پیشنهادهای فاینمن درباره فناوری نانو

ریچارد فاینمن،فیزیکدانی است که نقش به سزایی در شکل گیری علوم نانو داشته است.در زمانی که کسی اطلاعات چندانی در زمینه ی علوم نانو نداشت ،او در یک سخنرانی در انجمن فیزیک آمریکا با عنوان«در پایین دست ،فضای زیادی وجود دارد»، سوالاتی در زمینه کار با مواد و اجسام در ابعاد خیلی ریز طرح کرد که ذهن هر شنونده ای را به خود مشغول ساخت.او همچنین با ذکرتفاوتهای علوم نانو و فیزیک بنیادی،پیشنهادهایی مطرح کرد که هرچند برای افراد درآن دهه تعجب برانگیز و غیرممکن تصور میشد،اما امروز شاهداجرائی شدن بسیاری از این پیشنهادها هستیم و با پیشرفت روزافزون بشر در زمینه علوم مختلف و تکنولوژی و همچنین دست یابی انسان به ابعاد بسیار ریز ماده،پیش بینی می گردد که تمامی پیشنهادهای او روزی به حوزه ی واقعیت های علم بشر وارد شوند.

مقدمه

ریچارد فاینمن (۱۱ می ۱۹۱۸ تا ۱۵ فوریه ۱۹۸۸) یکی از تأثیرگذارترین فیزیکدانان آمریکایی در قرن بیستم بود که نظریه الکترودینامیک کوانتومی را پیش برد. او سخنرانی برجسته و نوازنده‌ای غیرحرفه‌ای بود. فاینمن به خاطر کارهایش بر روی نظریه الکترودینامیک کوانتومی، جایزه نوبل فیزیک را در سال ۱۹۶۵ به همراه جولیان شوینگر و شین ایچیرو توموناگا از آنِ خود کرد. سخنرانی او را هنگام دریافت جایزه نوبل می توانید بخوانید.

سه جلد کتاب فیزیک پایه با عنوان «سخنرانی‌های فاینمن درمورد فیزیک عمومی»، بر اساس یک دوره آموزش درس فیزیک پایه در دوره کارشناسی توسط وی تهیه شده‌اند که شاید بتوان گفت به اندازه جایزه نوبلش، مایه شهرت فاینمن بوده‌اند.

دیدگاه‌های ریچارد فاینمن (فیزیکدان و برنده جایزه نوبل سال ۱۹۶۵) ، نقش بسزایی در پی‌ریزی علوم نانو داشته است. او دیدگاه‌های خود را در یک سخنرانی در انجمن فیزیک آمریکا با عنوان «در پایین‌دست فضای زیادی وجود

دارد» مطرح کرد (۲۹ دسامبر ۱۹۵۹، برابر با ۲۳ آذر ۱۳۳۸). در این سخنرانی پیش‌بینی‌های قابل توجهی مطرح شد که در زمان ما تحقق بسیاری از آنها مشهود است. متنی که می‌خوانید، ترجمه‌ای است از سخنرانی فاینمن و نیز توضیحاتی که در مورد میزان تحقق پیش‌بینی‌ها ی او داده شده‌اند.

۱- حوزه علوم نانو

فاینمن:
می‌خواهم حوزه‌ای را شرح دهم که هنوز جای کار زیادی دارد. این حوزه شبیه حوزه فیزیک ذرات بنیادی نیست، زیرا چیز زیادی در مورد اینکه ذرات بنیادی عجیب چه هستند نمی‌گوید. بلکه بیشتر شبیه فیزیک حالت جامد است، چون در مورد پدیده‌های عجیبی که در شرایط پیچیده اتفاق می‌افتند، اطلاعات جالبی می‌دهد .به علاوه، نکته‌ای که از همه مهمتر است، تعداد زیادِ کاربردهای تکنیکی این حوزه است.
اشاره
واقعیت این است که علوم نانو، نگرشی بنیادی درباره جهان در مقیاس کوچک به ما نمی‌دهند. نگرش بنیادی، پدیده‌های عالم را با معادلات ریاضی واحدی توضیح می‌دهد. علوم نانو به مقیاس کوچک‌تر از اتم کاری ندارند. در عوض،فیزیک بنیادی در مورد ذرات بنیادی بسیار ریزتر ــ به کوچکی کوارک‌ها و لپتون‌ها که حداقل ده مرتبه کوچک‌تر از اتم هستند ــ دستاوردهای خوبی دارد.
از سوی دیگر، علوم نانو نگرش متفاوتی در مورد ظهور پدیده‌های جدید می‌دهند. در این نگرش، از کنار هم گذاشتن تعدادی برهم‌کنشِ ساده بین اجزای تشکیل‌دهنده سیستم، خاصیت جدیدی در کلّ سیستم، متفاوت با خواص اجزای آن، بروز می‌کند؛ چیزی که در شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای تا حدی مشاهده شده است. بنابراین، علوم نانو به ما نگرشی بنیادی در مورد پیشرفت‌های فناوری در آینده نزدیک می‌دهند.

۲- ساختن در مقیاس اتمی

فاینمن:
چیزی که می‌خواهم بگویم، مشکل تولید و کنترل اشیا در مقیاس کوچک است. به محض طرح این موضوع، مردم به من در مورد کوچک‌سازی و میزان پیشرفتِ آن تا امروز می‌گویند. آنها از موتورهای الکتریکی‌ای به کوچکی ناخن انگشت سخن می‌رانند .آنها می‌گویند وسیله‌ای وجود دارد که می‌تواند متن کتاب مقدس را در سر سوزن بنگارد. اما دنیای کوچک شگفت‌آورتری در پایین‌دست وجود دارد. در سال ۲۰۰۰، وقتی به روزگار ما نگاه کنند، با تعجب می‌پرسند چرا تا سال ۱۹۶۰ کسی به طور جدی به این سمت حرکت نکرده بود؟ چرا ما نمی‌توانیم ۲۴ جلد »دایره‌المعارف بریتانیکا» را در سر یک سوزن بنویسیم؟ بگذارید ببینیم چه مسائلی دخیل هستند. پهنای سر سوزن یک میلی‌متر است. اگر آن را ۲۵ هزار بار بزرگتر کنیم، سطح سر سوزن برابر با مساحت همه صفحات «بریتانیکا» می‌شود .بنابراین،

تنها لازم است که اندازه‌های نوشته‌های دایره‌المعارف را ۲۵ هزار بار کوچک کنیم. آیا چنین چیزی ممکن است؟ قدرت تشخیص چشم انسان دو دهمِ میلی‌متر است که برابر با یکی از نقطه‌های کوچک دایره‌المعارف یادشده است .اگر آن را ۲۵ هزار بار کوچک کنید، هنوز هشتاد انگسترم (هشت نانومتر) پهنا دارد، یعنی به پهنای ۳۲ اتم در یک فلز معمولی. به زبان دیگر، یکی از آن نقاط هنوز هزار اتم در خود جای می‌دهد. بنابراین، هر نقطه می‌تواند در اندازهٔ لازم برای چاپ تنظیم شود؛ دیگر شکی نیست که در سر سوزن فضای کافی برای قرار دادن «دایره‌المعارف بریتانیکا» موجود است.
اشاره
این کار در زمان حاضر امکان‌پذیر است. اگر سر سوزن از جنس سیلیکون و تخت باشد، با لیتوگرافی پرتوی الکترونی می‌توان نقوشی در این ابعاد و با این دقت ایجاد کرد.

فاینمن:
حال که «دایره‌المعارف بریتانیکا» روی سر سوزن جا شد، بیایید همهٔ کتاب‌های عالم را در نظر بگیریم. کتابخانه کنگره حدود نُه میلیون جلد کتاب دارد، کتابخانه موزه بریتانیا پنج میلیون جلد و کتابخانه ملی فرانسه پنج میلیون جلد دیگر. مسلماً در میان اینها نسخه‌های تکراری هم وجود دارند. بنابراین، فرض کنیم ۲۴ میلیون جلد کتابِ غیر تکراری در دنیا وجود دارند. کتابدار ما در کَلتِک (مرکز تحقیقاتی که فاینمن در آنجا تدریس و تحقیق می‌کرد) هر چه قدر تند و تیز باشد، بعد از ده سال فقط می‌تواند اطلاعات مربوط به ۱۲۰ هزار جلد کتاب را توی کارت‌ها بنویسد. متن کتاب‌هایی که از کف تا سقفِ همه ساختمان کتابخانه چیده شده‌اند، و کارت‌هایی که همه کشوهای کتابخانه را انباشته‌اند، همه می‌توانند تنها در یک کارت نگه‌داری شوند. آیا چنین چیزی ممکن است؟

اشاره
اگر فرض کنیم هر کتاب یک میلیون حرف دارد، ۲۴ میلیون جلد کتابی که فاینمن می‌گوید، در فضایی معادل با ۲۴ ترابایت ذخیره می‌شود. در چند سال آینده، یک آرایه از لوح‌های RAID گنجایش همه این اطلاعات را خواهد داشت. گرچه هنوز به اندازه یک کارت کتاب نیست، اما خیلی به آن نزدیک است.

۳- ارتباط بین فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی

فاینمن:
بنابراین باید بتوانیم اتم‌های منفرد را ببینیم. اگر اتم‌ها را از هم جدا ببینیم، چه فایده‌ای دارد؟... ما دوستانی در رشته‌های دیگر داریم، مثلاً در زیست‌شناسی. ما فیزیکدان‌ها معمولاً به آنها نگاه می‌کنیم و می‌گوییم: «می دانید چرا همکاران شما این‌قدر کُند پیشرفت می‌کنند؟ (در واقع، من رشته‌ای را نمی‌شناسم که در زمان ما رشدی به سرعت زیست‌شناسی داشته باشد) شما باید ریاضیات را بیشتر به کار ببرید، همان کاری که ما می‌کنیم.» آنها مؤدبانه پاسخ

می‌دهند: «کاری که شما باید انجام دهید تا ما سریع‌تر پیشرفت کنیم، این است که میکروسکوپ الکترونی را صد مرتبه بهتر کنید.»

اشاره

میکروسکوپ‌های پیمایشیِ امروزی قدرت تشخیص پستی و بلندی‌هایی از مرتبه دهم انگستروم (صدم نانومتر) را دارند. یعنی فیزیکدان‌ها درخواستی را که زیست‌شناسان آن زمان از زبان فاینمن بیان کرده‌اند انجام داده‌اند.

فاینمن:

اصلی‌ترین مسائل در زیست‌شناسی امروز چه هستند؟ سؤال‌هایی هستند مثل: ترتیب پایه‌های DNAچیست؟ وقتی یک جهش ژنتیکی رخ دهد، چه اتفاقی می‌افتد؟ ترتیب پایه‌ها در DNA چه ارتباطی با اسیدهای آمینه در پروتئین دارد؟ ساختار RNA چیست؟ یک‌زنجیره‌ای است یا دوزنجیره‌ای و چگونه در ترتیب پایه‌ها با DNA مرتبط می‌شود؟ ساختار میکروزوم چیست؟ پروتئین‌ها چطور سنتز می‌شوند؟ RNA کجا می‌رود؟ چگونه قرار می‌گیرد؟ پروتئین‌ها کجا قرار می‌گیرند؟ آمینواسیدها از کجا داخل می‌شوند؟ در فتوسنتز، کلروفیل کجاست؟ چگونه چیده شده است؟ کاروتنوئیدها کجا در این فرآیند دخیل می‌شوند؟ سیستم تبدیل نور به انرژی شیمیایی چیست؟

پاسخ دادن به این سؤالات بنیادی زیست‌شناسی بسیار ساده است. کافی است به ساختارها نگاه کنید. می‌توانید ترتیب پایه‌ها را در زنجیره یا ترکیب میکروزوم را ببینید. متأسفانه میکروسکوپ‌ها در حال حاضر، مقیاسی را می‌بینند که بسیار زمخت است. میکروسکوپ را صد مرتبه بهتر کنید .در این صورت، بسیاری از مسائل زیست‌شناسی ساده‌تر می‌شوند.

اشاره

امروزه با استفاده از انبرک‌های لیزری می‌توان یک مولکول DNA را زیر میکروسکوپ نیروی اتمی ثابت و تصویرش را ثبت کرد.

فاینمن:

...اگر فیزیکدان‌ها بخواهند، می‌توانند دشواری کار شیمیدان‌ها در مسائل تجزیه شیمیایی را حل کنند. تجزیه هر ترکیب پیچیده شیمیایی بسیار ساده است، فقط باید به آن نگاه کرد و دید اتم‌ها کجا هستند... یک سیستمِ زیستی می‌تواند بسیار کوچک باشد. سلول‌ها خیلی ریز، اما بسیار فعال‌اند. آنها ترکیبات مختلفی می‌سازند، حرکت می‌کنند، و همه جور اعمال شگفت‌انگیز انجام می‌دهند، همه در مقیاسی بسیار ریز. همچنین آنها اطلاعات ذخیره می‌کنند. امکانش را تصور کنید که ما هم بتوانیم چیزی بسیار کوچک بسازیم که آنچه ما می خواهیم انجام دهد یا به عبارت دیگر بتوانیم شیئی بسازیم که در آن ابعاد مانور دهد!

اشاره
امروزه نانوبیوتکنولوژیست‌ها تلاش می‌کنند تا با مهندسیِ سلول‌های جدید، فعالیت‌های این سلول‌ها را مطابق هدف مطلوبشان کنترل کنند.

۴- نانوماشین‌ها

فاینمن:
...امکانات یک ماشین کوچک با قابلیت تحرک چیست؟ آنها ممکن است به‌دردنخور باشند، اما مسلماً ساختن آنها مُفرّح است. من نمی‌دانم به طور عملی چطور در ابعاد ریز این کار را انجام دهم، اما می‌دانم که ماشین‌های محاسبه بسیار بزرگ هستند؛ آنها اتاق‌های متعدد را اشغال می‌کنند. چرا نمی‌توانیم آنها را خیلی کوچک بسازیم، آنها را از سیم‌های ریز بسازیم، از اجزای کوچک ــ و منظور من از کوچک این است که به عنوان مثال سیم‌ها ۱۰ یا ۱۰۰ اتم پهنا داشته باشند و مدارها در گسترهٔ چند انگستروم قرار گیرند.
اشاره
این شبیه همان مرحله‌ای است که فناوری سنتی سیلیکون امروزه در آن قرار دارد. روش‌های زیادی برای ساخت اجزای سنتی الکترونیک طراحی شده است. در عین حال، با افزایش کنترل انسان در ابعاد نانو ،اصول جدیدی برای کار ماشین‌های محاسبه پیشنهاد شده است. ترانزیستورهای مولکولی، ترانزیستورهای تک‌الکترونی و اسپینترونیک حوزه‌های جدیدی هستند که مورد مطالعه دانشمندان حوزه نانو قرار دارند.
عنوان اسپینترونیک از تشابه این حوزه با رقیب (یا همکار) سنتی خود یعنی الکترونیک ریشه گرفته است. در شیمی خوانده‌ایم که الکترون‌ها و برخی دیگر از ذرات بنیادی به غیر از بار الکتریکی و جرم، خاصیت دیگری به نام اسپین هم دارند که یکی از خواص ذاتی الکترون به حساب می‌آید و دو مقدار مثبت یا منفی یک‌دوم به آن نسبت داده می‌شود. جریان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی و میدان الکتریکی (که از روابط ماکسول پیروی می‌کنند) ابزار اصلی در تحلیل یک مدار الکترونیکی هستند و بیشتر با «بار الکترون» سر و کار دارند. محققان اسپینترونیک تلاش می‌کنند تا با استفاده از قواعد حاکم بر برهمکنش و تغییرات «اسپین الکترون» روش‌های جدیدی برای ساخت سیستم‌هایی معادل با مدارهای الکترونیکی به‌خصوص برای محاسبه و ذخیره اطلاعات بیابند.

فاینمن:
امکانات ماشین‌های کوچک اما متحرک چیست؟ ...دوست من، آلبرت هیبس، امکان جالبی برای یک ماشین کوچک پیشنهاد می‌کند. او می‌گوید که اگرچه ایده بسیار خامی است، اما بسیار جالب است اگر بتوانی جراح را ببلعی. جراح مکانیکی را درون رگ قرار می‌دهی و او به داخل قلب می‌رود و اطراف را مشاهده می‌کند (مسلماً اطلاعات باید به خارج ارسال شوند). او پیدا می‌کند که کدام دریچه مشکل دارد و با یک چاقوی کوچک آن را جراحی می‌کند. بعضی ماشین‌های کوچکِ دیگر می‌توانند به طور دائم در بدن کار گذاشته شوند تا به اعضایی که نارسایی دارند، کمک کنند.

اشاره

ایده بدیع نانوماشین‌ها و کاربرد آنها در بدن انسان نخستین‌بار در سخنرانی فاینمن مطرح شد. هر چند هنوز هم دانشمندان نسبت به عملی بودن این ایده در آینده نزدیک مشکوک‌اند، اما بسیاری از تحلیلگران آینده آن را امکان‌پذیر می‌پندارند. در یک نانوروبوت، ابزارهایی برای حس کردن، پردازش اطلاعات، حرکت، ارسال اطلاعات به خارج و انجام عملیات خاص لازم است. دانشمندان موفق شده‌اند نمونه‌هایی از حسگرها، ردیاب‌ها و موتورهای بسیار کوچک شیمیایی را در ابعاد نانومتر ایجاد کنند، اما هر کدام از این عناصر نیاز به سیستم‌های پیچیده جانبی برای تکمیل عملکرد خود دارند؛ مثلاً برای مشاهده ردیاب‌ها، نیاز به میکروسکوپ و برای تحلیل سیگنال حسگرها، نیاز به سیستم‌های پردازنده ماکروسکوپیک وجود دارد. درست مانند یک کامپیوتر خانگی که هرچند پردازنده آن بسیار کوچک (در حدود چند میلی‌متر مربع) است، اما برای ایجاد کارایی نیاز به قطعات بزرگ جانبی دارد. امکان گنجاندن همه این ابزارها در ابعادی کوچک‌تر از یک باکتری، به‌شدت مورد تردیدِ بسیاری از دانشمندان نانو است.

فاینمن:

اما من هراسی ندارم که سؤال آخرم را طرح کنم. آیا ــ در آینده بسیار دور ــ می‌توانیم اتم‌ها را آن‌جور که می‌خواهیم بچینیم؟ خود اتم‌های بسیار ریز! چه اتفاقی می‌افتد اگر بتوانیم اتم‌ها را یکی‌یکی طوری بچینیم که می‌خواهیم؟

اشاره

این کار در حال حاضر، با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی بر روی سطوح تخت ممکن است؛ در عین حال قدرت طراحی اجزای جدید، با استفاده از کنترل خودآرایی مولکولی، روز به روز در حال پیشرفت است؛ هرچند ایجاد ساختارهای دلخواه سه‌بُعدی در این روش‌ها و روش‌های مشابه، محدود به چیدن لایه‌به‌لایه آنها می‌شود. به‌تازگی اَبَربلورهایی با لایه‌نشانی توسط لیزر ساخته شده‌اند که در واقع موادی مصنوعی به حساب می‌آیند که قبلاً وجود نداشته‌اند. در یکی از جدیدترین دستاوردها، یک گروه هلندی با چیدن یک در میان لایه‌های اتمی از یک نارسانا و یک فلز ضعیف، موفق به مشاهده خاصیت ابررسانایی شده است .

ریچارد فاینمن توانسته است به نحوی شگفت‌انگیز بیشتر حوزه‌های فعالیت دانشمندان امروزی علوم نانو را در سخنرانی خود معرفی کند. آن‌هم زمانی که هنوز فعالیت چشمگیری در این رشته شروع نشده بود. او این کار را به دور از توهّم‌سازی و کاملاً حساب‌شده انجام داد. امروز به‌خوبی می‌دانیم اهدافی که او ۴۵ سال پیش مطرح کرد، یا به دست آمده‌اند یا در آینده نزدیک به وقوع خواهند پیوست .اینها همه نشان از پختگی و شهود قوی این فیزیکدان برجسته و رهبر علمی دارد.