

نگاهی به کتاب فیزیک کوانتومی کوانتوم در مرز خیال و واقعیت

مهدي صارمي فر



معلم بزرگ فیزیک جی ساکورای در فصل اول یکی از بهترین کتاب های آموزشی مکانیک کوانتومی (مکانیک کوانتومی مدرن)، ذیل مبحث اندازه گیری می نویسد: «برای راهنمایی ابتدا به سخن استاد بزرگ، دیراک می پردازیم که می گوید هر اندازه گیری، همیشه باعث می شود که سیستم به یکی از ویژه حالت های متغیر دینامیکی که اندازه گیری می شود، برود.»

...

مکانیک کوانتومی در ابتدای قرن بیستم کشف و تدوین شد. مسائلی که فیزیکدانان با روش های کلاسیک (مکانیک نیوتنی و الکترومغناطیس کلاسیک) قادر به حل آنها نبودند و به فاجعه ای برای فیزیک تبدیل شده بود، با روش های پدیده شناختی ای که پلانک، اینشتین، رادرفورد، بور و... بنیان گذاشتند، حل شد. این روش های پدیده شناختی راهنمای نسل بعدی فیزیکدانان برای تدوین دقیق اصول موضوعه این علم شد. هایزنبرگ، دیراک، پائولی و شرودینگر اساسی ترین سهم را در ساخت مکانیک کوانتومی داشتند.

• سرشت آماری

مکانیک کوانتومی در توصیف جهان زیراتمی، موفقیت چشمگیری داشت. اوج توان مکانیک کوانتومی در مسائلی مثل طیف اتم های هیدروژن گونه یا ساختار فوق ریزمکانیک آشکار می شود. اما موفقیت های چشمگیر این علم هرگز مانع آن نشد که فیزیکدانان عمیقی که به تاثیر فلسفی حرف هایشان به شدت توجه می کردند، از نگاه های مشکوک به نتایج فلسفی مکانیک کوانتومی باز بمانند.

در مکانیک کوانتومی برای حل مسائل با نتایجی آماری مواجه می شویم. به این صورت که معادله ای که دینامیک ذرات را توصیف می کند یعنی معادله موج شرودینگر سرشتی آماری دارد. یعنی حل مسئله را دقیقاً به ما نمی گوید. بلکه احتمال قرارگرفتن ذره در هر حالت را بیان می کند. مثلاً در حل مسئله اتم هیدروژن به ما نمی گوید که مدار یا مسیر الکترون چگونه است بلکه تنها احتمال قرار گرفتن الکترون را در هر اربیتال های مختلف بیان می کند. همزمان با موفقیت مکانیک کوانتومی در توجیه پدیده ها، عده زیادی از فیزیکدانان که پدر معنوی آنها نیلز بور بود، ادعا کردند که مکانیک کوانتومی پایان راه است و ما توصیفی کامل تر از توصیف احتمالی برای پدیده های زیراتمی نخواهیم داشت. چون نیلز بور در کپنهاگ (دانمارک) زندگی و تدریس می کرد، به این دیدگاه، مکتب کپنهاگی مکانیک کوانتومی می گویند. نمونه این سخنان آن چیزی بود که استاد ساکورای از دیراک نقل کرده بود.

• تقلیل تابع موج

مکانیک کوانتومی به ما می گوید که ذره هنگام رسیدن به مانع با چه احتمالی از آن عبور کرده و با چه احتمالی برمی گردد. اما اگر در دو طرف مانع یک آشکار ساز قرار دهیم، آنگاه به ما می گوید که ذره قطعاً از مانع عبور کرده یا بازتاب پیدا کرده است. یعنی قبل از آزمایش تنها احتمال هر یک از دو حالت را داشتیم. پس تابع موج ها (که وضعیت ذره را توصیف می کند) از دو جمله یکی برای عبور و دیگری برای بازتاب ذره تشکیل شده است. اما پس از آزمایش تابع موج ما فقط از یکی از این دو جمله تشکیل شده است. مکانیک کوانتومی قطعاً به ما نمی گوید که کدام یک اتفاق می افتد بلکه این آزمایش است که مشخص می کند که سرانجام چه اتفاقی می افتد. به این پدیده، تقلیل تابع موج می گویند. حتی در وضعیت های وابسته به زمان، تابع موج با زمان گسترش می یابد. یعنی احتمال این که ذره مسیر های دیگری را داشته باشد، بیشتر می شود، برای همین گروهی برخلاف شرودینگر که در ابتدا فکر می کرد تابع موج سرشت سیستم را مشخص می کند، گفتند که تابع موج تنها معرف دانش ما از سیستم کوانتومی است و ممکن است سیستم کوانتومی خواصی داشته باشد که ما نسبت به آنها جهل داریم و این آزمایش است که جهل ما را برطرف می کند و در نتیجه محدوده دانش ما را خاص تر می کند. (تقلیل می دهد) اما این تعبیر هم ظاهراً اشکالاتی دارد زیرا با وجود این که ما شواهد تجربی متعددی از تداخل توابع موجود داریم (توابع موج هم می توانند مثل امواج الکترومغناطیسی با هم تداخل کنند) این دیدگاه نمی تواند آثار تداخلی توابع موج را توضیح دهد. در نخستین نگاه، ممکن است خواننده آگاه به این نتیجه برسد که این دستگاه آزمایش است که دارد تابع موج را

تقلیل می دهد. اما فون نویمان نشان داد که اگر دستگاه اندازه گیری خود توسط مکانیک کوانتومی توصیف شود، تقلیل تابع موج توسط آن مقدور نیست.

- مرز جهان کوانتومی و کلاسیک

در این صورت این سؤال پیش می آید که پس فرق مکانیک کوانتومی و کلاسیک در کجا است و این دو در کجا از هم جدا می شوند؟ امکان دیگر این است که تقلیل تابع موج رخ ندهد تا زمانی که ما به آن دست یابیم. به عبارت دیگر این ناظر ذی شعور است که تابع موج را تقلیل می دهد. نتیجه این است که هرگز چیزی رخ نمی دهد مگر آنکه وارد مغز هشیار شود. یوگن ویگنر از بزرگترین طرفداران این نظر بود. البته لازمه حرف های فون نویمان هم چنین تصویری است. البته ویگنر بعدها نظرش را تعدیل کرد و گفت که سیستم های پیچیده فاقد شعور هم می توانند سبب تقلیل تابع موج شوند. علت این تعدیل این بود که به ویگنر یادآور شدند که «پس در زمان های اولیه که آزمایشگر ذی شعوری نبوده جهان چگونه شکل گرفته است؟»

- نظریه جهان های موازی

یکی از دانشجویان جان ویلر در سال ۱۹۵۷ هنگام تدوین رساله دکترایش به این نتیجه رسید که اصلاً تقلیل تابع موج رخ نمی دهد. بلکه در لحظه آزمایش، جهان به مجموعه ای از جهان ها تجزیه می شود و هر جمله تابع موج، در یکی از این جهان ها قرار دارد. به همین دلیل به این نظر، تعبیر چندجهانی می گویند. در تعبیر چندجهانی، هرچه ممکن است رخ بدهد، رخ می دهد. مثلاً برای یک ذره اسپین یک دوم که دو حالت بالا و پایین دارد، در لحظه آزمایش جهان به دو جهان موازی تبدیل می شود که در هر کدام از آنها یکی از حالت های بالا یا پایین وقوع پیدا می کنند. همزمان آزمایشگر به دو آزمایشگر تبدیل می شود. یک آزمایشگر در یک جهان اسپین بالا را آشکار می کند و آزمایشگر دیگر در جهان دیگر اسپین پایین را.

- خیال یا واقعیت

«خدا تاس نمی ریزد» این جمله ای بود که آلبرت اینشتین در مخالفت با تعبیر احتمالاتی مکانیک کوانتومی بیان داشت. او که تفکرات فلسفی عمیقی داشت به بسیاری از مشکلات مکانیک کوانتومی، از جمله مسئله تقلیل تابع موج واقف بود و به دنبال نظریه ای کامل تر از مکانیک کوانتومی می گشت که بتواند توصیف کاملی از طبیعت ارائه کند و بر پایه احتمالات نباشد. آلبستر ری در کتاب «فیزیک کوانتومی، خیال یا واقعیت؟» اکثر مشکلات فلسفی پیش روی مکانیک کوانتومی را بیان کرده است. در فصل اول کتاب «فیزیک کوانتومی» چند مورد از اصول اساسی مکانیک کوانتومی کپنهاگی مثل اصل عدم قطعیت بررسی شده است. آزمایش EPR که اینشتین، پودولسکی و روزن آن را به طور ذهنی ساخته اند در فصل دوم کتاب بررسی می شود. آزمایشی که به زعم اینشتین نقض مکانیک کوانتومی را نشان می دهد. اما در مقابل جواب بور به نتایج آزمایش EPR هم در این کتاب بررسی شده است. فصول بعدی کتاب به مسئله تقلیل تابع موج و راهکارهایی مثل ناظر ذی شعور و تعبیر چندجهانی برای آن پرداخته اند. بحثی زیبا در مورد قضیه بل هم در این کتاب آمده است.

- نامساوی بل

قضیه بل یا نامساوی بل بیان می کند که اگر راستای قطبیدگی نور را در سه راستا به ترتیب زیر بسنجیم: الف- عمود بر افق و با زاویه فی نسبت به افق، ب- عمود بر افق و با زاویه تتا نسبت به افق و ج- با زاویه تتا نسبت به چپ و فی نسبت به راست، در این صورت تعداد کل زوج هایی از فوتون ها که برای آنها قطبش فوتون در راستای دوم مثبت باشد از مجموع تعداد زوج های فوتون در دو راستای دیگر بیشتر نیست. اما نکته جالب اینجاست که ثابت می شود که مکانیک کوانتومی با قضیه بل سازگار نیست. بنابراین مجبوریم بپذیریم که یا مکانیک کوانتومی نتایج را به طور صحیح پیش بینی نمی کند یا یکی از فرضیات قضیه بل نادرست است. اگر بخواهیم بپذیریم که ایراد از فرضیات قضیه بل است، باید بدانیم که این فرضیات بسیار اساسی اند.

در اثبات نامساوی بل از این فرض استفاده شده است که اطلاع رسانی با سرعت بیشتر از سرعت نور نداریم (موضعیت). بقیه فرض ها هم، فرض هایی جز چند قاعده اصلی منطق ریاضیات نبوده است. اما می دانیم که موضعیت از دل نسبیت خاص درآمده که با دقیق ترین آزمایش ها در شتاب دهنده های ذرات بنیادی تأیید شده است. این یکی از مهم ترین مسائل حل نشده مکانیک کوانتوم است که هنوز هم افراد عمیق در حوزه فیزیک مثل راجر نیروز، فرارد ت هوفت و... را درگیر ساخته است.

•••

کتاب «فیزیک کوانتومی: خیال یا واقعیت؟» که از بهترین مراجع برای بررسی مشکلات پیش روی مکانیک کوانتومی در جهان است، در سال ۱۳۷۴ توسط محمدعلی نوبری گومشی ترجمه شده است. ترجمه این کتاب بسیار زیبا، ساده و روان است و خواندن آن برای همه دانشجویان فیزیک و به ویژه علاقه مندان به بحث های مکانیک کوانتومی توصیه می شود. به طوری که می توان گفت صحبت در باب مسائل فلسفی مکانیک کوانتومی بدون آشنایی دقیق و عمیق با مباحث مطرح شده در این کتاب بدون نقص نیست.

