درسنامه

روح‌الله خلیلی بروجنی
www.avang.org

درآمدی بر علوم و فناوری نانو

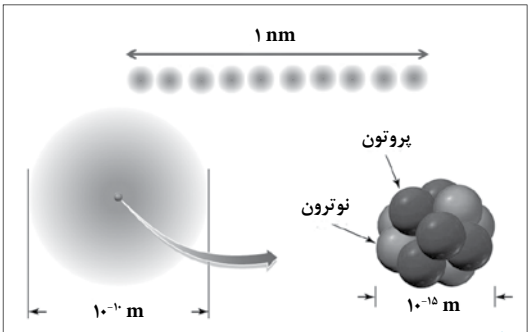
چکیده

علم نانو یکی از جدیدترین شاخه‌های علوم است که به‌دلیل تأثیر شگرفی که در فناوری ایفا می‌کند از توجه روزافزونی در دنیای امروز برخوردار است. به همین جهت، چندین سال است که برخی کشورها در برنامه‌های درسی رسمی و غیررسمی خود تلاش می‌کنند تا دانش‌آموزانشان را با مبانی این علم و همچنین کاربردها و نقش آن در بهبود زندگی آشنا سازند. هرچند بیشتر مخاطبان اصلی این مجله، یعنی معلمان فیزیک کم و بیش با این موضوع آشنایی دارند با این وجود کوشیده‌ایم تا برخی از جنبه‌های علوم و فناوری نانو را که می‌تواند برای آموزش در کلاس درس مفید باشد، به صورت یک درس‌نامهٔ مقدماتی تدوین کنیم.

کلیدواژه‌ها: علوم نانو، فناوری نانو، برنامهٔ درسی، نانو نیروها، میکروسوپ نیروی اتمی.

علوم و فناوری نانو چیست؟

پیشوند نانو (nano) از واژه‌ای یونانی به معنای کوتوله (dwarf) گرفته شده و صرفاً به معنای یک میلیاردم است. پس یک نانومتر (1nm)، برابر یک میلیاردم متر یا 10^{-9} m است. برای اینکه تصوری از این اندازه داشته باشید، می‌توان گفت که یک‌دهمِ نانومتر تقریباً برابر با اندازهٔ یک اتم است. (شکل ۱).



▲ شکل ۱. طول ۱۰ اتم که کنار هم قرار گرفته باشند حدود یک نانومتر می‌شود.

حال این پرسش مطرح می‌شود که چرا نام یک شاخهٔ بنیادی علم که در تمام علوم دیگر کاربرد دارد باید با پیشوند نانو آغاز شود؟ چه چیز ویژه‌ای درمورد این مقیاس طول وجود دارد؟ برای یافتن پاسخ ابتدا به موضوع زیر توجه کنید.

نقطهٔ ذوب طلا (1064°C) را می‌توان در هر کتاب مرجع مربوط به فلزها پیدا کرد و درستی آن را با قرار دادن یک قطعه طلا در کوره‌ای با دمای بالا تأیید کرد. وقتی دما به 1064°C می‌رسد، طلای جامد تغییر حالت می‌دهد و به شکل توپی از طلای مایع درمی‌آید. حال، اگر این آزمایش را دوباره انجام دهیم، اما این‌بار، به‌جای یک قطعهٔ بزرگ طلا، که می‌توانیم آن را ببینیم و به راحتی لمس کنیم، قطعه‌ای که قطر آن تنها چند نانومتر است در کوره بگذاریم و ذوب کنیم (بدیهی است برای انجام این کار به تجهیزات و روش‌های خاص نیاز داریم، اما شدنی است) با شگفتی درمی‌یابیم که دمای ذوب در این مرتبه فقط 427°C است. آیا اشتباه کرده‌ایم؟ آزمایش‌های بیشتر نشان می‌دهند که اشتباهی رخ نداده است. با این آزمایش در واقع درمی‌یابیم که دمای ذوب ذره‌های طلا به اندازهٔ ذره‌ای بستگی دارد که گرم می‌شود. پس چرا در کتاب‌های مرجع دمای ذوب طلا را 1064°C ذکر کرده‌اند؟ برای اینکه این دما برای تمام کاربردهای عملی صحیح است. آزمایش نشان می‌دهد که در گسترهٔ اندازهٔ نانو، هرچه ذره کوچک‌تر باشد، دمای ذوب آن کمتر است. به کمک این مثال می‌توان علوم و فناوری نانو را به درستی تعریف کرد.

علوم نانو شاخه‌ای از علوم است که تغییر در ویژگی‌های مواد را برحسب اندازهٔ آن‌ها اندازه می‌گیرد و توصیف می‌کند. ویژگی‌های فیزیکی هر ماده‌ای، مانند نقطهٔ ذوب طلا، با کم شدن اندازهٔ آن تقریباً ثابت می‌ماند تا اندازهٔ آن ماده به مقیاس نانو کاهش یابد (بسته به نوع ماده و ویژگی فیزیکی مورد اندازه‌گیری،

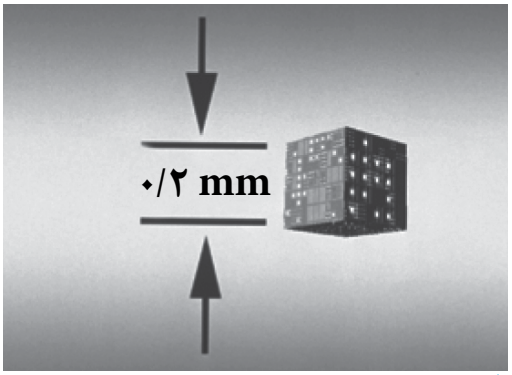
این اندازه می‌تواند حدود ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر باشد). در مقیاس نانو هر ویژگی فیزیکی مورد اندازه‌گیری پیوسته و اغلب به‌طور چشمگیر، با کاهش اندازه تغییر می‌کند. **فناوری نانو در واقع از ویژگی‌های خاصی از مواد بهره‌برداری می‌کند که در مقیاس نانو تغییر می‌کنند و تاکنون تلاش‌های سودمند بسیاری در این زمینه انجام شده است.**

نکتهٔ مهمی که باید از اول بدانید این است که ویژگی‌های فیزیکی تمام مواد، شامل جامدها، مایع‌ها و گازها، در مقیاس نانو تغییر می‌کنند. به‌علاوه، لازم نیست که همهٔ ابعاد یک ماده در مقیاس نانو باشند. برای نمونه، یک نانوذره (مانند ذره‌های کوچک طلا با دمای ذوب کم که پیش‌تر توصیف شدند) در هر سه بعد کوچک است. اگر صرفاً یک بعد ماده‌ای را در مقیاس نانو محدود کنیم در این صورت یک **نانولایه** داریم که لایه‌ای به ضخامت نانو مقیاس است. آزمایش نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی نانولایه‌ها نیز همچون نانوذره‌ها فرق خواهد کرد. برای روشن‌تر شدن موضوع به مثال ساده‌ای توجه کنید.

همان‌طور که می‌دانید آلومینیم یک رسانای بسیار خوب جریان الکتریکی است. سطح آلومینیم، اعم از اینکه به صورت سیم، قوطی نوشابه یا بال هواپیما باشد در هوا به اکسید آلومینیم تبدیل می‌شود. از آنجا که اکسید آلومینیم عایق بسیار خوبی است و رسانای الکتریسیته نیست پس چرا وقتی دو سر دو سیم آلومینیمی را به هم وصل می‌کنیم جریان الکتریکی از یک سیم به سیم دیگر جریان می‌یابد؟ پاسخ این پرسش در بعد فیزیکی پوشش لایهٔ بسیار نازک اکسید آلومینیم نهفته است که ضخامت آن حدود ۱nm است. در این گسترهٔ اندازه، ویژگی‌های الکتریکی اکسید آلومینیم تغییر می‌کند و به یک رسانا تبدیل می‌شود. بنابراین الکترون‌ها آزادانه از یک سیم به سیم دیگر می‌روند. به عبارت دیگر، اکسید آلومینیم به دلیل ابعاد و شکل هندسی‌اش مانند یک رسانا عمل می‌کند تا عایق.

خاستگاه‌های علوم نانو

علوم در مقیاس نانو، به‌طور معمول، مربوط به اندازه‌های ۱nm تا حدود ۱۰۰ nm است. با پیدایش پرتوهای x در اواخر قرن هجدهم، بلورشناسان در مقیاس نانومتر یا کوچک‌تر کار می‌کردند تا اینکه در سال ۱۹۱۲ میلادی آرایش اتمی بلورها برای اولین‌بار مشخص شد. با وجود این مورخان علم می‌گویند علوم و فناوری در مقیاس نانو، در سال ۱۹۵۹ میلادی شروع شد، سالی که **ریچارد فاینمن** (فیزیک‌دان کوانتومی و یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان قرن بیستم) یک سخنرانی با عنوان **فضای زیادی در پایین وجود دارد**، در انجمن فیزیک آمریکا ایراد کرد. فاینمن که به مفهوم مقیاس‌بندی علاقه‌مند بود در آن سخنرانی مجسم کرد که یک بیت اطلاعات را می‌توان در یک نانوفضا (به‌طور دقیق خوشه‌ای از ۱۲۵ اتم) ذخیره کرد. این نظر در آن زمان پیش‌بینی مهم و بی‌نهایت جسورانه‌ای بود. او برآورد کرد که در آن مقیاس از کوچک‌سازی، همهٔ کتاب‌هایی را که در طول تاریخ جهان نوشته شده‌اند می‌توان در مکعبی به ضلع ۰/۲ mm ذخیره کرد (شکل ۲).



شکل ۲. ریچارد فاینمن پیش‌بینی کرد که تمام کتاب‌هایی را که در طول تاریخ جهان نوشته شده است می‌توان در مکعبی به ضلع ۲دهم میلی‌متر ذخیره کرد.

نبوغ فاینمن آن بود که متوجه شد تمام اجسام صرفاً به یک نسبت کوچک نمی‌شوند؛ چیزی که اکنون اساس علوم نانو به‌شمار می‌آید. او پیش‌بینی می‌کرد که با کوچک شدن مواد تا گسترهٔ مقیاس نانو، رفتار آن‌ها طوری تغییر می‌کند که می‌توان آن را به مزیتی تبدیل کرد. او در اواخر سخنرانی‌اش، چالش نهایی را مطرح کرد و گفت: «من از بیان پرسش نهایی باکی ندارم: آیا می‌توانیم اتم‌ها را تا کوچک‌ترین مقیاس به ترتیب دلخواهمان مرتب کنیم؟» در آن زمان، عموم مردم اظهارنظرهای او را نوعی شوخی می‌پنداشتند، چون حرف‌هایی از این دست را به لحاظ علمی تندروی در نظر می‌گرفتند و نه ژرف‌اندیشی. چراکه، برای مثال، در دههٔ ۱۹۵۰ میلادی **اروین شرودینگر**، یکی از بزرگ‌ترین فیزیک‌دانان نظری قرن گذشته، پیش‌بینی کرده بود که ما هرگز قادر نخواهیم بود تنها با یک اتم یا یک مولکول آزمایشی را انجام دهیم. به هر حال، در اواخر دههٔ ۱۹۸۰، کار مستقیم با تک‌اتم‌ها به وسیلهٔ دانشمندان واقعیت یافت، اما متأسفانه فاینمن خودش آن‌قدر زنده نماند تا شاهد این دستاورد ماندگارش باشد.

تأثیر فناوری نانو بر زندگی روزمرهٔ ما

پیش از همگانی شدن برچسب «نانو» در دههٔ گذشته، دانشمندان و مهندسان به شدت درگیر توسعهٔ محصولات مفیدی بودند که در آن‌ها از ذره‌های نانو مقیاس و لایه‌های نازک با ویژگی‌های مخصوص برای هدف‌های گوناگون استفاده شده

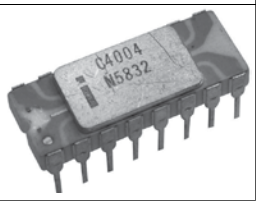
بود. برای نمونه، از نانوذره‌های اکسیدهای روی، سزیم و ایندیم در صنایع الکترونیک و اپتیک و همچنین محصولات بهداشتی (کرم‌های ضدآفتاب و مواد آرایشی) استفاده می‌کردند. افزون بر این در شلوارهای ضدلک و ضدچروک از فناوری الیاف و پوشش‌های نانو استفاده می‌شد.

در جهان رایانه‌ها، نانوفناوری تأثیر مهمی بر ذخیره‌سازی و پردازش داده‌ها داشته است. در اوایل قرن ۲۱، هنگامی که دیسک‌های سخت رایانه‌ای به سرعت به حد نظری چگالی داده‌ها (۲۰ تا ۴۰ گیگابایت در اینچ مربع با فناوری موجود ذخیره‌سازی مغناطیسی) نزدیک می‌شدند، فناوری نانو تغییر انقلابی در طراحی دیسک‌های سخت به‌وجود آورد؛ به این ترتیب که در سطح دیسک لایه‌ای از فلز روتینیم به ضخامت سه اتم (بسیار کمتر از یک نانومتر) در بین دو لایهٔ مغناطیسی بسیار ضخیم‌تر قرار داده شد. با این کار، حوزه‌های مغناطیسی کوچک‌تری در لایه‌های بالا و پایین روتینیم ایجاد شد که پیش از آن دست‌یافتنی نبود و البته پایدار می‌ماند. در نتیجه این امکان فراهم شد که داده‌ها را با چگالی بسیار بیشتری ذخیره کنند که این امر به تولید دیسک‌های سخت چند صد گیگابایتی (GB) و حتی چند ترابایتی (TB) برای رایانه‌های رومیزی و قابل حمل انجامید (شکل ۳). در چند سال آینده حتی این عددها نیز کوچک به‌نظر خواهند رسید، به شرطی که جهش کوانتومی ناشی از نانوفناوری در طراحی دیسک تداوم یابد تا این صنعت را همچنان به پیش براند.

شکل ۳. یک دیسک سخت رایانه که به کمک فناوری نانو قادر است تا چندصد گیگابایت داده را در خود ذخیره کند.

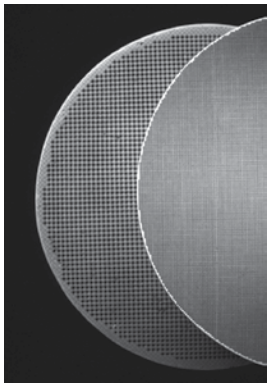
پردازنده یا واحد پردازش مرکزی (CPU) رایانه، تراشه‌ای متشکل از صدها میلیون تا چندین میلیارد ترانزیستور بسیار کوچک و ظریف است که در یک محفظهٔ سرامیکی جای گرفته‌اند. شکل ۴ یکی از پردازنده‌های سریع و هوشمند را نشان می‌دهد که با نام تجاری 3960x - core i 7 در سال ۲۰۱۲ از سوی شرکت اینتل به بازار عرضه شد و حدود ۲/۲۷ میلیارد ترانزیستور با فناوری ساخت ۳۲ نانومتر در ساخت آن به‌کار رفته است. افزون بر این پردازنده‌هایی که در آن‌ها از فناوری ۲۸ و ۲۰ نانومتر برای ساخت ترانزیستورها استفاده می‌شود تا سال ۲۰۱۴ به بازار عرضه خواهد شد. خوب است بدانید فناوری ساخت ترانزیستورهای اولین پردازنده که در سال ۱۹۷۱ و با نام تجاری intel 4004 معرفی شد ۱۰ میکرون بود که تنها از چندین هزار ترانزیستور تشکیل شده بود (شکل ۵).

شکل ۴. پردازنده‌ای با چندین میلیارد ترانزیستور در ابعاد ۳۲ نانومتر. این پردازنده قادر است در هر ثانیه تا حدود ۴ میلیارد دستور را انجام دهد.



شکل ۵. پردازنده‌ای با چندین هزار ترانزیستور در ابعاد ۱۰ میکرون.

یکی دیگر از کاربردهای فراگیر فناوری نانو، در صنعت کاتالیزگر ناهمگن است. کاتالیزگرهای ناهمگن به واکنش‌های شیمیایی روی سطوح و نانوذره‌ها سرعت می‌بخشند. این فناوری نقشی کلیدی در هدایت صنعت چندین تریلیون دلاری در صنایع شیمیایی سراسر جهان داشته است که صدها کاربرد از پالایش نفت گرفته تا تجزیه دودهای سمی خودروها از طریق کاتالیزگرهای مبدل را در برمی‌گیرد (شکل ۶).



شکل ۶. منظره‌ای از یک مبدل کاتالیزگر خودرو. نانوذره‌های پلاتین یا رودیم روی ساختار سرامیکی که شبیه کندوی عسل است، می‌نشینند. هنگامی که دودِ گرم اگزوز از شیارها می‌گذرد، اکسید نیتروژن سمی به گازهای دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شوند.

اهمیت دانش و فناوری در مقیاس نانو آن‌چنان فراگیر و گسترده است که نمی‌توان مرزهای آن را به درستی تعریف و محدودیت‌های آن را آشکارا پیش‌بینی کرد. متخصصان تاریخ علم به خوبی می‌دانند که پیش‌بینی‌های فناوری به‌طور چشمگیری غلط از آب درمی‌آیند. اندکی پس از اختراع ترانزیستور حالت جامد در آزمایشگاه‌های بل، اختراعی که ساخت رایانه‌های جدید را امکان‌پذیر نمود، کارشناسان در شمارهٔ ماه مارس سال ۱۹۴۹ نشریهٔ پاپولار مکانیک (Popular Mechanics) پیش‌بینی

کردند که ماشین‌های محاسبه آینده (رایانه‌ها) در هر ثانیه ۵۰۰۰ عدد را جمع خواهند کرد در حالی که وزن آن‌ها فقط ۱۴۰۰ گرم و تـوان مصرفی آن‌ها ۱۰ وات خواهد بود. امروز هم چه کسـی می‌توانـد با اطمینان بگوید که یک رایانهٔ کوانتومی (که کاملاً با فناوری نانو سـاخته شده باشـد) در آینده قادر به چه کارهایی خواهد بود یا دانش نانو در چه زمینه‌هایی بیشترین تأثیر را خواهد گذاشت؟ علاوه بر ابزارهای محاسـباتی بسیار توانمند، می‌توان به‌راحتی انتظار پیشرفت‌های شـگرفی را در ابزارهای تشخیص پزشکی، حسگرهای شیمیایی، وسایل ارتباطی، روش‌های بازیافت محیطی، مواد ساختمانی، درمان سرطان و... داشت. در این مقایس کوچـک (که در آن می‌توان اتم‌ها و مولکول‌ها را در موارد جدید به‌کار برد) است که امید و هیاهو نانوفناوری را دربرگرفته است. با اطمینان می‌توان گفت که نانوفناوری تأثیر شگرف و چشمگیری بر همهٔ رشـته‌های علمی و همهٔ حوزه‌های اصلی فناوری جدید خواهد داشت. انقلاب نانو آمده است که بماند.

شـکل ۷. در پس زمینهٔ تصویر، اولیـن رایانهٔ دیجیتالی بزرگ مقیاس و محاسـباتی اِتیاک دیده می‌شـود. در این رایانه ۱۸۰۰۰ لامپ خلأ، ۷۰۰۰۰ مقاومـت و ۱۰۰۰۰ خازن به‌کار رفته بود (فیلادلفیا، ۱۹۴۸). در تصویر و روی پس‌زمینه، ویلیام شاکلی (نشسته)، جان باردین و والتر برتین (ایستاده) را در همان سال، اندکی پس از اختراع ترانزیستورهای حالت جامد می‌بینید؛ اختراعی که به سخت رایانه‌های جدید انجامید.

فضای زیادی در پایین وجود دارد

گزیده‌هایی از سـخنرانی ریچارد فاینمن که در سال ۱۹۵۹ در گردهمایی سالانهٔ انجمن فیزیک آمریکا در انستیتوی فناوری کالیفرنیا (کالتک) ایراد شد.

می‌خواهم در زمینه‌ای صحبت کنم که کمتر به آن پرداخته شده اسـت، اما اصولاً جای کار بسیار دارد... نکتهٔ مهم این است که می‌تواند کاربردهای فنی فراوانی داشته باشد. آنچه می‌خواهم درباره‌اش صحبت کنم، مسـئلهٔ به‌کارگیری و کنترل چیزها در مقیاسـی کوچک اسـت. به‌محض اینکه این را می‌گویم، مردم چیزهایی را در مورد کوچک‌سازی اجسام و اینکه چه‌قدر در این زمینه پیشرفت داشته‌ایم بیان می‌کنند.

آن‌ها موتورهـای الکتریکی‌ای را مثال می‌آورند که به اندازهٔ ناخن انگشـت کوچـک شماسـت. و این‌که در بازار وسـیله‌ای وجـود دارد که با آن می‌توان نماز خداوند را روی نوک سـنجاق نوشـت. اما این چیزی نیست؛ این ابتدایی‌ترین و اولین ایستگاه در مسـیری اسـت که می‌خواهم در موردش حرف بزنم. دنیای کوچک شگفت‌انگیزی در پایین وجود دارد. هنگامی که آیندگان، در سـال ۲۰۰۰ به این عصر بنگرند، خواهند پرسـید که چرا تا پیش از سـال ۱۹۶۰کسـی گامی جدی در این مسیر برنداشته بود. چرا امروز نمی‌توانیم تمام ۲۴ جلد دانشنامهٔ بریتانیکا را روی نوک سـنجاق بنویسـیم؟ بگذاریم ببینیم چه لازم داریم. اندازهٔ نوک سنجاق، یک شـانزدهم اینچ است. اگر قطر آن را ۲۵۰۰۰ برابر بزرگ کنیم، مسـاحت نوک سـنجاق برابر با مساحت تمام صفحه‌های دانشـنامهٔ بریتانیکا می‌شود. پس تنها کاری که باید بکنیم آن است که اندازهٔ نوشته‌ها را ۲۵۰۰۰ بار کوچک‌تر کنیم. آیا این کار ممکن اسـت؟ توان تفکیک چشـم حدود ۱۲۰ برابر قطر یکی از نقطه‌های کوچک سایه‌روشن‌های ظریف چاپ در آن دانشنامه است. اگر همین نقطه را ۲۵۰۰۰ بار کوچک کنید، قطر آن ۸۰ آنگستروم، برابر طول ۳۲ اتم در یک فلز معمولی می‌شود. به‌عبارت دیگر، در سـطح هر کدام از نقطه‌ها می‌توان ۱۰۰۰ اتم جای داد. پس با حکاکی نوری می‌توان اندازهٔ هر نقطه را به آسانی تنظیم کرد و جای بحث ندارد که در نوک سـر سـنجاق فضای کافی برای کل دانشـنامهٔ بریتانیکا موجود اسـت... این در مورد نوشتن دانشنامهٔ بریتانیکا روی نوک سنجاق بود؛ اکنون بگذارید تمام کتاب‌های جهان را در نظر بگیریم. در کتابخانهٔ کنگرهٔ آمریکا حدود نه میلیون جلد کتاب، در کتابخانهٔ موزهٔ بریتانیا پنج میلیون جلد کتاب و در کتابخانهٔ ملی فرانسه نیز پنج میلیون جلد کتاب وجود دارد. بدون شـک برخی از آن‌ها رونوشت‌اند؛ پس بگذارید فـرض کنیم که حدود ۲۴ میلیون جلد کتـاب جالب توجه در جهان وجود دارد.

چه می‌شود اگر تمام این کتاب‌ها را در مقیاسی که پیش‌تر به آن اشاره شد، چاپ کنیم؟ چقدر فضا لازم است؟

بدون شـک مسـاحتی حدود یک میلیون نوک سنجاق را اشغال خواهند کرد زیرا به‌جای دانشنامهٔ ۲۴ جلدی، ۲۴ میلیون جلد کتاب داریم. یک میلیون سر سنجاق را می‌توان روی مربعی گذاشـت که در هر ضلع آن ۱۰۰۰ سـنجاق قرار می‌گیرد یا در ناحیه‌ای به مسـاحت سـه یارد مربع تمام اطلاعاتی را که بشر تاکنون در کتاب‌ها ثبت کرده اسـت می‌توان در جزوه‌ای نوشت که در دسـت جا می‌شـود، و به رمز نوشته نشده، بلکه به‌صورت تکثیر سـاده‌ای از تصویرهای اصلـی، حکاکی‌ها و هر چیز دیگر در مقیاسـی کوچک بدون از دسـت دادن توان تفکیک اسـت.

کتابدارمـــان در **کالتک** چه خواهد گفت اگر هنگامی که از این ساختمان به آن یکی می‌رود به او بگوییم که ۱۰ سال دیگر تمام اطلاعاتـــی را که او تلاش می‌کند به ثبت برســـاند یا رد آن‌ها را داشته باشـــد (یعنی ۱۲۰۰۰۰ جلد کتاب در طبقه‌هایی از کف تا سقف، کشـــوهایی پر از کارت، انبارهایی انباشته از کتاب‌های قدیمی‌تـــر) می‌توان تنها در یک کارت کتابخانه نگهداری کرد!؟ برای مثال هنگامی که کتابخانهٔ دانشـــگاه برزیل می‌ســـوزد، ما می‌توانیم رونوشتی از تمام کتاب‌هایمان را بدون زحمت از روی نمونهٔ اصلی در چند ساعت تهیه و در پاکتی به اندازه و وزن هر نامهٔ هوایی معمولی دیگری برای آنها ارسال کنیم.

ریچارد فاینمن (۱۹۸۸ – ۱۹۱۸)

یکـــی از فیزیک‌دانـــان مشـــهور قرن بیســـتم اســـت. وی که در آمریـــکا به دنیا آمد، جایزه نوبل فیزیک را در ســـال ۱۹۶۵ به‌خاطـــر کارهایـــش در زمینـــهٔ نظریـــه‌ای دریافت کرد کـــه بین مکانیـــک کوانتومی و الکترومغناطیـــس رابطه برقرار می‌کنـــد. کتاب‌های درســـی و فیلم‌های ســـخنرانی فاینمن، در زمان خودش مبنای چشم‌اندازهای خارق‌العاده‌ای در بسیاری از زمینه‌های فیزیک گردیده است. مورخان علم باور دارند که علوم و فناوری در مقیاس نانو، در سال ۱۹۵۹، یعنی زمانی شروع شد که فاینمن یک سخنرانی با عنوان «فضای زیادی در پایین وجود دارد»، در انجمن فیزیک آمریکا ایراد کرد.

میکروسکوپ نیروی اتمی AFM

شکل ۸ یک میکروسکوپ نیروی اتمی را نشان می‌دهد که وسیله‌ای اســـت بسیار جامع و در گســـترش علوم و فناوری در مقیاس نانو از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است.

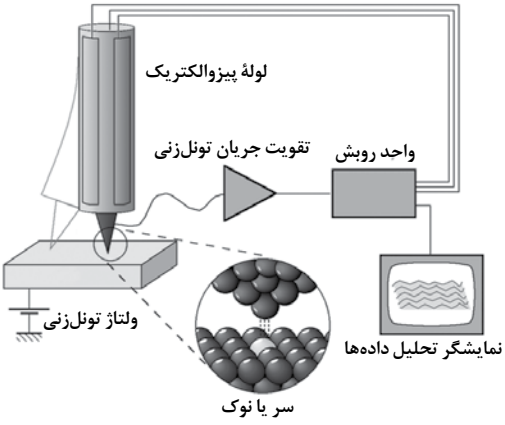
این وسیله امکان می‌دهد تا اجسام در مقیاس نانومتر مورد استفاده قرار گیرند. میکروسکوپ نیروی اتمی قادر است. نیروهایی از مرتبهٔ نانونیوتون تا پیکونیوتون را اندازه بگیرد (شکل ۹)

میکروسکوپ‌های نیروی اتمی به میکروسکوپ‌های کاوشگر روبشی نیز معروف‌اند. اولین کاوشگر روبشی به نام میکروسکوپ تونل‌زنی روبشـــی (STM) در ســـال ۱۹۸۲ توسط دو دانشمند به نام‌های گردبنینگ و هانریش روهر در آزمایشـــگاه پژوهشی IBM در زوریخ سوئیس اختراع شـــد. در سال ۱۹۸۶ آنها برای این اختراع، جایزهٔ نوبل در فیزیک را دریافت کردند. میکروسکوپ تونل‌زنی روبشی با ســـیم فلزی باریکی کار می‌کند که نوک آن خیلی تیز شده اســـت. یک نمونهٔ رسانا، در وسیله قرار می‌گیرد

شـــــکل ۸. یـــک میکروسکوپ نیروی اتمی

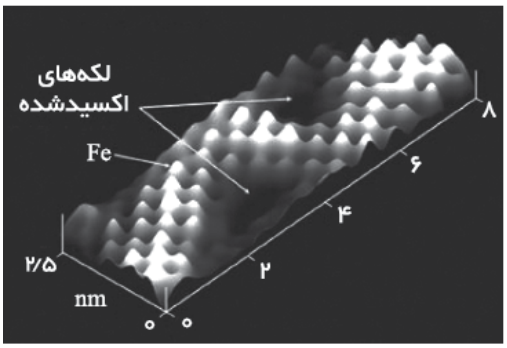
شـــکل ۹. میکروســـکوپ‌های نیروی اتمی قادرند نیروهایی در حدود یک پیکو نیوتون را اندازه بگیرند، که تقریباً برابر نیروی گرانشـــی بین دو شخص متوسط است که حدود ۲۰ متر از هم فاصله داشته باشند.

و ســـیم فلزی به طرف نمونه پایین آورده می‌شود. وقتی سیم و نمونه کمتر از ۱ nm (تقریباً ۱۰ آنگستروم) فاصله داشته باشند. پدیده‌ای موســـوم به تونل‌زنی کوانتوم مکانیکی سبب می‌شود تا الکترون‌ها از نمونه به نوک و برعکس بپرند و این کار یک جریان الکتریکی تولید می‌کند (شـــکل زیر). تغییرات بسیار کوچک در فاصلـــه تغییرات زیادی را در جریـــان به‌وجود می‌آورد. با حرکت نوک در سراســـر ســـطح و به نمایـــش درآوردن جریان، می‌توان تصویر سطح را به‌دست آورد. در شرایط بسیاری، تصویر اتم‌های منفردی از سطح به‌دست می‌آید.



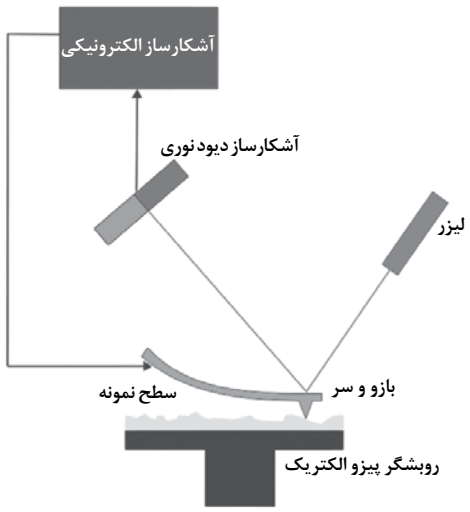
شـــکل ۱۰. طرحی ســـاده شـــده از نحوهٔ کار یک میکروســـکوپ تونل‌زنی روبشی (STM)

شکل ۱۱ تصویر یک STM مربوط به کانی پیریت (FeS_2) را نشـان می‌دهد که کانی مهمی در فرایندهای زیست‌محیطی نظیر فاضلاب کانی اسـیدی اسـت. برآمدگی‌های روی سطح، اتم‌های آهن منفردند و لکه‌های اکسیدشده ناحیه‌هایی هستند که در آنجا واکنش کانی، به‌گونه‌ای، شـبیه به واکنشـی که در محیط‌زیست روی می‌دهد و اسید تولید می‌کند. این نوع پژوهش به شناخت ما از فرایندهای اساسی در مسئله‌های زیست‌محیطی کمک می‌کند. از جمله این‌که چگونه یک توده از ضایعات کانی، اسیدی تولید می‌کند که حیات گیاهان را نابود و آب‌های مجاور را غیرقابل مصرف می‌کند؟



شکل ۱۱. تصویر میکروسکوپ تونل‌زنی روبشی (STM)از کانی پیریت.

چند محدودیت در مورد STM وجود دارد؛ مثلاً اینکه فقط می‌تواند برای نمونه‌هایی به‌کار رود که رسانای الکتریسیته باشند و اسـتفاده از آن برای نمونه‌های غوطه‌ور در یک محلول مشـکل اسـت (اگرچه تا حدودی امکان‌پذیر است.) بینینگ و روهر بعدها میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) را اختراع کردند که راه دیگری را برای نمونه‌های نارسـانا و نمونه‌های درون آب یا سایر محلول‌ها فراهم می‌آورد. به‌جای نزدیک کردن سـیم تیز شـده و نمونه به یکدیگر، یک سامانهٔ فنری در AFM به‌کار گرفته می‌شود. نوک تیز شده (که نوعاً از سیلسیم یا نیترات سیلسیم ساخته می‌شود) به پایین یک سـر انعطاف‌پذیر متصل شده است. وقتی این دو به یکدیگر نزدیک شـوند نیروهای بین نوک و نمونه باعث می‌شوند تا بـازو به طرف بالا (نیروی رانشـی) یا به طـرف پایین (نیروی ربایشی) خم شـود. آشکارساز، حرکت لیزر را به علائم الکتریکی کـه روی رایانه ثبت می‌شـود تبدیل می‌کند. با AFM نیز نظیر STM می‌توان تصویرهایی از سـطح ماده فراهم کرد (شکل ۱۲). AFM را همچنین می‌تـوان برای اندازه‌گیـری نیروهای جاذبهٔ فوق‌العاده ناچیز بین اشیای کوچک مورد استفاده قرار داد. به‌جای روبش بازو / نوک در سرتاسر سطح، می‌توان آن را در یک محل قرار داد. چرخه‌های نزدیک شدن نمونه و نوک به یکدیگر همراه با دور شدن آن‌ها از یکدیگر در یک محل، اطلاعاتی را فراهم می‌آورد که به منحنی‌های نیرو معروف اسـت. در شرایط معینی، AFM ها می‌توانند تصویرهایی در مقیاس مولکولی یا شاید اتمی ثبت کنند و نیروهایی در حد نانو و پیکو نیوتون را تعیین کنند.



شـکل ۱۲. AFMچگونه کار می‌کند (شـکل به مقیاس نیست): نوک تیـز که به یک بازوی قابل انعطاف وصل شـده اسـت یـک نمونه را مورد بررسـی دقیق قرار می‌دهد. وقتی فاصلـهٔ نوک و نمونه به چند ده نانومتر می‌رسد نیروهای الکتروسـتاتیک، واندروالس و نیروهای دیگر نوک را به دور از نمونه (بر هم کنش رانشـی) یا به طرف نمونه (برهم‌کنش ربایشی) منحـرف می‌کنند. حرکت بازو توسـط حرکت باریکهٔ لیزری که از پشـت بازو برمی‌گردد در یک آشکارسـاز حساس به مکان ثبت می‌شود. سپس جابه‌جایی بازور را می‌توان در صورتی که وسـیله مدرج و ثابت فنری بازو مشخص باشد به نیروهای برهم‌کنش نوک نمونه تبدیل کرد.

میکروسـکوپ تونل‌زنی روبشـی STM در سـال ۱۹۸۲ و میکروسـکوپ نیروی اتمی AFM، در سـال ۱۹۸۹ توسـط دو دانشـمند، گرد بینینگ و هانریش روهر در آزمایشـگاه پژوهشی IBM در زوریخ سـوئیس اختراع شـد. بینینگ و روهر در سـال ۱۹۸۶ بـرای اختـراع STM ، جایزهٔ نوبـل در فیزیک را دریافت کردند.

منابع

۱. به علوم نانـو خوش آمدید، انـدرو اس مـدن و دیگـران، ترجمهٔ روح‌الله خلیلی بروجنی و معصومه قاسمی، ویراست دکتر منیژه رهبر، انتشـارات مدرسه، چاپ اول ۱۳۹۱.

2. Science at the nanoscale, Cheen wee shong, Sow chorng Haur, Andrew TS Wee, Pan Stanford Publishing Pte. Ltd, 2010.

3. Nanotechnology for Dummies, Richard Booker and Earl Boysenm Wiliey Publishing Inc, 2005.

4. Nanotechnology 101, John Mongillo, Greenwood Press, 2007.

5. Nanoscale Science: Activities for Grades 6-12, M. Gail Jones, NSTA Press, 2007.