

فیزیک: پندار و واقعیت

فیلیپ والاس

ترجمه‌ی: عبدالحسن بصیره

گروه فیزیک - دانشگاه کردستان

اشاره

این یک گفت و گوی موهومی بین دو نفر درباره‌ی فیزیک جدید است که بعضی مطالب و پرسش‌های مربوط به جنبه‌های غیرعادی نظریه‌ی کوانتومی مانند اصل عدم قطعیت و دوگانگی موجی-ذره‌ای را مورد بحث قرار می‌دهد.

ج: خب، آیا شما درباره‌ی بحث دیروز باز فکر کردی؟

س: فقط معتقدم که دیروز حق با من بود. به ویژه درباره‌ی تک تک فوتون‌هایی که هریک از هر دو شکاف می‌گذرند. هریک باید حاوی کل پیام باشند، زیرا هریک نمونه‌ای از کل پیام هستند.

ج: درباره‌ی چه پیامی صحبت می‌کنید؟

س: این پیام همان اطلاعات لازم برای تولید نقش پراش است. از آن گذشته، این درست نتیجه‌ی چیزی است که درباره‌ی کوانتوم تابش به من گفتید، و آن را فوتون نامیدید.

ج: گمان می‌کنم بتوانم با آن دریغتم. هرچند شیوه‌ی استدلال شما با آن کمی غیرعادی است. آنچه ما گفتیم این بود که موج یک موج احتمال است، لذا این احتمال را تعیین می‌کند که فوتون در کدام نقطه جذب می‌شود.

س: واقعاً که شورش را درآورده‌اید. شما چگونه می‌توانید اصلاً یک «موج احتمال» داشته باشید؟ احتمال یک مفهوم است، و فکر نمی‌کنم منطقی باشد درباره‌ی موج یک مفهوم صحبت کنیم! ج: خب، به صورت ملایم‌تر، مکانیک کوانتومی کمی غیرعادی است، بنابراین احتمال کوانتومی کاملاً شبیه احتمال معمولی نیست.

س: من نمی‌فهمم چه لزومی دارد که چیزی غیرعادی و خارق‌العاده‌ای نظیر آن را پیش بکشیم. در توصیف من چیزی شبیه آنچه مطرح کردید نبود، بلکه نوعی بخت‌آزمایی میان الکترون‌ها بود، که کدام یک فوتون را جذب می‌کنند. به نظر می‌رسد این امر حالت احتمال کاملاً معمولی باشد. این شیوه توضیح امور چه اشکالی دارد؟

ج: کاملاً مطمئن نیستم، باید درباره‌ی آن کمی فکر کنم. ولی به هر حال، احتمال را امری کاتوره‌ای تعیین می‌کند که به طور مکرر - نظیر انداختن یک سکه - اتفاق می‌افتد. این امر فراوانی‌های نسبی نتیجه‌های حاصل را تعیین می‌کند، و به نظر می‌رسد چیزی است که در این جا اتفاق می‌افتد. «آزمون‌ها» فوتون‌هایی هستند که از شکاف‌ها می‌گذرند. بنابراین، صحبت درباره‌ی احتمال‌ها آن چنان هم غیرعادی نیست.

س: بسیار خب، اما اگر شما به این ترتیب درباره‌ی آن صحبت کنید، به نظر نخواهد رسید که درباره‌ی نوع خاصی از احتمال صحبت می‌کنید؛ بلکه به نظر من شبیه احتمال کاملاً معمولی خواهد بود.

ج: آنچه که معمولی نیست داشتن احتمالی است که شبیه یک موج منتشر می‌شود.

س: احساس می‌کنم این «دوگانگی موجی-ذره‌ای» شما را قادر می‌سازد که زمینه‌ای برای پاسخ به آنچه می‌گویم بیابید. شما از کاربرد احتمال درباره‌ی ذرات مثالی زدید که به گمان من کاملاً درست است زیرا مشاهده مورد نظر است. ولی قبل از مشاهده، کوانتوم‌ها باید رفتاری شبیه امواج داشته باشند، در نتیجه شما دوباره احتمال را به امواج برمی‌گردانید. به نظر من تا لحظه‌ای که هنوز مشاهده نشده‌اند اگر به آن‌ها استناد کنید، کوانتوم‌ها فقط موجوداتی مفهومی هستند، اما به محض آن‌ها مشاهده می‌کنید صورت مادی به خود می‌گیرند. بنابراین، احساس می‌کنم که اینجا گونه‌ای ابهام فلسفی وجود دارد، و شما در استدلال‌هایتان دنده‌ی چرخ را دائماً میان عناصر معرفت‌شناسی و هستی‌شناختی نوسان می‌دهید.

ج: خواهش می‌کنم پیچیدگی‌های فلسفی را به من نچسبانید. من یک فیزیکدان ناچیزی بیش نیستم.

س: خب، فکر نمی‌کنم که من مسئول استدلال‌های شما باشم. این شما بودید که آن را مطرح ساختید.

ج: فکر می‌کنم دوباره کمی ناراحت و مکدر شده باشیم. اجازه بده فنجانی قهوه بخوریم تا بتوانیم کمی آرام شویم.

س: آیا ممکن است موضوع صحبت را عوض کنیم، یا حداقل دوباره‌ی مسأله‌ای صحبت کنیم که ذهن مرا آزار داده و در همین ارتباط است؟

ج: فکر خوبی به نظر می‌رسد. آن مسأله چیست؟
س: خب، مسأله به امکان تقسیم کوانتوم برمی‌گردد. آزمایش دوشکافی بود که این را به ذهنم آورد. فرض کنید در فاصله‌ی بسیار دور از پرده، با دو شکاف، مانعی بگذارید که مانع از مخلوط شدن امواج شود. در این صورت، آیا یک کوانتوم در طرف چشمه از مانع و یکی دیگر در آن سو نخواهد داشت؟ و برای آن که کاملاً مطمئن شوید که هرگونه گرایش و تعصب حاصل از فیزیکی کلاسیک را کنار گذاشته‌ایم، بگذارید به جای فوتون‌ها از الکترون‌ها به عنوان مثال استفاده کنیم.

ج: این مطلب ساده است. شما دقیقاً ۵۰ درصد احتمال داشتن یک الکترون در یک سو و ۵۰ درصد در سوی دیگر دارید. می‌بینی که این از امتیازهای «تعبیر احتمالی» است.

س: خب، من هرگز نگفتم که تعبیر احتمالی سودمند نیست! ولی آیا واقعاً مسأله به همین سادگی است.

ج: چرا نه؟ کجای آن غلط است؟
س: گمان می‌کنم دوباره مسأله معرفت‌شناسی و هستی‌شناختی پیش آمده باشد. در ترجمه به زبان یک فیزیکدان، آیا موج یک جسم فیزیکی واقعی است یا فقط ابزاری است برای سازمان دادن به معلومات ما؟ بگذاریم، آیا واقعاً چیزی در هر دو سوی مانع وجود دارد، یا فقط احتمال چیزی در یک سو یا سوی دیگر وجود دارد؟
ج: تا وقتی که اندازه‌گیری نکنید، فقط یک احتمال است. وقتی که برای آشکارسازی آن به آزمایش می‌پردازید، آن را در یک سو خواهید یافت.

س: بنابراین، آیا اندازه‌گیری ناگهان چیزی را از یک سو به سوی دیگر منتقل کرده است؟ و در طرف اول، چیزی به جا نمانده است، یعنی نه چیزی مادی و نه احتمالی از چیزی آنجا نیست؟

ج: این تعبیر طبیعی است.

س: بسیار خوب، اما من فکر می‌کنم که این پرسش‌های زیادی را مطرح می‌کند. آیا من خام و ساده‌ام یا یکی از پیامدهای زیر را دربر خواهد داشت:

- ۱- که ذره همیشه فقط در یک طرف بوده است، بدین معنا که فقط از یک سو راج گذشته است، یا
- ۲- که اندازه‌گیری باعث شد که چیزی از این طرف به طرف دیگر برود، که آن چیز، یا بخشی از ذره بود یا احتمال این که ذره در طرف دیگر باشد، یا گمان می‌کنم،
- ۳- که قرار دادن مانع در فراسوی شکاف‌ها ذره را به گونه‌ای وادار می‌کند که فقط از یک شکاف بگذرد؟ می‌توانی به من بگویی

کدام یک درست است؟

ج: آیا گزینه‌های ۱ و ۳ خیلی نزدیک به هم نیستند؟ فکر می‌کنم گزینه‌ی ۳ از دو گزینه‌ی دیگر بهتر است. گزینه‌ی ۱ به اشکال برخورد می‌کند زیرا به نظر می‌رسد که با تولید طرح پراش ناسازگار باشد، در حالی که گزینه‌ی ۳ می‌گوید که این طرح با قرار دادن مانع در فاصله‌ی بسیار دور از شکاف‌ها به طریقی به هم ریخته است. تعبیر متداول هیچ‌یک از آن دو نیست بلکه گزینه‌ی ۲ است. اما چون احتمال است، نه بخشی از یک ذره مادی، از اندازه‌گیری تأثیر می‌پذیرد. و احتمال همانطور که گفتم، همان چیزی است که در طرح پراش دخالت دارد، بنابراین، همه چیز به صورت خوبی به هم مربوط می‌شود.

س: بگذار ببینم که آن را دریافته‌ام. ذره قطعاً در یک طرف یا طرف دیگر است، و اما نمی‌دانیم کدام طرف که این تابع موج مشخص می‌کند، تابعی که احتمال یک امکان یا دیگری را تعیین می‌کند. و این احتمال، و نه هیچ چیز مادی، آن چیزی است که از اندازه‌گیری تأثیر می‌پذیرد، زیرا وقتی بدانیم ذره کجاست احتمال جای خود را به واقعیت می‌دهد.

ج: دقیقاً. و این آن چیزی است که به آن «رمبش تابع موج» می‌گویند.

س: اوه. ولی من مطمئنم شنیده‌ام که ریچارد فاینمن زمانی گفت چیزی به نام رشبش تابع موج وجود ندارد.

ج: فاینمن هرگز نمی‌توانست چیزها را مثل دیگران ببیند. نمی‌دانم وقتی این را گفته - اگر آن را گفته باشد - در ذهنش چه بوده است.

س: خب، به هر حال، میل دارم دوباره به پرسش «شکافتگی» یک ذره برگردم، زیرا مطمئن نیستم که این مسأله حل شده باشد. فرض کنید ذره‌ای در یک جعبه داشته باشید. سپس درست در وسط آن مانعی بگذارید. آنگاه دو نیمه را جدا کرده و تا حد امکان از هم دور کنید. در این صورت هیچ تردیدی باقی نماند که شکافتگی را کامل کرده‌اید.

ج: فکر می‌کردم که این مسأله را روشن کرده باشم؛ نمی‌توانید ذرات را به این شیوه بشکافید. به علاوه، این مثال کمی مضحک است. جعبه‌ها، مثل دیگر اشیاء از الکترون‌ها ساخته شده‌اند و الکترون‌ها از یکدیگر تمیز ناپذیرند. بنابراین «یک الکترون در جعبه» معنی چندانی ندارد. ولی فکر می‌کنم مثال دیگری هست که در آن همین مطلب دخیل است. چیزی به نام «یون - مولکول هیدروژن» وجود دارد که از یک الکترون و دو هسته‌ی هیدروژن متصل به هم تشکیل شده است. فرض کنید به گونه‌ای (مطمئن نیستم چگونه!) بتوان دو هسته را تا فاصله‌ی بسیار زیاد از هم جدا ساخت. در آن صورت خواهید دید که یک هسته الکترون را همراه خود می‌برد و دیگری برهنه خواهد ماند. به عبارت دیگر یک اتم هیدروژن و یک یون هیدروژن به دست خواهید آورد.

س: بگذار پاسخ را در این مورد پیش بینی کنم: یک هسته

هیدروژن، یک پروتون، دارای الکترونی است که به دور آن می چرخد، ولی نمی دانیم کدام یک، تا اینکه یک اندازه گیری، یا مشاهده ای، یا هر چیز دیگر روی یکی از آن ها انجام دهیم، که در این مورد یا الکترون را روی آن خواهیم یافت یا نخواهیم یافت. که در این صورت نتیجه می گیریم که الکترون روی دیگری است ولی تکلیف تابع موج چه می شود که کلید واقعیت های فیزیکی این وضعیت فرض شده است. انتظار داریم $50:50$ بین دو پروتون شکافته شود. بنابراین وقتی اندازه گیری انجام می شود چه رخ می دهد؟ احتمال می رود تمام تابع موج ناگهان در اطراف یکی از آن ها یافته شود. حال اگر آن ها در فاصله یک سال نوری از هم باشند به نظر من مشکلی به وجود می آید.

ج: خیلی خوب یاد گرفته اید. تحلیل شما بی عیب و نقص است. ولی تأثیر لحظه ای یک پروتون بر دیگری در فاصله ی به دلخواه دور، باعث نگرانی فلاسفه ی مکانیک کوانتومی شده است. شاید پرسید این با نظریه ی نسبیت که طبق آن هیچ تأثیری نمی تواند سریع تر از سرعت نور منتشر شود در تضاد نیست؟ و پاسخ منفی است، زیرا در این جا فقط احتمال ها دخیلند و هیچ تراکسیل اطلاعاتی صورت نمی گیرد.

س: ولی احتمال ها از اطلاعات تشکیل شده اند؟!

ج: نه، من فکر می کنم فقط واقعیت ها هستند که با معیارهای اندازه گیری همراه اند. اگر شما الکترون را در یک طرف بیابید، این نتیجه گیری که الکترون در طرف دیگر نیست پیامد این قانون است که جمع تمام احتمال ها باید یک باشد.

س: بنابراین، برای من دقیقاً توضیح بده هنگامی که اندازه گیری یا مشاهده روی یکی از مؤلفه های دستگاه اصلی رخ می دهد و الکترون در آن جا یافته می شود بر سر تابع موج دقیقاً چه می آید.

ج: تابع موج در سوی دیگر صفر می شود!

س: بله، ولی چه موقع؟

ج: (پس از سکوتی طولانی): می خواستم بگویم، در لحظه ی اندازه گیری. ولی راستش را بخواهی، در این جا چیزی وجود دارد که به فکرم خطور نکرده بود. نسبیت حداقل می گوید که «همزمانی» معنای بدون ابهامی ندارد، بنابراین من فعلاً برای پاسخ صریح و روشنی مکث کرده ام. اگرچه فکر می کنم که حقیقتاً نباید فرقی بکند. در واقع، شاید این پاسخی به نگرانی قدیمی مربوط به انتشار سریع تر از نور باشد، شاید این تأثیر با سرعت نور حمل شود، هر چند کاملاً مطمئن نیستم چگونه.

س: خب، در این جا مسأله ای می بینم. آیا این به آن معنا نیست که دوره ای از زمان، که می تواند طولانی هم باشد، وجود دارد که در آن جمع احتمال ها یک نمی شود. در واقع، این بدان معناست که اگر کسی اندازه گیری ای بر روی پروتونی که الکترون ندارد را در حالی انجام دهد که سیگنال میان آن ها در راه است، احتمال معینی وجود دارد که الکترونی را در آن جا بیابد! بنابراین، ناگهان

به جای یک الکترون، دو الکترون خواهیم داشت. نمی دانم چگونه سیگنالی که دیرتر می رسد می تواند از شر آن خلاص شود.

ج: گمان می کنم ذهنیت من درباره ی این که سیگنال که با سرعت نور منتشر می شود غلط بوده است.

س: بله، اما با این شیوه نیز از مخمصه خلاص نمی شویم؛ اگر درست فهمیده باشم. زیرا در دوره ای که علائم نوری نمی توانند میان دو...

ج: ... در آن حالت می گویم فاصله ی فضاگونه یی میان دو پروتون وجود دارد.

س: ... در آن دوره، اگر صفر شدن یک تابع موج با اندازه گیری انجام شده در سوی دیگر همزمان باشد، در چارچوب های مرجع دیگر چنین به نظر می رسد که قبل یا بعد از اندازه گیری اتفاق افتاده است. به عبارت دیگر، جمع احتمال ها یک نخواهد شد، که در آن صورت به نظر می رسد «تعبیر احتمالی» را باید به دور افکند. اگر جمع احتمال ها یک نشود، برای یک مقطع زمانی همیشه احتمال معینی وجود دارد که یا دو الکترون باشد یا هیچ. این امر در تمام چارچوب های مرجع، بجز یکی، درست خواهد بود، که آن هم اختیاری است!

ج: متأسفانه من هیچ گونه عیب و ایرادی در استدلال شما نمی بینم، ولی نمی توانم باور کنم که تاکنون کسی متوجه این موضوع نشده باشد. فقط می توانم به دو راه خروج فکر کنم، یکی آن است که فقط وضعیت در دستگاه هایی مطرح شود که از نظر فیزیکی غیر واقعی هستند. در واقع، معتقدم که این فرضیه را قبلاً یک فیزیکدان برجسته مطرح کرده است هر چند در این لحظه نمی توانم به خاطر آورم کدام. امکان دیگر آن است که مکانیک کوانتومی اجازه نمی دهد یک تابع موج به طریقی که ما فرض کردیم «شکافته» شود، و در واقع به نظر من این عقیده احمقانه نیست. در بیشتر مثال هایی که به ذهن من می رسد نظیر آن چه بین دو پروتون رخ می دهد دستگاه دارای تقارن است. ولی البته این روزها فیزیکدان ها به پدیده ی «شکست خود به خود تقارن» کاملاً آگاه هستند، که در آن اشیاء در حالت ترازندی بین یک طرف و طرف دیگر نیستند، بلکه بسته به تقارن های کاتوره ای لحظه ای به یک طرف یا طرف دیگر می روند.

س: فکر نمی کردم که پرسش های ساده لوحانه و بی پیرایه من چنین توفانی به پا کنند... مایلم که این بحث لااقل یک جلسه دیگر ادامه یابد؛ انبان پرسش های من هنوز تهی نشده است. من کنجکاوی عجیبی درباره ی پدیده ی ضمنی «واقعیت مخلوق مشاهده گر» پیدا کرده ام. فکر می کنم امروز در بحث ما درباره ی آن کمی لغزش داشته ایم.

ج: این بحث عمیق تر و دشوارتر از آن شد که پیش بینی می کردم. چرا جهان نمی تواند ساده باشد؟ یا شاید پرسش این باشد که چرا نمی توانیم آن را ساده ببینیم؟!

منبع: