



آیا می‌توان به گذشته پیام فرستاد؟ مرز باریک میان فیزیک کوانتوم و سفر در زمان

تصور کنید یک روز موبایل‌تان ناگهان روشن و پیامی کوتاه از آینده روی صفحه آن ظاهر شود؛

تصور کنید یک روز موبایل‌تان ناگهان روشن و پیامی کوتاه از آینده روی صفحه آن ظاهر شود؛ پیامی که می‌تواند مسیر زندگی‌تان را تغییر دهد. این تصویر هیجان‌انگیز هنوز به دنیای علمی تخیلی تعلق دارد، اما پژوهشی تازه در فیزیک کوانتوم، پرسشی شگفت‌انگیز و کاملاً جدی را پیش روی دانشمندان گذاشته است: آیا ممکن است اطلاعات، مسیر یک طرفه زمان را بشکنند و از آینده به گذشته بازگردند؟

دیجیتالو: تصور کنید یک روز موبایل‌تان ناگهان روشن و پیامی کوتاه از آینده روی صفحه آن ظاهر شود؛ پیامی که می‌تواند مسیر زندگی‌تان را تغییر دهد. این تصویر هیجان‌انگیز هنوز به دنیای علمی تخیلی تعلق دارد، اما پژوهشی تازه در فیزیک کوانتوم، پرسشی شگفت‌انگیز و کاملاً جدی را پیش روی دانشمندان گذاشته است: آیا ممکن است اطلاعات، مسیر یک طرفه زمان را بشکنند و از آینده به گذشته بازگردند؟ فیزیکدانان هنوز راهی برای ارسال پیام به دیروز پیدا نکرده‌اند، اما نشان داده‌اند که در شرایطی کاملاً فرضی و با استفاده از پدیده‌ای به نام پس‌گزینی کوانتومی، می‌توان ظرفیت چنین ارتباط عجیبی را از نظر ریاضی محاسبه کرد.

پشت تیتراهای سفر در زمان چه خبر است؟

انتشار مقاله‌ای علمی با عنوان «ظرفیت پس‌علی یک کانال کوانتومی» (Retrocausal Capacity of a Quantum Channel) کافی بود تا تیتراهای شگفت‌انگیز مانند «فیزیکدانان راهی برای فرستادن پیام به گذشته پیدا کردند» در رسانه‌ها ظاهر شوند. چنین جمله‌ای بی‌تردید هیجان‌انگیز است، اما نتیجه واقعی پژوهش با ساخت یک دستگاه ارتباطی برای تماس با دیروز فاصله زیادی دارد. «کای یوان جی»، «ست لوی» و «مارک وایلد» در این مقاله، سناریویی کاملاً نظری را بررسی کرده‌اند: اگر نوع خاصی از مسیر بسته زمانی در طبیعت وجود داشته باشد، چه مقدار اطلاعات می‌تواند از آینده به گذشته منتقل شود و نویز تا چه اندازه این ارتباط را مختل خواهد کرد؟

در این پژوهش نویسندگان یکی از عجیب‌ترین ایده‌های فیزیک، یعنی ارتباط در خلاف جهت زمان را از قلمرو داستان‌های علمی تخیلی بیرون آورده‌اند و به مسئله‌ای دقیق و قابل محاسبه در نظریه اطلاعات کوانتومی تبدیل کرده‌اند. آن‌ها ماشین زمان نساخته‌اند، اما نشان داده‌اند که اگر چنین کانالی روزی امکان‌پذیر باشد، می‌توان ظرفیت، محدودیت‌ها و رفتار آن را در برابر نویز با زبان ریاضیات توصیف کرد.

چرا علیت در فیزیک مدرن پیچیده می‌شود؟

در تجربه روزمره، علت پیش از معلول رخ می‌دهد. دکمه را فشار می‌دهیم و بعد چراغ روشن می‌شود. این ترتیب ساده، پایه درک ما از زمان و ترتیب اتفاقات در جهان است. اما نظریه نسبیت نشان داد که زمان آن قدرها هم مطلق و یکسان نیست. دو ناظر که با سرعت‌های متفاوت حرکت می‌کنند، درباره هم زمان بودن دو رویداد شاید نظر یکسانی نداشته باشند، هرچند رابطه علت و معلول همچنان پابرجا می‌ماند.

ماجرای نسبیت عام عجیب‌تر می‌شود. برخی پاسخ‌های ریاضی معادلات اینشتین، وجود مسیریایی به نام «منحنی‌های زمان مانند بسته» (Closed Timelike Curve یا CTC) را مجاز می‌دانند؛ مسیریایی که در آن‌ها یک جسم یا پیام، پس از حرکت در فضا، دوباره به نقطه‌ای از گذشته خود بازگردد. البته ممکن بودن یک پدیده در معادلات، به معنای وجود داشتن آن در طبیعت نیست. با این حال، همین احتمال نظری پرسشی عمیق را پیش روی فیزیکدانان قرار می‌دهد: اگر چنین حلقه‌ای در زمان وجود داشته باشد، قوانین عجیب فیزیک کوانتوم درون آن چگونه عمل خواهند کرد؟

حلقه زمانی پس‌گزیده چیست؟

مدلی که در این پژوهش بررسی می‌شود، «منحنی زمان مانند بسته پس‌گزیده» (Postselected Closed Timelike Curve یا P-

(CTC) نام دارد. این مدل، ایده حلقه زمانی را با دو مفهوم مهم در فیزیک کوانتوم یعنی درهم تنیدگی و پس گزینی ترکیب می کند. در این چارچوب فرضی، اطلاعات کوانتومی می تواند وارد مسیری شود که خروجی آن دوباره به نقطه ای در گذشته متصل است. برای توصیف ریاضی این فرایند، پژوهشگران از ساختاری شبیه تله پورت کوانتومی استفاده می کنند؛ با این تفاوت که فقط نتیجه ای پذیرفته می شود که با کل حلقه زمانی سازگار باشد.

پس گزینی به زبان ساده یعنی از میان تمام نتایج ممکن یک آزمایش، تنها نتایجی را نگه داریم که شرط موردنظر ما را برآورده می کنند. برای روشن تر شدن مفهوم، سکه ای را تصور کنید که هزار بار پرتاب می شود. پس از پایان آزمایش، تمام دفعاتی را که سکه خط آمده است، کنار می گذاریم و فقط نتایج شیر را نگه می داریم. در مجموعه باقی مانده، همه نتایج شیر هستند، اما این به آن معنا نیست که هنگام پرتاب، نتیجه سکه را کنترل کرده ایم؛ ما فقط بعد از مشخص شدن نتایج، مواردی را انتخاب کرده ایم که با شرط موردنظرمان سازگار بوده اند.

در مدل P-CTC، از میان همه نتایج ممکن، فقط نتیجه ای پذیرفته می شود که با گذشته و آینده تناقضی نداشته باشد. یعنی اتفاق های داخل حلقه زمانی باید طوری کنار هم قرار بگیرند که یک روایت هماهنگ و بدون تناقض بسازند. به همین دلیل، هر نتیجه ای که باعث ایجاد پارادوکس شود، در این مدل کنار گذاشته می شود. در نتیجه، بعضی از تناقض های معروف سفر در زمان، دست کم در چارچوب ریاضی، اصلاً فرصت رخ دادن پیدا نمی کنند.

بااین حال، میان این مدل نظری و آنچه واقعاً در آزمایشگاه ممکن است، فاصله زیادی وجود دارد. پژوهشگران می توانند پس از پایان یک آزمایش، با جدا کردن نتایج مناسب، بقیه را کنار بگذارند، اما نمی توانند طبیعت را مجبور کنند که از همان ابتدا فقط نتیجه ای خاص و بدون تناقض به وجود آورد. مدل P-CTC دقیقاً بر چنین فرضی تکیه دارد. به همین دلیل، این مدل را نباید راهی عملی برای سفر در زمان دانست. P-CTC در اصل ابزاری نظری است که به فیزیکدانان کمک می کند بررسی کنند اگر یک حلقه زمانی سازگار واقعاً وجود داشت، اطلاعات کوانتومی درون آن چگونه منتقل می شد و چه رفتاری نشان می داد.

پیام چگونه از آینده به گذشته می رسد؟

برای درک این ایده، فردی را در گذشته تصور کنید که دستگاهی برای دریافت پیام آماده کرده است و بخشی از یک سامانه کوانتومی را در حافظه ای ویژه نگه می دارد. سال ها بعد، فرستنده ای در آینده به همان سامانه دسترسی پیدا و پیام خود را در آن ثبت می کند. در مدل فرضی مقاله، این اطلاعات با حرکت از طریق حلقه زمانی در دستگاهی ظاهر می شود که پیش تر در گذشته آماده شده بود.

بخش عجیب ماجرا اینجاست که فرستنده در آینده شاید از قبل بداند گیرنده در گذشته چه پیامی دریافت کرده، زیرا آن رویداد پیش تر در زندگی او اتفاق افتاده است. بنابراین، تصمیمی که در آینده می گیرد، بر همان چیزی اثر می گذارد که قبلاً در گذشته رخ داده بود. به این ترتیب، یک حلقه علت و معلولی شکل می گیرد: پیام دریافت شده در گذشته بر تصمیم فرستنده در آینده اثر می گذارد و همان تصمیم آینده، پیام گذشته را به وجود می آورد.

نمونه ای شبیه به این ایده را در فیلم میان ستاره ای می بینیم؛ جایی که پدر از آینده، پیامی برای دخترش در گذشته می فرستد و همان پیام، به شکل گیری آینده ای کمک می کند که ارسال آن پیام را ممکن می سازد. پژوهشگران این سناریوی پیچیده را با زبان نظریه اطلاعات کوانتومی بررسی کرده اند تا ببینند چنین پیامی چگونه رمزگذاری و منتقل می شود، گیرنده آن را چگونه دریافت می کند و این مسیر فرضی چه مقدار اطلاعات را می تواند از آینده به گذشته برساند.

این پژوهش راهی عملی برای فرستادن پیام به گذشته ارائه نمی دهد، بلکه پرسشی بسیار دقیق مطرح می کند: اگر روزی یک کانال فرضی برای ارتباط با گذشته وجود داشته باشد، چه مقدار اطلاعات می تواند از آن عبور کند و نویز تا چه اندازه پیام را خراب می کند؟

البته این نتیجه به معنای آسان تر بودن واقعی ارسال پیام به گذشته نیست. این برتری فقط درون یک مدل ریاضی دیده می شود که از ابتدا وجود یک حلقه زمانی پس گزیده را فرض می کند؛ پدیده ای که هنوز در طبیعت مشاهده نشده است. بنابراین، دستاورد اصلی مقاله، ساخت دستگاهی برای تماس با دیروز نیست. پژوهشگران فقط نشان داده اند که اگر چنین کانالی وجود داشت، ظرفیت انتقال اطلاعات، میزان خطا و واکنش آن به نویز را چگونه می شد با ریاضیات بررسی کرد.

تنها با دیدن نتیجه نمی توان میان این دو حالت تفاوت گذاشت. در هر دو حالت، دستگاه پیش از وقوع رویداد اطلاعات درستی در اختیار ما قرار داده است. برای اثبات ارتباط با آینده، درست بودن چند پیش بینی کافی نیست؛ باید نشان داده شود که اطلاعات

واقعاً از یک فرایند فیزیکی در آینده وارد دستگاه شده اند، نه اینکه با محاسبه، احتمال یا حتی انتخاب گزینشی نتایج به دست آمده باشند.

در مکانیک کوانتوم، معمولاً نمی توان نتیجه دقیق یک اندازه گیری را از پیش دانست؛ فقط می توان احتمال نتیجه های مختلف را محاسبه کرد. پس گزینی هم آینده را پیشاپیش در اختیار ما نمی گذارد. در یک آزمایش واقعی، ابتدا همه نتایج ثبت و فقط موارد سازگار با شرط موردنظر، انتخاب می شوند. بنابراین، این روش نمی تواند اطلاعات را قبل از آن که در آینده به وجود بیایند، در اختیار ما قرار دهد.

برای نمونه، تصور کنید فردی هزار تاریخ متفاوت را برای وقوع یک رویداد اعلام کند. وقتی رویداد بالاخره رخ داد، همه پیش بینی های اشتباه را پاک کند و فقط تاریخ درست را نگه دارد. آنچه باقی می ماند، شاید شبیه یک پیش بینی خارق العاده به نظر برسد، اما در واقع هیچ اطلاعاتی از آینده دریافت نشده، فقط پاسخ درست پس از معلوم شدن نتیجه، از میان پاسخ های متعدد انتخاب شده است. بنابراین، پس گزینی به تنهایی نه قدرت پیشگویی و نه راهی برای دریافت پیام از آینده می دهد.

اهمیت مقاله دقیقاً در همین نقطه قرار دارد. پژوهشگران یکی از عجیب ترین ایده های فیزیک را به مسئله ای روشن و قابل محاسبه در نظریه اطلاعات کوانتومی تبدیل کرده اند. در فیزیک جدید، اطلاعات تنها محتوای یک پیام نیست، بلکه کمیتی بنیادی است که می توان ظرفیت انتقال، میزان خطا و محدودیت های آن را محاسبه کرد.

این نوع پژوهش ها حتی بدون ساخت یک فناوری واقعی نیز ارزشمند هستند، زیرا مرز نظریه های موجود را آشکار می کنند و درک ما از زمان، علیت و اطلاعات را گسترش می دهند. ممکن است طبیعت هرگز اجازه ارتباط با گذشته را ندهد. حتی شاید نظریه های کامل تر در آینده نشان دهند که رابطه میان علت و معلول پیچیده تر از تصور امروزی ماست. فعلاً تلفنی برای تماس با دیروز در اختیار نداریم، اما این پژوهش یادآوری می کند که زمان هنوز یکی از عمیق ترین و ناشناخته ترین مسائل فیزیک است.