

چیزی عمیقاً پنهان

پنهان‌های کوانتومی و
پیدایش فضا-زمان

سون آدلر

ترجمه‌ی نوری حوری

آزمایشات ماریار

سرشناسه	: کارول، شون ام، ۱۹۶۶ م. Carroll, Sean
عنوان و نام پدیدآور	: چیزی عمیقاً پنهان: جهان‌های کوانتومی و پیدایش فضا-زمان/شون کارول؛ ترجمه‌ی تورج حوری.
مشخصات نشر	: تهران: مازیار، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۲۹۶ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: قلمرو علم
شابک	: ۹۷۸-۶۲۲-۹۶۰۰۴-۷-۴
وضعیت فهرست‌نویسی: فیا	
یادداشت	: عنوان اصلی: Something deeply hidden: quantum worlds and the emergence of spacetime, c2019.
یادداشت	: نمایه
عنوان دیگر	: جهان‌های کوانتومی و پیدایش فضا-زمان.
موضوع	: Quantum theory
موضوع	: کوانتوم
موضوع	: فضا و زمان
موضوع	: Space and time
موضوع	: نظریه میدان کوانتومی
موضوع	: Quantum field theory
شناسه افزوده	: رزی، تد، ج، ۱۳۴۱-، مترجم
رده‌بندی کنگره	: QC۵۰۴/۱۲
رده‌بندی دیویی	: ۵۳۰.۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۸۲۵۱۴۷

www.maziyarpub.ir
maziyarpub@yahoo.com

زنگنه مازیار

مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۲۹۶ (ظروفچی) طبقه اول، واحد ۴، پلاک ۶۶۴۶۲۴۲۱

چیزی عمیقاً پنهان: جهان‌های کوانتومی و پیدایش فضا-زمان

شون کارول

ترجمه‌ی تورج حوری

صفحه‌آرایی مرواک.

چاپ اول ۱۳۹۹

شمارگان ۵۵۰

چاپ و صحافی طیف‌نگار

شابک ۹۷۸-۶۲۲-۹۶۰۰۴-۷-۴

فهرست مطالب

۷

پیشگفتار

بخش اول: شب‌وار

- | | |
|----|--|
| ۱۵ | ۱. چه چیزی در حال روی دادن است |
| ۲۸ | ۲. فول‌بندی جسورانه |
| ۴۲ | ۳. چه همه در فکر آن بودند؟ |
| ۶۴ | ۴. چیزی که نمی‌توان آن را شناخت چون وجود ندارد |
| ۸۳ | ۵. بخواهید یا نه همین است |

بخش دوم: شکافته شدن

- | | |
|-----|--|
| ۹۸ | ۶. انشعاب جهان هستی |
| ۱۱۵ | ۷. نظم و تصادف |
| ۱۳۶ | ۸. آیا این تعهد هستی‌شناختی مرا پشیمان می‌دهد؟ |
| ۱۶۰ | ۹. روش‌های دیگر |
| ۱۸۶ | ۱۰. وجه انسانی |

بخش سوم: فضا زمان

- | | |
|-----|----------------------------|
| ۲۰۹ | ۱۱. چرا فضا وجود دارد؟ |
| ۲۲۴ | ۱۲. جهانی از ارتعاشات |
| ۲۴۱ | ۱۳. نفس کشیدن در فضای خالی |
| ۲۶۴ | ۱۴. فراسوی فضا و زمان |

- | | |
|-----|---------------|
| ۲۸۰ | گفتار پایانی |
| ۲۸۳ | ضمیمه |
| ۲۹۱ | منابع بیشتر |
| ۲۹۳ | نمایه |
| ۲۹۵ | در تحسین کتاب |

پیشگفتار

فترسید

برای ترسیدن از مکانیک کوانتومی نیازی به PhD فیزیک نظری ندارید اما داشتن آن ضرر ندارد.

این ممتزاند عجیب به نظر آید. مکانیک کوانتومی بهترین نظریه‌ی ما درباره‌ی جهان ریزمقیاس است. این نظریه چگونگی برهمکنش اتم‌ها و ذرات از طریق نیروهای طبعی را تفسیر می‌کند و پیش‌بینی‌های تجربی‌ای دارد که به‌طور شگفت‌انگیزی درست هستند. البته مکانیک کوانتومی از یک لحاظ به دشوار بودن و اسرارآمیز بودن مشهور است، اما برای این همه‌ی مردم، فیزیکدانان حرفه‌ای می‌توانند با چنان نظریه‌ای نسبتاً راحت‌تر باشند. آنان پیوسته در حال محاسبات پیچیده‌ی مربوط به پدیده‌های کوانتومی، ساختن ماشین‌های عظیم برای آزمایش نتایج حاصل هستند. مطمئناً منظور ما این نیست که فیزیکدانان در تمام این مدت خود را فریب می‌داده‌اند.

آن‌ها فریبکاری نمی‌کرده‌اند، اما با خودشان نیز صادق نبوده‌اند. از سویی هم مکانیک کوانتومی قلب و روح فیزیک ماست. فیزیکدانان نجومی، فیزیکدانان ذرات، اتم و لیزر، همگی در همه حال از مکانیک کوانتومی استفاده می‌کنند و کار خود را خوب بلدند. این، فقط بحث یک برنامه‌ی حقیقتی مرموز نیست. مکانیک کوانتومی در همه جای فناوری مدرن حاضر است. نامه‌های، ترانزیستورها، میکروچیپ‌ها، لیزر و حافظه‌ی رایانه، همه برای کاربرد درست به مکانیک کوانتومی وابسته‌اند. به همین دلیل ضروری است مکانیک کوانتومی به اساسی‌ترین جنبه‌های دنیای اطراف ما معنا بدهد. اساساً تمام شیمی مکانیک کوانتومی است. برای دانستن اینکه خورشید چگونه می‌درخشد یا چرا میزها جامدند، به مکانیک کوانتومی نیاز دارید.

فرض کنید چشمان خود را می‌بندید. انتظار دارید همه جا تاریک به نظر آید. این منطقی است چون دیگر نوری به چشمان شما نمی‌رسد. اما چنین چیزی کاملاً درست نیست؛ نور فروسرخ با طول موجی که اندکی بیشتر از نور مرئی است

همیشه از هر جسم گرمی در حال گسیل شدن است و این شامل بدن شما نیز می‌شود. اگر چشمان ما به نور فرو سرخ نیز مانند نور مرئی حساس بودند، نوری که از کره‌های چشمان ما گسیل می‌شد ما را کور می‌کرد حتی وقتی پلک‌های ما بسته بودند. اما میله‌ها و مخروط‌هایی که به عنوان گیرنده‌های نوری در چشم عمل می‌کنند به طور هوشمندانه‌ای، تنها به نور مرئی حساسند نه نور فرو سرخ. آن‌ها چگونه این کار را انجام می‌دهند؟ پاسخ نهایی در مکانیک کوانتومی است. مکانیک کوانتومی جادو نیست. این نظریه، عمیق‌ترین و جامع‌ترین دیدگاهی است که ما از واقعیت داریم. تا جایی که در حال حاضر می‌دانیم، مکانیک کوانتومی صحنه تقریبی از حقیقت نیست بلکه خود آن است. در صورت بروز نتایج تجربی غیرمنتظره، می‌تواند مورد تجدید نظر قرار گیرد اما تاکنون نشانه‌ای از چنان نتایج غافلگیرکننده، دیده نشده است. توسعه‌ی مکانیک کوانتومی در سال‌های نخستین قرن بیستم نام‌های چون پلانک، اینشتین، بور، هایزنبرگ، شرودینگر و دیراک، تا سال ۱۹۲۷ ما را به درکی رساند که بی‌تردید یکی از بزرگ‌ترین دستاوردهای فکری تاریخ بشری است. دلایل زیادی هست که به آن بیالیم.

از سوی دیگر دلام به یادمانی ریچارد فاینمن را داریم: «فکر می‌کنم بتوانم با اطمینان بگویم که کس مکانیک کوانتومی را نمی‌فهمد.» [۱] ما از مکانیک کوانتومی برای طراحی فناوری‌های ریز و پیش‌بینی پیامدهای آزمایش‌ها استفاده می‌کنیم اما فیزیکدانان، صادقانه معتقدند که ما حقیقت مکانیک کوانتومی را درک نمی‌کنیم. دستورالعملی داریم که می‌توانیم در وضعیت‌های مشخصی آن را با اطمینان به کار ببریم و پیش‌بینی‌هایی انجام دهیم که به طرز گیج‌کننده‌ای دقیق‌اند و با داده‌ها تأیید می‌شوند. اما اگر کاوش عمیق‌تری انجام دهیم و بپرسیم که واقعاً چه چیزی در حال وقوع است، پاسخ ساده این است که نمی‌دانیم. فیزیکدان‌ها تمایل دارند با مکانیک کوانتومی مانند رباطی بی‌فکر رفتار کنند که برای انجام وظایف خاصی قابل اعتماد است، نه مانند دوستی گرانمایه که راننده شخصی او نیز دارای اهمیت است.

این رویکرد مابین متخصصین، به نحوی تشریح مکانیک کوانتومی به دنیایی وسیع‌تر نیز سرایت کرده است. آنچه ما می‌خواهیم انجام دهیم ارائه‌ی تصویر کاملی از طبیعت است اما نمی‌توانیم آن را به طور کامل انجام دهیم زیرا فیزیکدانان درباره‌ی آنچه که واقعاً مکانیک کوانتومی می‌گوید توافق ندارند. به جای آن،

توصیفات عامه فهم، گرایش به تأکید بر این جنبه را دارند که مکانیک کوانتومی اسرارآمیز، سردرگم‌کننده و غیرقابل درک است. این پیام خلاف اصول اولیه‌ای است که علم به آن‌ها تکیه دارد، اصولی که می‌گویند جهان هستی اساساً قابل فهم است. فکر ما در مواجهه با مکانیک کوانتومی دچار نوعی انسداد می‌شود و برای کمک به عبور از آن به مقداری کوانتوم درمانی نیاز داریم.

وقتی مکانیک کوانتومی را به دانشجویان آموزش می‌دهیم آن‌ها به فهرستی از قاعده‌ها تکیه می‌کنند. بعضی از این قاعده‌ها آشنا هستند: ابتدا توصیفی ریاضی از سیستم‌ها را کوانتومی به همراه شرحی از چگونگی تحول زمانی چنان سیستم‌هایی مطرح‌اند. اما بعد از آن مجموعه‌ای از قواعد اضافی وجود دارند که هیچ مشابهی در نظریه‌های دیگر فریک ندارند. این قواعد اضافه به ما می‌گویند که وقتی یک سیستم کوانتومی را مشاهده می‌کنیم چه اتفاقی می‌افتد و این رفتار سیستم با رفتار آن، هنگامی که آن را مشاهده نمی‌کنیم کاملاً متفاوت است. واقعاً چه اتفاقی برای سیستم می‌افتد؟

اساساً دو انتخاب وجود دارد: یکی این‌که داستانی که برای دانشجویان خود تعریف می‌کرده‌ایم به‌طور غم‌انگیزی ناتمام بماند، و برای اینکه مکانیک کوانتومی، کیفیات یک نظریه‌ی معقول را داشته باشد، لازم می‌آید که معنای «اندازه‌گیری» یا «مشاهده» را و همین‌طور چرایی اختلاف آن را با آنچه که سیستم بدون انجام اندازه‌گیری یا مشاهده، تجربه می‌کند، به درستی درک کنیم. انتخاب دیگر این است که مکانیک کوانتومی انحرافی تند از راه و روشی را نشان بدهد که پیش از آن همیشه به فیزیک اندیشیده‌ایم، جابه‌جایی از دیدگاهی که در آن، جهان موجودیتی عینی و مستقل از چگونگی درک ما دارد، به دیدگاهی که عمل مشاهده به طریقی بنیادین به سرشت واقعیت گره خورده است.

در هر دو حالت، کتاب‌های درسی باید با صرف وقت روی کاوش هر دوی این انتخاب‌ها، بپذیرند که نمی‌توانیم کار مکانیک کوانتومی را با وجود موفقیت‌های عظیمی که داشته است، پایان یافته تلقی کنیم. آن‌ها چنین نمی‌کنند. در بیشتر موارد، از کنار این موضوع به سکوت می‌گذرند و ترجیح می‌دهند که با نوشتن معادلات و با به چالش کشیدن دانشجویان برای حل آن‌ها، در منطقه‌ی آسایش فیزیکدانان بمانند.

این وضعیت شرم‌آور است و بدتر هم می‌شود.

با این اوصاف ممکن است تصور کنید که جستجو برای درک درست مکانیک کوانتومی بزرگ‌ترین هدف کل فیزیک است و میلیون‌ها دلار اعتبار به سمت پژوهشگران مبانی مکانیک کوانتومی سرازیر می‌شود تا درخشان‌ترین ذهن‌ها گرد هم آیند و به مهم‌ترین دست آوردها جایزه و اعتبار اعطا شود. شاید فکر کنید دانشگاه‌ها در استخدام افراد شاخص در این موضوع رقابت می‌کنند و به آن‌ها حقوق عالی می‌پردازند تا از سوی موسسات رقیب تطمیع نشوند.

متأسفانه اینگونه نیست. نه تنها جستجوی معنای مکانیک کوانتومی، مخصوصاً در فیزیک مدرن موضوع مهمی تلقی نمی‌شود بلکه در بسیاری از اقصی نقاط جهان، آن را اگر نه به عنوان موضوعی بی‌ارزش، اما صرفاً چیزی قابل احترام می‌دانند. بیشتر دپارتمان‌های فیزیک کسی را ندارند که روی این موضوع کار کند. و کسانی هم که وارد این مبحث می‌شوند به سوءظن می‌نگرند (اخیراً در جریان شناسایی یک هزینه‌ی تحقیقاتی، به من نصیحت کردند که کار خود را با تمرکز بر مسائل کیهانشناسی که پذیرفتنی‌تر است تمرکز کنم و درباره‌ی کار اصلی خود در مکانیک کوانتومی سکوت اختیار کنم، چون در این صورت جدی گرفته نخواهم شد). در نود سال گذشته گام‌های مهمی به جلو برداشته شده اما نوعاً از سمت افراد سرسختی بوده که بعضی مسائل را علی‌رغم مخالفت همکاران یا دانشجویانی که شک داشتند چیزی برای کاوش باقی مانده باشد، جدی گرفتند.

در یکی از حکایت‌های ازوپ (نویسنده یونان قدیم)، روباهی خوشه‌ی انگوری آبدار می‌بیند و خیز برمی‌دارد تا آن را به چنگ آورد اما نمی‌تواند به اندازه‌ی کافی بپرد. پس از ناکام ماندن، با خود می‌گوید: «شمالاً انگوره ترش بوده و به درد نخور. اینجا مراد از روباه «فیزیکدانان» و مراد از حبه‌ی انگور «درک مکانیک کوانتومی است.» بسیاری از محققان معتقدند که - به ندرت - تارکرد طبیعت هیچ‌گاه مهم نبوده و تمامی آنچه که اهمیت دارد قابلیت ما در انجام پیش‌بینی‌های خاص است.

دانشمندان آموخته‌اند که به نتایج محسوس ارزش بدهند، چه آن‌ها مجموعه‌ای از یافته‌های تجربی هیجان‌انگیز باشند، چه مدل‌های نظری کمی. ایده‌ی کار برای درک نظریه‌ای که از قبل داشته‌ایم، با علم به اینکه چنین تلاشی به فناوری یا پیش‌بینی جدیدی منجر نخواهد شد، متاعی است که می‌تواند خریداری نداشته

باشد. تنش نهفته در چنین ایده‌ای در نمایش تلویزیونی شود (*the Wire*) به خوبی به تصویر کشیده شده است که در آن گروهی از کارآگاهان سخت‌کوش، ماه‌ها تلاش می‌کنند تا به صورتی موشکافانه، مدرکی علیه یک باند قدرتمند مواد مخدر به دست آورند. در خلال این اقدامات، مقامات ارشد، بردباری لازم برای چنان تحقیقات گام به گامی را از دست می‌دهند. آن‌ها فقط می‌خواهند برای کنفرانس مطبوعاتی بعدی مواد کشف شده را روی میز داشته باشند و پلیس را ترغیب می‌کنند که دستگیری‌های خشن و بی‌حساب و کتاب داشته باشند. مؤسسه‌های سرمایه‌گذار و کمیته‌های استخدام‌کننده هم مانند این مقامات ارشد هستند. در دنیایی که تمام انگ‌ها، ما را به سمت نتایج عینی و قابل سنجش سوق می‌دهند، علائق بزرگ چشم‌اندازهای وسیع‌تری که فوریت کمتری دارند می‌توانند در رقابت رسیدن به هدف ردیک بعدی کنار گذاشته شوند.

این کتاب سه پیام اصلی دارد. نخست اینکه مکانیک کوانتومی باید قابل فهم شود — حتی اگر هنوز به آن مرسته نرسیده باشیم — و دستیابی به چنان درکی، باید در علم مدرن از اولویت بالایی برخوردار باشد. مکانیک کوانتومی، یگانه نظریه‌ای در فیزیک است که مابین آنچه می‌بینیم و آنچه واقعاً هست، تمایزی آشکار ترسیم می‌کند. این امر چالش خاصی را پیش روی فیزیکدانان (و هر کس دیگری) قرار می‌دهد که تصور می‌کنند، آنچه را که می‌بینند به همین شکلی «واقعی» است و سعی می‌کنند پدیده‌ها را براساس آن توضیح دهند. اما این — الش غیرقابل تفوق نیست و اگر ذهن خود را از پاره‌ای تفکرات کهنه و شهوات رها کنیم، درخواهیم یافت که مکانیک کوانتومی به طور ناامیدکننده‌ای رازآلود و غیرقابل تریخ نیست، بلکه فقط فیزیک است.

پیام دوم این است که در گذشته پیشرفتی واقعی به سمت درک مکانیک کوانتومی داشته‌ایم. روی رهیافتی تمرکز خواهیم کرد که احساس می‌کنم امیدبخش‌ترین مسیر است یعنی فرمول‌بندی چند-جهانی یا فرمول‌بندی اورت از مکانیک کوانتومی. بسیاری از فیزیکدانان ایده‌ی جهان چندگانه را مشتاقانه در آغوش گرفته‌اند، اما مابین کسانی که با ایده‌ی تکثیر جهان به نسخه‌هایی از خود سرگرم شده‌اند، دارای شهرتی ناتمام است. اگر شما یکی از آن‌ها هستید می‌خواهم شما را لاقلاً متقاعد کنم که جهان‌های چندگانه، اصیل‌ترین راه معنا دادن به مکانیک کوانتومی است و اگر مسیر کمترین مقاومت در برابر جدی

گرفتن ماهیت پدیده‌های کوانتومی را دنبال کنیم، این ایده، نقطه‌ی پایان است. مخصوصاً اینکه، جهان‌های چندگانه، پیشگویی‌های فرمالیسمی هستند که از قبل در اختیار داریم نه چیزی که بخواهیم با دست اضافه کنیم. اما جهان‌های چندگانه تنها رهیافت قابل ملاحظه نیست و به چند رقیب آن نیز اشاره خواهیم کرد. (سعی خواهیم کرد منصف باشیم اگر نه ضرورتاً متعادل). موضوع مهم این است که رهیافت‌های متنوع، همه نظریه‌های علمی خوش ساخت با شاخه‌های تجربی بالقوه متفاوت هستند نه صرفاً «تفاسیر»ی مغشوش و پریشان که پس از پایان کار واقعی بین کنیاک و سیگار ارائه می‌کنیم.

پام سوم اینکه اهمیت این موضوع تنها برای یکپارچگی علم نیست. موفقیت‌های پیشین چارچوب مناسب اما نه کاملاً منسجم موجود از مکانیک کوانتومی، بنیاد را نسبت به این واقعیت نابینا کند که شرایطی وجود دارند که تحت آن، جهان حاکم جویی کافی نیست. به خصوص وقتی می‌خواهیم ماهیت خود فضا-زمان، منشأ و بررشت نهایی کل عالم را درک کنیم، مبانی مکانیک کوانتومی مطلقاً ضروری است. تعدادی از پیشنهاد‌های جدید، هیجان‌انگیز و مسلماً آزمایشی را معرفی خواهیم کرد که پیوندهای بحث‌انگیزی را بین درهم‌تنیدگی کوانتومی و چگونگی زمان شکل‌گرفته‌ی فضا-زمان - پدیده‌ای که آن را به عنوان «گرانش» می‌شناسیم - مطرح می‌کند. چندین سال است که جستجوی یک نظریه‌ی کوانتومی کامل و مجاب‌کننده برای گرانش به عنوان هدفی مهم برای علم شناخته شده است (اعتبار، جوایز، کتاب‌های علمی-تخیلی استعدادهای و...). ممکن است راز مسئله نه در گرانش و «کوانتومی کردن» آن، که در اعماق خود مکانیک کوانتومی نهفته باشد و گرانش تمام این مدت آنجا در کمین بوده باشد.

بی‌گمان نمی‌دانیم. هیجان و اضطراب تحقیق در مکانیک کوانتومی هم‌زمان است. اما زمان آن فرا رسیده است که ماهیت بنیادین واقعیت را - دست‌نبرد - بپذیریم و این به معنای مواجهه‌ی رو در رو با مکانیک کوانتومی است.