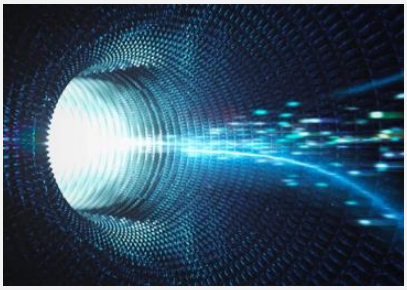

دوشنبه 19 تیر 1402 - 06:13

مفهوم «تونل‌زنی کوانتومی» به فضا می‌رود

یکی از شگفت‌انگیزترین پدیده‌هایی که از زمان ظهور مکانیک کوانتومی کشف شده، «تونل‌زنی کوانتومی» است. پژوهشگران قصد دارند از جدیدترین یافته‌های خود پیرامون این پدیده، برای کشف نحوه تونل‌زنی کوانتومی در سرمای فضا استفاده کنند.

یکی از شگفت انگیزترین پدیده هایی که از زمان ظهور مکانیک کوانتومی کشف شده، «تونل زنی کوانتومی» است. پژوهشگران قصد دارند از جدیدترین یافته های خود پیرامون این پدیده، برای کشف نحوه تونل زنی کوانتومی در سرمای فضا استفاده کنند.

به گزارش ایسنا و به نقل از ادونسد ساینس نیوز، «تونل زنی کوانتومی»(Quantum tunneling)، توانایی یک ذره را برای غلبه کردن بر مانع نشان می دهد که ذره در فیزیک کلاسیک از عهده آن برنمی آید زیرا انرژی لازم را ندارد. این پدیده به دلیل «اصل عدم قطعیت»(Uncertainty Principle) مطرح شده توسط «ورنر هایزنبرگ»(Werner Heisenberg) به وجود می آید که به زبان ساده می گوید سرعت و موقعیت یک سیستم کوانتومی را نمی توان هم زمان به طور دقیق شناخت.

توصیف یک ذره به عنوان موج احتمال به این معناست که همیشه احتمال کمی وجود دارد که ذره بتواند در طرف دیگر یک مانع غیر قابل عبور ظاهر شود. هنگامی که ذره این کار را انجام می دهد، از مانع جهش نکرده، بلکه تونل زنی کوانتومی را از میان آن انجام داده است که بر خلاف تونل زنی سنتی، تأثیری بر خود مانع ندارد.

به عنوان قیاس، کودکی را در حال پرتاب کردن توپ به سوی یک دیوار بلند تصور کنید. کودک انرژی لازم را برای برداشتن دیوار ندارد اما توپ به طرف دیگر دیوار راه می یابد. باد قدرت بیشتری را به توپ نداده و هیچ سوراخی نیز در دیوار وجود ندارد که توپ از آن عبور کرده باشد اما با وجود این، توپ در طرف دیگر دیوار ظاهر شده است.

این مفهوم ممکن است مبهم به نظر برسد اما تونل زنی کوانتومی برای وجود خود حیات ضروری است. اگر هسته های هیدروژن نتوانند از آن برای غلبه بر دافعه الکترومغناطیسی که آنها را از هم دور نگه می دارد استفاده کنند، فرآیندهای هم جوشی گرماهسته ای که انرژی خورشید و هر ستاره دیگری را در کیهان تامین می کنند، امکان پذیر نخواهند بود. بدون تونل زنی کوانتومی، نور ستاره وجود نخواهد داشت و جهان مکانی سرد، تاریک و خالی خواهد بود. این جنبه غیر شهودی طبیعت در مقیاس های کوچک، مانند نیمه رساناها و محاسبات کوانتومی، کاربردهای فراوانی را در فیزیک، شیمی و فناوری دارد.

علاوه بر این، درک تونل زنی کوانتومی می تواند به توسعه مواد و فناوری های جدید براساس اصول مکانیک کوانتومی کمک کند. حتی می توان از آن در حوزه پزشکی برای درمان سرطان استفاده کرد و این پدیده را برای دارورسانی و هدف قرار دادن سلول های تومور به کار برد.

آزمایش تونل زنی کوانتومی

جای تعجب نیست که پژوهشگران برای درک بهتر تونل زنی کوانتومی، تلاش بسیاری می کنند. پژوهش جدیدی که توسط پژوهشگران بخش دینامیک سطوح در «موسسه علوم چندرشته ای ماکس پلانک»(MPI for multidisciplinary sciences) انجام شده است، شکلی از این پدیده کوانتومی را بررسی می کند که «تونل زنی فاز متراکم تقویت شده با رزونانس» نام دارد.

«دیرک شوارتزر»(Dirk Schwarzer) از پژوهشگران این پروژه گفت: در فاز متراکم، مولکول های واکنش دهنده در «چاه های پتانسیل»(Potential wells) قرار می گیرند که توسط موانع از یکدیگر جدا شده اند. برای سیستم های کوانتومی ذرات محدود، تنها حالت های انرژی گسسته خاصی وجود دارند. اگر دو حالت در چاه های پتانسیل همسایه انرژی یکسان داشته باشند، به آن رزونانس می گویند. اگرچه پدیده تونل زنی رزونانس برای انتقال الکترون از موانع در ساختارهای چاه-کوانتوم به خوبی شناخته شده اما پیشتر هرگز در مورد ذرات سنگین حاضر در یک واکنش شیمیایی فاز متراکم مشاهده نشده است.

پژوهشگران در این پروژه، «همپاری» یا «ایزومریزاسیون»(Isomerization) یک مولکول مونوکسید کربن متصل به یک سطح کریستالی کلرید سدیم را بررسی کردند.

تونل زنی کوانتومی، با احتمال یافتن یک ذره در طرف مقابل یک مانع تعریف می شود. پژوهشگران با آزمایش های خود، به طور کاملا تصادفی دریافتند که این احتمال در سیستم های رزونانس در مقایسه با سیستم هایی که در رزونانس نیستند، افزایش می یابد. آنها یک کشف شگفت آور دیگر را نیز به دست آوردند.

شوارتزر گفت: در پایدارترین پیکربندی، مولکول مونوکسید کربن با اتم کربن خود به یون سدیم روی سطح متصل می شود. ما متوجه شدیم که یک پیکربندی وارونه ناپایدار با اکسیژن متصل به یون سدیم نیز وجود دارد. ما یاد گرفتیم که حالت وارونه را آماده کنیم. سپس، سرعت واکنش برگشتی را در مقابل دما اندازه گیری کردیم و از همه مهم تر اینکه جرم واکنش دهنده را با تبادل ایزوتوپی تغییر دادیم.

وی افزود: سرعت واکنش اندازه گیری شده توسط گروه ما، یک وابستگی غیرمنتظره قوی را نشان می دهد که تنها با فرض تونل زنی رزونانس قابل توضیح دادن است.

فرار از چاه کوانتومی

امواج مرتبط با ذرات که «امواج مادی» یا «امواج دوبروی»(de Broglie waves) نامیده می شوند، امواجی هستند که با کاهش جرم ذرات، اندازه آنها افزایش می یابد. به همین دلیل است که اشیای روزمره، رفتارهای کوانتومی و موج مانند را از خود نشان

نمی دهند. جرم آنها خیلی زیاد است و امواج دوبروی آنها خیلی کوچک هستند.
یک بار دیگر، توپی را تصور کنید که کودکی بدون انرژی لازم برای برداشتن دیوار، آن را پرتاب می کند. توپ نمی تواند تونل کوانتومی را به سمت دیگر بکشد زیرا جرم آن، موج احتمالی بسیار کوچکی را ایجاد می کند که نمی تواند به طرف دیگر مانع برود. تئوری های کوانتومی رایج پیش بینی می کنند که هر چه جرم یک ذره کمتر باشد، موج دوبروی آن بزرگ تر است و احتمال تونل زنی کوانتومی ذره از میان یک مانع بیشتر می شود.
این بدان معناست که وقتی تعداد زیادی ذرات سبک تر و ذرات سنگین تر و سد کوانتومی دارید، هر دو ذره تونل زنی می کنند اما ذرات سبک تر، تونل زنی کوانتومی را سریع تر از ذرات سنگین انجام می دهند. آنچه شوارتزر و همکارانش دریافتند، این بود که رابطه بین تونل زنی کوانتومی، در واقع بیش از آنچه پیشتر تصور می شد آشفته است.
شوارتزر ادامه داد: ما در پژوهش های خود به طور شگفت انگیزی نمونه هایی را پیدا کردیم که در آنها، میزان تونل زنی با افزایش جرم به واسطه جایگزینی ایزوتوپی افزایش می یابد. این مشاهدات، نشانه روشنی از رزونانس تونل زنی است که وقوع آن به صورت نامنظم به جرم بستگی دارد.
این گروه پژوهشی اکنون قصد دارند آموخته های خود را در مورد چگونگی تونل زنی در سرمای فضا، به ویژه در ابرهای گاز و غباری که بین ستاره ها وجود دارند، به کار بگیرند و پتانسیل آنها را برای ایجاد مولکول های پیچیده از طریق تونل زنی کوانتومی بررسی کنند.
شوارتزر توضیح داد: این امر به ویژه به واکنش های شیمیایی مرتبط است که در ابرهای بین ستاره ای سرد رخ می دهند. در آنجا دما و انرژی آن قدر پایین است که فرآیندهای «عبور از مانع» سرکوب می شوند و اعتقاد بر این است که تعیین بسیاری از واکنش ها کاملا توسط تونل زنی کوانتومی صورت می گیرد.
حتی پیش از این کاربرد نیز پژوهش حاضر نشان می دهد که تحقیقات کوانتومی از آغاز تا چه اندازه پیشرفت کرده اند و چگونه به کشف شگفتی ها ادامه می دهند.
این پژوهش، در مجله «Natural Sciences» به چاپ رسید.