

اتم و ماده

کایل کر کلند

ترجمه‌ی

سارا ایزدیار – علی هادیان

زمنیات ماریار

فهرست مطالب

۷	پیشگفتار
۹	مقدمه
۱۱	۱. فیزیک اتمی و مولکولی
۱۱	مشاهده‌ی اتم‌ها: میکروسکوپ تونلی روبشی
۱۳	جدول تناوبی عناصر
۱۶	اجزاء مختلف اتم
۱۶	باریکه ذرات
۲۲	انرژی هسته‌ای
۲۷	نیروهای مولکولی
۳۱	نانوتکنولوژی
۳۶	سفرهای خارق‌العاده
۳۹	۲. حالت‌های ماده
۳۹	ماده: مجموعه‌ای از اتم‌ها
۴۱	تغییر حالت ماده
۴۳	گاز: عامل حرکت موشک
۴۴	مایع: عامل چرخش چرخ آسیاب
۴۸	جامدات: ساخت پیکره‌ها
۵۰	پلازما: پیش‌رانش، تلویزیون و همجوشی هسته‌ای
۵۳	۳. آب
۵۴	مهم‌ترین مولکول حیات
۵۵	مولکول‌های قطبی
۵۷	بالارفتن از لوله‌ی نازک: اثر موینگی
۵۹	راه‌رفتن حشرات روی آب
۶۰	برف و یخ

باروری ابرها و ایجاد باران

۶۴

۴. مواد

۶۷

شمشیر، هواپیما و سکه: نقش فلزات در تمدن

۶۸

اندازه گیری مقاومت ماده

۷۳

شیشه و سرامیک‌های دیگر

۷۹

پلاستیک: زنجیره‌ی طولانی مولکول‌ها

۸۲

بسپارش (پلیمریزاسیون)

۸۴

الیاف مصنوعی

۸۸

جلیقه‌ی ضد گلوله

۹۱

مواد مرکب (کامپوزیت)

۹۴

پوشش محافظ شاتل فضایی: کاشی‌های مقاوم در برابر حرارت

۱۰۱

پروتز: اندام مصنوعی بدن

۱۰۳

مواد آینده

۱۰۶

۵. سازه‌ها

۱۱۳

آسمان‌خراش‌های قدیمی

۱۱۴

بتن و فولاد

۱۲۱

آسمان‌خراش‌های مدرن

۱۲۶

آسانسورهای فضایی — برج‌های آینده

۱۳۲

نتیجه‌گیری

۱۳۷

واحدهای SI و تبدیل‌ها

۱۴۱

فرهنگ اصطلاحات

۱۴۳

نمایه

۱۷۲

پیشگفتار

بمب‌های هسته‌ای که در سال ۱۹۴۵ پایان جنگ جهانی دوّم را رقم زدند، نمایشی قانع‌کننده و هراسناک از قدرت فیزیک بودند. انفجارهای هسته‌ای که دست‌آورد بهترین ذهن‌های علمی تنی چند از دانشمندان دنیا بودند، شهرهای هیروشیما و ناکازاکی را با خاک یکسان و ژاپن را به تسلیم بی‌چون و چرا واداشتند. بمب اتمی هرچند تأثرانگیزترین مثال بود، اما در طول جنگ جهانی دوّم دنیا را از حضور فیزیک و فیزیکدان‌ها آگاه کرد. از بمب‌های سدّشکن که در مسیر جریان آب حرکت می‌کردند گرفته تا مین‌های شناور زیر سطح دریاها که با خاصیت مغناطیسی بدنه‌ی کشتی‌ها به حضور آن‌ها پی می‌بردند و منفجرشان می‌کردند، جنگ جهانی دوّم به اندازه‌ی هر چیزی دیگری، چالشی برای علم نیز بود.

جنگ جهانی دوّم، همگان، از جمله رهبران نظامی شکاک را قانع کرد که فیزیک علمی ضروری است. بگذریم که دست‌آوردهای این علم به مراتب از کاربردهای نظامی آن فراتر است. اصول فیزیک بر همه‌ی بخش‌های جهان هستی و همه‌ی جنبه‌های زندگانی آدمی حاکم است. گردبادها، موتور اتوموبیل‌ها، عینک‌ها، آسمان‌خراش‌ها، و نیز راه رفتن و دویدن ما انسان‌ها از قوانین علمی تبعیت می‌کنند. اهمیّت فیزیک در زندگی روزمره اغلب تحت‌الشعاع عناوینی چون سلاح‌های هسته‌ای یا واپسین نظریه‌های چگونگی آغاز جهان هستی بوده است. فیزیک در دنیای ما مجموعه‌ای از چند جلد کتاب است که هدف آن کندوکاو طیف کامل کاربردها، وصف تأثیر فیزیک در فناوری و جامعه، و نیز کمک به آنانی است که می‌خواهند طبیعت و رفتار جهان هستی و همه‌ی بخش‌های برهم‌کنش‌کننده‌ی آن را درک کنند. در این مجموعه به شاخه‌های عمده‌ی فیزیک پرداخته شده است که عبارت‌اند از

- نیرو و حرکت
- الکتریسته و مغناطیس
- زمان و ترمودینامیک
- نور و اپتیک
- اتم و ماده

• ذرات و جهان هستی^۱

در هر یک از کتاب‌های این مجموعه نخست مفاهیم بنیادی شرح داده شده و آنگاه کاربردهای گوناگونی که این مفاهیم در آن‌ها به کار رفته‌اند. فیزیک موضوعی ریاضی است، اما در این کتاب‌ها به ایده‌ها پرداخته شده است تا به ریاضیات. تنها معادلات ساده آورده شده‌اند. خواننده به دانش خاصی از ریاضیات نیاز ندارد، هرچند درک جبر پایه می‌تواند به فهم مطلب در چند مورد کمک کند. تعداد عناوین ممکن برای طرح در هر یک از این کتاب‌ها عملاً نامحدود است، اما تنها برای یک کاربرد جا هست و با کمال تأسف کاربردهای جالب باید حذف می‌شدند. با وجود این، هر جلد این مجموعه مطالب متنوعی را کندوکاو می‌کند و همه‌ی جلدها بخشی را به فهرست کتاب‌ها و سایت‌های اینترنتی اختصاص داده‌اند که برای مطالعه‌ی بیشتر لازم است. این بخش‌ها تنها حالت نمونه دارند و به فرصت‌های کندوکاو بسیاری اشاره می‌کنند که در دسترس‌اند.

روزی در کنفرانسی شرکت داشتم که دانشجوی جوانی از گروهی از اساتید پرسید آیا او به آخرین ویرایش یکی از کتاب‌های درسی فیزیک نیاز دارد یا نه. یکی از اساتید پاسخ داد که نه، چون اصول فیزیک سال‌هاست که تغییر نکرده. آنچه استاد گفت در بسیاری از موارد درست است که خود گواهی بر توانمندی فیزیک است. گواه دیگر بر اهمیت فیزیک تعداد حیرت‌آور کاربردهایی است که بر شالوده‌ی این اصول استوارند و این کاربردها با آهنگ خیره‌کننده‌ای رو به افزایش و تغییرند. موتورهای بخار جای خود را به موتورهای احتراق داخلی اتومبیل‌ها و جت‌های جنگنده داده‌اند و سیم‌های تلفن اندک اندک با فیبرهای نوری، ارتباطات ماهواره‌ای، و تلفن‌های موبایل جایگزین می‌شوند. هدف این دوره کتاب‌ها این است که خواننده تشویق شود تا اهمیت فیزیک را در هر سو و در هر تلاشی، چه در گذشته، چه در حال حاضر، و چه در سال‌هایی که از این پس خواهند آمد، ببیند.

۱. در همین مجموعه با ترجمه‌ی اختر رجیبی منتشر شده است.

مقدمه

هوایمای جت اولین بار در طول جنگ جهانی دوم (۴۵-۱۹۳۹) تقریباً چهل سال پس از این که برادران رایت اولین هوایما را ساخته و به پرواز درآوردند مورد استفاده قرار گرفت. با این که موتورهای جت به اندازه‌ی کافی قدرتمند هستند و راندمان بالایی دارند ولی هوایماهای اولیه ناچار به استفاده از ملخ‌های کند و دست و پاگیری بودند که کاملاً شبیه به موتور خودرو توسط موتورهای پیستونی به حرکت درمی‌آمد. عدم استفاده از موتورهای جت از همان ابتدا ربطی به نبود دانش کافی نداشت. مهندسين در همان زمان از جریان‌های سریع مطلع بودند و حتی مثال‌هایی هم در طبیعت برای مطالعه داشتند مثل ماهی مرکب که با استفاده از جریان آب خود را در دریا به جلو می‌راند. دلیل تأخیر در ساخت موتورهای جت این بود که در آن زمان مواد مناسب برای این کار وجود نداشت.

از همان موقع که دموکریتوس از فیلسوفان یونان باستان گفت ماده از ذرات کوچک تشکیل شده این سوال مطرح بود که ذرات ماده چگونه برهم تاثیر گذاشته و باهم ترکیب می‌شوند. با درک درست از ساختار ماده هم می‌توانیم خواص مواد اطرافمان را توضیح بدهیم هم می‌توانیم مواد جدید بسازیم. مثلاً موتور جت در اثر سوزاندن مداوم سوخت آن قدر داغ می‌شود که بیشتر مواد را ذوب می‌کند و به همین دلیل تا مدت‌ها نمی‌شد یک موتور جت ساخت که درست کار کند. بعد که آلیاژهایی با قابلیت تحمل دماهای فوق‌العاده بالا کشف شدند موتور جت هم ساخته شد.

اتم و ماده کتابی است در مورد ماده در ابتدایی‌ترین سطح آن یعنی اتم و اجزای اش و البته همچنین درباره‌ی کاربرد مواد در فناوری و در جامعه. اندازه‌ی مواد می‌تواند خیلی کوچک باشد مثل باریکه ذرات یا خیلی بزرگ باشد مثل قطعات بتنی که هرکدام به دلایل خاص خود اهمیت دارند. ذرات ریز ماده در پزشکی به سوی بافت سرطانی پرتاب می‌شوند تا آن را از بین ببرند و هسته‌های کوچک اتم در مهندسی شکافته می‌شوند تا الکتریسیته تولید کنند یا مهیب‌ترین سلاح‌های زمان خود را پدید آورند.

ماده در مقیاس بزرگ‌تر در یکی از حالات جامد، مایع، گاز و پلاسما (گازی که ذرات آن دارای بار الکتریکی هستند) وجود دارد. ماده می‌تواند بین این حالات مختلف تغییر کند، حالتی که هریک در جای خود اهمیت دارند. اکسیژن در دمای اتاق گاز است و علاوه بر کاربردهای متعدد به‌ویژه در سوختن مواد و در حیات موجودات نقش دارد. اما وقتی بخواهیم آن را جابجا کنیم مقرون‌به‌صرفه نیست چون فضای زیادی اشغال می‌کند. اگر گاز اکسیژن را سرد کنیم به مایع تبدیل می‌شود و چون حجم‌اش خیلی کاهش می‌یابد هزینه‌ی جابجایی آن فوق‌العاده کم می‌شود. تغییر حالت به‌ویژه برای مهم‌ترین ماده‌ی حیات یعنی H_2O ضروری است. این ماده روی کره‌ی زمین به صورت یخ و برف جامد، آب مایع و بخار گازی شکل وجود دارد. نحوه‌ی توزیع H_2O روی کره‌ی زمین برای تمام موجودات زنده مهم است و داشتن درک درست از این ماده‌ی حیاتی برای حفاظت از منابع زمین و بهره‌گیری بیشتر از طبیعت – مثلاً بارور کردن ابرها و ایجاد باران – لازم است.

هرچه دانش ما در مورد مواد بیشتر می‌شود مواد جدیدتری می‌سازیم. در قدیم شمشیر و سکه و بعدها هواپیما را از فلز ساختیم. در قرن بیستم مواد جدید بیشتری آمدند: مثل پلاستیک که به خاطر انعطاف زیاد در همه جا از انواع ظروف تا خودروها کاربرد یافته است. همچنین الیاف جدید با آن درجه از استحکام که می‌توان از آن‌ها جلیقه‌ی ضدگلوله ساخت. مواد ترکیبی جدید هم ظاهر شدند که همزمان واجد مزایای مختلف بودند. چشمگیرترین کاربرد مواد شاید در سازه‌ها باشد. خانه‌های چوبی و سنگی جای خود را به آسمان‌خراش‌های امروزی داده‌اند که اسکلت فولادی دارند، گرچه در مقایسه با برج «آسانسور فضایی» که ماهواره‌ها و فضانوردان را تا ارتفاع ۱۰۰,۰۰۰ کیلومتر به فضا می‌برد لانه مورچه‌ای بیش نیستند. مهندسی‌ن برای تحقق رویای ساخت آسانسور فضایی با همان مشکلی روبرو هستند که استفاده از موتور جت را مدت‌ها به تعویق انداخت: نبود یک ماده‌ی مقرون‌به‌صرفه با مقاومت زیاد و وزن کم. اینکه چه موادی داریم تعیین می‌کند چه چیزهایی می‌توانیم بسازیم. همه‌ی مواد موجود در جهان ترکیب عناصر اصلی هستند. وقتی دانش ما از مواد بیشتر شود می‌توانیم موتورهای قوی‌تر و برج‌های بلندتر بسازیم.

فیزیک اتمی و مولکولی

دانشمندان معمولاً تنها چیزهایی را باور می‌کنند که ببینند و تجربه کنند. ولی آن‌ها وجود اتم را پذیرفتند با این که کسی آن را ندیده است.

وجود اتم‌ها را می‌توان از روش‌های دیگری غیر از مشاهده‌ی مستقیم تأیید کرد. مواد مرکب از ترکیبات مختلف عناصر ساخته شده‌اند و ماده در ابتدایی‌ترین سطح خود از ذرات کوچک تشکیل شده است. نتیجه‌ی تحقیقات دانشمند بریتانیایی به نام جان دالتون (۱۸۴۴-۱۷۶۶) و دیگر شیمیدانان و فیزیکدانانی که به مطالعه‌ی ماده پرداختند این بود که هریک از عناصر شیمیایی اصلی با یک ذره‌ی خاص مرتبط است که به نظر می‌رسید قابل شکستن به اجزاء کوچک‌تر نیست و احتمالاً کوچکترین قطعه‌ی ممکن ماده است. به همین دلیل با اقتباس از کلمه‌ی یونانی *atomos* به معنی تقسیم‌ناپذیر، اتم نامیده شدند.

بعدها وجود اتم تأیید شد و با پیشرفت تجهیزات و اندازه‌گیری‌ها دانشمندان به‌زودی موفق به انجام اکتشافات زیادی در مورد اتم‌ها شدند، از جمله این که اتم‌ها درحقیقت تقسیم‌پذیر هستند. فیزیک در سفری هیجان‌انگیز انسان را به قلمرو اتم‌ها برده است: اتم‌ها از ذرات به‌مراتب کوچک‌تری تشکیل شده‌اند که می‌توانند بصورت باریکه‌های بسیار مفیدی ظاهر شوند. به‌علاوه اتم‌ها می‌توانند به اجزاء کوچک‌تر شکسته شده و با تولید مقادیر زیادی انرژی مثل شمشیری دولبه هم برای جنگ و ویرانی و هم در خدمت اهداف بشردوستانه مورد استفاده قرار گیرند. دنیای بسیار کوچک اتم‌ها و مولکول‌ها هنوز به‌طور کامل درک نشده است ولی با دستیابی روزافزون فناوری به ابعاد کوچک‌تر، اهمیت آن روزبه‌روز افزایش می‌یابد. امروزه فیزیکدانان می‌توانند حتی تصویری از یک اتم ارائه بدهند.

مشاهده‌ی اتم‌ها: میکروسکوپ تونلی روبشی

اشیاء یا از خود نور گسیل می‌کنند یا نور گسیل شده از منابع دیگر را منعکس کرده و به این ترتیب قابل رؤیت می‌شوند. فقط به این دو طریق می‌توان توسط نور

معمولی اشیاء را مشاهده کرد. اتم‌ها کوچک‌تر از آن هستند که بتوانند به تنهایی نور زیادی را گسیل یا منعکس کنند و حتی قدرتمندترین میکروسکوپ‌های نوری نیز قادر نیستند برای مشاهده‌ی اتم‌ها تنظیم شوند. اندازه‌ی اتم‌ها معمولاً در مقیاس نانومتر (nm) بیان می‌شود که هر نانومتر برابر با یک میلیاردم متر است. هر اتم کربن 0.15 نانومتر قطر دارد، آنقدر کوچک که میلیون‌ها از آن در نوک مداد جای می‌گیرند. اتم هسته‌ای دارد حاوی ذراتی به نام پروتون. هر اتم با تعداد پروتون‌های درون هسته شناخته می‌شود. هر عنصر دارای اتم منحصر به خود است. در قسمت «بیشتر بدانید» تحت عنوان «جدول تناوبی عناصر» به اطلاعات بیشتری در مورد عناصر دسترسی خواهید داشت.

ابزاری به نام میکروسکوپ تونلی روبشی یا STM قادر به تشخیص و شناسایی یک اتم منفرد است اما برای این کار از نور استفاده نمی‌کند. این میکروسکوپ دارای یک حسگر سوزن‌مانند بسیار کوچک است که تقریباً هم‌سطح ماده‌ی مورد مطالعه قرار می‌گیرد اما همان‌طور که در شکل ۱.۱ نشان داده شده با سطح تماس ندارد. نوک این حسگر چنان کوچک و تیز است که تنها یک یا دو اتم در نوک آن جای می‌گیرند. حسگر مزبور هادی الکتریسته است و بخش مهمی از فناوری این دستگاه محسوب می‌شود. یک ولتاژ کوچک به حسگر متحرک اعمال شده و موجب می‌شود الکترون‌ها بین سطح ماده و حسگر پرش کنند. الکترون‌ها ذراتی با بار منفی‌اند و همان‌طور که در فصل‌های بعدی خواهیم گفت جزو اجزای تشکیل‌دهنده‌ی اتم‌ها هستند. الکترون‌های متحرک تشکیل جریان الکتریکی می‌دهند، خواه مثل مدارهای آشنای خانگی در سیم مسی حرکت کنند خواه بین یک حسگر نوک‌تیز و سطح ماده. این جریان را می‌توان به دقت اندازه‌گیری کرد. چگونه الکترون‌ها بین حسگر و سطح ماده پرش می‌کنند؟ از آنجا که حسگر با سطح تماس ندارد فاصله‌ی کوچکی بین این دو وجود دارد. این فاصله بسیار کوچک است: تقریباً برابر یک صد هزارم ضخامت ورق کاغذ. همین فاصله‌ی اندک نیز برای جریان مانع محسوب می‌شود. اگر ولتاژ اعمالی به اندازه‌ی کافی بزرگ باشد الکترون‌ها در این فاصله پرتاب می‌شوند و جرقه ایجاد می‌کنند، مثل زمانی که ولتاژ $20,000$ ولت به دهانه‌ی شمع خودرو اعمال می‌شود. اما این جرقه می‌تواند باعث تخریب مواد حساس شود. در میکروسکوپ تونلی روبشی ولتاژ اعمالی کم است ولی الکترون‌ها هم‌چنان و بدون اینکه جرقه ایجاد کنند طی پدیده‌ای نامتعارف به نام «تونل‌زنی» بین حسگر و سطح ماده جابجا می‌شوند. این پدیده در

جدول تناوبی عناصر

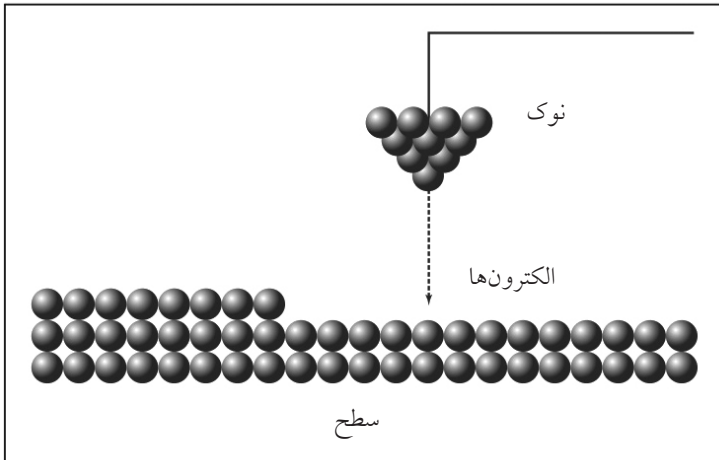
در اواخر قرن ۱۸ و اوایل قرن ۱۹ دانشمندان متوجه شدند که تعداد کمی از مواد، اجزای تشکیل دهنده‌ی بنیادی مواد دیگر هستند - یعنی تمام مواد مرکب و مخلوط از این مواد بنیادی تشکیل شده‌اند و آن‌ها را عنصر نامیدند. همچنین دانشمندان متوجه شدند که مواد را می‌توان براساس ویژگی‌هایشان به گروه‌های مختلفی تقسیم‌بندی کرد. برخی مواد در دمای اتاق جامد هستند و برخی دیگر گاز یا مایع. برخی مواد مانند هیدروژن، تمایل شدیدی به واکنش با دیگر مواد دارند و برخی مواد نیز مانند نیتروژن، پایدارتر هستند. در سال ۱۸۶۸ شیمیدان روسی مندلیف (۱۸۰۷-۱۸۳۴) روشی را برای طبقه‌بندی مواد به شکل یک جدول یافت، به این ترتیب که مواد با ویژگی‌های مشابه را در یک ستون قرار داد. بعد دید در جدول ویژگی جالبی ظاهر شد. با حرکت در سطرها و جدول، بعضی از خواص مهم مثل تمایل به واکنش به روشی ویژه با دیگر مواد، به‌طور متناوب ظاهر می‌شوند. مندلیف جدولی شامل ۶۲ عنصر که تا آن زمان شناخته شده بود رسم کرد. این همان جدول تناوبی عناصر است «جدول تناوبی عناصر را در صفحه ۱۴۶ و ۱۴۷ ببینید».

مندلیف توانست به مجموعه‌ی به‌ظاهر تصادفی عناصر که جهان را تشکیل می‌دهند نظم ببخشد. همچنین با استفاده از این جدول توانست پیش‌بینی‌های مهمی انجام دهد. مندلیف براساس جاهای خالی جدول وجود عناصر دیگری را که در آن زمان ناشناخته بودند پیش‌بینی کرد. عناصر مزبور باید در جاهای خالی جدول قرار بگیرند و دارای خواص مربوط به ستون خود باشند. معلوم شد که مندلیف درست فکر می‌کرده. به‌عنوان مثال او وجود عنصر ژرمانیم را پیش‌بینی کرد که بعداً در سال ۱۸۸۶ کشف شد.

در حال حاضر تعداد عناصر به ۱۱۶ رسیده است. نود تا از آن‌ها در طبیعت یافت شده‌اند و بقیه اغلب تنها در آزمایشگاه و برای مدت زمان کوتاهی ساخته می‌شوند یا در ابرنواخترها (رویدادی انفجاری که در پایان عمر برخی ستارگان بزرگ اتفاق می‌افتد) یافت می‌شوند. زمانی که مندلیف جدول خود را ارائه کرد دانشمندان تصور می‌کردند اتم‌ها ذراتی سخت و تقسیم‌ناپذیرند. اوایل قرن بیستم بود که فهمیدند عدد اتمی که با «۱» برای هیدروژن شروع می‌شود، نشان دهنده‌ی تعداد ذراتی به نام پروتون در هسته‌ی اتم است.

جدول تناوبی مندلیف پیشرفت مهمی بود که سرانجام سرنخ‌های متعددی در مورد ویژگی‌ها و خواص اتم‌ها ارائه کرد. ما در این فصل مستقیماً به جدول تناوبی عناصر نمی‌پردازیم ولی کار مهم مندلیف سفری بود زود هنگام و راه‌گشا به قلمرو مولکول‌ها و اتم‌ها.

شاخه‌ای از فیزیک به نام مکانیک کوانتومی توضیح داده می‌شود که رفتار ذرات بسیار کوچکی مثل الکترون را شرح می‌دهد. الکترون‌ها مطابق مکانیک کوانتومی



شکل ۱۰۱ الکترونها از اتم واقع در نوک حسگر STM به درون اتم‌های سطح تونل می‌زنند. جریان الکترونها به فاصله‌ی نوک حسگر با سطح بستگی دارد و بدین ترتیب نقشه‌ی ماده در مقیاس اتمی با حرکت حسگر روی سطح ترسیم می‌شود.

موقعیت مشخصی ندارند و می‌توانند از درون فواصل کوچک تونل بزنند. این همان چیزی است که در STM وقتی حسگر (پروب) درست بالای ماده حرکت می‌کند اتفاق می‌افتد و در نهایت کل سطح پوشش (اسکن) می‌شود.

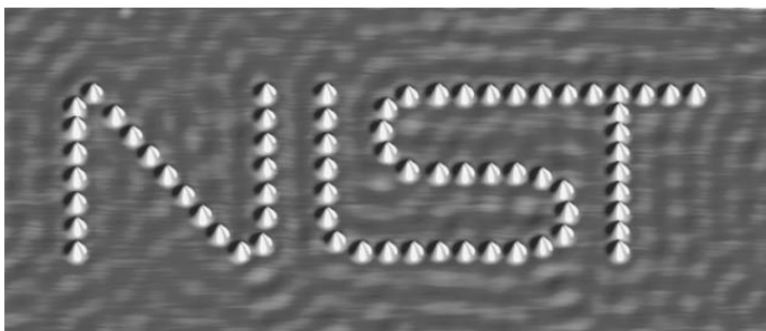
شدت جریان تونل‌زنی به فاصله‌ی بین نوک حسگر و سطح ماده بستگی دارد. درحقیقت STM می‌تواند این فاصله را با سنجش تغییرات جریان در طول اسکن اندازه‌گیری کند. اما در STM از نظر عملی آسان‌تر است نوک حسگر را بالا و پایین کنیم طوری که جریان و در نتیجه فاصله ثابت بماند. با اندازه‌گیری میزان بالا یا پایین کردن حسگر، سطح ماده اسکن و نقشه‌برداری شده و ویژگی‌های آن تا مقیاس اتمی آشکار می‌شود. این دستگاه چنان حساس است که می‌تواند تک‌تک اتم‌ها را تشخیص دهد.

سطح مواد اهمیت بسیار زیادی دارد. ماده‌ی جامد از طریق سطحش با گازها، مایعات و جامدات دیگر تماس و تعامل دارد و بنابراین در سطح است که اغلب واکنش‌ها اتفاق می‌افتند. STM امکان مطالعه‌ی سطوح مختلف و فهم چگونگی شکل‌گیری آن‌ها را برای فیزیکدانان فراهم می‌کند. همچنین به آن‌ها در درک اتفاقاتی که در طول واکنش با مواد دیگر رخ می‌دهد کمک می‌کند. این دانش به‌ویژه در صنعت الکترونیک اهمیت زیادی دارد زیرا مدارات فوق‌العاده کوچک

۱: فیزیک اتمی و مولکولی ۱۵

و میکروچیپ‌ها در این صنعت برای استفاده در دستگاه‌های کم‌حجمی مثل کامپیوترهای لپ‌تاپ و تلفن‌های همراه ساخته می‌شوند. اولین دستگاه STM در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ به‌کار گرفته شد و چنان مورد پذیرش مجامع علمی قرار گرفت که در سال ۱۹۸۶ گرت بینیش (-۱۹۴۷) و هاینریش رور (۱۹۳۳-۲۰۱۳) به دلیل زحمات‌شان در توسعه‌ی آن مشترکاً موفق به دریافت جایزه‌ی نوبل فیزیک شدند.

توانایی STM تنها به تعیین مکان قرارگیری اتم‌ها محدود نمی‌شود. اگر حسگر به اندازه‌ی کافی به سطح نزدیک شود گاهی یکی از اتم‌های متعلق به سطح ماده به اتم نوک حسگر می‌چسبد. حال اگر حسگر را روی سطح بلغزانیم اتم هم با آن حرکت می‌کند و وقتی نوک حسگر عقب کشیده شود اتم رها شده و می‌افتد. با این روش می‌توان اتم‌ها را در جای دلخواه قرارداد و ساختارهای دقیق اتمی به‌وجود آورد. از آنجا که اشیاء از میلیون‌ها میلیون اتم تشکیل شده‌اند به نظر نمی‌رسد ساختن آن‌ها به صورت اتم به اتم عملی باشد. اما ساخت اشیاء فوق‌العاده کوچک به این روش ممکن است و قبلاً هم انجام شده. شاید در آینده‌ی نه‌چندان دور قطعات الکترونیکی چنان کوچک شوند که لازم شود مدارات را به‌روش اتم به اتم بسازیم. از طرف دیگر بسیاری از طراحی‌های اتمی که تاکنون با STM انجام شده‌اند به‌عنوان شاهکار هنری طبقه‌بندی می‌شوند - که البته فقط با کمک خود STM «قابل مشاهده» هستند.



شکل ۲۰۱ دانشمندان انستیتوی ملی استانداردها و فناوری (NIST) با استفاده از اتم‌های کوبالت مخفف نام خود را روی یک سطح مسی ایجاد کرده‌اند. عرض این سازه 0.000004 سانتیمتر است.

باریکه ذرات

یکی از اولین روش‌های تاثیر اتم و اجزایش بر جامعه هنوز هم مهم‌ترین آن‌ها به‌شمار می‌رود. یک ذره به‌تنهایی چنان کوچک است که اثر قابل توجهی ندارد ولی جریان ذرات در حال حرکت – باریکه ذره – می‌تواند اثرات زیادی داشته باشد. باریکه‌ها در کشف اجزاء اتم نقش مهمی داشتند و اهمیت خود را در تحقیقات فیزیکی و فناوری‌های متعدد همچنان حفظ کرده‌اند.

اتم سه ذره‌ی مختلف دارد. در مرکز آن هسته قرار دارد که حاوی پروتون‌های با بار الکتریکی مثبت و نوترون‌های از نظر الکتریکی خنثی است. این هسته‌ی کوچک و متراکم توسط الکترون‌های دارای بار منفی احاطه شده است. معمولاً

اجزاء مختلف اتم

اولین اجزاء اتمی کشف‌شده الکترون‌ها بودند. در سال ۱۸۹۷ فیزیکدان بریتانیایی جان تامسون (۱۸۵۶-۱۹۴۰) حین کار با لامپ خلاء متوجه انتشار باریکه‌ای از ذرات شد. او این ذرات را «جسم کوچک» نامید. لامپ خلاء محفظه‌ای است شیشه‌ای که در آن همه یا بخش عمده‌ی هوا تخلیه شده است. وجود خلاء ضرورت داشت زیرا این ذرات چنان کوچک و سبک بودند که مولکول‌های هوا به راحتی می‌توانستند آن‌ها و در نتیجه باریکه را پراکنده کنند. چیزی نگذشت که این ذرات دارای بار منفی الکترون نامیده شدند. در سال ۱۹۰۶ تامسون برای تلاش‌های خود در زمینه‌ی الکترون‌ها و الکتریسیته موفق به دریافت جایزه‌ی نوبل فیزیک گردید.

وجود الکترون‌ها نشان داد که اتم از اجزاء کوچک‌تری تشکیل شده است. فیزیکدانان تا مدت‌ها تصور می‌کردند اتم ابری است با بار مثبت که الکترون‌های کوچک درون آن قرار دارند. ارنست رادرفورد (۱۸۷۱-۱۹۳۷) فیزیکدان نیوزیلندی / بریتانیایی ثابت کرد این تصور اشتباه است. رادرفورد در سال ۱۹۱۱ آزمایشی ترتیب داد که در آن باریکه‌ی از ذرات دارای بار مثبت به نام ذرات آلفا به سمت یک ورقه‌ی نازک طلا شلیک می‌شدند؛ ضخامت ورقه‌ی طلا تنها به چند اتم محدود می‌شد. انتظار می‌رفت بارهای اتمی برخی از ذرات را اندکی منحرف کنند اما رادرفورد و همکارانش در کمال تعجب مشاهده کردند هر از گاهی ذره‌ای از باریکه به سمت عقب بازتابیده می‌شود! رادرفورد استدلال کرد که تنها یک شیء متراکم دارای بار مثبت قادر است جهت حرکت ذرات آلفا را معکوس کند. به این ترتیب هسته‌ی اتم کشف شد، هسته‌ای دارای بار الکتریکی مثبت.

تنها چند سال بعد رادرفورد موفق به شناسایی بار مثبت در هسته شد. او با استفاده از یک تفنگ با گلوله‌های ذرات آلفا باریکه‌ی را به سمت عناصر مختلفی از قبیل فلونور،

سديم، و آلومينيم شليک کرد و ذراتی که به نظر می‌رسید هسته‌های هیدروژن باشند را شناسایی کرد. این‌ها همان پروتون‌ها هستند - در حالت عادی هسته‌ی هیدروژن تنها از یک پروتون تشکیل شده است. رادرفورد نام پروتون را از کلمه‌ی یونانی پروتوس به معنی «نخستین» و با استناد به رتبه‌ی نخست درجه‌ی اهمیت آن اقتباس کرد (نام کلمه‌ی پروتین نیز برگرفته از همین کلمه‌ی یونانی است و به مولکول‌های مهم زیستی اشاره دارد).

پس از کشف پروتون زمان نسبتاً زیادی طول کشید تا بالاخره در سال ۱۹۳۲ فیزیکدان بریتانیایی چدویک (۱۸۹۱-۱۹۷۴) موفق به کشف نوترون گردید. به نظر می‌رسید هسته‌های اتمی نسبت به آنچه وجود پروتون‌ها پیش‌بینی می‌کرد سنگین‌تر باشند و به این ترتیب دانشمندان وجود ذره‌ی دیگری را در هسته پیشنهاد کردند. مشکل این بود که این ذره دارای بار الکتریکی نیست و بنابراین تشخیص آن دشوار است زیرا فیزیکدانان اغلب با اعمال میدان‌های مغناطیسی بود که باریکه‌ی ذرات را مورد بررسی قرار می‌دادند. چدویک در مجموعه‌ای از آزمایش‌ها موفق به شناسایی «تابشی» گردید که از ذرات خنثی با جرمی اندکی بزرگ‌تر از جرم پروتون تشکیل می‌شدند. کلمه‌ی نوترون نشان‌دهنده‌ی خنثی بودن الکتریکی این ذره است. در سال ۱۹۳۵ چدویک برای کشف خود موفق به دریافت جایزه‌ی نوبل فیزیک گردید.

تصویر جدید اتم سؤال عجیبی را در ذهن به‌وجود آورد. در هسته‌ی یک اتم نوترون‌ها و پروتون‌ها به صورت فشرده در کنار هم قرار گرفته‌اند. درمورد نوترون‌هایی که از نظر الکتریکی خنثی هستند این مسئله عجیب نیست ولی درمورد پروتون‌های با بار مثبت بسیار شگفت‌انگیز است. بارهای هم‌نام یکدیگر را به‌شدت دفع می‌کنند. پس چگونه است که پروتون‌ها می‌توانند اینگونه فشرده در کنار یکدیگر بمانند؟ دانشمندی از جمله فیزیکدان ژاپنی یوکاوا (۱۹۰۷-۱۹۸۱) دریافتند باید یک نیروی «هسته‌ای» به نام نیروی قوی وجود داشته باشد. نیروی هسته‌ای قوی تنها در فواصل بسیار کوچک عمل می‌کند. هنگامی که تنها نیروی الکتریکی در کار باشد پروتون‌ها یکدیگر را دفع می‌کنند مگر اینکه پروتون‌ها خیلی به یکدیگر نزدیک باشند که در این صورت نیروی هسته‌ای قوی وارد می‌شود و برای غلبه بر دافعه‌ی الکتریکی به اندازه‌ی کافی بزرگ است.

فیزیکدانان جرم هریک از اجزاء اتمی را با دقت بالایی تعیین کرده‌اند. جرم پروتون ۱,۸۳۶ برابر و نوترون ۱,۸۴۰ برابر جرم الکترون است. اما هسته‌ی اتم بسیار متراکم است. مثلاً شعاع یک اتم هیدروژن حدود ۱۰۰,۰۰۰ برابر شعاع هسته‌ی آن است و بنابراین یک اتم متشکل از الکترون‌هایی که به‌دور هسته می‌چرخند عمدتاً از فضای خالی تشکیل شده است.

تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها در اتم برابر است و چون مقدار بار الکتریکی پروتون و الکترون دقیقاً با هم یکی است بارهای مثبت و منفی یکدیگر را خنثی می‌کنند.

بنابراین یک اتم معمولی از نظر الکتریکی خنثی است. در کادر صفحه ۱۶ «اجزاء مختلف اتم» جزئیات بیشتری در مورد اجزاء تشکیل دهنده اتم آمده است. باریکه‌های الکترونی از اولین باریکه‌های ذرات بودند که مورد مطالعه فیزیکدانان قرار گرفتند و در دنیای امروز کاربردهای بسیاری دارند؛ از جوشکاری گرفته تا ساخت مدارهای الکتریکی کوچک. اما شاید بتوان گفت متداول‌ترین استفاده باریکه‌های الکترونی CRT (لامپ پرتوی کاتدی) یا همان لامپ تصویر تلویزیون است. CRT در واقع قلب تقریباً تمام صفحات نمایش قدیمی تلویزیون‌ها و کامپیوترها و همچنین بخش عمده‌ای از تجهیزات مدرن نمایش تصاویر ویدئویی محسوب می‌شود.

در لامپ تصویر (CRT) الکترون‌ها از یک صفحه‌ی داغ به نام کاتد که در نزدیکی انتهای باریک لامپ قرار دارد گسیل می‌شوند. کاتد داغ از خود الکترون گسیل می‌کند. فیزیکدانانی که اولین بار این پدیده را مورد مطالعه قرار دادند نمی‌دانستند این گسیل حاوی الکترون است در نتیجه آن را باریکه و دستگاه مزبور را لامپ باریکه‌ی کاتدی نامیدند (همان‌طور که در کادر «اجزاء مختلف اتم‌ها» به آن اشاره شده جان تامسون اولین نفری بود که فهمید این باریکه‌ها الکترون‌ها هستند).

وقتی ولتاژ افزایش می‌یابد سرعت الکترون‌های گسیل شده از کاتد نیز بیشتر می‌شود. ولتاژ عبارتست از تفاوت پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه. اختلاف پتانسیل بین دو نقطه نیرویی ایجاد می‌کند که باعث حرکت بار الکتریکی بین آن‌ها می‌شود. دو نوع بار الکتریکی داریم؛ مثبت و منفی. الکترون‌ها دارای بار الکتریکی منفی هستند و بنابراین توسط دیگر بارهای منفی دفع و جذب بارهای مثبت می‌شوند. یک ولتاژ مثبت – که مثلاً توسط جرمی با بار الکتریکی مثبت ایجاد می‌شود – الکترون‌های گسیل شده از کاتد را به شدت جذب می‌کند. به همین روش الکترون‌ها در CRT به سرعت به سمت صفحه‌ی تصویر حرکت و با آن برخورد می‌کنند. صفحه از فسفر پوشیده شده است. وقتی فسفر دارای انرژی است از خود نور گسیل می‌کند. برخورد الکترون با صفحه موجب انتقال انرژی به لایه‌ی فسفر و در نتیجه درخشش آن می‌شود. اما برای ایجاد باریکه الکترونی با انرژی زیاد (سرعت حرکت بالا) به ولتاژهای فوق‌العاده بالا مثلاً ۱۵,۰۰۰ ولت یا بیشتر نیاز است که ۱۰,۰۰۰ برابر ولتاژ باتری چراغ قوه‌ی معمولی است. این مقادیر بالای ولتاژ برای تعمیرکارانی که با تلویزیون‌ها و مونیتورهای لامپی کار می‌کنند تا سرحد مرگ خطرناک است.

الکترون‌ها در مسیرشان از کاتد به سمت صفحه تحت تاثیر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی قرار می‌گیرند تا بیشتر متمرکز و هدایت شوند. صفحه‌ی نمایش یک تلویزیون سیاه و سفید تماماً نقطه به نقطه توسط فقط یک باریکه الکترونی پیموده می‌شود. هرچه تعداد الکترون‌های باریکه بیشتر باشد میزان روشنایی نقطه بیشتر است و تعداد الکترون‌ها را مقدار ولتاژ تعیین می‌کند. سیگنال حامل تصویر، ولتاژها را متناسب با میزان روشنایی هر نقطه تغییر می‌دهد تا تصویر مورد نظر به درستی روی صفحه نمایش ظاهر شود. هر یک سی‌ام ثانیه یک تصویر کامل ایجاد می‌شود و نمایش سریع و پی‌درپی تصاویر احساس حرکت مداوم را به بیننده القا می‌کند. در تلویزیون‌های رنگی سه باریکه الکترونی و سه فسفر مختلف وجود دارند که در صورت برخورد با باریکه الکترونی سه رنگ قرمز، سبز و آبی را گسیل می‌کنند. هر نقطه در تلویزیون رنگی ترکیبی است از این سه فسفر. میزان مشخصی از نور قرمز، سبز و آبی در هر نقطه با هم جمع می‌شوند تا رنگ مورد نظر را ایجاد کنند.

امروزه بسیاری از تلویزیون‌ها و مونیتورها لامپ تصویر ندارند. در عوض از یک صفحه نمایش کریستال مایع (LCD) یا پلاسما استفاده می‌کنند (بعداً در مورد این مواد توضیح لازم داده خواهد شد). در مقایسه با لامپ تصویر که هم سنگین و هم حجیم است تلویزیون‌های LCD و پلاسما نازک و جمع و جور هستند. اما به دلیل قیمت پایین لامپ تصویر و کیفیت قابل قبول آن در چند سال گذشته هنوز این فناوری به‌طور کامل کنار نرفته است.

یکی دیگر از استفاده‌های باریکه‌های الکترونی جوش دادن فلزات به یکدیگر است. در جوشکاری سنتی از گرما برای ایجاد یک پیوند دائمی قوی بین دو قطعه فلز استفاده می‌شود. اما باریکه‌های الکترونی با کیفیت‌ترین جوش را ایجاد می‌کنند زیرا می‌توانند مقدار زیادی انرژی را در یک نقطه‌ی کوچک متمرکز کنند. الکترون ذره‌ای کوچک است و اگر باریکه الکترونی را به شدت متمرکز کنیم فوق‌العاده باریک می‌شود. در اواخر دهه‌ی ۱۹۵۰ جوشکاری با استفاده از باریکه الکترونی به سرعت افزایش یافت و به این ترتیب جوشکاران توانستند کارهای دقیقی را انجام دهند که پیش‌تر سخت یا حتی غیرممکن می‌نمود. به این ترتیب می‌توان فلزات مختلف را به باریکی تنها چند هزارم سانتی‌متر به هم جوش داد. به علاوه در جوش باریکه الکترونی امکان آلودگی و اعوجاج به شدت کاهش می‌یابد و خود را بهتر نگه می‌دارد.

در اداره‌ی پست ایالات متحده از باریکه الکترونی استفاده‌ی متفاوتی می‌شود. بعد از حمله‌ی تروریستی یازدهم سپتامبر سال ۲۰۰۱ اداره‌ی پست ایالات متحده در پی کشف میکروب سیاه‌زخم در برخی بسته‌های پستی اقدام به خرید سیستم‌های باریکه الکترونی کرد. انرژی باریکه‌های الکترونی می‌تواند هر میکروارگانیسم احتمالی را نابود کند و بنابراین تجهیزات پستی و افراد حامل بسته‌ها با خطر آلودگی مواجه نیستند.

باریکه‌های ذرات اتمی به الکترون‌ها محدود نمی‌شوند و از انواع آن‌ها در صنایع مختلف استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال پزشکان از باریکه‌های پروتونی برای درمان انواع مشخصی از سرطان استفاده می‌کنند. سرطان بیماری است که در آن بافت‌های مبتلا به صورت غیرقابل کنترل رشد می‌کنند. این بیماری دومین عامل اصلی مرگ و میر در ایالات متحده به شمار می‌رود. در بسیاری از درمان‌های سرطان از تابش‌ها استفاده می‌شود؛ هم به صورت تابش الکترومغناطیسی فرکانس بالا مثل پرتو X یا پرتو گاما، هم به صورت باریکه ذراتی مثل پروتون. هدف، کشتن سلول‌های مبتلا بدون آسیب رساندن به بافت‌های سالم و طبیعی است. در پرتو درمانی با جداکردن الکترون از مولکول‌ها و اتم‌ها آن‌ها را به یون (دارای بار الکتریکی) تبدیل می‌کنند. این کار چنان خسارتی به مولکول وارد می‌کند که دیگر قادر به عملکرد اصلی خود نخواهد بود؛ اگر مولکول خسارت دیده یکی از اجزاء مهم سلولی مثل اسید دئوکسی‌ریبونوکلئیک (DNA) باشد معمولاً سلول می‌میرد.

پرتوهای X و گاما قدرت یونیزه‌کنندگی زیادی دارند ولی نمی‌توان آن‌ها را با دقت باریکه‌های پروتونی کنترل کرد. سرعت تابش الکترومغناطیسی قابل تنظیم نیست اما سرعت پروتون را می‌توان کنترل کرد تا باریکه بتواند انرژی خود را با دقت بیشتری به نقطه‌ی مورد نظر برساند. این امر به پزشکان اجازه می‌دهد مقدار تابش را با دقت بیشتری به بافت مبتلا هدایت کنند. در درمان با تابش معمولاً شاهد عوارض جانبی نامطلوبی مثل تهوع هستیم که اغلب به دلیل آسیب ناخواسته به بافت سالم ایجاد می‌شود ولی در درمان از طریق باریکه‌های پروتونی به دلیل دقت بالا این عوارض به شدت کاهش می‌یابند.

از طرفی درمان با باریکه‌های پروتونی مشکلاتی نیز دارد: نیاز به تجهیزات گران‌قیمت داشته، تنها برای انواع خاصی از سرطان موثر است و در آخر با توجه به تمام عوامل نسبت به دیگر فرم‌های درمان همیشه بهترین راه نیست. از سال ۱۹۵۴ تا کنون پزشکان از باریکه‌های پروتونی استفاده کرده‌اند. اما از آنجا که سرعت