

جزوه آموزشی پایه نهم

مقدمه

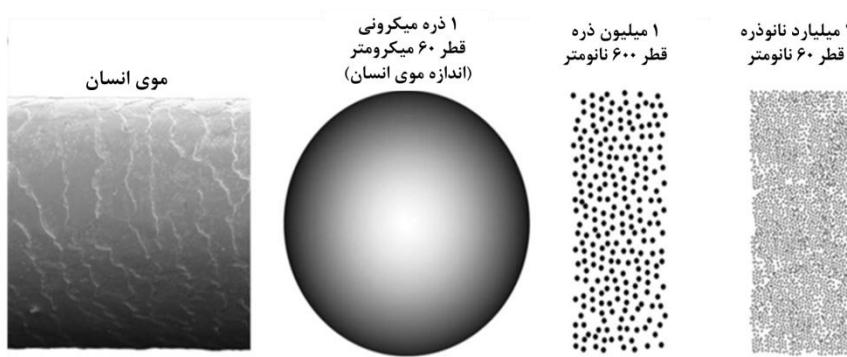
پیشوند نانو از واژه یونانی نانوس^۱ به معنای قدکوتاه^۲ استخراج شده است. نانو هم‌اکنون واژه‌ای شناخته شده برای بیشتر علوم پیشرفته است و بسیاری از نانوواژه‌ها (واژه‌های مربوط به نانو) اخیراً در فرهنگ لغات وارد شده‌اند. واژه‌هایی مانند نانومتر، نانومقیاس، نانوفناوری، نانوساختار، نانولوله، نانوسیم و نانوربات از این قبیل هستند. نانویک پیشوند اندازه به معنی یک بیلیونیم یا 10^{-9} است. همان‌طور که می‌دانید غیر از نانوپیشوندهای زیاد دیگری هم بزرگ‌تر و هم کوچک‌تر از نانو وجود دارد که در جدول ۱ آمده است. اما از میان تمام این مقیاس‌ها، امروزه تنها پیشوند نانو به صورت یک علم مطرح است که دلیل آن ویژگی‌های جدیدی است که در این ابعاد حاصل می‌شود. به طور عمده، نانو به عنوان صفت مورد استفاده قرار می‌گیرد تا پدیده‌ها، سیستم‌ها و اشیاء را با ویژگی‌هایی که در ساختار نانومتری حاصل می‌شوند، توصیف کند.

جدول ۱- برخی از پیشوندهای اندازه

پیشوند	علامت اختصاری	اندازه (متر)	پیشوند	علامت اختصاری	اندازه (متر)
گیگا	G	10^9	دسی	d	10^{-1}
مگا	M	10^6	سانتی	c	10^{-2}
کیلو	k	10^3	میلی	m	10^{-3}
هکتو	h	10^2	میکرون	μ	10^{-6}
دکا	da	10^1	نانو	n	10^{-9}
			آنگسترم	A°	10^{-10}
			پیکو	p	10^{-12}
			فمتو	f	10^{-15}

فناوری نانو درباره ساختارها یا موادی با اندازه بسیار کوچک در حد چند نانومتر بحث می‌کند. یک نانومتر (10^{-9} متر)، تقریباً معادل طول ده اتم هیدروژن یا پنج اتم سیلیکون ردیف شده در یک خط است. قطر تار موی سر انسان حدوداً ۶۰۰۰۰ نانومتر است (شکل ۱). اهمیت مقیاس نانو در تغییر خواص و ویژگی‌های مواد در این ابعاد است. خواصی که مواد در ابعاد معمولی دارند و مشخصه یک ماده هستند مانند استحکام، انعطاف‌پذیری، رسانایی الکتریکی، خواص مغناطیسی، رنگ،

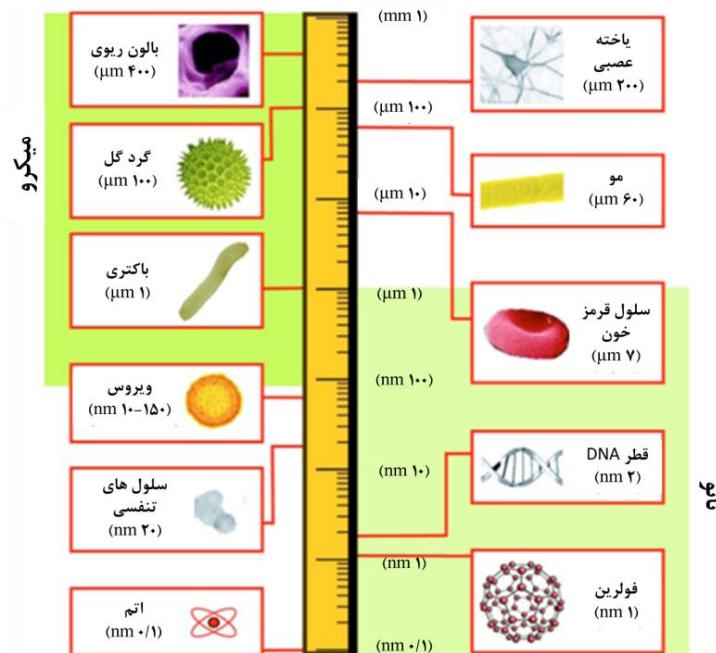
و اکنش‌پذیری و غیره، در ابعاد نانو تغییر می‌کند و ویژگی‌های جدیدی به وجود می‌آید. در نتیجه در مقیاس نانو ما با مواد جدیدی سروکار داریم که خواص قبلی خود را ندارند و دارای خواص جدیدی هستند که باید این خواص مشخص شوند. ابعاد کوچک، اجازه کارآمدی بیشتر در یک فضای معین را می‌دهند. مواد در مقیاس میکرومتر، معمولاً خواص فیزیکی مشابه با حالت ماقروسکوپی^۱ را نشان می‌دهند اما مواد در مقیاس نانو خواص متفاوتی را در مقایسه با ابعاد ماقروسکوپی و معمولی نشان دهند.



شکل ۱- نمایش شماتیک اندازه یک تار موی انسان.

مواد نانوساختار مانند مفهوم فناوری نانو، مفهوم جدیدی نیستند. بسیاری از مواد موجود در طبیعت دارای ساختاری در ابعاد میکرو و نانو هستند. جهان طبیعت پر از مثال‌هایی از سیستم‌هایی با ساختارهای نانومتری مانند شیر (یک کلؤید نانومقیاس)، پروتئین‌ها، سلول‌ها، ویروس‌ها و غیره است که در شکل ۲ برخی از آن‌ها نشان داده شده است. بسیاری از موجودات از ساختارهایی در ابعاد نانو در داخل بدن خود استفاده می‌کنند. مانند مارمولک که علت چسبندگی بالای آن به سطوح مختلف، داشتن سوزن‌های نانومتری در پنجه‌هایش می‌باشد. پیشرفت‌های اخیر صورت گرفته در ساخت ابزارهای مشخصه‌یابی نانوساختارها (مانند میکروسکوپ الکترونی، روبشی و...) به جهش عظیمی در مطالعه و استفاده صنعتی از این مواد منجر شده است.

۱- ابعاد معمولی که با چشم غیر مسلح قابل مشاهده می‌باشند.



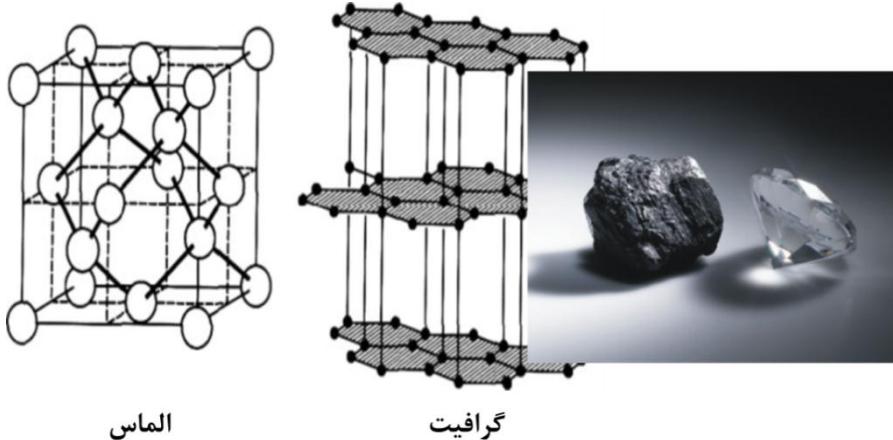
شکل ۲- مقایسه مواد زیستی در مقیاس نانو و میکرو

تعریف‌های مختلف فناوری نانو این واقعیت را نشان می‌دهند که این فناوری دامنه وسیعی از حوزه‌های علمی را در بر می‌گیرد و در حقیقت یک علم بین رشته‌ای است. به طور کلی، فناوری نانو می‌تواند به عنوان فناوری طراحی، تولید و کاربرد نانوساختارها شناخته شود. فناوری نانو همچنین شامل فهم بنیادی پدیده‌ها و خواص فیزیکی در ابعاد نانو می‌باشد.

مفهوم فناوری نانو اولین بار با سخنرانی آقای فاینمن^۱ در جلسه دسامبر ۱۹۵۹ انجمن فیزیک آمریکا آغاز شد که در آن‌جا فاینمن گفت: «چه اتفاقی رخ خواهد داد اگر ما بتوانیم اتم‌ها را دانه به صورتی که خودمان می‌خواهیم مرتب کنیم؟»

همان‌طور که می‌دانید خواص مواد به شدت تابع نحوه کنار هم قرار گرفتن (چیدمان) اتم‌ها می‌باشد. برای مثال دو ماده الماس و گرافیت (ذغال) هر دو فقط و فقط از اتم‌های کربن تشکیل شده اند اما خواص کاملاً متفاوتی دارند. الماس یک ماده فوق مستحکم، عایق جریان الکتریسیته می‌باشد در حالی که گرافیت نرم است و تا حدی رسانای جریان الکتریسیته می‌باشد. تفاوت این دو ماده تنها در چیدمان اتم‌های کربن شامل طول پیوند و زاویه پیوند است. در الماس زاویه بین پیوند اتم‌های کربن حدوداً ۱۰۹ درجه است اما در گرافیت این زاویه ۱۲۰ درجه می‌باشد که در شکل ۳ نشان داده شده است. بنابراین با تغییر چیدمان اتم‌ها می‌توان به مواد جدید با خواص بهبود داده شده

دست یافت. با پیشرفت علم نانو و تجهیزات مربوط به آن این امکان برای انسان‌ها فراهم شد تا بتوانند چیدمان اتم‌ها را تغییر دهند و آن‌ها را به صورت دلخواه مرتب کنند. به این کار اصطلاحاً دستکاری^۱ گفته می‌شود.



شکل ۳- ساختار اتمی الماس و گرافیت

پس به طور خلاصه هم با ریز کردن ابعاد مواد و رساندن آن به ابعاد نانو می‌توان خواص مواد را تغییر دهید و هم با تغییر چیدمان اتم‌های آن که این دو مفهوم مبنای روش‌های ساخت مواد نانو ساختار است که در ادامه معرفی خواهند شد.

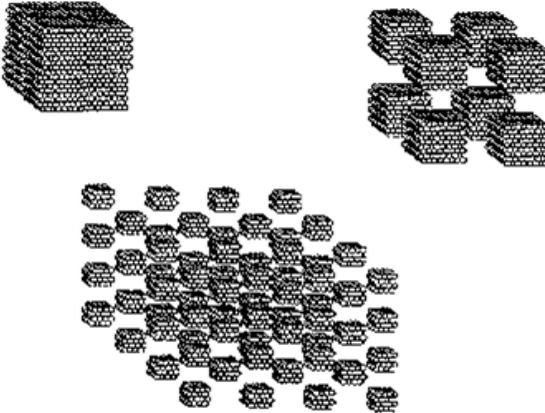
دلیل تغییر خواص و ویژگی‌ها در ابعاد نانو

دو عامل اصلی باعث شده‌است که مواد نانو ساختار رفتاری متفاوت از مواد در ابعاد معمولی از خود بروز دهند: اثرات سطحی و اثرات کوانتومی. این دو عامل واکنش‌پذیری شیمیایی مواد، خواص مکانیکی، نوری، الکتریکی، مغناطیسی و ... و به طور کلی همه خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها را تحت شعاع خود قرار می‌دهد که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

اثرات سطحی

شکل ۴ را در نظر بگیرید. در ابتدا، مکعب اول به ۸ قسمت مساوی تقسیم می‌شود. اگر این ۸ مکعب را روی یکدیگر قرار دهیم همان مکعب اولیه با همان حجم حاصل می‌شود اما تفاوت آن با حالت اول، مساحت آن می‌باشد. با تقسیم مکعب به ۸ قسمت، یک سری سطوح جدید ایجاد شده

اند که در ابتدا وجود نداشتند. در مرحله دوم هر کدام از ۸ مکعب بدست آمده به ۸ قسمت دیگر تقسیم می‌شوند. مجدداً اگر ۶۴ مکعب بدست آمده را روی هم قرار دهیم همان حجم مکعب ابتدایی حاصل می‌شود اما مساحت افزایش زیادی پیدا کرده است.

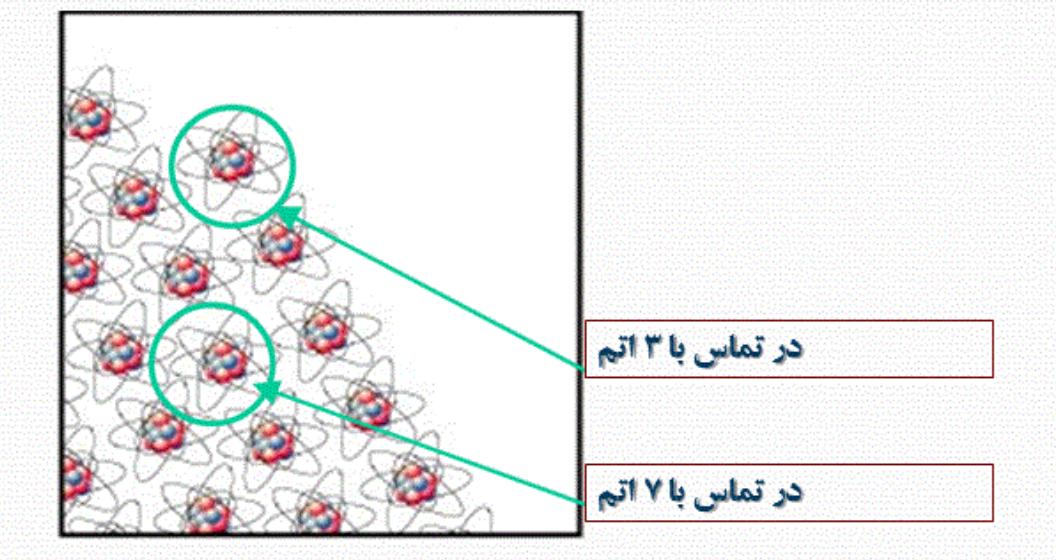


شکل ۴- با ریز شدن، مساحت افزایش پیدا می‌کند.

یک کره را در نظر بگیرید. نسبت مساحت به حجم کره عبارتست از:

$$\frac{A}{V} = \frac{4\pi r^2}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{3}{r} \quad (1)$$

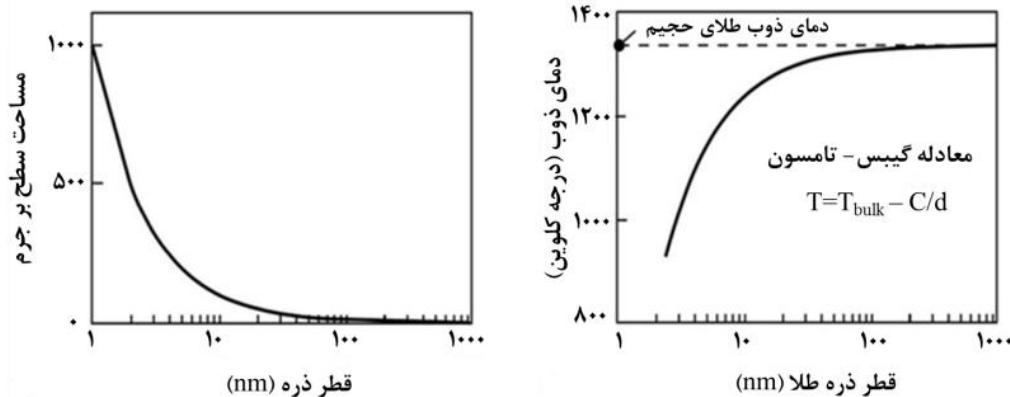
همان‌طور که از رابطه بالا مشخص است، با ریز شدن ابعاد یک کره (کم شدن شعاع آن)، نسبت مساحت به حجم آن افزایش می‌یابد. هر چه ریز شدن بیشتر باشد، این نسبت افزایش بیشتری می‌یابد. با افزایش سطح تعداد اتم‌هایی که روی سطح قرار می‌گیرند، بیشتر می‌شود. در علم فیزیک و شیمی بین اتم‌هایی که روی سطح یک جسم هستند و اتم‌هایی که در داخل آن هستند، تفاوت وجود دارد. اتم‌هایی که در داخل ماده هستند به دلیل عدد همسایگی بیشتر (تعداد اتم‌های اطراف آن‌ها بیشتر است)، ظرفیت‌شان کامل می‌باشد و تمایلی به انجام واکنش ندارند. اما اتم‌هایی که روی سطح هستند به دلیل اینکه با تعداد اتم‌های کمتری در ارتباط هستند، ممکن است تعدادی پیوند ناقص یا کامل نشده داشته باشند، بنابراین واکنش‌پذیری آن‌ها نسبت به اتم‌های داخل ماده بیشتر است که در شکل ۵ هم نشان داده شده است.



شکل ۵- تفاوت اتم‌های روی سطح و داخل ماده

با ریز شدن ابعاد ماده و رسیدن به ابعاد نانو، سطح ماده و به تبع آن اتم‌های روی سطح ماده نیز بسیار زیاد افزایش می‌یابد (شکل ۴) و در نتیجه ماده به شدت ناپایدار می‌شود. همان‌طور که می‌دانید در طبیعت تمام موجودات به سمتی می‌روند که پایدار باشند و سطح انرژی کمتری داشته باشند. ماده‌ای که به ابعاد نانو رسیده، به دلیل ناپایداری بسیار زیاد تمایل دارد با روش‌های مختلف به سمت پایداری برود که این پایدار شدن منجر به تغییر خواص می‌شود. یکی از این روش‌ها تغییر آرایش اتم‌ها است. همان‌طور که قبلاً هم توضیح داده بود، با تغییر اندک چیدمان اتم‌ها (تغییر در طول پیوند و یا زاویه پیوند)، خواص مواد نیز متفاوت می‌شود.

علت برخی از تغییر خواص در ابعاد نانو را می‌توان با افزایش سطح نسبت به حجم، توجیه کرد. یکی از این پدیده‌ها کاهش دمای ذوب با کاهش ابعاد می‌باشد. به طوری که در شکل ۶ نشان داده شده‌است، دمای نقطه ذوب نانوذرات ۳ نانومتر طلا بیش از ۳۰۰ درجه پایین‌تر از دمای نقطه ذوب طلای در ابعاد معمولی می‌باشد. همان‌طور که می‌دانید، در دمای ذوب مقدار انرژی گرمایی ذوب طلای در ابعاد فراهم می‌شود تا کل پیوند بین اتم‌ها در حالت جامد شکسته شود و ماده تبدیل به مایع شود. وقتی ابعاد ماده ریز می‌شود و به ابعاد نانو می‌رسد، به دلیل افزایش سطح و اتم‌های روی سطح، تعداد پیوندهای شکسته شده افزایش می‌یابد. بنابراین برای شکستن تمام پیوندها و تبدیل ماده از جامد به مایع انرژی کمتری نیاز است که منجر به کاهش دمای ذوب می‌شود.

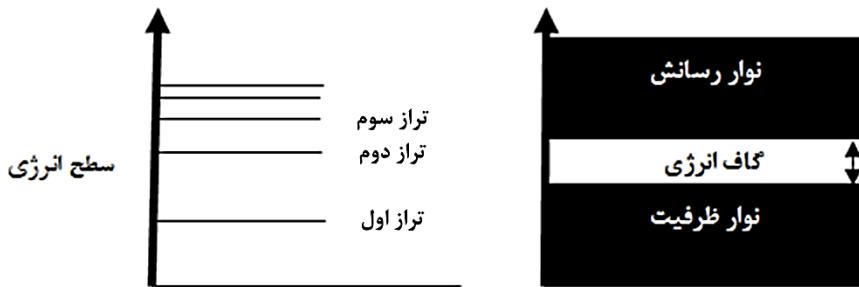


شکل ۶- نمودار بستگی مساحت سطح و نقطه ذوب به قطر ذره در مولکول طلا

اثرات کوانتمومی

کوانتموم^۱ در لغت به معنی گستته است. در فیزیک، کمیت‌ها به دو دسته پیوسته و گستته (کوانتمومی) تقسیم می‌شوند. کمیات پیوسته هر مقدار عددی را می‌توانند داشته باشند مانند قد و وزن افراد اما کمیت‌های گستته تنها مقادیر خاصی را می‌توانند داشته باشند مانند تعداد افراد یک کلاس. از کمیت‌های فیزیکی پیوسته می‌توان به سرعت، انرژی جنبشی، نیرو، اصطکاک و ... و از کمیت‌های فیزیکی گستته می‌توان به بار الکتریکی که مضرب صحیحی از بار الکتریکی یک الکترون است ($q=\pm ne$)، اشاره کرد.

هر ماده‌ای که اطراف ما وجود دارد یک ساختار انرژی منحصر به فرد دارد و ساختار انرژی مواد مختلف با یکدیگر متفاوت است. ساختار انرژی اتم‌ها متشكل از ترازهای انرژی است اما ساختار انرژی مواد ماکروسکوپی و معمولی به صورت نوار انرژی است که در شکل ۷ نشان داده شده است. در اتم‌های مختلف فاصله بین ترازها با یکدیگر متفاوت است و در مواد معمولی، پهنهای باندهای انرژی و پهنهای منطقه ممنوعه (گاف انرژی) با یکدیگر متفاوت است.

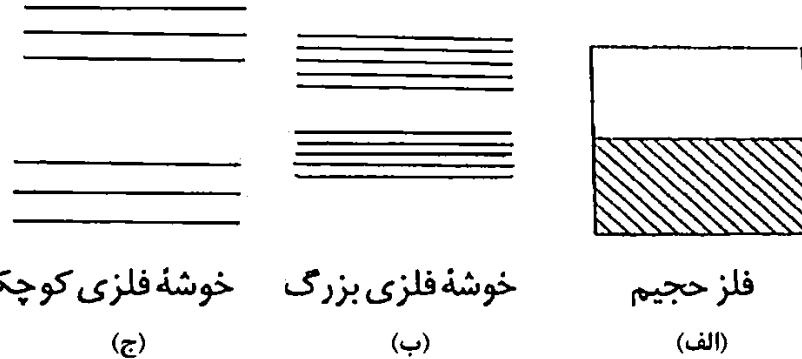


شکل ۷- ساختار انرژی اتم‌ها و مواد معمولی

بسیاری از خواص مواد تابع ساختار انرژی آن است و با تغییر ساختار انرژی، خواص نیز تغییر می‌کند. برای مثال برای ساخت دیودها معمولاً در مواد نیمه‌رسانی معمولی، اتم‌های ناخالصی وارد می‌کنند. ورود اتم‌های ناخالصی به ساختار باعث تغییر ساختار انرژی و کم شدن گاف انرژی می‌شود که تغییرات خواص الکتریکی را به همراه دارد.

در فیزیکی که در ابعاد معمولی وجود دارد و به عنوان فیزیک کلاسیک معروف است (همین فیزیکی که در دبیرستان می‌خوانیم)، انرژی و اکثر کمیت‌ها، مقادیری پیوسته دارند و هر مقداری می‌توانند داشته باشند، برای مثال انرژی جنبشی یک انسان در حال حرکت می‌تواند $1, 1/5, 2/7$ یا هر مقدار دیگری ژول باشد. حال فرض کنید، می‌خواهیم یک ماده معمولی با ابعاد مشخص را ریز کنیم و به ابعاد نانو برسانیم. هنگامی که یک ماده ریز می‌شود، در واقع اتم‌های آن کاهش می‌یابد. اتم که از ماده جدا می‌شود، تراز انرژی مربوط به آن نیز از ساختار نواری جدا می‌شود. زیر یک ابعاد مشخص (ممولاً زیر 100 نانومتر) تعداد اتم‌ها و ترازهای انرژی به قدری کم می‌شود که دوباره نوارهای انرژی تبدیل به تراز انرژی می‌شود. پس با ریز شدن و رسیدن به ابعاد نانو علاوه بر افزایش بسیار زیاد سطح نسبت به حجم، دومین اتفاقی که می‌افتد، گستالتگی نوارهای انرژی و تبدیل به تراز انرژی است. حال دیگر کمیتی مانند انرژی یک الکترون هر مقداری نمی‌تواند داشته باشد و باید انرژی آن به اندازه ترازهای انرژی باشد. از این رو به فیزیکی که در این ابعاد (ابعاد نانو) و ابعاد زیر آن یعنی ابعاد مولکولی و اتمی صادق است را فیزیک کوانتوم و یا فیزیک گستالتگی می‌گویند. در

شکل ۸ نحوه تبدیل نوار به تراز نشان داده شده است.

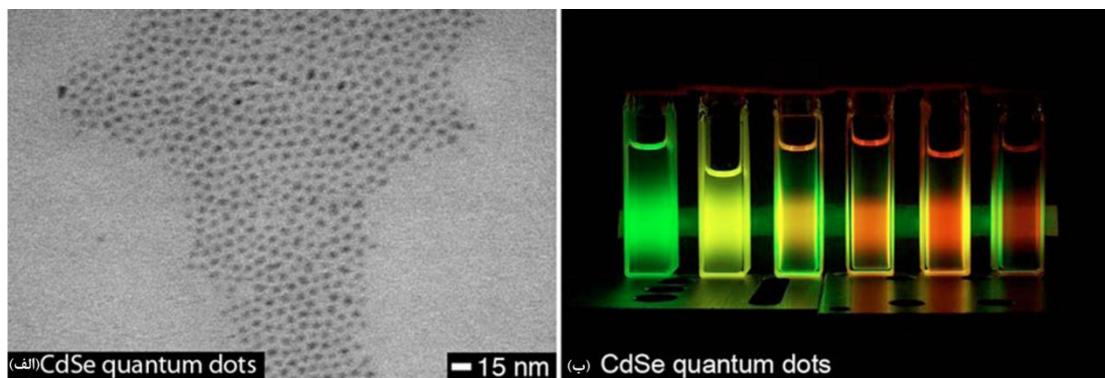


شکل ۸-الف- ساختار انرژی یک ماده معمولی به شکل نوار انرژی،

ب - ساختار انرژی نانوذرات بزرگ (بین ۸۰ تا ۱۰۰ نانومتر) و

ج - ساختار انرژی نانوذرات بزرگ (بین ۸۰ تا ۱۰۰ نانومتر)

برخی از تغییر خواص در ابعاد نانو مانند افزایش قدرت جذب امواج الکترومغناطیس و یا تغییر رنگ، با گستته شدن ترازهای انرژی توجیه می‌شود.



شکل ۹-الف) تصویر TEM تانوذرات کادمیم سلنید و ب) نانوذرات کادمیم سلنید

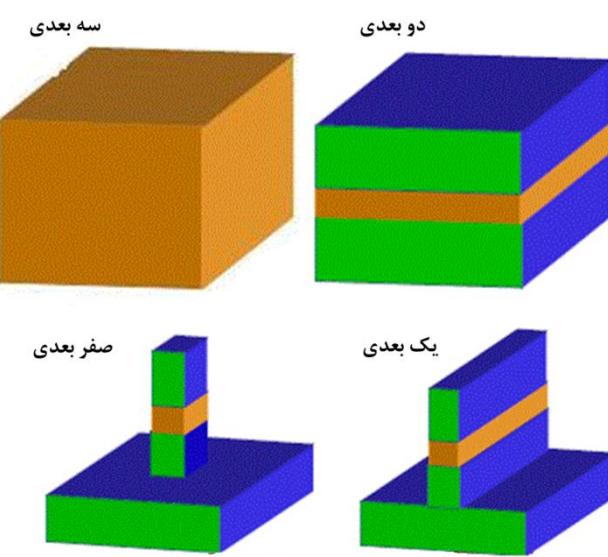
در محلول تحت نور فرابنفش

در بعضی مدل‌ها، به دلیل گستته بودن ترازهای انرژی نانوذرات مانند اتم‌ها، به نانوذرات اتم‌های مصنوعی یا ابر اتم نیز گفته می‌شود. بر اساس این مدل‌ها و بر خلاف آن چیزی که به نظر می‌رسد، واکنش‌پذیری نانوذرات به اندازه آن‌ها ارتباط ندارد. به دلیل اینکه با کاهش اندازه مواد، سطح آن‌ها بیشتر می‌شود و با افزایش سطح هم، پیوندهای شکسته شده افزایش می‌یابد، بنابراین به نظر می‌رسد، واکنش‌پذیری متناسب با اندازه باشد. در حالی که واکنش‌پذیری به تعداد الکترون‌ها وابسته

است. نانوذرات نیز مانند اتم‌ها رفتار می‌کنند، یعنی اگر تراز انرژی آخر آن‌ها پر باشد، نانو-ذره‌ها کنش‌پذیری کمی دارد و اگر تراز انرژی آخر خالی باشد، واکنش‌پذیری افزایش می‌یابد.

انواع نانوساختارها بر اساس تعداد ابعاد آزاد

همان‌طور که می‌دانید هر ماده‌ای از سه بعد تشکیل شده است. اگر حداقل یکی از این ابعاد در مقیاس نانو باشد (بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) به این ماده، یک ماده نانوساختار گفته می‌شود. به بعدی که در مقیاس نانو نباشد اصطلاحاً بعد آزاد گفته می‌شود، زیرا هر مقداری می‌تواند داشته باشد. در شکل ۱۰، انواع نانوساختارها نشان داده شده است.



شکل ۱۰- انواع نانو ساختارها بر حسب تعداد ابعاد آزاد

نانوساختارها بر اساس تعداد ابعاد آزاد به سه دسته تقسیم می‌شوند:

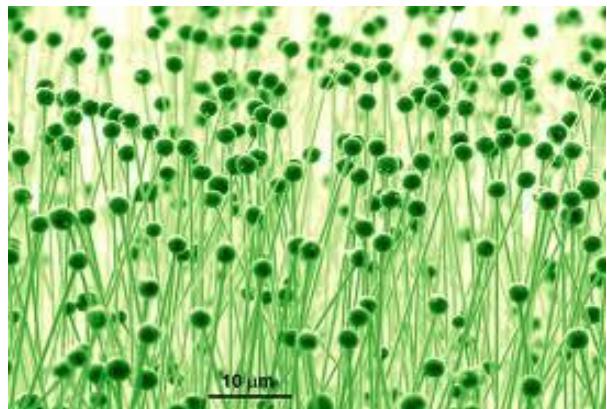
نانومواد صفر بعدی (0D): موادی که در هر سه بعد دارای اندازه‌ی نانومتری می‌باشند و هیچ بعد آزادی ندارند. به این دسته نانوذرات گفته می‌شود. عوامل تاثیرگذار بر خواص نانوذرات، اندازه و جنس ذرات می‌باشند. نانوذرات کاربردهای مختلفی در صنایع مختلف مانند اتومبیل (ضد خش کردن بدنه، ضد بخار کردن شیشه‌ها، لاستیک‌های مقاوم و...)، پزشکی (دارو رسانی، ساخت داروهای جدید، تشخیص علایم بیماری‌ها و...)، تصفیه آب و فاضلاب، الکترونیک، صنایع نظامی و... دارند. نانوذرات می‌توانند بسته به کاربردشان در اشکال مختلف مانند کروی، بیضوی، مکعبی، منشوری، ستونی و... ساخته شوند. نانوذرات ممکن است از یک جزء تشکیل شده باشند یا اینکه ترکیبی از

چند جزء (ماده) باشند. نانوذرات می توانند به صورت خالص و یا ترکیبی از چند ماده مختلف باشند.



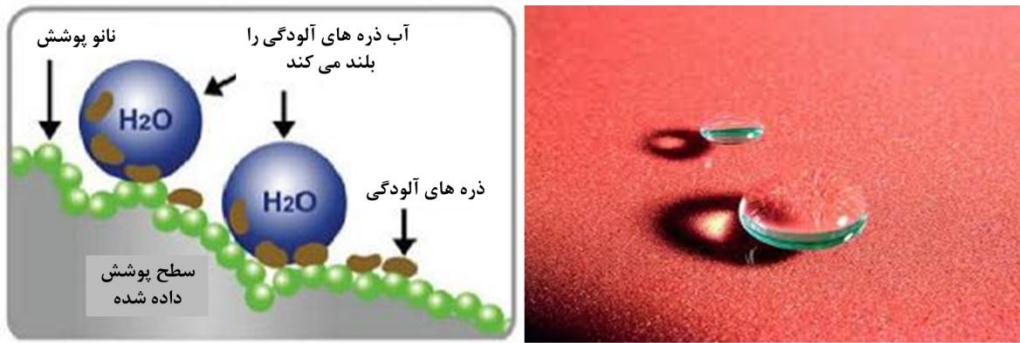
شکل ۱۱- نانوذرات مواد مختلف با اشکال گوناگون

نانومواد تک بعدی (1D): نانومواد تک بعدی دارای دو بعد در مقیاس نانو و یک بعد آزاد می باشند. نانوسیم‌ها، نانومیله‌ها، نانولوله‌ها، نانوالیاف همگی جز مواد نانوساختار تک بعدی می‌باشند. عوامل تأثیرگذار روی خواص نانوساختارهای تک بعدی، جنسو نسبت طول به قطر(L/d) آن می‌باشند. مهمترین ویژگی نانوساختارهای تک بعدی فلزی هدایت الکتریکی آن‌ها در راستای محور سیم می‌باشد. نانوسیم‌ها بر حسب روش ساخت می‌توانند کریستالی و یا بی‌شکل باشند. نانوسیم‌ها کاربردهای زیادی در بخش‌های مختلف مانند ساخت رایانه‌های بسیار کوچک با سرعت بسیار بالا، ساخت لیزرهای بسیار کوچک، ساخت دیودهای نورافشان(LED)، تشخیص بیماری‌ها، حسگر، حافظه‌های منغاطیسی و ... دارند. نانوسیم‌ها نیز می‌توانند به صورت خالص و یا ترکیبی از چند نوع ماده مختلف باشند.



شکل ۱۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی از نانو سیم‌های اکسید روی (ZnO) که اتم‌های Ge به عنوان کاتالیست در قسمت بالای آن‌ها وجود دارند.

نانومواد دو بعدی (2D): این مواد دارای دو بعد آزاد و یک بعد در مقیاس نانو می‌باشند. مواد با یک بعد در مقیاس نانو عمدهاً شامل لایه‌های نازک^۱ یا پوشش‌های سطحی می‌باشد. عوامل تأثیر گذار در خواص نانوپوشش‌ها، جنس و ضخامت آن‌ها می‌باشد. برای مثال سلفون‌های نگه دارنده مواد غذایی یک نوع پوشش هستند. حال اگر ضخامت آن‌ها در ابعاد نانو باشد، به آن‌ها نانو پوشش گفته می‌شود. نانوپوشش‌ها لایه‌هایی با ضخامت ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند که به صورت پوشش روی مواد دیگر قرار می‌گیرند و باعث تغییر خواص و ویژگی‌های آن‌ها می‌شوند. ضخامت نانومتری آن‌ها باعث می‌شوند که با چشم دیده نشوند و به ظاهر جسم آسیبی نرسانند. برای مثال لایه‌های نازکی که روی لباس‌ها قرار می‌گیرد و باعث ضدآب شدن آن‌ها می‌شوند. لایه‌های نازک در طول دهه‌های اخیر در زمینه‌های مختلفی از قبیل الکترونیک، شیمی، فیزیک، صنایع ساختمان، اتومبیل و ... مورد استفاده قرار گرفته‌اند. لایه‌های نازک به وسیله‌ی روش‌های مختلفی بر روی سطح قرار می‌گیرند و می‌توان ضخامت و خواص آن‌ها را کنترل کرد. لایه‌های نازک نیز می‌توانند به صورت خالص و یا ترکیبی از چند ماده مختلف باشند.



شکل ۱۳- ساخت پوشش‌های ضد آب

نانومواد سه بعدی (3D): یعنی هر سه بعد آن‌ها در مقیاس آزاد است. همانطور که مشاهده می‌کنید این تعریف با تعریف مواد نانوساختار در تناقض است زیرا هیچ یک از سه بعد آن در مقیاس نانو نیست. این دسته شامل نانوکامپوزیت‌ها و مواد حجیم نانوساختار می‌باشد. به منظور بررسی پدیده‌ها و خواص فیزیکی جدید و عملی کاربردهای ممکن نانوساختارها و نانومواد، توانایی برای تولید نانوساختارها اولین سنگ بنا در فناوری نانو است.

روش‌های ساخت نانوساختارها

نانوساختارها را می‌توان با روش‌های مختلف تولید نمود که همه این روش‌ها را می‌توان در دو گروه کلی روش‌های از بالا به پائین¹ و از پائین به بالا² تقسیم‌بندی کرد. منظور از بالا و پائین در اینجا، مقیاس می‌باشد، بالا به معنی مقیاس‌های بزرگ‌تر از نانو می‌باشد، بنابراین روش‌های از بالا به پائین شامل روش‌هایی است که در آن‌ها، نانوساختارها مستقیماً از مواد معمولی و درشت مقیاس³ تهیی می‌شوند. به عبارت دیگر با استفاده از این روش‌ها مواد را خرد و آن‌ها را به ابعاد نانو تبدیل می‌کنند. اکثر روش‌های از بالا به پائین شامل روش‌های فیزیکی از قبیل آسیا، سایش، لیتوگرافی و ... می‌باشند که با استفاده از تغییر شکل‌های مکانیکی مواد را به ابعاد نانو می‌رسانند (شکل ۱۴).

1- Top to Down

2- Bottom up

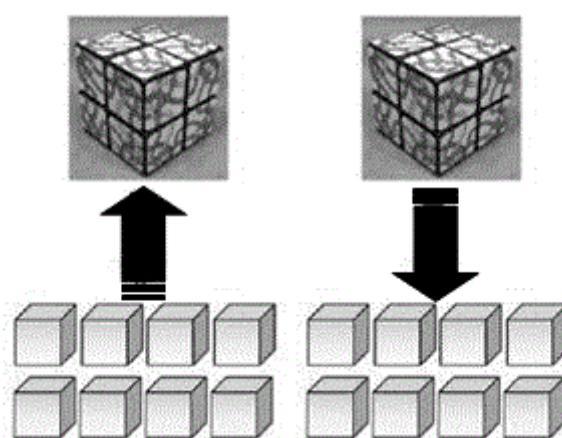
3-Bulk



شکل ۱۴- روش‌های از بالا به پایین با استفاده از روش‌های مکانیکی مواد درشت مقیاس را به ابعاد نانو می‌رسانند.

روش‌های از پایین به بالا به معنی شروع کردن از مقیاس‌های زیر نانو و رسیدن به ابعاد نانو می‌باشند. در این روش‌ها، اتم‌ها و اجزاء مولکولی به عنوان مواد آغازگر می‌باشند که طی واکنش‌های شیمیایی (فرآیندهای پهسته‌زایی و رشد) به هم متصل شده و به تشکیل ذراتی در ابعاد نانو می‌انجامند.

از بالا به پایین و از پایین به بالا دو روش خاص نیستند و یک نام کلی برای مجموعه‌ای از روش‌هایی می‌باشند که طی آن‌ها مواد نانوساختار تولید می‌شوند. تولید نانوساختارها با استفاده از دو رهیافت بالا به پایین و پایین به بالا، به صورت شماتیک در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۵- رهیافت‌های موجود برای تولید نانوساختارهای مختلف.
سمت راست بالا به پایین و سمت چپ پایین به بالا.