



چالش‌های مکانیک کوانتوم

گفت‌وگو با استاد دکتر محمد لامعی

یاسر کاسه‌ساز

● نظر شما در مورد ویژگی موجی و ذره‌ای چیست؟ بالاخره الکترون موج است یا ذره؟

○ پاسخ مکانیک کوانتومی به این پرسش این است که شما یک حالت اولیه دارید، یک دستگاه اندازه‌گیری دارید و بعد یک نتیجه آزمایش دارید. مکانیک کوانتومی می‌گوید با این آزمایش و با این شرایط اولیه این نتیجه‌ای است که مشاهده می‌کنید. بنابراین برای خود مکانیک کوانتومی پرسشی وجود ندارد؛ یعنی تا وقتی ذره‌ای یا موجی اندازه‌گیری نشده یک «چیزی» هست که مکانیک کوانتومی متعارف یا «عمل‌گرا» اصلاً به این قسمت کاری ندارد.

● یعنی به قبل از آزمایش کاری ندارد؟

○ بله. به اینکه قبل از آزمایش این پدیده چیست و چه ماهیتی دارد و اینکه موج است یا ذره، کاری ندارد. به‌طور کلی بیان می‌دارد که ما تا زمانی که آزمایشی انجام نداده باشیم اصلاً نمی‌توانیم از حالت یک دستگاه حرف بزنیم، بلکه حالت دستگاه وقتی معنی دارد که آزمایشی انجام شود. بعد از آزمایش «من» به شما می‌گویم که شما چه خواهید دید. پس این پرسش اساساً برای مکانیک کوانتومی بی‌معنی است. شاید چیزی که ما را آزار می‌دهد و اکثراً هم به آن اعتقاد داریم این باشد که «در ورای قوانین فیزیک واقعیتی است که حتی اگر آن را مشاهده نکنیم، باز هم وجود دارد»، اما مکانیک کوانتومی اعتقاد به چنین واقعیتی را رد می‌کند. این واقعیت را «واقعیت قوی» می‌نامند.

واقعیت قوی را، که اساس کار فیزیک کلاسیک تا اواخر قرن نوزدهم بود، مکانیک کوانتومی رد می‌کند، ولی شما یک «واقعیت ضعیف» دارید و آن این واقعیت است که اگر کسی آزمایشی را انجام دهد به همان نتایجی می‌رسد که افراد دیگر آن را انجام می‌دهند. به بیان دیگر «هر پدیده فیزیکی بدون مشاهده‌گر بی‌معنی است.» یعنی مکانیک کوانتومی به نوعی

«انسان‌محور» یا انسان‌گراست.

تمام معادله‌های مکانیک کوانتومی خطی هستند ولی تبدیل تابع موج به یکی از مؤلفه‌هایش یک پدیده غیرخطی است. این پرسش مطرح است که این پدیده غیرخطی کجا اتفاق می‌افتد؟

در مکانیک کوانتومی هیچ چیز غیرخطی وجود ندارد: معادله شرودینگر خطی است، برهم نهی توابع موج خطی است، تداخل خطی است و ... اما در برهم‌کنش با دستگاه اندازه‌گیری، تابع موج به یکی از مؤلفه‌هایش «جهش» می‌کند. چرا؟ فیزیک این دستگاه اندازه‌گیری چیست که چنین اتفاقی می‌افتد؟ کجای این معادله‌ها غیرخطی است؟ آیا در مغز ما اتفاق می‌افتد؟ مغز ما نیز مجموعه‌ای از سلول‌هاست که قوانین مکانیک کوانتومی بر آن‌ها حاکم است! اگر در ذهن ما اتفاق می‌افتد، «ذهن» چیست؟

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در پایه‌های مکانیک کوانتومی پرسش‌های عجیب و غریبی مطرح می‌شود. به‌رحال به‌نظر می‌آید که اگر مشاهده‌گر در این مجموعه نقش داشته باشد آنگاه قبول کرده‌ایم که «فیزیک بدون مشاهده‌گر» معنی ندارد.

● پس ممکن است از یک مشاهده‌گر به مشاهده‌گر دیگر فرق کند؟

○ نه. خوبی فیزیک این است که از یک مشاهده‌گر به مشاهده‌گر دیگر فرقی نمی‌کند. نتیجه یک آزمایش با شرایط اولیه کاملاً یکسان، برای هر شخصی که این آزمایش را درست انجام داده باشد یکسان است.

آیا واقعاً یک «چیز» غیرخطی وجود دارد؟ برخی‌ها به معادله شرودینگر جمله‌های غیرخطی اضافه کردند و سعی کردن آن را حل کنند. افرادی مثل «لوئی دوبروی» و «دیوید بوم» گفتند که مثلاً موج و ذره با یکدیگر هم‌زمان‌اند و موج به نوعی ذره را هدایت می‌کند. آن‌ها معادلات غیرخطی برای ذره در نظر گرفتند، اما نتایج بسیار پیچیده‌ای گرفتند. محاسبات اصلاً ساده نیست!

● دیراک می‌گوید که قبل از اندازه‌گیری، حالت دستگاه ترکیبی از همه حالت‌های دستگاه است ولی پس از اندازه‌گیری، دستگاه به یک حالت خود «جهش» می‌کند.

○ سؤال دقیقاً همین است که در فرایند اندازه‌گیری چه اتفاقی می‌افتد؟ در فیزیک کلاسیک فرایند اندازه‌گیری معلوم است. مثلاً در اندازه‌گیری فشار یک دستگاه می‌دانیم که فنری فشرده می‌شود و عقربه فشارسنج را می‌چرخاند؛

شاید چیزی
که ما را آزار
می‌دهد و
اکثر اَهم به آن
اعتقاد داریم
این باشد که
«در ورای
قوانین فیزیک
واقعیتی است
که حتی اگر
آن را مشاهده
نکنیم، باز هم
وجود دارد»

مشاهده‌گری نباشد این پرسش معنی ندارد. فیزیک‌دانان بزرگی مثل برنارد دسپانیا، ویلر و ویگنر عقیده دارند که بالاخره انسان «یک جایی» در این زنجیره باید داشته باشد. یک پرسش‌هایی هستند که پاسخ دارند ولی ما این پاسخ را نمی‌دانیم. مثلاً اینکه اولین کسی که وارد محله امیرآباد شد آیا روی صورتش خال داشت یا نه؟ ما پاسخ این پرسش را نمی‌دانیم اما یقین داریم که پاسخی برای این پرسش وجود دارد. اما این پرسش که الکترون از کدام شکاف عبور کرده پرسشی است که پاسخ ندارد. یعنی اصلاً پرسش بی‌معنی است. مکانیک کوانتومی به این پرسش «اصولاً» نمی‌تواند پاسخ دهد. به محض پرسیدن این پرسش فرض کرده‌ایم که قبل از آزمایش موجودی به اسم الکترون وجود دارد، اما مکانیک کوانتومی این را رد می‌کند و می‌گوید این پرسش غلط است. الکترون وقتی ظاهر می‌شود که مثلاً به صفحه‌ای عکاسی برخورد کند.

● آیا ممکن است یک ویژگی (مثل اسپین) برای الکترون وجود داشته باشد که هیچ همانند کلاسیک نداشته باشد و بشر هنوز آن را کشف نکرده باشد و در مورد آن بتوان پرسید که از کدام شکاف عبور کرده است؟

○ اسم این متغیرها «متغیرهای پنهان» است و اگر وجود آن‌ها را بپذیریم نتایج حاصل می‌شود که مغایر با مکانیک کوانتومی است. در واقع هیچ شرح کامل‌تری از «مجموعه مشاهده‌پذیرهای جابه‌جا شونده» برای توصیف یک دستگاه وجود ندارد.

همان‌طور که معلوم است این مباحث مخلوطی از فیزیک و فلسفه است.

● به‌نظر شما فیزیک در آینده چگونه خواهد بود؟ پیشرفت آن را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

○ قرن بیستم قرن فیزیک بود. کشف‌های بسیاری در این قرن رخ داد و فیزیک پیشرفت چشمگیری داشت. ولی فیزیک ابزارهایی ساخته است که قرن بیست و یکم احتمالاً قرن کاربردهای فیزیک در زیست‌شناسی و بیوفیزیک خواهد بود. مثلاً در مورد روش معالجه بیماری‌ها، ابزارهای تشخیص و... پیشرفت‌های زیادی حاصل شده است ولی شناخت ما از فیزیک و شیمی بیماری‌ها پیشرفت چندانی نداشته است و در حد همان پزشکی قرن هفدهم است. ابزاری که فیزیک درست کرده است این امکان را می‌دهد که در قرن بیست و یکم بتوان به خیلی از این پرسش‌ها پاسخ داد. بله، من فکر می‌کنم که قرن بیست و یکم قرن کاربردهای فیزیک به‌ویژه در پزشکی و زیست‌شناسی خواهد بود.

یعنی فرایند اندازه‌گیری کاملاً واضح است. به عبارت دیگر، اندازه‌گیری با فیزیکی بیان می‌شود که بقیه پدیده‌ها نیز بیان می‌شود، اما در مکانیک کوانتومی معادله حاکم بر سیستم معادله شرودینگر یعنی که یک معادله خطی است. حالا یک دستگاه اندازه‌گیری داریم که با تمام حالت‌هایش وارد دستگاه اندازه‌گیری می‌شود و در نهایت فقط یک مؤلفه سیستم خارج می‌شود با احتمال معلوم. سؤال این است که فیزیک این دستگاه اندازه‌گیری چیست؟ چه کار می‌کند؟

در مکانیک کوانتومی اندازه‌گیری نوعی «معجزه» است. این بحث یک بحث مفصل و طولانی است.

● پس جواب قطعی چیست؟

○ جواب قطعی این است که مکانیک کوانتومی درست است. ولی اینکه فرایند اندازه‌گیری چیست هنوز روشن نیست.

● پس چرا اینشتین مکانیک کوانتومی را قبول نکرد؟

○ اینشتین با پایه‌های مکانیک کوانتومی مشکل داشت. می‌گفت اگر قبول کنیم که یک واقعیت مستقل از مشاهده‌گر وجود دارد آنگاه پایه‌های مکانیک کوانتومی مشکل خواهد داشت. اما مکانیک کوانتومی وجود چنین واقعیتی را رد می‌کند.

● اما ذهن ما این را بدیهی می‌داند که واقعیتی خارج از ذهن ما و مستقل از ما وجود دارد.

○ درست است. برخی‌ها می‌گویند که فیزیک‌دانان مکانیک کوانتومی اعتقادشان این است که چنین واقعیتی وجود دارد ولی وقتی صحبت از پایه‌های مکانیک کوانتومی می‌شود این فرض را قبول نمی‌کند.

● اعتقاد شما چیست؟

○ من فکر می‌کنم که اگر مشاهده‌گر وجود نداشت آنگاه واقعیت هم وجود نداشت. مشاهده‌گر بخشی از تعبیر واقعیت است. واقعیت مستقل از ما وجود ندارد. اگر ما نباشیم آن واقعیت هم وجود ندارد. به قول برخی بزرگان، همان‌طور که گفتیم، مکانیک کوانتومی به یک تعبیر انسان‌محور است.

● یعنی اگر هیچ انسانی وجود نداشته باشد خورشید دیگر طلوع نمی‌کند؟ (یک پدیده فیزیکی). به هر حال این‌طور به نظر می‌رسد که چه ما باشیم و چه نباشیم و چه اندازه‌گیری انجام دهیم و چه ندهیم خورشید طلوع خواهد کرد؟!

○ معلوم نیست. در واقع این پرسش معنی ندارد. اگر

