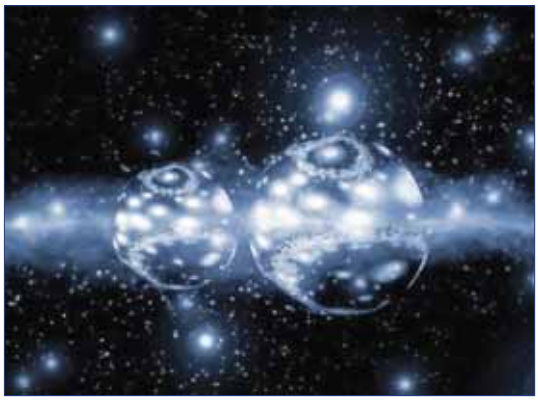
درهم‌تنیدگی کوانتومی چیست؟

عمار ووتا / ترجمه: منیژه رهبر

مقدمه

درهم‌تنیدگـــی کوانتومی اصطلاحی متداول و بســـیار بد فهمیده شده است، اما راه‌هایی برای روشن کردن مفهوم آن وجود دارد. عمار ووتا[1] از دانشـــگاه تورنتو در کانادا آن را شرح می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: درهم‌تنیدگی، رایانـــه کوانتومی، رمزنگاری کوانتومی



درهم‌تنیدگی یک «همبستگیِ کوانتومی» بین ویژگی‌های ذرات اســـت. این روزها معمولاً اخباری را دربارهٔ **رایانه‌های کوانتومـــی**، **رمزنگاری کوانتومـــی** و **چیزهای دیگر کوانتومی** می‌شـــنوید. در مقاله‌های مربوط به این موضوع‌ها به‌طور اجتناب‌ناپذیری به درهم‌تنیدگی ارجاع داده می‌شود که یک ویژگی فیزیک کوانتومی است که وسیله‌های شگفت‌انگیز را امکان‌پذیر ساخته است.

اینشتین درهم‌تنیدگی را «کنش وهمناک از دور» نامید که نامی جاافتاده و به‌صورت فزاینده‌ای پرطرفدار است. شناخت و به‌کارگیـــری درهم‌تنیدگـــی، علاوه بر ســـاخت رایانه‌های کوانتومی بهتر به‌صورت‌های دیگر هم مفید است.

به‌عنوان مثال، می‌توان از آن بـــرای انجام اندازه‌گیری‌های دقیق‌تـــر از **امواج گرانشی** و شناخت بهتر **مواد نامتعارف** اســـتفاده کرد. همچنین به‌صورت ظریفـــی در جاهای دیگر نمایان می‌شود: من چگونگی درهم‌تنیدگی اتم‌هایی را بررسی می‌کنم که به هم برخورد می‌کنند، تا متوجه شـــوم که این موضوع چه تأثیری در دقت ساعت‌های اتمی دارد.

اما درهم‌تنیدگی چیست؟ آیا راهی برای شناخت این پدیدهٔ «وهمناک» وجود دارد؟ سعی می‌کنم با کنار هم گذاشتن دو مفهوم فیزیکی قانون‌های پایستگی و برهم‌نهش کوانتومی آن را توضیح دهم.

قانون‌های پایستگی

قانون‌های پایســـتگی از عمیق‌تریـــن و فراگیرترین مفاهیم موجود در همهٔ فیزیک هســـتند. قانون پایستگی انرژی بیان می‌کند که کل مقدار انرژی موجود در یک دســـتگاه منزوی ثابـــت می‌ماند (گرچه می‌تواند از انـــرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی به گرما و مانند آن تبدیل شـــود). این قانون مبنای کار تمام ماشـــین‌های ما شامل ماشـــین بخار تا ماشین‌های الکتریکی است. قانون‌های پایستگی نوعی گزاره حساب نگه داشـــتن هســـتند که طبق آن می‌توانید مقداری از انرژی را به‌صورت‌های مختلف مبادله کنید، اما مقدار کل آن باید ثابت بماند.

پایستگی تکانه

(تکانه حاصلضرب جرم در ســـرعت اســـت) دلیل آن است که وقتی دو اســـکیت‌باز روی یـــخ به جرم‌های مختلف از هم دور می‌شوند، نفر سبک‌تر با سرعتی بیشتر از فرد سنگین‌تر حرکت می‌کند. مبنای این گزاره معروف که «هر کنش دارای واکنش مســـاوی و در جهت مخالف اســـت». پایستگی تکانه زاویه‌ای اســـت که - با در نظر گرفتن دوبارهٔ اســـکیت‌بازها- اسکیت بازی که می‌چرخد با نزدیک کردن بازوهایش به بدن **می‌تواند با سرعت بیشتری بچرخد.**

گابریلا پاپاداکیس[2] و گیوم چیزرون[3] در مسابقه‌های قهرمانی اروپایی ۲۰۱۹ در بلاروس تأثیر قانون‌های پایستگی را نشان می‌دهند.

مؤثر بودن این قانون‌های پایستگی در گسترهٔ وسیعی از مقیاس‌ها در سراسر عالم، **از سیاهچاله‌های موجود در کهکشان‌های دوردست گرفته** تا ریزترین **الکترون‌های چرخان**، به‌صورت تجربی تأیید شده است.

اضافه شدن کوانتومی

تصور کنید که در حال پیاده‌روی در جنگلی زیبا هستید. به یک دوراهی می‌رسید و باید تصمیم بگیرید که به طرف چپ بروید یا راست. مسیر سمت چپ تاریک و دلگیر به نظر می‌رسد اما معروف است که به منظره‌های زیبایی منتهی می‌شود. در حالی که مسیر سمت راست آفتابی و شیب‌دار است. سرانجام تصمیم می‌گیرید که به‌طرف راست بروید، **در حالی که با حسرت به راهی که در پیش نگرفته‌اید فکر می‌کنید**. در جهان کوانتومی، می‌توانید هر دو مسیر را انتخاب کنید.

برای دستگاه‌هایی که با مکانیک کوانتومی توصیف می‌شوند (یعنی، چیزهایی که به خوبی از گرما و اختلال‌های خارجی منزوی شده‌اند)، قاعده‌ها جالب‌تر است: به‌عنوان مثال، الکترون مثل یک فرفره چرخان می‌تواند در حالتی باشد که در جهت ساعتگرد بچرخد، یا حالت دیگری که در جهت پادساعتگرد می‌چرخد. الکترون، برخلاف فرفره چرخان، می‌تواند در حالت زیر هم باشد. [چرخش ساعتگرد]+ [چرخش پادساعتگرد] + [چرخش ساعتگرد]

حالت‌های دستگاه‌های کوانتومی را می‌توان با هم جمع یا از هم کم کرد. به‌صورت ریاضی، قاعده‌های ترکیب حالت‌های کوانتومی را می‌توان به همان صورت **جمع و تفریق بردارها** بیان کرد. واژه‌ای که برای این ترکیب حالت‌های کوانتومی به‌کار می‌رود برهم‌نهش است. این در واقع چیزی است که باعث اثرهای عجیبی می‌شود که مثل آزمایش دو شکاف، یا دوگانگی موج- ذره، شاید چیزهایی درباره‌شان شنیده باشید.

فرض کنید می‌خواهید الکترونی که در حالت برهم‌نهش [چرخش *ساعتگرد*]+ [چرخش *پادساعتگرد*] است که مجبور کنید که پاسخی معین بدهد. در این صورت الکترون یا در حالت [چرخش *ساعتگرد*] ظاهر می‌شود یا حالت [چرخش *پادساعتگرد*]. احتمال یک نتیجه در برابر نتیجهٔ دیگر را می‌توان (با استفاده از یک کتاب فیزیک خوب) به آسانی محاسبه کرد. شاید کاتورگیِ ذاتی این فرایند شما را، که انتظار دارید عالم رفتاری **کاملاً قابل پیش‌بینی** داشته باشد، ناراحت کند، اما زندگی (که به‌طور تجربی بررسی شده) چنین است.

قانون‌های پایستگی و مکانیک کوانتومی

اکنون بگذارید این ایده‌ها را کنار هم بگذاریم، و قانون پایستگی انرژی را در مورد یک زوج ذره کوانتومی به کار ببریم.

یک زوج ذره کوانتومی (مثلاً اتم) را در نظر بگیرید که با انرژی کل ۱۰۰ واحد انرژی شروع به کار می‌کنند. شما و دوستتان این زوج را از هم جدا می‌کنید، و هر یک از شما یکی از آن‌ها را برمی‌دارید: شما متوجه می‌شوید که اتم شما ۴۰ واحد انرژی دارد. بنابراین با استفاده از قانون پایستگی انرژی، نتیجه می‌گیرید که اتم دوستتان باید ۶۰ واحد انرژی داشته باشد. پس به محض اینکه انرژی اتم خود را بدانید، انرژی اتم دوستتان را هم می‌دانید. شما این موضوع را حتی اگر دوستتان هیچ اطلاعاتی به شما ندهد می‌دانید. و این را حتی اگر در هنگام اندازه‌گیری انرژی اتم خود دوستتان در طرف دیگر کهکشان باشد می‌دانید. هیچ چیز وهمناکی دربارهٔ آن وجود ندارد (پس متوجه می‌شوید که این یک همبستگی است، نه علیّت).

اما حالت‌های کوانتومی یک زوج اتم می‌تواند جالب‌تر باشد. انرژی این زوج را می‌توان به راه‌های مختلف تقسیم کرد (که البته همهٔ آن‌ها با پایستگی انرژی سازگارند). ترکیب حالت یک زوج اتم می‌تواند در برهم‌نهی باشد، به‌عنوان مثال:

[۳۰ واحد اتم دوستتان، ۷ واحد اتم شما] + [۴۰ واحد اتم دوستتان؛ ۶۰ واحد اتم شما]

این یک حالت درهم‌تنیدهٔ دو اتم است. نه اتم شما، و نه اتم دوستتان در این برهم‌نهی انرژی معین ندارد. با وجود این، ویژگی‌های دو اتم به واسطه پایستگی انرژی به یکدیگر همبسته‌اند: مجموع انرژی آن‌ها همواره ۱۰۰ واحد است.

به‌عنوان مثال، اگر انرژی اتم خود را اندازه بگیرید و متوجه شوید که در حالت انرژی ۷۰ واحد است، می‌توانید اطمینان داشته باشید که انرژی اتم دوستتان ۳۰ واحد است. حتی اگر دوستتان هرگز چیزی به شما نگوید. و به خاطر پایستگی انرژی، این موضوع را حتی اگر دوست شما در آن سوی کهکشان هم باشد می‌دانید. هیچ‌چیز وهمناکی در مورد آن وجود ندارد.

قانون‌های پایستگی نوعی گزارهٔ حساب نگه داشتن است که طبق آن می‌توانید مقداری انرژی را به صورت‌های مختلف مبادله کنید اما مقدار کل آن ثابت بماند

پی‌نوشت‌ها

1.Amar Vutha
2. Gabriella Papadakis
3. Guillaume Cizeron

منبع

http:// cosmos mag-zine. com/ physics 17 may 2019.