مجله آموزش مهندسی ایران، شماره ۲۲، سال ششم، ص. ۱۱۷-۹۹

آینده‌نگری در علوم و فنّاوری نانو $^{9}-10$

پریوش حسین‌پور

دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده: پدیده هزاره سوم که دستاوردهای مهم هزاره دوم IT، MT و BT بدون بهره‌گیری از آن دچار اختلال خواهد شد، نانوتکنولوژی یا به عبارت دیگر، علوم و فنون از دیدگاه نانو است. به همین‌سبب، فرهیختگان کلیه علوم فنی و نظری این پدیده را مساوی آینده یا محور آینده دانسته‌اند.

Nano - Technology & Science = Future

طبیعت سیستم‌ها را در مقیاس اتمی کنترل می‌کند، دقت و کنترل به این معناکه هر جزئی در مکان خاص خود قرار می‌گیرد و ساختار متشکل از این اجزا خواص ویژه خود را خواهند داشت. پدیده حاضر سعی در دستیابی به اجزای ساختاری بنیادی دارد تا بتواند خواص مورد نظر را در مواد ایجاد کند یا تغییراتی را در جهت بهینه‌سازی در آنها به‌وجود آورد.

فنّاوری‌های بشر تاکنون از این مقیاس دقت و کنترل دور بوده است. تغییر در مقیاس دقت، کنترل و ساخت باعث تغییراتی در نحوه طراحی سیستم‌ها خواهد شد. نگاهی دوباره به کلیه زمینه‌های علمی موجود، انقلاب جهانی بزرگی در صنعت و حیات بشر به‌وجود خواهد آورد. از آنجایی که علوم و فنّاوری نانو یک زمینه فرا رشته‌ای و فرابخشی است و علاوه بر علوم تجربی، علوم نظری و انسانی را نیز در بر می‌گیرد، در تحقیق حاضر پس از معرفی این پدیده و کاربردهای آن در کلیه زمینه‌های مختلف موجود و زمینه‌هایی که کاربردهای آن هنوز در مرحله بحث و بررسی است، کربن، کربن نانوفایبرز و کربن نانوتیوب‌ها وطیف وسیع کاربردهای آنها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: نانوتکنولوژی، فنّاوری نانو، علوم نانو، آینده‌نگری فنّاوری.

۱. مقدمه

علم و تکنولوژی ما را به کجا خواهد برد؟ دانشمندان و تکنولوژیست‌ها همیشه در پی آن بوده‌اند که این امور را پیش‌بینی بکنند و عجیب این است که موفقیت‌آمیزترین کوشش‌ها توسط نویسندگان علمی تخیلی نظیر فردریک پل[۱]، ولز[۲]، ژول‌ورن[۳]، روبرت هنلن[۴]، اسحاق آسیموف[۵] و آرتورسی کلارک[۶] صورت گرفته است.

انقلاب صنعتی و فنّاوری‌های ناشی از آن مانند راه‌آهن، اتومبیل، رادیو، تلویزیون، تلفن، اینترنت و ... چقدر زندگی بشر را تغییر داده و چه تغییر بنیادی را سبب شده‌اند؟ تنها عملکرد مفید تمام این پیشرفت‌ها کوتاهتر کردن زمان ارتباطات از سال به ماه، روز و... و حتی کسری از ثانیه بوده است. علوم و فنّاوری نانو تأثیری بسیار اساسی بر مواد، بیشتر از آنچه جابه‌جایی چوب و سنگ با آهن و سیمان یا مهارکردن الکتریسیته به‌وجود آورد، خواهد داشت.

ماروین مینسکی[۷]، استاد افتخاری دانشگاه صنعتی ماساچوست (MIT)، در مقدمه‌ای بر کتاب Engines of Creations نوشته اریک درکسلر[۸] می‌گوید: «نویسنده با طرح ایده‌های اندیشمندانه خود زندگی بشر را در آستانه تغییرات عمده، مهم و بنیادی قرار داده است.» مینسکی می‌گوید: «در این مبحث بیشترین و بهترین تلاش‌ها انجام گرفته است تا ما بتوانیم بهتر درک کنیم که جامعه بشری به چه سمت و سویی می‌رود و آیا باید برای رسیدن به فنّاوری‌های جدید ایستادگی کند یا نه؟»

---

۱. Frederik Phohl

۲. H.G. Wells

۳. Jules Vern

۴. Robert Heinlein

۵. Isaac Asimof

۶. Arthor C. Clark

۷. Marvin Minsky

۸. K. Eric Drexler

۲. ساختارهای نانویی

وقتی از واحد نانو؛ یعنی $۱۰^{-۹}$ صحبت می‌شود، منظور توانایی ساخت در این مقیاس است، توانایی ساخت از اتم‌ها و توانایی آرایش دوباره مواد با دقت اتمی که این توانایی به ما اجازه می‌دهد از محدودیت‌های اندازه‌ای که به‌صورت طبیعی موجود است، فراتر برویم و روی واحدهای ساختاری کار کنیم، جایی که خاصیت مواد مشخص می‌شود و با تغییر در آن می‌توان خواص مواد را تغییر داد. فرض اصلی در نانوتکنولوژی این است که تقریباً همه ساختارهای با ثبات شیمیایی را که از نظر قوانین فیزیکی رد نمی‌شوند، می‌توان ساخت. کلیه مواد و سیستم‌ها زیربنای ساختاری خود را در مقیاس نانو ترتیب می‌دهند. کنترل مواد در مقیاس نانو به معنای ساختن ساختارهای بنیانی در این مقیاس است که خواص اساسی آنها معین می‌شود. اتحاد ساختارهای نانویی برای ایجاد ساختارهای بزرگتر است که در صنعت، پزشکی و محیط‌زیست مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نانوتکنولوژی رشته‌ای جدید نیست، بلکه رویکردی جدید در تمام رشته‌هاست. نانوتکنولوژی کاربردهای وسیعی در حوزه‌های مختلف از جمله غذا، دارو، تشخیص پزشکی، بیوتکنولوژی، الکترونیک و کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، انرژی، محیط‌زیست، مواد، هوا و فضا و... دارد. این کاربردها به همراه اثرهای اجتماعی، سیاسی و حقوقی آن، این فنّاوری را به عنوان یک زمینه فرا رشته‌ای و فرابخشی مطرح کرده است. دانشمندان و صاحبنظران این مبحث را مساوی آینده و محور آینده می‌دانند و معتقدند که شکوفایی بسیاری از تکنولوژی‌های مهم از جمله IT[۱]، MT[۲] و BT[۳] [که از دستاوردهای مهم قرن بیستم بوده‌اند] بدون بهره‌گیری از NT[۴] دچار اختلال خواهند شد.

علوم و فنّاوری نانو = آینده

طبیعت سیستم‌ها را در مقیاس اتمی کنترل می‌کند و دقت و کنترل در طبیعت به این

---

۱. Information Technology

۲. Material Technology

۳. Bio - Technology

۴. Nano - Technology

معناست که هر اتم در جایگاه خودش قرار دارد، در نتیجه خواص مشخصی را نیز داراست. فنّاوری‌های بشر در مقیاس بزرگ است، تکه‌ای از توده‌ای جدا یا بر آن سوار می‌شود و در نهایت وسیله مورد نظر ساخته می‌شود. در واقع، وسایل از سرهم کردن قسمت‌های مختلف تولید می‌شوند، بدون آنکه به ساختمان ملکولی آنها توجه شود.

تغییر مقیاس ساخت باعث تغییراتی اساسی در نحوه طراحی سیستم‌ها خواهد شد، زیرا در سیستم‌های ریز[۱] نیروهای بین مولکولی و دیگر نیروها وارد محاسبات طراحی می‌شوند، در حالی که این نیروها در طراحی سیستم‌های بزرگ[۲] مورد توجه نیستند. در این علم فرارشته‌ای دقت در ساخت و توانایی کنترل سیستم‌ها در مقیاس اتمی و مولکولی مورد نظر است تا بتوان ماشین‌ها یا موتورهایی مولکولی ساخت که توسط آنها محصولی سبکتر، بادوامتر، کاراتر و در نهایت، ارزانتر تولید کرد. موتورهای مولکولی یا ماشین‌های مولکولی کارایی‌های بسیاری دارند که برای زندگی بشر فوق‌العاده مفید خواهند بود و در عین حال، چنانچه مورد سوءاستفاده قرار گیرند، زیان‌هایی به‌بار خواهند آورد. همان‌طور که وسایل مکانیکی به ما اجازه می‌دهند که چیزی فراتر از نیروی فیزیکی خود به‌دست آوریم، علم نانویی و تولید در مقیاس نانو هم سبب می‌شود که ما بتوانیم روی واحدهای ساختاری مواد کار کنیم. برای کنترل ساختار مواد باید یک سیستم کامل و ارزان‌قیمت در اختیار داشت.

ماهیت نانوتکنولوژی توانایی کارکردن در تراز اتمی، مولکولی و فراتر از مولکولی در ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر با هدف ساخت و دخل و تصرف در چگونگی آرایش اتم‌ها یا مولکول‌هاست و استفاده از مواد، وسایل و سیستم‌هایی با توانایی‌های جدید و اعمال تازه که ناشی از ابعاد کوچک ساختارشان است، این توانایی‌ها را میسر می‌سازد. همه مواد و سیستم‌ها زیربنای ساختاری خود را در مقیاس نانو ترتیب می‌دهند. یک مولکول آب دارای قطری حدود ۱ نانومتر است. قطر یک نانولوله تک‌جداره[۳]، در حدود ۱/۲ نانومتر است. کوچکترین ترانزیستورها به اندازه ۲۰ نانومتر می‌باشند. مولکول DNA ۲/۵ نانومتر پهنا دارد

---

۱. Micro

۲. Macro

۳. Single Wall Nanotube

و پروتئین‌ها بین ۱ تا ۲۰ نانومتر هستند. یک وسیله مولکولی نیز ممکن است در حدود چند نانومتر باشد. کنترل مواد در مقیاس نانویی به معنای ساختن ساختارهای بنیانی در مقیاسی است که خواص اساسی معین می‌شود. تا جایی که اطلاعات از طبیعت در دسترس است، نانو آخرین مقیاس تولید است. اتحاد ساختارهای نانویی به منظور ایجاد ساختارهای بزرگتر، که می‌توانند در کلیه صنایع و علوم مورد استفاده قرار گیرند، توسط نانوتکنولوژی امکان‌پذیر است.

توانایی مشاهده مستقیم اتم‌ها و دستکاری آنها اخیراً توسط محققان و دانشمندان میسر شده، ولی این دستاورد بخش بسیار کوچکی از تکنیک‌هایی است که از نانوتکنولوژی انتظار می‌رود. هنوز چند دهه به توانایی تولید محصولات تجاری[1] باقی است. مدل‌های تئوری کامپیوتری و محاسباتی نشان می‌دهند که دستیابی به سیستم‌های تولید مولکولی امکان‌پذیر است، چراکه این مدل‌ها قوانین فیزیک کنونی را نقض نمی‌کنند. امروزه، دانشمندان وسایل و تکنیک‌های زیادی را که برای تبدیل نانوتکنولوژی از مدل‌های کامپیوتری به واقعیت لازم است، اختراع می‌کنند.

دقت به عنوان منفعت ماشین‌های مولکولی مدنظر است و همچنین، یکی از کلیدهای مهم برای درک لزوم پیشرفت در زمینه این فنّاوری است. از ماشین‌های دقیق برای تولید محصولات با دقت مساوی استفاده خواهد شد. فنّاوری تا به حال هرگز چنین کنترل دقیقی نداشته است و همه فنّاوری‌های کنونی، فنّاوری‌های بزرگ هستند. در گذشته، ساخت با دقت اتمی تنها در محصولات کریستال‌ها یا در سازمان‌های زنده زیستی مانند ریبوزوم‌ها که پروتئین مورد نیاز موجود زنده را فراهم می‌کنند یا DNA که اطلاعات مورد نیاز برای ایجاد موجود زنده را حمل می‌کند، دیده شده است.

۳. نانوکامپیوتر و نانواسمبلر

در جریان پیشرفت نانوتکنولوژی روندی به سوی دستیابی به درجه‌ای از کنترل سیستم‌ها که

---

۱. اخیراً بعضی از مواد به تولید تجاری رسیده‌اند، به‌خصوص Carbon Nanotubes، ولی سیستم‌های مولکولی هنوز در حال بررسی‌اند.

قبلاً تنها در طبیعت موجود بوده، در پیش روست. منافع دیگر زمانی نمایان می‌شوند که اندازه وسایل قابل ساخت مورد توجه قرار گیرند. وقتی در مقیاس اتمی کار شود، دستگاه‌هایی ساخته می‌شوند که می‌توانند به جاهای غیرقابل تصور از نظر کوچکی بروند. دو وسیله بسیار حساس که در حال حاضر در مبحث نانوتکنولوژی مورد بررسی است، نانوکامپیوتر و نانواسمبلر است.

نانوکامپیوتر ماشینی مولکولی است که می‌تواند یک رشته اعمالی را به اجرا در آورد، آنها را اداره کند و در نهایت، نتیجه‌ای را تولید نماید. در عمل، این وسیله تا حدی با میکروپردازش‌گرهای امروزی متفاوت است، اگرچه شباهت‌های کمی با کامپیوترهای قدیمی و مکانیکی دارد. همچنین، دارای دستگاه ثبت‌کننده‌ای است که چیزی شبیه ماشین‌های جمع‌کننده[۱] به‌وجود می‌آورد، ماشین‌های جمع‌کننده‌ای که میلیون‌ها بار کوچکتر و بلیون‌ها بار سریع‌تر از میکروپردازش‌گرهایی است که تاکنون طراحی شده‌اند. وقتی یک نانوکامپیوتر وجود داشته باشد، به‌وجود آوردن نانواسمبلر نیز میسر خواهد بود. نانواسمبلر وسیله‌ای ساخته شده در تراز اتمی است که می‌تواند اتم‌ها را برای بیشتر شکل‌هایی که مورد نظر هستند، دقیقاً نظم‌دهی و آرایش کند. امروزه، کارکردن در تراز اتمی به نیروی اتمی میکروسکوپی[۲] (AFM) نیاز دارد که از میدان الکتریکی برای هل دادن اتم‌ها به سمت جایگاهشان استفاده می‌کند.

نانواسمبلر به‌سادگی می‌تواند اتم‌ها را از جایگاهشان خارج کند و آنها را همانند دستگاه بافندگی صنعتی در محل مورد نظر به یکدیگر پیوند دهد. در سلول‌های انسانی ریبوزم‌ها کاری شبیه به این انجام می‌دهند؛ یعنی DNA[۳] را به صورت RNA[۴] کپی و سپس آمینواسید صحیح را برای ساخت پروتئین‌ها جمع‌آوری می‌کنند. نانواسمبلری که یک نانوکامپیوتر را در هسته خود در بر دارد، تقریباً همین کار را انجام می‌دهد. نانواسمبلر در واقع، یک هدف مهم و

---

۱. Adding Machine

۲. Atomic Force Microscop

۳. Deoxyribo Nucleic Acid

۴. Ribo Nucleic Acid

نهایی در نانوتکنولوژی است. وقتی یک نانواسمبلر کامل در دسترس باشد، تقریباً همه چیز ممکن می‌شود و این مهمترین و بزرگترین خواسته نانوتکنولوژیست‌هاست.

شصت سال پیش جان ون نیومن[۱] [شخصی که همراه آلن تورینگ[۲]، زمینه علم کامپیوتر را پایه‌گذاری کرد] حدس زد که روزی ساختن ماشین‌هایی که بتوانند خودشان را کپی کنند، ممکن خواهد شد؛ یک نوع تکرارکننده خود به‌خودی که می‌تواند ما را از یک مثال ساده ذهنی به سمت اجتماعی از کپی‌های کامل هدایت کند.

در مقیاس ماکرو ساختن یک کپی از ماشین بسیار ساده‌تر از ساختن ماشینی است که بتواند خود را کپی کند، ولی در تراز مولکولی ساختن ماشینی که بتواند خود را کپی کند بسیار ساده‌تر از ساختن ماشین دیگری با استفاده از تراشه‌هاست. وقتی یک اسمبلر داریم، می‌توانیم تعداد مورد نیاز را ایجاد کنیم و این مزیت بزرگی است. نانواسمبلر یک آفت کامل نیز می‌تواند باشد، بدین معنا که اگر به‌طور عمدی یا تصادفی در محیط آزاد شود، تنها با راهنمای چگونگی تکثیر، تمام سطح سیاره؛ یعنی گیاهان، حیوانات، سنگ‌ها و صخره‌ها در عرض مدتی کمتر از ۷۲ ساعت به ماده چسبناک خاکستری[۳] از Nanite‌ها[۴] مبدل خواهند شد. درکسلر از پیشگامان نانو مشکل gary goo را تا حد زیادی خیالی می‌داند، ولی امکان سناریوی غبار خاکستری را تصدیق می‌کند که باعث برگشت یا تکرار Nanite‌ها می‌شود و زمین را در روکشی که مادون میکروسکوپی است خفه می‌کند. در این جا بشر با یک خطر فنّاوری که در تاریخ بی‌سابقه است، مواجه می‌شود. علی‌رغم این مسائل، کسانی که روی نانوتکنولوژی مولکولی کار می‌کنند، در حال مطالعه برای ساختن دستگاهی در مقیاس اتمی هستند و به‌نظر می‌رسد که به‌زودی اطلاعات کافی برای ساخت نانوکامپیوترها و نانواسمبلرها فراهم آید.

این مسائل اجتناب‌ناپذیر و مطرح شده در نانوتکنولوژی باعث شد تا درکسلر یک نهاد

---

۱. John Von Neumann

۲. Alan Turing

۳. Gary Goo

۴. Nano Unit

علمی و آموزشی ایجاد کند و آن انستیتو Foresight است که به‌عنوان یک محل شناخته شده و یک مرکز تفکر در مورد نانوتکنولوژی عمل می‌کند. مسئله در اختیار داشتن تکنولوژی و نحوه استفاده از آن همیشه از مهمترین نگرانی‌های بشر بوده است. در این مورد خاص خطای چندهزارم درصدی نیز باعث به‌وجود آمدن فاجعه می‌شود و پیشرفت مثبت آن نیز ضامن زندگی بهتر برای بشر خواهد بود. تکنولوژی همیشه مانند دو روی سکه عمل می‌کند:

فاجعه ← تکنولوژی → امنیت

۴. دنیای کوچک

ریچارد فینمن[۱] (دارنده جایزه نوبل برای طرح فنّاوری در مقیاس کوچک) در ۲۹ دسامبر سال ۱۹۵۹ در نشست سالانه جامعه فیزیک آمریکا در مکان مؤسسه تکنولوژی کالیفرنیا Coltech گفت: «من ترجیح می‌دهم زمینه‌ای را شرح دهم که در خصوص آن کار اندکی انجام شده است، ولی عمدتاً کار بیشتری می‌توان انجام داد. این زمینه کاملاً همانند زمینه‌های دیگری که چندان ارتباطی با فیزیک بنیادی ندارند، نخواهد بود [مانند اینکه ذرات غیرمتجانس چه هستند] و بیشتر به فیزیک جامدات شبیه است که موارد جالبی را در باره خواص گروهی مواد بیان می‌کند و بیشترین اهمیت آن در این است که کاربردهای تکنیکی فراوانی دارد. آنچه من بیان خواهم کرد در ارتباط با شکل انجام‌دادن استادانه و کنترل مواردی در مقیاس کوچک است و ابتدایی‌ترین مرحله در مسیری که من قصد دارم در باره آن بحث کنم، این است که در زیر آنچه ما داریم، بی‌تردید جهانی کوچک وجود دارد. در سال ۲۰۰۰، زمانی که آنان به این سال رجوع کنند، تعجب خواهند کرد از اینکه چرا تا سال ۱۹۶۰ کسی به‌طور جدی کار در این مسیر را شروع نکرده است؟»

طب نانویی بیش از پیش در تلاش برای جامه عمل پوشاندن به وعده‌های فینمن در مورد "دکتر بسیار کوچک" است و قدم به قدم موانع فنّاوری را از سر راه بر می‌دارد، موانعی که برای رسیدن به وسایل نانوپزشکی باید بر آنها فایق آمد. ساخت ننیت‌ها در دست مطالعه و بررسی است و در صورت دستیابی به این تکنولوژی بشر دچار تحول بزرگی در کلیه شئونات

---

۱. Richard Feynman

زندگی خواهد شد. مثلاً در علم پزشکی نینت‌ها اعجاز خواهند کرد - وقتی بیمار جراح را ببلعد -؛ نینت‌ها مطابق برنامه داده و کنترل شده داخل بدن انسان می‌روند و قسمت آسیب‌دیده [مثل بافت‌های سرطانی] را به راحتی و بدون آسیب رساندن به بافت‌های جانبی از بین خواهند برد.

۵. بیوتکنولوژی

بیوتکنولوژی احتمالاً روش‌های پیشگیری و معالجه بیماری‌ها و عفونت‌ها را بهبود خواهد بخشید. رویکردهای نو ممکن است در برابر ورود عامل بیماری‌زا به بدن یا تحرک آن موانعی را ایجاد کند، آسیب‌پذیری آن را افزایش دهد و ساز و کارهای تدافعی تازه‌ای را به‌وجود آورد. این رویکردها از یک سو با روندهای کنونی مخالف هستند که مقاومت بدن در برابر آنتی‌بیوتیک‌های موجود را افزایش داده‌اند و از سوی دیگر، شکل مبارزه با بیماری‌های عفونی را نیز تغییر می‌دهند. هم‌اکنون علاوه بر پرداختن به بیماری‌های باکتریایی یا ویروسی، دانشمندان سرگرم توسعه روش‌های درمانی جدیدی برای مقابله با اختلال در توازن شیمیایی و تنظیم ثبات شیمیایی بدن هستند. مثلاً آنتی‌بادی‌هایی تولید شده‌اند که به کوکائین موجود در بدن حمله می‌برند و می‌توانند اعتیاد را کنترل کنند. این رویکردها اثر چشمگیری بر وضعیت تجارت جهانی و غیرقانونی داروهای مخدر دارند و در عین حال، شرایط را به سود مصرف‌کنندگان بهبود می‌بخشند. روندهای متنوع تکنولوژی و همچنین، تکنولوژی‌های توان‌زا احتمالاً به توسعه داروهای نو کمک خواهند کرد. شبیه‌سازی‌های کامپیوتری در ترکیب با روندهای فزاینده تکنولوژی‌های تصویرپردازی مولکولی (مثلاً میکروسکوپ‌های اتمی، طیف‌سنج‌های جرمی و میکروسکوپ‌های کاوشگر) کماکان توانایی محققان را در طراحی مولکول‌هایی با خواص عملکردی مطلوب که مناسب گیرنده‌های خاص، محل چفت‌شدگی یا نشانگر باشند، افزایش می‌دهند و بدین صورت، پژوهش ترکیبی در زمینه داروها را با طراحی عقلانی آن تکمیل می‌کنند. چندی پیش به کمک یک دستگاه شبیه‌ساز پیچیده و مجازی قلب - ساخته دنیس نوبل[۱] - و درک ساز و کارها و اهمیت یک پدیده که در

---

۱. Denis Noble

آزمایش‌های پزشکی مشاهده شده بود، داروی قلب جدیدی ساخته شد و مورد تأیید اداره غذا و داروی آمریکا قرار گرفت [نوبل ۱۹۹۸، رابنیز ورث ۱۹۹۸، بوچانان ۱۹۹۹، ۱۱۱-۱۰۹]. رویکرد شبیه‌سازی در مورد سیستم‌هایی مانند قلب، که دانشمندان درک کاملی از عملکرد آنها دارند، تا سال ۲۰۱۵ مهمترین مکمل آزمایش‌های پزشکی خواهد بود. اما شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده‌تری مانند مغز احتمالاً نیازمند تحقیقات بیشتری در مورد عملکرد و بیولوژی آنها خواهد بود.

۶. شبیه‌سازی

تا سال ۲۰۱۵، همچنان شاهد بهبود توانمندی بیوتکنولوژی و به‌کارگیری آن در مواردی همچون نقشه‌برداری، کپی‌سازی و دستکاری مبانی ژنتیک ارگانیزم‌های گیاهی و حیوانی خواهیم بود. این بهبود توانمندی آبستن فرصت‌ها و درک و دریافت‌های گسترده درخصوص فهم ارگانیزم‌های موجود و مهندسی ارگانیزم‌هایی با ویژگی‌هایی نو خواهد بود. همچنین، پژوهش‌هایی برای ابداع ارگانیزم‌های آزادزی در دست انجام است که ارگانیزم‌هایی میکروبی با حداقل ژن هستند [کو و همکاران ۱۹۹۹، هاتچینسون و همکاران ۱۹۹۹]. ماشین‌های تحلیل DNA و سیستم‌های تراشه‌ای به احتمال بسیار زیاد قابلیت‌های تحلیل ژنتیکی را به‌شدت افزایش می‌دهند، یافتن داروها را بهبود می‌بخشند و حسگرهای بیولوژیک را توانمندتر خواهند کرد. ژن‌های گیاهان [از غلات خوراکی حیاتی مانند برنج و ذرت تا درختان میوه] و حیوانات [از باکتری‌های همچون E-coli تا حشرات و پستانداران] کماکان رمزگشایی و نقشه‌برداری خواهند شد. این نقشه‌برداری به ما اجازه می‌دهد با توجه به درجهٔ تأثیرگذاری ژن‌ها بر رفتار و کارکرد ارگانیزم، مشکلات سلامت بشر را بهتر تشخیص دهیم، داروهایی برای مصارف تک‌منظوره و واکنش کل سیستم طراحی کنیم، استعداد ابتلا به بیماری را بهتر پیش‌بینی و مسیر حرکت و گسترش بیماری بین جمعیت زمین، گروه‌های نژادی و سایر گروه‌های ژنتیکی را به‌دقت دنبال کنیم [مورتون ۱۹۹۹، پوسته ۱۹۹۹]. شایان ذکر است که همه متخصصان ذی‌ربط بر ارتباط ژن‌ها و عملکرد ارگانیزم اذعان دارند، اما نباید عواملی همچون محیط و فنوتیپ را که نقش‌های اصلاحگر و مهمی را ایفا می‌کنند، از خاطر برد. نقشه‌برداری ژنتیک اثر چشمگیری بر بحث امنیت، تدوین قوانین و مسائل حقوقی خواهد

داشت.

احتمالاً تولید مصنوعی ارگانیزم‌های ژنتیکی مشابه - برپایه مشابه‌سازی - اهمیت مضاعفی در تولید احشام و حیوانات آزمایشگاهی پیدا خواهد کرد. مشابه‌سازی، سازوکاری غالب در تولید سریع خصلت‌های ژنتیکی و مهندسی شده برای بازار، حفظ و نگهداری مستمر این خصلت‌ها و تولید ارگانیزم‌های مشابه برای تحقیقات آزمایشگاهی و تولید خواهد بود. در آینده، تحقیقات در زمینه مشابه‌سازی انسان در کشورهای بی‌قانون (اشاره به کشورهایی است که فاقد قانون جلوگیری از مشابه‌سازی انسان هستند) ادامه می‌یابد و شاید تا سال ۲۰۱۵ به ثمر برسد، ولی نگرانی‌های اخلاقی و بهداشتی احتمالاً مشابه‌سازی انسان در مقیاس وسیع را در کشورهای قانونمند محدود خواهد کرد. مشابه‌سازی، به‌ویژه مشابه‌سازی انسان، تا امروز بحث‌ها و منازعات زیادی را در سراسر جهان به‌راه انداخته است [آیزمن ۱۹۹۹]. دغدغه‌هایی همچون مسائل اخلاقی، احتمال بروز خطا و نواقص پزشکی در نوزاد، تردید در مورد مالکیت ژن‌های خوب و به‌نژادی موضوعات اصلی چنین بحث‌هایی به‌شمار می‌روند. گرچه شاید تا سال ۲۰۱۵، بعضی کوشش‌ها به‌منظور مشابه‌سازی انسان به ثمر برسند و محدودیت‌های قانونی و افکار عمومی از گسترش بی‌رویه آن جلوگیری کنند. "مسائل اخلاقی" نقش برجسته‌ای در تعدیل پیامدهای جهانی روندهای ژنومیک دارد.

۷. هوا و فضا

علاوه بر نظریه "دکتر بسیار کوچک" ریچارد فینمن در زمینه علوم پزشکی، نظریه این دانشمند در مورد کلیه صنایع نیز صادق است و کاربرد علوم و فنّاوری‌های نانو در کلیه زمینه‌هاست. به‌عنوان مثال، در زمینه علوم و تکنولوژی هوا و فضا صاحبنظران و دانشمندان این عرصه به علت مسئله "اندازه" به نانوتکنولوژی توجه ویژه‌ای دارند. کامپیوترهای رایج بزرگ‌اند، ولی به اندازه کافی قدرتمند نیستند و دیگر اینکه مستعد انجام‌دادن خطا هستند. با استفاده از وسیله‌ای نانویی به اندازه یک حشره که به اصطلاح حشره نانویی[1] خوانده می‌شود، می‌توان ۱۰۰ میلیون چشم و گوش را در بسته‌ای به وزن چندگرم به سطح مریخ فرستاد. حتی

---

۱. Nanobot

اگر نیمی از آن حشره‌های نانویی دچار مشکل شوند یا کار نکنند، باز هم کسی چیزی از دست نمی‌دهد، چرا که هنوز ۵۰ میلیون دیگر باقی مانده است. برای ساختن یک عدد از این حشره‌های نانویی، محققان باید مشکلات بر سر راه نانوکامپیوترها را حل کنند.

نانوتکنولوژی حتی بر روی هوایی که تنفس می‌کنیم و آبی که می‌نوشیم نیز مؤثر است. با مطالعه بر روی پیامدهای نانوتکنولوژی می‌توان دریافت که این نوع فنّاوری بشر را به سمت پیشرفت در راه رسیدن به سیستم‌هایی بهتر، سریع‌تر، مستحکم‌تر، کوچکتر و ارزانتر سوق می‌دهد. زیست‌شناسان این حقیقت را که اطلاعات زیادی را می‌توان در فضای کمی گرد آورد، می‌دانند. در کوچکترین سلول‌ها همه اطلاعات برای بافت یک مخلوق پیچیده همانند انسان ذخیره می‌شود. همه این اطلاعات در بخش کوچکی از سلول که به صورت رشته‌های دراز DNA است وجود دارد و برای هر خانه اطلاعاتی سلول ۵۰ اتم استفاده شده است. در این جا اهمیت BT یا Biotech به‌خوبی مشهود است.

نانوتکنولوژی تمام جنبه‌های زندگی انسان را تحت تأثیر قرار خواهد داد و به‌علت فرابخشی و فرارشته‌ای بودنش طیف وسیعی از کاربردها را در بر می‌گیرد که در این مختصر نمی‌توان به کلیه آنها پرداخت. لذا فصل حاضر با نگاهی گذرا به کربن، کربن‌نانوب‌ها، کربن فایبرز و ذکر مختصری از کاربرد آنها به پایان می‌رسد.

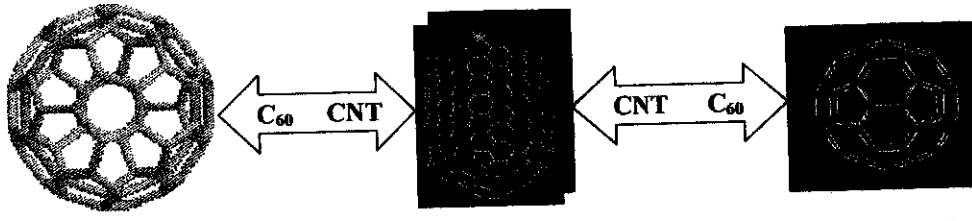
۸. کربن، کربن‌نانوب‌ها، کربن فایبرز

کربن عنصری بسیار خاص است. چهار الکترون در لایه خارجی آن وجود دارد که هر اتم کربن با چهار اتم مختلف می‌تواند این الکترون‌ها را تقسیم کند. همچنین، با اتم‌های خودش هم می‌تواند پیوند انجام دهد. این مسئله به کربن اجازه می‌دهد در ترکیبات، فرم‌ها و اندازه‌های متفاوت ظاهر شود، مثل گرافیت، الماس، فلورین، کربن نانوتیوب‌ها و کربن فایبرز.

اینجاست که اهمیت کربن به عنوان ماده‌ای خاص با خواص فیزیکی ویژه مشخص می‌شود. گرافیت بسیار نرم و Slippery است، در حالی که الماس سخت‌ترین ماده‌ای است که تا به حال شناخته شده است. علت اختلاف در خواص فیزیکی این دو نحوه پیوند اتم‌های کربن با یکدیگر است. گرافیت لایه لایه است و در هر لایه پیوندهای کووالانت قوی بین

اتم‌های کربن وجود دارد، ولی بین لایه‌ها نیروهای ضعیفی وجود دارد که این به گرافیت اجازه می‌دهد لایه‌هایش روی هم بلغزند. در الماس هر اتم کربن با اتم‌های کربن همسایه‌اش فاصله مشابهی دارد که باعث صلب[۱] شدن شبکه می‌شود و اتم‌های کربن نمی‌توانند حرکت کنند، درنتیجه الماس .M.P بالا دارد و بسیار سخت است.

نوع دیگر فلورین‌ها[۲] هستند که شکل حاضر ترکیبی از ۶۰ کربن است. طرح هندسی پنتاگون‌ها و هگزانون‌ها شبکه بیست‌وجهی[۳] را فرم می‌دهند.



www.imbris.net/~jfromm/bucky/bucky.htm www.edinformatics.com/math_science/carbon.htm

www.ipt.arc.nasa.gov NASA Ames Research Center

آرشیتکت آمریکایی فولر[۴] شخصی بود که C_{60} [به شکل قفسه خالی با سطوح منظم هندسی] را طراحی کرد. فلورین‌ها نوع خاصی از پلیمرهای کربن به‌صورت مولکول‌های بسته (قفس‌شکل) هستند که انواع بسیاری دارند. با اضافه کردن پتاسیم به این ترکیب می‌توان ابررسانا تولید کرد. در میان انواع فلورین‌ها C_{60} فراوان‌ترین و معروف‌ترین آنهاست. تاکنون بیشتر تلاش‌ها در مورد مطالعه C_{60}ها[۵] انجام گرفته و نتیجه آن تولید بسیار خالص این نوع فلورین بوده است. در میان فلورین‌ها نانولوله‌ها[۶] جذاب‌ترین آنهاست و متعاقباً نانوفایبرز[۷] نیز مورد توجه هستند. کربن نانوتیوب‌ها CNTs ورقه‌های گرافیتی هستند که لوله شده باشند.

---

۱. Rigid

۲. Fullerenes

۳. Icosohedron

۴. R. Buskminster Fuller

۵. Bucky Balls

۶. Nano - Tubes

۷. Nanofibers

CNTs می‌توانند به شکل نانوتیوب‌های تک‌جداره[۱] (SWNT) [به‌صورتی که یک ورقه لوله شده باشد] یا چند جداره[۲] (MWNT) [چندورقه با هم لوله شده باشند] فرم گیرند. این دو ساختار در میان کلیه ساختارهای نانوتیوب‌های کربنی بیش از همه مورد توجه‌اند. این مواد دارای خواص ساختاری، مکانیکی و الکتریکی فوق‌العاده‌ای هستند که ناشی از خواص ویژه پیوندهای کربنی و تقارن استوانه‌ای آنهاست. قطر کربن نانوتیوب‌ها در حد چند نانومتر و طولشان در حد چند میکرومتر است. پتانسیل بالای SWNTs و MWNTs گستره عظیمی به‌منظور کاربردهای صنعتی این دو ماده گشوده است. به‌عنوان مثال، MWNTs در دستگاه‌های نشر میدانی[۳] به‌عنوان نانوپراب[۴] در میکروسکوپ‌های نیرواتمی (AFM) به عنوان پایه در کاتالیست‌های هتروژن و میکروالکترودها در واکنش‌های الکتروکاتالیستی کاربرد یافته‌اند. از کاربردهای SWNT می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

در دستگاه‌های الکترونیکی، ذخیره‌سازی گاز هیدروژن، سیم‌های کوانتومی، جذب گاز [به عنوان ماده ذخیره‌ساز الکتروشیمیایی]، عامل تقویت‌کننده مواد کامپوزیتی، ذخیره‌سازی انرژی در ابرخازن‌ها و باتری‌های ثانویه و ترانزیستورها.

CNTs انواع بسیار دارند و هر نوع آن خواص ویژه و کاربردهای خاص دارد که نمی‌توان همه را در اینجا بیان کرد، ولی اشاره‌ای مختصر به کاربرد CNTs در صنعت ساختمان می‌شود. رفتار مکانیکی CNTs علاقه‌مندی زیادی برای استفاده از آنها به‌عنوان مواد ساختمانی ایجاد کرده است. کاربردهای CNTs در صنعت ساختمان در حال حاضر بیشتر به کامپوزیت‌های CNT با توجه به پتانسیل فعلی آنها معطوف است. کربن نانوتیوب‌ها به علت استحکام و aspect ratio فوق‌العاده زیادشان به تقویت‌کننده‌های ایده‌آل بسیار نزدیک‌اند. کامپوزیت‌های CNT با بتن و سیمان پتانسیل فوق‌العاده قوی ایجاد می‌کند، چون CNT هم به‌عنوان یک ماده تقویت‌کننده تقریباً ایده‌آل عمل می‌کند و هم قطرهایی شبیه اندازه لایه‌های

---

۱. Single Wall Nano - Tube

۲. Multi Wall Nano - Tube

۳. Field Emitting

۴. Nano - Probe

کلسیم، سیلیکات و هیدرات دارد. همچنین، می‌توان دسته‌های CNT را در عرض ذرات مصالح پخش کرد. از دیگر کاربردهای CNTs در صنعت ساختمان استفاده از رشته‌ها و ریسمان‌های CNT به عنوان اجزای ساختاری و سیستم‌های انتقال حرارت CNT است. تولید CNTs بلندتر که بتوانند به‌فرم ریسمان در آیند، برای کاربردهایی مثل پل‌های معلق بسیار راهگشا خواهد بود. هدایت حرارتی کربن نانوتیوب‌ها امکان تحقق کامپوزیت مواد اصلاح شده از نظر مقاومت حرارتی را مطرح می‌سازد. توسعه مواد عایق‌کننده و لوله‌های حرارتی و بهره‌مندی از اختلاف هدایت حرارتی در طول و عرض لوله‌ها می‌تواند یکی از کاربردهای CNTs در گرم کردن ساختمان‌ها باشد که جایگزین سیستم‌های فعلی خواهد شد. در کل، چون CNTs استحکام بیشتری از دیگر فایبرها دارند، رفتار مکانیکی را بهبود خواهند بخشید.

به‌طور عام، کربن نانوتیوب‌ها کاربردهای بسیار فراوانی در کلیه صنایع، چه به‌عنوان جایگزین و چه برای بهینه‌سازی، دارند و صنعتی شدن و به بازار راه یافتن این کاربردها در آینده بسیار نزدیک قابل پیش‌بینی است. کربن‌نانوتیوب‌ها در گذشته نیز ساخته می‌شدند، اما به‌صورت مجموعه‌ای از لوله‌های درهم که اندازه قطر آنها متفاوت و از کنترل دست بشر خارج بود. اما گروه ریچارد اسمالی[1] (برنده جایزه نوبل ۱۹۹۶) در سال ۱۹۹۷ موفق به ساختن مجموعه‌ای منظم و با قطرهای مشابه از نانوتیوب‌ها شدند و بعد از این واقعه پیشرفت در این زمینه برای یافتن ویژگی‌های مطلوبتر ادامه دارد.

با استفاده از گاز اتیلن می‌توان صفحات کربنی متخلخلی ساخت که از ۲ نانومتر تا ۱ میکرون عرض و از ۵ تا ۱۰۰ میکرون طول داشته باشند. جذب انتخابی مواد، غربال مولکولی، حمایت‌های کاتالیزوری و ساخت الکترودها از کاربردهای کربن نانوفایبر هستند. شاید مهمترین کاربرد عملی نانوفایبرها در سیستم‌های ذخیره گاز هیدروژن باشد تا حدی که می‌توانند ۳۰ لیتر هیدروژن مولکولی را در هر گرم از جرم خود ذخیره کنند.

۹. نانوقطعات

نانوقطعات ترکیباتی از ساختارهای کربنی با یکدیگر یا سایر عناصر هستند که در زمینه‌های

---

۱. Richard Smalley

مختلف از جمله ساخت موتورهای مولکولی که در درمان‌های نانویی و داروسازی نانویی به‌کار می‌روند، به‌طور برجسته‌ای ایفای نقش می‌کنند و در واقع، نانوقطعات ساختارهای شکل‌یافته برای مقاصد صنعتی و عملی نانوتکنولوژی خواهند بود. کربن نانوتیوب‌ها با قطری در حدود یک نانومتر در حال حاضر معروف‌ترین ساختارهای نانویی هستند. پیش‌بینی می‌شود که CNTهای یک لایه که از لوله‌های استوانه‌ای با ضخامت یک اتم تشکیل می‌شوند، بنابر قطر و خاصیت کالیرولیتی[۱] نانوتیوب‌ها، دارای خاصیت فلزی یا نیمه‌فلزی (نیمه‌هادی) در هدایت الکتریکی باشند. در حال حاضر، پژوهش‌هایی در زمینه انتقال الکترون در این سیستم به‌خصوص صورت می‌گیرد. مشخص شده است که اتصال دو نانوتیوب که در قطر و کالیرولیتی و برخی ویژگی‌های دیگر متفاوت‌اند، می‌تواند خواص رسانایی و نیمه‌رسانایی را در محل اتصال دو نانوتیوب افزایش یا کاهش دهد. کربن‌های متخلخل مانند فایبرهای کربن فعال شده و Aerogelهای کربنی، چگالی منفذ بالایی دارند که اندازه این منافذ کمتر از ۲ نانومتر است. ساختار و ویژگی‌های این ریزمنفذها به همراه موادی که سطوح وسیع می‌سازند[۲]، برای کاربردهای علمی و عملی مورد بررسی قرار گرفته است و دستیابی به مواد با سطح جرمی بالا در حدود $۳۰۰۰ \frac{m^۲}{g}$ به‌طور قابل توجهی امکان‌پذیر می‌نماید. به‌طور مثال، برخی سرامیک‌های ساخته شده از واکنش مواد آلی با کربن که قطر منافذ کنترل‌شده آنها در حدود $۲۰ - ۱۰۰ A^\circ$ است، به‌عنوان کاتالیزور در جداسازی فازهای مایع و گاز و در عایق‌بندی صوتی و حرارتی استفاده می‌شوند.

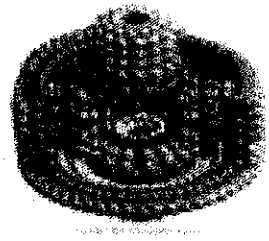
ذکر کلیه کارایی‌ها و کاربردهای کربن و کربن نانوتیوب‌ها و کربن‌فایبرز و... در این مختصر نمی‌گنجد. مبحث علوم و فنون نانو به‌علت فرا رشته‌ای بودن و اینکه کلیه علوم، اعم از علوم انسانی و نظری و علوم فنی و مهندسی، را در بر می‌گیرد، بسیار گسترده است و نمی‌توان در اینجا به کلیه ابعاد آن پرداخت. به عنوان مثال، در حوزه علوم انسانی و مالکیت معنوی نیازمند بهره‌گیری از متخصصان این علوم است. مسئله شبیه‌سازی [گیاه، حیوان و انسان]، اصلاحات ژنتیکی و مسائل موجود در زمینه B.T. و سوء استفاده‌های غیرقانونی در این زمینه

---

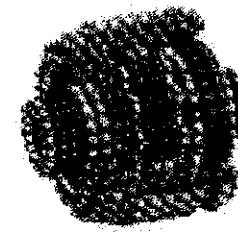
۱. Chirality

۲. High Surface Area Materials

مشکلاتی را به‌وجود خواهد آورد که نیازمند کنترل و وضع قوانین لازم است.



نمونه یک موتور ملکولی



نمونه یک موتور ملکولی

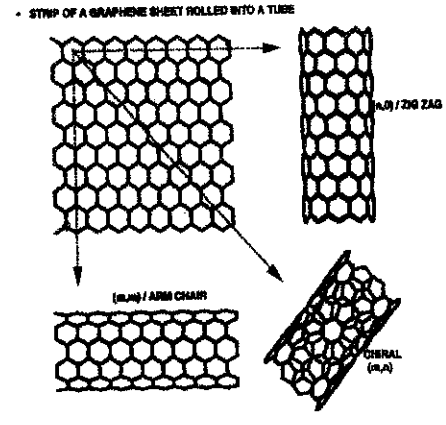
Ref., Institute for Molecular Manufacturing IMM www.imm.org/index.html

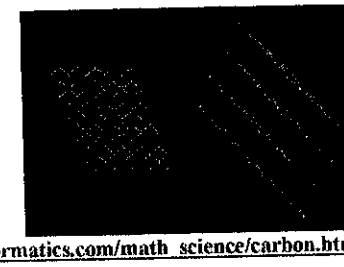
نمونه یک موتور مولکولی

نمونه یک موتور مولکولی

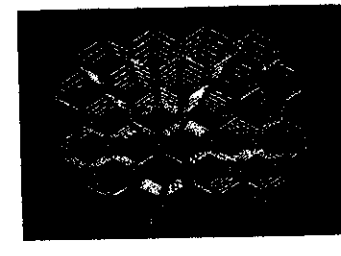
ورقه گرافیت که به شکل‌های مختلف می‌تواند لوله شود: زیگزاک، دسته صندلی و کایرول

www.ipt.arc.nasa.gov **NASA Ames Research Center**





گرافیت www.edinformatics.com/math_science/carbon.htm



شبکه الماس www.edinformatics.com/math_science/carbon.htm

۱۰. سخن آخر

در این مختصر، پدیده نانو صرفاً فهرست‌وار مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که این پدیده کلیه علوم و فنون را در بر می‌گیرد، گستره تحقیق و تفحص بسیار وسیع است. در ادامه کاربرد یافته‌های تئوریک در عرصه صنعت راهگشای بسیاری از معضلات تکنیکی خواهد بود.

یادآوری این نکته لازم است که کربن به دلیل ویژگی‌های خاص خود و طیف وسیع کاربردهایش در صنایع مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است. روش‌های مختلف تولید کربن نانوتیوب‌ها محصولات متفاوت با خواص ویژه گوناگون عرضه می‌کنند و در حال حاضر، بعضی از شرکت‌های تولیدکننده در مقیاس تجاری تولید دارند، ولی کیفیت حاضر هدف نهایی نیست. کربن نانو لوله‌های تولیدی حاضر در هر درجه از خلوص و اندازه برای بسیاری از کاربردها از جمله ساخت و سازکارایی خوبی دارند. دستیابی به کربن نانوتیوب با کیفیت شرح داده شده [از نظر خلوص و اندازه] کاربردهایی به ارمغان خواهد آورد که دریچه‌های جدیدی برای مواجهه با چالش‌های بی‌پایان بشر خواهد گشود.

مراجع

۱. نانوتکنولوژی آئینه تکنولوژی آفرینش، گردآوردندگان: علی اخوان عبداللهیان و...، تهران، آتنا، ۱۳۸۰.

۲. انقلاب جهانی تکنولوژی روندهای جهانی در بیوتکنولوژی، تکنولوژی مواد و هم‌افزایی آنها با تکنولوژی اطلاعات تا سال ۲۰۱۵، فیلیپ اس. آنتون، ریچارد سیلبرگ لیت، جیمز اشنایدر، برگردان وحید وحیدی مطلق و عقیل ملکی‌فر، تهران، ریاست‌جمهوری، دفتر همکاری‌های فنّاوری، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی، ۱۳۸۰.

۳. برنامه پیشگامی ملی نانوتکنولوژی، پیش به‌سوی انقلاب صنعتی بعدی، گزارش از گروه کاری فرابخش در علوم، مهندسی و تکنولوژی نانو...، کمیته مطالعات سیاست نانوتکنولوژی، تهران، آتنا، ۱۳۸۰.

4. Engines of creation / K. Eric Drexler, Anchor books editions, U.S.A., 1990.

5. S. Lijima, Nature, 354, 56, 1991.

6. M.L. Cohen, Materials Science and Engineering C15, 1-11, 2001.

7. R.E. Smalley, J.H. Hafner, D.T. Colbert and K. Smith, Catalytic growth of SWNT From metal particles. WO 00/17102, 30 Mar, 2000.

8. www.foresight.org

9. www.nano.org.nk

10. www.koreapartneruk.com

11. www.irannano.org

12. www.ipt.arc.nasa.gov

13. http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/PictDisplay/Von Neumann.html

14. www.itanetwork.org

15. www.imbris.net/~jfromm/bueky/bueky.htm

16. www.ipt.arc.nasa.gov NASA Ames Research Center

17. www.imm.org/index.html Ref., Institute for Molecular Manufacturing IMM

18. www.edinformatics.com/math scince/carbon.htm

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۲/۹/۱۹)