



نانوفناوری

افسر السادات شیریزی، دبیر آموزش و پرورش ناحیه ۱ یزد

نسرین انصاری، دبیر آموزش و پرورش ناحیه ۱ یزد

اما آیا آن‌ها آتش دانش و حقیقت را پخش خواهند کرد یا طوفان آشوب؟

در طول تاریخ بشریت تسلط بر ابزار سرنوشت ما را تعیین کرده است. هنگامی که هزاران سال پیش تیروکمان به کمال خود رسید بدین معنا بود که می‌توانستیم اشیا را خیلی دورتر از توان دستمان پرتاب کنیم که این کار شکار را مفیدتر و ذخیره (مواد غذایی) را افزایش می‌داد. هنگامی که ۷۰۰۰ سال پیش فلزکاری (استخراج و ذوب فلزات) اختراع شده توانستیم ساختمان‌های بزرگ و محکم را جایگزین کلبه‌های کاهگلی کنیم. به فاصله کمی امپراتورهای مختلفی از جنگل و صحرا سربرآوردند که همگی با ابزار به‌دست آمده از فلزات ساخته شده بودند.

و اکنون در شرف تسلط بر گونه دیگری از ابزار هستیم که بسیار قدرتمندتر از هر چیزی است که تا کنون دیده‌ایم. حالا خواهیم توانست بر اتم‌ها تسلط پیدا کنیم اتم‌هایی که همه چیز از آن‌ها تشکیل شده است. اکنون می‌توانیم مهم‌ترین ابزاری که می‌توان تصور کرد را در اختیار داشته باشیم.

سرانجام، شاید اقتصاد دنیا و سرنوشت ملت‌ها به نانوفناوری بستگی داشته باشد. حدود سال ۲۰۲۰ یا کمی پس از آن قانون مور^۵ دچار تزلزل و لغزش خواهد شد و شاید حتی سرانجام رد شود. اگر فیزیک‌دانان نتوانند جایگزین مناسبی برای ترانزیستورهای سیلیسیمی به منظور قدرتمندسازی رایانه‌ها پیدا کنند اقتصاد جهان دچار فاجعه و اغتشاش می‌شود. راه‌حل این مشکل می‌تواند نانوفناوری باشد. شاید

نانوفناوری ابزار بازی و دستکاری طبیعت - اتم‌ها و مولکول‌ها - را به ما داده است. هر چیزی از این‌ها ساخته می‌شود و در احتمال ساخت چیزهای جدید محدودیتی وجود ندارد.

هورست استومر

کلیدواژه‌ها: نانوفناوری، دنیای کوانتومی، قانون مور

فناوری همه چیز از هیچ

تسلط بر ابزار دستاوردی عظیم است که انسان را از حیوان متمایز می‌سازد. با توجه به اساطیر یونان و روم این فرایند هنگامی آغاز شد که پرومته^۱ که دلش به‌حال بدبختی‌های انسان می‌سوخت آتش را از کوره ولکان^۲ دزدید. اما این دزدی خدایان را به خشم آورد. زئوس^۳ برای تنبیه انسان‌ها حقه جالبی به کار برد. او از ولکان خواست که یک جعبه و یک زن زیبا از فلز بسازد. ولکان این مجسمه را که پاندورا^۴ نام داشت ساخت و به شکل سحرآمیزی به آن زندگی بخشید و از او خواست که هرگز جعبه را باز نکند. اما او یک روز از روی کنجکاوی این کار را کرد و طوفان هرج‌ومرج و بدبختی را در دنیا پراکند و تنها امید را در جعبه باقی گذاشت.

پس رویاها و زجر بشریت هر دو از کوره خدایی ولکان سرچشمه گرفت. امروزه دستگاه‌های کاملاً جدیدی طراحی می‌کنیم که والاترین ابزارهاست و از اتم ساخته شده است.

تا پایان قرن حاضر دستگاهی ساخته شود که تنها خدایان می‌توانند آن را کنترل کنند. دستگاهی که تقریباً از هیچ هر چیزی را به وجود می‌آورد.

دنیای کوانتومی

در این حوزه از فیزیک ریچارد فاینمن برنده جایزه نوبل جلب توجه می‌کند که این پرسش ساده و فریبنده را مطرح کرد که چقدر می‌توان یک دستگاه را کوچک کرد. رایانه‌ها به تدریج کوچک‌تر می‌شدند و چهره صنعت را تغییر می‌دادند. پس واضح است که پاسخ این پرسش می‌توانست تأثیر شگرفی بر جامعه و اقتصاد داشته باشد.

فاینمن در یک سخنرانی پیشگویانه در سال ۱۹۵۹ برای انجمن فیزیک آمریکا تحت عنوان «فضای زیادی در پایین وجود دارد» گفت که «فکر می‌کنم جالب است که در واقع یک فیزیک‌دان بتواند هر ماده شیمیایی که یک شیمیدان ثبت می‌کند را ترکیب کند. شیمی‌دان دستورالعمل می‌دهد و فیزیک‌دان آن‌ها را ترکیب می‌کند. چگونه؟! اتم‌ها را بگذارد جایی که شیمی‌دان می‌گوید و بدین ترتیب ماده را بسازد.» فاینمن به این نتیجه رسیده بود که ساخت دستگاه با استفاده از اتم‌ها امکان‌پذیر است. قوانین جدید فیزیک به وجود آوردن این دستگاه‌ها را سخت می‌کند اما غیرممکن نمی‌سازد.

بنابراین شاید سرانجام اقتصاد جهان و سرنوشت ملت‌ها به اصول غیرشهودی (ضد بصری) و نامأنوس نظریه کوانتومی بستگی داشته باشد. معمولاً فکر می‌کنیم که در مقیاس‌های کوچک‌تر نیز قوانین فیزیک یکسان هستند.

در فیلم‌هایی از والت دیسنی مانند «عزیز من بچه‌ها را کوچک کردم» و «مرد باور نکردنی کوچک» ما این برداشت اشتباه را داریم که انسان‌های کوچک قانون‌های فیزیک را همانند ما تجربه می‌کنند. برای مثال در صحنه‌ای از این فیلم‌ها قهرمانان کوچک ما در یک باران شدید سوار بر مورچه هستند. قطره‌های باران به زمین می‌خورند. قطرات ریزی همانند دنیای ما به وجود می‌آیند. اما در واقع قطرات باران می‌توانند بزرگ‌تر از مورچه‌ها باشند. پس وقتی یک مورچه با یک قطره باران مواجه می‌شود یک کره بزرگ آب می‌بیند. این کره آب از هم نمی‌پاشد زیرا نیروی کشش سطحی مانند توری عمل می‌کند که قطره را یکپارچه نگه می‌دارد. در دنیای ما نیروی کشش سطحی نسبتاً کم است و ما متوجه آن نمی‌شویم. اما در مقیاس یک مورچه کشش سطحی به شکل قابل ملاحظه‌ای عظیم است و باران به قطرات کوچک‌تر تبدیل می‌شود.

(علاوه بر این اگر مورچه را تا به اندازه یک خانه بزرگ کنیم یک مشکل دیگر خواهیم داشت. پاهای مورچه می‌شکند. با بزرگ کردن اندازه مورچه وزن آن بیشتر از توانایی پاهایش

افزایش می‌یابد. اگر اندازه مورچه را با ضریب ۱۰ زیاد کنیم حجم و در نتیجه وزن آن $10 \times 10 \times 10 = 1000$ برابر سنگین‌تر می‌شود. در حالی که قدرت مورچه به ضخامت ماهیچه‌هایش بستگی دارد که فقط $10 \times 10 = 100$ برابر قوی‌تر می‌شود. بنابراین می‌توان گفت مورچه بزرگ ۱۰ برابر ضعیف‌تر از یک مورچه معمولی است. این بدان معنی است که کینگ کونگ^۱ (نام یک گوریل غول پیکر در فیلمی با همین نام) اگر از ساختمان امپایراستیت نیویورک بالا می‌رفت به جای ایجاد ترس و وحشت بین مردم خودش نابود می‌شد.)

فاینمن گفت که این نیروها در مقیاس اتم نیز وجود دارند، مانند ترکیب هیدروژن و نیروهای واندروالسی که توسط نیروهای الکتریکی بسیار کوچک بین اتم‌ها و مولکول‌ها ایجاد می‌شود. بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی این مواد را نیروها تعیین می‌کنند.

برای درک این موضوع مشکل ساده دست‌انداز در بزرگراه‌ها را در نظر بگیرید. در زمستان آب داخل شکاف‌های آسفالت می‌شود. آب با یخ‌زدن منبسط و آسفالت را خرد می‌کند و دست‌اندازهایی در آن به وجود می‌آورد. اما اینکه آب با یخ‌زدن منبسط می‌شود با عقل سلیم همخوانی ندارد. به‌خاطر پیوند هیدروژنی است که آب بر اثر انجماد منبسط شود. شکل مولکول آب شبیه V است که اتم اکسیژن در پایین آن قرار دارد. مولکول آب بار الکتریکی منفی کمی در پایین و بار الکتریکی مثبت در بالا دارد.

بنابراین هنگامی که آب را منجمد و مولکول‌های آب را یک‌جا جمع می‌کنیم آن‌ها منجمد شده و یک شبکه منظم یخ با فضای زیاد بین مولکول‌ها را به وجود می‌آورند. مولکول‌های به‌صورت شش ضلعی در کنار هم قرار می‌گیرند. پس هنگامی که آب یخ‌بزند در آنجا که فضای بیشتری بین اتم‌ها در شش ضلعی وجود دارد منبسط می‌شود. به همین دلیل است که دانه‌های برف نیز شش گوشه دارند و همچنین یخ بر روی آب شناور می‌ماند در حالی که باید در آب فرو رود.

رد شدن از دیوار

علاوه بر کشش سطحی ترکیب‌های هیدروژنی و واندروالسی اثرهای کوانتومی عجیبی هم در مقیاس اتمی وجود دارد. معمولاً ما تأثیر نیروهای کوانتومی را در زندگی روزمره خود نمی‌بینیم. اما نیروهای کوانتومی همه‌جا هستند. برای مثال در واقع چون فضای اتم‌ها بسیار خالی است باید بتوانیم از دیوارها رد بشویم. بین هسته اتم و پوسته‌های الکترون فضای خالی بزرگی وجود دارد. اگر اتم را به اندازه یک استادیوم فوتبال در نظر بگیریم ماده موجود در آن به سختی به اندازه یک ریزگرد می‌شود.

گاهی دانش‌آموزان خود را با یک نمایش ساده شگفت‌زده

هنگامی که
آب را منجمد
و مولکول‌های
آب را یک‌جا
جمع می‌کنیم
آن‌ها منجمد
شده و یک
شبکه منظم یخ
با فضای زیاد
بین مولکول‌ها
را به وجود
می‌آورند



می‌کنم. یک شمارگر گایگر را در مقابل دانش‌آموز قرار می‌دهم و یک چشمه پرتوزای ضعیف را در پشت او می‌گذارم. دانش‌آموز با دیدن اینکه بعضی ذرات از بدن او عبور می‌کنند و شمارگر گایگر را به کار می‌اندازد هیجان‌زده می‌شود انگار او بسیار تهی است، که هست.

اما اگر بسیار تهی هستیم پس چرا نمی‌توانیم از دیوار رد شویم؟! در فیلم روح پاتریک سوایزه توسط رقیبش کشته و تبدیل به روح می‌شود. هر بار که می‌خواهد نامزد سابق خود را لمس کند موفق نمی‌شود. دستانش از هر چیزی عبور می‌کند. او در می‌یابد که وجود جسمی ندارد. به سادگی از شئی جامد عبور می‌کند. در یک صحنه او سر خود را داخل یک مترو در حال حرکت می‌کند. در حالی که سر او داخل قطار است، قطار حرکت می‌کند اما او چیزی حس نمی‌کند (فیلم این را توضیح نمی‌دهد که چرا نیروی جاذبه او را به سطح زمین و حتی مرکز زمین نمی‌کشد. ظاهراً ارواح از هر چیزی عبور می‌کنند به جز زمین).

پس چرا ما نمی‌توانیم مانند ارواح از اشیای جامد عبور کنیم؟! پاسخ این پرسش در یک پدیده غریب کوانتومی است. اصل پردپاولی بیان می‌کند که هیچ دو الکترونی در یک حالت کوانتومی یکسان نیستند. بنابراین هنگامی که دو الکترون تقریباً یکسان بیش از حد به هم نزدیک شوند یکدیگر را دفع می‌کنند و پس می‌زنند. به همین دلیل است که اشیای جامد به نظر می‌رسند که این یک خطای حسی است. واقعیت این است که آن شیء اساساً تهی است.

وقتی روی یک صندلی می‌نشینیم، فکر می‌کنیم که با آن در تماس هستیم. در واقع بالای آن در فاصله‌ای کمتر از نانومتر معلق هستیم و توسط نیروهای الکترونی و کوانتومی صندلی دفع می‌شویم. این یعنی وقتی چیزی را لمس می‌کنیم به هیچ وجه تماس مستقیم با آن برقرار نمی‌کنیم بلکه توسط این نیروهای بسیار کوچک اتمی از آن شیء جدا می‌شویم (این بدین معنی است که اگر ما بتوانیم به شکلی اصل پردپاولی را خنثی کنیم، شاید بتوانیم از دیوار نیز عبور کنیم. البته هیچ کس نمی‌داند که این کار را چگونه انجام دهد).

نظریه کوانتومی نه تنها از برخورد اتم‌ها با یکدیگر جلوگیری می‌کند، بلکه آن‌ها را به هم می‌چسباند و مولکول‌ها را می‌سازد. فرض کنید اتم مانند منظومه شمسی است که سیاره‌ها دور خورشید می‌چرخند. حال اگر دو منظومه شمسی این چنین به هم برخورد کنند، سیاره‌ها با هم برخورد می‌کنند و یا هر کدام در مسیری خواهند رفت که باعث می‌شود منظومه فروپاشد؟ منظومه‌های شمسی هنگامی که با یک منظومه شمسی دیگر برخورد کنند ثبات خود را از دست می‌دهند، به همین شکل اتم‌ها نیز هنگامی که با یکدیگر برخورد کنند فروپاشیده می‌شوند.

درواقع هنگامی که دو اتم خیلی به هم نزدیک می‌شوند، بلافاصله از هم دور و یا با هم ترکیب می‌شوند و مولکول با ثبات و پایداری را می‌سازند. دلیل اینکه اتم‌ها مولکول‌های پایدار و با ثباتی را به وجود می‌آورند این است که الکترون‌ها می‌توانند بین دو اتم به اشتراک گذاشته شوند. معمولاً، این ایده که الکترون بین دو اتم به اشتراک گذاشته شود در صورت پیروی اگر الکترون از قانون نیوتون غیرممکن است. اما براساس اصل عدم قطعیت نمی‌دانید که الکترون دقیقاً کجاست. درواقع بین دو اتمی که آن‌ها را کنار هم نگه داشته سرگردان است. به عبارت دیگر اگر نظریه کوانتومی را از بین ببرید، مولکول‌های شما هنگامی که با یکدیگر برخورد می‌کنند از هم جدا شده و به ذراتی از گاز تبدیل می‌شوند. بنابراین نظریه کوانتومی توضیح می‌دهد که چرا اتم‌ها می‌توانند به یکدیگر بپیوندند و مواد جامد را شکل دهند و این مواد جدا از هم و متلاشی نشوند.

(به همین دلیل است که نمی‌توانیم دنیایی در دنیای دیگر داشته باشیم. بعضی افراد تصور می‌کنند که منظومه شمسی می‌تواند مانند یک اتم در یک منظومه بسیار عظیم باشد. در واقع این آخرین صحنه فیلم «مردان سیاه‌پوش» بود که تمام این عالمی که می‌شناسیم تنها اتمی از توپ‌بازی یک تمدن بیگانه بود. اما براساس قوانین فیزیک چنین چیزی غیرممکن است، زیرا هنگامی که از یک مقیاس به مقیاس دیگر برویم قوانین فیزیکی نیز تغییر خواهند کرد. قوانین اتم‌ها با قوانین حاکم در کهکشان‌ها با یکدیگر متفاوت هستند).

برخی اصول تأثیرگذار بر نظریه کوانتومی از این قرارند:
- شتاب و محل هیچ ذره‌ای را نمی‌توان دقیقاً شناخت.
همیشه عدم قطعیت وجود دارد.
- برخی مواقع ذرات می‌توانند در یک زمان در دو نقطه باشند.

- تمام ذرات ترکیبی هم‌زمان از حالت‌های مختلف هستند. برای مثال، ذرات چرخان می‌توانند ترکیبی از ذراتی باشد که هم‌زمان حول محورهای بالا و پایین می‌چرخند.
- می‌توانید ناپدید و سپس در جایی دیگر پدیدار شوید.

تمام این عبارتها مضحک به نظر می‌رسند. در واقع اینشتین در زمانی گفت: «نظریه کوانتومی هر چه موفق‌تر باشد، مضحک‌تر به نظر می‌رسد. هیچ کس نمی‌داند این قوانین نامأنوس و عجیب و غریب از کجا می‌آیند. این‌ها انگارهایی بدون توضیح هستند. نظریه کوانتومی تنها یک چیز دارد: صحیح است (درست است، وجود دارد). صحت آن در مقیاس یک به ده میلیارد اندازه‌گیری شد که همین باعث شد این نظریه موفق‌ترین نظریه همه دوران باشد.

دلیل اینکه ما این اتفاق باورنکردنی را در زندگی روزمره خود نمی‌بینیم این است که ما از میلیاردها میلیارد اتم تشکیل شده‌ایم آن‌ها به شکلی بر میانگین تأثیر می‌گذارند.

فرض کنید اتم مانند منظومه شمسی است که سیاره‌ها دور خورشید می‌چرخند. حال اگر دو منظومه شمسی این چنین به هم برخورد کنند، سیاره‌ها با هم برخورد می‌کنند و یا هر کدام در مسیری خواهند رفت که باعث می‌شود منظومه فروپاشد؟

← پی‌نوشت‌ها

1. Prometheus
2. Vulcan
3. Zeus
4. Pandora
5. Moore's Law
6. King Kong