند.) امروزه ما می دانیم اتم های هلیوم و لیتیم نیز که هسته آن ها شامل دو یا سه پروتون هستند، زمانی که عمر جهان تنها در حدود ۲۰۰ ثانیه بوده است، ابتدائاً در مقادیر بسیار کمی سنتز (ترکیب) شده اند. از طرف دیگر حیات، به عناصر پیچیده تر وابسته است. در میان همه آن ها، کربن از همه مهم تر است، عنصری که پایه شیمی آلی محسوب می شود.

با اینکه وجود ارگانیسم های «زنده» مثل کامپیوترهای هوشمند که از عناصر دیگری مثل سیلیکون تشکیل شوند، قابل تصور است، با این حال شکل گیری خود به خود حیات بدون وجود کربن بعید به نظر می رسد. دلایل این امر فنی است و احتمالاً به رفتار منحصر به فرد کربن در ترکیب با عناصر دیگر مربوط می شود. به عنوان مثال، دی اکسید کربن در دمای اتاق گاز است و از نظر زیستی بسیار مفید. از آنجا که سیلیکون در جدول تناوبی دقیقاً زیر کربن قرار دارد، دارای ویژگی های شیمیایی مشابه است. با این حال، دی اکسید سیلیکون، کوارتز، در شکل گیری سنگ ها نقش موثرتری دارد تا در ساختار شکل گیری شش ها. با این وجود شاید اشکال دیگری از حیات می توانستند در سیلیکون تکامل یابند و در استخرهایی از آمونیاک مایع شنا کنند. حتی این حیات سمی نیز نمی توانست تنها از عناصر ابتدایی تکامل یابد. زیرا آن عناصر تنها می توانند دو ترکیب پایدار داشته باشند، اول هیدرید لیتیم، که کریستالی جامد و بی رنگ است و دوم

در اینجا به آن می پردازیم. بر طبق اصل انسانی قوی، این حقیقت که ما وجود داریم، نه فقط بر روی محیط ما بلکه بر روی شکل و محتویات محتمل قوانین طبیعت محدودیت هایی تحمیل می کند. ایده این است که تنها خصوصیات ویژه منظومه شمسی ما نیست که به طور عجیبی برای حیات انسان مناسب است، بلکه خصوصیات کل جهان ما این گونه است، که توضیح آن بسیار مشکل تر است.

این داستان که چگونه جهان اولیه شامل هیدروژن، هلیوم و مقدار اندکی لیتیم به جهانی تکامل پیدا کرد که حداقل در یک مورد دارای حیات هوشمند است، داستانی است با فصل های متعدد. همان طور که قبلاً گفتیم، نیروهای طبیعت باید به گونه ای می بودند که عناصر سنگین تر — مخصوصاً کربن — بتوانند از عناصر نخستین تولید شده و برای حداقل میلیاردها سال به صورت پایدار باقی بمانند. عناصر سنگین در کوره هایی به نام ستارگان شکل گرفتند. بنابراین واضح است که نخست باید امکان شکل گیری ستارگان و کهکشان فراهم شده باشد. آشفته گی های کوچک در جهان اولیه رشد کردند، جهانی که تقریباً یکنواخت و خوشبختانه شامل تغییرات چگالی در حدود ۱ در ۱۰۰,۰۰۰ بوده است. با این حال، وجود ستارگان حاوی عناصری که ما از آن ها تشکیل شده ایم، به تنهایی کافی نیست. نیروی درونی ستارگان باید به گونه ای باشد که در نهایت برخی از آن ها منفجر شوند. و حتی بیش تر، به شیوه ای چنان دقیق منفجر شوند که بتوانند عناصر سنگین تر فضا را تامین کنند. علاوه بر این، قوانین طبیعت باید به گونه ای باشند که باقیمانده های این فرآیند مجدداً بتوانند به صورت نسل جدیدی از ستاره ها تراکم یابند، همراه با سیاراتی که شامل عناصر سنگین تازه شکل گرفته هستند و به دور آن ها می چرخند. همان طور که باید رویدادهای مشخصی در جهان اولیه اتفاق افتاده باشد، تا امکان به وجود آمدن انسان ها را فراهم کند، در مورد هریک از حلقه های دیگر زنجیره نیز به همین ترتیب است. اما رویدادهایی که منجر به تکامل جهان ما شده اند، از طریق برقراری تعادل بین نیروهای بنیادی طبیعت کنترل می شوند و برای





فرآیند سه گانه آلفا. کربن از برخورد سه هسته هلیوم در ستارگان ساخته می شود، رویدادی که اگر به دلیل ویژگی خاصی از قوانین فیزیک هسته ای نبود، بسیار غیر محتمل می بود.

فرآیند ساخت کربن، فرآیند سه گانه آلفا نامیده می شود، زیرا «ذره آلفا» نام دیگر هسته ایزوتوپ هلیوم است که در فرآیند شرکت می کند و در این فرآیند سه تا از این ایزوتوپ ها با هم ترکیب می شوند. طبق پیش بینی فیزیک متعارف، نرخ تولید کربن از طریق این فرآیند، بسیار کم است. در سال ۱۹۵۲ هویل پیش بینی کرد که مجموع انرژی های یک هسته بریلیم و یک هسته هلیوم باید دقیقاً برابر با انرژی یک حالت کوانتومی مشخص از ایزوتوپ کربن حاصله باشد، وضعیتی که رزونانس (تشدید) نام دارد و سرعت یک واکنش هسته ای را به شدت افزایش می دهد. در آن زمان، چنین سطحی از انرژی ناشناخته بود. اما براساس پیشنهاد هویل، ویلیام فاولر از دانشگاه کلتیک به جستجو پرداخت و آن را یافت و به این ترتیب در تایید دیدگاه هویل در مورد چگونگی ایجاد هسته های سنگین قدم بزرگی برداشته شد.

هویل نوشته است «به عقیده من هر دانشمندی با بررسی شواهد موجود،

گاز هیدروژن، که هیچ کدام از آن ها قادر نیستند تولید مثل کنند و یا حتی عاشق شوند. به علاوه، این حقیقت وجود دارد که ما شکل کربنی حیات هستیم و این سؤال پیش می آید که کربن با شش پروتون در هسته خود و دیگر عناصر سنگین بدن ما، چگونه ایجاد شده اند.

قدم اول آن است که ستارگان پیرتر شروع به انباشتن هلیوم می کنند. هلیوم زمانی تولید می شود که دو هسته هیدروژن با هم برخورد کرده و در هم ذوب می شوند. آنچه ما را گرم می کند، انرژی ناشی از این همجوشی هسته ای در ستارگان است. به همین ترتیب، دو اتم هلیوم با هم برخورد کرده و بریلیم ساخته می شود، اتمی که در هسته دارای چهار پروتون است. وقتی بریلیم ساخته شد، باید اصولاً بتواند با هسته هلیوم سومی همجوشی کند و هسته کربن بسازد. اما این اتفاق نمی افتد، زیرا ایزوتوپ بریلیم حاصله، فوراً به هسته هلیوم تجزیه می شود.

وقتی محتویات هیدروژن یک ستاره رو به پایان می رود، وضعیت فرق می کند. در این حالت هسته ستاره فرو می ریزد تا اینکه دمای مرکز آن به حدود ۱۰۰ میلیون درجه کلوین برسد. در این شرایط، برخورد هسته ها با یکدیگر بیش تر می شود و برخی هسته های بریلیم، قبل از اینکه متلاشی شوند، با هسته هلیوم برخورد می کنند. در این صورت هلیوم می تواند با بریلیم ترکیب شده و ایزوتویی از کربن را بسازند که پایدار است. اما این کربن هنوز تا اشکال پیچیده تر ترکیبات شیمیایی، از نوعی که می توانند از نوشیدنی لذت ببرند، شعبده بازی کنند و در مورد جهان سؤال بپرسند، فرسنگ ها فاصله دارد. برای اینکه موجوداتی مثل انسان ها وجود داشته باشند، کربن باید از درون ستاره به سکونت گاهی مهربان تر پناه ببرد. همان طور که گفتیم این حالت زمانی رخ می دهد که ستاره، در پایان دوره زندگی خود، به صورت یک ابرنواختر منفجر شده و کربن و دیگر عناصر سنگین را پراکنده کند تا بعدها به صورت سیاره متراکم شوند.

به این نتیجه دست می‌یابد که قوانین فیزیک هسته‌ای عمداً و با در نظر گرفتن عواقبی که درون ستارگان ایجاد می‌کنند، طراحی شده‌اند. در آن زمان هیچ‌کس به اندازه کافی در مورد فیزیک هسته‌ای نمی‌دانست تا بتواند میزان خوش اقبالی موجود را که منجر به این قوانین دقیق فیزیک شده‌اند، درک کند. در سال‌های اخیر فیزیکدانان، در جستجوی صحت اصل انسانی قوی، از خود پرسیده‌اند اگر قوانین طبیعت متفاوت بودند، جهان چگونه می‌بود. امروزه می‌توان با کمک شبیه‌سازی‌های کامپیوتری، نحوه وابستگی سرعت واکنش سه گانه آلفا را به قدرت نیروهای بنیادی طبیعت تعیین کرد. چنین محاسباتی نشان می‌دهند که تنها تغییر ۰/۵ درصدی در قدرت نیروی هسته‌ای قوی و یا ۴ درصدی در نیروی الکتریکی، تقریباً تمام کربن و یا تمام اکسیژن موجود در هر ستاره را نابود خواهد کرد و در نتیجه احتمال حیات را آنگونه که ما می‌شناسیم، از بین می‌برد. کافی است قوانین جهان را اندکی تغییر دهید، در این صورت شرایط برای وجود ما از بین می‌روند!

در بررسی جهان‌های شبیه‌سازی شده، زمانی که نظریات فیزیکی به شیوه‌های مشخصی تغییر داده می‌شوند، می‌توان تاثیر تغییرات را بر روی قوانین فیزیکی، به شیوه‌ای روشمند، مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان می‌دهند که تنها قدرت نیروی هسته‌ای قوی یا نیروی الکترومغناطیسی نیست که وجود ما را محقق ساخته است، بلکه به نظر می‌رسد در نظریات ما، اغلب ثوابت بنیادی آن‌چنان دقیق تنظیم شده‌اند، که اگر تنها به میزان اندکی از مقدار دقیق خود منحرف شوند، جهان از لحاظ کیفی، متفاوت و در بسیاری از موارد برای شکل‌گیری حیات نامناسب می‌شود. به عنوان مثال، اگر قدرت نیروی هسته‌ای ضعیف، ضعیف‌تر می‌بود، در جهان ابتدایی تمام هیدروژن موجود در گستره کیهان به هلیوم تبدیل می‌شد و در نتیجه ستارگان معمولی به وجود نمی‌آمدند. از طرف دیگر، اگر این نیرو قوی‌تر می‌بود، لایه‌های بیرونی ابرنواخترها به بیرون پرتاب نمی‌شد و بنابراین فضای بین ستاره‌ای با عناصر سنگین که برای پرورش حیات در سیارات

ضروری‌اند، تغذیه نمی‌شد. اگر پروتون‌ها تنها به میزان ۲ درصد سنگین‌تر بودند، به نوترون واپاشی می‌کردند و موجب بی‌ثباتی اتم‌ها می‌شدند. اگر مجموع جرم انواع گوناگون کوارک که یک پروتون را می‌سازند فقط ۱۰ درصد تغییر می‌کرد، تعداد اندکی هسته اتمی پایدار وجود می‌داشت. در حقیقت به نظر می‌رسد مجموع جرم کوارک‌ها برای وجود بیش‌ترین تعداد هسته‌های پایدار بهینه‌سازی شده است.

اگر بپذیریم که شرط لازم برای شکل‌گیری حیات منظومه‌ای، وجود مداری پایدار در طول چند صد میلیون سال است، باید گفت که تعداد ابعاد فضا نیز در موافقت با وجود ما تعیین شده است. زیرا بر طبق قوانین گرانش، تنها در فضای سه بُعدی مدارات پایدار بیضی شکل امکان پذیرند. در فضاهایی با تعداد ابعاد دیگر، مدارات دایره‌ای امکان پذیرند، ولی همان‌طور که نیوتون می‌گفت، ناپایدار هستند. در هر تعداد بُعد، به جز سه، حتی آشفتگی‌های اندک، مثلاً آثار گرانش سیارات دیگر، سیاره را از مدار دایره‌ای خود خارج کرده و باعث می‌شود به صورت مارپیچ از خورشید دور شود و یا به درون آن بیفتد. همچنین در بیش از سه بُعد، نیروی گرانش بین دو جرم، سریع‌تر کاهش می‌یابد. در سه بُعد، با دو برابر کردن فاصله، نیروی گرانش یک چهارم می‌شود، در حالیکه در چهار بُعد، به یک هشتم و در پنج بُعد به یک شانزدهم مقدار خود تقلیل می‌یابد. در نتیجه، در بیش از سه بُعد، خورشید قادر نیست در حالتی پایدار، به گونه‌ای که فشار درونی آن با گرانش در تعادل باشد، باقی بماند. در این حالت خورشید یا متلاشی می‌شود و یا فروپاشیده، به یک سیاهچاله تبدیل می‌شود (در هر حالت می‌تواند روز شما را خراب کند). در مقیاس اتمی، نیروهای الکتریکی همانند نیروی گرانش رفتار می‌کنند. یعنی الکترون‌های اتم یا فرار می‌کنند یا روی هسته می‌افتند، که در هیچ‌کدام از این حالات وجود اتمی که ما می‌شناسیم امکان پذیر نیست.

به نظر می‌رسد پیدایش ساختارهای پیچیده‌ای که از مشاهده‌گران هوشمند حمایت کنند، بسیار شکننده است. قوانین طبیعت منجر به



شکل‌گیری سیستمی شده‌اند که دارای تنظیمات دقیقی است و برای اینکه احتمال حیات به گونه‌ای که هم‌اکنون می‌شناسیم از بین نرود، تنها می‌توان تغییراتی فوق‌العاده اندک در این قوانین ایجاد کرد. به نظر می‌رسد اگر دنباله‌ای از اتفاقات هم‌زمان و شگفت‌انگیز در جزئیات دقیق قوانین فیزیکی نبود، انسان‌ها و همچنین اشکال مشابه حیات، هرگز امکان وجود نمی‌یافتند. تنظیمات دقیق هم‌زمان در پارامتری به نام ثابت کیهانی در معادلات نسبیت عام اینشتین، از همه تأثیرگذارتر است. همان‌طور که گفتیم در سال ۱۹۱۵، زمانی که اینشتین نظریه خود را صورت‌بندی می‌کرد، عقیده داشت که جهان ایستا است، یعنی نه در حال انبساط است و نه در حال انقباض. از آنجا که تمام مواد یکدیگر را جذب می‌کنند، او در نظریه خود نیروی جدید ضد گرانش را معرفی کرد تا بتواند به کمک آن با گرانش جهان به منبع خاصی ندارد، بلکه از خواص خود ساختار فضا-زمان است. ثابت کیهانی، قدرت این نیرو را نشان می‌دهد.

وقتی کشف شد که جهان ایستا نیست، اینشتین ثابت کیهانی را از نظریه خود حذف کرد و آن را بزرگترین اشتباه زندگی خود نامید. اما در سال ۱۹۹۸، مشاهده ابرنواختران بسیار دور آشکار کرد که جهان با سرعتی رو به رشد در حال انبساط است، اثری که بدون وجود نوعی نیروی دافعه غیرممکن است. این‌گونه بود که ثابت کیهانی مجدداً احیا شد. از آنجا که امروز می‌دانیم که مقدار آن صفر نیست، این سؤال باقی می‌ماند که چرا این ثابت، دارای چنین مقداری است؟ فیزیکدانان با طرح مباحثی توضیح می‌دهند که چگونه ممکن است این ثابت از اثرات مکانیک کوانتومی نشأت گرفته باشد. اما مقداری که محاسبه می‌کنند به میزان ده به توان ۱۲۰ (یک با ۱۲۰ صفر جلوی آن) برابر قوی‌تر از مقدار واقعی است که از مشاهده ابرنواختران به دست آمده است. یعنی یا استدلال به کار رفته در محاسبات اشتباه بوده یا اثرات دیگری وجود دارند که به نحوی معجزه‌گونه عدد را به کسر کوچک غیر قابل‌تصور از عدد اصلی محاسبه شده می‌رسانند.

چیزی که قطعی است این است که اگر مقدار ثابت کیهانی خیلی بزرگتر از این باشد، قبل از اینکه کهکشان بتوانند شکل بگیرند، جهان ما منفجر شده و در این صورت نیز حیاتی که می‌شناسیم غیر ممکن می‌شود.

این اتفاقات هم‌زمان به ما چه می‌گویند؟ خوش‌شانسی در شکل و طبیعت دقیق قوانین بنیادی فیزیک، با خوش‌اقبالی در عوامل محیطی تفاوت دارد. توضیح این مسئله آسان نیست و در مورد آن تعبیر فیزیکی و فلسفی بسیار عمیقی وجود دارند. به نظر می‌رسد که جهان ما و قوانین آن، با طرحی از پیش تعیین شده، به گونه‌ای شکل گرفته است که وجود ما را محقق سازد. به علاوه، اگر می‌خواهیم وجود داشته باشیم، ناچار باید بپذیریم که در این طرح، جای کمی برای تغییر گذاشته شده است. توضیح این مسئله آسان نیست و این سؤال طبیعی را بر می‌انگیزد که چرا این‌گونه است.

بسیاری از افراد مایلند که ما این امر را گواهی بر کار خداوند بدانیم. این ایده که جهان طراحی شده تا منزلگاه انسان‌ها باشد، هزاران سال است که در علوم دینی و اساطیری مشاهده می‌شود. در حکایات تاریخی-اساطیری قوم مایا، موسوم به پوپول وو، خداوندان می‌گویند، «ما از انسان‌ها، آنچه خلق کرده و شکل داده‌ایم و قدرت درک به آن‌ها عطا کردیم، نه افتخار طلب می‌کنیم و نه احترام.» در یکی از متون مصری که به ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح باز می‌گردد، نوشته شده است، «انسان‌ها، گله‌های خداوند، به‌خوبی مهیا شده‌اند. او [خدای خورشید] آسمان و زمین را برای آن‌ها آفرید.» در چین، فیلسوف تائوئیست، لیه یو کو (۶۰۰ سال پیش از میلاد مسیح)، ایده خود را از طریق شخصیتی درون یک داستان بیان می‌کند که می‌گوید، «کائنات، پنج نوع دانه می‌سازد تا رشد کنند و مخصوص ما، گونه‌های پردار و باله‌دار را می‌آفریند.»

در روایت غربی داستان خلقت، در کتب عهد عتیق، ایده طراحی آینده‌نگر مطرح می‌شود. اما دیدگاه مسیحیان قدیمی، به شدت تحت تأثیر ارسطو بوده است، «کسی که به دنیای طبیعی هوشمندی اعتقاد داشت که بر طبق طرح و هدف‌های از پیش تعیین شده کار می‌کند.» خداشناس مسیحی

قرون وسطی، توماس آکوئیناس، ایده ارسطو را مبنی بر نظم موجود در طبیعت، به عنوان دلیلی بر وجود خدا به کار بست. در قرن هجدهم، خداشناس مسیحی دیگری حتی فراتر رفته، تا جایی که گفته است، دم خرگوش برای این سفید است که ما انسان‌ها راحت‌تر بتوانیم به آن شلیک کرده و آن را شکار کنیم! تنها چند سال پیش، تصویر مدرن‌تری از دیدگاه مسیحیت ارائه شد. کاردینال کریستوف شونبورن، اسقف اعظم وین، نوشته است، «هم‌اکنون در ابتدای قرن بیست و یکم، در مواجهه با ادعاهای علمی مثل نظریه‌های نئوداروینیسم و جهان‌های چندگانه در کیهان‌شناسی، که همه ساخته شده‌اند تا از شواهد قدرتمند مبنی بر وجود طرح و هدف در علم جدید حذر کنند، کلیسای کاتولیک بار دیگر با اعلام اینکه طرح از پیش تعیین شده جاری در تمام طبیعت حقیقت دارد، از سرشت انسان دفاع می‌کند.» در کیهان‌شناسی، گواه قدرتمند بر ادعای کاردینال در وجود طرح و هدف از پیش تعیین شده، تنظیم دقیق قوانین فیزیکی است که در بالا به آن‌ها اشاره کردیم.

نقطه عطف در رد علمی جهان انسان-مرکز، زمانی رخ داد که کپرنیک مدل خود را از منظومه شمسی ارائه کرد که در آن دیگر زمین در مرکز جهان قرار نداشت. جهان‌بینی کپرنیک، خود دارای شکلی انسانی است. تا آنجا که او علیرغم ارائه مدل خورشید-مرکز، زمین را تقریباً در مرکز جهان قرار می‌دهد: «اگرچه [کره زمین] در مرکز جهان قرار ندارد، با این وجود فاصله آن [تا مرکز] مخصوصاً در مقایسه با فاصله ستارگان ثابت، تقریباً هیچ است.» اختراع تلسکوپ و رصدهای قرن هفدهم، مثلاً اینکه سیاره ما تنها سیاره‌ای نیست که ماه دارد، این اصل را که ما در جهان جایگاه ویژه‌ای نداریم، تقویت کرد. از آن به بعد، هرچه انسان‌ها بیش‌تر در مورد جهان دانستند، این نتیجه‌گیری تقویت شد که ما احتمالاً تنها در یک سیاره معمولی به سر می‌بریم. اما مخصوصاً کشف‌های اخیر در مورد تنظیم دقیق بسیاری از قوانین طبیعت، می‌تواند حداقل برخی از ما را به همان ایده قدیمی بازگرداند که این طرح بزرگ کار نوعی طراح بزرگ است. از آنجا

که قانون اساسی ایالات متحده، آموزش مذهب را در مدارس ممنوع کرده است، به این دیدگاه، «طراحی هوشمند» می‌گویند که بدون ذکر نام، تلویحاً می‌فهماند که طراح خداوند است.

پاسخ علم مدرن این نیست. در بخش ۵ دیدیم که ظاهراً جهان ما یکی از جهان‌های بسیاری است که هر کدام قوانین متفاوتی دارند. ایده جهان‌های چندگانه، در پاسخ به معجزه تنظیمات دقیق ساخته نشده، بلکه همانند بسیاری از نظریات کیهان‌شناسی جدید، پیامد شرایط بدون مرز است. اما در صورتیکه این امر صحیح باشد، اصل انسانی قوی عملاً هم‌ارز اصل ضعیف است، به این ترتیب که تنظیمات دقیق قوانین فیزیکی در همان جایگاه فاکتورهای محیطی قرار می‌گیرد. زیرا درست همان‌طور که منظومه ما یکی از منظومه‌های متعدد موجود در جهان است، منزل کیهانی ما — تمام جهان قابل رؤیت — نیز تنها یکی از جهان‌های متعدد است. یعنی درست همان‌طور که آگاهی ما از وجود میلیون‌ها سیستم منظومه‌ای مشابه، از اهمیت وقایع موافق محیطی می‌کاهد، تنظیمات دقیق موجود در قوانین طبیعت را نیز می‌توان با وجود جهان‌های چندگانه توضیح داد. بسیاری از افراد در طول سال‌ها، زیبایی و پیچیدگی طبیعت را که در آن زمان دلیل علمی نداشتند، به آفریننده نسبت داده‌اند. اما درست مشابه یافته‌های داروین و والاس، مبنی بر اینکه چگونه طرح اعجازگونه اشکال مختلف موجودات زنده می‌تواند بدون دخالت موجودی برتر به وجود آید، به همین ترتیب مفهوم جهان‌های چندگانه نیز می‌تواند تنظیمات دقیق قوانین فیزیکی را بدون فرض وجود خالق خیراندیش، توضیح دهد.

اینشتین خطاب به دستیارش ارنست اشتراوس، این گونه نوشته است، «آیا خداوند هنگام آفرینش جهان، انتخاب دیگری نیز داشته است؟» در اواخر قرن شانزدهم، کپلر معتقد بود که خداوند جهان را طبق برخی اصول دقیق و کامل ریاضی ساخته است. نیوتون نشان داد، همان قوانین حاکم بر آسمان‌ها، بر زمین نیز حاکم‌اند. او برای توضیح آن قوانین، چنان معادلات ظریف و زیبایی ارائه کرد که الهام بخش اشتیاق به مذهب در بسیاری از



دانشمندان قرن هجدهم شد. آن‌ها قصد داشتند با کمک این معادلات ثابت کنند خداوند ریاضیدان بوده است.

از زمان نیوتون تاکنون، و مخصوصاً از زمان اینشتین، هدف علم فیزیک یافتن اصول ریاضی ساده از نوعی است که کپلر به تصویر کشیده و استفاده از این اصول ریاضی برای ساخت نظریه‌ای یکپارچه برای همه چیز است که پاسخگوی تمام جزئیات مربوط به مواد و نیروهای موجود در طبیعت باشد. در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، مکسول و اینشتین، نظریات الکتریسیته، مغناطیس و نور را با هم یکپارچه کردند. در دهه ۱۹۷۰، مدل استاندارد ایجاد شد، نظریه‌ای شامل نیروهای هسته‌ای قوی و ضعیف، و نیروی الکترومغناطیسی. سپس، در تلاش برای گنجاندن نیروی دیگر یعنی گرانش، نظریه ریسمان‌ها و  $M$  پدید آمدند. هدف یافتن نظریه‌ای نبود که فقط نیروها را توضیح دهد، بلکه نظریه‌ای مورد نظر بود که بتواند اعداد بنیادی را نیز توضیح دهد، مثل قدرت نیروها، جرم و بار ذرات بنیادی. همان‌طور که اینشتین برای اولین بار مطرح کرد، امید می‌رفت که بتوان گفت، «طبیعت چنان ساخته شده که منطقاً امکان وضع چنین قوانین متعینی در آن وجود دارد، قوانینی که تحت حاکمیت آن‌ها تنها ثوابت معقول رخ می‌دهند (نه صرفاً ثوابت، یعنی بتوان مقادیر عددی آن‌ها را، بدون تخریب نظریه، تغییر داد).» یک نظریه منحصر به فرد، زمانی نامحتمل است که دارای تنظیمات دقیقی باشد که این تنظیمات به ما امکان وجود بدهند. اما اگر در پرتو پیشرفت‌های اخیر، رویای اینشتین را به صورت نظریه منحصر به فردی تعبیر کنیم که بتواند این جهان و جهان‌های دیگر را، به همراه طیف کامل قوانین مختلف آن‌ها توضیح دهد، در این صورت نظریه  $M$  می‌تواند همان نظریه باشد. اما آیا نظریه  $M$  منحصر به فرد است؟ آیا لازمه هر اصل منطقی ساده است؟ آیا می‌توان به این سؤال پاسخ داد که چرا نظریه  $M$ ؟

## طرح بزرگ

## فصل ۸

در این کتاب دیدیم که چگونه نظم حرکت اجرام کیهانی، مثل خورشید، ماه و سیارات نشان می‌دهد که این اجرام، به جای این‌که بازیچه میل خداوندان و شیاطین متعدد باشند، از طریق قوانین معینی اداره می‌شوند. این قوانین در ابتدا تنها در علم ستاره‌شناسی ظهور پیدا کردند. رفتار اجرام بر روی زمین چنان پیچیده و تابع چنان اثرات متعددی است که تمدن‌های اولیه قادر به تشخیص هیچ الگوی صریح و روشن از قوانین حاکم بر آن‌ها نبودند. با این حال به تدریج قوانین جدید در حوزه‌هایی غیر از ستاره‌شناسی نیز کشف شدند و ایده جبرگرایی علمی شکل گرفت: مجموعه کاملی از قوانین باید وجود داشته باشند که به کمک آن‌ها بتوان، با داشتن حالت جهان در زمانی مشخص، نحوه پیشروی جهان را از آن به بعد تعیین کرد. این قوانین باید در هر مکان و زمانی صادق باشند، در غیر این صورت دیگر نمی‌توان آن‌ها را قانون نامید. به این ترتیب، هیچ استثناء و معجزه‌ای وجود نخواهد داشت و حتی خداوندان و شیاطین متعدد نیز قادر نیستند در حرکت جهان مداخله کنند.

زمانی که برای اولین بار جبرگرایی علمی مطرح شد، قوانین حرکت و گرانش نیوتون تنها قوانین شناخته شده بودند. دیدیم چگونه این قوانین در نظریه نسبیت عام اینشتین، توسعه یافتند و چگونه قوانین دیگری کشف شدند تا وجوهی دیگر از جهان را به تسلط خود درآورند.

درست است که قوانین طبیعت بیان می‌کنند که جهان چگونه رفتار می‌کند، اما به این سؤال پاسخ نمی‌دهند که چرا؟ سوالاتی که در ابتدای این کتاب مطرح کردیم را به خاطر آورید:

چرا به جای هیچ، چیزی هست؟  
چرا ما وجود داریم؟  
چرا این قوانین و نه قوانین دیگری؟

برخی چنین پاسخ می‌دهند: خداوندی وجود دارد که اراده کرده جهان را به این شکل بیافریند. این سؤال منطقی است که چه کسی یا چه چیزی این جهان را آفریده است، اما اگر پاسخ این سؤال خداوند باشد، در این صورت سؤال به این ترتیب تغییر شکل می‌یابد که خداوند را چه کسی آفریده است. در این دیدگاه، هویت مستقلی مطرح می‌شود که نیازی به آفریننده ندارد و او همان خداوند است. این همان برهان علیت است که برای اثبات وجود خداوند به کار می‌رود. با این وجود، امکان دارد ما بتوانیم تنها با استناد به علم محض، به این سوالات پاسخ دهیم.

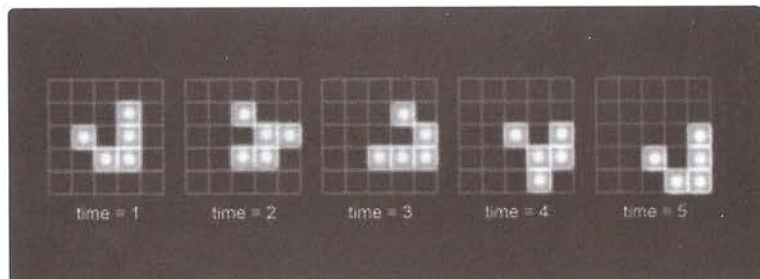
بر طبق ایده واقع‌گرایی وابسته به مدل که در بخش ۳ معرفی کردیم، مغز ما از طریق ایجاد یک مدل برای جهان بیرونی، ورودی‌های اندام حسی را تفسیر می‌کند. ما در ذهن خود، مفاهیمی از خانه، درختان، افراد دیگر، الکتریسیته جاری در سیم برق، اتم‌ها، مولکول‌ها و دیگر جهان‌ها را شکل می‌دهیم. این مفاهیم ذهنی، تمام واقعیات فیزیکی هستند که می‌دانیم. هیچ روش مستقل از مدلی برای آزمودن واقعیت فیزیکی وجود ندارد. یعنی درحقیقت، یک مدل با ساختار خوب، واقعیت فیزیکی مختص به خود را ایجاد می‌کند. مثالی که به ما در تفکر راجع به واقعیات فیزیکی و خلقت کمک می‌کند، «بازی زندگی» (Game of Life) است، که در سال ۱۹۷۰ به وسیله ریاضیدان جوانی به نام جان کانوی در دانشگاه کمبریج ابداع شد. کلمه «بازی» در بازی زندگی، کلمه‌ای گمراه‌کننده است. برنده یا بازنده‌ای وجود ندارد، درحقیقت بازیکنی وجود ندارد. بازی زندگی، در اصل یک بازی نیست، بلکه مجموعه‌ای از قوانین است که بر جهانی دو بعدی حاکمند. در واقع این یک دنیای جبری است: هربار که وضعیتی ابتدایی یا شرایط اولیه را برقرار می‌کنیم، قوانین موجود تعیین می‌کنند که در آینده چه اتفاقی می‌افتد. دنیایی که کانوی به تصویر کشیده است، مثل تخته شطرنج، یک آرایه

دو بعدی متشکل از تعدادی مربع است که البته در تمام جهات تا بی‌نهایت ادامه دارد. هر مربع می‌تواند دو حالت داشته باشد: زنده (روشن) و مرده (خاموش). هر مربع دارای هشت همسایه است، همسایه‌های بالا و پایین، چپ و راست و چهار همسایه قطری (یعنی همسایگانی که در جهت قطرهای مربع قرار دارند). زمان در این جهان پیوسته نیست، بلکه در پله‌های گسسته پیش می‌رود. با داشتن هر ترکیب ابتدایی از مربع‌های زنده و مرده، براساس قوانین زیر، تعداد همسایگان زنده می‌تواند حالت سیستم را در مرحله بعد تعیین کند:

۱. مربع زنده‌ای با دو یا سه همسایه زنده، زنده می‌ماند (بقاء).
  ۲. یک مربع مرده، دارای دقیقاً سه همسایه زنده، به یک سلول زنده تبدیل می‌شود (تولد).
  ۳. در تمام موارد دیگر، سلول مرده و یا در حالت مرده باقی می‌ماند. در حالتی که مربع زنده، همسایه زنده‌ای نداشته و یا تنها یک همسایه زنده دارد، می‌گویند از تنهایی مرده است و اگر بیش از سه همسایه زنده داشته باشد، گفته می‌شود از ازدحام مرده است.
- همه بازی همین است: با دانستن ترکیب اولیه سلول‌ها و اعمال قوانین فوق، نسل‌ها یکی پس از دیگری ایجاد می‌شوند. یک مربع زنده منزوی و دو مربع زنده همجوار، هر دو در نسل بعد می‌میرند. زیرا به اندازه کافی همسایه ندارند. سه مربع زنده، که به صورت قطری در کنار هم قرار گرفته باشند، کمی بیش‌تر زنده می‌مانند. پس از اولین مرحله، دو مربع کناری مرده و مربع وسط تنها باقی می‌ماند، که آن هم در نسل بعد خواهد مرد. به همین ترتیب، هر خط قطری از مربع‌های زنده، در نهایت می‌میرد. اما اگر سه مربع زنده، به‌طور افقی در یک سطر قرار داشته باشند، باز هم مربع وسط زنده مانده و کناری‌ها می‌میرند. اما در این حالت، سلول‌های بالایی و پایینی سلول وسطی متولد می‌شوند. در این صورت، سطر موجود به ستون تبدیل می‌شود. در نسل بعد، ستون به سطر تبدیل می‌شود و الی آخر. این ترکیبات تکرار شونده، چشمک زن نامیده می‌شوند.



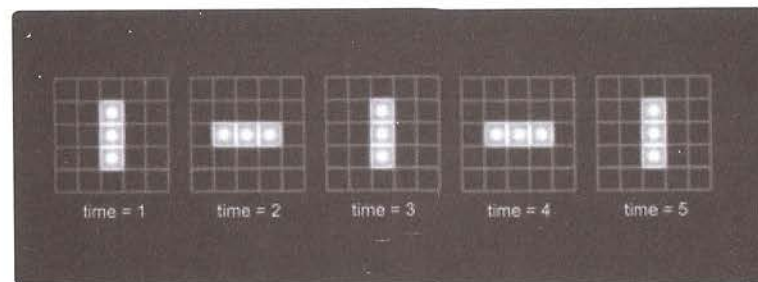
ولی این بار در مکانی که یک مربع قطری پایین تر از محل ابتدایی خود است. اگر به این روند پیشرفت در طول زمان نگاه کنید، به نظر می رسد که اشکال موجود در طول آرایه حرکت می کنند. وقتی این گلایدرها با هم برخورد می کنند، حین برخورد با یکدیگر بسته به شکل شان، رفتار عجیبی روی می دهد.



گلایدرها. اشیائی هستند که پس از گذر از حالات میانی، به شکل ابتدایی و اصلی خود باز می گردند، با این تفاوت که از نظر مکانی، به اندازه یک مربع قطری پایین آمده اند.

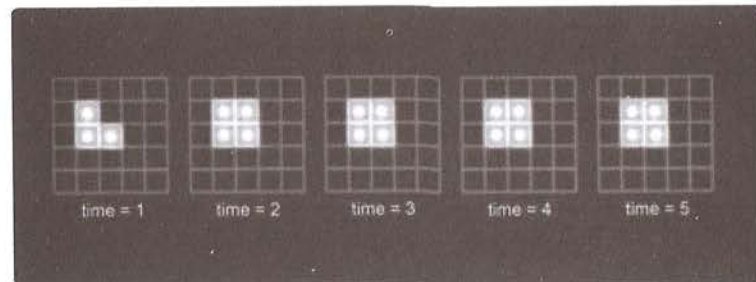
نکته مهیج در مورد چنین جهانی این است که اگرچه فیزیک بنیادی حاکم بر آن ساده است، با این حال می تواند شیمی پیچیده ای داشته باشد. یعنی اشیاء مرکب می توانند در مقیاس های مختلف وجود داشته باشند. در کوچک ترین مقیاس فیزیک بنیادی، تنها مربع های زنده و مرده وجود دارند. در مقیاس بزرگ تر، گلایدرها، چشمک زن ها و طبیعت بی جان وجود دارند. در مقیاس حتی بزرگ تر، اشیاء پیچیده تری مثل تفنگ گلايدر وجود دارند: الگوهای ثابت که به طور متناوب گلایدرهای جدید تولید می کنند که آشیانه را ترک می کنند و به صورت قطری به حرکت ادامه می دهند.

اگر برای مدتی به جهان بازی زندگی در هر مقیاس مشخصی نگاه کنید، می توانید قوانین حاکم بر اشیاء آن را استخراج کنید. به عنوان مثال، برای اشیائی به قطر چند مربع، قوانینی از این دست داریم که مثلاً «بلوک ها هرگز حرکت نمی کنند»، «گلایدرها به صورت قطری حرکت می کنند» و



چشمک زن. نوع ساده ای از اشیاء مرکب در بازی زندگی.

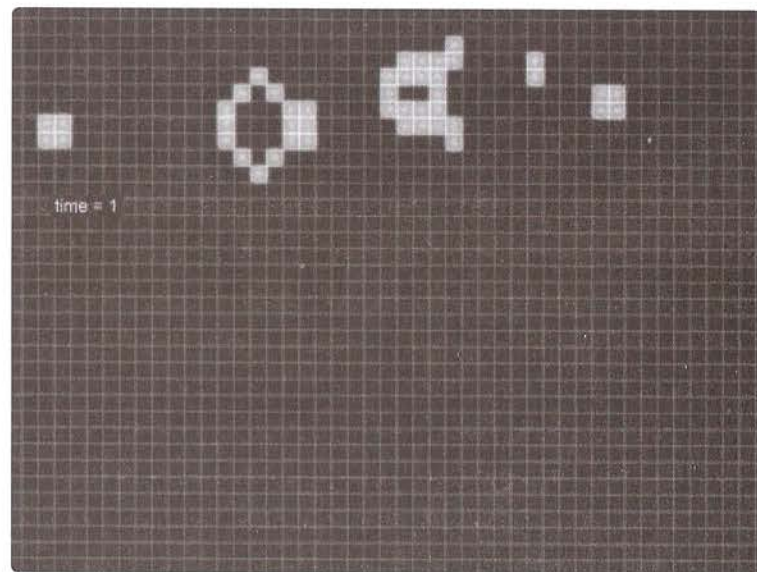
اگر سه مربع زنده به شکل L در کنار هم قرار بگیرند، اتفاق جدیدی می افتد. مربع های قرار گرفته درون L، متولد شده و یک بلوک ۲×۲ ایجاد می کنند. این بلوک، الگویی است که طبیعت بی جان نامیده می شود، زیرا از نسلی به نسل دیگر بدون تغییر منتقل می شود. الگوهای متنوع بسیاری وجود دارند که در نسل های اولیه شکل گرفته ولی به سرعت، یا به طبیعت بی جان تبدیل می شوند، یا می میرند و یا به شکل ابتدایی خود بازگشته و فرآیند مجدداً تکرار می شود.



طبیعت بی جان. در بازی زندگی، برخی اشیاء مرکب به شکلی در می آیند که از آن پس دیگر تغییر نمی کنند.

الگوی دیگری وجود دارد که گلايدر نامیده می شود. این الگو، پس از تغییر شکل طی چندین مرحله، مجدداً به شکل اولیه خود باز می گردد،

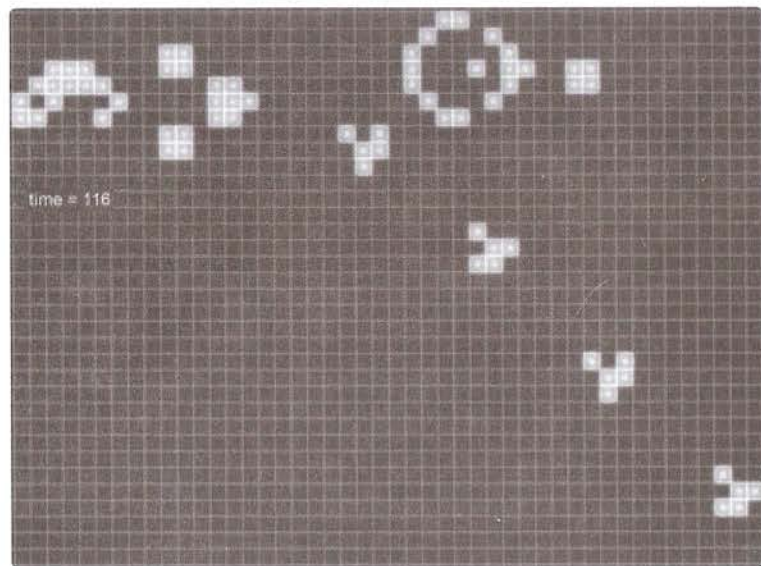
قوانین مختلفی که برای برخورد اشیاء تعیین می‌کنید. شما می‌توانید فیزیک کاملی برای اشیاء مرکب با اندازه‌های مختلف ایجاد کنید. این قوانین هویت مستقل دارند و با معنا هستند، در حالیکه جزء قوانین آغازین نبودند. به عنوان مثال، مفاهیمی مثل «برخورد» یا «حرکت» در قوانین آغازین وجود ندارند. قوانین پایه صرفاً حیات و مرگ هریک از مربع‌های ثابت را توصیف می‌کنند. درست مانند جهان ما، در بازی زندگی نیز واقعیت فیزیکی، به مدل به کار گرفته شده وابسته است.



ترکیب اولیه تفنگ گلايدر. تفنگ گلايدر تقريباً به بزرگی ده گلايدر است.

هدف کانوی و دانشجویانش از خلق چنین جهانی این بود که بفهمند آیا جهانی با قوانین بنیادی ساده، می‌تواند چنان اشیاء پیچیده‌ای داشته باشد که قادر به تولید مثل باشند. آیا در جهان بازی زندگی، شیئی مرکبی وجود دارد که صرفاً با تبعیت از قوانین حاکم، دیگرانی از نوع خود تولید کند؟ کانوی و دانشجویانش نه تنها نشان دادند که این امر ممکن است،

بلکه حتی نشان دادند چنین شیئی می‌تواند به نوعی هوشمند باشد! معنای این ادعا چیست؟ یعنی به اختصار نشان دادند که توده‌ای از مربع‌هایی که تولید مثل می‌کنند یک «ماشین جهانی تورینگ»<sup>۱</sup> است. برای اهداف ما، یعنی برای هر گونه محاسباتی که اصولاً یک کامپیوتر در جهان فیزیکی ما می‌تواند انجام دهد، اگر ماشین تورینگ، ورودی مناسبی دریافت کند — مثلاً محیط مناسب برای جهان بازی زندگی — در این صورت در چند نسل بعد، ماشین در حالتی است که از آن می‌توان خروجی دریافت کرد که با نتیجه محاسبات کامپیوتری متناظر باشد.



وضعیت تفنگ گلايدر پس از ۱۱۶ نسل. در طول زمان، تفنگ گلايدر تغيير شكل داده، يك گلايدر آزاد می‌کند و سپس به شكل و جایگاه اصلی خود باز می‌گردد. این فرآیند تا ابد ادامه پیدا می‌کند.

برای درک بهتر چگونگی عملکرد سیستم، تصور کنید چه اتفاقی می‌افتد زمانی که گلايدر ها به سمت یک بلوک ساده ۲×۲ متشکل از



مربع‌های زنده شلیک شوند. اگر گلایدرها از مسیر درست نزدیک شوند، بلوکی که تا این زمان ثابت بوده است، به سمت منبع گلایدر نزدیک شده یا از آن دور می‌شود. به این ترتیب یک بلوک می‌تواند حافظه کامپیوتر را شبیه سازی کند. در حقیقت تمام وظایف اصلی یک کامپیوتر مدرن، مثل گیت‌های AND و OR را می‌توان با کمک گلایدرها نیز ساخت. در این حالت، درست همانگونه که در کامپیوترهای فیزیکی از سیگنال‌های الکتریکی استفاده می‌شود، می‌توان از دنباله‌ی گلایدرها برای ارسال و پردازش اطلاعات استفاده کرد.

در بازی زندگی، درست مثل جهان ما، الگوهای تولید مثل کننده اشیاء پیچیده‌ای هستند. ریاضیدان نامی جان فون نویمان، حداقل تعداد مربع‌های مورد نیاز در یک الگوی تولید مثل کننده در بازی زندگی را ۱۰ تریلیون مربع برآورد کرده است، یعنی تقریباً برابر با تعداد مولکول‌های موجود در یک سلول بدن انسان.

به این ترتیب می‌توان موجودات زنده را به صورت سیستم‌های پیچیده‌ای با اندازه محدود تعریف کرد که پایدارند و تولید مثل می‌کنند. اشیائی که در بالا توصیف کردیم شرایط تولید مثل را برآورده می‌سازند، اما احتمالاً پایدار نیستند: ممکن است اختلال کوچکی از بیرون، چنین مکانیزم ظریفی را متلاشی کند. با این حال تصور این امر ساده است که قوانین اندکی پیچیده‌تر، امکان وجود سیستم‌های پیچیده‌ای را که دارای تمام نشانه‌های حیات هستند، فراهم می‌آورند. موجودی را از نوع اشیاء درون دنیای کانوی تصور کنید. چنین شیئی به تحریکات محیطی پاسخ می‌دهد و بنابراین به نظر می‌رسد که تصمیم‌گیری می‌کند. آیا چنین حیاتی، از وجود خود آگاه است؟ این سوآلی است که دو دیدگاه مختلف را از هم جدا می‌کند. برخی افراد عقیده دارند که خودآگاهی مختص انسان است. خودآگاهی به انسان‌ها اختیار می‌دهد، قابلیت انتخاب بین اقدامات مختلف. چگونه می‌توان گفت که یک موجود دارای اختیار است؟ در برخورد با یک موجود فضایی، چگونه می‌توان تعیین کرد که او تنها یک روبات

است یا دارای ذهنی است که مختص خود اوست؟ برخلاف موجود دارای اختیار، رفتار یک روبات کاملاً از پیش تعیین شده است. بنابراین روبات قاعده‌تاً به عنوان موجودی که اقدامات قابل پیش‌بینی انجام می‌دهد، قابل تشخیص است. همان‌طور که در فصل ۲ گفتیم، اگر این موجود پیچیده و بزرگ باشد، تشخیص آن فوق‌العاده مشکل است. ما حتی نمی‌توانیم معادلات مربوط به سه ذره یا بیش‌تر را در تعامل با یکدیگر، به دقت حل کنیم. از آنجا که یک موجود فضایی در ابعاد انسان احتمالاً حدود هزاران تریلیون تریلیون ذره دارد، حتی اگر روبات هم باشد، حل معادلات و پیش‌بینی آنچه انجام می‌دهد غیرممکن است. بنابراین باید بگوییم که هر موجود پیچیده‌ای دارای اختیار است — نه به عنوان یک ویژگی بنیادی، بلکه به عنوان نظریه‌ای موثر، پذیرش اینکه در انجام محاسباتی که پیش‌بینی اقدامات او را امکان پذیر می‌سازند، ناتوانیم.

مثال بازی زندگی کانوی نشان می‌دهد که حتی مجموعه ساده‌ای از قوانین نیز می‌توانند ویژگی‌های پیچیده‌ای را مشابه آنچه در حیات هوشمند با آن مواجهیم تولید کنند. باید بسیاری مجموعه قوانین با این ویژگی وجود داشته باشند. چه چیزی قوانین بنیادی (در مقابل قوانین ظاهری) حاکم بر جهان ما را انتخاب می‌کند؟ مشابه جهان کانوی، قوانین جهان ما، با داشتن حالت سیستم در هر زمان، نحوه تکامل آن را تعیین می‌کنند. در جهان کانوی، ما خالق هستیم. به این ترتیب که در ابتدای بازی، با تعیین اشیاء و مکان آن‌ها، حالت اولیه جهان را انتخاب می‌کنیم.

در جهان فیزیکی، اجسام مادی منفرد متناظر با اشیائی مثل گلایدرها در بازی زندگی هستند. هر مجموعه قوانین که توصیف‌گر جهانی پیوسته مثل جهان ما باشد، مفهومی به نام انرژی خواهد داشت که کمیتی است دارای بقاء، یعنی مجموع آن هیچ‌وقت کم و زیاد نمی‌شود. انرژی فضای خالی بدون توجه به موقعیت و زمان، یک عدد ثابت خواهد بود. می‌توان این انرژی ثابت خلاء را این‌گونه حذف کرد که انرژی هر حجم معین از فضا را با انرژی حجم مشابه از فضای خالی مقایسه کرد و بنابراین می‌توان آن را

ثابت صفر نامید. یکی از شرایطی که هر مجموعه قانون طبیعت باید برآورده سازد این است که انرژی یک جسم منفرد احاطه شده توسط فضای خالی، باید مثبت باشد، یعنی برای سرهم کردن آن جسم، باید کار انجام شود. زیرا اگر انرژی یک جسم منفرد منفی باشد، می‌تواند در حالتی از حرکت ایجاد شود که انرژی منفی آن با انرژی مثبت ناشی از حرکتش دقیقاً برابر باشد. اگر این گونه بود، دلیلی نداشت که اجسام نتوانند در هر جا و همه جا ظاهر شوند. در این صورت فضای خالی ناپایدار بود. اما اگر برای ایجاد یک جسم منفرد نیاز به مصرف انرژی باشد، این گونه ناپایداری اتفاق نمی‌افتد، زیرا همانطور که گفتیم انرژی جهان باید ثابت بماند. این امر برای پایداری محلی جهان لازم است، طوری که که اشیاء در همه جا از هیچ ظاهر نشوند.

اگر بپذیریم که مجموع انرژی جهان همواره باید صفر بماند و به علاوه برای ساخت یک جسم نیاز به انرژی باشد، پس چگونه یک جهان کامل می‌تواند سر از هیچ برآورد؟ به همین دلیل است که باید قانونی شبیه به گرانش وجود داشته باشد. از آنجا که گرانش جاذب است، انرژی گرانشی منفی است: یعنی برای جداکردن یک سیستم مقید گرانشی، مثل ماه و زمین، باید کار انجام داد. این انرژی منفی می‌تواند انرژی مثبت مورد نیاز برای ساخت مواد را جبران کند. اما به این سادگی هم نیست. به عنوان مثال، انرژی گرانش منفی زمین، کم‌تر از یک میلیارد انرژی مثبت ذرات ماده‌ای است که زمین از آن ساخته شده است. جرمی مثل یک ستاره، انرژی گرانش منفی بیش‌تری دارد و هرچه کوچک‌تر باشد (هرچه ذرات تشکیل دهنده آن به هم نزدیک‌تر باشند)، این انرژی گرانش منفی بیش‌تر خواهد بود. اما قبل از آنکه این مقدار منفی، بیش‌تر از انرژی مثبت ماده شود، ستاره به یک سیاهچاله فرو خواهد پاشید. سیاهچاله‌ها دارای انرژی مثبت هستند. به همین دلیل است که فضای خالی پایدار است. اجرامی مثل ستارگان و سیاهچاله‌ها نمی‌توانند از هیچ ظاهر شوند. ولی یک جهان کامل می‌تواند.

از آنجا که گرانش، شکل فضا و زمان را تغییر می‌دهد، اجازه می‌دهد که فضا-زمان به طور محلی پایدار و در مقیاس جهانی ناپایدار باشد. در

مقیاس کل جهان، انرژی مثبت ماده را می‌توان با کمک انرژی گرانشی منفی جبران کرد و بنابراین هیچ محدودیتی برای ایجاد کل جهان نخواهد بود. از آنجاکه گرانش اندکی وجود دارد، جهان قادر است خود را به شیوه‌ای که در فصل ۶ توضیح داده شد، از هیچ ایجاد کند. ایجاد خود انگیخته به این سؤال پاسخ می‌دهد که چرا به جای هیچ، اصلاً چیزی وجود دارد، این که چرا جهان وجود دارد و چرا ما وجود داریم. بنابراین لازم نیست برای روشن کردن فتیله جهان و راه اندازی آن از خالق کمک بگیریم.

چرا قوانین بنیادی این گونه هستند که توصیف‌شان می‌کنیم؟ نظریه نهایی باید خودسازگار باشد و برای مقادیری قابل اندازه‌گیری، نتایج متناهی پیش‌بینی کند. دیدیم که باید قانونی شبیه گرانش وجود داشته باشد و در فصل ۵ دیدیم برای این که نظریه‌ای برای گرانش مقادیر متناهی پیش‌بینی کند، باید بین نیروهای طبیعت و ماده‌ای که بر آن عمل می‌کنند ابرتقارن<sup>۱</sup> داشته باشد. نظریه M عمومی‌ترین نظریه ابرتقارن برای گرانش است. به همین دلیل نظریه M تنها نامزد برای یک نظریه کامل از جهان است. اگر متناهی باشد — و البته این امر هنوز باید ثابت شود — مدلی از جهانی خواهد بود که خود را ایجاد می‌کند. ما باید بخشی از این جهان باشیم، زیرا مدل خودسازگار دیگری وجود ندارد. نظریه M، نظریه‌ای یکپارچه است که اینشتین همواره امید داشت بیابد. این حقیقت که ما انسان‌ها — که خود مجموعه نادری از ذرات بنیادی طبیعت هستیم — توانسته‌ایم آنقدر عمیق شویم که قوانین حاکم بر خود و جهان‌مان را درک کنیم، پیروزی بزرگی است. اما شاید معجزه حقیقی آن است که کاربرد چند اصل منطقی به نظریه واحدی می‌انجامد که جهان گسترده را با همه‌ی تنوع شگفت‌انگیز آن، پیش‌بینی و توصیف می‌کند. اگر این نظریه با مشاهدات تایید شود، نتیجه جستجویی موفقیت‌آمیز خواهد بود که به بیش از ۳۰۰۰ سال پیش باز می‌گردد. طرح بزرگ را خواهیم یافت.



Big bang

**انفجار بزرگ**

آغاز آتشین و متراکم جهان. نظریه انفجار بزرگ بیان می‌کند که حدود ۱۳/۷ میلیارد سال پیش، بخشی از جهان که امروزه می‌بینیم، تنها چند میلی‌متر قطر داشته است. امروزه جهان به‌طور گسترده‌ای بزرگ‌تر و خنک‌تر شده است. اما هنوز می‌توان باقی مانده آن دوره ابتدایی را در تابش کیهانی ریز موج پس‌زمینه، که در تمام فضا جاری است، مشاهده کرد.

Brayon

**باریون**

نوعی از ذرات بنیادی، مثل پروتون و نوترون، که از سه کوارک تشکیل شده است.

Renormalization

**بازهنجارش**

روش ریاضی که با هدف حذف بی‌نهایت‌های ایجاد شده در نظریه‌های کوانتومی طراحی شده است.

Boson

**بوزون**

ذره بنیادی که حامل نیرو است.

Proton

**پروتون**

نوعی باریون دارای بار مثبت که به همراه نوترون هسته اتم را تشکیل می‌دهد.

Alternative histories

**تاریخچه‌های جایگزین**

بیان ریاضی از نظریه کوانتوم که طبق آن، احتمال هر مشاهده‌ای، از مجموع تمام تاریخچه‌های محتمل که به آن مشاهده منجر می‌شوند، حاصل می‌شود.

Singularity

**تکینگی**

نقطه‌ای در فضا-زمان که در آن مقدار یک کمیت فیزیکی بی‌نهایت می‌شود.

Cosmic constant

**ثابت کیهانی**

پارامتری در معادلات اینشتین، که در فضا-زمان تمایل ذاتی به انبساط ایجاد می‌کند.

**واژه نامه**

Asymptotic freedom

**آزادی مجانبی**

یکی از ویژگی‌های نیروی هسته‌ای قوی که باعث می‌شود این نیرو در فواصل کوتاه‌تر، ضعیف‌تر عمل کند. بنابراین اگرچه در هسته اتم، کوارک‌ها از طریق نیروی قوی به هم وابسته شده‌اند، با این حال می‌توانند درون هسته به گونه‌ای آزاد حرکت کنند، گویی هیچ نیرویی بر آن‌ها اعمال نمی‌شود.

Supersymmetry

**آبرتقارن**

نوع دقیقی از تقارن که آن را نمی‌توان به تبدیل معمولی فضا نسبت داد. یکی از تعبیر مهم آبرتقارن این است که ذرات نیرو و ماده، و در نتیجه خود نیرو و ماده، در حقیقت، وجوه مختلف یک چیز هستند.

Supergravity

**آبرگرانش**

نظریه‌ای برای گرانش که دارای نوعی تقارن به نام آبرتقارن است.

Anthropic principle

**اصل انسانی**

در این ایده، براساس این حقیقت که ما انسان‌ها وجود داریم، می‌توان به نتایجی در مورد قوانین ظاهری فیزیک دست یافت.

Heisenberg uncertainly principle

**اصل عدم قطعیت هایزنبرگ**

قانونی از نظریه کوانتوم که بیان می‌دارد، نمی‌توان از مقدار جفت‌های مشخصی از ویژگی‌های فیزیکی، به‌طور هم‌زمان، با دقت دلخواه اطلاع حاصل کرد.

Electron

**الکترون**

ذره بنیادی از جنس ماده، که دارای بار منفی است و ویژگی‌های شیمیایی عناصر از آن نشأت می‌گیرند.

## جهان‌های چندگانه

Multiverse

مجموعه‌ای از جهان‌ها.

## دامنه احتمال

Probability amplitude

در یک نظریه کوانتومی، عدد مختلطی است که مقدار مربع قدر مطلق آن، نشان‌دهنده یک احتمال است.

## رویکرد از بالا به پایین

Top-down approach

رویکردی به کیهان‌شناسی که در آن، تاریخ جهان از بالا به پایین، یعنی از زمان حال به سمت عقب، دنبال می‌شود.

## رویکرد از پایین به بالا

Bottom-up approach

در این ایده کیهان‌شناسی، فرض بر این است که جهان تنها دارای یک تاریخ است، با نقطه آغازی مشخص. به علاوه این که وضعیت امروز جهان، تکاملی نشأت گرفته از آن نقطه آغاز است.

## سیاهچاله

Black hole

ناحیه‌ای از فضا-زمان که به دلیل نیروی گرانشی فوق‌العاده شدید آن، از بقیه جهان جدا شده است.

## شرایط بی‌مرزی

No-boundary condition

این الزام که تاریخ‌های جهان، سطوح بسته بی‌مرز هستند.

## ضد - ماده

Antimatter

هر ذره مادی، دارای یک ضد-ذره است. ذره و ضد-ذره در برخورد با هم، یکدیگر را خنثی کرده و آنچه باقی می‌ماند، انرژی خالص است.

## فاز

Phase

نقطه‌ای در سیکل یک موج.

## فرمیون

Fermion

ذره بنیادی از نوع ماده.

## فضا - زمان

Space-time

فضای ریاضی که نقاط در آن، تحت هر دو محور مختصات فضا و زمان تعیین می‌شوند.

## فوتون

Photon

بوزونی که حامل نیروی الکترومغناطیسی است، ذره کوانتومی نور.

## فیزیک کلاسیک

Classical physics

هر نظریه‌ای از فیزیک، تهیه شده با این فرض که جهان دارای یک تاریخ مشخص و واحد است.

## قوانین ظاهری

Apparent laws

آن دسته از قوانین طبیعت که ما در دنیای خود شاهد هستیم. قوانین مربوط به چهار نیروی شناخته شده و پارامترهایی مثل جرم و بار که مشخص کننده ویژگی‌های ذرات بنیادی هستند. در طرف مقابل، قوانین بنیادی‌تر نظریه M قرار دارند که امکان وجود جهان‌های مختلف، هر یک با قوانین مختلف را، فراهم می‌کنند.

## کوارک

Quark

ذره بنیادی با بار الکتریکی کوچک، که تحت تاثیر نیروی هسته‌ای قوی قرار می‌گیرد. پروتون و نوترون هرکدام از سه کوارک تشکیل شده‌اند.

## کهکشان

Galaxy

سیستم بزرگی از ستارگان، ماده بین ستاره‌ای و ماده تاریک، که در اثر گرانش در کنار هم باقی می‌مانند.

## گرانش

Gravity

ضعیف‌ترین نیروی طبیعت. آنچه باعث می‌شود اشیاء دارای جرم یکدیگر را جذب کنند.



## مزون

Meson

نوعی ذره بنیادی که از یک کوارک و یک ضد کوارک تشکیل شده است.

## نظریه M

M theory

نظریه بنیادی فیزیک که نامزد نظریه‌ای برای همه چیز محسوب می‌شود.

## نظریه ریسمان‌ها

String theory

نظریه فیزیکی که در آن ذرات به صورت الگوهای از ارتعاش تعریف می‌شوند، الگوهای مشابه ریسمان‌های فوق‌العاده باریک، که تنها دارای طول بوده ولی عرض و ارتفاع ندارند.

## نظریه کوانتوم

Quantum theory

نظریه‌ای که در آن اشیاء، دارای یک تاریخ مشخص نیستند.

## نوترون

Neutron

نوعی باریون که از نظر الکتریکی خنثی است و به همراه پروتون، هسته یک اتم را تشکیل می‌دهد.

## نوترینو

Neutrino

ذره بنیادی بسیار سبکی که تنها تحت تاثیر نیروی هسته‌ای ضعیف و گرانش قرار می‌گیرد.

## نیروی هسته‌ای ضعیف

Weak nuclear force

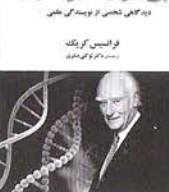
یکی از چهار نیروی طبیعت. نیروی ضعیف عامل پرتوزایی است و در شکل‌گیری عناصر در ستارگان و جهان اولیه، نقشی حیاتی ایفا می‌کند.

## نیروی هسته‌ای قوی

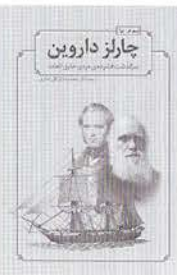
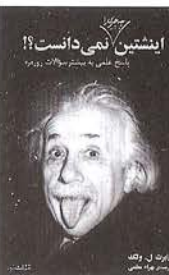
Strong nuclear force

قویترین نیرو از بین چهار نیروی طبیعت. این نیرو، پروتون‌ها و نوترون‌ها را درون هسته اتم کنار هم نگه می‌دارد. همچنین خود پروتون‌ها و نوترون‌ها نیز به کمک این نیرو در خود متمرکز باقی می‌مانند، زیرا آن‌ها نیز خود از ذرات کوچک‌تری بنام کوارک تشکیل شده‌اند.

## بی‌گیری دیوانه‌وار



## ذرات و جهان هستی



از مجموعه **قلمرو علم** منتشر خواهد شد:

- ۱- چه کسی، چه وقت، چه چیزی را کشف کرد؟
- ۲- قانون دوم ترمودینامیک
- ۳- اینشتین عاشق
- ۴- فرضیه‌ی شگفت‌انگیز
- ۵- چرا  $E=mc^2$  ؟
- ۶- هورمون‌ها و رفتار
- ۷- ۱۰۰ دانشمند دوران‌ساز
- ۸- استیون هوکینگ [ذهنی‌رها]
- ۹- جهان از هیچ
- ۱۰- چه کسی، چه وقت، چه چیزی را اختراع کرد؟
- ۱۱- اینشتین به آشپز چه گفت (جلد ۲)
- ۱۲- نابخردی‌های پیش‌بینی‌پذیر
- ۱۳- نظریه نهایی
- ۱۴- جهان‌های پنهان