«بدون شک جهان دارای خالق و طراحی هوشمند است و تمامی نظریات به ظاهر علمی که با این آموزه ناسازگار باشد، نادرست است و با نقدهای جدی روبروست.»

معادله خدا

قدردانی‌ها

در نوشتن این کتاب، عمیقاً مدیون مباشرم، استوارت کیرچوسکی، هستم که دهه‌هاست صمیمانه در کنار من ایستاده و مرا از توصیه‌های هوشمندانه و عالمانه‌اش بهره‌مند ساخته است. همیشه به داوری‌ها و درک ژرف او از مطالب ادبی و علمی اعتماد کرده‌ام.

از ویراستارم، ادوارد کاستنمیر، نیز ممنونم که با تیزبینی و حمایت همه‌جانبه‌اش در نوشتن تعدادی از کتاب‌هایم مرا راهنمایی کرده است. او بود که به من پیشنهاد کرد این کتاب را بنویسم و در همه‌ی مراحل شکل‌گیری آن بالای سرم بود. اگر توصیه‌های فکورانه و صادقانه‌ی او نبود، نمی‌توانستم این کتاب را بنویسم.

می‌خواهم از همکاران، وابستگان، و دوستانام در قلمرو علم نیز تشکر کنم. به ویژه، از برندگان جایزه‌ی نوبل زیر که وقت و دانش ذی‌قیمت‌شان در فیزیک و علوم دیگر را سخاوتمندانه در اختیارم گذاشتند: موری گلمن، دیوید گروس، فرانک ویلچک، استیون واینبرگ، یوئیچیرو نامبو، لئون لدرمن، والتر گیلبرت، هنری کندال، تی دی لی، جرالد ادلمن، ژوزف روتبالت، هنری پولاک، پیتر دوهرتی، و اریک شیویان. دست‌آخر، باید از بیش از چهار صد فیزیکدان و دانشمند تشکر کنم که مراودات دوستانه‌ای با آن‌ها داشته‌ام، هم همکارانام در پژوهش‌های نظریه‌ی ریسمان و هم در برنامه‌های علمی هفته‌ای رادیویی، برنامه‌های تلویزیونی مختلف که برای تلویزیون بی‌بی‌سی و کانال‌های دیسکاوری و علم که مجری آن‌ها بوده‌ام، و به عنوان گزارشگر علمی در تلویزیون سی‌بی‌اس.

برای فهرست نام دانشمندانی که افتخار مصاحبه با آن‌ها را داشته‌ام، کتاب‌ام فیزیک آینده[1] را ببینید. برای آشنایی با فهرست کامل نظریه‌پردازان برجسته‌ی ریسمان که در این کتاب از آن‌ها نام برده‌ام، به کتابم آشنایی با نظریه‌ی ریسمان و نظریه‌ی M که در سطح دوره‌ی دکتری است، رجوع کنید.

۱. ترجمه‌ی رامین رامبد، انتشارات مازیار، چاپ چهارم، ۱۳۹۶

معادله خدا

در جستجوی نظریه‌ی همه‌چیز

میچیو کاکو

ترجمه‌ی **جمیل آریایی**

انتشارات مازیار

سرشناسه : کاکو، میچیو – Kaku, Michio
عنوان و نام پدیدآور : معادله خدا: در جستجوی نظریه‌ی همه چیز/ میچیو کاکو؛ ترجمه‌ی جمیل آریایی.
مشخصات نشر : تهران: مازیار ، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری : ۱۶۰ ص.
فروست : قلمروعلم
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۷۰۶۱-۱۵-۴
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا
یادداشت : عنوان اصلی: The God equation : the quest for a theory of everything, [2021]
عنوان دیگر : در جستجوی نظریه‌ی همه چیز.
موضوع : Cosmology
موضوع : کیهان‌شناسی
موضوع : انفجار بزرگ
موضوع : Big bang theory
شناسه افزوده : آریایی، جمیل، ۱۳۳۰ – ، مترجم
رده‌بندی کنگره : QB۹۸۱
رده‌بندی دیویی : ۵۲۳/۱
شماره کتابشناسی ملی : ۷۶۱۸۱۶۹

www.mazyarpub.ir
mazyarpub@yahoo.com

انتشارات مازیار

مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۲۹۶ (ظروفچی) طبقه اول، واحد ۴، تلفن ۶۶۴۶۲۴۲۱
ثبت علامت تجاری: ۳۵۳۴۲۴

معادله خدا: در جستجوی نظریه‌ی همه‌چیز
میچیو کاکو
ترجمه‌ی جمیل آریایی
صفحه‌آرایی: مَروا ک.
چاپ اول ۱۴۰۰
شمارگان ۱۲۰۰
لیتوگرافی، چاپ و صحافی طیف‌نگار
شابک ۹۷۸-۶۲۲-۷۰۶۱-۱۵-۴

فهرست مطالب

قدردانی‌ها ۲

آشنایی با نظریه‌ی نهایی ۷

۱. وحدت: این رؤیای باستانی ۱۳

۲. اینشتین در جستجوی وحدت ۳۳

۳. پیدایش مکانیک کوانتومی ۴۹

۴. نظریه‌ی تقریباً همه‌چیز ۶۹

۵. جهان تاریک ۹۱

۶. پیدایش نظریه‌ی ریسمان: نویدها و مشکل‌ها ۱۱۷

۷. یافتن معنی در جهان هستی ۱۴۹

برای مطالعه بیشتر ۱۶۰

آشنایی با نظریه‌ی نهایی

قرار بود نظریه‌ی نهایی باشد، تک چارچوبی که همه نیروهای کیهان و برنامه‌ی رقص هر چیزی، از حرکت جهان در حال انبساط گرفته تا ریزترین رقص ذرات زیراتمی، را وحدت بخشد. چالش این بود که معادله‌ای نوشته شود که ظرافت ریاضیاتی آن همه‌ی فیزیک را دربر گیرد.

عده‌ای از فیزیکدانان برجسته در دنیا به جستجوی این نظریه پرداختند. حتی استیون هاکینگ سخنرانی‌ای با عنوان خوش‌یمن «آیا پایان فیزیک نظری متصور است؟» ایراد کرد.

اگر چنین نظریه‌ای کامیاب باشد، والاترین دستاورد علم خواهد بود. این نظریه جام مقدس فیزیک می‌شود، تک فرمولی که در اصل از آن می‌شود همه‌ی معادلات دیگر، از مهبانگ گرفته تا پایان جهان هستی را به دست آورد. این نظریه محصول نهایی دو هزار سال کندوکاو علمی، از زمانی که باستانیان پرسیدند، «جهان هستی از چه ساخته شده است؟» تا به امروز خواهد بود.

چه چشم‌انداز خیره‌کننده‌ای.

رؤیای اینشتین

کودک هشت ساله‌ای بودم که با چالش این رؤیا روبرو شدم. روزی روزنامه‌ها اعلام کردند که دانشمند بزرگی درگذشته است. عکسی در روزنامه انداخته بودند که فراموش‌ام نمی‌شود.

عکس میزکار این دانشمند بزرگ بود با دفترچه‌ی بازی روی آن. شرح زیر این عکس می‌گفت که بزرگترین دانشمند همه‌ی دوران‌ها، کاری را که شروع کرده بود نتوانست به انجام برساند. مسحور شده بودم. این مسئله چقدر سخت بود که حتی اینشتین بزرگ نیز نمی‌توانست آن را حل کند؟

آن دفترچه حاوی نظریه‌ی همه‌چیز ناتمام او بود، نظریه‌ای که اینشتین آن را نظریه‌ی میدان وحدت‌یافته نامید. اینشتین معادله‌ای را می‌خواست، چیزی در ابعاد کمتر از چند سانتی‌متر، که با آن بتواند به قول خودش «ذهن خدا را بخواند.»

من که از درک عظمت این مسئله عاجز بودم، بر آن شدم تا ردپاهای این انسان بزرگ را دنبال کنم، به این امید که نقش هر چند کوچکی در به ثمر رساندن جستجوی او بازی کنم.

لیکن افراد زیادی نیز تلاش کرده و ناکام مانده‌اند.[۱] فریمن دایسون فیزیکدانی از پرینستون روزی گفته بود که جاده‌ای که به نظریه‌ی میدان وحدت‌یافته ختم می‌شود، پُر است از لاشه‌های تلاش‌های ناکام‌مانده.

باری، امروزه بسیاری از فیزیکدان‌های پیشرو بر این باورند که ما اندک اندک داریم به پاسخ این مسئله نزدیک می‌شویم.

نامزدی که از همه‌ی رقبا جلو زده است (و به گمان من تنها گزینه‌ی ممکن است) نظریه‌ی ریسمان نام دارد که می‌گوید جهان هستی، نه از ذرات نقطه‌ای، بلکه از ریسمان‌های ریز مرتعش ساخته شده است که هر نُت آن‌ها متناظر با یکی از ذرات زیراتمی است.

هرگاه میکروسکوپی می‌داشتیم که به قدر کافی قوی می‌بود، می‌توانستیم ببینیم که الکترون‌ها، کوارک‌ها، نوترینوها، و غیره، چیزی به جز ارتعاشات حلقه‌های کوچکی شبیه به نوارهای کشی نیستند. هر بار که زخمه‌ی متفاوتی به این نوار کشی بزنیم، دست‌آخر همه‌ی ذرات زیراتمی شناخته‌شده در جهان هستی را خلق می‌کنیم. معنی آن این است که همه‌ی قوانین فیزیک را می‌توان هماهنگ‌های این ریسمان‌ها پنداشت. جهان یک سمفونی است. ذهن خدا نیز که اینشتین به شیوایی درباره‌اش نوشت، موسیقی کیهانی است که در فضا_زمان طنین‌انداز است.

در اینجا با نوعی مسئله‌ی آکادمیکی سروکار نداریم. هر بار که دانشمندان از نیروی تازه‌ای پرده برداشته‌اند، مسیر تمدن عوض شده و سرنوشت آدمی تغییر کرده است. برای مثال، نیوتون که قوانین حرکت و گرانش را کشف کرد، زیرساخت عصر ماشین و انقلاب صنعتی فراهم آمد. مایکل فارادی و جیمز کلارک مکسول که الکتریسته و مغناطیس را توضیح دادند، شهرهای ما روشنایی یافت و ما از نعمت موتورها و ژنراتورهای الکتریکی پرقدرت و نیز ارتباطات لحظه‌ای از طریق تلویزیون و رادیو برخوردار شدیم. معادله‌ی $E = mc^2$ اینشتین، سوخت ستارگان را توضیح داد و به رمزگشایی از نیروی

هسته‌ای کمک کرد. اروین شرودینگر، ورنر هایزنبرگ، و دیگران که اسرار نظریه‌ی کوانتومی را فاش کردند، به ما انقلاب تکنولوژیکی سطح بالای امروزی را اعطا کردند، با آن همه اَبَرکامپیوترها، لیزرها، و همه‌ی وسایل شگفت‌انگیزی که در منازل‌مان داریم.

در نهایت، همه‌ی شگفتی‌های تکنولوژی امروزی، منشأشان را مدیون دانشمندانی هستند که نیروهای بنیادی جهان را یکی یکی کشف کردند. اینک دانشمندان کمر همت بسته‌اند تا نظریه‌ای تدوین کنند که این چهار نیروی طبیعت ــ گرانش، نیروی الکترومغناطیسی، نیروهای هسته‌ای قوی و ضعیف ــ را در قالب تک نظریه‌ای وحدت می‌بخشد. این نظریه‌ی وحدت‌یافته چه بسا قادر باشد که بعضی از ژرف‌ترین اسرار و پرسش‌های همه‌ی علم را پاسخ دهد، از جمله

- قبل از مهبانگ، چه رخ داده است؟ چرا اصلاً انفجاری رخ داد؟
- سوی دیگر هر سیاهچاله چیست؟
- آیا سفر در زمان امکان‌پذیر است؟
- آیا کرمچاله‌هایی به جهان‌های دیگر وجود دارند؟
- آیا ابعاد بالاتری هم داریم؟
- آیا نوعی چندجهانی داریم که از جهان‌های موازی تشکیل شده باشد؟

این کتاب داستان جستجوی نظریه‌ی نهایی و فراز و نشیب‌های شگفت‌انگیز یکی از اسرارآمیزترین فصل‌های تاریخ فیزیک را روایت می‌کند. در این کتاب همه‌ی انقلاب‌های پیشین را مرور خواهیم کرد که از انقلاب نیوتونی آغاز می‌شود، به سلطه‌ی نیروی الکترومغناطیسی، توسعه‌ی نسبیت و نظریه‌ی کوانتومی، و نظریه‌ی ریسمان امروزی می‌رسد، انقلاب‌هایی که این همه شگفتی تکنولوژیکی را به ما ارزانی داشته‌اند. توضیح خواهیم داد که نظریه‌ی ریسمان شاید بتواند ژرف‌ترین اسرار فضا و زمان را نیز رمزگشایی کند.

سیل انتقادات

با این همه، موانع هم‌چنان پابرجا هستند. با آن همه شور و هیجانی که نظریه‌ی ریسمان آفریده، انتقاداتی نیز بر آن وارد است که حکایت از کاستی‌های آن دارند. امروزه از پس آن همه هوچی‌گری و عنان‌گسیختگی، پیشرفت راستین

متوقف شده است.

با وجود مجیزگویی‌های رسانه‌ای در ستایش زیبایی و پیچیدگی این نظریه، بارزترین مشکل آن این است که مدرک محکمی نداریم که بشود آن را آزمود. روزگاری امید می‌رفت که برخورددهنده‌ی بزرگ هادرون واقع در حومه‌ی ژنو سوئیس که بزرگترین شتاب‌دهنده‌ی ذرات تاریخ است، مدرک متقنی برای این نظریه‌ی نهایی پیدا کند، اما این مدرک هم‌چنان وهمی بیش نیست. این برخورددهنده توانست بوزون هیگز (یا ذره‌ی خدا) را پیدا کند، اما این ذره تنها قطعه‌ی گم‌شده‌ی کوچکی از نظریه‌ی نهایی بود.

با این که پیشنهادهای غرورآمیزی برای جانشین‌های قدرتمندتر این برخورددهنده شده است، اما هیچ تضمینی نیست که این ماشین‌های پرهزینه بتوانند چیز تازه‌ای را پیدا کنند. هیچ‌کس به یقین نمی‌داند که در چه انرژی‌ای ذرات زیراتمی جدیدی را خواهیم یافت که بتوانند تأییدی بر این نظریه باشند.

شاید مهم‌ترین انتقادی که از نظریه‌ی ریسمان شده این است که چندجهانی جهان‌ها را پیشگویی می‌کند. اینشتین می‌گفت که پرسش اساسی باید این باشد که آیا خداوند در ساختن جهان هستی حق انتخاب داشته است؟ آیا جهان هستی منحصربه‌فرد است؟ نظریه‌ی ریسمان فی‌النفسه منحصربه‌فرد است، لیکن تعداد جواب‌هایی که می‌دهد بی‌نهایت است. فیزیکدان‌ها این مشکل را مسئله‌ی چشم‌انداز می‌نامند، واقعیتی که می‌گوید جهان ما چه بسا جوابی در میان اقیانوسی از جواب‌هاست که به همان اندازه معتبر است. اگر جهان ما یکی از بی‌نهایت جهان است، آنگاه جهان ما کدامیک از آن‌هاست؟ چرا ما در این جهان خاص زندگی می‌کنیم، نه جهانی دیگر؟ حالا، توان پیشگویی چقدر است؟ آیا نظریه‌ی ریسمان، نظریه‌ی همه‌چیز است یا نظریه‌ی هرچیز؟

من هم در این جستجو سهم دارم. از سال ۱۹۶۸ روی نظریه‌ی ریسمان کار کرده‌ام، از زمانی که این نظریه تصادفی پدیدار گشت، ناگهانی و کاملاً غیرمنتظره. من شاهد تحول چشمگیر این نظریه بوده‌ام که از فرمول تک‌افتاده‌ای به رشته‌ای تبدیل شد که کتابخانه‌ی کاملی از مقالات پژوهشی دارد. امروزه نظریه‌ی ریسمان اساس اکثر پژوهش‌هایی است که در پیشرفته‌ترین آزمایشگاه‌های دنیا جریان دارد. امیدوارم که این کتاب بتواند تحلیلی عادلانه و عینی از دستاوردها

و محدودیت‌های نظریه‌ی ریسمان به دست دهد.

در این کتاب توضیح خواهیم داد که چرا این نظریه خیال‌پردازی‌های دانشمندان بزرگ دنیا را به خود جلب کرده و بانی این همه شور و اشتیاق و مناقشه شده است.

یادداشت‌ها

در گذشته، غول‌های فیزیک کوشیده‌اند تا نظریه‌های وحدت‌یافته‌ی خودشان را خلق کنند و ناکام مانده‌اند. در بازنگری وقایع، می‌بینیم که هر نظریه‌ی میدان وحدت‌یافته باید سه شرط زیر را برآورده کند:

۱. باید کل نظریه‌ی نسبیت عام اینشتین را شامل شود.

۲. باید شامل مدل استاندارد ذرات زیراتمی باشد.

۳. باید تعداد نتایج آن متناهی باشد.

اروین شرودینگر، یکی از بنیانگذاران نظریه‌ی کوانتومی، پیشنهادی برای نظریه‌ی میدان وحدت‌یافته داشت که در واقع پیش از او اینشتین آن را مطالعه کرده بود. نظریه‌ی او شکست خورد، چون به درستی به نظریه‌ی اینشتین تقلیل نمی‌یافت و نمی‌توانست معادلات مکسول را توضیح دهد. (توصیفی برای الکترون‌ها یا اتم‌ها نیز نداشت.)

ولفگانگ پائولی و ورنر هایزنبرگ نیز نوعی نظریه‌ی میدان وحدت‌یافته پیشنهاد دادند که شامل میدان‌های ماده‌ی فرمیونی بود، لیکن بازبهنجارپذیر نبود و با مدل کوارک که قرار بود دهه‌ها بعد پدیدار شود، سازگاری نداشت.

خود اینشتین رشته‌ای از نظریه‌ها را مطالعه کرد و در پایان توفیقی نیافت. در اصل، اینشتین که می‌خواست نظریه‌ی مکسول را در نظریه‌ی خود بگنجاند، کوشید تانسور متریک گرانش و نمادهای کریستوفل را تعمیم دهد که تانسورهای پادمتقارن را نیز شامل شوند. این تلاش او نیز سرانجام نداشت. به صرف زیاد کردن تعداد میدان‌ها در نظریه‌ی اولیه‌ی اینشتین نمی‌شد معادلات مکسول را توضیح داد. در این رویکرد نیز به ماده اشاره‌ای نمی‌شد.

در طول سالیان، تلاش‌هایی صورت گرفته است تا میدان‌های ماده را به معادلات اینشتین اضافه کنند، لیکن این نظریه‌ها در تراز کوانتومی تک‌حلقه‌ای واگرا می‌شوند. برای محاسبه‌ی پراکندگی گراویتون‌ها در تراز کوانتومی تک‌حلقه‌ای از کامپیوترها استفاده کرده‌اند و نشان داده شده است که نتیجه‌ی آن به طور قطع بی‌نهایت می‌شود. تاکنون، تنها روش شناخته‌شده برای حذف این بی‌نهایت‌ها در پائین‌ترین تراز تک‌حلقه‌ای این بوده که از اَبَرتقارن استفاده کنند.

ایده‌ی انقلابی‌تری را تئودور کالوتسا در سال ۱۹۱۹ پیشنهاد داد و معادلات اینشتین را در پنج بُعد نوشت. جالب بود که وقتی یک بُعد را به دایره‌ای خمیده می‌کردند، نتیجه این

بود که میدان مکسول به میدان گرانش اینشتین جفت می‌شد. این رویکرد را اینشتین مطالعه کرد اما دست‌آخر آن را کنار گذاشت، چون کسی نمی‌دانست که چگونه یک بُعد را می‌شود فروریخت. اخیراً این رویکرد را در نظریه‌ی ریسمان گنجانیده‌اند، که ده بُعد را به چهار بُعد فرومی‌ریزد و در این فرآیند میدان یانگ_میلز را تولید می‌کند. بنابراین در تلاش‌های زیادی که برای یافتن نظریه‌ی میدان وحدت‌یافته صورت گرفته است، تنها مسیری که جان سالم به در برده رویکرد چندی بُعدی کالوتسا بوده است، لیکن تعمیم یافته تا شامل اَبَرتقارن، اَبَرریسمان‌ها، و اَبَرغشاها شود.

همین اواخر، نظریه‌ای تدوین شده است که گرانش کوانتومی حلقه نام دارد. این نظریه، نظریه‌ی اولیه‌ی چهار بُعدی اینشتین را به شیوه‌ی جدیدی مطالعه می‌کند. با وجود این، نوعی نظریه‌ی گرانشی محض است، بدون هیچ الکترون یا ذرات زیراتمی، و از این رو نمی‌تواند نامزدی برای نظریه‌ی میدان وحدت‌یافته باشد. در آن هیچ اشاره‌ای به مدل استاندارد نمی‌شود، چون فاقد میدان‌های ماده است. هم‌چنین روشن نیست که در این فرمول‌بندی، پراکندگی چندحلقه‌ها به راستی متناهی باشد. گمانی‌زنی شده است که نتیجه‌ی برخورد میان دو حلقه بی‌نهایت می‌شود.

۱

وحدت: این رؤیای باستانی

آنگاه که به نظاره‌ی آسمان شب می‌نشینیم، با آن همه ستارگان تابناکی که کران تا کران در آن پراکنده‌اند، بی‌اختیار مسحور عظمت بی‌همتا و مبهوت‌کننده‌ی آن می‌شویم. نگرانی‌های ما تعدادی از اسرارآمیزترین پرسش‌های همه‌ی دوران هستند.

آیا طرحی کلان بر جهان هستی حاکم است؟
آیا این کیهان به ظاهر بی‌معنی، معنایی دارد؟
آیا هستی ما وزن و دلیلی دارد یا این که بی‌معنی است؟

به یاد شعر استیون کرین می‌افتم:

یکی به جهان هستی گفت:
«آقا، من هستم!»
جهان هستی پاسخ داد:
«هستی که باش، من دینی در برابر هستی تو ندارم که ادا کنم.»

یونانیان از نخستین کسانی بودند که سخت تلاش کردند تا این جهان پرآشوب را توضیح دهند. فلاسفه‌ای چون ارسطو بر آن بودند که هر چیزی از چهار عنصر بنیادی خاک، هوا، آتش، و آب ساخته شده است. حال این چهار عنصر چگونه پیچیدگی گوناگونی جهان هستی را به وجود می‌آورند؟

یونانیان دست‌کم دو پاسخ به این پرسش پیشنهاد کرده‌اند. یکی از این پاسخ‌ها را دموکریتوس فیلسوف داده است که قبل از ارسطو می‌زیسته. وی باور داشت که هر چیزی از مجموعه‌ی ذرات ریز، نامرئی، و فناناپذیر، به نام اتم (در زبان یونانی به معنی «تقسیم‌ناپذیر»)، ساخته شده است. با وجود این، انتقادهایی که به این پاسخ وارد می‌کردند این بود که گواه مستقیمی بر هستی اتم‌ها در دست نیست، چون آن قدر کوچک هستند که دیده نمی‌شوند. اما دموکریتوس

گواه غیرمستقیم قانع‌کننده‌ای برای هستی آن‌ها داشت.[۱]

برای مثال، حلقه‌ی از طلا را در نظر بگیرید. با گذشت سالیان، این حلقه سائیده می‌شود. چیزی را از دست می‌دهد. روزانه قطعات ناچیزی از ماده از این حلقه کنده شده‌اند. بنابراین، گیرم که اتم‌ها نامرئی باشند، هستی آن‌ها را می‌توان به طور غیرمستقیم اندازه گرفت.

امروزه نیز بخش بزرگی از علوم پیشرفته‌ی ما به طور غیرمستقیم انجام می‌شود. ما ترکیبات خورشید، جزئیات ساختار DNA، و سن جهان را می‌دانیم که همه به طور غیرمستقیم اندازه‌گیری شده‌اند. ما همه‌ی این‌ها را می‌دانیم، بدون این که به ستارگان سفر کرده باشیم یا وارد مولکول شده باشیم یا شاهد مهبانگ بوده باشیم. آنگاه تمایز میان گواه مستقیم و غیرمستقیم آشکار می‌شود که بخواهیم نظریه‌ی میدان وحدت‌یافته را شرح دهیم.

پاسخ دوم از ریاضیدان بزرگ فیثاغورس است.

فیثاغورس این بینش را داشت که پدیده‌های طبیعی، از جمله موسیقی را به زبان ریاضیات بیان کند. افسانه‌ای می‌گوید که وی به شباهت میان صدای نواختن سیم چنگ و تشدیدهای ناشی از چکش زدن میله‌ای فلزی پی برده بوده است. فیثاغورس دریافت که این دو، فرکانس‌های موسیقایی‌ای خلق می‌کنند که با نسبت‌های خاصی ارتعاش می‌کنند. بنابراین چیزی که به لحاظ زیباشناختی چون موسیقی دل‌انگیز است ریشه در ریاضیات تشدیدها دارد. به گمان وی، این نشان می‌داد که گوناگونی اجسامی که در اطراف‌مان می‌بینیم باید از قواعد ریاضیاتی یکسانی پیروی کنند.

از این رو دست‌کم دو نظریه‌ی بزرگ جهان ما در یونان باستان پدیدار شد: یکی این که هر چیزی از اتم‌های نامرئی فناناپذیر ساخته شده است و دیگری این که گوناگونی طبیعت را می‌توان با ریاضیات ارتعاشات توصیف کرد.

شوربختانه با انحطاط تمدن باستان، این بحث‌ها و مناظرات فلسفی رخت بربست. تا هزار سال پارادایمی در کار نبود که بشود با آن جهان هستی را توضیح داد. دنیای غرب را تاریکی فراگرفت و در پی آن خرافه‌پرستی و

---

۱. برای اطلاعات بیشتر درباره‌ی علم یونانیان، به کتاب تاریخ علم، استیون واینبرگ، ترجمه‌ی جمیل آریایی، انتشارات مازیار، چاپ دوم، ۱۳۹۹، رجوع کنید. م.

جادوگری جایگزین پرسشگری علمی شد.

تولدی دوباره در دوران روشنگری

در قرن هفدهم، عده‌ای چند از دانشمندان به پا خاستند تا نظم جاافتاده را به چالش بکشند و سرشت جهان هستی را مطالعه کنند، لیکن با مخالفت سخت و مجازات روبرو شدند. یوهانس کپلر، دانشمندی که برای نخستین‌بار ریاضیات را در محاسبه‌ی حرکت سیارات به کار برد، مشاور سلطنتی امپراتور رادولف دوم بود و چه بسا با وارد کردن ایده‌های مذهبی در پژوهش‌های علمی‌اش توانست از مجازات در امان بماند.

کشیش پیشین، جوردانو برونو، به اندازه‌ی کپلر خوش‌شانس نبود. در سال ۱۶۰۰ او را به جرم ارتداد محاکمه و اعدام کردند. دهان‌اش را دوختند و برهنه در خیابان‌های رُم راه بردند و دست‌آخر او را زنده زنده سوزاندند. گناه بزرگ او چه بود؟ ادعا کرده بود در سیاراتی که ستارگان دیگر را دور می‌زنند، شاید حیات وجود داشته باشد.

گالیله‌ی بزرگ، پدر علوم آزمایشگاهی، کم و بیش به همان سرنوشت دچار شد. اما برخلاف برونو، از مرگ هراسید و نظریه‌های‌اش را انکار کرد. مع‌الوصف، با تلسکوپ‌اش که شاید انقلابی‌ترین و فتنه‌انگیزترین اختراع در همه‌ی علوم باشد، میراثی ماندگار بر جای گذاشت. با تلسکوپ، می‌توانی با چشمانت ببینی که کره‌ی ماه پر است از دهانه‌های آتشفشانی؛ سیاره‌ی زهره فازهایی دارد که با گردش‌اش به گرد خورشید سازگارند؛ مشتری ماه‌هایی دارد. این‌ها همه ایده‌های ارتدادی بودند.

او را به حبس خانگی و انزوا از بازدیدکنندگان محکوم کردند و سرانجام نابینا شد.[۱] (می‌گویند گالیله به این دلیل بینایی‌اش را از دست داد که یک بار با چشم غیرمسلح به خورشید نگاه کرد.) گالیله با دل‌شکستگی حیات را به درود گفت. اما همان سالی که او مرد، کودکی در انگلستان به دنیا آمد که نظریه‌ی ناتمام گالیله و کپلر را تکمیل کرد و به ما نظریه‌ی وحدت‌یافته‌ی آسمان‌ها را هدیه داد.

---

۱. برای اطلاعات بیشتر درباره‌ی گالیله، به کتاب گالیله و منکران علم، ماریو لیویو، ترجمه‌ی جمیل آریایی، انتشارات مازیار، چاپ اول، ۱۴۰۰، رجوع کنید. م.

نظریه‌ی نیوتون درباره‌ی نیروها

آیزاک نیوتون شاید بزرگترین دانشمندی بوده باشد که دنیا به خود دیده است. در دنیایی که خرافه‌پرستی و جادوگری حاکم بود، او جسارت به خرج داده قوانین جهان‌شمول آسمان‌ها را نوشت و ریاضیاتی جدیدی به نام حسابان را که بنا کرده بود در مطالعه‌ی نیروها به کار برد. استیون واینبرگ فیزیکدان می‌نویسد که «رؤیای مدرن نظریه‌ی نهایی، به راستی با آیزاک نیوتون آغاز می‌شود.»[۱] نظریه‌ی نیوتون در زمان خود، نظریه‌ی همه‌چیز در نظر گرفته می‌شد، یعنی نظریه‌ای که همه‌ی حرکت‌ها را توضیح می‌داد.

همه چیز زمانی آغاز شد که نیوتون بیست و سه سال داشت. دانشگاه کمبریج به علت شیوع طاعون سیاه بسته شده بود. روزی از روزهای سال ۱۶۶۶، در حالی که نیوتون در اطراف خانه‌ی روستایی‌اش قدم می‌زد، سیبی را دید که دارد سقوط می‌کند. آنگاه پیش خود پرسشی را مطرح ساخت و تقدیر بر این بود که مسیر تاریخ آدمی را عوض کند.

اگر سیب سقوط می کند، پس چرا ماه سقوط نمی کند؟

قبل از نیوتون، دکترین کلیسا این بود که دو دسته قانون داریم. قوانین دسته‌ی اول، قوانین زمینی بودند که چون انسان‌های فانی گناه می‌کردند، گناه‌آلوده به حساب می‌آمدند. قوانین دسته‌ی دوم که قوانین آسمانی بودند، ناب، بی‌نقص، و موزون بودند.

عصاره‌ی ایده‌ی نیوتون این بود که نظریه‌ی وحدت‌یافته‌ای تدوین کند تا زمین و آسمان‌ها را شامل شود.

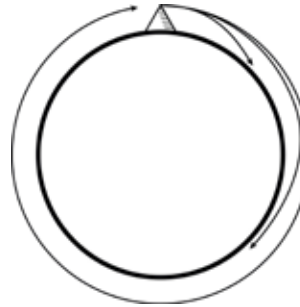
در دفترچه‌اش، تصویر سرنوشت‌سازی کشید (شکل ۱).

اگر گلوله‌ی توپی از قله‌ی کوه شلیک شود، قبل از این که بر زمین فرود آید، مسافت معینی را می‌پیماید. حال اگر این گلوله‌ی توپ را با سرعت‌های فزآینده‌ای شلیک کنید، قبل از فرود آمدن بر زمین، مسافت‌های فزآینده‌ای را خواهد پیمود، تا این که سرانجام دایره‌ی کاملی را به دور زمین بزند و به قله‌ی کوهی برگردد که از آن شلیک شده بود. وی نتیجه گرفت که قانون حاکم بر

---

۱. رؤیای نظریه‌ی نهایی، استیون واینبرگ، ترجمه‌ی جمیل آریایی، انتشارات مازیار، ۱۳۹۷. م.

سیب و گلوله‌ی توپ، یعنی قانون گرانش، همان قانونی است که کره‌ی ماه را نیز در مدارش به دور زمین نگه می‌دارد. این بود که فیزیک زمینی و فیزیک آسمان‌ها، یکی شدند.



شکل ۱. می‌توان گلوله‌ی توپی را با چنان انرژی‌ای شلیک کرد که یک دور کامل به دور زمین بزند و سرجای اول‌اش برگردد. نیوتون گفت که این مثال مدار کره‌ی ماه را توضیح می‌دهد و این‌گونه بود که قوانین فیزیک حاکم بر اجسام روی زمین با قوانین اجرام آسمانی وحدت یافتند.

نیوتون با معرفی نیروها توانست به چنین بینشی دست یابد. اجسام حرکت می‌کنند چون آن‌ها را نیروهای جهان‌شمولی هل می‌دهند یا می‌کشند که می‌توان آن‌ها را دقیق اندازه‌گیری و با ریاضیات محاسبه کرد. (قبل از نیوتون، عده‌ای از علمای دینی گمان می‌کردند که اجسام از روی هوس حرکت می‌کنند و از این رو اگر اجسام سقوط می‌کنند از این بابت است که هوس می‌کنند با زمین هم‌آغوش شوند.)

این شد که نیوتون مفهوم کلیدی وحدت را معرفی کرد.

اما نیوتون مرد فوق‌العاده درون‌گرایی بود و مطالعات‌اش را از دیگران پنهان می‌داشت. دوستانی داشت، بیهوده سخن نمی‌گفت، و بیشتر اوقات با دانشمندان دیگر بر سر کشف‌های‌اش درگیر نبردهای سخت اولویتی بود.

در سال ۱۶۸۲ رویدادی به یاد ماندنی رخ داد که مسیر تاریخ را عوض کرد. دنباله‌دار درخشانی آسمان لندن را درنوردید. همگان، از پادشاهان و ملکه‌ها گرفته تا گدایان، از این دنباله‌دار می‌گفتند. از کجا آمده بود؟ به کجا می‌رفت؟ چه پیامی داشت؟

کسی که به این دنباله‌دار علاقه‌مند شد، ادموند هالی اخترشناس بود. وی به کمبریج سفر کرد تا آیزاک نیوتون معروف را ملاقات کند که برای نظریه‌ی نورش همه او را می‌شناختند. (نیوتون نور خورشید را از منشوری شیشه‌ای گذراند و نشان داد که نور سفید به نورهای رنگین‌کمان تجزیه می‌شود و از آن نتیجه گرفت که نور سفید ترکیبی از رنگ‌هاست. وی تلسکوپ جدیدی نیز اختراع کرده بود که در آن به جای عدسی از آئینه‌های بازتابان استفاده می‌شد.) آنگاه که هالی نظر نیوتون را درباره‌ی این دنباله‌دار جویا شد که بر سر زبان‌ها افتاده بود، شوکه شد از این که شنید نیوتون می‌تواند ثابت کند که دنباله‌دارها در مدارهای بیضی شکل به گرد خورشید می‌گردند و با نظریه‌ی گرانش‌اش حتی می‌تواند مسیر آن‌ها را پیشگویی کند. در واقع، نیوتون با تلسکوپی که اختراع کرده بود آن‌ها را رصد می‌کرد و دنباله‌دارها درست آن‌گونه که او پیشگویی کرده بود حرکت می‌کردند.

هالی انگشت به دهان ماند.

هالی در آنی پی برد که شاهد نقطه‌ی عطفی در تاریخ علم است و داوطلب شد تا مخارج چاپ کتاب *اصول ریاضی فلسفه‌ی طبیعی*، یا به اختصار *اصول* (یا *پرینکیپیا*) را بپردازد که سرانجام بزرگترین شاهکار همه‌ی علوم شد.

افزون بر آن، هالی که پی برده بود طبق پیشگویی نیوتون دنباله‌دارها می‌توانند در بازه‌های زمانی منظمی دوباره برگردند، حساب کرد که دنباله‌دار سال ۱۶۸۲ بار دیگر در سال ۱۷۵۸ برمی‌گردد. (آن‌گونه که هالی حساب کرده بود، دنباله‌دار هالی روز کریسمس سال ۱۷۵۸ آسمان اروپا را درنوردید و از این رو شهرت نیوتون و هالی دو چندان شد.)

نظریه‌ی حرکت و گرانش نیوتون از بزرگترین دستاوردهای ذهن آدمی است و تنها اصلی است که قوانین شناخته‌شده‌ی حرکت را وحدت می‌بخشد. آلکساندر پوپ نوشت:

> طبیعت و قوانین طبیعت در تاریکی پنهان بودند:
> خداوند فرمود، بگذار نیوتون باشد!
> و روشنایی همه‌جا را فرا گرفت.

حتی امروزه قوانین نیوتون مهندسین ناسا را قادر می‌سازد تا کاوشگرهای