



فهرست مطالب

مقدمه ۱۱

پیشگفتار ۲۱

بخش اول

فلسفه ای آرامش بخش

فصل اول - اندازه گیری همه چیز ۲۵

فصل دوم - چیزی پوسیده در ویژه حالت دانمارک ۳۵

فصل سوم - زدو خورد خیابانی ۶۱

فصل چهارم - کپنهاگ در منهن ۸۳

بخش دوم

دگراندیشان کوانتوم

فصل پنجم - فیزیک در تبعید ۱۱۷

فصل ششم - از جهان دیگری آمد! ۱۵۱

فصل هفتم - عمیق ترین کشف علمی ۱۷۹

فصل هشتم - چیزهای بیشتری در آسمان و زمین وجود دارد ۲۰۵

بخش سوم

پروژه بزرگ

فصل نهم - واقعیت زیرزمینی ۲۴۱



- ۲۷۳ فصل دهم - بهارکوانتوم
- ۳۰۱ فصل یازدهم - کپنهاگ در برابر جهان هستی
- ۳۲۹ فصل دوازدهم - فرجام تکان دهنده
- ۳۵۵ پیوست: چهار دیدگاه درباره عجیب‌ترین آزمایش

SAYLAV PUB

مقدمه

اشیائی که ما در زندگی روزمره خود استفاده می‌کنیم ناتوانی آزردهنده‌ای دارند، اینکه یک باره در دو مکان ظاهر نمی‌شوند. مثلاً اگر کلیدهایتان را داخل جیب کتان قرار دهید، ممکن نیست که در جاکلیدی جلوی درب نیز دیده شوند. البته این عجیب نیست، چراکه این اشیاء توانایی یا خاصیت ناشناخته‌ای ندارند. بلکه کاملاً معمولی هستند. اما همین اشیاء عادی و پیش‌پافتاده از کهکشانی از ناشناخته‌ها تشکیل شده‌اند. کلیدهای خانه‌ی شما پیوندی موقتی از یک تریلیون تریلیون اتم هستند که هر یک، هزاران سال پیش در ستاره‌ای در حال مرگ شکل گرفته و در اولین روزهای پیدایش زمین روی آن افتاده‌اند. این اتم‌ها زیر نور خورشید جوان و به شدت درخشان حمام آفتاب گرفته‌اند و شاهد تمامی تاریخ حیات بر روی سیاره ما بوده‌اند. آن‌ها موجوداتی حماسی هستند.

اتم‌ها هم مثل بیشتر قهرمانان حماسی مشکلاتی دارند که ما انسان‌های عادی نداریم. ما مخلوقات اهل عادت هستیم و به شکل مالالت باری اصرار داریم که هر بار، فقط در یک موقعیت باشیم. اما اتم‌ها مستعد هوس‌بازی هستند. مثلاً فرض کنید در آزمایشگاهی، یک تک‌اتم در مسیری در حال پرسه زدن باشد و به یک دوراهی برخورد کند که در آن می‌تواند به چپ یا راست برود. اما اتم به جای انتخاب یک راه و ادامه آن - کاری که من و شما انجام می‌دهیم - با بحران دودلی در مورد کجا بودن و کجا نبودن دست‌به‌گریبان می‌شود. در نهایت، هملت نانومتری ما هر دو را انتخاب می‌کند. این‌طور نیست که اتم شکافته شود یا یک مسیر و بعد مسیر دیگر را انتخاب کند - بلکه بی‌اعتنا به قوانین منطق، هر دو مسیر را هم‌زمان طی می‌کند. قوانینی که برای من و شما و شاهزاده‌های دانمارکی کاربرد دارند، برای اتم‌ها کاربردی ندارند. آن‌ها در جهان متفاوتی زندگی می‌کنند که فیزیک متفاوتی بر آن حاکم است: جهان زیرمیکروسکوپی کوانتوم.

فیزیک کوانتوم، یعنی فیزیک اتم‌ها و دیگر اشیاء فوق‌العاده کوچک مانند مولکول‌ها و ذرات زیراتمی، موفق‌ترین نظریه در تمام گستره علم است. این نظریه

انواع حیرت‌انگیزی از پدیده‌ها را با دقتی خارق‌العاده پیش‌بینی می‌کند و تأثیر آن از موجودات بسیار کوچک فراتر رفته و به زندگی روزمره ما نیز وارد شده است. کشف فیزیک کوانتوم در اوایل قرن بیستم مستقیماً منجر به ساخت ترانزیستورهای سیلیکونی موجود در گوشی‌های تلفن و صفحات LED، قلب هسته‌ای بیشتر کاوشگرهای فضایی دوردست و لیزرهای موجود در بارکدخوان فروشگاه‌ها شده است. فیزیک کوانتوم توضیح می‌دهد که خورشید چرا می‌درخشد و چشم‌های شما چگونه می‌بینند. کل رشته شیمی، جدول تناوبی و غیره را نیز توضیح می‌دهد. حتی توضیح می‌دهد که چرا اشیاء مانند صندلی‌ای که روی آن نشسته‌اید یا استخوان‌ها و پوست شما جامد باقی می‌مانند. همه این‌ها به موجودات به شدت ریزی مربوط می‌شود که رفتارهای بسیار عجیبی از خود نشان می‌دهند.

اما در اینجا موضوعی آزاردهنده وجود دارد. فیزیک کوانتوم ظاهراً در مورد انسان‌ها یا هر چیزی در مقیاس انسانی کاربرد ندارد. جهان ما، جهان انسان‌ها و کلیدها و دیگر اشیاء معمولی است که هر بار تنها می‌توانند در یک مسیر حرکت کنند. اما همه اشیاء عادی در جهان پیرامون ما - از جمله شما، من و شاهزاده‌های دانمارکی - از اتم‌ها تشکیل شده‌اند. و این اتم‌ها قطعاً تابع قوانین فیزیک کوانتوم هستند. پس چطور فیزیک اتم‌ها این همه با فیزیک جهان ما، که آن هم از اتم‌ها تشکیل شده، متفاوت است؟ چرا فیزیک کوانتوم تنها فیزیک موجودات فوق‌العاده کوچک است؟

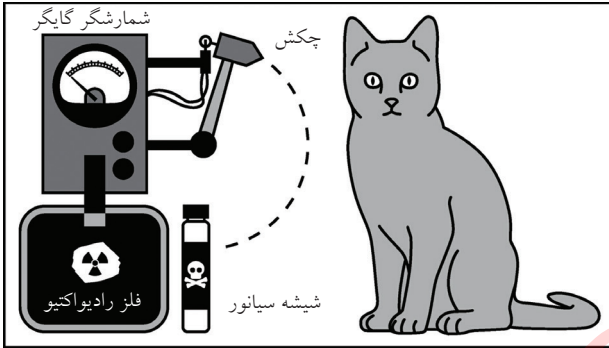
مشکل، عجیب و غریب بودن فیزیک کوانتوم نیست. جهان جایی وحشی و درهم است که در آن، امکان فراوانی برای چیزهای عجیب و غریب وجود دارد. اما بدون شک ما همه اثرات عجیب فیزیک کوانتوم را در زندگی روزمره خود نمی‌بینیم. چرا نمی‌بینیم؟ شاید واقعاً فیزیک کوانتوم فقط فیزیک چیزهای ریز است و برای اشیاء بزرگ صدق نمی‌کند - شاید مرزی وجود دارد که در خارج از آن، فیزیک کوانتوم دیگر مؤثر نیست. در این صورت، این رمز کجاست و چگونه اثر می‌کند؟ و اگر چنین مرزی وجود ندارد - اگر فیزیک کوانتوم واقعاً برای ما نیز درست مثل اتم‌ها و ذرات

زیراتمی صدق می‌کند- پس چرا تا این حد با تجربه ما از جهان تفاوت فاحشی دارد؟
چرا کلیدهای ما هیچ وقت هم زمان در دو جا ظاهر نمی‌شوند؟

هشتاد سال پیش، اروین شرودینگر یکی از بنیان‌گذاران فیزیک کوانتوم عمیقاً با این مسائل درگیر بود. او برای توضیح نگرانی خود به همکارانش، نوعی آزمایش فکری ابداع کرد که حالا به گربه شرودینگر (شکل ۱) مشهور شده است. فرض شرودینگر این بود که گربه‌ای را به همراه یک بطری شیشه‌ای کاملاً بسته حاوی سیانور داخل جعبه‌ای قرار می‌دهیم و یک چکش کوچک نیز بالای بطری شیشه‌ای آویزان می‌کنیم. چکش به یک شمارشگر گایگر^۲ متصل است که پرتوهای رادیواکتیو را تشخیص می‌دهد و شمارشگر نیز روی توده‌ای کوچک از یک فلز رادیواکتیو ضعیف تنظیم شده است. این ماشین روب گلدبرگ^۳ در لحظه‌ای که فلز پرتو ساطع کند، شروع به کار خواهد کرد. در این حالت، شمارشگر گایگر تابش را ثبت می‌کند و این باعث آزاد شدن چکش، برخورد آن به بطری شیشه‌ای و مرگ گربه خواهد شد. «البته شرودینگر قصد نداشت این آزمایش را واقعاً انجام دهد و جامعه‌ی پیشگیری از حیوان‌آزاری می‌تواند از این بابت آسوده خاطر باشد». پیشنهاد شرودینگر این بود که گربه برای بازه زمانی خاصی داخل جعبه رها شده و سپس برای پی بردن به سرنوشت آن، جعبه باز شود.

.....
1. Erwin Schrödinger

۲. شمارشگر گایگر ابزاری برای تشخیص ذرات باردار و سنجش آلودگی‌های رادیواکتیو در محیط است. این ابزار در فیزیک آزمایشگاهی، دزیمتری تابش و صنعت هسته‌ای استفاده می‌شود. مترجم
۳. ماشین روب گلدبرگ، که به نام روب گلدبرگ کارتون نیست آمریکایی مخترع آن نامگذاری شده، ماشینی است که عمداً برای انجام کاری ساده، به روشی غیر مستقیم و بیش از حد پیچیده طراحی شده است. طراحی چنین ماشینی اغلب روی کاغذ انجام می‌شود و اجرای آن در واقعیت غیر ممکن است. امروزه این اصطلاح در مورد هر گونه سیستم فوق‌العاده پیچیده، اما غیر عملی به کار می‌رود. مترجم



شکل ۱. گربه شرودینگر. وقتی فلز تابش می‌کند، شمارشگر گایگر آن را ثبت کرده و چکش را می‌اندازد که باعث آزاد شدن سیانور و مرگ گربه می‌شود.

تابش ساطع شده از توده فلزی از ذرات زیراتمی تشکیل شده که از اتم‌های فلز جدا شده و با سرعت بالا به پرواز درمی‌آیند. این ذرات نیز مانند همه چیزهای کاملاً ریز دیگر از قوانین فیزیک کوانتوم پیروی می‌کنند. اما ذرات زیراتمی داخل فلز، به جای خواندن شکسپیر به آهنگ کلش گوش می‌کنند؛ یعنی در هر لحظه خاص، نمی‌دانند بروند یا بمانند. پس هر دو کار را انجام می‌دهند. یعنی در مدتی که جعبه بسته است، توده فلز رادیواکتیو هم تابش ساطع خواهد کرد و هم نخواهد کرد.

به واسطه این ذرات طرفدار سبک پانک راک، شمارشگر گایگر تابش‌ها را ثبت خواهد کرد و نخواهد کرد و این یعنی چکش با بطری سیانور برخورد خواهد کرد و نخواهد کرد- پس گربه هم مرده و هم زنده خواهد بود. شرودینگر اشاره می‌کند که این، مسئله‌ای جدی است. شاید یک اتم بتواند به یک باره در دو مسیر حرکت کند، اما یک گربه قطعاً نمی‌تواند هم مرده و هم زنده باشد. وقتی جعبه را باز می‌کنیم، گربه یا مرده و یا زنده خواهد بود و منطقی این است که پیش از باز کردن جعبه، در یکی از این دو وضعیت بوده باشد.

اما بسیاری از هم‌دوره‌ای‌های شرودینگر، با حمله به او دقیقاً این موضوع را انکار کردند. برخی مدعی بودند که تا لحظه‌ای که در جعبه باز شود، گربه در حالتی بین

مرگ و زندگی است و وقتی برای نگاه کردن داخل جعبه در آن باز می‌شود، به نوعی ادا خواهد شد در حالت «زنده» یا «مرده» قرار گیرد. برخی دیگر معتقد بودند که صحبت از آنچه داخل جعبه رخ داده، پیش از باز کردن آن، بی‌معنی است، چون درون جعبه‌ی باز نشده طبیعتاً مشاهده‌ناپذیر است و تنها چیزهای مشاهده‌پذیر و قابل اندازه‌گیری معنا دار هستند. از نظر آن‌ها، نگرانی در مورد چیزهای مشاهده‌ناپذیر بیهوده بود، مثل اینکه بپرسیم آیا افتادن یک درخت در جنگلی که هیچ‌کس در آن نیست تا چیزی بشنود، صدایی تولید می‌کند یا نه.

نگرانی شرودینگر در مورد گربه‌اش با این استدلال‌ها فروکش نکرد. او معتقد بود که همکارانش موضوع را متوجه نشده‌اند؛ اینکه فیزیک کوانتوم فاقد یک مؤلفه مهم است، یک داستان که بتواند چگونگی هماهنگ شدن آن با اتفاقات این جهان را توضیح دهد. چگونه تعداد بی‌شماری از اتم‌ها که از قوانین فیزیک کوانتوم تبعیت می‌کنند، جهانی که ما پیرامون خود می‌بینیم را به وجود آورده‌اند؟ در بنیادی‌ترین سطح، چه چیزی واقعی است و کارکرد آن چگونه است؟ اما رقبای شرودینگر در این مبارزه برنده شدند و نگرانی‌های وی در مورد آنچه که واقعاً در جهان کوانتوم اتفاق می‌افتد، مردود شناخته شد. البته بقیه حوزه‌های فیزیک به پیشرفت خود ادامه دادند.

شرودینگر در اقلیت بود، اما تنها نبود. آلبرت اینشتین^۱ هم می‌خواست آنچه که واقعاً در جهان کوانتوم رخ می‌دهد را بداند. او درباره ماهیت فیزیک کوانتوم و واقعیت با نیلز بور^۲، فیزیکدان برجسته دانمارکی بحث و مناظره داشت. مناظره‌های اینشتین و بور وارد حوزه خود فیزیک شد و نتیجه‌گیری معمول این است که بور برنده بود؛ اینکه او نشان داد نگرانی شرودینگر و اینشتین بی‌پایه و اساس است و فیزیک کوانتوم مشکلی با واقعیت ندارد، چون اصلاً نیازی نیست به واقعیت فکر کنیم.

اما مسلماً فیزیک کوانتوم در مورد آنچه در جهان ما واقعی است، چیزهایی برای

1. Albert Einstein

2. Niels Bohr

گفتن دارد. در غیر این صورت، اصلاً چرا نتیجه بخش است؟ اگر هیچ ارتباطی با هیچ چیز واقعی در جهان نداشته باشد، توجیه موفقیت چشمگیر آن بسیار دشوار خواهد بود. حتی اگر این نظریه صرفاً یک مدل باشد، قطعاً چیزی را مدل سازی کرده و این کار را در حد قابل قبولی خوب انجام داده است. باید چیزی وجود داشته باشد که رخ دادن پیش بینی های فیزیک کوانتوم را، آن هم با دقتی خارق العاده، تضمین می کند.

اما پی بردن به آنچه فیزیک کوانتوم درباره جهان می گوید، سخت و دشوار بوده است. این دشواری تا حدی به خاطر عجیب و غریب بودن بسیار زیاد این نظریه است. چیزی که در جهان کوانتوم می گذرد، هر چه باشد اصلاً آشنا نیست. ماهیت ظاهراً متناقض اشیاء کوانتومی - اتم هایی که هم زمان هم اینجا و هم آنجا هستند، تابشی که هم ساطع شده و هم در منبع خود نهفته باقی مانده - تنها جنبه ناآشنای این نظریه نیست. ارتباطات آنی و از راه دور نیز بین اشیاء وجود دارد که گرچه برای ارتباطات مستقیم مبهم و بی فایده به نظر می رسد، اما به طور حیرت آوری برای رایانش و رمزنگاری مفید است. به علاوه، به نظر می رسد که هیچ محدودیتی در مورد اندازه اشیائی که از فیزیک کوانتوم تبعیت می کنند، وجود ندارد. دستگاه های ابتکاری ساخت فیزیکدان های تجربی، اشیاء بزرگ تر و بزرگ تری را به کار می اندازند و تقریباً به صورت ماهیانه پدیده های عجیب کوانتومی را به نمایش می گذارند. همین، جدیت این مسئله را که هیچ پدیده کوانتومی در زندگی روزمره ما دیده نمی شود، بیشتر می کند. این پدیده ها تنها چالش بر سر راه رمزگشایی از پیام فیزیک کوانتوم نیستند. به رغم این واقعیت که همه فیزیکدان ها درباره کارکرد مؤثر فیزیک کوانتوم توافق دارند، اما در نود سال گذشته و از زمان شکل گیری این نظریه، بحث تلخی پیرامون معنای آن در گرفته است. دیدگاه اکثریت فیزیکدان ها و ظاهراً بور این بود که پیوسته، حتی شرایط خود بحث را انکار می کردند. این فیزیکدان ها مدعی هستند که با وجود موفقیت خارق العاده نظریه کوانتوم، اساساً طرح این پرسش که در این قلمرو چه می گذرد نامناسب یا غیر علمی است. از نظر آن ها، این نظریه نیاز به تفسیر ندارد، زیرا چیزهایی که توصیف می کند کاملاً واقعی نیستند. در واقع، عجیب بودن پدیده های

کوانتومی منجر به این شده که برخی فیزیکدان‌های برجسته معتقد باشند که مطلقاً گزینه دیگری وجود ندارد، اینکه فیزیک کوانتوم ثابت می‌کند که اشیاء کوچک همانند اشیائی که ما در زندگی روزمره خود می‌بینیم، به شکل هدفمند و واقعی وجود ندارند. از این رو آن‌ها ادعا می‌کنند که صحبت از واقعیت در فیزیک کوانتوم ناممکن است. هیچ داستانی از جهان وجود ندارد که با این نظریه همخوانی داشته باشد و نمی‌تواند وجود داشته باشد.

محبوبیت این رویکرد نسبت به فیزیک کوانتوم شگفت‌آور است. علم فیزیک به جهان اطراف ما می‌پردازد. هدف آن نیز درک عناصر بنیادین هستی و چگونگی رفتار و عملکرد آن‌هاست. بسیاری از فیزیکدان‌ها با تمایل به شناخت اساسی‌ترین ویژگی‌های طبیعت وارد این رشته می‌شوند تا بتوانند چگونگی کنار هم قرار گرفتن قطعات این جورچین را ببینند. اما وقتی صحبت از فیزیک کوانتوم می‌شود، اکثر فیزیکدان‌ها کاملاً تمایل دارند این جستجو را رها کرده و در عوض آن، به بیان فیزیکدانی به نام دیوید مرمین^۱، صرفاً «ساکت شده و محاسبه کنند».

شگفت‌آورتر اینکه غیرمؤثر بودن این دیدگاه اکثریت، بارها ثابت شده است. به‌رغم محبوبیتی که این دیدگاه در بین فیزیکدان‌ها داشته، اینشتین در مناظره‌های خود با بور به وضوح بهتر ظاهر شده و به شکل متقاعدکننده‌ای نشان داده که مسائل عمیقی در دل فیزیک کوانتوم وجود دارد که باید پاسخ داده شوند. نادیده گرفتن پرسش‌ها در مورد واقعیت و «غیرعلمی» خواندن آن‌ها، کاری که برخی رقبای شرودینگر انجام می‌دادند، دیدگاهی توجیه‌ناپذیر و مبتنی بر فلسفه‌ای منسوخ است. و تعدادی از مخالفان دیدگاه اکثریت، رویکردهای جایگزینی نسبت به فیزیک کوانتوم ابداع کرده‌اند که آنچه در جهان می‌گذرد را، بدون قربانی کردن کمترین دقت این نظریه، به وضوح توضیح می‌دهند.

وجود این جایگزین‌های عملی، نادرست بودن این ایده را که ما در فیزیک کوانتوم ناچاریم از واقعیت صرف‌نظر کنیم، ثابت می‌کند. با این حال، هنوز بیشتر فیزیکدان‌ها شکلی از این ایده را تأیید می‌کنند. هنوز آن را در کلاس‌های درس

.....
1. David Mermin

آموزش می‌دهند و هنوز آنچه که معمولاً برای عموم تصویر می‌شود همین است. حتی وقتی جایگزین‌ها مورد اشاره قرار می‌گیرند، تنها به عنوان جایگزین پیش فرض اصلی در نظر گرفته می‌شوند، فارغ از این واقعیت که پیش فرض اصلی به کلی غیرعملی است. بنابراین، تقریباً صد سال پس از اینکه نظریه کوانتوم برای اولین بار شکل گرفت - پس از اینکه جهان و زندگی تک تک انسان‌های موجود در آن را، خوب یا بد، به طور کامل تغییر داد - ما هنوز نمی‌دانیم که این نظریه درباره ماهیت واقعیت چه می‌گوید. این داستان کاملاً عجیب، موضوع کتاب حاضر است.

اوضاع حیرت‌انگیزی است و به ندرت کسی خارج از حوزه فیزیک از آن اطلاع دارد. اما چرا باید برای دیگران اهمیت داشته باشد؟ به هر حال، فیزیک کوانتوم قطعاً نتیجه بخش است. اصلاً چرا باید برای فیزیکدان‌ها مهم باشد؟ محاسبات ریاضی آن‌ها پیش‌بینی‌های دقیقی به دست می‌دهند، همین کافی نیست؟ مسئله این است که علم چیزی بیش از محاسبات ریاضی و پیش‌بینی است - چراکه می‌خواهد تصویری از نحوه کارکرد طبیعت ساخته و ارائه دهد. و این تصویر، این داستان جهان، علاوه بر روال روزمره علم، بر شکل‌گیری نظریات علمی آینده نیز تأثیرگذار است، چه رسد به جهان گسترده‌تر فعالیت‌های خارج از حوزه علم بشر. برای هر مجموعه معادله مفروض، می‌توان داستان‌های بی‌شماری درباره معنای این معادلات بیان کرد. با انتخاب یک داستان خوب و سپس جستجوی ایرادات و نقاط ضعف موجود در آن، علم پیشرفت می‌کند. داستان‌هایی که توسط بهترین نظریه‌های علمی روایت می‌شوند، تعیین‌کننده آزمایش‌هایی هستند که دانشمندان تصمیم به انجام آن‌ها می‌گیرند و بر نحوه تفسیر نتایج این آزمایش‌ها نیز تأثیرگذارند. به قول اینشتین، «این نظریه است که تعیین می‌کند ما چه چیزی را مشاهده کنیم». تاریخ علم بارها و بارها این موضوع را تأیید کرده است. گالیله تلسکوپ را اختراع نکرد، اما او اولین کسی بود که نمونه خوبی از آن را برای رصد مشتری به کار برد، زیرا معتقد بود که مشتری مانند زمین سیاره است و به دور خورشید می‌گردد. بعد از آن، از

تلسکوپ‌ها مرتباً برای مشاهده همه چیز از ستاره‌های دنباله‌دار گرفته تا سحابی‌ها و خوشه‌های ستاره‌ای استفاده شد. اما هیچ‌کس به خود زحمت نداد با استفاده از یک تلسکوپ به این موضوع پی ببرد که آیا در زمان خورشیدگرفتگی، نیروی گرانش خورشید باعث خمیده شدن نور ستاره‌ها می‌شود یا خیر- تا وقتی که نظریه نسبیت عام اینشتین، بیش از سه قرن پس از کشف گالیله چنین اثری را پیش‌بینی کرد. خود روال علم به مجموع محتوای بهترین نظریه‌های علمی ما وابسته است؛ نه فقط ریاضیات، بلکه داستانی که همراه با این ریاضیات درباره جهان گفته می‌شود. این داستان بخشی مهم و اساسی از علم را تشکیل می‌دهد، به طوری که فراتر رفتن از دانش موجود و کشف نظریه بعدی، به آن بستگی خواهد داشت.

همچنین این داستان، فراتر از مرزهای علم نیز حائز اهمیت است. داستان‌هایی که علم در مورد جهان می‌گوید، با عبور از فیلترهایی وارد فرهنگ شده و نحوه نگرش ما نسبت به جهان اطرافمان و جایگاهمان در آن را تغییر می‌دهند. کشف اینکه زمین در مرکز هستی قرار نگرفته، نظریه تکامل داروین، نظریه بیگ‌بنگ و جهان در حال انبساط که تقریباً ۱۴ میلیارد سال از عمر آن می‌گذرد، حاوی صدها میلیارد کهکشان است و هریک از کهکشان‌ها صدها میلیارد ستاره را در خود جای داده‌اند- همه این نظریات، برداشت بشر از خود را به شکل بنیادین تغییر داده‌اند.

فیزیک کوانتوم کارکرد درستی دارد، اما چشم‌پوشی از آنچه درباره واقعیت به ما می‌گوید به این معناست که بریک نقص در شناخت خود از جهان سرپوش بگذاریم و در سطحی بزرگ‌تر، داستان علم به عنوان یک فرآیند بشری را نادیده بگیریم. به خصوص، داستان ناکامی‌ها؛ ناکامی فکر کردن فرارشته‌ای، ناکامی جدا کردن فعالیت‌های علمی از نفوذ فسادآور پول‌های کلان و قراردادهای نظامی و ناکامی زندگی مطابق با ایده‌آل‌های علمی. و این ناکامی برای همه ساکنان متفکر جهان ما اهمیت دارد، جهانی که هر گوشه آن به واسطه علم تغییر شکل داده است. این داستان علم به عنوان تلاشی بشری است- داستانی که نه تنها به چگونگی کارکرد طبیعت، بلکه به چگونگی کارکرد انسان‌ها نیز می‌پردازد.



SAYLAV PUB

انجام غیرممکن‌ها

جان بل^۱ اولین بار وقتی دانشجوی دانشگاهی در بلفاست بود با ریاضیات فیزیک کوانتوم مواجه شد و اصلاً از چیزی که یافته بود خوشحال و راضی به نظر نمی‌رسید. از نظر بل، فیزیک کوانتوم نوعی آشفتگی مبهم بود. او می‌گوید، «در نادرست بودن آن تردید داشتم، اما می‌دانستم که ناخوشایند است».

نیلز بور پدرخوانده فیزیک کوانتوم از اختلاف بین جهان اشیاء بزرگ - جایی که فیزیک کلاسیک نیوتنی در آن حکم‌فرمایی می‌کرد - و اشیاء کوچک - که قلمرو فرمانروایی فیزیک کوانتوم بود - صحبت می‌کرد. اما اظهارات بور درباره مکان مرز بین این جهان‌ها به شکل دیوانه‌کننده‌ای ابهام داشت. ورنر هایزنبرگ^۲ به عنوان اولین کسی که شکل کامل محاسبات ریاضی فیزیک کوانتوم را کشف کرد نیز بهتر از او نبود. رویکرد بور و هایزنبرگ نسبت به فیزیک کوانتوم - که نام خاستگاه مؤسسه مشهور بور را به خود گرفته و به عنوان «تفسیر کپنهاگی» شناخته می‌شود - غرق در همان ابهامی بود که بل در کلاس‌های فیزیک کوانتوم خود یافته بود.

مدت کوتاهی پیش از آنکه بل در سال ۱۹۴۹ از دانشگاه فارغ‌التحصیل شود، به کتابی از ماکس بورن^۳، یکی دیگر از معماران فیزیک کوانتوم برخورد کرد. کتاب بورن با عنوان «فلسفه طبیعی علت و شانس» بل را به شدت تحت تأثیر قرارداد، به خصوص در بحث اثباتی که از ریاضیدان و فیزیکدان بزرگی به نام جان فون نویمان^۴ مطرح کرده بود. به نوشته‌ی بورن، نویمان ثابت کرده بود که تفسیر کپنهاگی تنها راه ممکن برای شناخت فیزیک کوانتوم است. بنابراین یا تفسیر کپنهاگی درست بود یا فیزیک کوانتوم اشتباه. و با توجه به موفقیت چشمگیر فیزیک کوانتوم، به نظر می‌رسید که تفسیر کپنهاگی و ابهام آن همچنان پابرجاست.

1. John Stewart Bell

2. Werner Heisenberg

3. Max Born

4. John von Neumann



بل نمی‌توانست نسخه اصلی اثبات نویمان را مطالعه کند، زیرا تنها به زبان آلمانی منتشر شده بود که بل چیزی از آن نمی‌دانست. اما او بعد از خواندن توصیفی که بورن از این اثبات آورده بود، به کارهایی عملی‌تر از نگرانی‌هایش درباره تفسیر کپنهاگی پرداخت. او با ورود به برنامه انرژی هسته‌ای بریتانیا، در این پروژه همکاری کرد و تردیدهایش درباره فیزیک کوانتوم را کنار گذاشت. اما در سال ۱۹۵۲، انجام غیرممکن‌ها را دید. مقاله جدیدی منتشر شده بود که حس بی‌خیالی زودگذر وی در مورد مشکلات تفسیر کپنهاگی را در هم پاشید.

فیزیکدانی به نام دیوید بوهم^۱، راه دیگری برخلاف اثبات فون نویمان برای شناخت فیزیک کوانتوم پیدا کرده بود. چطور؟ اشتباه فون نویمان توانمند کجا بود و چرا هیچ کس دیگری قبل از بوهم به آن پی نبرده بود؟ بل بدون خواندن اثبات فون نویمان نمی‌توانست پاسخی برای این پرسش‌ها داشته باشد. و سه سال بعد که کتاب فون نویمان به زبان انگلیسی منتشر شد، زندگی بل تغییر کرده بود؛ او ازدواج کرده و برای گرفتن مدرک دکترای فیزیک کوانتوم به بیرمنگام رفته بود. او می‌گوید: «اما مقاله بوهم هرگز به‌طور کامل از ذهنم دور نمی‌شد. همیشه می‌دانستم که این مقاله انتظار من را می‌کشد». بیش از یک دهه بعد، سرانجام بل به آن مراجعه کرد و عمیق‌ترین کشفی را که بعد از اینشتین درباره ماهیت واقعیت به وقوع پیوسته بود، انجام داد.

.....
1. David Bohm



بخش اول فلسفه ای آرامش بخش

مردم تلون آموخته‌اند که عمل شمارش، مقدار شمارش شده را تعدیل کرده و نامحدودها را به محدود تبدیل می‌کند. این واقعیت که شمارش کمیته یکسان توسط چند نفر به نتیجه ای یکسان می‌انجامد، از نظر روان‌شناسان تلون نمونه ای از تداعی اندیشه‌ها یا یادسپاری است.

- خورخه لوئیس بورخس، «تلون، اوکبر، اوربوس ترتیوس»

این عیاشی غرق در معرفت‌شناسی باید به پایان برسد.

- آلبرت اینشتین، نامه به اروین شرودینگر، ۱۹۳۵



SAYLAV PUB

فصل اول

اندازه گیری همه چیز

در ربع اول قرن بیستم، دو نظریه بزرگ جهان را به لرزه درآوردند. دو نظریه‌ای که بقایای آنچه قبلاً به عنوان فیزیک مطرح شده بود را در هم پاشیده و شناخت ما از واقعیت را برای همیشه تغییر دادند. یکی از آن‌ها نسبت بود که به شیوه‌ای کاملاً علمی تخیلی توسط نابغه‌ای تنها و در انزوای کامل شکل گرفت؛ کسی که دانشگاه را ترک کرده بود، اما پیروز و با در دست داشتن حقیقت محض بازگشت و البته او کسی نبود جز آلبرت اینشتین.

نظریه دیگر، فیزیک کوانتوم بود که تولدی سخت‌تر داشت. این نظریه اقدامی مشارکتی بود که ده‌ها فیزیکدان در یک بازه زمانی تقریباً سی‌ساله در آن همکاری داشتند. اینشتین هم در میان آن‌ها بود، اما رهبرشان محسوب نمی‌شد. نزدیک‌ترین شخص به این مفهوم، در این گروه بی‌سازمان و بی‌قانون متشکل از دانشمندان انقلابی، نیلز بور فیزیکدان بزرگ دانمارکی بود. مؤسسه فیزیک نظری بور در کپنهاگ، کعبه آمال فیزیک کوانتوم در مراحل اولیه شکل‌گیری آن بود و تا پنجاه سال، تقریباً همه نام‌های بزرگ این رشته، در مقطعی در آن مشغول مطالعه بودند. فیزیکدان‌هایی که در این مؤسسه کار می‌کردند تقریباً در تمام حوزه‌های علم کشفیات عمیقی داشتند؛ آن‌ها اولین نظریه معتبر فیزیک کوانتوم را بنیان گذاشتند، منطقی اصلی جدول تناوبی عناصر را کشف کردند و از قدرت رادیواکتیویته برای نشان دادن کارکرد اساسی سلول‌های زنده استفاده کردند. و بور همراه با گروهی از مستعدترین

دانشجویان و همکارانش - از جمله ورنر هایزنبرگ، ولفگانگ پاولی^۱، ماکس بورن، پاسکوال جردن^۲ و دیگران - «تفسیر کپنهاگی» را که به سرعت به تفسیر استاندارد ریاضیات فیزیک کوانتوم تبدیل شد، شکل داده و از آن دفاع کردند. اما فیزیک کوانتوم چه چیزی درباره جهان به ما می‌گوید؟ بر اساس تفسیر کپنهاگی، این سؤال پاسخی بسیار ساده دارد: فیزیک کوانتوم هیچ چیزی درباره جهان به ما نمی‌گوید.

تفسیر کپنهاگی به جای اینکه داستانی درباره جهان کوانتومی که اتم‌ها و ذرات زیراتمی ساکنان آن را تشکیل می‌دهند به ما بگوید، فیزیک کوانتوم را صرفاً ابزاری برای محاسبه احتمالات انواع نتایج آزمایش‌ها می‌داند. به گفته‌ی بور، هیچ داستانی درباره جهان کوانتومی وجود ندارد، چون هیچ جهان کوانتومی‌ای وجود ندارد. تنها توصیفی انتزاعی از فیزیک کوانتوم وجود دارد. این توصیف به ما اجازه نمی‌دهد که کاری بیش از پیش‌بینی احتمال رویدادهای کوانتومی انجام دهیم، چون اشیاء کوانتومی مانند جهان روزمره پیرامون ما وجود خارجی ندارند. به بیان هایزنبرگ، «ایده جهانی واقعی و عینی که کوچک‌ترین اجزای آن، صرف‌نظر از اینکه ما آن‌ها را مشاهده کنیم یا نه، مثل سنگ‌ها یا درختان وجود عینی و واقعی داشته باشند غیرممکن است». اما نتایج آزمایش‌ها کاملاً واقعی است، چون ما آن‌ها را در فرآیند اندازه‌گیری خلق می‌کنیم. جردن می‌گوید، وقتی مکان یک ذره زیراتمی مانند یک الکترون را اندازه می‌گیریم، «الکترون وادار می‌شود تصمیم بگیرد. ما آن را وادار می‌کنیم تا موقعیتی معین داشته باشد؛ درحالی‌که قبلاً، به‌طورکلی نه اینجا بوده و نه آنجا. ما خودمان نتایج اندازه‌گیری را تولید می‌کنیم».

اظهاراتی مثل این‌ها برای آلبرت اینشتین خنده‌دار و مسخره بود. او در نامه‌ای به یک دوست نوشته بود، «این نظریه کمی من را به یاد توهومات یک بیمار پارانوئید بیش‌ازحد باهوش می‌اندازد». با وجودی که اینشتین نقش مهمی در توسعه فیزیک کوانتوم ایفا کرد، اما نمی‌توانست تفسیر کپنهاگی را تحمل کند. او این تفسیر را «فلسفه یا دین آرامش‌بخش» نامیده بود که گرچه «بالش نرمی برای باورمندان واقعی»

1. Wolfgang Pauli

2. Pascual Jordan

فراهم می‌کند، اما «تأثیر بسیار کمی روی من دارد». اینشتین خواستار تفسیری از فیزیک کوانتوم بود که داستانی منسجم درباره جهان ارائه دهد، داستانی که حتی وقتی اندازه‌گیری در کار نیست، امکان پاسخ به سؤالات را فراهم کند. او از اینکه تفسیر کپنهاگی از پاسخ به چنین سؤالاتی خودداری می‌کرد خشمگین بود و آن را نوعی «عیاشی غرق در معرفت‌شناسی» می‌دانست.

اما درخواست‌های اینشتین برای ارائه نظریه‌ای کامل‌تر نادیده گرفته شد، تا حدودی به این دلیل که جان فون نویمان اثبات کرده بود که ارائه چنین نظریه‌ای غیرممکن است. فون نویمان احتمالاً بزرگ‌ترین نابغه ریاضی بود که در آن زمان زندگی می‌کرد. او که در سن هشت سالگی حسابان را به تنهایی فرا گرفته و اولین مقاله‌اش در زمینه‌ی ریاضیات پیشرفته را در نوزده سالگی منتشر کرده بود، در بیست و دو سالگی مدرک دکترا دریافت کرد. فون نویمان در ساخت بمب اتم نقشی مهم و حیاتی داشت و یکی از بنیان‌گذاران علوم رایانه بود. او به هفت زبان نیز تسلط داشت. همکارانش در پرینستون - ظاهراً به شوخی - می‌گفتند فون نویمان می‌توانست همه چیز را اثبات کند و هر چیزی که اثبات می‌کرد درست بود.

فون نویمان اثبات خود را به‌عنوان بخشی از کتاب درسی‌اش در زمینه‌ی فیزیک کوانتوم در سال ۱۹۳۲ منتشر کرد. شواهدی وجود ندارد که اینشتین حتی از اثبات وی باخبر بوده باشد، اما بسیاری از فیزیکدان‌های دیگر باخبر بودند و از نظر آن‌ها، صرفاً این ایده که فون نویمان توانمند اثباتی در این زمینه انجام داده، برای فروشنان بحث‌ها کفایت می‌کرد. پاول فایرابند^۱ فیلسوفی بود که بعد از شرکت در یک سخنرانی عمومی که توسط بور ایراد می‌شد، به‌صورت دست‌اول با این اثبات روبرو شد. او می‌گوید: «در پایان سخنرانی، بور محل را ترک کرد و بحث بدون او دنبال شد. برخی سخنرانان استدلال‌های کیفی او را مورد حمله قرار دادند؛ به نظر می‌رسید راه‌های گریز زیادی وجود دارد. طرفداران بور استدلال‌ها را شفاف‌سازی نکردند؛ بلکه تنها به اثبات ادعای فون نویمان اشاره کردند و همین برای حل مسئله

1. Paul Feyerabend

کافی بود... انگار جادو شده باشد، صرف نام «فون نویمان» و صرف کلمه «اثبات» مخالفان را ساکت کرد».

دست‌کم یک نفر وجود داشت که مدت کوتاهی پس از انتشار اثبات فون نویمان، متوجه یک اشتباه در آن شد. گرت هیرمان^۱ ریاضیدان و فیلسوف آلمانی در سال ۱۹۳۵ با انتشار مقاله‌ای به اثبات فون نویمان تاخت. هرمان اشاره کرده بود که فون نویمان در توجیه یک مرحله مهم ناموفق بوده و از این رو، کل اثبات وی ایراد دارد. اما هیچ کس به او توجهی نکرد، تا حدی به خاطر بیگانگی بودنش در جامعه فیزیک و تا حدی نیز به خاطر زن بودنش.

با وجود نقص در اثبات فون نویمان، تفسیر کپنهاگی کاملاً تفسیر غالب بود. اینشتین به عنوان پیرمردی ترسیم می‌شد که از دانش روز دنیا عقب است و زیر سؤال بردن تفسیر کپنهاگی به منزله زیر سؤال بردن موفقیت عظیم خود فیزیک کوانتوم بود. به این ترتیب، فیزیک کوانتوم بیست سال بعد نیز با موفقیت‌های پیاپی به کار خود ادامه داد، بدون اینکه سؤالات بیشتری درباره حفره‌ای که در قلب آن وجود داشت پرسیده شود.

چرا فیزیک کوانتوم به تفسیر نیاز دارد؟ چرا به سادگی به ما نمی‌گوید که جهان چگونه جایی است؟ چرا اصلاً بین اینشتین و بور بحث در گرفت؟ مطمئناً اینشتین و بور درباره کارکرد مؤثر فیزیک کوانتوم در توافق بودند. اگر هر دوی آن‌ها به نظریه کوانتوم باور داشتند، پس چگونه می‌توانستند درباره آنچه این نظریه می‌گفت دچار اختلاف شوند؟

فیزیک کوانتوم به تفسیر نیاز دارد، چون مستقیماً روشن نیست که این نظریه درباره جهان چه می‌گوید. ریاضیات فیزیک کوانتوم ناآشنا و پیچیده است و دیدن ارتباط بین این ریاضیات و جهانی که ما در آن زندگی می‌کنیم دشوار به نظر می‌رسد. این با نظریه فیزیک آیزاک نیوتن^۲ که فیزیک کوانتوم جایگزین آن شده تفاوت شدیدی

-
1. Grete Hermann
 2. Isaac Newton

دارد. فیزیک نیوتنی جهان آشنا و ساده‌ای را با سه بعد به تصویر می‌کشد؛ جهانی مملو از اشیاء جامدی که در خط مستقیم به حرکت خود ادامه می‌دهند تا زمانی که چیزی پس از برخورد، آن‌ها را از مسیر خود خارج کند. ریاضیات فیزیک نیوتنی مکان هر شیء را با استفاده از مجموعه‌ای متشکل از سه عدد مشخص می‌کند که هر کدام معرف یک بعد بوده و به‌عنوان بردار شناخته می‌شوند. اگر من روی یک نردبان و در فاصله دو متر از زمین ایستاده باشم و این نردبان با فاصله سه متری در جلوی شما باشد، آنگاه می‌توانم مکان خودم را به صورت (صفر، سه، دو) توصیف کنم. عدد صفر به این معناست که من به چپ یا راست خود نرفته‌ام، عدد سه به این معناست که سه متر تا جلوی شما فاصله دارم و عدد دو به معنای آن است که دو متر بالاتر از شما هستم. این نسبتاً روشن و ساده است - هیچ کس عمیقاً نگران چگونگی تفسیر فیزیک نیوتنی نمی‌شود.

اما فیزیک کوانتوم به‌طور قابل‌توجهی عجیب‌تر از فیزیک نیوتنی است و ریاضیات عجیب‌تری نیز دارد. اگر بخواهید مکان یک الکترون را بدانید، به چیزی بیش از سه عدد نیاز دارید - در این صورت باید بی‌شمار عدد داشته باشید. فیزیک کوانتوم از مجموعه‌ای از بی‌شمار عدد موسوم به توابع موج برای توصیف جهان استفاده می‌کند. این اعداد به مکان‌های مختلف نسبت داده می‌شوند؛ یک عدد برای هر نقطه در فضا. اگر برنامه‌ای در گوشی خود داشته باشید که تابع موج یک الکترون را اندازه بگیرد، صفحه گوشی تنها یک عدد را نمایش خواهد داد، عددی که به نقطه‌ای که گوشی شما قرار دارد نسبت داده می‌شود. ممکن است برنامه‌ی تابع موج - سنج، جایی که الان نشسته‌اید را با عدد ۵ نمایش دهد. اگر نیمی از خیابان را طی کنید، مثلاً عدد ۰٫۰۲ را نشان خواهد داد. تابع موج در ساده‌ترین حالت خود به این صورت است: مجموعه‌ای از اعداد که در جاهای مختلف ثابت هستند.

در فیزیک کوانتوم هر چیزی تابع موج خود را دارد. این کتاب، صندلی‌ای که روی آن نشسته‌اید و حتی خود شما. این در مورد اتم‌هایی که در هوای اطراف شما وجود دارند و الکترون‌ها و دیگر ذرات داخل این اتم‌ها هم صدق می‌کند. تابع موج

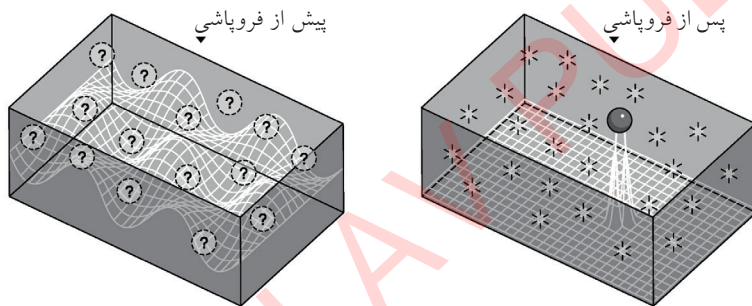
یک شیء رفتار آن را تعیین می‌کند و رفتار تابع موج شیء نیز به نوبه خود با معادله شرودینگر تعیین می‌شود؛ معادله اصلی فیزیک کوانتوم که در سال ۱۹۲۵ توسط اروین شرودینگر فیزیکدان اتریشی کشف شد. معادله شرودینگر اطمینان می‌دهد که توابع موج همواره به نرمی و ملایمت تغییر می‌کنند- مثلاً هرگز این طور نیست که عددی که تابع موج به یک مکان خاص نسبت می‌دهد فوراً از ۵ به ۵۰۰ جهش کند. برعکس، جریان اعداد کاملاً قابل پیش‌بینی است: مثلاً ۵٫۱، ۵٫۲، ۵٫۳ و به همین ترتیب. اعداد تابع موج می‌توانند- همان طور که از نام آن پیداست- مثل موج بارها بالا و پایین بروند، اما بازم مثل امواج همیشه به نرمی موج می‌زنند و هرگز تکان‌های بیش‌ازحد شدید و دیوانه‌وار ندارند.

توابع موج چندان پیچیده نیستند، اما اینکه فیزیک کوانتوم به آن‌ها نیاز دارد کمی عجیب است. نیوتن می‌توانست با استفاده از تنها سه عدد، مکان هر شیئی را مشخص کند. ظاهراً فیزیک کوانتوم برای تعیین مکان یک تک‌الکترون به بی‌نهایت عدد نیاز دارد که در سراسر جهان هستی پراکنده‌اند. اما شاید الکترون‌ها عجیب هستند. شاید آن‌ها رفتاری مثل صخره‌ها یا صندلی‌ها یا انسان‌ها ندارند. شاید الکترون‌ها ماهیتی پوشاننده یا آغشته‌شونده دارند و تابع موج، مقداری از الکترون که در یک مکان خاص وجود دارد را توصیف می‌کند.

اما آن‌طور که پیداست، این نمی‌تواند درست باشد. تاکنون هیچ کس نمی‌تواند از یک الکترون یا چیزی کمتر از یک الکترون کامل را در یک مکان مشخص ندیده است. تابع موج نمی‌گوید چه مقدار از الکترون در یک مکان خاص وجود دارد- بلکه احتمال اینکه الکترون در آن مکان باشد را بیان می‌کند. پیش‌بینی‌های فیزیک کوانتوم عموماً برحسب احتمالات هستند و نه قطعیت. و این عجیب به نظر می‌رسد، چراکه معادله شرودینگر کاملاً جبرگرایانه است و احتمال به‌هیچ‌وجه در آن راه ندارد. می‌توان با استفاده از معادله شرودینگر، رفتار هرگونه تابع موج را با دقت کامل پیش‌بینی کرد، آن‌هم تا ابد.

ولی این هم چندان درست نیست. به محض اینکه این الکترون پیدا شد،

اتفاق جالبی برای تابع موج آن می‌افتد. به‌جای اینکه مثل یک تابع موج خوب از معادله شرودینگر پیروی کند، فرومی‌پاشد- یعنی فوراً در همه جا به‌جز مکانی که الکترون را پیدا کرده‌ایم صفر می‌شود. به‌نوعی، به نظر می‌رسد که وقتی اندازه‌گیری انجام می‌دهیم، قوانین فیزیک رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. به عبارتی، معادله شرودینگر همواره صادق است مگر زمانی که اندازه‌گیری انجام می‌دهیم، در این لحظه معادله شرودینگر به‌طور موقت تعلیق شده و تابع موج در همه جا به‌جز نقطه‌ای تصادفی فرومی‌پاشد. این اتفاق آن‌قدر عجیب است که نام خاصی گرفته: مسئله اندازه‌گیری (شکل ۱٫۱).



شکل ۱٫۱. مسئله اندازه‌گیری. چپ: تابع موج یک توپ در یک جعبه که به نرمی، مثل امواج روی سطح استخر، موج می‌زند و معادله شرودینگر بر آن حاکم است. توپ می‌تواند در هر جای جعبه وجود داشته باشد. راست: مکان توپ اندازه‌گیری و در نقطه خاصی پیدا شده است. تابع موج بلافاصله و به‌شدت فروپاشیده و اساساً دیگر از معادله شرودینگر تبعیت نمی‌کند. چرا معادله شرودینگر- که قانون طبیعت است- تنها زمانی کاربرد دارد که اندازه‌گیری انجام نگرفته باشد؟ و در هر صورت، چه چیزی «اندازه‌گیری» محسوب می‌شود؟

اما چرا معادله شرودینگر تنها زمانی کاربرد دارد که اندازه‌گیری اتفاق نیفتاده باشد؟ به نظر نمی‌رسد که قانون طبیعت این‌طور عمل کند؛ تصور ما این است که قوانین طبیعت، صرف‌نظر از آنچه ما انجام می‌دهیم، همیشه باید صادق باشند. اگر برگه از یک درخت افرا جدا شود، چه کسی شاهد این اتفاق باشد و چه نباشد، خواهد افتاد. جاذبه اهمیتی نمی‌دهد که کسی در اطراف هست که اثر آن را تماشا کند یا نه.

اما شاید فیزیک کوانتوم واقعاً فرق دارد. شاید اندازه‌گیری‌ها قوانین حاکم بر جهان کوانتوم را تغییر می‌دهند. مسلماً این عجیب است، اما غیرممکن به نظر نمی‌رسد. اما حتی اگر درست باشد، بازهم مسئله اندازه‌گیری حل نمی‌شود، چون در این صورت با چالش جدیدی روبرو می‌شویم: اصلاً «اندازه‌گیری» چیست؟ آیا اندازه‌گیری مستلزم وجود اندازه‌گیرنده است؟ آیا جهان کوانتوم به داشتن یا نداشتن تماشاچی بستگی دارد؟ آیا اصلاً کسی می‌تواند یک تابع موج را فروپاشد؟ آیا باید برای این کار بیدار و هوشیار بود یا کسی که در حالت بیهوشی است هم می‌تواند آن را انجام دهد؟ اینستین یک بار پرسیده بود، «وقتی مشاهده‌گریک موش باشد، آیا حالت [کوانتومی] هستی تغییر خواهد کرد؟» بل هم پرسیده بود، «آیا تابع موج جهان برای جهش کردن هزاران میلیون سال منتظر بوده تا یک موجود زنده تک‌سلولی پدیدار شود؟ یا مجبور بوده کمی بیشتر منتظر بماند تا اندازه‌گیرنده واجد شرایطی در یک مدرک دکترا پیدا شود؟» اگر اندازه‌گیری ارتباطی با مشاهده‌گران زنده ندارد، پس به چه چیزی وابسته است؟ آیا می‌تواند به این معنا باشد که شیئی کوچک که از فیزیک کوانتوم تبعیت می‌کند، با شیئی بزرگ برهم‌کنش کرده که به نوعی از قوانین فیزیک کوانتوم معاف است؟ در این صورت، آیا این به معنای آن نیست که اساساً اندازه‌گیری‌ها همواره رخ می‌دهند و معادله شرودینگر تقریباً هرگز نباید صدق کند؟ اما پس چرا معادله شرودینگر کارکرد درستی دارد؟ و مرز بین جهان کوانتومی اشیاء کوچک و جهان نیوتنی اشیاء بزرگ کجاست؟

بدون اغراق می‌توان گفت که پیدا شدن این جعبه پاندورا^۱ که حاوی سؤالات عجیب و غریب در دل فیزیک بنیادی است، نگران‌کننده است. اما با همه‌ی عجیب بودن، فیزیک کوانتوم موفقیت قابل‌ملاحظه‌ای در توصیف جهان داشته است؛ به مراتب بیش از فیزیک نیوتنی ساده و قدیمی (که البته قبلاً کاملاً خوب به

۱. جعبه پاندورا در افسانه‌های یونانی جعبه‌ای است که به پاندورا (اولین زن روی زمین) داده شد و حاوی هدایای خدایان برای انسان‌ها بود. طبق این افسانه‌ها، خدایان سفارش کرده بودند که جعبه هرگز گشوده نشود، اما پاندورا آن را باز کرد و همه بلاها، بیماری‌ها و شوربختی‌ها از آن خارج شده و بر روی زمین پراکنده شدند. امروزه اصطلاح «جعبه پاندورا» برای توصیف منشأ شوربختی‌ها به کار می‌رود. مترجم

نظر می‌رسید). بدون فیزیک کوانتوم، ما هیچ درکی از دلیل سخت بودن الماس، اینکه اتم‌ها از چه چیزی ساخته شده‌اند یا چگونه می‌توان وسایل الکترونیکی ساخت، نداشتیم. بنابراین توابع موج با اعدادی که در سراسر هستی پراکنده شده، باید به نوعی با چیزهایی که ما روزانه در جهان اطراف خود می‌بینیم ارتباط داشته باشند، در غیر این صورت فیزیک کوانتوم تا این حد در پیش‌بینی‌ها خوب عمل نمی‌کرد. اما این باعث می‌شود حل مسئله اندازه‌گیری ضروری تر شود- به عبارتی چیزی درباره ماهیت واقعیت وجود دارد که ما آن را درک نکرده‌ایم.

پس چطور باید این نظریه عجیب و شگفت‌انگیز را تفسیر کنیم؟ فیزیک کوانتوم چه داستانی درباره جهان به ما می‌گوید؟

ما می‌توانیم به جای پاسخ دادن به این پرسش - که به نظر می‌رسد سخت باشد- مشروعیت این پرسش را به کلی انکار کنیم. می‌توانیم مدعی شویم که پیش‌بینی کردن نتایج اندازه‌گیری‌ها تنها چیز است که در فیزیک کوانتوم اهمیت دارد. در این صورت مجبور نیستیم نگران اتفاقاتی باشیم که وقتی اندازه‌گیری نمی‌کنیم می‌افتند و همه‌ی این سؤالات سخت به تدریج ناپدید می‌شوند. تابع موج چیست؟ چطور می‌توان آن را به اشیاء جهان پیرامون ما مرتبط کرد؟ راه‌حل‌های راحت و آسانی در دسترس است: تابع موج صرفاً یک معادله ریاضی است، نوعی ابزار محاسبه که به ما این امکان را می‌دهد تا درباره اندازه‌گیری‌ها پیش‌بینی انجام دهیم. تابع موج به هیچ‌وجه ارتباطی با جهان پیرامون ما ندارد و تنها ابزار ریاضی مفیدی است. اهمیتی ندارد که توابع موج در زمانی که ما نگاه نمی‌کنیم رفتار متفاوتی دارند، چون بین اندازه‌گیری‌ها هیچ چیزی مهم نیست. حتی صحبت از وجود چیزهایی بین اندازه‌گیری‌ها غیرعلمی است. این، دیدگاه معمول - گرچه بسیار عجیب - فیزیک کوانتوم یا همان «بالش نرم» تفسیرکنندگان است.

این پاسخ‌ها که به طرز مشکوکی ساده هستند، سؤال دیگری را مطرح می‌کنند که راه‌حل روشنی برای آن وجود ندارد. فیزیک علم جهان مادی است. و فیزیک کوانتوم ادعا می‌کند که فیزیک حاکم بر بنیادی‌ترین اجزای این جهان است. اما



تفسیر کپنهاگی می‌گوید سؤال کردن درباره آنچه در فیزیک کوانتوم می‌گذرد بی‌معنی است. پس چه چیزی واقعی است؟ پاسخ کپنهاگی‌ها سکوت است - و ظاهری حاکی از نارضایتی شدید به خاطر گستاخی پرسیدن چنین سؤالی.

این پاسخ در بهترین حالت، به هیچ‌عنوان قانع‌کننده نیست. اما در عین حال، پاسخ استاندارد نیز هست. فیزیکدان‌هایی که به هر نحوی این سؤال را پیگیری کرده‌اند - فیزیکدان‌هایی مانند اینشتین و بعدها بل و بوهم - این کار را با سرپیچی آشکار از کپنهاگی‌ها انجام دادند. بنابراین جستجوی واقعیت، داستان این شورش نیز هست، شورش‌ی به قدمت خود فیزیک کوانتوم.

SAYLAV.PUB