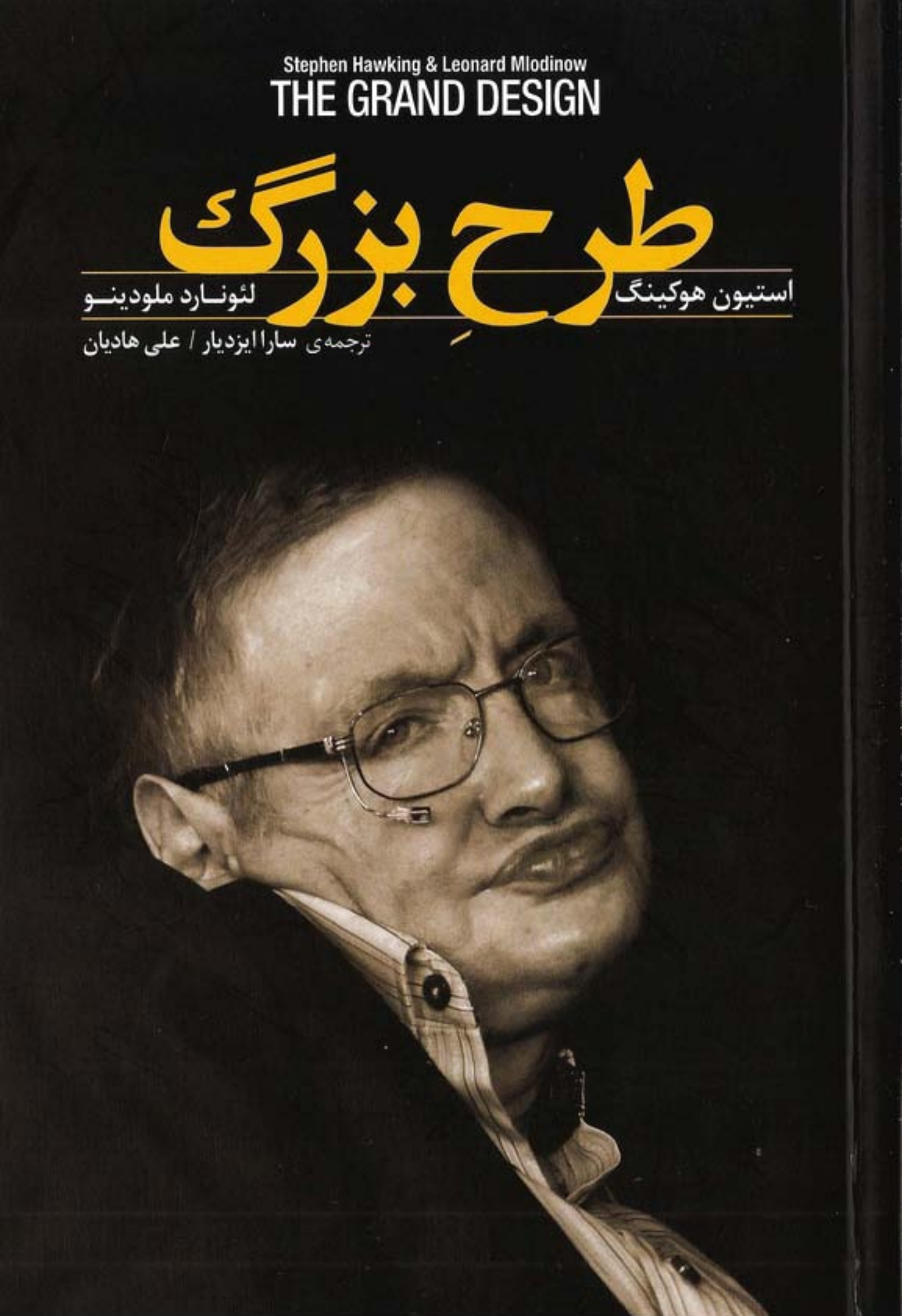
Stephen Hawking & Leonard Mlodinow

THE GRAND DESIGN

طرحِ بزرگ

استیون هوکینگ
لئونارد ملودینو

ترجمه‌ی سارا ایزدیار / علی هادیان



مطالب این کتاب صرفا 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.

طرحِ بزرگ

استیون هوکینگ
لئونارد ملودینو

ترجمه‌ی سارا ایزدیار ـ علی هادیان

انتشارات نازیار

ناسه	:	هوکینگ، استیون ویلیام، ۱۹۴۲- م. Hawking, Stephen William
عنوان و نام پدیدآور	:	طرح بزرگ/ استیون هوکینگ و لئونارد ملودینو؛ ترجمه‌ی علی هادیان ـ 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 ـ تحقیق
موضوع		فیزیک
موضوع	:	فیزیک ـ 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		QB ۹۸۱/۲هـ ۱۳۸۹ ۴ط
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 ایزد یار و علی هادیان

ویراستار م. کاظم‌زاده

چاپ دوم ۱۳۹۱

شمارگان ۳۳۰۰

طرح جلد و صفحه‌آرایی آتلیه تردید

لیتوگرافی خاورمیانه

چاپ و صحافی طیف‌نگار

شابک ۲-۰۱-۶۰۴۳-۶۰۰-۹۷۸

بها ۵۵۰۰ تومان

فهرست مطالب

فصل۱ معمای وجود ۷

فصل۲ حکومت قانون ۱۳

فصل۳ واقعیت بیرونی چیست؟ ۳۵

فصل٤ تاریخچه‌های جایگزین ۵۷

۵ نظریه‌ی همه چیز ۷۹

فصل٦ جهان‌مان را انتخاب کنیم ۱۱۳

فصل۷ معجزه آشکار ۱۳۵

فصل۸ طرح بزرگ ۱۵۳

واژه‌نامه ١٦٤

فصل ۱

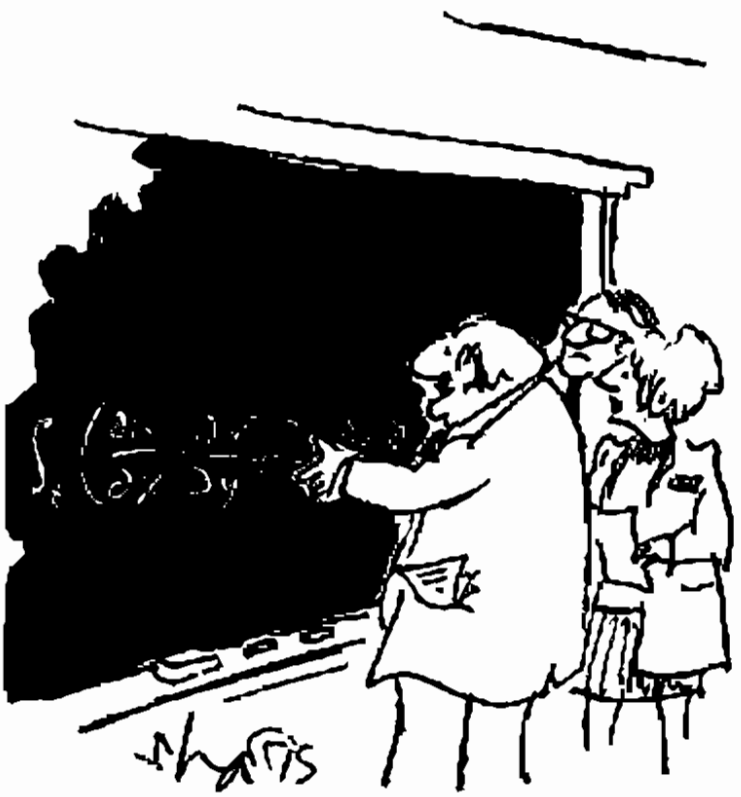
معمای وجود

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 سوآلاتی 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 سوآلات 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 خالقی نیاز دارد؟ ما اغلب، زمان زیادی برای یافتن پاسخ این سوآلات صرف نمی‌کنیم، اما تقریباً همه ما گاهی اوقات به آن‌ها می‌اندیشیم.

به طور معمول این سوآلات 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 سوآلاتی 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 تاریخچه 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 مقیاسِ 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 سر زنده‌ای 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 سوآلات، 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 به‌نظرمی‌رسد. در حقیقت، همانند بسیاری از ایده‌های علم امروز، به‌نظرمی‌رسد 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[1] 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 چیستیِ 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 هرکدام 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 هرکدام از آن‌ها که راحت‌تر است استفاده کرد.

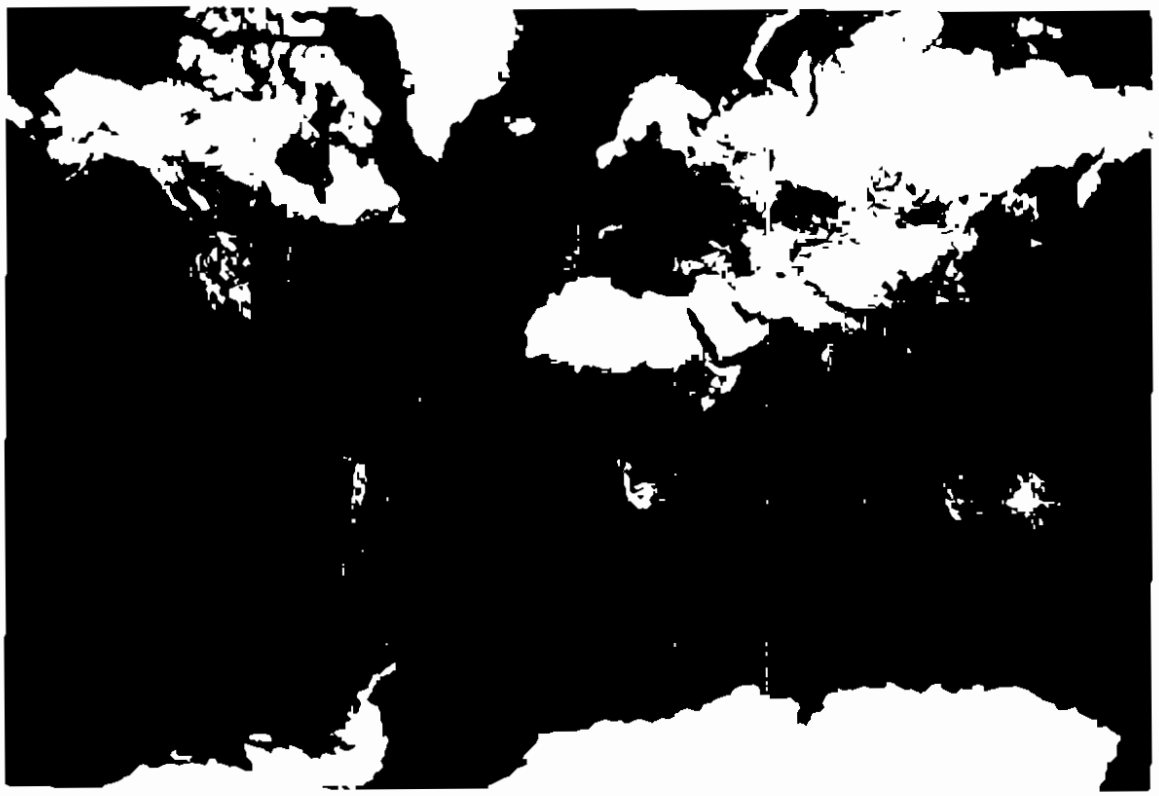
---

1. Model-Dependent Realism

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 بپرسیم: 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 این‌که این روند همیشه با یافتن نظریه‌های بهتر ادامه می‌یابد، بدون این‌که نظریه‌ای یافت شود که نتوان دیگر آن را بهبود بخشید. با این‌که 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 هرکدام 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 هرکدام ناحیه محدودی را پوشش می‌دهند. این نقشه‌ها با یکدیگر هم‌پوشانی داشته و در این نواحی اطلاعات یکسانی را نشان می‌دهند. نظریه M این‌گونه است. ممکن است نظریات مختلفِ خانواده نظریه M خیلی متفاوت به‌نظربرسند، 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. به‌عنوان مثال وقتی مقادیر معلومی مثل انرژی، بسیار کوچک باشند. این نظریه‌های مختلف، درست

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 هم پوشان باشد، همان‌طور که برای نمایش جهان به نقشه‌های هم پوشان 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[۱]، 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

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

محتملِ بسیار و همین‌طور حالات محتمل متعدد در آینده است؛ یعنی زمانی مثل اکنون که مدتی طولانی از پیدایش آن‌ها می‌گذرد. بسیاری از این حالات اصلاً با جهانی که ما می‌بینیم شباهت ندارد و برای وجود هر گونه حیات اصلاً مناسب نیستند. تنها تعداد کمی از این جهان‌ها به موجوداتی مثل ما امکان زندگی می‌دهند. بنابراین جهان ما، از بین این آرایه‌ی گسترده از جهان‌هایی که با وجود ما سازگاری دارند، انتخاب شده است. اگرچه در مقیاس این کیهان، کوچک و ناچیزیم، اما همین مسأله ما را تا اندازه‌ای اشرف مخلوقات می‌گرداند.

برای درک جهان در سطوح عمیق آن، هم باید بدانیم جهان چگونه رفتار می‌کند و هم لازم است بپرسیم که جهان چرا این‌گونه رفتار می‌کند؟

چرا به جای هیچ، چیزی هست؟

چرا ما وجود داریم؟

چرا این قوانین و نه قوانین دیگری؟

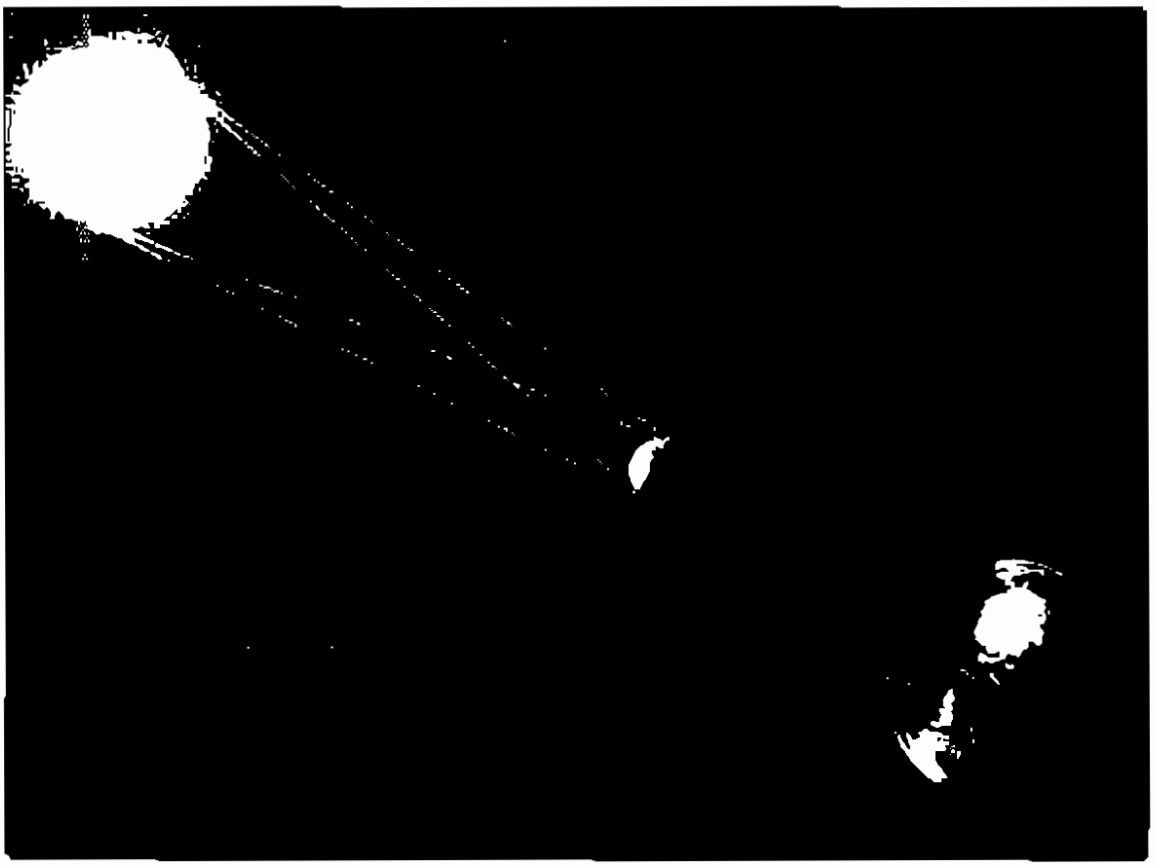
این سوآل نهاییِ زندگی، جهان و همه چیز است. ما تلاش می‌کنیم تا در این کتاب به این سوآلات پاسخ دهیم. برخلاف پاسخ‌هایی که در کتاب *راهنمای مسافران مجانی کهکشان* داده شده است، جواب‌های ما ساده نخواهند بود.

فصل ۲

حکومت قانون

اسکول گرگ ماه را تا جنگل اندوه راند،
آنجا هَتی گرگ را دید که خورشید را تعقیب می‌کرد.
«گریم نبسمال» اِدایِ پیر

در افسانه وایکینگ‌ها، دو گرگ به نام‌های اسکول و هَتی، به‌ترتیب ماه و خورشید را دنبال می‌کنند. وقتی گرگ‌ها هرکدام از آن‌ها را بگیرند، گرفتگی رخ می‌دهد. زمانی که این پدیده رخ می‌دهد، مردم روی زمین برای آزاد کردن آن‌ها دست به کار می‌شوند. آن‌ها هرچقدرکه بتوانند صدا ایجاد می‌کنند تا بلکه با ترساندن گرگ‌ها، خورشید یا ماه را نجات دهند. در فرهنگ‌های دیگر نیز افسانه‌های مشابهی وجود دارند. اما احتمالاً پس از مدتی انسان‌ها متوجه شده‌اند که خورشید و ماه، بدون نیاز به ایجاد سر و صدا و پریشانی، خیلی زود از گرفتگی خارج می‌شوند. به‌همین ترتیب، احتمالاً آن‌ها پس از مدتی متوجه شده‌اند که این گرفتگی‌ها به صورت اتفاقی و تصادفی رخ نمی‌دهند، بلکه از یک الگوی منظم تکرار شونده پیروی می‌کنند. برای مردم قدیم، الگوی ماه گرفتگی مشخص بوده است و درواقع مردم قدیم بابل قادر به پیش‌بینی دقیق آن بوده‌اند؛ حتی با این‌که نمی‌دانستند علت ماه گرفتگی افتادن سایه زمین بر ماه است. پیش‌بینی خورشید گرفتگی به مراتب مشکل‌تر 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 گرفتگی‌ها ربطی به امیال دلبخواهی موجودات ماوراءالطبیعی ندارند و از قواعد مشخصی پیروی می‌کنند.



خورشید گرفتگی. مردم عهد باستان نمی‌دانستند که علت گرفتگی‌ها چیست، ولی به وجود نظم زمانی در رویداد آن‌ها پی برده بودند.

علیرغم موفقیت‌های ابتدایی در پیش‌بینی حرکت چند جرم آسمانی، پیشینیانِ ما دریافتند که پیش‌بینی برخی وقایع در طبیعت به‌نظر غیر ممکن است. به‌نظر می‌رسید آتش فشان، زمین لرزه، توفان و بیماری‌های همه‌گیر، همه بدون هیچ الگو یا دلیل مشخص روی می‌دهند. در گذشته، نسبت دادن رویدادهای خشن طبیعت به شیاطین و یا خدایان بدذات، امری رایج بود. فجایع طبیعی اغلب نشانه‌هایی بودند مبنی براین که خداوند به نوعی از دست ما انسان‌ها رنجیده یا ناراحت شده است. به‌عنوان مثال، در حدود ۵۶۰۰ سال پیش از میلاد، آتش فشان کوه مازاما در اورگِن، فوران کرد و سنگ‌ها و خاکستر داغ ناشی از آن برای سال‌ها بر زمین فرو می‌ریخت. این فوران باعث شد سال‌ها باران ببارد و در دهانه آتش فشان آب جمع شود که امروزه به دریاچه کِراتِر معروف است. سرخپوست‌های کِلامات در اُورگن افسانه‌ای دارند که به خوبی با تمام جزئیات زمین شناسی این رویداد

مطابقت دارد. اما در این افسانه با اضافه کردن کمی چاشنیِ داستان‌پردازی، انسان‌ها به عنوان عامل اصلی فاجعه معرفی می‌شوند. ظرفیت انسان برای جُرم به گونه‌ای است که همواره راهی برای سرزنش کردن خود می‌یابد. برطبق این افسانه، لیائو، خدای عالم زیرین، عاشق دختر زیبای فرمانروای کلامات می‌شود. دختر به او پشت پا زده و لیائو تصمیم می‌گیرد با به آتش کشیدن کلامات انتقام بگیرد. خوشبختانه، برطبق این افسانه، اِسکِل، خدای جهان بالا، دلش برای مردم می‌سوزد و با رقیب پایینی خود می‌جنگد. در نهایت، لیائو زخمی شده و به درون کوه مازاما سقوط می‌کند. بر اثر آن سوراخ بزرگی ایجاد می‌شود، همان دهانه‌ای 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 هرکدام از جنبه‌های زندگی آن‌ها حکمرانی کنند. خدایان عشق و جنگ؛ خدایان خورشید، زمین و آسمان؛ خدایان اقیانوس‌ها و رودخانه‌ها؛ خدایان باران و توفان‌ها، حتی خدایان زمین‌لرزه‌ها و آتش فشان‌ها. زمانی که خدایان راضی و خشنود بودند، انسان‌ها در وضعیت آب و هوایی مساعد، در صلح و آرامش، و رها از فجایع و امراض طبیعی زندگی می‌کردند. اما، اگر ناراضی بودند، در این صورت خشکسالی، جنگ و بیماری‌های همه‌گیر همه جا را فرا می‌گرفتند. ازآنجاکه ارتباط بین علت و معلول در طبیعت از چشم آن‌ها پنهان بوده است، این خدایان به‌نظر مرموز بوده و انسان‌ها همه تحت رحم و شفقت آن‌ها 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 می‌کند 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 می‌شود، براساس طرح از پیش تعیین شده‌ای 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 جیره 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 (۳۸٤ تا ۳۲۲ پیش از میلاد) گفته است، این زمان حدوداً همان زمانی بوده است که تالس برای اولین‌بار ایده قابل فهم بودن جهان را مطرح کرد و این‌که رویدادهای پیچیده‌ی اطراف‌مان 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 درمورد 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 امروزیِ 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. پژوهشـــگران یونیه‌ی قدیم جزء اولین‌هایی بودند که پدیده‌های طبیعی را به جای علوم الهی و اساطیری، از طریق قوانین طبیعت توضیح دادند.

برطبـــق روایات، اولیـــن صورت‌بندی ریاضی از آنچه مـــا 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 شـــده 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 به‌دست آورده است. امروزه این روابط را این‌گونه توصیف می‌کنیم که فرکانس (تعداد ارتعاشـــات 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 ســـیم‌های بلندتری داشته باشـــند. در حقیقت، احتمالاً فیثاغورث تـــا این حد به مسـئله نپرداخته و حتی احتمال مـــی‌رود قضیه‌ای را نیز که

نامش بر آن است کشف نکرده باشد، اما شواهدی وجود دارد مبنی براین 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 به‌اندازه 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. به‌علاوه، 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، اِنبِذقُلِس (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 این‌که آب از سوراخ‌ها به بیرون بریزد آن را خارج کرد. انبذقلس 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 ــ او در آن زمان موفق به کشف ماده‌ای شده بود که امروزه آن را هوا می‌نامیم.

در همان دوره زمانی، دِموکریتوس (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 بر خورد اتم‌ها رخ می‌دهند. بنا بر ایده او، که ذره‌گرایی نامیده می‌شود، تمام اتم‌ها در فضا حرکت می‌کنند و درصورتی 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، اولین‌بار از جانب آریستارخوس (۳۱۰ تا ۲۳۰ پیش از میلاد)، یکی از آخرین دانشمندان یونیه، مطرح شد. متاسفانه 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 هرکدام عقاید متفاوت و اغلب متناقضی داشتند. متاسفانه تصویر اهالی یونیه از طبیعت، مبنی براین 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 به‌نظر 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 به‌هم می‌ریختند که امروزه افکار بسیاری از مردم را. به‌عنوان 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 این‌که 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 این‌که جهان، انسان ـ 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، به‌طور 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 دلایلش 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 غول یک چشم برخورد کند، هیچ روش عینی وجود نداشت تا به بحث خاتمه دهد. همچنین تمایز آشکاری بین انسان و قوانین فیزیکی وجود نداشت. به‌عنوان مثال، در پانصد سال پیش از میلاد آناکسیماندر نوشت همه چیز از یک ماده اولیه ایجاد شده و در نهایت به همان باز می‌گردد، مبادا که «ناچار گردند بابت شرارت خود جریمه و مجازاتی پرداخت کنند.» همچنین بنا به عقیده فیلسوف اهل یونیه، هراکلیت (۵۳۵ تا ٤٧٥ 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 گنجاندند ـ مثل پرستش پروردگار و احترام به والدین. به عکس آن‌ها اغلب فرآیندهای 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

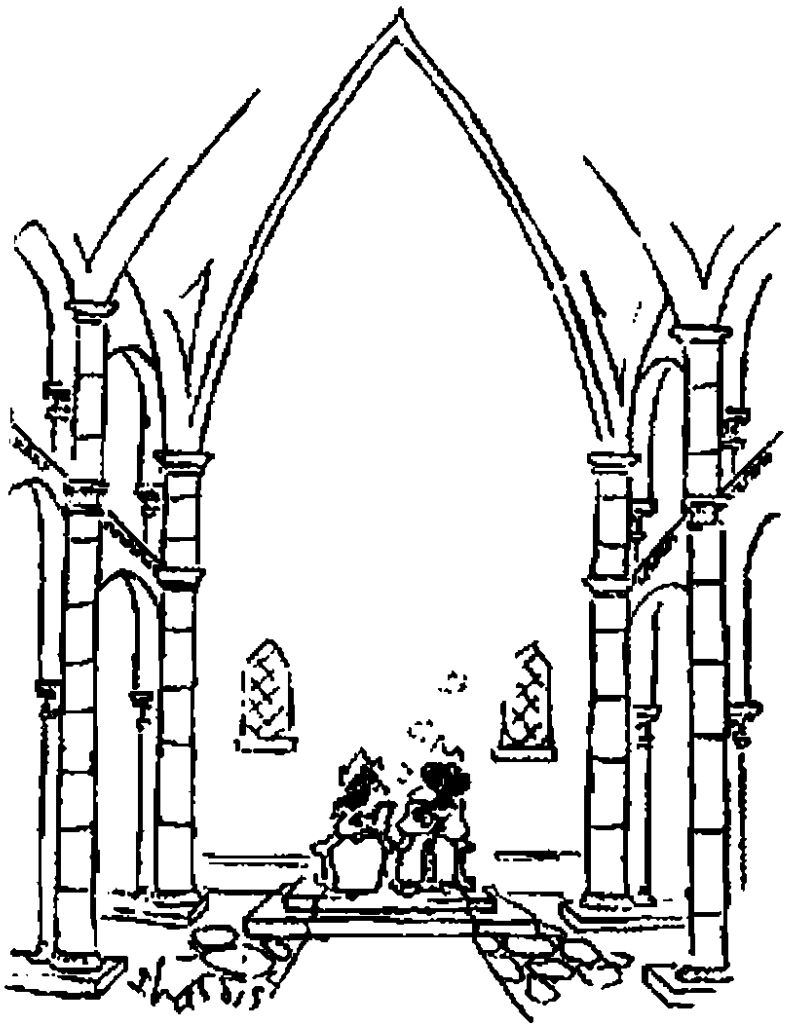
از آن نیز ادامه داشت. در قرن سیزدهم، فیلسوف مسیحی، توماس آکوئیناس (۱۲۲۵ تا ۱۲۷٤) از این دیدگاه برای بحث پیرامون وجود خدا بهره گرفت. او می‌نویسد «روشن است [اجسام بی‌جان] با سرنوشت خود، نه از روی اتفاق بلکه از روی اراده، مواجه می‌شوند ... بنابراین یک موجود هوشمند وجود دارد که سرنوشت هرچیزی در طبیعت به فرمان او تعیین می‌شود.» حتی تا قرن شانزدهم، ستاره‌شناس برجسته آلمانی، یوهان کپلر (۱۵۷۱ تا ۱٦۳۰) 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 ـ آنگونه که بتواند مقادیر عددی را پیش‌بینی کند ـ 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 این‌که 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 به‌نظرمی‌رسد 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 حکومتم تنها یک چیز را فهمیده باشم، این ا
که حرارت بالا می‌رود.»

مفهوم جدید قوانین طبیعت در قرن هفدهم پدیدار شد. با کپلر نخستین دانشمندی بوده است که روابط را طبق علم جدید است؛ اگرچه همان‌طور که گفتیم دیدگاه جان گرایانه‌ی خود اشیاء فیزیکی حفظ کرد. گالیله (۱۵٦٤ تا ۱٦٤۲) در اغلب کار خود از کلمه «قانون» استفاده نکرد (اگرچه در برخی از ترجم او این کلمه دیده می‌شود). صرف نظر از این‌که از این لغت ا باشد یا نه، او پرده از بسیاری قوانین برداشت و حامی این بود که مشاهده، اساس علم بوده و هدف از علم تحقیق در کمی موجود بین پدیده‌های فیزیکی است. اما فردی که برای

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 ــ 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 سرِ ما شیئی را رها کند، مسیر شیء 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 به‌نظرمی‌رسید این ایده قدرت

خداوندرا به چالش می‌کشد که دکارت آن را اصلاح کرد و گفت قوانین غیر قابل تغییرند چون بازتابی از طبیعت ذاتی خودِ 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 جهان‌های متنوع و متفاوتی ایجاد کند که هرکدام مجموعه متفاوتی از شرایط اولیه داشته باشند، اما دکارت این را هم رد کرد. او بیان کرد در ابتدای جهان ترکیب اولیه مواد هرچه بوده باشد، با گذشت زمان جهانی مشابه جهان ما، سر از سیر تحول بیرون خواهد آورد. به‌علاوه دکارت احساس می‌کرد 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 پدیده‌هایی مثل مَد را توضیح می‌دهند، موفق شد مفهوم جدید قانون علمی را در سطحی گسترده تثبیت کند. معادلات او و چارچوب ریاضی استادانه‌ای که از آن زمان به بعد از آن‌ها استخراج شده، هنوز هم تدریس می‌شوند و هرگاه یک معمار، ساختمانی را طراحی می‌کند، یک مهندس اتومبیلی را می‌سازد و یک فیزیکدان چگونگی پرتاب موشک را برای این‌که مستقیماً بر روی مریخ فرود آید محاسبه می‌کند، همگی از آن‌ها استفاده می‌کنند. همان‌طور 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 به‌علاوه‌ی توانایی پیشگویی‌هایی فراتر از مشاهدات فعلی. به‌عنوان مثال اگر در طول زندگی خود هر روز شاهد آن باشیم که خورشید از سمت شرق طلوع می‌کند، این قانون را نتیجه بگیریم که «خورشید

همواره از شرق بالا می‌آید»، این تعمیمی است که فراتر از مشاهده محدود ما از طلوع خورشید بوده و پیش‌بینی‌های آزمون پذیری را در مورد آینده فراهم می‌آورد. از طرف دیگر جمله‌ای مثل «رایانه‌های این دفتر سیاه هستند» یک قانون طبیعی نیست، زیرا تنها در مورد رایانه‌های یک دفتر خاص گفته شده و قادر به انجام هیچ پیش‌گویی 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 پرداخته‌اند و این سوآل از آنچه در ابتدا به‌نظرمی‌رسد، پیچیده‌تر است. به‌عنوان مثال، فیلسوف جان دبلیو کارول، جمله «تمام کره‌های از جنس طلا قطری کم‌تر از یک مایل دارند» را با جمله‌ای مثل «تمام کره‌های اورانیوم–۲۳۵ قطری کم‌تر از یک مایل دارند» مقایسه کرد. مشاهدات ما از این جهان نشان می‌دهد که هیچ کره طلایی با قطر بیش از یک مایل وجود ندارد و می‌توان تاحدی مطمئن بود که در آینده نیز نخواهد داشت. با این‌حال دلیلی وجود ندارد بپذیریم که هرگز نمی‌تواند باشد و بنابراین نمی‌توان این جمله را به صورت یک قانون در نظر گرفت. از طرف دیگر جمله «تمام کره‌های اورانیوم–۲۳۵ قطری کم‌تر از یک مایل دارند» را می‌توان یک قانون طبیعت دانست، زیرا برطبق آنچه از فیزیک هسته‌ای می‌دانیم، هرگاه کره‌ای از اورانیوم–۲۳۵ به قطری بزرگ‌تر از ۲۰ سانتی‌متر برسد، براثر یک انفجار هسته‌ای نابود خواهد شد. بنابراین می‌توان مطمئن بود که چنین کره‌ای وجود ندارد. (حتی تلاش برای ساخت آن هم ایده خوبی نیست!) اهمیت این تفاوت در این است که نشان می‌دهد تمام تعمیم‌هایی را که شاهد آن هستیم، نمی‌توان به عنوان قوانین طبیعت در نظر گرفت و این‌که اغلب قوانین طبیعت، بخشی از یک سیستم بزرگ‌تر به‌هم پیوسته از قوانین هستند.

در علم جدید، قوانین طبیعت معمولاً به زبان ریاضیات بیان می‌شوند. آن‌ها می‌توانند دقیق یا تقریبی باشند، اما باید بدون استثناء، در همه موارد، درست عمل کنند ـ اگر جهان شمول نباشند، در این صورت حداقل تحت

مجموعه‌ای از شرایط درست عمل کنند. به‌عنوان 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 سوآل 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 سوآل‌های مهم پاسخ گفته‌اند. جوابی که به‌طور معمول به نخستین سوآل داده می‌شد ـ پاسخ کپلر، گالیله، دکارت و نیوتون ـ این بود که این قوانین کار خدا هستند. این پاسخ چیزی نیست جز تعریفی از خداوند به عنوان تجلی قوانین طبیعت. مگر این‌که افرادی به خدا صفات دیگری مثل خدای عهد عتیق اختصاص دهند، وگرنه به کارگرفتن خدا در پاسخ به سوآل اول صرفاً باعث تعویض سوآل با سوآل جدیدی خواهد شد. بنابراین اگر در پاسخ به سوآل اول از مفهوم خداوند استفاده کنیم، مشکل اصلی در سوآل دوم بروز می‌کند. آیا معجزه یا همان استثناء برای قوانین وجود دارد؟

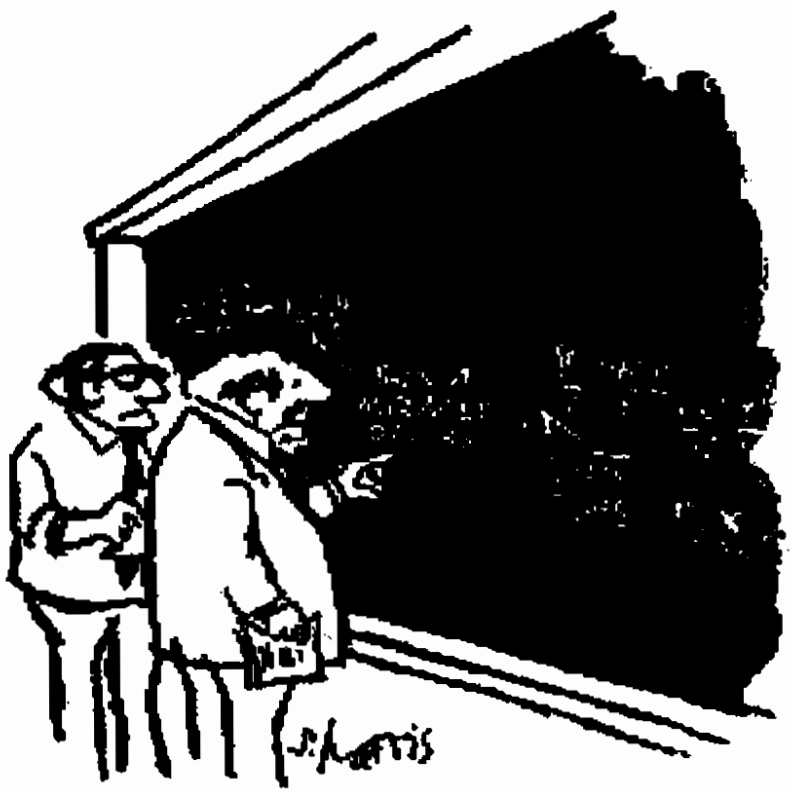
در پاسخ به سوآل دوم نظرات کاملاً متفاوتی وجود دارند. افلاطون و ارسطو، تاثیرگذارترین نویسندگان یونان باستان، عقیده داشتند استثنائی برای قوانین وجود ندارد. اما اگر از منظر کتب آسمانی بنگریم خواهیم دید که خداوند نه تنها قوانین را ایجاد کرده، بلکه قادر است درصورت تمایل در پاسخ به دعای بندگان، استثنائاتی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

خداوند بایـد بتواند به منظور انجام معجزات، اجـرای قوانین را به تعلیق درآورد. حتی نیوتون نیز تا حدی به معجزه اعتقاد داشـته اسـت. 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 سـیاره می‌شود که در طول زمان افزایش می‌یابد و سرانجام باعث می‌شـود سیاره یا به درون خورشید سـقوط 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 سـاعت آسـمانی را کوک کند، مبادا از کار بیفتد.» پیر سـیمون مارکوس دو لاپلاس (۱۷۴۹ تا ۱۸۲۷)، که معمولاً به نام لاپلاس شـناخته می‌شود، بیان کرد که این اختلالات متناوب هستند؛ یعنی به جای این‌که با یکدیگر جمع شـوند، در سـیکل‌های تکرار شونده رخ می‌دهند. به این ترتیب، منظومه شمسـی 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 وجـود معجزه و یـا نقش فعال خالق را منتفی می‌سـازد. جبرگرایی علمی که لاپلاس صورت‌بندی کرد، پاسـخ دانشمندان مدرن به سوآل دوم است. این مسـأله در حقیقت پایه و اسـاس تمام علم مدرن بوده و اصلی اسـت کـه در طول ایـن کتاب از اهمیت زیادی برخوردار اسـت. قانون علمی را نمی‌توان قانون علمی نامید، مگر زمانی که درسـت عمل کند و موجودات ماوراءالطبیعـی تصمیم بگیرند در آن دخالت نکنند. گفته می‌شـود 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، به‌نظرمی‌رسـد جبرگرایی علمی باید در مورد انسان‌ها

نیز صادق باشـد. با این حال بسیاری با این‌که قبول دارند جبرگرایی علمی بر فرآیندهای فیزیکی حاکم اسـت، با این حال برای رفتار انسـان‌ها استثنا قائل می‌شـوند؛ زیرا عقیده دارنـد ما دارای اختیار هسـتیم. به‌عنوان مثال دکارت، برای حفظ ایده اختیار، ادعا می‌کند که ذهن انسان با دنیای فیزیکی تفاوت داشـته و از قوانیـن آن تبعیت نمی‌کند. از دیدگاه او انسـان از دو بخش تشـکیل شده اسـت، بدن و روح. بدن انسـان یک ماشین معمولی اسـت، در حالیکه روح تابع قوانین فیزیکی نیسـت. دکارت به آناتومی و فیزیولوژی بسیار علاقه‌مند بود و عضو کوچکی را در مرکز مغز به نام غده صنوبری جایگاه اصلی روح می‌دانسـت. او عقیده داشـت 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 شـکل گرفته است؟ آیا جلبک سبز–آبی و یا یک باکتری نیز دارای

اختیار است و یا این‌که رفتارشان کاملاً اتوماتیک بوده و در قلمرو قوانین علمی رخ می‌دهد؟ آیا تنها جانداران پرسلولی 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 این‌که گمان می‌کنیم قادریم آنچه را که انجام می‌دهیم خود انتخاب کنیم، دانش ما در مورد اساس مولکولی زیست شناسی 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 عصب شناسی 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. به‌عنوان 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 به‌نظرمی‌رسد 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 به‌نظرمی‌رسد که نتیجه بگیریم تعیین خروجی این فرآیند چنان پیچیده است و تعداد متغیرهای آن چنان زیاد که عملاً

پیشـــگویی 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 تقریبـاً به‌همیـــن تعداد معادله را حل کنیم. این کار چندین میلیارد ســـال زمان لازم دارد که برای تصمیم‌گیری در مورد سرنوشـــت اردکی که تفنگ فردی به سمتش نشانه رفته، کمی زیاد است!

از آنجاکه اســـتفاده از قوانین فیزیکی برای پیش‌بینی رفتار انسان عملی نیست، از یک نظریه موثر استفاده می‌کنیم. در فیزیک، نظریه موثر چارچوبی اســـت که پدیده‌های مشخص مشاهده شـــده‌ای را بدون توضیح جزئیات فرآیندهای پس‌زمینه آن، مدل‌سازی می‌کند. به‌عنوان 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. به‌طور مشـــابه ممکن اســـت نتوان معادله رفتار اتم‌هـــا و مولکول‌های پیچیـــده را حل کرد، ولی بـــا تهیه نظریه موثری به نام شـــیمی توضیحات کافی برای این‌که چگونه اتم‌ها و مولکول‌ها در واکنش‌های شیمیایی عمل می‌کننـــد، فراهم می‌آید، بدون این‌که تمام جزئیات این واکنش‌ها را در نظر بگیریم. به‌طور مشابه در مورد انسان‌ها، از آنجاکه نمی‌توان معادلات مربوط به رفتار انســـان‌ها را حل نمود، از نظریه موثری استفاده می‌کنیم که بر طبق آن انســـان‌ها دارای اختیار هســـتند. مطالعه اختیار و رفتار ناشی از آن، علم روانشناسی نامیده می‌شـــود. اقتصاد نیز یک نظریه موثر است که بر مفهوم اختیار به‌علاوه این فرض که انسان‌ها عملکردهای ممکن را ارزیابی کرده و بهترین را انتخاب می‌کنند، بنا شده است. این نظریه موثر در پیش‌بینی رفتار همـــواره موفق نیســـت، زیرا آن‌طور که می‌دانیـــم تصمیمات اغلب عاقلانه نیستند و یا براساس تحلیلی ناقص از نتیجه‌ی یک تصمیم اتخاذ می‌شوند. برای همین است که دنیا چنین آشفته است.

سوآل سوم به این مطلب اشاره دارد که آیا قوانینی که هم رفتار انسان و هم رفتار جهان را تعیین می‌کنند، منحصربه فرد هســـتند؟ اگر پاسخ شما به

سوآل اول این باشد که خداوند قوانین را آفریده است، آنگاه این سوآل به این شکل خواهد بود که آیا خداوند در گزینش قوانین حق انتخاب داشته است یا نه؟ افلاطون و ارسطو، مثل دکارت و بعدها اینشتین، 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 این‌که در واقع طبیعت چگونه رفتار می‌کند، استخراج نمود. این مسأله به همراه تمرکز بر روی این‌که چرا اجسام از قوانین تبعیت می‌کنند به جای این‌که 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 این‌که 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 این‌که 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 بازخواهیم گشت؛ این‌که 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 ناظرِ مشاهده‌گر، وجود دارند. اما با اندیشیدن به نحوه مشاهده و مفاهیمی که در رابطه با آن شکل می‌گیرند، به این سوآل بر می‌خوریم که آیا واقعاً دلیلی داریم باور کنیم واقعیت بیرونی وجود دارد؟

فصل ۳

واقعیت بیرونی چیست؟

چندین سال قبل، شورای شهر مونتزا در ایتالیا، طی بیانیه‌ای نگهداری ماهی‌های خانگی را در تُنگ‌های 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 سوآل 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 تصویرمان 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. به‌عنوان 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 داوری تحریف شده خود، قوانین علمی را صورت‌بندی کرده و به‌کمک آن‌ها پیشگویی‌هایی را در رابطه با حرکت بعدی اشیاء بیرون از تنگ انجام دهد. درست است که به‌نظر می‌رسد قوانین ماهی‌ها بسیار پیچیده‌تر از قوانین چارچوب ما باشد، اما این‌که 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.

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 این‌که چرا تصور می‌شود زمین کروی و بی‌حرکت 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

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 دوایری که مرکزهایشان بر روی محیط دوایر دیگر به مرکزیت زمین قرار دارند، چون چرخی روی چرخ دیگر، به دور زمین می‌گردند.

این مدل طبیعی به‌نظرمی‌رسید 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 درصورتی که طبق تشخیص، مخالف با کتب مقدس باشد»

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

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

نـوع دیگری از واقعیت جایگزین در فیلـم علمی ـ تخیلی *ماتریکس* به نمایش گذاشـته شده اسـت. در این فیلم نژاد انسان، بی‌خبر در واقعیت مجازی شبیه‌سـازی شده توسـط کامپیوترهای هوشـمند، زندگی می‌کند. در ایـن وضعیت، درحالیکه انسـان‌ها در آرامش و رضایت بسـر می‌برند، کامپیوترها از انرژی بیوالکتریکی آن‌ها (یا هر چیزی که هسـت) اسـتفاده می‌کننـد. شـاید چنین روزی زیاد هم دور نباشـد، زیرا حتـی امروزه هم بسـیاری از افراد ترجیح می‌دهند ساعات خود را در فضاهای شبیه سازی شـده تارنماهایی مثل زندگـی دوم(Second Life) بگذرانند. از کجا معلوم که ما تنها شـخصیت‌های یک نمایش کامپیوتری پیش پا افتاده نباشیم؟ اگر مـا در یک دنیای تخیلی سـاختگی زندگی می‌کردیـم، رویدادها لزوماً از منطـق خاصی پیروی نکرده و یا تابع هیـچ قانونی نبودند. در این صورت ممکن بود بـرای بیگانگان کنترل کننده‌ی ما، جالب‌تر یا سـرگرم کننده‌تر باشـد که عکس العمل ما را تماشـا کنند، زمانی که به‌عنوان مثال، ماه کامل

به دو نیم تقسیم شود و یا هرکسی که در این جهان رژیم غذایی می‌گیرد، هـوس کیک خامه‌ای موزی کند. اما اگر کنترل کنندگان، قوانین پایداری را بـر این جهان اعمال کنند، به هیچ وجه نمی‌توان فهمید آیا واقعیت دیگری در ورای واقعیت شـبیه 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 شبیه‌سـازی شده نتوانند از بیرون به دنیای خود نگاه کنند، دلیلی وجود نخواهد داشـت که به‌تصویر خود از واقعیت شـک کنند. این فکر، صورت جدیدی است از این ایده که همه ما بخشی از رویای شخص دیگری هستیم.

این یک نوار ضبط شـده 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 کاملا معین، مثل سرعت و جرم هستند. از این دیدگاه، نظریه‌های ما تنها تلاش‌هایی برای توصیف آن اشیاء وتعیین 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 این‌که 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 وسوسه انگیز به‌نظرآید، اما همان‌طور که بعداً خواهیم دید، آنچه در مورد فیزیک مدرن می‌دانیم، دفاع از این ایده را مشکل می‌سازد. به‌عنوان مثال، برطبق اصول فیزیک کوانتوم، که توصیف دقیقی از طبیعت محسوب می‌شود، هر ذره نه مکان

و نه سرعت دقیقی دارد، مگر این‌که 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-زمانِ 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 ۱۷۸٤) 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 این‌که 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 پروفسور هایب کهکشانی را کشف کرده که کسی تاکنون ندیده است.»

برطبق واقع‌گرایی وابسته به مدل، اگر مدلی با مشاهدات سازگار باشد، دیگر این سوآل که آیا واقعی است یا نه بی‌معنی به‌نظرمی‌رسد. 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

است. می‌توان از هرکدام از دو مدل که در شرایط مورد نظر بهتر عمل می‌کند، استفاده کرد. به‌عنوان 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 ـ یعنی ما ـ 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 شبکیه چشم نقطه کوری وجود دارد که در آن عصب بینایی به شبکیه 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 شبکیه است، مساحتی به عرض انگشت شست درحالت 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. به‌علاوه مغز آرایه‌ای دو بعدی از اطلاعات شبکیه را خوانده و

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. به‌همین 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 این‌که 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؟ این‌که چیزهایی که نمی‌توانیم ببینیم، مثل الکترون‌ها و کوارک‌ها ـ ذراتی که گفته می‌شود تشکیل دهنده پروتون و نوترون هستند ـ 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 سوآل پیش می‌آید که در زمان بیرون رفتن از اتاق ، مثلاً در صورت ریزش سقف، چه اتفاقی می‌افتد؟ چگونه با در نظر گرفتن مدلِ «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 به‌نظرمی‌آید 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 تعیین کننده‌ای ایفا کرد و امروزه تمام فیزیکدانان به وجود الکترون باور دارند؛ حتی با این‌که 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.

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 آنتی‌کوارک (مزون‌های پی) دیده می‌شوند و به گونه‌ای رفتار می‌کنند که گویی به وسیله نوارهای لاستیکی به‌هم 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 بحث انگیزی 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. قبلا 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 صحیح بیش‌تر 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

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 زمین شناختی 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 به‌نظرمی‌رسد 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 به‌نظرمی‌رسد زیرا هرآنچه 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. مفهوم کوارک رکن حیاتی در نظریات ما در زمینه فیزیک بنیادی است، حتی با این‌که نمی‌توان کوارک‌ها را به‌طور مجزا مشاهده کرد.

یک مدل خوب، مدلی است که:

۱. زیبا باشد.

۲. عناصر تصادفی و تعدیل‌پذیر کمی داشته باشد.

۳. با تمام مشاهدات موجود مطابقت داشته و آن‌ها را توضیح دهد.

٤. پیش‌گویی‌های دقیقی در مورد مشاهدات آتی بدهد، به گونه‌ای که اگر پیش‌گویی‌ها نادرست از آب درآمدند، عدم صحت و نادرستی مدل معلوم شود.

به‌عنوان مثال نظریه ارسطو مبنی بر این‌که جهان از چهار عنصر زمین، هوا، آتش و آب تشکیل شده است و این‌که اشیاء به گونه‌ای رفتار می‌کنند که هدف خود را تامین کنند، هم زیبا است و هم دارای عناصر تعدیل پذیر نیست. اما این نظریه، در بسیاری موارد پیش‌گویی‌های قطعی انجام نمی‌دهد و حتی در مواردی هم که پیش‌بینی‌هایی دارد، اغلب با مشاهدات تطابق ندارند. یکی از این پیش‌گویی‌ها بیان می‌داشت که اجسام سنگین‌تر باید سریع‌تر سقوط کنند، زیرا هدف نهایی آن‌ها سقوط است.

به‌نظرمی‌رسد 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 وزنه‌های مختلف از بالای برج کج پیزا این مسأله را آزمایش کرد. این داستان احتمالاً ساختگی است ولی امروزه می‌دانیم که او از روی یک سطح شیب دار وزنه‌های مختلفی را به پایین رها کرده و مشاهده نموده است که تمام آن‌ها با نرخ ثابتی سرعت گرفته‌اند و این مخالف با پیش‌گویی ارسطو بوده است.

واضح است که چهار معیار بالا غیرعینی هستند. به‌عنوان 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 این‌که زیبایی معیاری است که به شکل نظریه باز می‌گردد، اما به میزان زیادی به نبود عناصر تعدیل پذیر وابسته است، زیرا مسلماً نظریه‌ای با فاکتورهای سرهم بندی شده خیلی زیبا نخواهد بود. به گفته اینشتین، یک نظریه باید تا جایی که امکان دارد ساده باشد، ولی نه ساده‌تر 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 بیش‌تر، بر روی دوایر افزوده شده اضافه کنیم، این مدل می‌تواند دقیق‌تر از این باشد. اگر فکر می‌کنید پیچیدگی بیش‌تر می‌تواند دقت مدل را بالا ببرد، باید بدانید دانشمندان نشان داده‌اند چگونه مدلی که به منظور تطابق با مجموعه‌ای از مشاهدات، از شکل می‌افتد، تا چه حد ناراضی کننده است. به عبارت دیگر چنین مدلی بیش‌تر شبیه به فهرست اطلاعات است تا نظریه‌ای که شامل اصول قابل استفاده باشد.

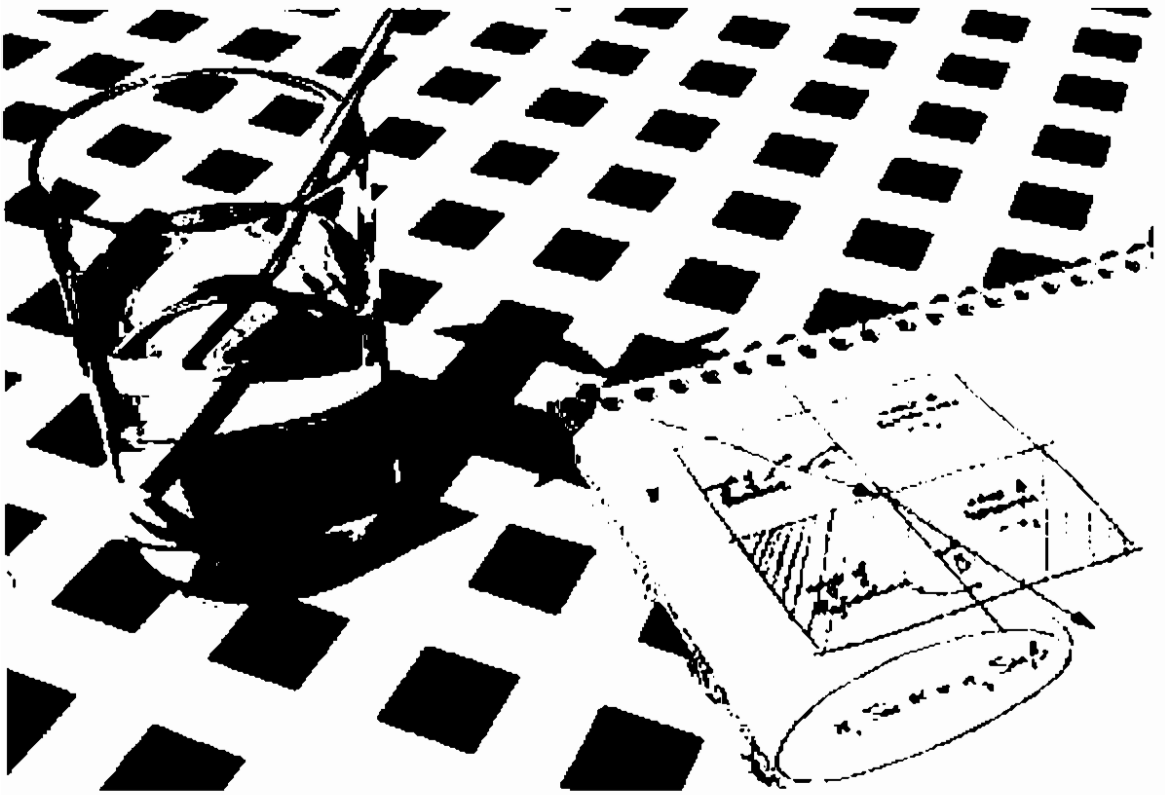
در فصل ۵ خواهیم دید بسیاری از افراد به «مدل استاندارد» معتقدند، مدلی که اثرات متقابل ذرات اصلی طبیعت را به صورت نازیبا توضیح می‌دهد. این مدل بسیار موفق‌تر از مدل دوایر بطلمیوس است. مدل استاندارد وجود ذرات جدید بسیاری را، حتی قبل از مشاهده آن‌ها، پیش‌گویی کرده

است. به‌علاوه 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 این‌که مقدارشان از طریق خودِ 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 عکس العمل‌های شایع این است که بگوییم آزمایش انجام شده نادرست بوده است. اگر ثابت شود که آزمایش مشکلی نداشته، اغلب افراد بازهم مدل را رها نکرده و در عوض سعی می‌کنند با اعمال اصلاحات، آن را حفظ کنند. با این‌که 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 دوردست سرعت آن‌ها را به‌دست آورد. او انتظار داشت تعداد کهکشان‌هایی که در حال دور شدن از ما هستند با تعداد آن‌هایی که به ما نزدیک می‌شوند یکی

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. به‌عنوان 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.

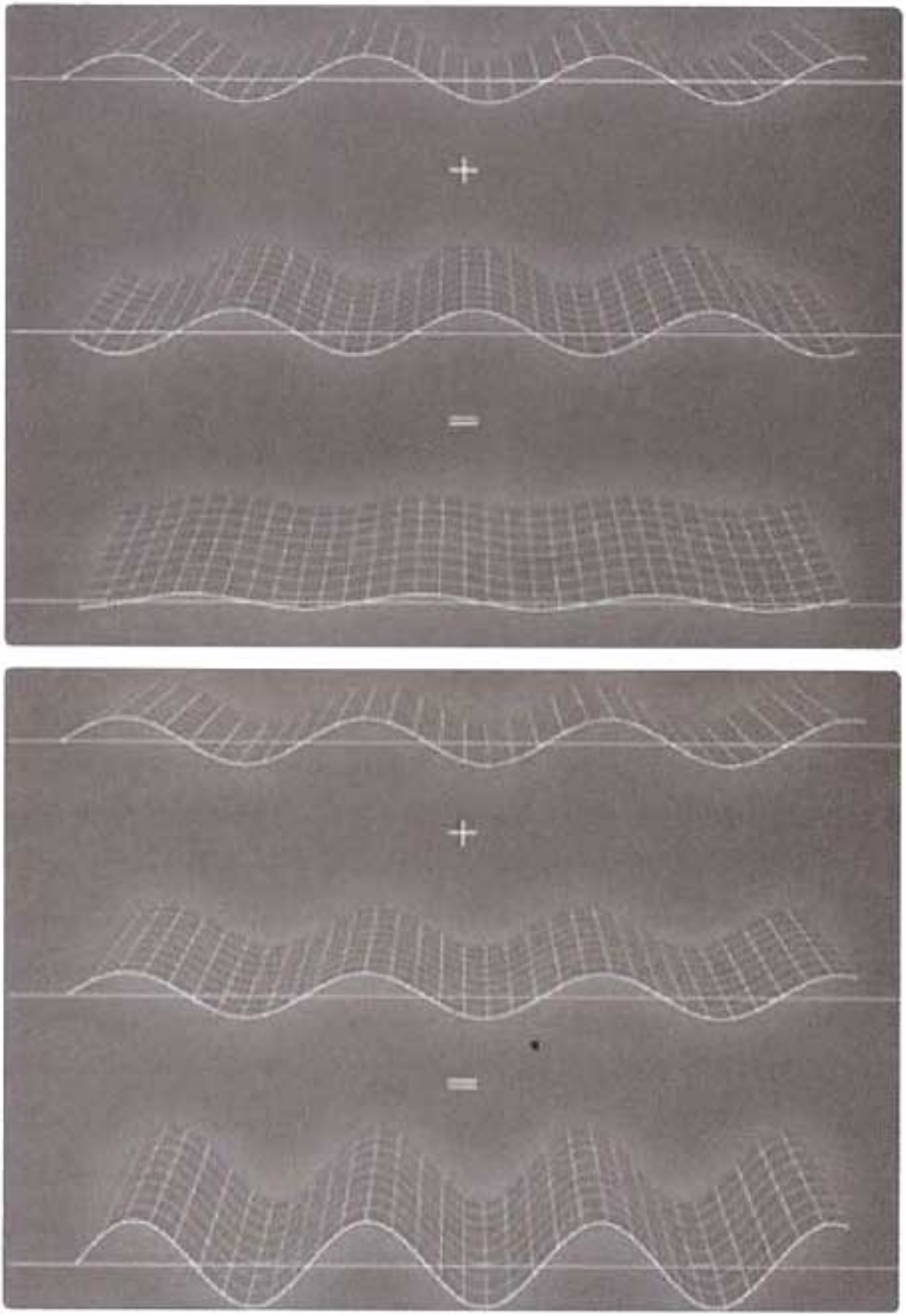


پدیده شکست نور. مدل نور نیوتون توضیح می‌دهد چرا نور با ورود از یک محیط به محیط دیگر خم می‌شود، اما نمی‌تواند پدیده دیگری را که امروزه حلقه‌های نیوتون نامیده می‌شود، توضیح دهد.

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. به‌عنوان 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 فرورفتگی 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 فرورفته دیگری منطبق شود. در این حالت دو موج یکدیگر را خنثی کرده و اصطلاحاً می‌گویند که با هم «غیرهم فاز» هستند. به این حالت تداخل مخرب می‌گویند.

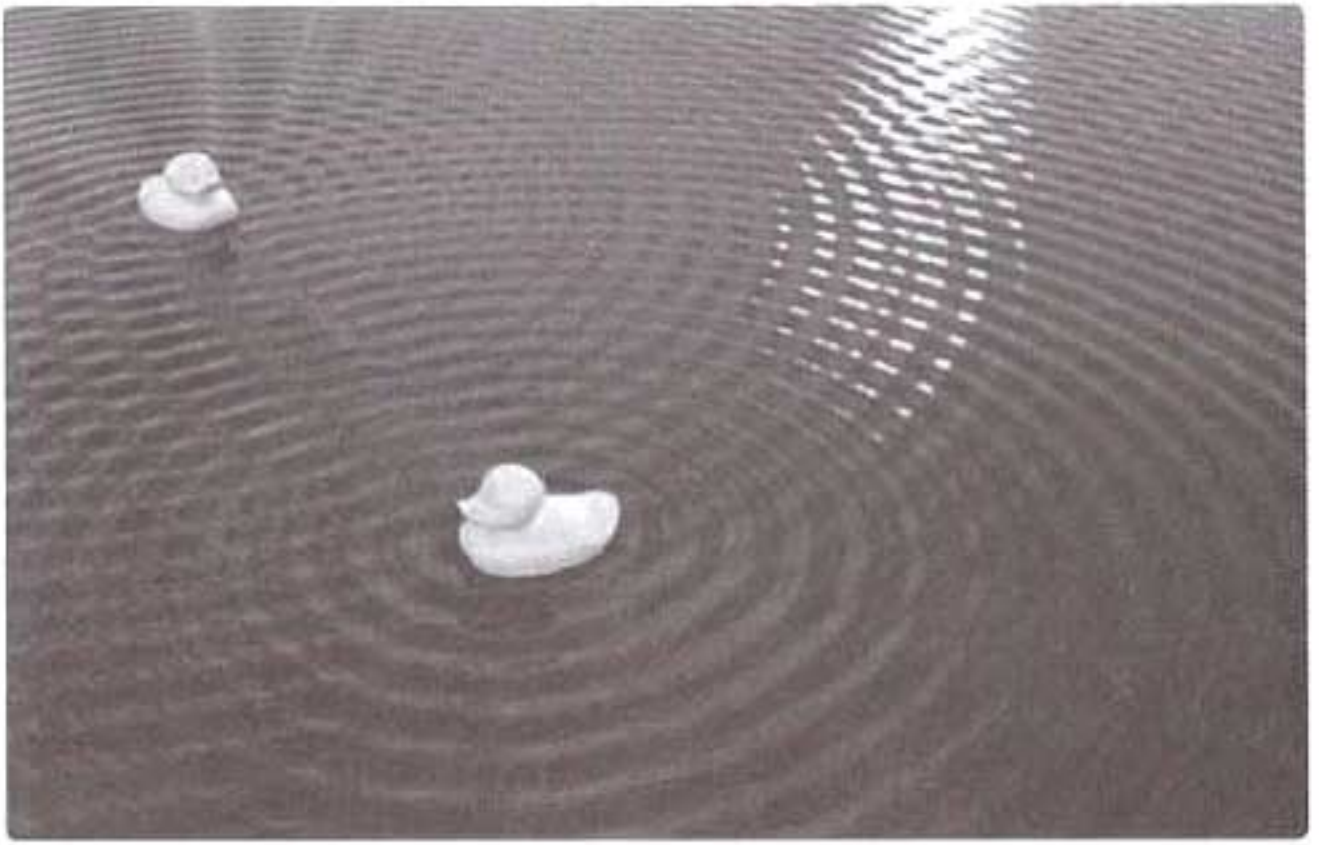


پدیده تداخل امواج. درست مثل افراد، وقتی با یکدیگر برخورد می‌کنند می‌توانند یکدیگر را تقویت کرده و یا باعث تضعیف هم شوند.

در پدیـــده حلقه‌های نیوتـــون، حلقه‌های روشـــن، در فواصلی از مرکز قرار دارند که جدایی بین عدســـی و ســـطح آینه به گونه‌ای است که موج عبوری از عدسی با موج منعکس شده از صفحه به اندازه ضریب صحیحی (۱، ۲، ۳ و ...) از طـــول مـــوج با هم تفاوت دارنـــد. این امر باعث به‌وجود آمدن تداخل ســـازنده می‌شـــود. (طول موج عبارت است از فاصله بین دو نقطـــه‌ی متناظر روی یـــک موج ـ ماننـــد دو قله یا دو پاســـتیغ.) از طرف دیگـــر، حلقه‌های تاریک در فواصلی از مرکز قرار دارند که جدایی بین دو موج مذکـــور به اندازه ضریب نیم صحیحی (۰/۵، ۱/۵، ۲/۵ و ...) از طول موج اســـت و درنتیجه باعث به‌وجود آمدن پدیده تداخل مخرب می‌شـــود ــ موج عبوری از عدسی، موج منعکس شده از صفحه را خنثی می‌سازد.

در قرن نوزدهم، این مســـأله به عنـــوان تاییدی بر صحت نظریه موجی نور و نشـــان دهنده نادرست بودن نظریه ذره‌ای محسوب می‌شد. در اوایل قرن بیستم، اینشتین نشان داد که اثر فوتوالکتریک (که امروزه در تلویزیون و دوربین‌های دیجیتـــال به کار می‌رود) را می‌توان از طریق ذره یا کوانتوم نـــور توضیح داد، بـــه این ترتیب که کوانتوم نور پس از برخورد با اتم، یک الکتـــرون را بیرون می‌انـــدازد. بنابراین می‌توان گفت نـــور هم به صورت موجی و هم به صورت ذره‌ای رفتار می‌کند.

شـــاید به ایـــن دلیل مفهوم موج به ذهن انســـان خطور کـــرد که او در زندگی خود امواج اقیانوس‌ها و پدیده افتادن ســـنگ به درون آب را دیده بود. احتمالاً شـــما اگر دو قلوه ســـنگ را به درون گودال آب پرتاب کرده باشـــید، احتمالاً مثل تصویر زیر پدیده تداخل را مشاهده کرده‌اید. بر طبق مشاهدات، مواد مایع دیگر نیز به‌همین 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 ـ ایده‌ای که براساس آن می‌توان یک شیء را هم به صورت ذره و هم موج توصیف کرد ـ 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: به‌نظر 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 به‌نظرمی‌رسد 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

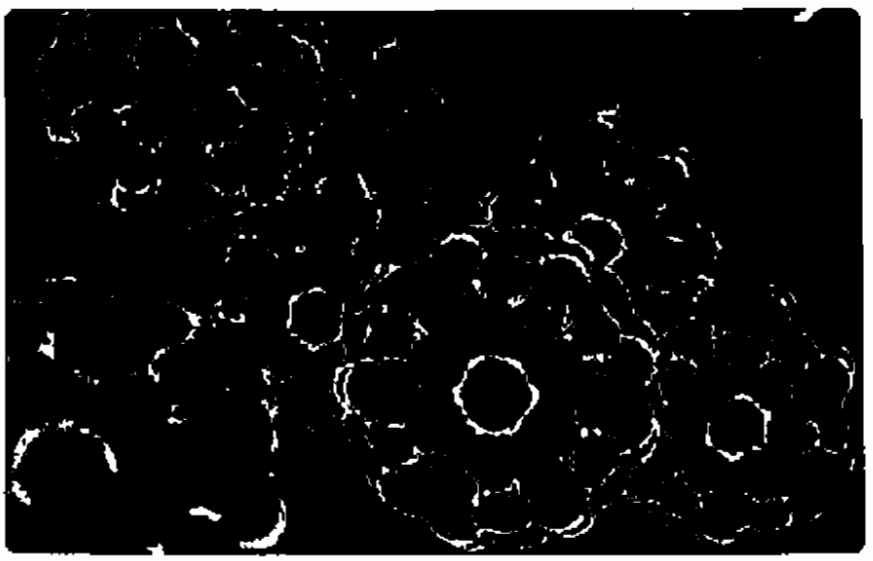
واحد هستند. اما هیچ یک از نظریه‌های موجود در شبکه نمی‌تواند تمام جنبه‌های جهان را توضیح دهد ـ تمام نیروهای طبیعت، ذراتی که تحت تاثیر این نیروها قرار می‌گیرند و چارچوب فضا ـ زمانی که همه در آن اجرا می‌شوند. اگرچه این وضعیت رویای باستانی فیزیکدانان را در مورد تحقق یک نظریه یکپارچه محقق نمی‌سازد، اما با 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 امکان پذیری 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 این‌بار نظریه، تمام آزمایش‌های تجربی را با موفقیت پشت سر گذاشته است.

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.

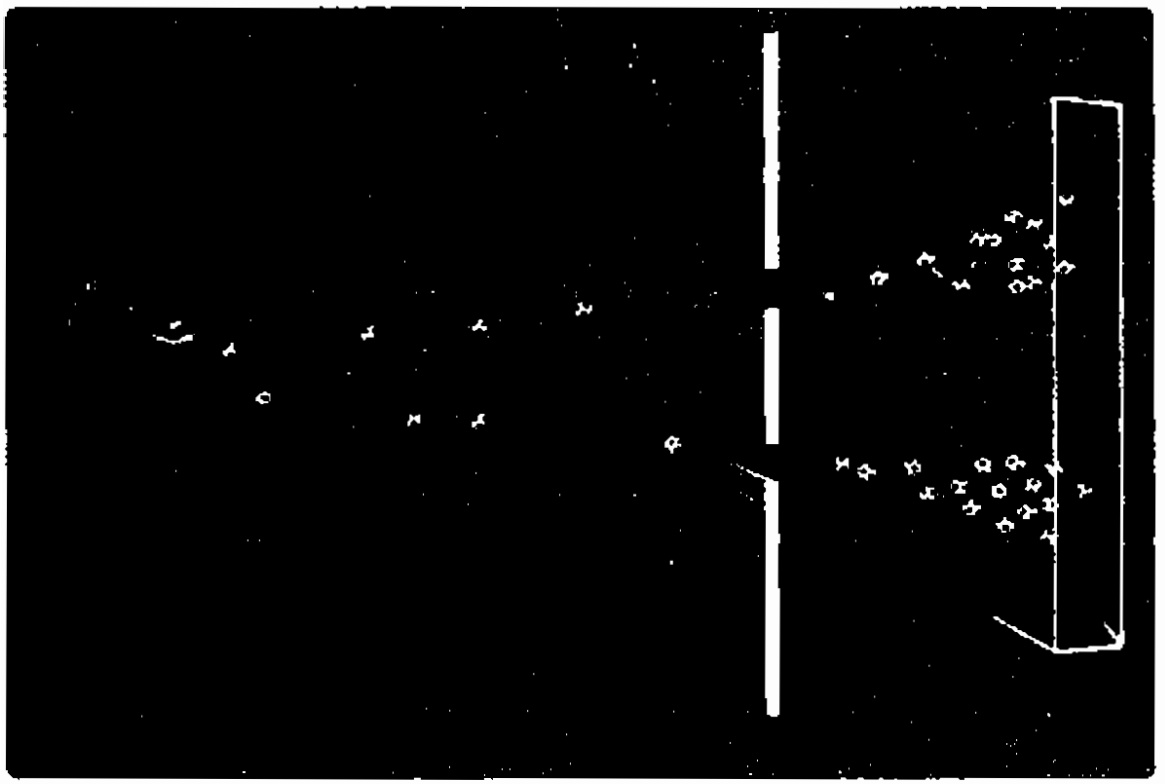


باکی‌بال. باکی‌بال‌ها شبیه به توپ فوتبال و میکروسکوپی هستند که از اتم‌های کربن تشکیل شده‌اند.

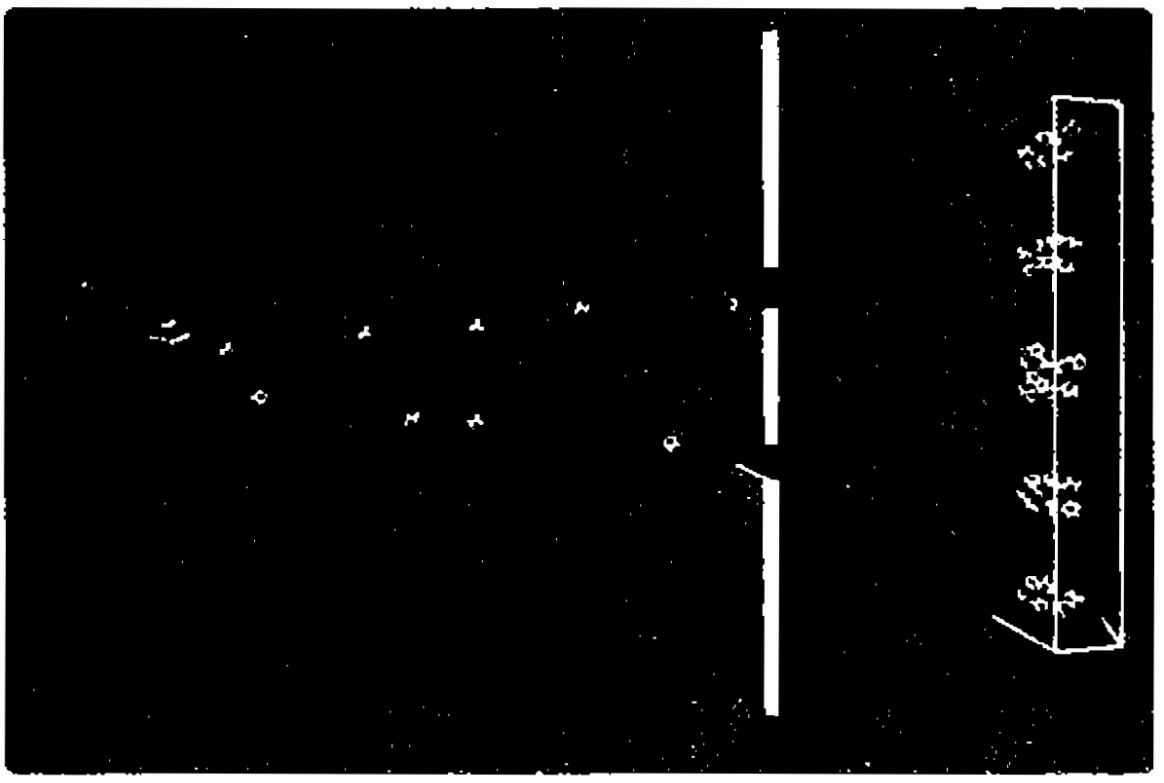
اگر بخواهیم آزمایش مشابهی را با توپ فوتبال واقعی انجام دهیم، در این صورت به بازیکنی نیاز داریم که بتواند توپ را با سرعت دلخواه ما، پی در پی شوت کند. به این ترتیب بازیکن در مقابل دیواری با دو شکاف قرار می‌گیرد. در پشت دیوار و به صورت موازی با آن، تور بزرگی قرار داده می‌شود. بیش‌تر شوت‌های بازیکن به دیوار 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 تاثیری 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 درعوض در برخی نقاط دیگر این تعداد کاهش می‌یابد. در حقیقت نقاطی وجود دارند که وقتی هر دو شکاف باز هستند هیچ توپی 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.



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.

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 به‌هم می‌رسند و بنابراین تداخل مخرب رخ می‌دهد. به‌همین ترتیب، نقاطی که مولکول‌های زیادی با آن‌ها برخورد می‌کنند، نقاطی هستند که امواج در آن‌ها به صورت هم فاز به‌هم 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 وگسترش 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 یاکی‌بال. آزمایش یاکی‌بال، 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 به‌کمک 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 ـ همچنین ما ـ 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

نخواهد گفت. فیزیکدانان هنوز بر روی این موضوع کار می‌کنند تا بتوانند بـه جزئیات بیرون آمدن قوانیـن نیوتون از درون فیزیک کوانتوم پی ببرند. می‌دانیم اجزای تشـکیل دهنده تمام اشیاء، از قوانین فیزیک کوانتوم تبعیت می‌کننـد. همچنین می‌دانیم قوانین نیوتون، تقریب خوبی از فیزیک کوانتوم هسـتند، برای توصیف چگونگی رفتار اشـیاء 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 مولکول‌هـای تنها، به گونه‌ای کاملاً متفـاوت با آنچه در زندگی روزمره تجربـه می‌کنیم، رفتـار می‌کنند. فیزیک کوانتوم مـدل جدیدی از واقعیت بیرونی اسـت، که تصویری از جهـان را به ما ارائه می‌کند. در این تصویر، بسـیاری از مفاهیم بنیادی مربوط به درک مسـتقیم ما از واقعیت بیرونی، دیگر معنی ندارند.

آزمایش دو شکاف اولین‌بار در سال ۱۹۲۷، در آزمایشگاه بِل، به وسیله فیزیکدانان تجربی، کلینتون دیویسون و لِستر گِرمر، انجام گرفت. دیویسون و گرمر، چگونگی رفتار پرتو الکترون ــ که بسـیار سـاده‌تر از باکی‌بال‌ها هسـتند ــ را در برخورد با کریسـتال نیکل مورد بررسـی قرار دادند. این حقیقت که ذرات مادی مثل الکترون‌ها، شـبیه به امواج آب رفتار می‌کنند، تجربه شـگفت انگیزی بود که الهام بخش فیزیک کوانتوم شـد. از آنجا که این رفتار در بزرگ مقیاس قابل رؤیت نیسـت، دانشـمندان تا مدت‌ها این سـوآل را از خود می‌پرسـیدند که یک شیء تا چه اندازه می‌تواند بزرگ و پیچیده باشـد، ولی هنوز از خود ویژگی‌های موج گونه به نمایش بگذارد. واضح اسـت اگر می‌شـد این اثر را در انسـان یا مثلاً کرگدن نشـان داد، هیاهوی بزرگی ایجاد می‌شـد، ولی همان‌طور که گفتیم به‌طور کلی هرچه جسـم بزرگ‌تر باشد اثرات کوانتومی آن ضعیف‌تر و کم‌تر مشهود هستند. بنابرایـن هر حیوانی در باغ وحش نمی‌توانـد 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 به‌نظرمی‌رسد 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 به‌کمک 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.

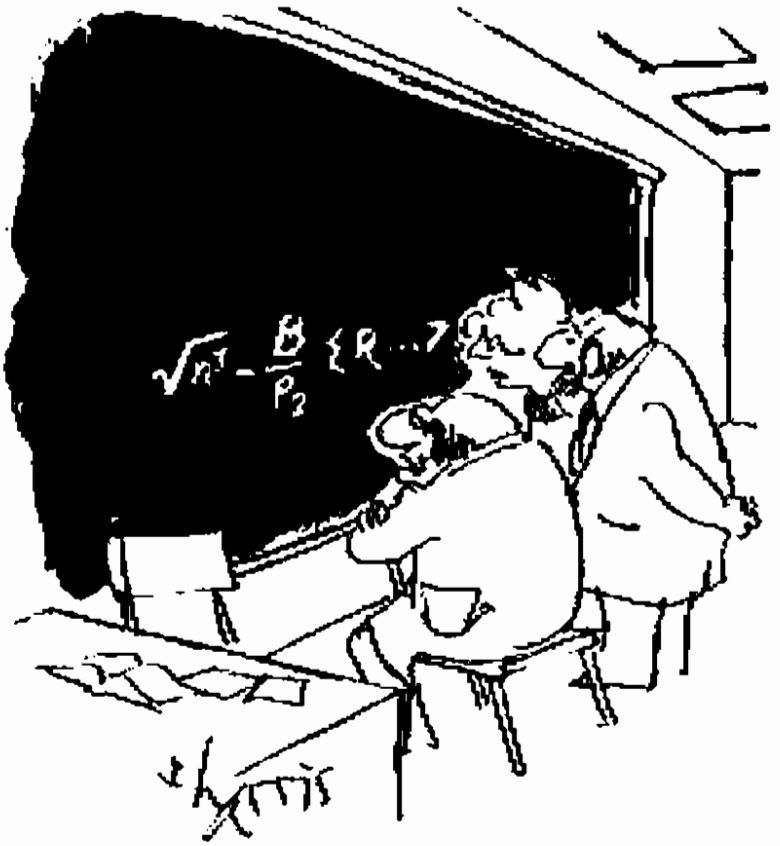
اگرچه می‌توان نتیجه گرفت، ادعای نیوتون در مورد موجی نبودن نور اشتباه بوده است، ولی از طرف دیگر، این‌که نور می‌تواند به گونه‌ای رفتار کند که گویی از ذرات تشکیل شده، صحیح بوده است. امروزه ما این ذرات را فوتون می‌نامیم. درست همان‌طور که ما از تعداد بیشماری اتم تشکیل شده‌ایم، نوری که در زندگی روزمره می‌بینیم نیز مرکب است، به گونه‌ای که از تعداد زیادی فوتون تشکیل شده است ــ حتی یک چراغ خواب ۱ واتی، در هر ثانیه، میلیاردها میلیارد فوتون منتشر می‌کند. معمولاً یک فوتون تنها را نمی‌توان دید، اما در آزمایشگاه می‌توان پرتو نور چنان خفیفی تولید کرد، که از دنباله‌ای از تک فوتون‌ها تشکیل شده باشد. در این صورت می‌توان مشابه الکترون‌ها و باکی‌بال‌های منفرد، فوتون‌ها را نیز آشکار کرد. به این ترتیب می‌توان آزمایش یانگ را با پرتو نور به اندازه کافی باریک، تکرار کرد؛ به نحوی که در هر زمان تنها یک فوتون به مانع برخورد کند و بین هر دو برخورد چند ثانیه فاصله بیفتد. اگر این کار را انجام دهیم و سپس تمام برخوردهای ثبت شده بر روی صفحه پشت مانع را با هم جمع کنیم، شاهد همان الگوی تداخلی خواهیم بود که در آزمایش دیویسون-گرمر با الکترون (یا باکی‌بال) دیدیم. از نظر فیزیکدانان این انقلاب تکان دهنده‌ای بود: اگر ذرات بتوانند با یکدیگر تداخل پیدا کنند، در این صورت طبیعت موجی نور خاصیتی خواهد بود که نه فقط به یک پرتو و یا مجموعه بزرگی از فوتون‌ها، بلکه به تک تک ذرات تعلق دارد.

یکی دیگر از اصول فیزیک کوانتوم اصل عدم قطعیت است که در سال ۱۹۲۶ به وسیله ورنر هایزنبرگ ارائه شد. اصل عدم قطعیت بیان می‌کند که توانایی ما در اندازه‌گیری هم‌زمان اطلاعات دقیق، محدود است؛ مثل مکان و سرعت یک ذره. به‌عنوان مثال، بر طبق این اصل، اگر میزان عدم قطعیت در مکان یک ذره را، در میزان عدم قطعیت در اندازه حرکت (حاصل ضرب جرم در سرعت) آن ضرب کنیم، نتیجه هرگز نمی‌تواند کوچک‌تر از مقدار مشخص ثابتی به نام ثابت پلانک شود. اگرچه کمی پیچیده به‌نظرمی‌رسد، اما جان کلام این است: هرچه سرعتی که اندازه

می‌گیرید دقیق‌تر باشـد، ناچار در اندازه‌گیری مکان، دقت کم‌تر خواهد بود و برعکس. به‌عنوان مثال، اگر میزان عدم قطعیت مکان را نصف کنید، عدم قطعیت در مورد سـرعت دو برابر می‌شـود. توجه به این مسأله نیز اهمیت دارد که در مقایسـه با واحدهای معمـول اندازه‌گیری، مثل متر، کیلوگرم و ثانیه، ثابت پلانک عدد بسیار کوچکی است. در حقیقت اگر بخواهیم ثابت پلانک را بر حسـب این واحدها بیان کنیم، مقداری در حدود ٦ تقسـیم بر ۱۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ خواهد داشت. در نتیجه، اگر مکان یک شـیء بزرگ مقیاس، مثل یک توپ فوتبال به وزن یک سوم کیلوگرم را در هر جهت، با دقت یک میلی متر تعیین کنیم، آنگاه هنوز قادریم سـرعت آن را با دقتی بسـیار بیش‌تر از یک میلیاردم میلیاردم میلیاردم کیلومتر بر سـاعت تعیین کنیم، زیرا با اندازه‌گیری‌های انجام گرفته در این واحدها، جرم توپ فوتبال یک سـوم و میزان عدم قطعیت در مکان توپ برابر یک هزارم اسـت. مقیاس اندازه‌گیری مـکان در این حالت، در مقایسـه با صفرهای ثابت پلانک بسـیار ناچیز بـوده و بنابراین مابقی عدم قطعیت به اندازه‌گیری سـرعت اختصاص می‌یابد. اما از طرف دیگر، جرم یک الکتـرون برابر ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱ کیلوگرم اسـت و بنابراین در این حالـت وضعیت کاملاً متفاوت اسـت. اگر مکان یک الکترون را با دقتی در مقیاس سـایز اتم تعیین کنیم، بر طبق اصل عدم قطعیـت، نمی‌توانیم سـرعت آن را با دقتی بیش‌تـر از ۱۰۰۰ ± کیلومتر بر ساعت تعیین نماییم، که این عدد به هیچ وجه دقیق نیست.

براسـاس فیزیک کوانتـوم، صرفنظر از میزان اطلاعات به‌دسـت آمده یا قدرت محاسـباتی، خروجی فرآیندهـای فیزیکی را نمی‌توان با قطعیت پیش‌گویـی کـرد، زیرا حتی نمی‌تـوان آن‌ها را با قطعیـت تعیین کرد. در عوض، طبیعت با دانستن حالات ابتدایی یک سیستم، از طریق فرآیندی که اساساً قطعیت ندارد، حالت بعدی آن را تعیین می‌کند. به بیان دیگر، طبیعت خروجی هیچ فرآیند یا آزمایشی را، حتی در مورد ساده‌ترین موقعیت‌ها، از قبل تحمیل نمی‌کند. بلکه، حالات مختلفی را که هر کدام احتمال مشخصی

برای تحقق دارند، امکان پذیر می‌سازد. به تعبیر اینشتین، گویی خدا قبل از تصمیم‌گیری در مورد نتایج فرآیندهای فیزیکی، تاس می‌اندازد. این ایده اینشتین را ناراحت می‌کرد و به‌همین دلیل، با این‌که 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 زیرسوآل می‌برد، ولی در اصل این‌گونه 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 این‌که آینده و گذشته را با قطعیت تعیین کنند، احتمالات مربوط به آینده‌ها و گذشته‌های مختلف را تعیین می‌کنند. با این‌که از دید برخی ناخوشایند به‌نظرمی‌رسد، 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 سرشتِ احتمال‌گرایِ 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 علی رغم این طبیعت احتمال‌گرا، بازهم می‌توان نظریه‌های کوانتومی را مورد آزمایش قرار داد. به‌عنوان 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 این‌که 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 قُنطورس 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 به‌دست 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 هرچه دورترشدن 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 برگیرنده 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.

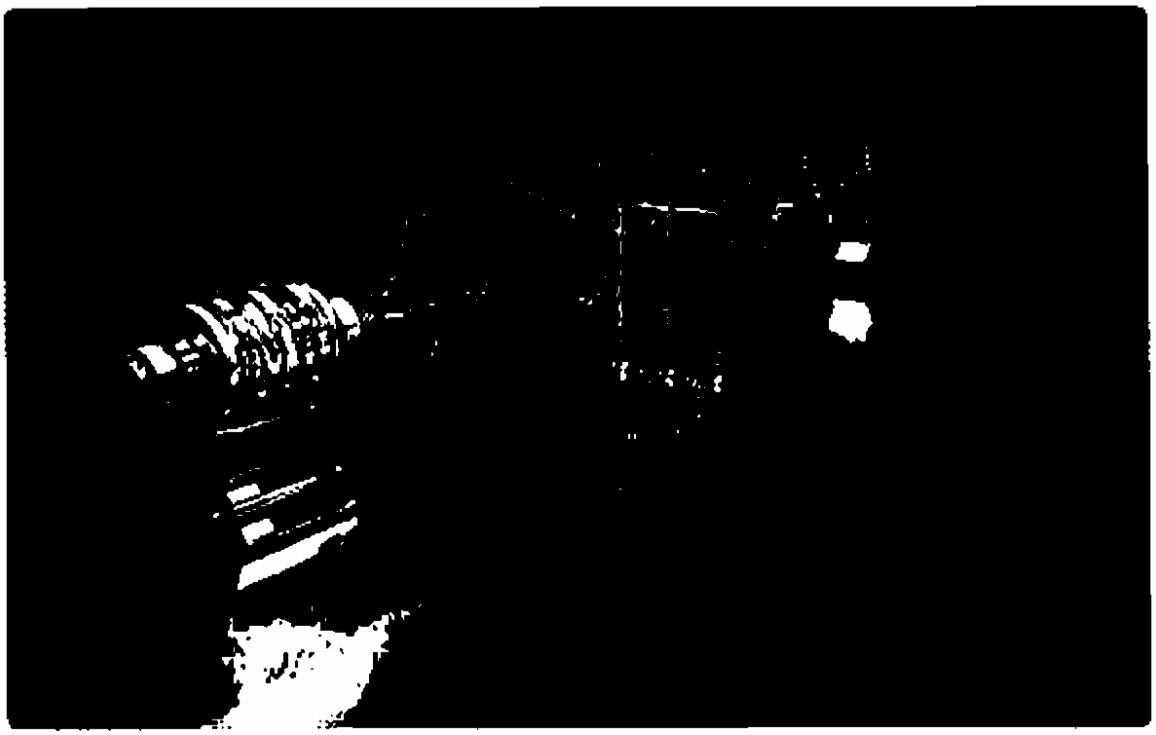
در دهه ۱۹۴۰، ریچارد فاینمن، به درک حیرت انگیزی از تفاوت بین جهان کوانتومی و نیوتونی دست یافت. این سوآل که در آزمایش دو شکاف الگوی تداخل چگونه ایجاد می‌شود، کنجکاوی فاینمن را برانگیخت. اگر بخاطر داشته باشید، در حالتی که هر دو شکاف باز هستند، الگوی تداخلی که از شلیک مولکول‌ها ایجاد می‌شود با مجموع حالاتی 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 به‌نظر 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 تاثیرپذیری از وضعیت شکاف دیگر طی می‌کند.

براساس فیزیک نیوتونی ــ همان رفتاری که در صورت استفاده از توپ فوتبال به جای مولکول شاهد آن هستیم ــ 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 به‌نظرمی‌رسد، اما اصلاً این طور نیست. عبارت ریاضی فرمول بندی شده توسط فاینمن ــ انتگرال مسیر فاینمن ــ 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 هردو پیش‌گویی‌های یکسانی انجام می‌دهند.

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

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 به‌دست می‌آورد ـ 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 به‌نظر 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.



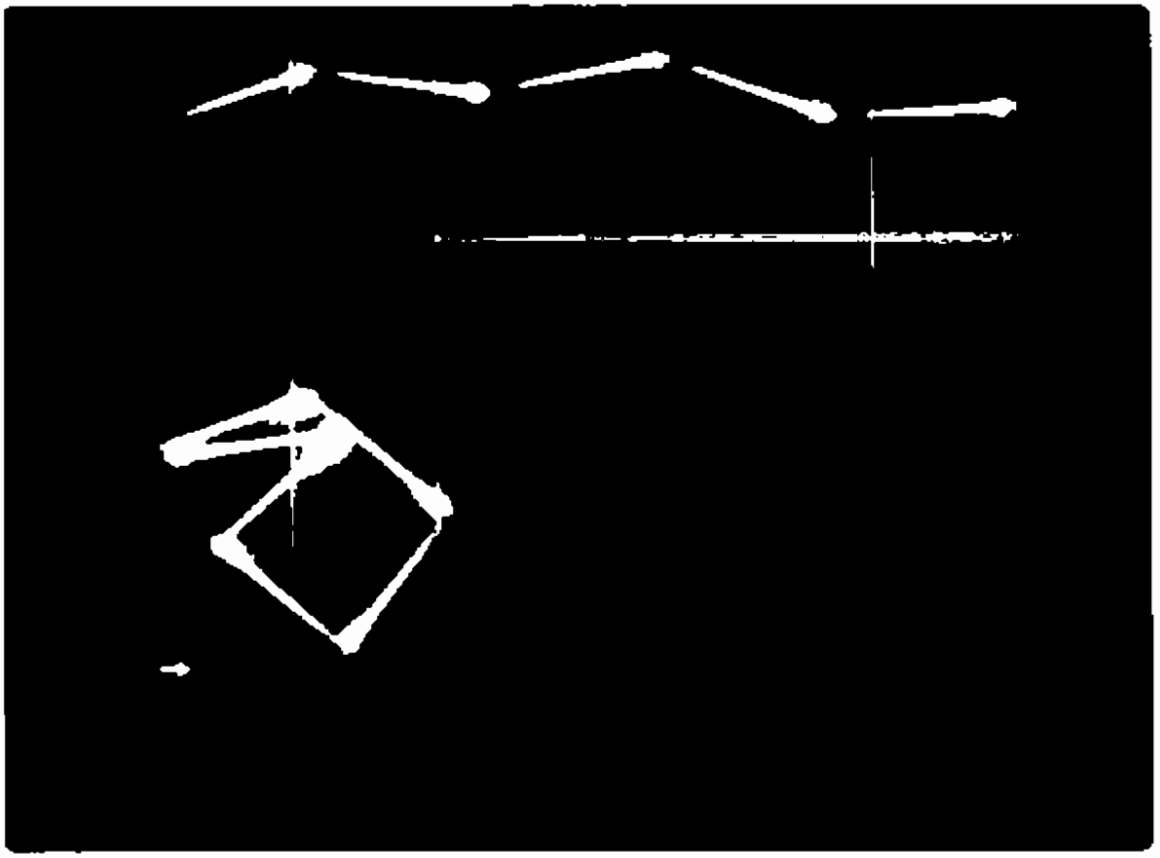
مسیرهای ذره. صورت‌بندی فاینمن از نظریه کوانتوم توضیح می‌دهد که چرا ذراتی مثل باکی‌بال‌ها و الکترون‌ها، هنگام شلیک به سمت شکاف‌های صفحه، الگوهای تداخلی ایجاد می‌کنند.

درک دیـدگاه فاینمن در فهمیدن نظریاتـی که در ادامه معرفی خواهند شـد، ضروری اسـت. بنابراین لازم اسـت زمانی را برای دریافت صحیح چگونگـی عملکرد آن اختصاص دهیم. فرآیند سـاده‌ای را تصور کنید که درآن، 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 اسـت که موقعیت سیکل موج را نشان می‌دهد، یعنی اینکه موج در برآمدگی، فرورفتگی، یا جایی بین این دو نقطه است. دستورالعمل ریاضی فاینمن برای محاسبه فاز، نشان داد زمانی که امواج مربوط به تمام مسیرها را بـا یکدیگر جمع می‌کنیم، «دامنه احتمالی» را به‌دسـت 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 مسـیرها به تنهایی را که از جمع آن‌ها حاصل جمـع فاینمـن (و در نتیجه احتمال مربوط به حرکت از A به B) به‌دسـت می‌آیـد، می‌توان به صـورت بردارهایی با طول مشـخص ولی در جهات مختلـف نشـان داد. به منظور جمع دو فاز، بردار مربـوط 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 رسـم می‌شود، حاصل جمع دو بردار خواهد بود. برای جمع تعداد بیش‌تر بردارها نیز کافی اسـت همین فرآیند را ادامه دهیم. توجه داشـته 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 می‌رسـد، فازها یا بردارهای مربوط به

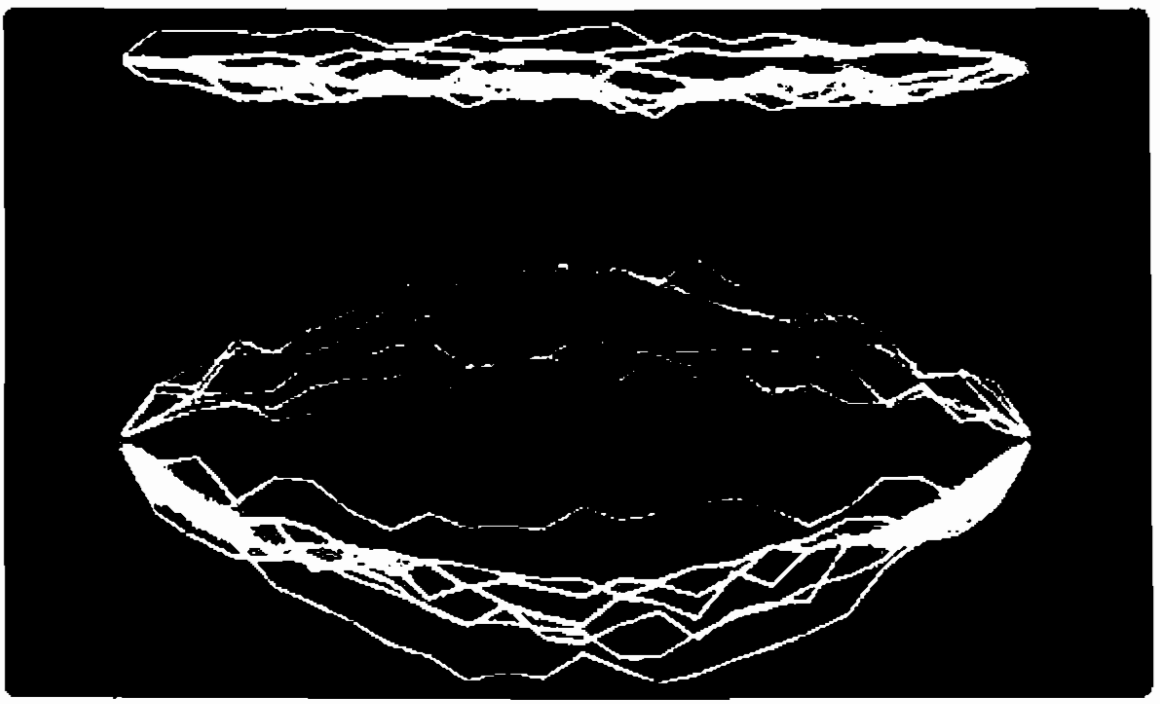
هریک از مسیرهایی را که این دو نقطه را به یکدیگر وصل می‌کنند، با هم جمع می‌کنیم. با این‌که تعداد مسیرها بی‌نهایت بوده و در نتیجه ریاضیات مسأله کمی پیچیده می‌شود، ولی این روش به خوبی عمل می‌کند. برخی از مسیرها در زیر به‌تصویر کشیده شده‌اند.



جمع مسیرهای فاینمن. تاثیر مسیرهای مختلف فاینمن بر یکدیگر، درست مثل امواج می‌تواند هم تقویت کننده و هم تضعیف کننده باشد. بردارهای زرد نشان دهنده 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 به‌وضوح بیان می‌کند چگونه تصویر جهان نیوتونی، که بسیار متفاوت به‌نظر می‌رسد، از درون فیزیک کوانتوم بر می‌خیزد. بر طبق نظریه فاینمن، فازهای مربوط به هریک 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 به‌هم،

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 نشـــان می‌دهد، مســـیرهای مشـــخصی وجود دارند که فاز آن‌ها با یکدیگر جمع شـــده و بردارهای بزرگی ایجاد می‌کنند، و در نتیجه این مســـیرها از اهمیت خاصی برخوردار هستند. یعنی می‌توان گفت این مسیرها، در رفتار مشـــاهده شـــده ذره نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند. این‌گونه استنباط می‌شود که برای اشـــیاء بزرگ، مســـیرهایی که بسیار شبیه به مســـیرهای پیش‌بینی شـــده نیوتونی هستند، فازهای مشابه داشـــته، با یکدیگر جمع می‌شوند و در نهایت بیش‌ترین ســـهم را در حاصل جمع مســـیرها به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین تنها سرنوشـــتی که دارای احتمالی بسیار بزرگ‌تر از صفر اســـت، همان سرنوشتی اســـت که از طریق نظریه نیوتون برای حرکت ذره پیش‌بینی شـــده و این سرنوشـــت دارای احتمالی بسیار نزدیک به ۱ است. بنابراین اشـــیاء بزرگ درســـت 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 محتملی که منجر به آن نتیجه می‌شوند، ساخته می‌شود. به‌همین دلیل این روش، صورت‌بندی «مجموع تاریخچه‌ها»[1] یا «تاریخچه‌های جایگزین»[2] 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 ــ که به معنی شلیک فوتون

1. Sum over histories
2. Alternative histories

به سمت آن است ــ 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 جمع آوری 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 ـ مسیر» گفته می‌شود، زیرا به این ترتیب می‌توان فهمید ذره‌ای که از A به B رسیده، از کدام شکاف عبور کرده است. از آنجاکه 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

به‌دست آوریم. در این صورت اگر اطلاعات مربوط به ذرات فرود آمده را به دو بخش تقسیم کنیم ــ ذراتی که در مورد آن‌ها اطلاعات «کدام ـ مسیر» را داریم و آن‌هایی که نداریم ــ 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 این‌که 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 منحصربه 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

تاثیر قرار می‌دهد. این مسأله، به‌کمک آزمایشی به نام گزینش تاخیری[1] که به وسیله فیزیکدانی به نام جان ویلر انجام گرفت، به شیوه شگفت انگیزی مورد تاکید واقع شد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت آزمایش گزینش تاخیری، 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 تاخیردار، شما تصمیم‌گیری خود را مبنی بر این که مسیر ذره را مشاهده کنید یا نه، تا زمان برخورد ذره با صفحه به تاخیر می‌اندازید.

نتایج حاصل از آزمایش گزینش تاخیری مشابه با حالتی است که در آن انتخاب می‌کنیم اطلاعات «کدام ـ مسیر» را از طریق نگاه کردن به شکاف‌ها مشاهده کنیم (یا نکنیم). اما در این حالت، مسیری که هر ذره دنبال می‌کند ـ یعنی گذشته آن ـ مدت طولانی پس از این‌که 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 هردو (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. بازهم اگر می‌توانستیم، کمی قبل از آشکارسازی، ابزاری را برای اندازه‌گیری اطلاعات کدام ـ مسیر قرار دهیم، این الگو از بین می‌رفت. در این حالت، احتمالاً تصمیم‌گیری برای این‌که یک و یا هردو مسیر پیموده شوند، میلیاردها سال پیش، قبل از این‌که زمین و حتی خورشید به‌وجود آمده باشند، انجام گرفته است و جالب اینجاست که هنوز هم ما می‌توانیم

1. Delayed-choice experiment

با مشاهدات خود در آزمایشگاه، آن را تحت تاثیر 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 محتملی را (هرکدام با احتمال مربوط به خود) داراست و مشاهدات ما از حالات فعلی آن، گذشته‌اش را تحت تاثیر قرار می‌دهد، همان‌طور که مشاهده ذره در آزمایش دو شکاف، گذشته آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این تحلیل نشان می‌دهد چگونه قوانین طبیعت در جهان ما از انفجار بزرگ ناشی شده‌اند. اما قبل از این‌که چگونگی برخاستن قوانین را مورد بررسی قرار دهیم، کمی در مورد چیستی این قوانین و برخی از اسرار ناشی از آن‌ها، صحبت خواهیم کرد.

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 تاثیر شگرفی بر حیات فکری دوران خود بر جای گذاشت، زیرا برای اولین‌بار نشان می‌داد که دست‌کم یک جنبه از جهان را می‌توان به دقت مدل‌سازی کرد به‌علاوه 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 دوار 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

ساعت روی خط استوا) به حرکت خود ادامه می‌دهد که بهایی سنگین برای تأخیرِ 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 همنام یا دو قطب مغناطیسی همنام 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.

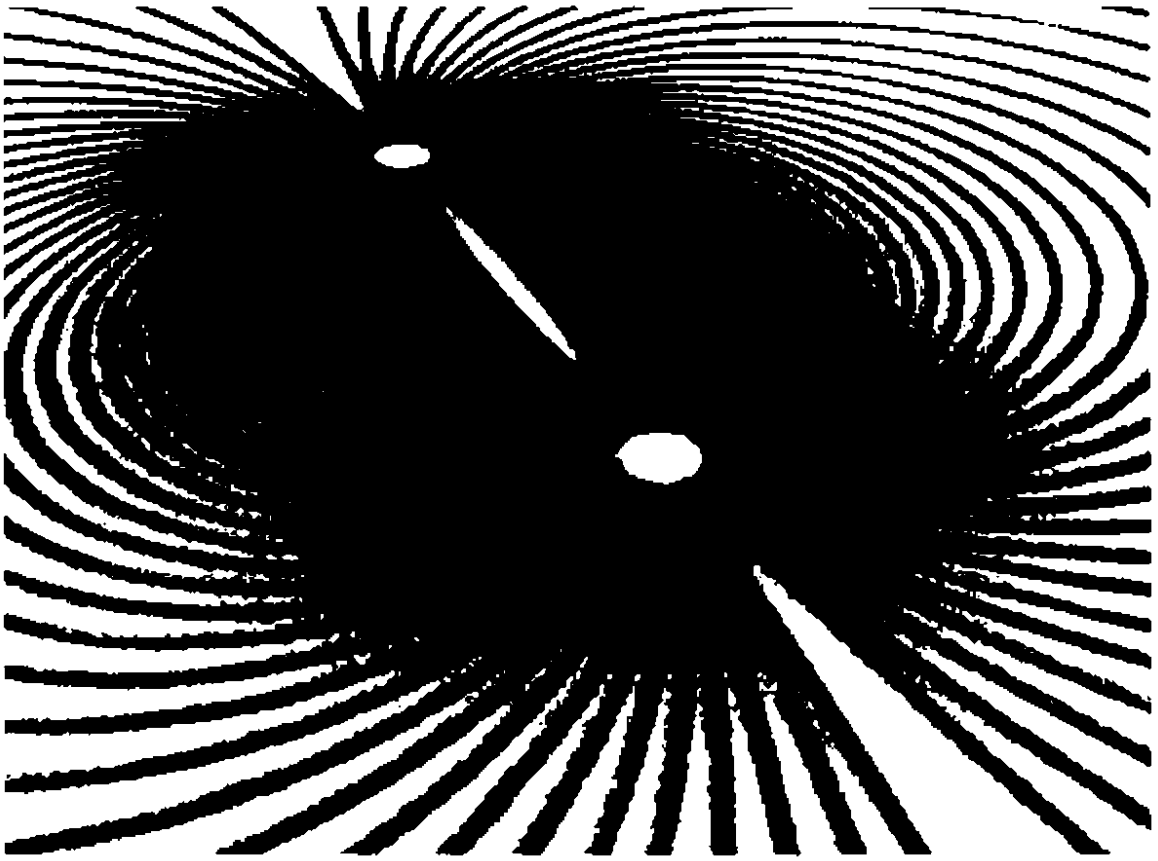
دانسته‌های امروزی ما در مورد الکتریسیته و مغناطیس در طول یک دوره صد ساله از اواسط قرن هجدهم میلادی تا اواسط قرن نوزدهم میلادی شکل گرفته است. دوره‌ای که در آن فیزیکدانان کشورهای مختلف آزمایش‌های مشروحی در مورد نیروهای الکتریکی و مغناطیسی انجام دادند. یکی از بهترین یافته‌ها در این زمینه، کشف ارتباط بین 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 اورستِد، 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 فارادِی استدلال کرد که به زبان امروزی چنانچه جریان الکتریکی سبب ایجاد میدان مغناطیسی

می‌شود، میدان مغناطیسی هم باید قادر باشد جریان الکتریکی تولید کند. او این اثر را در سال ۱۸۳۱ به نمایش گذاشت. ۱٤ 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 دِیوی، کاری به عنوان دستیار به‌دست 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 فضاپیماهایشان ، با این موضوع آشنا هستند و شاید فارادی دراین مورد باید حق اختراع بگیرد، ولی در سده‌های بین نیوتون و فارادی، یکی از بزرگترین معماهای فیزیک این بود که به‌نظر 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 ــ قرار دادن یک آهن ربای میله‌ای زیر

یک ورق شیشه‌ای و پاشیدن براده آهن روی آن ــ روش خوبی است. اگر بـــرای غلبه بر اصطکاک، چند ضربه به ورق بزنیـــد، براده‌ها طوری جابجا می‌شـــوند که انـــگار به یک نیروی نامرئی اشـــاره می‌کنند و بالاخره مطابق یک الگو به شـــکل 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 بوســـیله میدان‌ها منتقل می‌شـــوند، یک مفهوم مهم در فیزیک مدرن که بـــه مفاهیم علمی–تخیلی خیلی شبیه است.



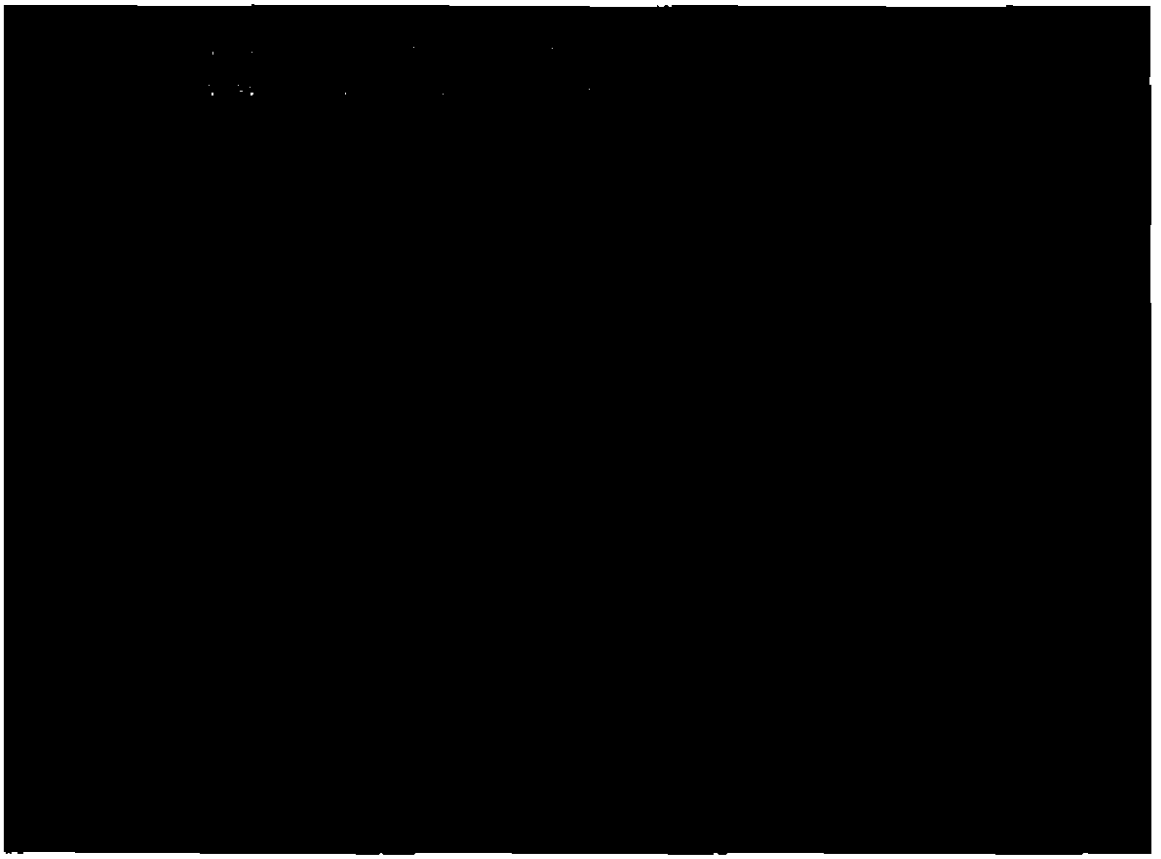
میدان‌های نیرو. میدان نیروی یک آهن ربای میله‌ای، آن گونه که براده‌های آهن به‌تصویر کشیده‌اند.

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

یازده نظریه الکترومغناطیس ـ همگی ناقص ـ 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 مستقلی 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 احتمالا 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 رادیوئی طول موجی در حدود یک متر یا بیش‌تر دارند، در حالی که طول موج نور مرئی چند ده میلیونیم متر و در مورد پرتو ایکس زیر یک صد میلیونیم متر است. خورشید ما در همه طول موج‌ها می‌درخشد، اما شدیدترین پرتوهایش در طول موج‌هایی است که برای ما قابل رویت‌اند. احتمالا 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 موج هایی 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

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 فورا استخدام می‌شوند.



طول موج. ریزموج‌ها، امواج رادیوئی، نور فروسرخ، پرتو ایکس ــ رنگ‌های مختلف نور ــ فقط در طول موج شان تفاوت دارند.

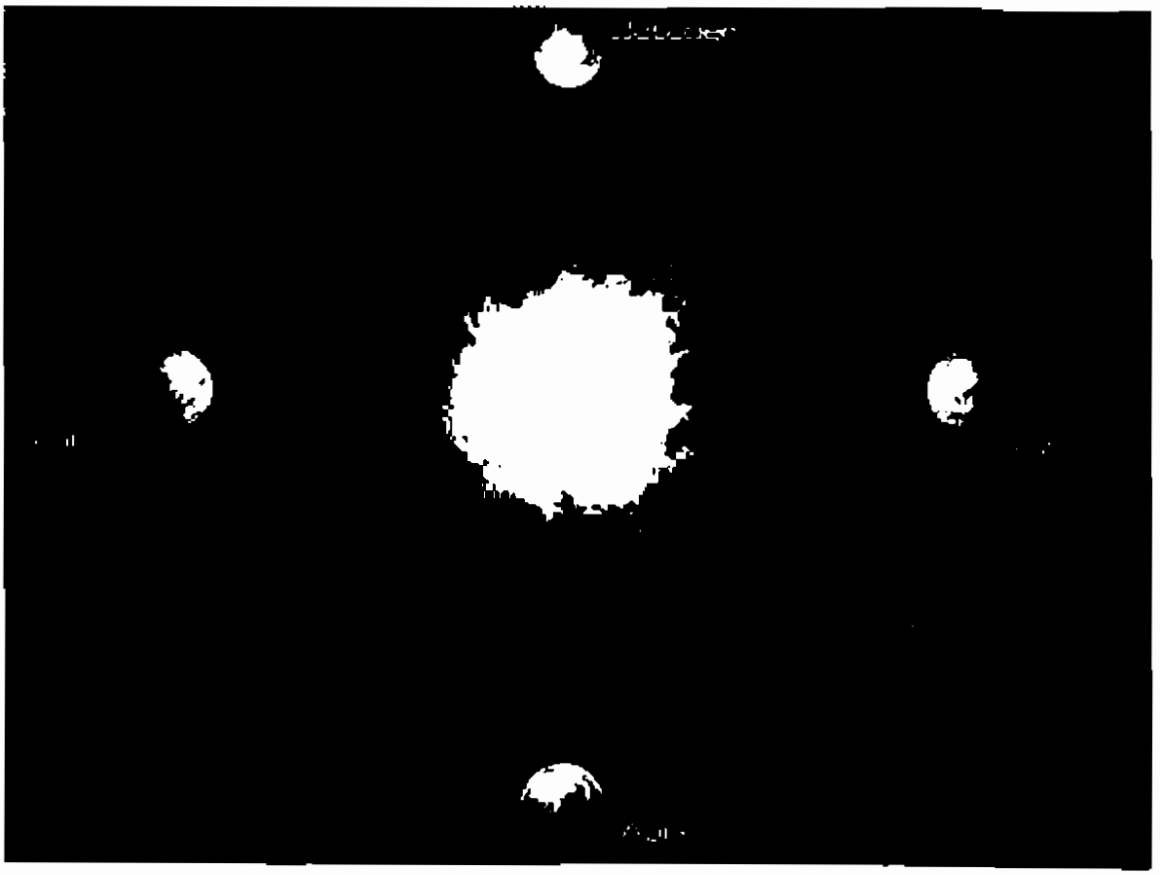
معادلات مکسول اقتضا می‌کنند که امواج الکترومغناطیسی با سرعت ۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت کنند. ولی صحبت از سرعت بدون مرجعی که سرعت نسبت به آن اندازه‌گیری شود، بی‌معنی است. در زندگی روزمره معمولا به این موضوع توجه نمی‌کنیم. وقتی تابلوی محدودیت سرعت به ۱۰۰ کیلومتر در ساعت را می‌بینید، فورا می‌فهمید که 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. مثلا 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. اگرفکر می‌کنید که احتمالا 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 بپرسید 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 قبلا در همه جای فضا نفوذ کرده است و اِتِر 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

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 ٤٨ 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

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 کلوین) در سال ۱۸۸٤ 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 قبلا 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 عملا نسبت به اتر ثابت هستیم. فیزیکدان هلندی هندریک آنتون لورنتس و فیزیکدان ایرلندی جرج فرانسیس فیتزجرالد پیشنهاد کردند که در یک چارچوب در حال حرکت نسبت به اتر احتمالا به دلیل بعضی اثرات مکانیکی ناشناخته، ساعت‌ها کُند و فاصله‌ها کوتاه می‌شوند و بنا براین سرعت اندازه‌گیری شده برای نور ثابت می‌ماند. این تلاش‌ها برای حفظ مفهوم اتر نزدیک به بیست سال ادامه یافت تا این‌که 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»[1] 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

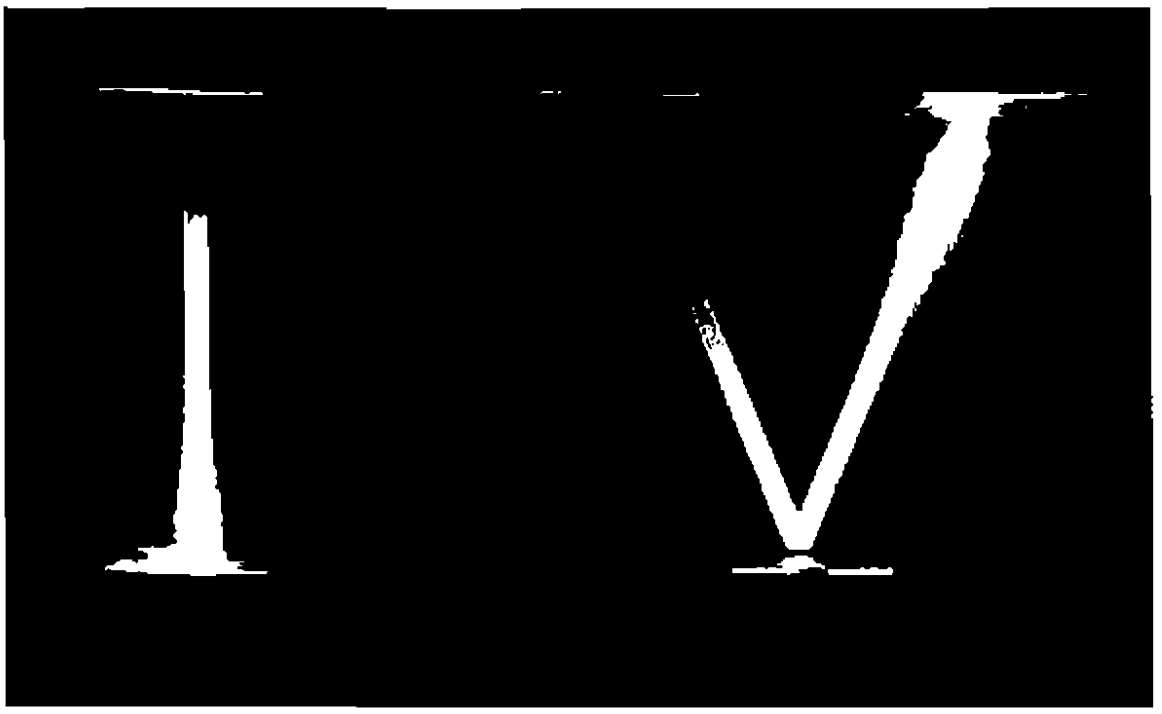
1. zur Elektrodynamik bewegter Körper.

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 ـ همان سرعت نور ـ 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.

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 ناظرِ 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. به‌نظرمی‌رسد 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.

اینشتین نشان داد، مشابه مفهوم سکون، زمان نیز نمی‌تواند آنگونه که نیوتون تصور می‌کرد، مطلق باشد. به بیان دیگر، این امکان وجود ندارد بتوان زمان مشخصی را به یک رویداد اختصاص داد، به گونه‌ای که تمام ناظران در مورد آن هم نظر باشند. در عوض، تمام ناظران اندازه‌گیری خود را از زمان داشته و زمان اندازه‌گیری شده به وسیله دو ناظر که نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند، یکسان نخواهد بود. ایده اینشتین با قوه درک مستقیم ما تناقض دارد، زیرا در سرعت‌های معمولی زندگی روزمره ما، اثرات آن قابل مشاهده نیست. اما این اثرات به‌طور مکرر از طریق آزمایش‌های تجربی به اثبات رسیده‌اند. به‌عنوان 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 می‌کند. نسبت به ساعتی که در مرکز زمین قرار دارد، ساعت درون هواپیمایی که در جهت شرق حرکت می‌کند (در جهت چرخش کره زمین)، سریع‌تر از ساعت روی سطح کره زمین حرکت کرده و بنابراین باید کندتر کار کند. به‌طور مشابه، نسبت به ساعت مرکز زمین، ساعت درون هواپیمایی که به سمت غرب حرکت می‌کند (خلاف جهت چرخش زمین)، کندتر از ساعت روی سطح زمین حرکت کرده و بنابراین باید سریع‌تر 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 طولانی‌تر کرد، اگرچه ممکن است تماشای آن همه فیلم خسته کننده باشد! به‌هرحال، این اثر بسیار کوچک است، ۱۸۰ میلیاردم ثانیه در هر دور (و تاحدی نیز به دلیل اثرات تغییرات گرانشی،کم‌تر نیز می‌شود که در اینجا به آن نمی‌پردازیم).

پس از کار اینشتین فیزیکدانان متوجه شدند که شرط ثابت بودن سرعت نور در معادلات مکسول اقتضا می‌کند که زمان با سه بعد فضا یکپارچه باشد. یعنی، زمان و فضا در هم پیچیده‌اند. 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 می‌نامند. در قالب فضا-زمان، دیگر زمان از سه بعد فضا مجزا نیست و همان‌طور که تعریف ما از جهت‌های 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 سرعت‌های مختلف حرکت می‌کنند، برای زمان جهات مختلفی را در قالب فضا-زمان بر می‌گزینند. بنابراین، نظریه نسبیت خاص اینشتین مدل جدیدی بود که به‌کمک آن مفاهیم زمان مطلق و سکون مطلق (سکون نسبت به اِتر) 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 آن‌ها در همان زمان بستگی دارد، جذب می‌کنند. اما نظریه نسبیت مفهوم زمان مطلق را از بین می‌برد، بنابراین چاره‌ای نیست جز این‌که زمان اندازه‌گیری 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 گونه‌ای 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 می‌شد، تخت نبوده و در عوض منحنی است و تحت تاثیر جرم و انرژی درون آن خمیده می‌شود.

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

ساده‌تر از چهار بعدی است. هندسه فضاهای منحنی مثل سطح زمین، همان هندسه آشنای اقلیدسی نیست. به‌عنوان مثال بر روی سطح زمین، کوتاه‌ترین مسافت بین دو نقطه ــ که می‌دانیم در هندسه اقلیدسی یک خط است ــ مسیری است که دو نقطه را، در طول آنچه دایره عظیمه نامیده می‌شود، به‌هم 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 درنتیجه 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 به‌تدریج به سمت شرق و در نهایت به سمت جنوب شرق جهت گیری 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 انحنا 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.

در غیـاب ماده، کوتاه‌ترین مسـیر در فضا–زمان چهاربُعدی، مشـابه خط مسـتقیم در فضای سـه بُعدی خواهد بود. اما در حضور ماده، فضا–زمان خمیده شـده و مسـیر اجرام در فضای سـه بُعدی به همان گونه‌ای انحنا می‌یابد کـه در نظریه نیوتونی به صورت جاذبه گرانش توصیف می‌شـد. وقتی فضا–زمان تخت نباشـد، به‌نظر می‌رسـد مسیر اجرام خمیده شده و این حس ایجاد می‌شود که نیرویی بر آن‌ها وارد شده است.

کوتاه‌ترین مسیر. اگـر کوتاه‌ترین مسـیر بین دو نقطه روی سـطح کـره زمین را بر روی نقشـه‌ای تخت نمایش دهیم، منحنی به‌نظرمی‌رسـد. بهتر اسـت این نکته را برای تست هوشیاری بخاطر داشته باشید!

نسبیت عام اینشتین، در غیاب گرانش، مجدداً نسبیت خاص را تولید می‌کند و تقریبـاً همان پیش‌گویی‌های نظریه گرانش نیوتون در محیط‌های بـا گرانش ضعیف منظومه شمسـی ما را تکرار می‌کنـد، البته نه کاملاً. در حقیقت اگر در سیسـتم‌های ناوبری ماهواره‌های GPS، نسبیت عام مد نظر قرار نگیرد، در یک روز، خطاهای انباشـته شـده در مکان‌یابی‌ها به حدود ده‌ها کیلومتر خواهد رسید! با این حال، اهمیت حقیقی نسبیت عام، کاربرد آن در تجهیزاتی نیسـت که مثلاً شـما را به یک رستوران جدید راهنمایی می‌کننـد، بلکه این نظریه، مدل بسـیار متفاوتی از جهان اسـت که اثرات جدیدی مثل امواج گرانشـی و سیاهچاله‌ها را پیشگویی می‌نماید. بنابراین نسـبیت عام، علم فیزیک را به هندسـه تغییر داده است. فناوری جدید به

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 پاکردند، 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 محتملی داشته باشد و هرکدام 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. به‌همین 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 به‌دنبال 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[1] نامیده می‌شوند.

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

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

1. Quantum field theories

۲. ***الکترومغناطیس***. این نیرو نیز دوربُرد و بسیار قوی‌تر از گرانش 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 زیست شناسی 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.

٤. ***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 کوچکتری 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[1]، نامیده می‌شود، در دهه ۱۹٤۰ 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)

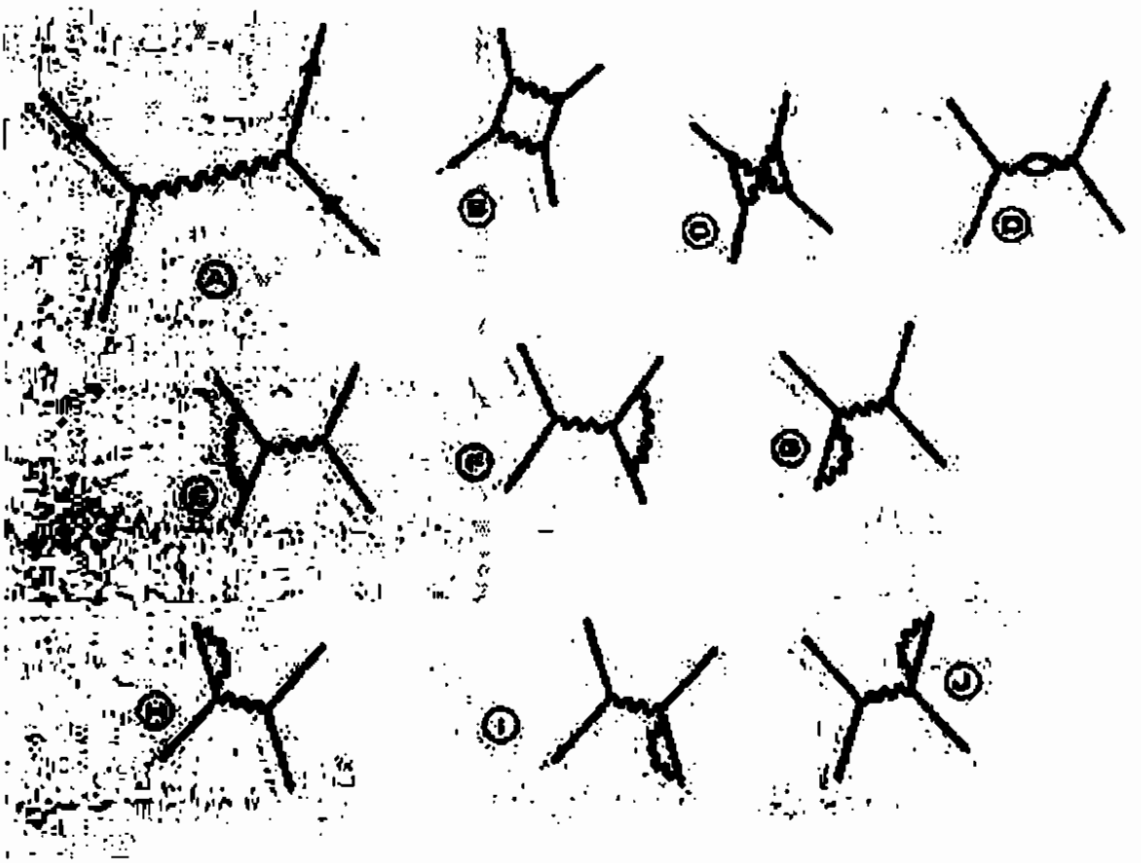
منتقل می‌کنند. ذرات مادی، فرمیون نامیده می‌شوند. الکترون‌ها و کوارک‌ها مثال‌هایی از فرمیون هستند. فوتون، یا ذره نور، مثالی از یک بوزون است. بوزون نیروی الکترومغناطیسی را منتقل می‌کند. آنچه اتفاق می‌افتد این است که یک ذره مادی، مثل الکترون، یک بوزون یا ذره نیرو را منتشر کرده و عقب نشینی می‌کند، درست مثل 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 ـ ذراتی که تحت تاثیر نیروی الکترومغناطیسی قرار می‌گیرند ـ 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 فوق الذکر مبادله ذرات بیفزاییم ـ مثلاً تمام راه‌هایی که از طریق آن مبادله ذره می‌تواند صورت پذیرد ـ ریاضیات مسأله پیچیده می‌شود. خوشبختانه فاینمن، درکنار ابداع مفهوم تاریخچه‌های جایگزین به‌عنوان 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 به‌تصویر 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.

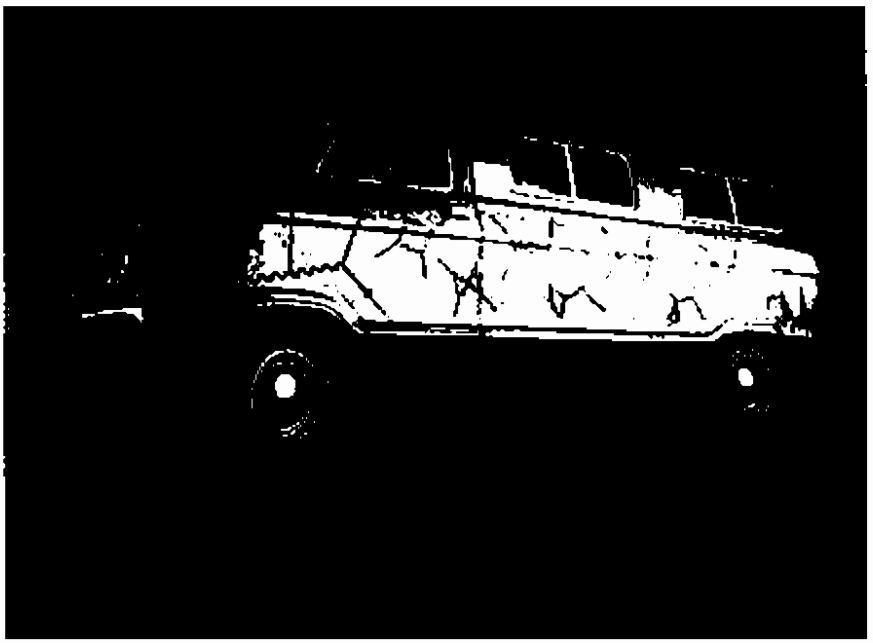
در شکل صفحه ۹۸، برخی از روش‌های اعمال نیروی الکترومغناطیسی بین دو الکترون نشان داده شده است. دراین شکل، خطوط صاف نشان‌دهنده الکترون‌ها و خطوط مواج، نشان‌دهنده فوتون‌ها هستند. حرکت زمان از پایین به بالا بوده و مکان‌هایی که در آن‌ها خطوط با یکدیگر برخورد می‌کنند، لحظه‌ای است که الکترون یک فوتون را جذب 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 به‌هم 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 به‌تصویر 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 تصویرکشیدن و دسته‌بندی نحوه برهم‌کنش ذراتند، 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 به‌دست می‌آید. از آنجا که دیدیم تعداد بیشماری از این دیاگرام‌ها وجود دارند، بنابراین انجام این کار زمان زیادی خواهد گرفت. به‌علاوه، 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.



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 بهتصویر بکشند و احتمالات مربوط را حساب کنند. اما آن‌ها هنوز موفق نشده‌اند راه حل مشکل اساسی نظریه را پیدا کنند: وقتی سهم تعداد بیشماری از تاریخچه‌های مختلف را با هم جمع می‌کنیم، نتیجه عددی نامتناهی خواهد شد. (اگر مقدار جملات متوالی در یک حاصل‌جمع نامحدود، به اندازه کافی سریع کاهش پیدا کنند، این امکان وجود دارد که حاصل متناهی گردد، اما متاسفانه در این حالت این اتفاق نمی‌افتد.) به‌طور خاص، زمانی که دیاگرام‌های فاینمن را با یکدیگر جمع می‌کنیم، به‌نظر می‌رسد پاسخ به‌دست 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.



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 ون او هنوز در انباری نزدیک کلتِک در کالیفرنیای 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 به‌نظر 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. به‌عنوان مثال، یکی

از اولین پیروزی‌های الکترودینامیک کوانتومی، پیش‌گویی صحیح پدیده‌ای به نام جابه جایی لَمب[1] 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 الکترودینامیک کوانتومی است.

موفقیت بازبهنجارش در الکترودینامیک 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 واحدِ 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 کمیت هایی مثل جرم و بار، آن‌ها را حذف نمود. با این حال، در سال ۱۹۶۷، عبدولسلام 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 یکپارچه سازی، راه حل معضلِ مقادیرِ نامتناهی است. این نیروی یکپارچه شده، الکتروضعیف (Electroweak) نامیده می‌شود و قابلیت بازبهنجارش دارد. به‌علاوه این نظریه همچنین وجود سه ذره جدید به نام‌های W^+، W^- و Z^0 را پیشگویی کرد. شواهد دال بر وجود Z^0 در سال ۱۹۷۳، در مرکز سِرن در ژنو یافت شد. در سال ۱۹۷۹، عبدولسلام 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[2] یا کرومودینامیک کوانتومی، بازبهنجار می‌شود. بر طبق کرومودینامیک کوانتومی، پروتون،

---

۱. Lamb shift (۱۹۲۳ـ۱۹۰۸) برگرفته از نام ویلیس لَمب.

2. Quantum ChromoDynamics

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. به‌علاوه، هر کوارک دارای یک زوج ضدِ ماده است (ضدِ-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 این‌گونه 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 مِزون[1]. به‌علاوه، 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[2] می‌سازند. پروتون و نوترون مثال‌هایی 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[3] 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 دورشدن آن‌ها از یکدیگر افزایش می‌یابد، گویی به وسیله باند لاستیکی به‌هم وصل شده‌اند. آزادی مجانبی توضیح می‌دهد، چرا در طبیعت کوارک‌های منفرد یافت نشده و در آزمایشگاه نیز نمی‌توان آن‌ها را تولید کرد. با این‌حال، اگرچه کوارک منفرد را نمی‌بینیم، اما این مدل را می‌پذیریم. زیرا در توصیف رفتار پروتون‌ها، نوترون‌ها و دیگر ذرات مادی به خوبی عمل می‌کند.

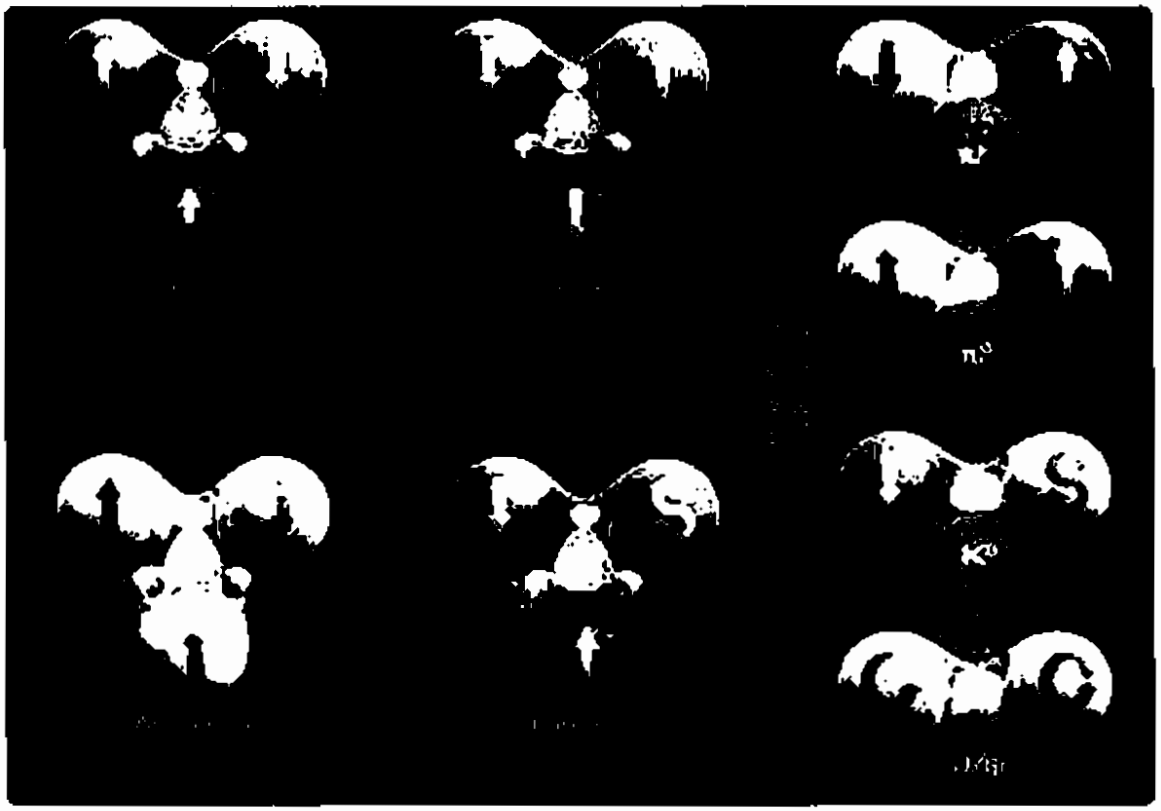
---

1. Meson 2. Baryon 3. Asymptotic freedom

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 دریافتند 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

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.

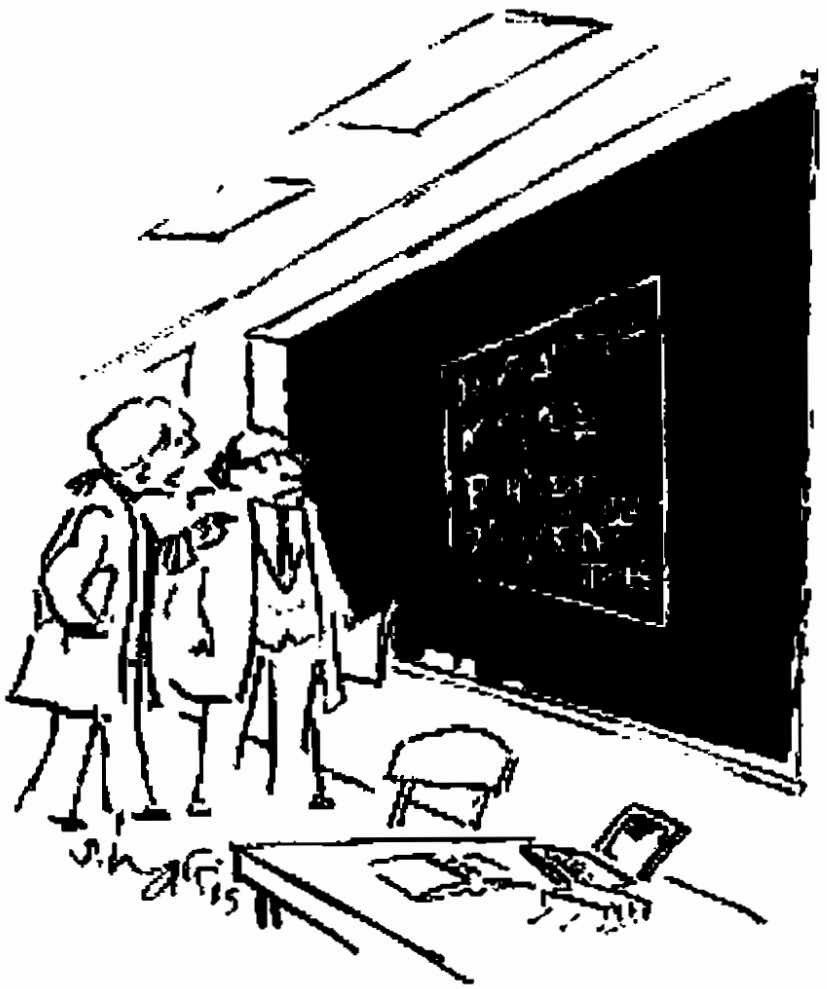


باریون‌ها و مزون‌ها. گفته می‌شود باریون‌ها و مزون‌ها از کوارک‌هایی تشکیل شده‌اند که به وسیله نیروی هسته‌ای قوی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. زمانی که این ذرات با یکدیگر برخورد می‌کنند، می‌توانند کوارک مبادله کنند، ولی کوارک‌های منفرد را نمی‌توان مشاهده کرد.

ممکن است قراردادن 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 ٤ به آن پرداختیم، باز می‌گردد. بدیهی نیست، اما به‌نظرمی‌رسد

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 جایی‌که 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 انرژیِ خلاء داشته باشد. اما این حالت انرژی مینیمم در معرض آنچه ناپایداری‌های کوانتومی یا افت و خیزهای خلاء نامیده می‌شوند، قرار دارد ــ 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 آنجاکه 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.»

مشـــکل وجود مقادیر نامتناهی، مشابه مشـــکلی است که در نظریه‌های نیروهـــای قوی، ضعیف و الکترومغناطیســـی رخ می‌دهد، به‌جز در مواردی کـــه فرآینـــد بازبهنجارش، بی‌نهایت‌ها را از بین می‌برد. اما حلقه‌های بســـته در دیاگرام‌های مربوط به گرانش فاینمن، مقادیر نامتناهی ایجاد می‌کنند که نمی‌توان آن‌ها را از طریق بازبهنجارش حذف کرد. زیرا در نســـبیت عام، به انـــدازه کافی پارامترهای قابل بازبهنجـــارش (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–زمـــان، اعداد نامحدودی پیش‌بینی می‌کند. به این ترتیب هیچ راهی برای وجود جهان قابل ســـکونت باقی نمی‌ماند! به این ترتیب نتیجه می‌گیریم تنها احتمال دستیابی به نظریه‌ای معقول زمانی رخ می‌دهد که تمام

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. به‌عنوان 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!). اَبَرتقارن نوع دقیق‌تری از تقارن است که نمی‌توان آن را با تبدیل معمولی فضا، معادل دانست. یکی از تعابیر مهم اَبَرتقارن این است که، ذراتِ 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 به‌نظرمی‌رسد مقادیر نامتناهی مربوط به حلقه‌های بسته ذرات نیرو، عددی مثبت بوده، درحالیکه مقادیر مربوط به ذراتِ مادی، منفی هستند. به این ترتیب مقادیر نامتناهی مربوط به ذرات نیرو به وسیله همزادهای آن‌ها، یا همان ذرات مادی، خنثی می‌شوند. متاسفانه محاسبات مورد نیاز برای تعیین مقادیر احتمالی نامتناهی خنثی نشده در اَبَرگرانش، چنان طولانی و مشکل هستند و امکان به‌وجود 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 اَبَرتقارن کار آسانی باشد. تنها کافی است ویژگی‌های ذرات موجود را بررسی کرده و ببینیم آیا تشکیل

زوج می‌دهند یا نه. چنین ذرات همزادی هنوز مشاهده نشده‌اند. اما محاسبات متعددی که فیزیکدانان انجام داده‌اند نشان می‌دهد، جرم ذرات همزادِ متناظر با ذراتی که ما مشاهده می‌کنیم، باید هزاران برابر جرمِ 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 اَبَرتقارن، 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 الگوهایی 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 به‌نظرآید، 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 دوبُعدی می‌گوییم زیرا برای نشان دادن مکان هر نقطه بر روی آن نیاز به دانستن دو عدد (به‌عنوان مثال محورهای عمودی و افقی) داریم. مثالی دیگر از یک فضای دو بعدی، 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 اینِ نی، در حدود یک میلیون میلیون میلیون میلیونیم سانتی‌متر باشد، اصلاً متوجه ابعاد دایره‌ای

آن نمی‌شـــوید. این تصویری است که نظریه‌پردازان ریسمانی از ابعاد دیگر ارائـــه 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 نیســتند که زیر فرش پنهان شـــده باشند، بلکه آن‌ها معنای فیزیکی مهمی دارند.

علاوه بر مسأله ابعاد، نظریه ریسمان‌ها از مشکل دیگری نیز رنج می‌برد: به‌نظر می‌رســد حداقل پنج نظریه مختلـــف و میلیون‌ها روش وجود دارند کـــه به‌کمک آن‌ها می‌توان ابعاد اضافی را حلقه کرد. این امر برای کســـانی که عقیده داشـــتند نظریه ریســـمان‌ها نظریه منحصربه فردی برای همه چیز است، شرم آور محسوب می‌شـــد. سپس در حدود سال ۱۹۹٤، دوگانی‌ها یافت شـــدند، این‌که نظریه‌های مختلف ریســـمان‌ها و روش‌های مختلف حلقه شـــدن ابعاد بالاتر، همگی راه‌هـــای مختلف برای توصیف یک پدیده واحد در چهار بعد هستند. به‌علاوه آن‌ها دریافتند که ابرگرانش نیز به‌همین شیوه به دیگر نظریه‌ها ارتباط پیدا می‌کند. نظریه‌پردازان ریسمانی هم‌اکنون متقاعد شـــده‌اند که پنج نظریه ریسمانی مختلف به همراه ابرگرانش که هر کدام در شـــرایط متفاوتی معتبرند، تنها تخمین‌های گوناگونی از یک نظریه بنیادی‌تر هستند.

نظریه بنیادی‌تر، همان‌طور که پیش‌تر گفتیم، نظریه M نام دارد. به‌نظر می‌رسد کسی نمی‌داند M به چه معناست، ولی ممکن است سرنام کلمات Master (بـــه معنای اصلی)، Miracle (معجزه) و یـــا Mystery (رمز و راز) باشـــد. شـــاید هم هر ســـه معنا در آن نهفته باشـــد. با این‌که انسان‌ها هنوز در تلاشـــند تا به طبیعت نظریه M دســـت یابند، اما ممکن اســـت این کار امکان‌پذیر نباشـــد. شاید انتظارات متداول فیزیکدانان از یک نظریه مستقل برای طبیعت، قابل دفاع نبوده و هیچ صورت‌بندی یگانه‌ای از قوانین طبیعت وجود نداشـــته باشد. شاید برای توصیف جهان باید نظریات متفاوتی را در

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 ــ جایی که هر دو نظریه صدق می‌کنند ــ 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. نظریه‌پردازان 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. به‌علاوه، نظریه M می‌تواند علاوه بر ریسمان‌های مرتعش شامل ذرات نقطه‌ای، پوسته‌های دو بعدی، حباب‌های سه بعدی و اشیاء دیگری باشد که به‌تصویر 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، به‌نظرمی‌رسد مثل یک خط دارای تنها یک بعد است.

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 بارِ الکترون 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 امکان پذیر می‌سازد، شاید به تعداد 10^{500} که معنای آن امکان وجود 10^{500} جهان مختلف، هرکدام 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 هرکدام 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 منحصربه فرد تعداد اندکی فرض ساده باشد، باید فراموش شـــود. شاید ســـوآل این است که ما کی نومید می‌شویم؟ اگر نظریـــه 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؟

فصل ۶

جهان‌مان را انتخاب کنیم

مردم بوشونگو[1] در آفریقای مرکزی عقیده داشتند در ابتدا، فقط تاریکی، آب و خداوند بزرگ بومبا[2] وجود داشتند. تا این‌که 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، به‌طور مشابه می‌گویند زمانی در گذشته، تنها دریا، آسمان و آفریننده وجود داشته‌اند. در افسانه مایاها، آفریننده ناراحت از این‌که در آن زمان کسی وجود نداشته تا او را پرستش کند، زمین، کوه‌ها، درختان و بسیاری از حیوانات را آفریده است. اما حیوانات قادر به صحبت نبودند و بنابراین او تصمیم می‌گیرد انسان را بیافریند. در ابتدا او انسان را از گل و خاک آفرید، اما آن‌ها فقط حرف‌های بی‌معنی می‌زدند. او انسان را تجزیه کرده و مجدداً امتحان کرد. این‌بار انسان را از چوب ساخت. ولی در این حالت نیز آن‌ها خسته‌کننده و کسالت‌آور بودند. آفریننده تصمیم گرفت دوباره آن‌ها را خراب کند، ولی انسان‌ها به درون جنگل فرار کردند و در این مسیر آسیب دیده و کمی تغییر یافتند و ما الان به آن‌ها میمون می‌گوییم. پس از این ناکامی، آفریننده به فرمولی دست یافت که به‌کمک آن اولین انسان‌ها را از دانه‌های سفید و زرد ذرت ساخت.

در تمام چنین افسانه‌هایی تلاش شده است تا به سوآلی که ما در این کتاب مطرح می‌کنیم پاسخ داده شود: چرا جهان وجود داشته و چرا

---

1. Boshongo 2. Bumba

این‌گونه است؟ در طول قرن‌ها، از زمان یونانیان باستان تاکنون، توانایی ما در پاسخ به چنین سوآلاتی روز به روز افزایش یافته است و به جرات می‌توان گفت بخش اعظم آن در قرن گذشته به‌وقوع پیوسته است. با پیش زمینه‌ای که از بخش‌های قبلی داریم هم‌اکنون می‌توانیم پاسخ محتملی 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 آشر، 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 ٤۰۰٤ سال پیش از میلاد مسیح. ولی ما منظر متفاوتی را بر می‌گزینیم: این‌که 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 این‌که 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 کهکشان در حال دور شدن از ما هستند و البته هرچه 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

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 ــ رویدادی که آن را انفجار بزرگ می‌نامیم.

جهان در حال انبساط، ایده دقیقی است. مثلا، 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 به‌تصویر 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 کهکشان به صورت نقطه‌هایی بر روی سطح آن قرار دارند. این تصویر به خوبی نشان می‌دهد چرا کهکشانی دورتر سریع‌تر از آن‌هایی که به ما نزدیکند، از ما فاصله می‌گیرند. به‌عنوان 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 به‌نظرمی‌رسد 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 ٤ سانتی‌متر از یکدیگر فاصله دارند و به‌نظرمی‌رسد با سرعت ۲ سانتی‌متر در ساعت در حال دورشدن از هم هستند. این همان چیزی است که هابل متوجه شد: هرچه یک کهکشان دورتر باشد، با سرعت بیش‌تری از ما فاصله می‌گیرد.

مهم این است که دریابیم انبساط فضا، بر روی اندازه اشیاء مادی مثل کهکشان، ستارگان، سیب‌ها، اتم‌ها، و یا دیگر اشیایی که با کمک برخی نیروها کنار هم نگاه داشته شده‌اند، تاثیری ندارد. مثلا کشش گرانشی بین کهکشانی یک خوشه کهکشانی، باعث می‌شود آن‌ها هنگام انبساط جهان، اندازه و تنظیمات خود را حفظ کنند. اهمیت این مسأله از این جهت است که تنها زمانی می‌توانیم انبساط را آشکار کنیم که ابزار اندازه‌گیری ما ابعاد ثابت و مشخصی داشته باشند. اگر همه چیز انبساط می‌یافت، ما، مقیاس ما و آزمایشگاه‌های ما متناسب با هم انبساط می‌یافتند و دیگر قادر به تشخیص هیچ تغییری نبودیم.

جهان بادکنکی. کهکشان‌های دوردست به گونه‌ای از ما دور می‌شوند که گویی تمام کیهان بر روی سطح یک بادکنک عظیم الجثه قرار دارد.

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

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 ساده‌سازی ریاضیات مسأله، در مدلی از جهان مطابق معادلات نسبیت عام چه اتفاقی می‌افتد: اول اینکه به هر طرف نگاه کنید جهان شکل یکسانی دارد و دوم آنکه از هر نقطه‌ای در جهان این مشاهده را انجام دهید باز هم نتیجه همان خواهد بود. می‌دانیم فرض اول فریدمن کاملاً صحیح نیست ــ 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 نظاره‌گر ماه یا دسته‌ای از خفاشان خون آشام مهاجر باشیم. با این‌حال به‌نظر می‌رسد زمانی که جهان را در مقیاس بسیار بزرگ ــ در مقیاسی حتی بزرگ‌تر از فاصله بین کهکشانی ــ مشاهده می‌کنیم، جهان تقریباً در جهات مختلف یکسان است. می‌توان این مسأله را به نگاه کردن به جنگل تشبیه کرد. اگر از نزدیک به جنگل نگاه کنید، حتی می‌توانید برگ‌های درختان و یا حداقل خود درختان و فواصل بین آن‌ها را از هم تشخیص دهید. اما اگر تا اندازه‌ای 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 به‌نظر خواهد رسید. در این مقیاس می‌توان گفت جنگل یکنواخت است.

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

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 لِمتره، ایده مشابهی را مطرح کرد: اگر تاریخچه جهان را به سمت عقب دنبال کنید، آنقدر کوچک و کوچک می‌شود تا به رویداد خلقت برسید ــ چیزی که امروزه به آن انفجار بزرگ می‌گوییم.

همه از تصویر انفجار بزرگ راضی نبودند. در حقیقت خود عبارت «انفجار بزرگ» اولین‌بار در سال ۱۹۴۹ به وسیله اخترشناس کمبریج، فِرِد 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[1]، 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 ـ چند درصد از برفکی که بر روی صفحه می‌بینید به وسیله همین تابش ایجاد شده است. این تابش اولین‌بار تصادفاً به وسیله دو دانشمند آزمایشگاه بِل که سعی داشتند نویز آنتن رادیوئی 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 ریز موج 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

1. Cosmic Microwave Background Radiation

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 هلیم و مقدار اندکی لیتیم (تمام عناصر سنگین‌تر بعدها درون ستارگان ایجاد شده‌اند). محاسبات انجام گرفته، با مقادیر مشاهده شده هیدروژن، هلیم و لیتیم به میزان خوبی مطابقت دارند.

سنجش فراوانی هلیم و کشف تابش ریزموج پس‌زمینه، شواهدی قانع کننده 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 انحنای 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 به‌نظرنرسد، مگر این‌که شما در کشور زیمباوه 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

با ضریبی برابر با ۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ در مدت زمان ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱ ثانیه انبساط یافته است. درست مثل این‌که سکه‌ای با قطر یک سانتی‌متر ناگهان به ابعاد ۱۰ میلیون برابر عرض کهکشان راه شیری منبسط شود. ممکن است این طور به‌نظر آید که با نسبیت در تناقض است. زیرا نسبیت بیان می‌دارد هیچ چیز نمی‌تواند با سرعتی بیش از سرعت نور حرکت کند. اما این حد سرعت، شامل انبساط خود فضا نمی‌شود.

ایده تورم اولین‌بار در سال ۱۹۸۰ براساس تفکراتی فراتر از نظریه نسبیت عام اینشتین و با اندیشیدن به ویژگی‌های نظریه کوانتوم، مطرح شد. با توجه به عدم وجود یک نظریه کامل کوانتومی برای گرانش، فیزیکدانان هنوز بر روی جزئیات این مسأله کار می‌کنند و درمورد چگونگی وقوع تورم مطمئن نیستند. بر طبق این نظریه، انبساطی که در نتیجه تورم رخ داده است، آنطور که تصویر قدیمی انفجار بزرگ پیش‌بینی می‌کند، کاملاً یکنواخت نبوده است. این بی‌نظمی‌ها، در جهات مختلف منجر به ایجاد تغییرات جزئی در دمای تابش ریزموج پس‌زمینه می‌شود. این تغییرات، کوچک‌تر از آن بودند که در دهه ۱۹۶۰ قابل رؤیت باشند و برای اولین‌بار در سال ۱۹۹۲ به وسیله ماهواره کوبه ناسا شناسایی شدند. بعدها نیز از طریق جانشین این ماهواره، یعنی ماهواره دَبلیومَپ، که در سال ۲۰۰۱ به فضا فرستاده شد، این اندازه‌گیری‌ها مجدداً انجام شدند. در نتیجه هم‌اکنون می‌دانیم که تورم واقعاً رخ داده است.

اگرچه وجود تغییرات کوچک در تابش ریزموج پس‌زمینه، نشان‌دهنده وجود تورم است، با این حال یکی از دلایلی که تورم را مهم می‌کند، یکنواختی تقریباً کامل دمای تابش ریزموج پس‌زمینه است. اگر تنها قسمتی از یک جسم را گرمتر از نواحی اطراف کرده و کمی صبر کنید، با گذشت زمان، نقطه گرم، سردتر شده و اطراف آن گرمتر می‌شود، این روند تا آنجا ادامه دارد که دمای جسم یکنواخت شود. به‌طور مشابه، انتظار داریم که جهان نهایتاً به دمای یکنواختی برسد. اما این فرآیند نیازمند زمان است و

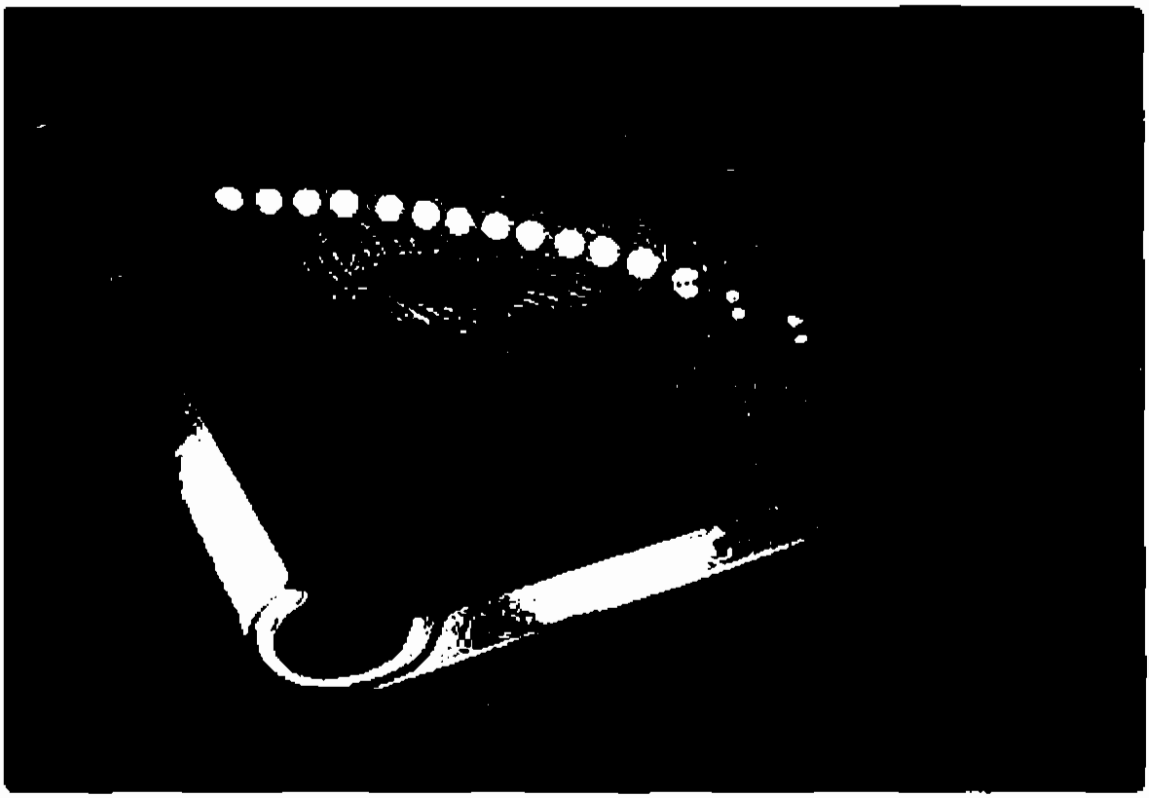
اگر تورم اتفاق نیفتاده بود، با این فرض که سرعت انتقال گرما به سرعت نور محدود می‌شود، دراین صورت در تاریخ جهان زمان کافی وجود نداشت تا دمای مناطق بسیار دور از هم با هم یکی شود. انبساط بسیار سریع (بسیار سریع‌تر از سرعت نور)، پاسخ این معماست. زیرا در جهان نوپای فوق‌العاده کوچک پیش از تورم، زمان کافی وجود داشته است تا این یکنواختی دما صورت پذیرد.

تورم، کلمه انفجار را در عبارت انفجار بزرگ توضیح می‌دهد، حداقل از این نظر که انبساط در طول زمان تورم، بسیار شدیدتر از انبساطی است که نظریه قدیمی انفجار بزرگ نسبیت عام پیش‌بینی کرده است. برای اینکه مدل‌های نظریه‌های تورم درست کار کنند، لازم است که حالت ابتدایی جهان، دقیقاً روی مقادیر مخصوصی تنظیم شده باشند که خیلی غیرمحتمل است. بنابراین نظریه سنتی تورم، مجموعه‌ای از مسائل را حل می‌کند، ولی در عوض مشکلات دیگری را ایجاد می‌کند. یعنی نیاز به وجود حالت ابتدایی بسیار ویژه. مشکل زمانِ صفر در نظریه آفرینش جهان هستی که قصد داریم در ادامه به آن بپردازیم حذف می‌شود.

از آنجا که با کمک نظریه نسبیت عام اینشتین نمی‌توان لحظه شروع را توضیح داد، برای توصیف نحوه آغاز جهان لازم است نظریه کامل‌تری را جایگزین کنیم. حتی اگر نسبیت عام فرو نمی‌پاشید، باز هم نیاز به نظریه کامل‌تری احساس می‌شد. زیرا نسبیت عام، ساختار ریز مقیاس ماده را که در نظریه کوانتوم گنجانده شده است، در بر نمی‌گیرد. در بخش ٤ هم اشاره کردیم که برای اغلب اهداف کاربردی، نظریه کوانتوم ارتباط چندانی با مطالعه ساختارهای بزرگ مقیاس جهان پیدا نمی‌کند، چون فقط در مقیاس اتمی کاربرد دارد. اما اگر در زمان به عقب بازگردیم، جهان در زمانی دور، به کوچکی ابعاد پلانک بوده است، یک میلیارد تریلیون تریلیونیوم سانتی‌متر. این مقیاسی است که در آن باید اثرات کوانتومی را اعمال کرد. بنابراین اگرچه هنوز هم نظریه کوانتومی کاملی برای گرانش نداریم، اما هم‌اکنون می‌دانیم که آغاز جهان رخدادی کوانتومی بوده است. در نتیجه،

درست همان‌طور که ــ حداقل موقتاً ــ نظریه کوانتوم را با نسبیت عام ترکیب کردیم تا نظریه تورم را استخراج کنیم، اگر می‌خواهیم حتی بیش‌تر به عقب بازگشته و به چگونگی آغاز جهان پی ببریم، باید آنچه را در مورد نسبیت عام می‌دانیم 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 انحنا می‌کند. به‌تصویر کشیدن انحنای فضا راحت‌تر 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 می‌کند. اما اگر همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده است، چنانچه میز دچار انحنا یا فرورفتگی شود، در این صورت توپ مسیری منحنی خواهد داشت.



انحنای فضا. ماده و انرژی، فضا را انحنا داده و مسیر حرکت اشیاء را تغییر می‌دهند.

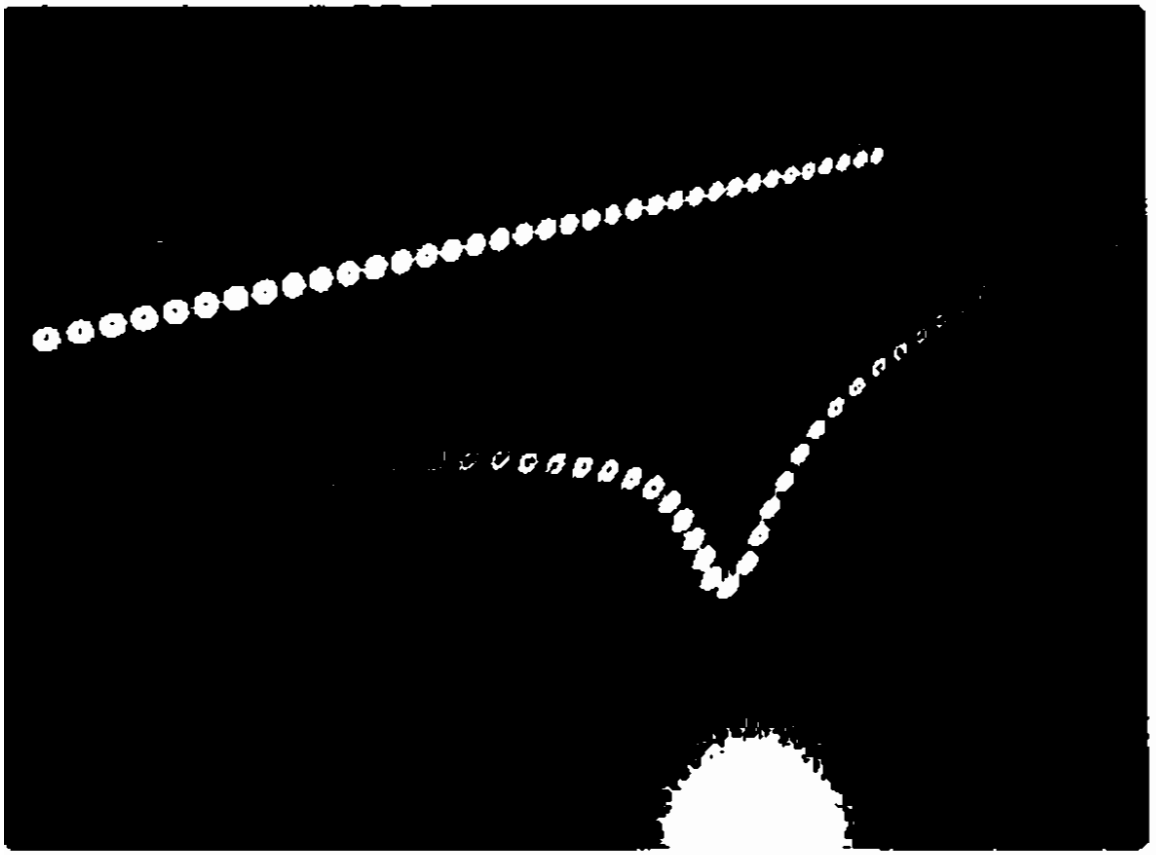
در این مثال، مشاهده انحنای سطح دو بعدی میز بیلیارد بسیار ساده است، زیرا انحنای آن به درون یک بعد سوم رخ می‌دهد که برای ما

قابل رؤیت اســـت. تصور انحنای فضا–زمان در جهان ما مشکل‌تر خواهد بود، زیرا قادر نیســـتیم از فضا–زمان خودمان بیرون برویم و انحنای آن را ببینیم. اما انحنا را می‌توان آشـــکار کرد، حتی اگر نتوانیم بیرون برویم و از منظر ابعاد بالاتر آن را ببینیم. انحنا را می‌توان درون خود فضا آشـــکار کرد. مورچه‌ای را تصور کنید که به حرکت در سطح یک میز محدود شده باشد. حتـــی در صورتـــی که مورچه نتواند از میز خارج شـــود، بازهم می‌تواند با اندازه‌گیری دقیق فواصل انحنا را شناسایی کند. به‌عنوان مثال، مسافت طی شـــده بر روی محیـــط یک دایره در فضای تخت، همـــواره کمی بیش‌تر از ســـه برابر قطر آن اســـت (با ضریب عدد π). اما اگر مورچه، دایره‌ای 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 بزرگ‌تر 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 *کوتاه‌تر* از قطر آن است. در مورد انحنای فضای ما نیز همین امر صادق است. فاصله بین نقاط فضا کشیده یا فشرده می‌شوند، هندسه یا شکل فضا تغییر می‌کند، طوری‌که از درون خود جهان قابل اندازه‌گیری اســـت. انحنای زمان، به شیوه‌ای مشابه، باعث فشرده شدن یا کش آمدن بازه‌های زمانی می‌شود.

مســـلح به این دانسته‌ها، به مســـأله آغاز جهان باز می‌گردیم. تنها وقتی می‌توان در مورد زمـــان و فضا به‌طور مجزا صحبت کرد، مثل همین بحث ما، که شرایط شامل سرعت پایین و گرانش ضعیف باشند. در حالت کلی، زمان و فضا می‌توانند در هم تنیده شـــوند و بنابراین فشـــردگی و کشیدگی آن‌ها هم قدری آمیخته می‌شوند. این آمیختگی، در جهان اولیه اهمیت دارد و کلید فهم آغاز زمان است.

مســـأله آغاز زمان، از جهاتی شبیه مسأله لبه‌های جهان است. زمانی که مردم عقیده داشـــتند دنیا تخت است، این سوآل مطرح بوده که در لبه‌های جهان چه اتفاقی برای آب دریاها می‌افتد. این مســـأله عملاً آزمایش شده اســـت. می‌توان در سراســـر کره زمین ســـفر کرد و دید که هیچ لبه‌ای برای

افتادن وجود ندارد. این مسأله که در لبه‌های دنیا چه اتفاقی می‌افتد، زمانی حل شـــد که مردم فهمیدند جهان صفحه‌ای تخت نیست و سطحی منحنی دارد. به‌نظر می‌رســـد زمان، شبیه به یک خط آهن است. اگر ابتدایی داشته باشد، ناچار باید یکی (مثلاً خدا) قطار را برای اولین‌بار راه انداخته باشد. با این‌که نظریه نســـبیت عام اینشتین، زمان و فضا را به صورت فضا-زمان با هـــم متحد و نوعی از آمیختگی فضا و زمان را مطرح کرد، اما زمان ــ چه دارای یـــک ابتـــدا و انتها، چه جاری تا ابد ــ باز با فضا متفاوت اســـت. با این حال، هرگاه اثرات نظریه کوانتوم را به نظریه نســـبیت بیفزاییم، انحنای فوق‌العاده می‌تواند با چنان شـــدتی رخ دهد که زمـــان مثل بُعد دیگری از فضا عمل کند.



انحنای فضا. زمان. ماده و انرژی باعث انحنای زمان شـــده و باعث می‌شـــوند بعد زمان با ابعاد فضا «آمیخته» شود.

در جهان اولیه، زمانی که جهان به‌قدری کوچک بوده که نســـبیت عام وکوانتـــوم هر دو بر آن حکمفرما بودند، عملاً چهار بُعد فضایی بدون بُعد

زمان وجود داشـــته است. یعنی وقتی در مورد آغاز جهان صحبت می‌کنیم یـــا وقتی به جهان خیلی ابتدایی به عقب بـــاز می‌گردیم، زمان آنطور که ما می‌شناســـیم وجود نداشته است! باید پذیرفت ایده‌های متداول ما در زمینه فضا و زمان، در جهان ابتدایی صادق نبوده‌اند. این فراتر از تجربه ماســـت، 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؟

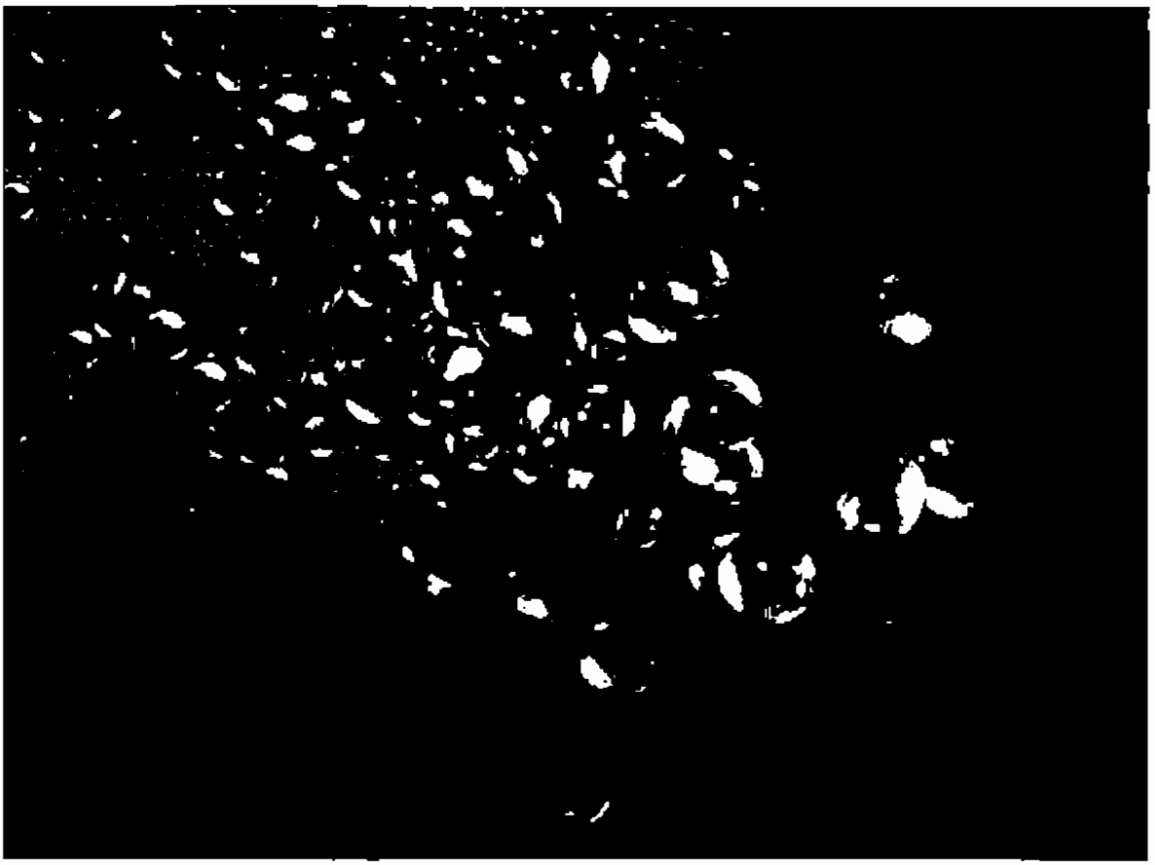
درک این مســـأله که زمان می‌توانـــد مثل بُعد دیگری از فضا رفتار کند، به این معنی اســـت که می‌توان مشـــکل آغاز زمان را، به شـــیوه‌ای مشابه با مســـأله لبه جهان، حل کرد. فرض کنید آغاز جهان مشابه قطب جنوب کره زمین باشـــد و در آن درجات مختلف عرض جغرافیایی، نقش زمان را ایفا می‌کنند. با حرکت به سمت شمال، 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 قطـــب جنوب چیزی وجود نـــدارد. در این تصویر، فضا–زمان هیچ مرزی نخواهند داشـــت، قوانین طبیعت حاکم در قطب جنوب مشـــابه نقاط دیگر خواهد بود. به شیوه‌ای مشابه، وقتی نظریه نسبیت عام را با کوانتوم ترکیب می‌کنیم، این ســـوآل 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، بســـیاری از افراد از جمله ارسطو، عقیده داشتند جهان همواره بوده اســـت تا به این ترتیب از مشـــکل چگونگی آغاز جهان پرهیز کنند. از طرف دیگر، برخی بر این باور بودند که جهان آغازی داشـــته و از آن به عنوان دلیلی برای وجود خداوند اســـتفاده می‌کردند. درک این مسأله که زمان مثل فضا رفتار می‌کند، گزینه دیگری را مطرح می‌سازد. این گزینه، مشـــکل قدیمی آغاز جهان را از بین می‌بـــرد. به‌علاوه بیان می‌کند که آغاز جهان از طریق قوانین علمی اداره شده و نیازی به فرض‌های دیگر نیست.

اگر آغاز جهان، رویدادی کوانتومی باشـــد، باید بتوان به دقت آن را از طریـــق مجموع تاریخچه‌های فاینمن توصیف کرد. اعمال نظریه کوانتوم به کل جهان ــ جایی که مشـــاهده‌گران، خود بخشی از سیستم مورد مشاهده هســـتند ــ به هر حال تردســـتی اســـت. در بخش ٤ دیدیم چگونه ذرات مادی که به طرف صفحه‌ای با دو شکاف پرتاب شدند، همانند امواج آب، الگوهای تداخلی به نمایش گذاشـــتند. فاینمن نشـــان داد این مسأله به این دلیـــل رخ می‌دهد که یـــک ذره، تاریخچه منحصربه فـــردی ندارد. یعنی با حرکت از نقطه شـــروع A به سمت نقطه پایان B، ذره مسیر قطعی منحصر بـــه فـــردی را نمی‌پیماید، بلکه به‌طور هم‌زمان، هر مســـیر ممکنی را که دو نقطـــه را به‌هم متصل کنـــد، می‌پیماید. از این دیدگاه، رخ دادن تداخل چیز عجیبی نیســـت. زیرا به‌عنوان مثال، ذره می‌تواند 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 به‌خصوص، باید تمام تاریخچه‌های محتمل را که ممکن است ذره از نقطه شـــروع تا پایان دنبال کند، در نظر بگیریـــم. می‌توان از روش فاینمن برای محاســـبه احتمالات کوانتومی آنچه در جهان مشـــاهده می‌شود نیز استفاده کرد. اگر جهان را به صورت یک کل در نظر بگیریم، هیچ نقطه‌ای به‌عنوان A وجود نخواهد داشـــت. بنابراین کافی است تمام تاریخچه‌های منطبق با شرایط بی‌مرزی راکه به جهان فعلی منجر می‌شوند، با هم جمع کنیم.

در این دیدگاه، جهان به نحوی خودانگیخته ظاهر می‌شـــود و می‌تواند هر راه ممکنی را طی کند. اغلب جهان‌های دیگری حاصل می‌شوند. برخی از این جهان‌ها شـــبیه به جهان ما هســـتند، ولی اغلب آن‌ها بسیار متفاوتند. آن‌ها تنها در جزئیات تفاوت ندارند، مثل این‌که آیا الویس واقعاً در جوانی درگذشـــته یا این‌که آیا شـــلغم جزو میوه‌جات اســـت یا ســـبزیجات، بلکه آن‌ها حتی در قوانیـــن ظاهری طبیعت نیز متفاوتند. در حقیقت، جهان‌های بســـیاری، با مجموعه‌های متعدد و متفاوتی از قوانین فیزیکی وجود دارند. برخی افراد از این ایده معمای بزرگی می‌سازند که گاهی مفهوم جهان‌های

چندگانـه(Multiverse) نامیده می‌شـود. اما این‌ها همـه تعابیر متفاوتی از مجموع تاریخچه‌های فاینمن هستند.

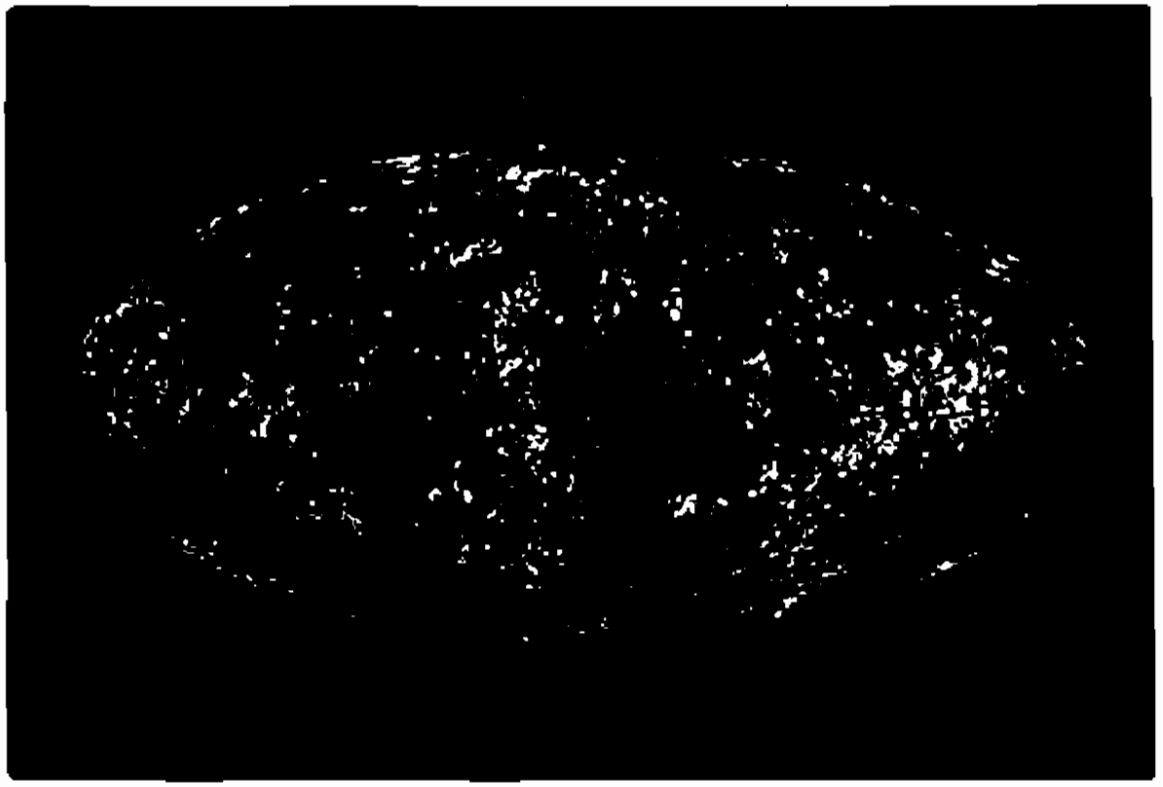


جهان‌های چندگانه. افت و خیزهای کوانتومی منجر به پیدایش جهان‌های کوچکی از هیچ می‌شـوند. تعداد اندکی از این جهان‌ها به اندازه بحرانی رسیده و سپس به روش تورمی انبساط یافته و منجر به شکل‌گیری کهکشان، ستاره‌ها و حداقل در یک مورد، موجوداتی مثل ما می‌شوند.

برای تصور این موضوع بهتر اسـت مثال بادکنـک ادینگتون را اندکی تغییر دهیم و فکر کنیم جهان در حال انبسـاط، سطح یک حباب است. در این حالت، تصویر ما از خلقت کوانتومی خود انگیخته جهان، کمی شـبیه به شکل‌گیری حباب‌های بخار در آبی است که دارد می‌جوشد. حباب‌های ریز بسـیاری ایجاد شده و سـپس ناپدید می‌شـوند. این‌ها ریزجهان‌های کوچکی هسـتند که منبسـط شـده، ولی در همان ابعاد میکروسکوپی فرو می‌پاشـند. آن‌ها معادل جهان‌های محتمل دیگر هسـتند که اهمیت زیادی

ندارند، زیرا به اندازه کافی عمر نمی‌کنند تا ستارگان و کهکشان بتوانند در آن‌ها شکل بگیرند، چه برسد به حیات هوشمند. به هرحال 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 جهان هایی هستند که با انبساط سریع‌شونده آغاز می‌شوند (جهان هایی 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 هستندکه بی‌نظمی بسیار کم و احتمال بالایی دارند. به‌همین 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، درصورتی 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 به‌هم 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.



ریزموج زمینه. این تصویر، منتشر شده در سال ۲۰۰۷، تصویری است از آسمان که در نتیجه هفت سال جمع آوری اطلاعات به وسیله ماهواره دبلیومپ تهیه شده است. در اینجا افت و خیزهای دمایی مربوط به ۱۳/۷ 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 کیهان شناسی، 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 کیهان شناسی فرض بر این است که جهان دارای یک تاریخچه قطعی است. می‌توان با استفاده از قوانین فیزیک محاسبه کرد که چگونه این تاریخچه

بـا زمان پیش می‌رود. به این روش در کیهان شناسـی، رویکرد «پایین به بالا» می‌گویند. اما از آنجا که نباید طبیعت کوانتومی جهان فراموش شـود، براساس مجموع تاریخچه‌های فاینمن، دامنه احتمال این‌که جهان هم‌اکنون در یک حالت خاص قرار داشـته باشـد، از طریق جمع کردن سـهم تمام تاریخچه‌هایی که شـرایط بی‌مرزی را برآورده می‌سازند و به حالت فعلی جهان منتهی می‌شوند، به‌دست می‌آید. به بیان دیگر، در کیهان شناسی نباید تاریـخ جهان را از پایین به بالا دنبـال کرد. زیرا در این صورت ناچار تنها یک تاریخچه، با نقطه شـروع 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 خواهـد بود و مجموع همه آن‌ها، به تنها یک تاریخچه منجر می‌شـود که نقطـه آغاز آن، پیدایش جهان و انتهای آن وضعیت موجود خواهد بود. اما تاریخچه‌هـای متفاوتی برای حالات محتملِ مختلـف جهان فعلی وجود خواهند داشـت. این منجر به دیدگاه اساسـاً متفاوتی از کیهان شناسـی و ارتباط بین علت و معلول می‌شـود. تاریخچه هایی که در مجموع فاینمن شرکت می‌کنند، دارای وجود مستقلی نیستند، بلکه بستگی به این دارند که چـه چیزی مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. ما با مشـاهدات خود تاریخ را می‌سازیم، نه این‌که ما حاصل تاریخ هستیم.

ایـن ایده کـه جهان، یک تاریخ یکتا و مسـتقل از مشـاهده‌گر ندارد، ممکن اسـت ظاهراً با حقایق مسلمی که می‌دانیم مغایر باشد. ممکن است تاریخی وجود داشـته باشـد که در آن، ماه از پنیر راکفورت درسـت شده باشد. اما می‌دانیم که ماه از پنیر درست نشده (خبر بد برای موش‌ها)، پس تاریخچه‌هایی که در آن‌ها ماه از پنیر درسـت شـده، در حالت فعلی جهان شرکت ندارند، اگرچه ممکن است در مورد جهان‌های دیگر شرکت داشته باشند. این مسأله به‌نظرعلمی–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

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 سوآلات 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. به‌هرحال 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 محتملی 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

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 به‌دلایلی 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 هرکدام 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.

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 افت‌وخیزهای 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 یکتاست 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 ــ نظریه همه چیز ــ دارندکه 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.

به‌نظرمی‌رسد 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

مقادیر متعددی بگیرند و قوانین آزادند هر شکلی را که منجر به یک نظریه ریاضی خودسازگار شود، اتخاذ کنند. آن‌ها در جهان‌های مختلف، مقادیر و شکل‌های متفاوت می‌گیرند. ممکن است این دیدگاه، تمایل ما به ممتاز بودن و یا کشف یک بسته مرتب شامل تمام قوانین فیزیک را برآورده نسازد، ولی به‌نظر می‌رسد روش طبیعت همین است.

چشم انداز وسیعی از جهان‌های محتمل پیش روی ماست. با این حال، آنطور که در بخش بعد خواهیم دید جهان‌هایی که در آن‌ها حیات، مثل ما، وجود داشته باشد بسیار نادرند. ما در جهانی زندگی می‌کنیم که حیات در آن ممکن شده است. اما اگر همین جهان اندکی متفاوت بود، موجوداتی مثل ما امکان وجود نمی‌یافتند. از این تنظیم دقیق چه بهره‌ای می‌بریم؟ سرانجام، آیا شواهدی هست که جهان به وسیله خالقی خیراندیش طراحی شده است؟ یا علم توضیح دیگری دارد؟

فصل ۷

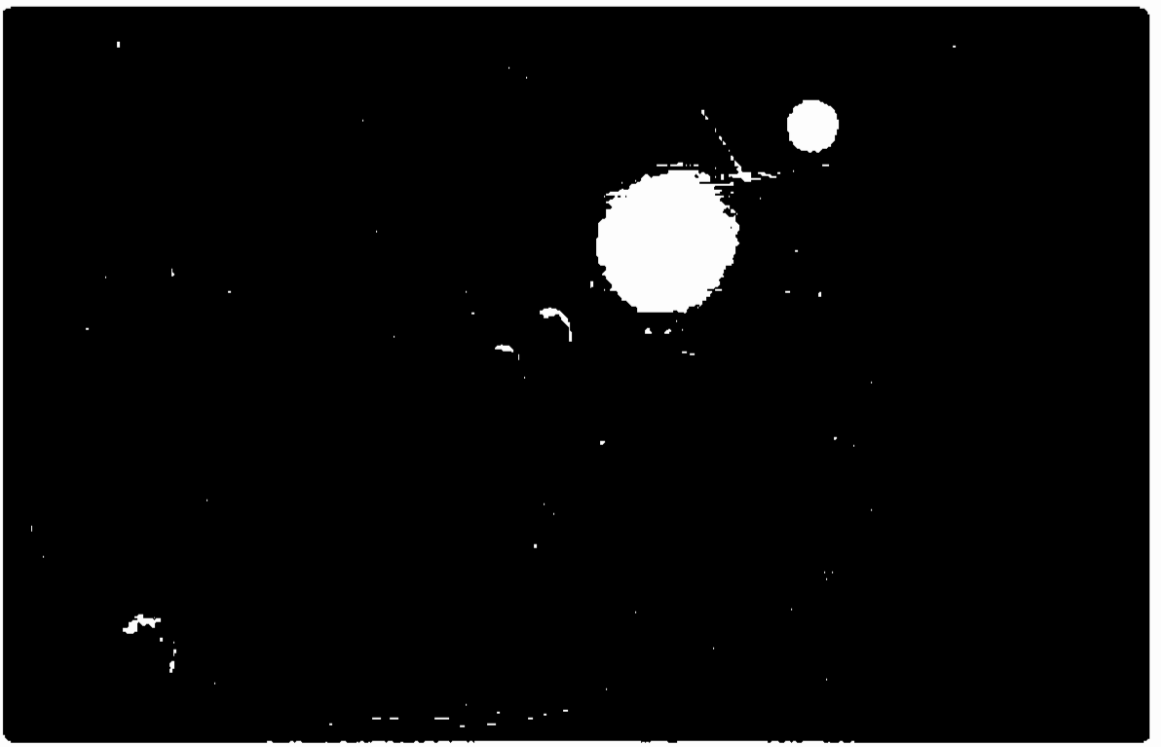
معجزه آشکار

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، به‌ناگاه در آسمان ظاهر شدند. گرمای شدید ناشی از این ده خورشید مردم را بی‌تاب کرد و بنابراین امپراتور به یکی از کمان ـ داران نامی دستور می‌دهد تا خورشیدهای اضافی را با تیر هدف قرار داده و سرنگون کند. امپراتور برای تشکر از کمانگیر، قرصی به او هدیه می‌دهد که با خوردن آن ابدی می‌شود. اما همسر کماندار قرص را از او می‌دزد و در نهایت به‌خاطر این نافرمانی به ماه تبعید می‌شود.

چینی‌ها حق داشتند، وجود ده خورشید در منظومه شمسی شرایط را برای حیات انسان غیرممکن می‌ساخت. امروزه ما می‌دانیم منظومه‌ای با چندین خورشید، گرچه برای برنزه شدن بسیار عالی است، اما احتمالاً هیچ‌گاه به حیات فرصت بروز نمی‌دهد. 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، غیرمحتمل به‌نظر می‌رسد. برای درک این موضوع بهتر است به نحوه عملکرد ساده‌ترین نوع یک سیستم چند ستاره‌ای نگاهی بیندازیم یعنی سیستمی با دو خورشید که منظومه دوتایی نامیده می‌شود. حدود نیمی از ستارگان آسمان چنین سیستمی دارند. اما حتی منظومه‌های دوتایی نیز تنها قادرند انواع مشخصی از مدارهای پایدار را که در شکل زیر نشان داده شده‌اند، حفظ کنند. احتمالاً در هر یک از این مدارها گاهی سیاره چنان داغ

و گاهی چنان سرد می‌شود که دیگر حیات در آن امکان پذیر نیست. برای خوشه‌های ستاره‌ای، وضعیت حتی از این هم وخیم‌تر است.

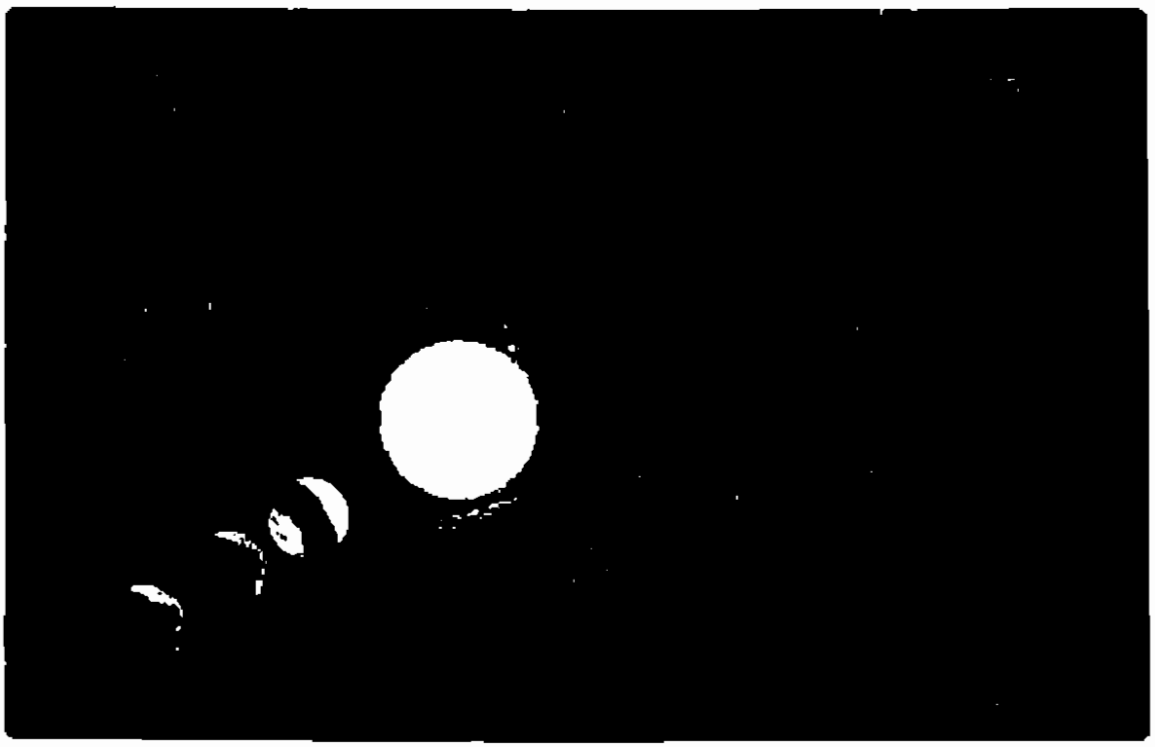
از این خوش اقبالی‌ها در منظومه شمسی ما فراوان دیده می‌شود که بدون آن‌ها احتمالاً نوع پیچیده حیات امکان توسعه نمی‌یافت. به‌عنوان مثال، طبق قوانین نیوتون مدارات سیاره‌ای می‌توانند دایره یا بیضی باشند. میزان فشرده‌گی یک بیضی با پارامتری به نام خروج از مرکز (Eccentricity) سنجیده می‌شود. این پارامتر عددی است بین صفر و یک. عدد صفر، به معنای دایره کامل و عدد یک نشان دهنده بیضی فوق‌العاده باریک است. کپلر از این‌که سیارات در مداری کاملاً دایره‌ای حرکت نمی‌کنند، خرسند نبود. اما از طرفی میزان خروج از مرکز زمین تنها در حدود ۰/۰۲ (یعنی تقریباً دایره) است. بنابراین ظاهرا این حالت نیز نشانه‌ای از خوش اقبالی ماست.



مدارات دوتایی. سیاراتی که در منظومه‌های دوتایی حرکت می‌کنند احتمالا 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 به‌دور خورشید به‌وجود می‌آیند. به‌عنوان مثال،

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 ۱۴۷/۲ میلیون کیلومتر فاصله در مقایسه با ۱۵۲ 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. به‌عنوان مثال، در مریخ که دارای خروج از مرکز ۰/۲ است، دما در نزدیک‌ترین حالت سیاره به خورشید (حضیض) از دورترین حالت آن (اوج) بیش از ۱۰۰ 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.

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[1] (آدم موطلایی) 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 هوشمندحیات می‌شوند، زمین در این محدوده قرار گرفته است!

نیوتون عقیده داشت که منظومه شمسی ما، «صرفاً از طریق قوانین طبیعت، سر از آشوب در نیاورده 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 تصوری 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 امکان پذیر 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

شـــکی نیست که تعداد بی‌شماری از آن‌ها حول میلیاردها ستاره موجود در جهان وجود دارند. وقتی این موضوع را می‌دانیم دیگر شرایط خوش‌تنظیم ســـیاره‌ای ما شامل وجود خورشیدی با جرم مناسب و فاصله ایده‌آل زمین با آن، آن‌چنان اســـتثنایی 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 شـــرایط 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. اگـــر موطلایی‌ها قصد انتخاب ســـیاره‌ای را داشـــتند، تنها آن‌هایی را مناســـب برای حیات می‌یافتند، که در نوار ســـبز قرار دارند. ستاره زرد خورشید ماست. ســـتارگان سفیدتر، بزرگتر و داغ‌تر هستند، در حالیکه قرمزترها کوچکترو سردتر هستند. ســـیاراتی که از خط ســـبز رنگ به ستاره خود نزدیک‌تر هســـتند، برای حیات بسیار داغ بوده و ســـیارات دورتر بسیار سرد هســـتند. پهنای محدوده قابل سکونت برای ستارگان سردتر باریک‌تر است.

جمله آخر را می‌توان به‌صورت یک اصل علمی بیان کرد: وجود حتمی ما، قوانینی را تحمیل می‌کند که تعیین می‌کنند از کجا و از چه زمانی امکان مشاهده جهان برای ما فراهم شده است. یعنی، این واقعیت که ما وجود داریم ویژگی‌های نوع محیطی که خود را درآن می‌یابیم، محدود می‌کند. این اصل، اصل انسانی ضعیف[1] نامیده می‌شود (بعداً می‌بینیم که چرا از کلمه ضعیف استفاده می‌شود). شاید «اصل انتخاب»[2] عبارت مناسب‌تری باشد. زیرا این اصل بیان می‌دارد که اگر ما وجود داریم، پس قوانین نمی‌توانند هر مجموعه‌ی دلخواهی باشند، بلکه باید طوری انتخاب شوند که محیط مناسب برای به وجود آمدن ما را مهیا کنند.

اگرچه ممکن است فلسفی به‌نظر آید، اما می‌توان از اصل انسانی ضعیف برای انجام پیش‌گویی‌های علمی مثلاً اینکه عمر جهان چقدر است استفاده کرد. همان‌طور که در ادامه خواهیم دید، برای اینکه ما وجود داشته باشیم، جهان باید شامل عناصری مثل کربن باشد که در نتیجه پختن عناصر سبک‌تر درون ستارگان تولید می‌شود. در مرحله بعد، این کربن باید در یک انفجار ابرنواختری در فضا پراکنده شده و در نهایت به‌صورت بخشی از یک سیاره، در نسل جدیدی از منظومه سیاره‌ای متراکم شود. در سال ۱۹۶۱، فیزیکدانی به نام رابرت دیک بیان کرد که این فرآیند حدود ۱۰ میلیارد سال زمان نیاز دارد. به این ترتیب، وجود ما به این معنی است که عمر جهان باید حداقل ۱۰ میلیارد سال باشد. از طرف دیگر، جهان نمی‌تواند بسیار بیش‌تر از ۱۰ میلیارد سال عمر داشته باشد، زیرا در آینده‌ی دور، تمام سوخت ستارگان مصرف می‌شود و واضح است که ما برای زندگی به ستارگان داغ نیاز داریم. بنابراین عمر جهان باید در حدود ۱۰ میلیارد سال باشد. این پیش‌گویی خیلی دقیق نیست، اما صحیح است. برطبق اطلاعات موجود، انفجار بزرگ در حدود ۱۳/۷ میلیارد سال پیش به‌وقوع پیوسته است.

مشابه با مسأله عمر جهان، پیش‌گویی‌های اصل انسانی به‌جای تعیین

---

1. Weak anthropic principle
2. Selection principle

مقدار دقیق، اغلب برای پارامترهای فیزیکی محدودهای معین می‌کنند. گرچه ممکن است وجود ما به مقادیر مشخص و قطعی برای برخی پارامترهای فیزیکی نیازی نداشته باشد، اما وجود اغلب وابسته به مقادیری است که نباید با آنچه هم‌اکنون یافته‌ایم زیاد متفاوت باشند. به‌علاوه انتظار داریم که شرایط فعلی جهان ما، در محدوده مجاز اصل انسانی باشد. به‌عنوان مثال، اگر تنها رایج‌ترین مقادیر خروج از مرکز، مثلاً بین صفر و ۰/۵، امکان حیات را فراهم آورند، در این حالت میزان خروج از مرکز ۰/۱، نباید باعث شگفتی ما شود. زیرا درصد خوبی از تمام سیارات موجود در جهان، احتمالاً خروج از مرکزی در این حد دارند. اما اگر نتیجه این بود که برای داشتن امکان حیات، زمین باید در مداری نزدیک به دایره کامل، با خروج از مرکزی برابر با ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱، بچرخد، در این‌صورت می‌توانستیم بگوییم که زمین سیاره‌ای حقیقتاً ویژه و نادر است و ناچار این سوآل پیش می‌آمد که چرا خانه ما اینقدر غیرعادی است. این ایده گاهی اصل میانگی[1] نامیده می‌شود.

عوامل مساعدی مثل میزان مناسب جرم خورشید که مدار سیارات را شکل می‌دهد و نظایر آن، عوامل محیطی نامیده می‌شوند. زیرا آن‌ها از خوش اقبالی موجود در محیط اطراف ما برخاسته‌اند و نه از وقوع تصادفی قوانین بنیادی طبیعت. عمر جهان نیز یک عامل محیطی است. در تاریخ جهان، زمان‌های قبل‌تر و بعدتری نیز وجود دارند و ما باید تنها در این عصر زندگی کنیم، زیرا تنها زمانی است که حیات در آن امکان پذیر شده است. درک وقایع تصادفی محیطی آسان است، زیرا سیاره ما تنها زیستگاه کیهانی بین زیستگاه‌های بسیارِ دیگری است که در جهان وجود دارند و واضح است ما باید در زیستگاهی اقامت داشته باشیم که امکان حیات در آن وجود دارد.

اصل انسانی ضعیف زیاد بحث برانگیز نیست. اما شکل قوی‌تری نیز وجود دارد که اگرچه در بین برخی فیزیکدانان حقیر شمرده می‌شود، اما

---

1. Mediocrity principle

در اینجـا به آن می‌پردازیم. بر طبق اصل انسـانی قوی، این حقیقت که ما وجـود داریـم، نه فقط بر روی محیط ما بلکه بر روی شـکل و محتویات محتمل قوانین طبیعت محدودیت‌هایی تحمیل می‌کند. ایده این اسـت که تنها خصوصیات ویژه منظومه شمسـی ما نیسـت که به‌طور عجیبی برای حیات انسان مناسب است، بلکه خصوصیات کل جهان ما این‌گونه است، که توضیح آن بسیار مشکل‌تر است.

این داستان که چگونه جهان اولیه شامل هیدروژن، هلیم و مقدار اندکی لیتیـم بـه جهانی تکامل پیدا کـرد که حداقل در یک مـورد دارای حیات هوشمند است، داستانی است با فصل‌های متعدد. همان‌طور که قبلاً گفتیم، نیروهای طبیعت باید به‌گونه‌ای می‌بودند که عناصر سنگین‌تر ــ مخصوصاً کربن ــ بتوانند از عناصر نخستین تولید شده و برای حداقل میلیاردها سال به‌صورت پایدار باقی بمانند. عناصر سـنگین در کوره‌هایی به نام ستارگان شـکل گرفتند. بنابراین واضح اسـت که نخسـت باید امکان شکل‌گیری سـتارگان و کهکشان فراهم شـده باشد. آشـفتگی‌های کوچک در جهان اولیه رشد کردند، جهانی که تقریباً یکنواخت و خوشبختانه شامل تغییرات چگالی در حدود ۱ در ۱۰۰,۰۰۰ بوده اسـت. با این حال، وجود ستارگان حاوی عناصری که ما از آن‌ها تشـکیل شـده‌ایم، به تنهایی کافی نیسـت. نیروی درونی سـتارگان باید به‌گونه‌ای باشـد که در نهایت برخی از آن‌ها منفجر شوند. و حتی بیش‌تر، به شیوه‌ای چنان دقیق منفجر شوند که بتوانند عناصر سـنگین‌تر فضا را تامین کنند. عـلاوه براین، قوانین طبیعت باید به گونه‌ای باشـند که باقیمانده‌های این فرآیند مجدداً بتوانند به‌صورت نسـل جدیدی از سـتاره‌ها تراکم یابند، همراه با سیاراتی که شامل عناصر سنگین تازه شـکل گرفته هسـتند و بـه دور آن‌ها می‌چرخنـد. همان‌طور که باید رویدادهای مشـخصی در جهان اولیه اتفاق افتاده باشـد، تا امکان به‌وجود آمدن انسان‌ها را فراهم کند، در مورد هریک از حلقه‌های دیگر زنجیره نیز به‌همین ترتیب اسـت. اما رویدادهایی که منجر به تکامل جهان ما شده‌اند، از طریق برقراری تعادل بین نیروهای بنیادی طبیعت کنترل می‌شوند و برای

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

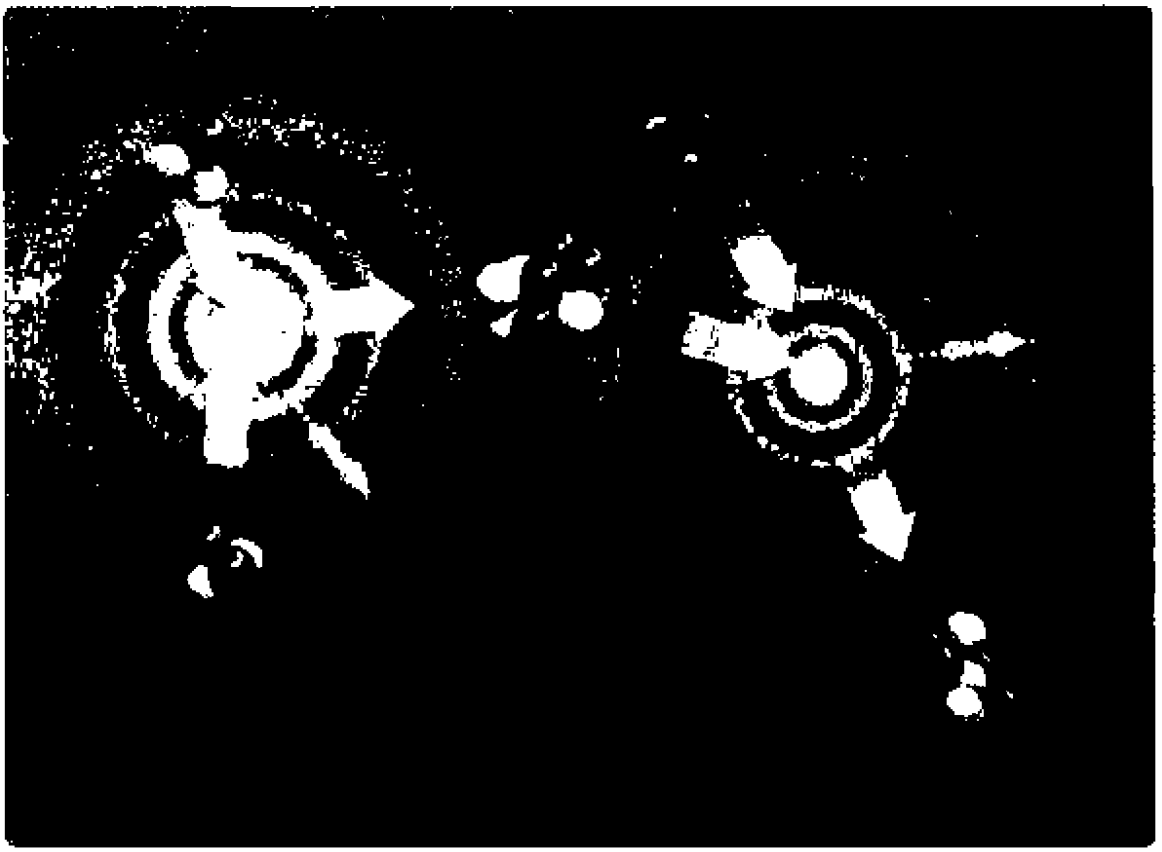
یکی از اولین کسانی که دریافت این موضوع می‌تواند معیار خوبی برای خوش اقبالی ما باشد، فِرد هویل در دهه ۱۹۵۰ بود. هویل عقیده داشت که تمام عناصر شیمیایی اساساً از هیدروژن نشات گرفته‌اند که به‌عقیده او عنصر ابتدایی جهان است. هیدروژن، دارای ساده‌ترین هسته اتمی، شامل تنها یک پروتون است که به تنهایی و یا در ترکیب با یک یا دو نوترون ظاهر می‌شود. (اشکال مختلف هیدروژن و یا هر هسته دیگری، با تعداد پروتون ثابت و نوترون‌های متفاوت، ایزوتوپ‌های آن عنصر نامیده می‌شوند.) امروزه ما می‌دانیم اتم‌های هلیم و لیتیم نیز که هسته آن‌ها شامل دو یا سه پروتون هستند، زمانی که عمر جهان تنها در حدود ۲۰۰ ثانیه بوده است، ابتدائاً در مقادیر بسیار کمی سنتز(ترکیب) شده‌اند. از طرف دیگر حیات، به عناصر پیچیده‌تر وابسته است. در میان همه آن‌ها، کربن از همه مهم‌تر است، عنصری که پایه شیمی آلی محسوب می‌شود.

با اینکه وجود ارگانیسم‌های «زنده» مثل کامپیوترهای هوشمند که از عناصر دیگری مثل سیلیکون تشکیل شوند، قابل تصور است ، با این حال شکل‌گیری خودبه‌خود حیات بدون وجود کربن بعید به‌نظر می‌رسد. دلایل این امر فنی است و احتمالاً به رفتار منحصر به‌فرد کربن در ترکیب با عناصر دیگر مربوط می‌شود. به‌عنوان مثال، دی‌اکسید 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 ویژگی‌های شیمیایی مشابه است. با این حال، دی اکسید سیلیکون، کوارتز، در شکل‌گیری سنگ‌ها نقش موثرتری دارد تا در ساختار شکل‌گیری شش‌ها. با این وجود شاید اشکال دیگری از حیات می‌توانستند در سیلیکون تکامل یابند و در استخرهایی از آمونیاک مایع شنا کنند. حتی این حیات سمی نیز نمی‌توانست تنها از عناصر ابتدایی تکامل یابد. زیرا آن عناصر تنها می‌توانند دو ترکیب پایدار داشته باشند، اول هیدرید لیتیم، که کریستالی جامد و بی‌رنگ است و دوم

گاز هیدروژن، که هیچ‌کدام از آن‌ها قادر نیستند تولید مثل کنند و یا حتی عاشق شوند. به‌علاوه، این حقیقت وجود دارد که ما شکل کربنی حیات هستیم و این سوآل پیش می‌آید که کربن با شش پروتون در هسته خود و دیگر عناصر سنگین بدن ما، چگونه ایجاد شده‌اند.

قدم اول آن است که ستارگان پیرتر شروع به انباشتن هلیم می‌کنند. هلیم زمانی تولید می‌شود که دو هسته هیدروژن با هم برخورد کرده و در هم ذوب می‌شوند. آنچه ما را گرم می‌کند، انرژی ناشی از این همجوشی هسته‌ای در ستارگان است. به‌همین ترتیب، دو اتم هلیم با هم برخورد کرده و بریلیم ساخته می‌شود، اتمی که در هسته دارای چهار پروتون است. وقتی بریلیم ساخته شد، باید اصولاً بتواند با هسته هلیم سومی همجوشی کند و هسته کربن بسازد. اما این اتفاق نمی‌افتد، زیرا ایزوتوپ بریلیم حاصله، فوراً به هسته هلیم تجزیه می‌شود.

وقتی محتویات هیدروژن یک ستاره رو به پایان می‌رود، وضعیت فرق می‌کند. در این حالت هسته ستاره فرو می‌ریزد تا اینکه دمای مرکز آن به حدود ۱۰۰ میلیون درجه کلوین برسد. در این شرایط، برخورد هسته‌ها با یکدیگر بیش‌تر می‌شود و برخی هسته‌های بریلیم، قبل از اینکه متلاشی شوند، با هسته هلیم برخورد می‌کنند. در این‌صورت هلیم می‌تواند با بریلیم ترکیب شده و ایزوتوپی از کربن را بسازند که پایدار است. اما این کربن هنوز تا اشکال پیچیده‌تر ترکیبات شیمیایی، از نوعی که می‌توانند از نوشیدنی لذت ببرند، شعبده بازی کنند و در مورد جهان سوآل بپرسند، فرسنگ‌ها فاصله دارد. برای اینکه موجوداتی مثل انسان‌ها وجود داشته باشند، کربن باید از درون ستاره به سکونت‌گاهی مهربان‌تر پناه ببرد. همان‌طور که گفتیم این حالت زمانی رخ می‌دهد که ستاره، در پایان دوره زندگی خود، به‌صورت یک ابرنواختر منفجر شده و کربن و دیگر عناصر سنگین را پراکنده کند تا بعدها به‌صورت سیاره متراکم شوند.



فرآیند سه گانه آلفا. کربن از برخورد سه هسته هلیم در ستارگان ساخته می‌شود، رویدادی که اگر به‌دلیل ویژگی خاصی از قوانین فیزیک هسته‌ای نبود، بسیار غیر محتمل می‌بود.

فرآیند ساخت کربن، فرآیند سه‌گانه آلفا نامیده می‌شود، زیرا «ذره آلفا» نام دیگر هسته ایزوتوپ هلیم است که در فرآیند شرکت می‌کند و در این فرآیند سه تا از این ایزوتوپ‌ها با هم ترکیب می‌شوند. طبق پیش‌بینی فیزیک متعارف، نرخ تولید کربن از طریق این فرآیند، بسیار کم است. در سال ۱۹۵۲ هویل پیش‌بینی کرد که مجموع انرژی‌های یک هسته بریلیم و یک هسته هلیم باید دقیقاً برابر با انرژی یک حالت کوانتومی مشخص از ایزوتوپ کربن حاصله باشد، وضعیتی که رزونانس (تشدید) نام دارد و سرعت یک واکنش هسته‌ای را به شدت افزایش می‌دهد. در آن زمان، چنین سطحی از انرژی ناشناخته بود. اما براساس پیشنهاد هویل، ویلیام فاولر از دانشگاه کَلتِک به جستجو پرداخت و آن را یافت و به این ترتیب در تایید دیدگاه هویل در مورد چگونگی ایجاد هسته‌های سنگین قدم بزرگی برداشته شد.

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

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 شبیه سازی‌های 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 ٤ 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 این‌صورت شرایط برای وجود ما از بین می‌روند!

در بررسی جهان‌های شبیه‌سازی شده، زمانی‌که 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 به‌نظر 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. به‌عنوان مثال، اگر قدرت نیروی هسته‌ای ضعیف، ضعیف‌تر می‌بود، در جهان ابتدایی تمام هیدروژن موجود در گستره کیهان به هلیم تبدیل می‌شد و در نتیجه ستارگان معمولی به‌وجود 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 به‌نظر 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، به‌جز سه، حتی آشفتگی‌های اندک، مثلاً آثار گرانش سیارات دیگر، سیاره را از مدار دایره‌ای خود خارج کرده و باعث می‌شود به‌صورت مارپیچ از خورشید دور شود و یا به‌درون 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، به‌گونه‌ای 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.

به‌نظر 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. به‌نظر می‌رسد اگر دنباله‌ای از اتفاقات هم‌زمان و شگفت انگیز 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 تاثیرگذارتر 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 به‌کمک آن با گرایش جهان به فروپاشی بر روی خود مقابله کند. این نیرو، برخلاف نیروهای دیگر، هیچ منبع خاصی ندارد، بلکه از خواص خودِ 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 آنجاکه امروز می‌دانیم که مقدار آن صفر نیست، این سوآل 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 نشات 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 به‌دست آمده است. یعنی یا استدلال به‌کار رفته در محاسبات اشتباه بوده یا اثرات دیگری وجود دارند که به‌نحوی معجزه‌گونه عدد را به کسر کوچک غیر قابل تصوری 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 این‌صورت نیز حیاتی که می‌شناسیم غیر ممکن می‌شود.

ایـــن اتفاقات هم‌زمان به ما چه می‌گویند؟ خوش‌شانســـی در شـــکل و طبیعت دقیق قوانین بنیادی فیزیک، با خوش‌اقبالی در عوامل محیطی تفاوت دارد. توضیح این مسأله آسان نیست و در مورد آن تعابیر فیزیکی و فلسفی بسیار عمیقی وجود دارند. به‌نظر می‌رسد که جهان ما و قوانین آن، با طرحی از پیش تعیین شده، به‌گونه‌ای شکل گرفته است که وجود ما را محقق سازد. به‌علاوه، اگر می‌خواهیم وجود داشـــته باشیم، ناچار باید بپذیریم که در این طرح، جای کمی برای تغییر گذاشـــته شده اســـت. توضیح این مسأله آسان نیست و این سوآل 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 شـــده تا منزلگاه انسان‌ها باشد، هزاران سال است که در علوم دینی و اساطیری مشاهده می‌شود. در حکایات تاریخی–اساطیری قوم مایا، موســـوم به پوپول وو، خداوندان می‌گویند، «ما از انسان‌ها، آنچه خلق کرده و شـــکل داده‌ایم و قدرت درک بـــه آن‌ها عطا کردیم، نه افتخار طلب می‌کنیم و نه احترام.» در یکی از متون مصری که به ۲۰۰۰ ســـال قبل از میلاد مســـیح باز می‌گردد، نوشته شده است، «انسان‌ها، گله‌های خداوند، به‌خوبی مهیا شـــده‌اند. او [خدای خورشید] آســـمان و زمین را برای آن‌ها آفرید.» در چین، فیلســـوف تائوئیســـت، لیه یوکو (۴۰۰ سال پیش از میلاد مســـیح)، ایده خود را از طریق شخصیتی درون یک داستان بیان می‌کند که می‌گویـــد، «کائنات، پنج نوع دانه می‌ســـازد تا رشـــد کنند و مخصوص ما، گونه‌های پردار و باله‌دار را می‌آفریند.»

در روایـــت غربی داســـتان خلقـــت، در کتب عهد عتیـــق، ایده طراحی آینده‌نگر مطرح می‌شود. اما دیدگاه مسیحیان قدیمی، به شدت تحت تاثیر ارسطو بوده است، «کسی که به دنیای طبیعی هوشمندی اعتقاد داشت که بر طبق طرح و هدف‌های از پیش تعیین‌شده کار می‌کند.» خداشناس مسیحی

قرون وسطی، توماس آکوئیناس، ایده ارسطو را مبنی بر نظم موجود در طبیعت، به‌عنوان دلیلی بر وجود خدا به کار بست. در قرن هجدهم، خداشناس مسیحی دیگری حتی فراتر رفته. تا جائی 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 کیهان شناسی، 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 کیهان شناسی، 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 جهانِ 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 آنجاکه 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 به‌سر 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 هرکدام 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 ــ تمام جهان قابل رؤیت ــ 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 اَشکال مختلف موجودات زنده می‌تواند بدون دخالت موجودی برتر به‌وجود آید، به‌همین ترتیب مفهوم جهان‌های چندگانه نیز می‌تواند تنظیمات دقیق قوانین فیزیکی را بدون فرض وجود خالقی خیراندیش، توضیح دهد.

اینشتین خطاب به دستیارش اِرنست اِشتراوس، این‌گونه 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 به‌تصویر 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 اولین‌بار 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 به‌فرد، 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 به‌صورت نظریه منحصربه‌فردی تعبیر کنیم که بتواند این جهان و جهان‌های دیگر را، به‌همراه طیف کامل قوانین مختلف آن‌ها توضیح دهد، در این‌صورت نظریه M می‌تواند همان نظریه باشد. اما آیا نظریه M منحصر به‌فرد است؟ آیا لازمه هر اصل منطقی ساده است؟ آیا می‌توان به این سوآل پاسخ داد که چرا نظریه M؟

فصل ۸

طرح بزرگ

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 این‌حال به‌تدریج قوانین جدید در حوزه هایی غیر از ستاره‌شناسی نیز کشف شدند و ایده جبرگرایی علمی شکل گرفت: مجموعه کاملی از قوانین باید وجود داشته باشند که به‌کمک 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 اولین‌بار 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 سوآل پاسخ نمی‌دهند که چرا؟ سوآلاتی که در ابتدای این کتاب مطرح کردیم را به‌خاطر 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 سوآل منطقی است که چه کسی یا چه چیزی این جهان را آفریده است، اما اگر پاسخ این سوآل خداوند باشد، در این صورت سوآل 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 سوآلات 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 گمراه کننده است. برنده یا بازنده‌ای وجود ندارد، در حقیقت 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 به‌تصویر کشیده است، مثل تخته شطرنج، یک آرایه

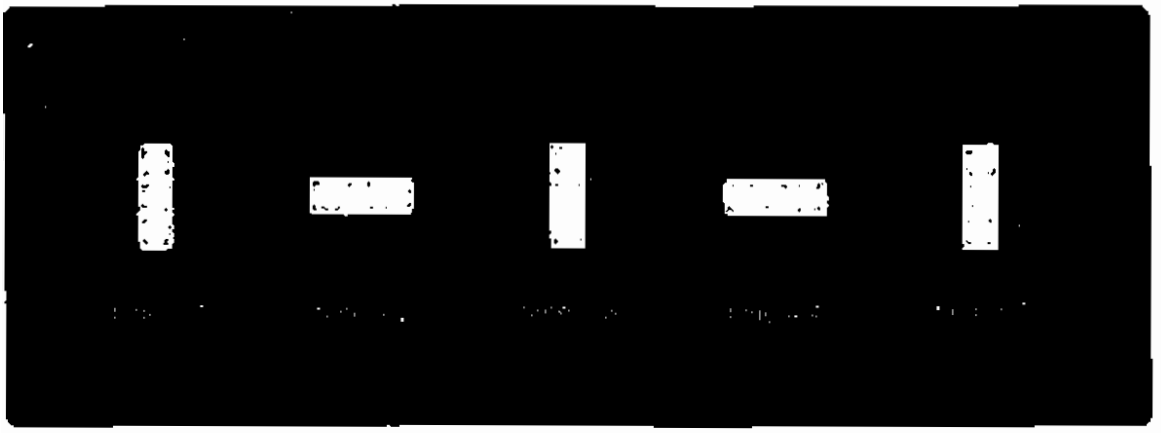
دو بعدی متشکل از تعدادی مربع است که البته در تمام جهات تا بی‌نهایت ادامه دارد. هر مربع می‌تواند دو حالت داشته باشد: زنده(روشن) و مرده (خاموش). هر مربع دارای هشت همسایه است، همسایه‌های بالا و پایین، چپ و راست و چهار همسایه قطری (یعنی همسایگانی که در جهت قطرهای مربع قرار دارند). زمان در این جهان پیوسته 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).

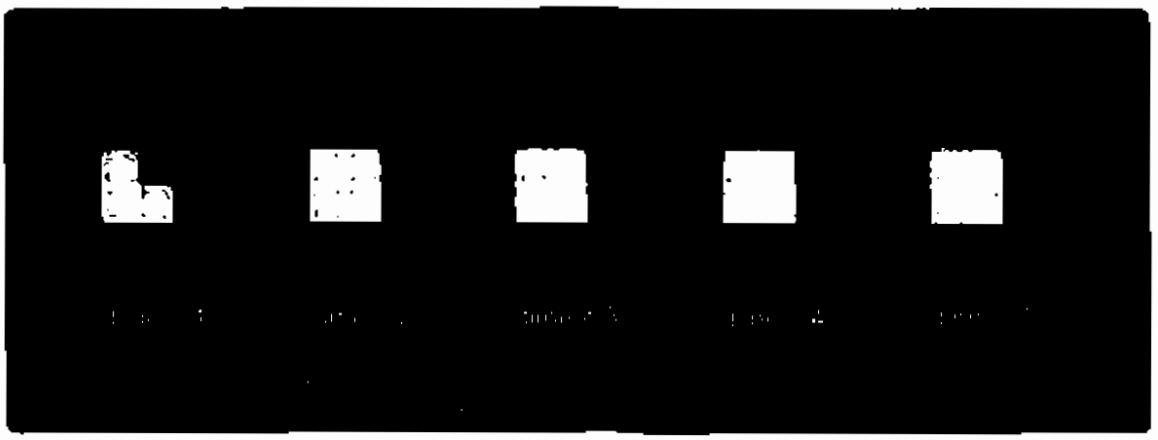
۳. در تمام موارد دیگر، سلول مرده و یا در حالت مرده باقی می‌ماند. در حالتی که مربع زنده، همسایه زنده‌ای نداشته و یا تنها یک همسایه زنده دارد، می‌گویند از تنهایی مرده است و اگر بیش از سه همسایه زنده داشته باشد، گفته می‌شود از ازدحام مرده است.

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 به‌اندازه 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. به‌همین 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.



چشمک زن. نوع ساده‌ای از اشیاء مرکب در بازی زندگی.

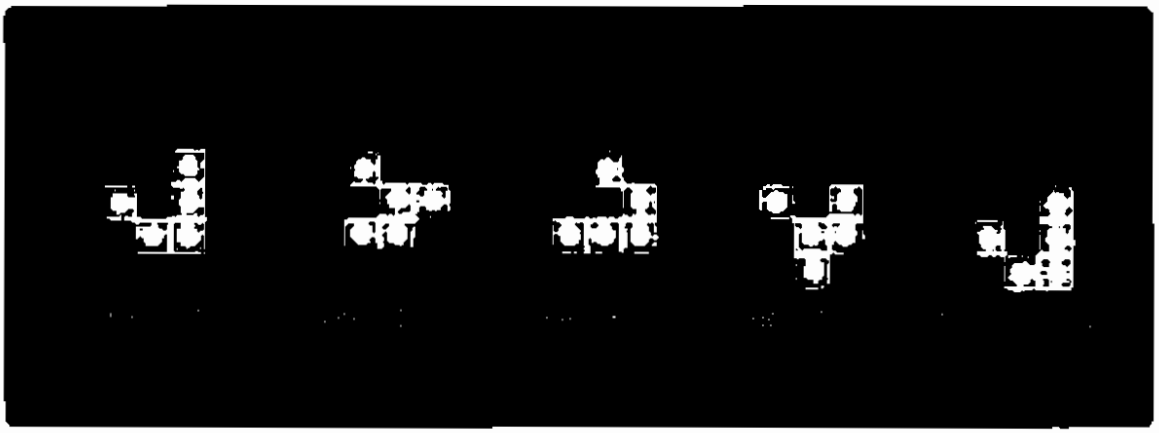
اگر سه مربع زنده به شکل ⊥ در کنار هم قرار بگیرند، اتفاق جدیدی می‌افتد. مربع‌های قرار گرفته درون ⊥، متولد شده و یک بلوک ۲×۲ ایجاد می‌کنند. این بلوک، الگویی است که طبیعت بی‌جان نامیده می‌شود، زیرا از نسلی به نسل دیگر بدون تغییر منتقل می‌شود. الگوهای متنوع بسیاری وجود دارند که در نسل‌های اولیه شکل گرفته ولی به سرعت، یا به طبیعت بی‌جان تبدیل می‌شوند، یا می‌میرند و یا به شکل ابتدایی خود بازگشته و فرآیند مجدداً تکرار می‌شود.



طبیعت بی‌جان. در بازی زندگی، برخی اشیاء مرکب به شکلی در می‌آیند که از آن پس دیگر تغییر نمی‌کنند.

الگوی دیگری وجود دارد که گلایدر نامیده می‌شود. این الگو، پس از تغییر شکل طی چندین مرحله، مجدداً به شکل اولیه خود باز می‌گردد،

ولـی این‌بـار در مکانی که یک مربع قطری پایین‌تـر از محل ابتدایی خود اسـت. اگر به این روند پیشرفت در طول زمان نگاه کنید، به‌نظرمی‌رسد که اشـکال موجود در طول آرایه حرکت می‌کننـد. وقتی این گلایدرها با هم برخورد می‌کنند، حین برخورد با یکدیگر بسته به شکل‌شان، رفتار عجیبی روی می‌دهد.

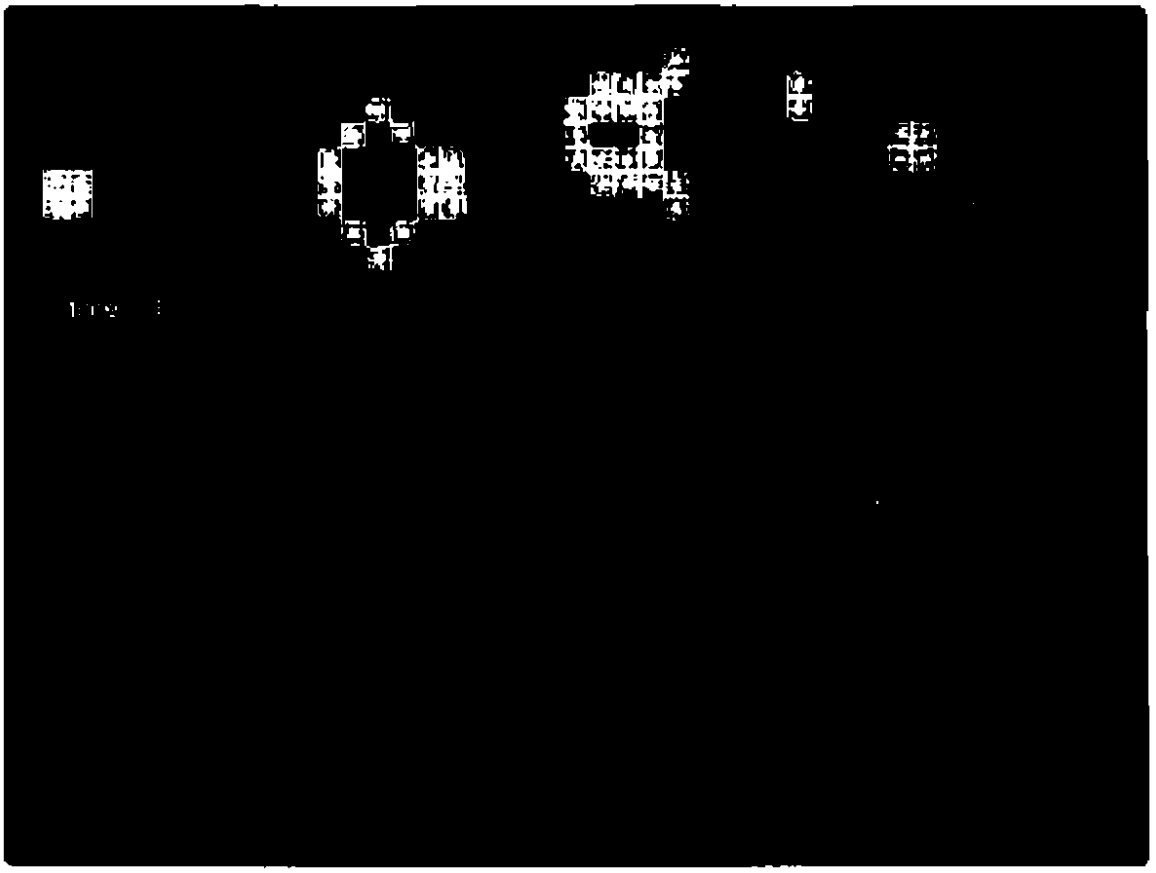


گلایدرها. اشیائی هستند که پس از گذر از حالات میانی، به شکل ابتدایی و اصلی خود باز می‌گردند، با این تفاوت که از نظر مکانی، به‌اندازه یک مربع قطری پایین آمده‌اند.

نکته مهیج در مورد چنین جهانی این اسـت کـه اگرچه فیزیک بنیادی حاکم بر آن سـاده اسـت، با این‌حال می‌تواند شیمی پیچیده‌ای داشته باشد. یعنی اشـیاء مرکب می‌توانند در مقیاس‌های مختلف وجود داشته باشند. در کوچک‌ترین مقیاس فیزیک بنیادی، تنها مربع‌های زنده و مرده وجود دارند. در مقیاس بزرگ‌تر، گلایدرها، چشمک زن‌ها و طبیعت بی‌جان وجود دارند. در مقیاس حتی بزرگ‌تر، اشیاء پیچیده‌تری مثل تفنگ گلایدر وجود دارند: الگوهایی ثابت که به‌طور متناوب گلایدرهای جدید تولید می‌کنند که آشیانه را ترک می‌کنند و به صورت قطری به حرکت ادامه می‌دهند.

اگـر برای مدتـی به جهان بازی زندگی در هر مقیاس مشـخصی نگاه کنید، می‌توانید قوانین حاکم بر اشـیاء آن را اسـتخراج کنید. به‌عنوان مثال، برای اشیائی به قطر چند مربع، قوانینی از این دست داریم که مثلاً «بلوک‌ها هرگز حرکت نمی‌کننـد»، «گلایدرها به صورت قطری حرکت می‌کنند» و

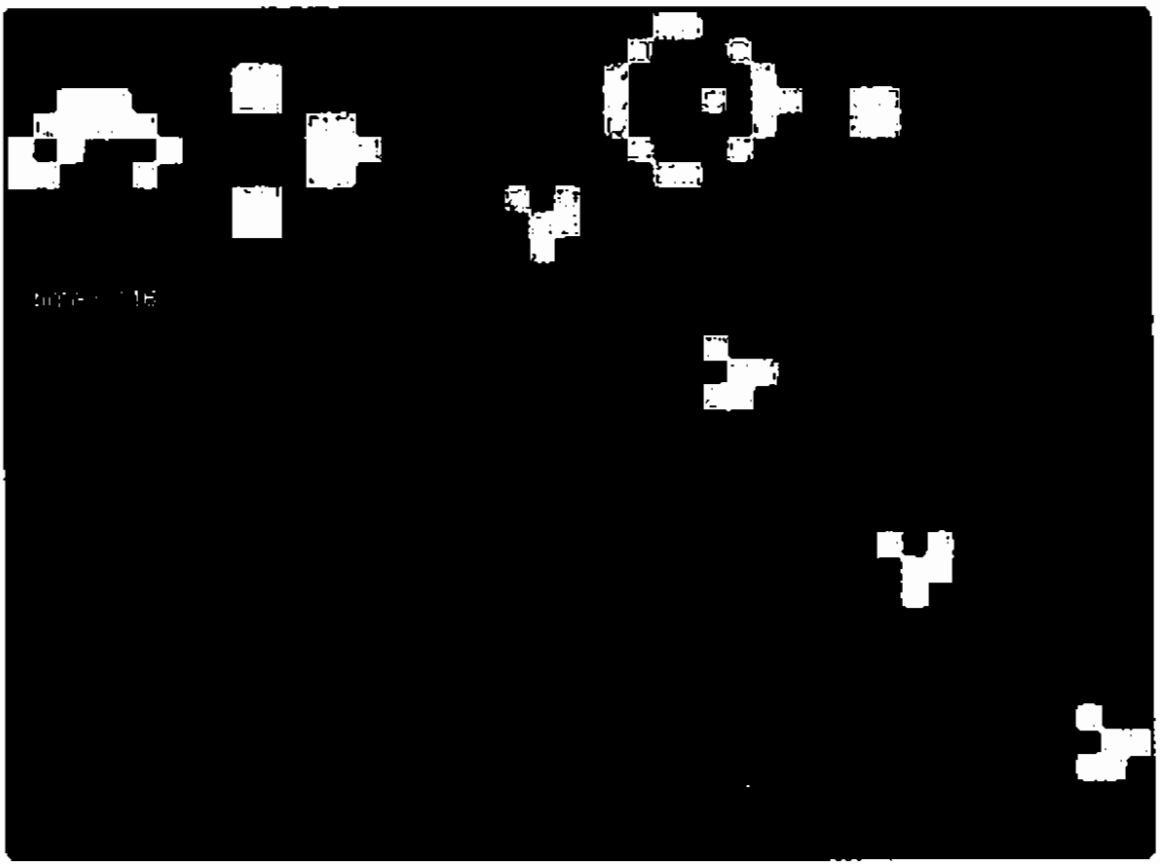
قوانین مختلفی که برای برخورد اشیاء تعیین می‌کنید. شما می‌توانید فیزیک کاملی برای اشـــیاء مرکب بـــا اندازه‌های مختلف ایجاد کنیـــد. این قوانین هویت مستقل دارند و با معنا هستند، در حالیکه جزء قوانین آغازین نبودند. به‌عنوان مثال، مفاهیمی مثل «برخورد» یا «حرکت» در قوانین آغازین وجود ندارند. قوانین پایه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



ترکیب اولیه تفنگ گلایدر. تفنگ گلایدر تقریباً به بزرگی ده گلایدر است.

هدف کانوی و دانشجویانش از خلق چنین جهانی این بود که بفهمند آیا جهانی با قوانین بنیادی ســـاده، می‌تواند چنان اشـــیاء پیچیده‌ای داشـــته باشـــد که قادر به تولید مثل باشند. آیا در جهان بازی زندگی، شیئی مرکبی وجـــود دارد که صرفاً با تبعیت از قوانین حاکم، دیگرانی از نوع خود تولید کند؟ کانوی و دانشـــجویانش نه تنها نشـــان 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»[1] 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 ــ مثلاً محیط مناسب برای جهان بازی زندگی ــ 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 گلایدر پس از ۱۱۶ نسل. در طول زمان، تفنگ گلایدر تغییر شکل داده، یک گلایدر آزاد می‌کند و سپس به شکل 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 گلایدرها به سمت یک بلوک ساده ۲×۲ متشکل از

---

1. Universal Turing Machine

مربع‌های زنده شـــلیک 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 می‌شـــود. به این ترتیب یک بلـــوک می‌تواند حافظه کامپیوتر را شـــبیه ســـازی کند. در حقیقت تمام وظایف اصلی یک کامپیوتر مدرن، مثـــل گیت‌های AND و OR را می‌توان با کمک گلایدرها نیز ســـاخت. در این حالت، درســـت همانگونه که در کامپیوترهای فیزیکی از سیگنال‌های الکتریکی اســـتفاده می‌شـــود، می‌توان از دنباله‌ی گلایدرها برای ارســـال و پردازش اطلاعات استفاده کرد.

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

به ایـــن ترتیب می‌تـــوان موجودات زنـــده را به صورت سیســـتم‌های پیچیـــده‌ای با اندازه محدود تعریف کـــرد که پایدارند و تولید مثل می‌کنند. اشـــیائی که در بالا توصیف کردیم شـــرایط تولیدمثل را برآورده می‌سازند، اما احتمالاً پایدار نیســـتند: ممکن اســـت اختلال کوچکـــی از بیرون، چنین مکانیزم ظریفی را متلاشـــی کند. با این‌حال تصور این امر ســـاده است که قوانیـــن اندکی پیچیده‌تر، امکان وجود سیســـتم‌های پیچیده‌ای را که دارای تمام نشـــانه‌های حیات هســـتند، فراهم می‌آورند. موجودی را از نوع اشیاء درون دنیای کانوی تصور کنید. چنین شـــیئی به تحریکات محیطی پاســـخ می‌دهد و بنابراین به‌نظر 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 انســـان است. خودآگاهی به انسان‌ها اختیار می‌دهد، قابلیت انتخاب بین اقدامات مختلف.

چگونه می‌توان گفت که یک موجود دارای اختیار اســـت؟ در برخورد بـــا یک موجود فضایی، چگونه می‌توان تعییـــن کرد که او تنها یک روبات

است یا دارای ذهنی است که مختص خود اوست؟ برخلاف موجودِ دارای اختیار، رفتار یک روبات کاملاً از پیش تعیین شـده اسـت. بنابراین روبات قاعدتـاً به‌عنوان موجودی که اقدامات قابـل پیش‌بینی انجام می‌دهد، قابل تشـخیص اسـت. همان‌طور که در فصل ۲ گفتیم، اگر این موجود پیچیده و بزرگ باشـد، تشخیص آن فوق‌العاده مشـکل است. ما حتی نمی‌توانیم معادلات مربوط به سـه ذره یا بیش‌تر را در تعامل با یکدیگر، به دقت حل کنیم. از آنجا که یک موجود فضایی در ابعاد انسـان احتمالاً حدود هزاران تریلیـون تریلیـون ذره دارد، حتی اگر روبات هم باشـد، حل معادلات و پیش‌بینی آنچه انجام می‌دهد غیرممکن اسـت. بنابراین باید بگوییم که هر موجود پیچیده‌ای دارای اختیار اسـت ــ نـه 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 نشـان می‌دهد که حتی مجموعه سـاده‌ای از قوانین نیز می‌توانند ویژگی‌های پیچیده‌ای را مشابه آنچه در حیات هوشمند بـا آن مواجهیم تولید کنند. باید بسـیاری مجموعه قوانیـن با این ویژگی وجود داشـته باشـند. چه چیزی قوانین بنیادی (در مقابل قوانین ظاهری) حاکم بر جهان ما را انتخاب می‌کند؟ مشابه جهان کانوی، قوانین جهان ما، با داشـتن حالت سیستم در هر زمان، نحوه تکامل آن را تعیین می‌کنند. در جهان کانوی، ما خالق هسـتیم. 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 هسـتند. هر مجموعه قوانین که توصیف‌گر جهانی پیوسته مثل جهان ما باشـد، مفهومی به نام انرژی خواهد داشـت که کمیتی است دارای بقاء، یعنـی مجموع آن هیچ‌وقت کم و زیاد نمی‌شـود. انرژی فضای خالی بـدون توجه به موقعیـت و زمان، یک عدد ثابت خواهـد بود. می‌توان این انـرژی 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 این‌گونه 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، این‌گونه ناپایداری اتفاق نمی‌افتد، زیرا همانطور که گفتیم انرژی جهان باید ثابت بماند. این امر برای پایداری محلی جهان لازم است، طوری‌که که اشیاء در همه جا از هیچ ظاهر نشوند.

اگر بپذیریم که مجموع انرژی جهان همواره باید صفر بماند و به‌علاوه برای ساخت یک جسم نیاز به انرژی باشد، پس چگونه یک جهان کامل می‌تواند سر از هیچ برآورد؟ به‌همین 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 به‌این سادگی هم نیست. به‌عنوان مثال، انرژی گرانش منفی زمین، کم‌تر از یک میلیاردم 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 به‌هم 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 فروخواهد پاشید. سیاهچاله‌ها دارای انرژی مثبت هستند. به‌همین 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 به‌طور 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 ٦ توضیح داده شد، از هیچ ایجاد کند. ایجاد خود انگیخته به این سوآل پاسخ می‌دهد که چرا به جای هیچ، اصلاً چیزی وجود دارد، این‌که 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 این‌گونه 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 این‌که نظریه‌ای برای گرانش مقادیر متناهی پیش‌بینی کند، باید بین نیروهای طبیعت و ماده‌ای که بر آن عمل می‌کنند ابرتقارن[1] داشته باشد. نظریه M عمومی‌ترین نظریه ابرمتقارن برای گرانش است. به‌همین دلیل نظریه M تنها نامزد برای یک نظریه کامل از جهان است. اگر متناهی باشد ــ و البته این امر هنوز باید ثابت شود ــ 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 ــ که خود مجموعه نادری از ذرات بنیادی طبیعت هستیم ــ 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.

---

1. Supersymmetry

واژه نامه

آزادی مجانبی Asymptotic freedom

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 به‌هم وابسته شده‌اند، با این حال می‌توانند درون هسته به گونه‌ای آزاد حرکت کنند، گویی هیچ نیرویی بر آن‌ها اعمال نمی‌شود.

اَبَرتقارن Supersymmetry

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

اَبَرگرانش Supergravity

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

اصل انسانی Anthropic principle

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

اصل عدم قطعیت هایزنبرگ Heisenberg uncertainly principle

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

الکترون Electron

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

انفجار بزرگ Big bang

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.

باریون Brayon

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

بازبهنجارش Renormalization

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

بوزون Boson

ذره بنیادی که حامل نیرو است.

پروتون Proton

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

تاریخچه‌های جایگزین Alternative histories

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

تکینگی Singularity

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

ثابت کیهانی Cosmic constant

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

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. به‌علاوه این‌که 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 ـ 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 ـ زمان Space–time

فضـــای ریاضـــی که نقاط در آن، تحت هر دو محـــور 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 شـــده با این فـــرض که جهان دارای یک تاریخ مشخص و واحد است.

قوانین ظاهری Apparent laws

آن دســـته 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 هســـتند. در طرف مقابل، قوانین بنیادی‌تر نظریه M قـــرار 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 می‌شـــود 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 الگوهایی از ارتعاش تعریف می‌شوند، الگوهایی 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 به‌کمک این نیرو درخود متمرکز باقی می‌مانند، زیرا آن‌ها نیز خود از ذرات کوچک‌تری بنام کوارک تشکیل شده‌اند.

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 | ذهنی رها |
۹- جهان از هیچ
۱۰- چه کسی، چه وقت، چه چیزی را اختراع کرد؟
۱۱- اینشتین به آشپزش چه گفت (۲ جلد)
۱۲- نابخردی‌های پیش‌بینی‌پذیر
۱۳- نظریه نهایی
۱۴- جهان‌های پنهان

Stephen Hawking & Leonard Mlodinow

THE GRAND DESIGN