

کوانتوم، جادوی بی‌انتهای علم

به بهانه ۱۴ آوریل، روز جهانی کوانتوم، سفری به شگفت‌انگیزترین قوانین علمی فیزیک کوانتوم داریم که با واقعیت‌های روزمره زندگی در تضاد جدی هستند



سید مصطفی صابری | روزنامه‌نگار

پرونده

تابه حال به این فکر کرده‌اید که چرا بعضی از قوانین علمی این قدر عجیب به نظر می‌رسند که حتی نوابی مثل انیشتین هم زمانی آن‌ها را «غیر قابل باور» می‌دانستند؟ ما با دانستن سرعت و جرم یک جسم می‌توانیم مکان آن را پیش‌بینی کنیم؛ اما تصور این که یک ذره می‌تواند در دو نقطه باشد یا به جای حالتی که در کتاب‌های درسی برای ما توصیف شده به شکل طول موج باشد بسیار مشکل است؛ اساساً فیزیک در مقیاس کوانتومی شگفت‌انگیز است به طور مثال در هم تنیدگی کوانتومی باعث می‌شود با تغییر حالت یک ذره، دیگری در هر جایی از کیهان که باشد تغییر وضعیت بدهد. روز ۱۴ آوریل به عنوان روز جهانی کوانتوم انتخاب شده است تا اهمیت علم کوانتوم و فناوری‌های مرتبط با آن برجسته شود. علت انتخاب این تاریخ به دلیل ارتباط آن با عدد ۱۴/۴ است که به صورت ۴/۱۴ تقریباً به عدد ثابت پلانک (6.626×10^{-34}) اشاره دارد. ثابتی که اساس مکانیک کوانتومی را تشکیل می‌دهد و بر نقش کوانتوم انرژی و خواص ذرات بنیادین تأکید دارد. هر چند ممکن است مکانیک کوانتومی برای بسیاری مفهومی انتزاعی و پیچیده به نظر برسد، اما تأثیر آن در زندگی ما بسیار ملموس است. فناوری‌هایی مثل لیزر، تلفن‌های هوشمند، تصویربرداری پزشکی و اخیراً اشکال جدید اینترنت و رمزنگاری همگی بر اساس اصول مکانیک کوانتومی توسعه یافته‌اند. بهرغم این دستاوردهای ملموس در زندگی روزمره ما، دنیای کوانتوم پر است از شگفتی‌ها. چیزهایی که گاهی چنان عجیب‌اند که یادآور داستان‌های تخیلی می‌شوند، اما حقیقت دارند؛ واقعیت‌هایی که فهم ما از جهان را به شکل اساسی تغییر داده و پایه بسیاری از فناوری‌های امروزی هستند. در پرونده امروز به بهانه روز جهانی کوانتوم شمارا به سفری کوتاه اما هیجان‌انگیز در دنیای علم ببریم؛ جایی که قوانین طبیعت، از تجربه‌های روزمره فراتر می‌روند و گاهی حتی تمام باور ما به جهان را زیر سؤال می‌برند. آماده شگفت‌زده شدن هستید؟



ZENDEGI-SALAM

ضمیمه روزنامه خراسان

دوشنبه ۲۵ فروردین ۱۴۰۴
۱۵ شوال ۱۴۴۶ • ۱۴ آوریل ۲۰۲۵
شماره ۲۱۷۴۲

۲۹۶۲

۸. زمان نسبی | گذشته و آینده کنار هم!

اشتباه نکنید، در حال خواندن یک داستان علمی تخیلی نیستید، واقعاً در فیزیک کوانتومی، زمان ممکن است کاملاً معنی متداول خود را از دست بدهد. حتی در محیط‌هایی مثل نزدیکی سیاه چاله‌ها این عدم قطعیت بیشتر دیده می‌شود، به طوری که گذشته، حال و آینده می‌توانند حالت‌های عجیبی پیدا کنند. چه طور؟ در دنیای کوانتومی، زمان و فضا از یک پیوستار یکپارچه تشکیل شده‌اند. گاهی به دلیل چگالی فوق‌العاده انرژی یا گرانش، زمان با مفهومی غیر خطی رفتار می‌کند. این موضوع در فهم ما از قوانین نسبیت و مکانیک کوانتومی ترکیب شده است. درحالی که ما زمان را به صورت لحظه‌هایی ممتد می‌فهمیم؛ گذشته، حال و آینده در زندگی عادی دقیقاً مجزا هستند. اما فیزیک کوانتومی می‌گوید هیچ قطعیتی در تعریف زمان یا «توالی» وجود ندارد؛ حتی ممکن است بعضی نقاط گذشته و آینده همزمان وجود داشته باشند! در این زمینه یکی از عجیب‌ترین پیش‌بینی‌هایی که در نظریه‌های کوانتوم نسبیت دیده می‌شود، رفتار الکترون‌ها و ذرات زیر اتمی در نزدیکی سیاه چاله‌ها است؛ جایی که زمان می‌تواند چندین مسیر مختلف داشته باشد.

۹. جهان‌های موازی | بی‌نهایت دنیا!

یکی از عجیب‌ترین نظریه‌های مکانیک کوانتومی این است که با هر تصمیم یا اندازه‌گیری، جهان به چندین جهان موازی تقسیم می‌شود؛ در هر کدام یکی از نتایج ممکن رخ می‌دهد. این تفسیر می‌گوید که هر بار چیزی اندازه‌گیری شود (مثلاً برهم‌نهی یک ذره پایان یابد)، واقعیت به چندین نسخه مختلف تقسیم می‌شود. در نتیجه، ممکن است بی‌نهایت جهان وجود داشته باشد که در هر کدام یک نسخه از شما زندگی می‌کند! این مفهوم که هنوز شواهد علمی کافی برای آن وجود ندارد کاملاً برخلاف تجربه زندگی معمول ماست چون ما جهان را یکپارچه و ثابت می‌بینیم، اما نظریه جهان‌های موازی می‌گوید راه حل‌های مختلف ممکن همه به صورت همزمان در جهان‌های متفاوت اتفاق افتاده‌اند. برای درک ماجرا فرض کنید در یک جهان شما سکه‌ای را پرتاب و شیر آورده‌اید؛ در جهان موازی دیگر، همان سکه به خط افتاده است و شما زندگی کاملاً متفاوتی کرده‌اید. فراموش نکنید این نظریه بیشتر یک «تفسیر نظری» است که بر اساس قوانین معین مکانیک کوانتوم (مثل اصل برهم‌نهی) شکل گرفته است.

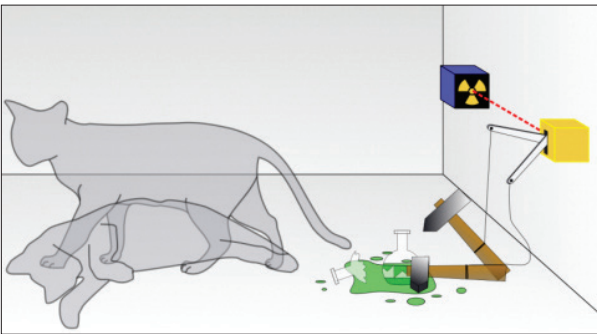


۱۰. اصل تحول احتمال | تله پورت ماده!

در دنیای کوانتوم، هیچ چیز قطعی نیست و همه چیز بر اساس «احتمال» رخ می‌دهد. فرض کنید یک الکترون در یک مسیر حرکت می‌کند. در مکانیک کوانتومی، نمی‌توان گفت دقیقاً این حرکت چگونه ادامه خواهد یافت، بلکه تنها می‌توان احتمال وقوع مسیرهای مختلف را بیان کرد. این موضوع حتی برای خواص ذرات هم صدق می‌کند. مادر دنیای معمولی، انتظار داریم بتوانیم مسیر دقیق یک ماشین، یا وضعیت وزنه روی ترازو را تعیین کنیم. اما در جهان کوانتوم، هیچ قطعیتی وجود ندارد، همه چیز غیر دقیق و احتمالی است. فرض کنید یک توپ را روی میز هل دهید با اطمینان انتظار دارید یک خط مستقیم طی کند، اما در دنیای کوانتوم این توپ می‌تواند جابه‌جایی‌های غیرمنتظره داشته باشد و ناگافل از جای دیگری سر در بیاورد.

۵. گربه شرودینگر | عجیب‌ترین گربه جهان!

سم آزاد شده و گربه می‌میرد، و اگر نه، گربه زنده می‌ماند. چون وضعیت ذره مشخص نیست، گربه هم در وضعیت زنده/مرده باقی می‌ماند! هر چند در زندگی عادی، چیزی یا زنده است یا نیست. ما گربه‌ای را نمی‌توانیم زنده و مرده در نظر بگیریم.



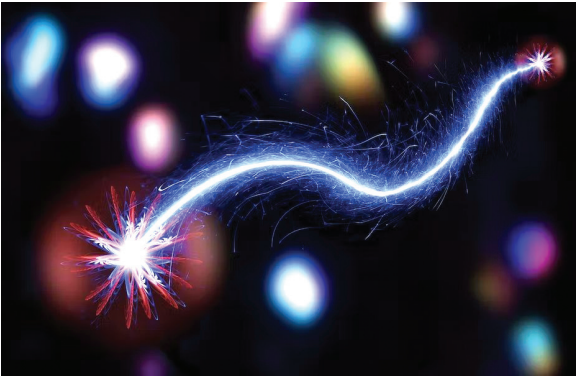
چیزی که اندازه‌گیری نشده باشد، نتیجه مشخصی ندارد. این آزمایش ذهنی به این شکل بود: دستگاهی که سم را آزاد می‌کند به یک ذره کوانتومی حساس است؛ اگر ذره رفتار خاصی کند،

۶. اصل دوگانگی موج / ذره | بالاخره موجی یا ذره؟

سال‌ها در فیزیک و شیمی مدرسه خواندیم که ذرات بنیادی، مانند الکترون‌ها یا فوتون‌ها (ذرات نور) رفتار ذره‌ای دارند و تصور عمومی‌مان هم یک دایره فسقلی بود؛ درحالی که برخلاف چیزی که یاد گرفتیم ذرات بنیادی می‌توانند در ماهیت رفتارشان به طور همزمان ویژگی «ذره‌ای» و «موجی» داشته باشند. به بیان ساده‌تر، گاهی مثل یک جسم کوچک رفتار می‌کنند و گاهی مثل یک موج گسترده شده. خب چه طور می‌شود؟ فرض کنید یک فوتون از میان دو شکاف عبور کند. اگر شما به آن نگاه نکنید، مثل یک موج رفتار می‌کند و در دو شکاف به طور همزمان حضور

۷. انرژی خلأ کوانتومی | خلأ خالی نیست!

اگر تا این جا آمدید و هنوز شگفت‌زده نشدید مطمئن باشید قرار نیست دست خالی بروید چون هنوز با انرژی خلأ کوانتومی آشنا نشدید که طبق آن حتی در خلأ کامل، جایی که هیچ ذره‌ای وجود ندارد، انرژی وجود دارد! این مفهوم به نام «انرژی نقطه صفر» شناخته می‌شود و ناشی از نوسان‌های کوانتومی است. ماجرا از این قرار است که در مکانیک کوانتومی، خلأ هیچ‌گاه کاملاً خالی نیست. ذرات مجازی به طور لحظه‌ای ظاهر و ناپدید می‌شوند، و این فرایند باعث تولید نوعی انرژی دایمی می‌شود که حتی در غیاب تمام ماده‌ها وجود دارد. طبیعتاً ما بر اساس تجربه زندگی روزمره مان خلأ را معمولاً به معنای «هیچ» تصور می‌کنیم؛ فضایی



۱. اصل برهم‌نهی کوانتومی | همزمان در دو نقطه

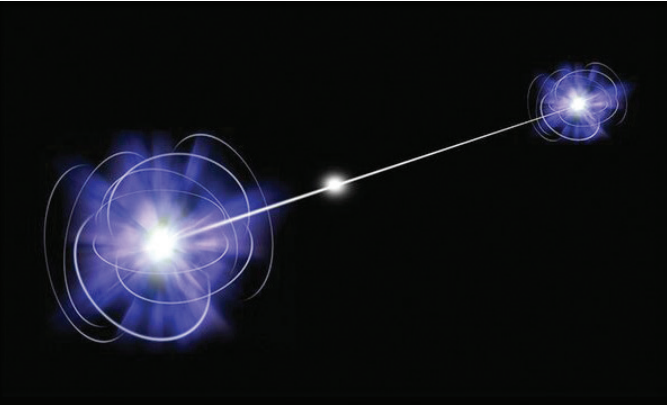
اما در دنیای کوانتوم، الکترون می‌تواند به صورت «برهم‌نهی» همزمان در هر دو طرف باشد. تنها در لحظه‌ای که شما «آن را اندازه می‌گیرید»، مشخص می‌شود که الکترون دقیقاً کجاست. البته تجربه ما از دنیای عادی به ما می‌گوید که یک جسم نمی‌تواند همزمان در دو مکان باشد. مثلاً وقتی لیوانی روی میز است، نمی‌تواند روی زمین هم باشد! اما در دنیای کوانتومی، این کاملاً طبیعی است!

در دنیای کوانتوم، ذرات می‌توانند به لحاظ احتمالات همزمان در چندین حالت مختلف باشند. به این پدیده «اصل برهم‌نهی» گفته می‌شود. یعنی یک ذره (مثلاً الکترون) می‌تواند همزمان در دو مکان مختلف باشد، یا همزمان دو ویژگی مختلف (مثل انرژی بالا و پایین) داشته باشد. برای درک بهتر موضوع فرض کنید یک الکترون در اتاقی وجود دارد. در فیزیک کلاسیک، این الکترون یا در طرف چپ اتاق است یا در طرف راست.

۲. در هم تنیدگی کوانتومی | نادیده گرفتن فاصله

در یکی، آنی در دیگری بازتاب می‌یابد. البته این تغییر حالت، در واقع بستگی به رابطه ذاتی ذرات دارد و به معنای انتقال اطلاعات بین دو نقطه نیست. انیشتین این پدیده را «عمل شیخوار در فاصله» نامید. برای درک بهتر موضوع تصور کنید دو سکه داریم؛ یکی نزد شما و دیگری در قطب جنوب! اگر یکی از سکه‌ها را بچرخانید و به حالت خاصی مثل «شیر» برسد، سکه دیگر هم فوراً خود را با شما وفق می‌دهد و «خط» می‌شود، بدون هیچ پیامی بین آن‌ها!

وقتی ذرات به حالت «در هم تنیده» درمی‌آیند، هر تغییری در یکی از آن‌ها بلافاصله روی دیگری اثر می‌گذارد، حتی اگر فاصله بین دو ذره به اندازه سال‌های نوری باشد! ماجرا پیچیده شد، حق دارید، فرض کنید دو فوتون (ذرات نور) به گونه‌ای تولید شوند که ویژگی هایشان به هم گره بخورد. برای مثال، اگر یکی از آن‌ها «چرخش بالا» داشته باشد، دیگری «چرخش پایین» خواهد داشت. حالا اگر یکی از فوتون‌ها را اندازه‌گیری کنید و ویژگی اش را تغییر دهید،



۳. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ | قطعیتی در مکان و سرعت نیست!

و برعکس. اما در زندگی روزمره ما می‌توانیم هم مکان یک جسم را بدانیم و هم سرعت آن. اما در دنیای کوانتوم این غیرممکن است. برای درک ماجرا فرض کنید بخواهید هم جای دقیق یک پرند روی شاخه را مشخص کنید و هم بدانید دقیقاً از چه سمتی می‌خواهد پرواز کند؛ وقتی به یکی از این دو تمرکز کنید، دیگری از دست می‌رود! جالب نیست؟

طبق این اصل نمی‌توانید مکان و سرعت یک ذره را به طور همزمان با دقت کامل اندازه‌گیری کنید. این اصل می‌گوید وقتی سعی کنید مکان یک ذره زیر اتمی (مثل الکترون) را بسیار دقیق پیدا کنید، اطلاعاتی که درباره سرعت آن به دست می‌آورد، دچار اختلال و عدم قطعیت می‌شود. یعنی هر چه مکان دقیق‌تر باشد، سرعت (تکانه) غیر دقیق‌تر است

۴. تونل زنی کوانتومی | عبور از موانع!

خب آماده‌هایک‌لگجری دیگر هستید؟ تونل زنی کوانتومی می‌گوید ذرات می‌توانند از میان موانعی عبور کنند؛ چیزی که که در زندگی معمولی فقط برای دیوید کاپرفیلد و همکاران شعبده‌بازش ممکن است. اما این اتفاق چطور ممکن است؟ ذرات زیر اتمی، برخلاف چیزهایی که در دنیای روزمره می‌بینیم، گاهی به جای برخورد با مانع، از درون آن عبور می‌کنند! کلمه «تونل زنی» به همین دلیل است؛ ذره با

ساختن تونل کوانتومی، خودش را به طری دیگر می‌برد. تصور کنید که بخواهید از دیوار عبور کنید! این غیرممکن است، چون انرژی کافی برای شکستن مولکول‌های دیوار ندارید. اما در مقیاس کوانتومی، ذرات این کار را بدون نیاز به انرژی کافی انجام می‌دهند. یک مثال ملموس از این موضوع خورشید در حال سوختن است. اگر قانون تونل زنی نبود، همجوشی هسته‌ای در خورشید هیچ‌گاه رخ نمی‌داد!