

مزایای نهفته در ابعاد نانو

با درک ابعاد نانو سوال بعدی این خواهد بود که چه مزایایی در ابعاد نانومتری وجود دارد؟

جدول ۱- مزایای ساخت مواد در ابعاد نانومتری

در محدوده نانومتری همه اشیا را می توان کوچک ساخت.	1- تمام چیزها را می توان در مقیاسی به مراتب کوچکتر کنار هم چید. 2- روشهای جدیدی برای ساخت اشیا در مقیاس بسیار ریز امکان پذیر خواهد شد.
خصوصیات جدیدی در ابعاد نانومتری مشاهده میشوند.	1- خصوصیات از اثرات کوانتومی استخراج میشود. 2- خصوصیات جدیدی از چیدن اجزای مختلف کنار یکدیگر در مقیاس نانومتری ایجاد میشود. 3- بسیاری از خواص ناشی از کاهش ابعاد است.
در ابعاد نانومتری مواد بسیار حساس شوند.	1- نیروهای بینهایت کوچک خیلی مؤثرتر مورد استفاده واقع میشوند. 2- واکنشهای شیمیایی بسیار بیشتر خواهند شد. 3- حتی مقادیر بسیار ناچیز الکتروسیسته می تواند اثر دلخواه را ایجاد کند.

استفاده از فناوری نانو باعث می شود که مصرف پلاتین به عنوان کاتالیست در پیل سوختی از مقدار ۰,۳ میلی گرم در متر مربع به ۰,۰۰۷ میلی گرم در متر مربع برسد (یک چهل و سوم) که البته کارایی چندین برابر هم نسبت به روش های قبلی و ۹۷ درصد صرفه جویی در میزان مصرف کاتالیزور گران قیمت پلاتین به همراه دارد. این کاهش فقط به خاطر نازک کردن ضخامت لایه پلاتین به چند نانومتر است .

کوچک شدن ابعاد، به همان اندازه، می تواند بزرگ شدن و افزایش خواص و قابلیت ها را به همراه داشته باشد. در نظر بگیرید که خاصیت ویژه ای از یک ماده چندین میلیون بار تقویت شود، اگر خاصیت مطلوبی با کوچکتر شدن ابعاد بتواند اینقدر افزون شود، بعید نیست با استفاده از ابعاد کوچک، نیازهای

گسترده ای پاسخ داده شود. با این تفسیر شاید بتوان از کاه، کوه ساخت. اگر ۱۰ میلیون بار بزرگ شویم، یک نانومتر معادل یک سانتیمتر میشود و طبیعتاً تحولات زیادی در این گستره پهناور برای اشیای نانومتری قابل انجام است. اگر به چند نمونه از تغییرات خواص توجه شود، چنین تفاوتی قابل درک است .

بر اساس نیروهای بین مولکولی و بین اتمی ترکیبات متنوعی شکل می گیرند. با تغییر در مقیاس های حجم، خصوصیات بنیادی یک ماده تغییر نخواهد کرد و در مورد برخی از خواص، مقدار کمتر ماده برابر است با خاصیت کمتر آن. برای مثال شیرینی یک حبه قند بیشتر از یک دانه شکر است. در مورد برخی دیگر از خواص مثل میزان حل شدن این مسئله صادق نیست. اگر یک حبه قند و همان مقدار قند به صورت دانه های شکر با هم مقایسه شود، دانه های شکر خیلی سریع تر در یک لیوان آب حل می شود. این نمودی از سطوح بیشتر دانه های شکر است. با ریزتر شدن مواد حجم سطوح افزایش می یابند و با افزایش خیلی زیاد این سطوح همزمان تغییرات زیادی در خصوصیات ظاهری نمایان می گردد. به طور مثال سیب زمینی خرد شده بسیار بهتر و سریعتر از سیب زمینی درسته سرخ می شود. این دقیقاً به خاطر آن است که سیب زمینی خرد شده سطوح بیرونی بیشتری دارد که می تواند با روغن داغ واکنش دهد. چنین نسبتی برای ذرات نانومتری و ذرات میکرومتری وجود دارد .



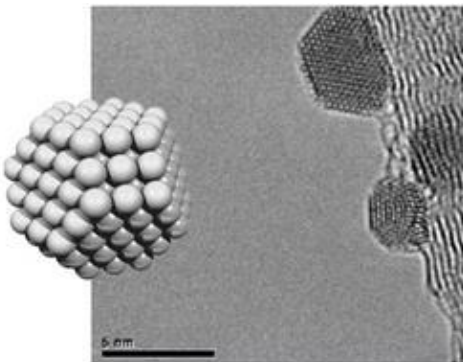
انجمن علمی مهندسی مواد و متالورژی
www.samme.ir

شکل ۱- نمایش افزایش میزان نسبت سطح به حجم در یک سیب زمینی

با اشاره به دو مثال فوق درک تغییرات در ابعاد نانومتری نیز آسان است. اگر ذرات کوچکی در ابعاد نانومتری وجود داشته باشند، به مانند سیب زمینی خرد شده و دانه های شکر خصوصیاتشان تغییر می کند. تمام این ذرات از واحدهای کوچکتری با نام اتم ساخته شده اند. قطر کوچکترین اتم یعنی هیدروژن، $0,074$ نانومتر و قطر بزرگترین اتم یعنی سرب با عدد اتمی 82 ، $0,35$ نانومتر است. با این ابعاد، تخمین زده می شود که یک ذره 1 نانومتری شامل دهها تا هزاران اتم باشد. چنانچه وضعیت اتمهای سطح ذره بررسی شود، تغییر در تعداد این اتمها قابل درک است. تعداد اتم های سطح در ابعاد کوچک تر بیشتر می شود و این منشاء تغییر بسیاری از خصوصیات ماده در ابعاد نانومتری است. در مقیاس نانو بیشتر اتم ها بر روی سطح ماده قرار دارند که شرایط و محدودیت های اتمهای درونی را ندارند. تغییر در تعداد اتمهای سطحی در ابعاد نانومتری بسیار شدید است. برای مثال، ذره ای که ضخامت 20 نانومتر دارد، 20 درصد از اتمهای آن روی سطح قرار دارند، در حالی که در یک ذره 30 نانومتری فقط 5% اتم های آن روی سطح قرار گرفته اند!

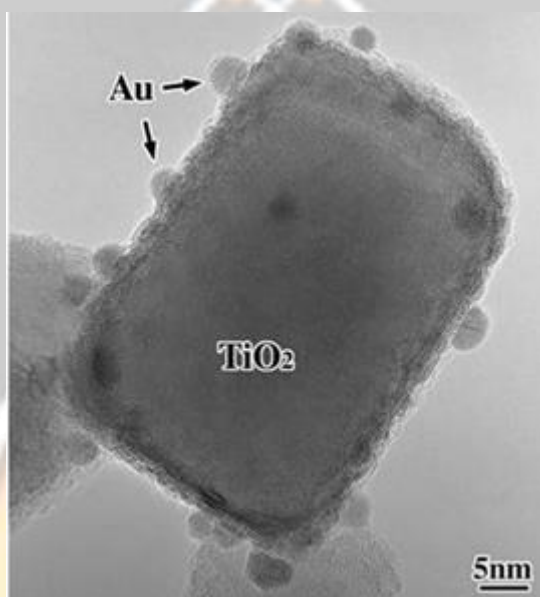
در شکل ۲، خوشه های نانوذرات نقره نشان داده شده است. در این شکل 60 درصد اتم ها در سطح مولکول قرار دارند. با این شرح، عجیب نیست که وقتی هر فلزی را به ابعاد نانومتری برسانیم، خصوصیت ضد باکتری پیدا می کند.

سطح و اتمهای سطحی چه اهمیتی دارند؟ نسبت سطح به حجم، عامل مهمی است که میزان فعالیت یک سیستم نانوذرات را تعیین می - کند. در یک نمونه از نانوذرات، هر چه نسبت سطح به حجم بیشتر باشد، میزان فعالیت بیشتر است. این فعالیت ممکن است، فعالیت کاتالیزوری یا فعالیت مربوط به دارورسانی باشد. افزایش فعالیت در مورد نانوذرات طلا، تیتانیم، اکسید روی و پالادیم اثبات شده است.



شکل ۲- مولکول پلی هدرونی شکل، شامل 201 اتم است که 122 اتم آن در سطح قرار دارد. شکل واقعی این مولکول به صورت خوشه نانوذرات نقره

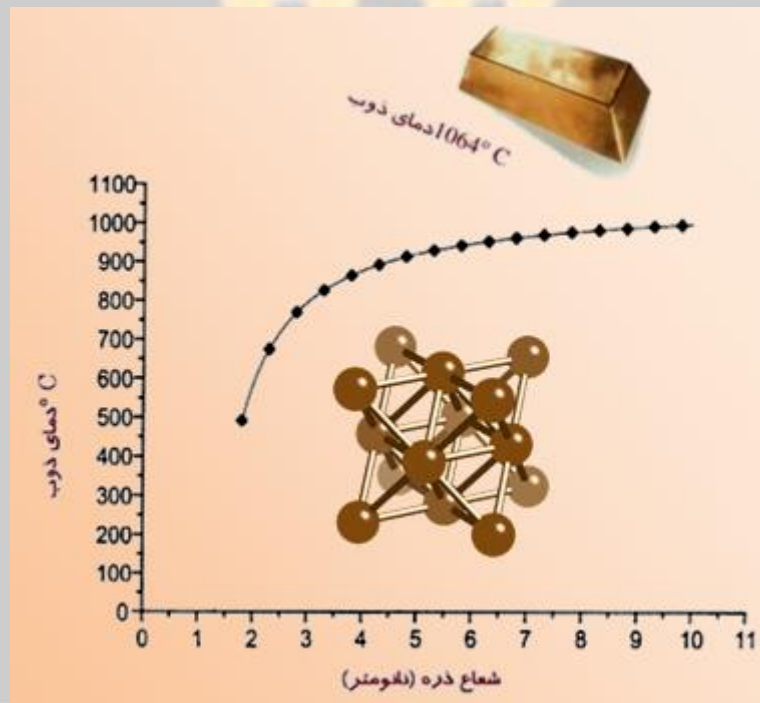
اولین اثر افزایش نسبت سطح به حجم نانوذرات بر خواص فیزیکی ذرات است. این ویژگی، واکنش پذیری نانوذرات را به شدت افزایش می دهد به گونه ای که این ذرات به شدت تمایل به آگلومره یا کلوخه ای شدن (چسبیدن به هم) دارند. به عنوان مثال نانوذرات فلزی، به محض قرار گرفتن در مجاورت هوا، به سرعت اکسید می شوند. البته این افزایش فعالیت سطحی مزایایی هم در بردارد. به عنوان مثال با استفاده از این خاصیت می توان کارایی کاتالیزورهای شیمیایی را به نحو مؤثری بهبود بخشید و یا در تولید کامپوزیت ها با استفاده از این ذرات، پیوندهای شیمیایی مستحکم تری بین ماده زمینه و ذرات برقرار نمود و استحکام کامپوزیت به شدت افزایش می یابد .



شکل ۳- طلا در حالت ماکرو از لحاظ شیمیایی خنثی است، اما نانوذرات طلا به عنوان کاتالیزور فرایندهای شیمیایی مورد استفاده قرار می گیرند .

علاوه بر این، افزایش سطح ذرات، فشار سطحی را تغییر داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات یا فاصله بین اتم های ذرات می شود. فاصله بین اتم های ذرات با کاهش اندازه آنها، کاهش می یابد. البته این امر بیشتر برای نانوذرات فلزی صادق است. در مورد نیمه هادی ها و اکسیدهای فلزی مشاهده شده است که با کاهش قطر نانوذرات، فاصله بین اتم های آنها افزایش می یابد. اگر اندازه دانه باز هم بیشتر کاهش یابد، تغییرات شدید دیگری نیز رخ می دهد. از جمله این تغییرات آن است که اتم ها می توانند خودشان را در هندسه هایی که در جامدات توده ای غیر ممکن است، آرایش دهند. تغییر فاصله بین اتم های ذرات و نسبت سطح به حجم زیاد در نانوذرات، تأثیر متقابلی در خواص ماده دارد. وقتی ابعاد نانو کریستال کاهش می یابد، انرژی سطح زیاد می شود و این امر در خواص ترمودینامیکی ماده (مثل نقطه ذوب) تأثیر گذار

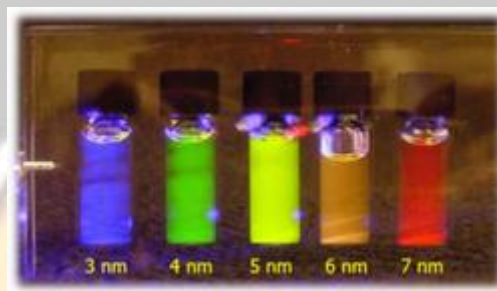
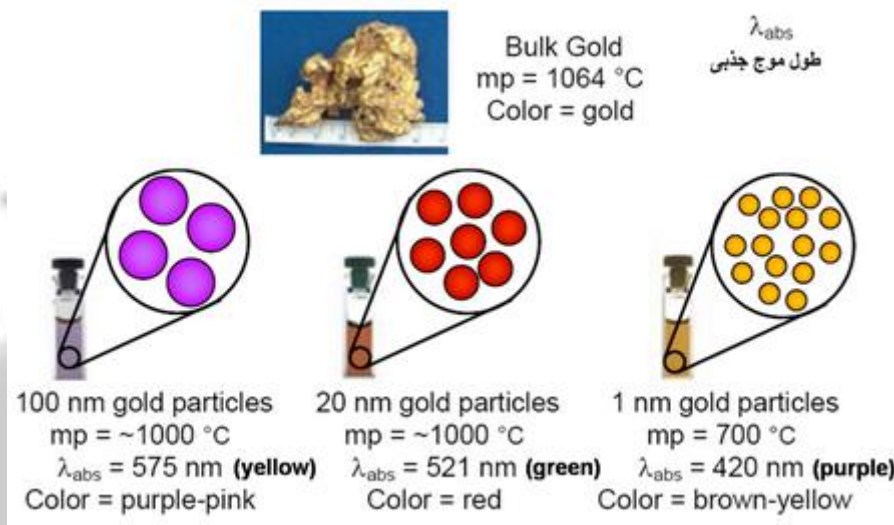
است. برای مثال سلنیم کادمیوم (CdSe) سه نانومتری در ۷۰۰ درجه کلوین ذوب می شود، در حالی که دمای ذوب آن در حالت توده ای ۱۶۷۸ درجه کلوین است. شکل ۴ نشان دهنده نمودار تغییرات نقطه ذوب نانوذرات طلا بر حسب اندازه ذرات آن است. ملاحظه می شود که نقطه ذوب با کاهش اندازه ذرات، کاهش می یابد و نرخ کاهش نقطه ذوب در اندازه ذرات خیلی کوچک، بسیار شدید است. دمای ذوب طلا در حالت معمولی ۱۰۶۴ درجه سانتیگراد است در حالی که برای نانو ذرات طلا که اندازه آنها به حدود ۲ نانومتر رسیده باشد دمای ذوب از ۱۰۶۴ به ۵۰۰ درجه سانتیگراد تقلیل می یابد. کاهش دمای ذوب ناشی از افزایش تعداد اتمهای سطحی است. این اتمها نسبت به اتمهای مشابه در مواد حجیم کمتر پیوند تشکیل می دهند و این خود باعث تسهیل در ذوب می شود.



شکل ۴- تغییرات دمای ذوب طلا با تغییر شعاع ذره

خصوصیات الکتریکی، نوری و مغناطیسی مقیاس نانو، دایره فیزیک جدید را تعریف می کنند. پخش و جذب تابش الکترومغناطیسی، در دایره خواص نوری مقیاس نانو است. پدیده مکانیک کوانتومی تونل زدن، در دایره خواص الکتریکی مقیاس نانو است و سوپرپارامغناطیس شدن و اسپینترونیک در دایره خواص مغناطیسی مقیاس نانو تعریف می شود. تاثیر نور بر نانوذرات بسیار متفاوت با تاثیر نور بر مواد حجیم است، لذا خصوصیات رنگی نیز در ابعاد نانومتری متحول میشوند. از آنجا که چشم انسان تنها قادر به درک طیف مرئی امواج الکترومغناطیسی بین ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر است و این ابعاد بزرگتر از مقیاسی

است که از آن بحث می کنیم. پدیده های فیزیکی و الکتریکی جدیدی در فاصله های نانومتری امکان پذیر است. در محلول ذرات نانومتری طلا، تفاوت اندک در ابعاد رنگ محلول را تغییر می دهد .

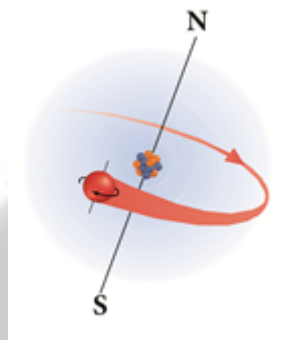


شکل ۵- نانوذرات مختلف با تغییر ابعاد، تغییر رنگ می دهند.

تغییرات در خواص الکتریکی نیز قابل مشاهده اند. نقاط کوانتومی، شعاع کوچکی به اندازه a و کمتر از ۱۰۰ نانومتر دارند. به خاطر ظرفیت الکتریکی $(C=4\pi\epsilon\epsilon_0 a)$ که به تناسب این شعاع کم است، انرژی شارژ الکتریکی مقدار زیادی است. $(U=Q^2/2C)$ در چنین حالتی تغییر بار به اندازه حتی یک الکترون در نقطه کوانتومی ممکن است مقدار بزرگی از انرژی را تغییر دهد .

بدون شک مواد مغناطیسی کاربردهای زیادی در ابزار و وسایل پیرامون ما دارند . این مواد نیز بی ارتباط با ابعاد نانومتری نیستند. موتورها، ژنراتورها، مبدل های کاهنده برق، کارتهای مغناطیسی، تلفنهای همراه، رادیو و تلویزیون، ابزارهای ماکروویو، جداسازی مغناطیسی، یخچالهای مغناطیسی، امنیت پرواز، عاملهای تمایز دهنده تصویر در MRI ، لامپهای فلورسنت و قطارهای برقی و ... همه و همه با مواد مغناطیسی سر

و کار دارند. خاصیت مغناطیسی از جمله خواصی است که به مقدار بسیار زیادی به اندازه ذره وابسته است .



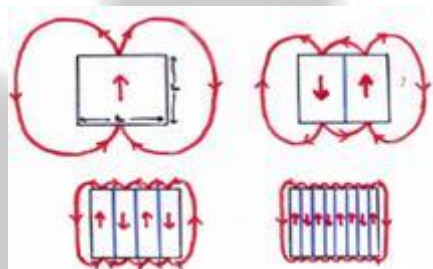
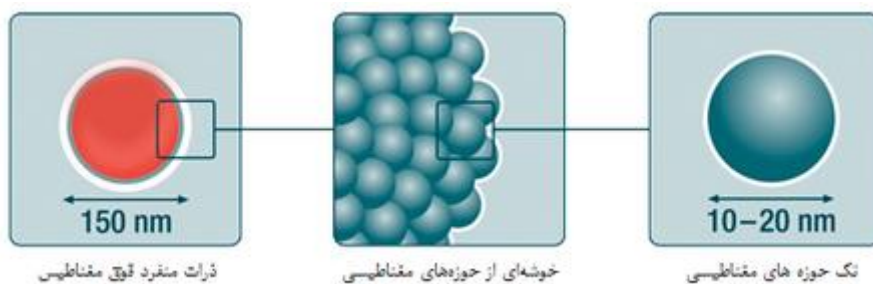
شکل ۶- میدان مغناطیسی از حرکت یک ذره بار دار مانند یک الکترون ایجاد می شود. همه اتمها دارای الکترون هستند. این الکترونها علاوه بر حرکت در اطراف هسته اتم، دور خود نیز گردش دارند. به خاطر این حرکت، هر الکترون یک میدان مغناطیسی ایجاد می کند .

هر ماده مغناطیس در حالت حجیم، از حوزه‌های مغناطیسی تشکیل شده است. هر حوزه حاوی هزاران اتم است که در آن جهت اسپین الکترون‌ها یکسان بوده و ممان‌های مغناطیسی همسو هستند. اما جهت ممان‌های هر حوزه با حوزه‌های دیگر متفاوت است .



شکل ۷- حوزه‌های همسو شده و حوزه‌های مغناطیسی حالت عادی

هر چه تعداد حوزه‌ها کم‌تر باشد، نیرو و میدان کمتری نیز برای هم جهت ساختن حوزه‌ها مورد نیاز است، و چنانچه ماده‌ای تنها دارای یک حوزه باشد، بنابراین نیازی به هم جهت کردن آن با دیگر حوزه‌ها نخواهد بود. از آنجا که قطر این حوزه‌ها در محدوده یک تا چند هزار نانومتر است، هر ذره‌ای که تنها شامل یک حوزه باشد، می‌تواند نانوذره به شمار رود .



شکل ۸- مقیاس اندازه های مغناطیسی بر حسب نانومتری

نانوذرات مغناطیسی دارای تعداد حوزه‌های کمی هستند و مغناطیسی شدن آن‌ها ساده‌تر می‌باشد. از طرف دیگر، بر اساس قانون دوم ترمودینامیک "بی‌نظمی در یک سیستم منزوی، در یک فرآیند خودبخودی، افزایش می‌یابد."

بنابراین، موادی که از حالت طبیعی خارج می‌شوند، تمایل شدیدی برای برگشت به وضعیت طبیعی خود دارند و مغناطیسی شدن، مثالی در این مورد است. اما چون نانوذرات مغناطیسی نیاز به نیروی زیادی برای مغناطیسی شدن ندارند، خیلی از حالت طبیعی فاصله نمی‌گیرند و پس از مغناطیس شدن تمایل چندانی برای از دست دادن خاصیت مغناطیسی و بازگشت به وضعیت اولیه را ندارند. هرگاه، یک میدان مغناطیسی بزرگ، تمام حوزه‌های مغناطیسی را هم‌جهت کند، تغییر فاز مغناطیسی رخ داده و مغناطیسی شدن به حد اشباع می‌رسد. در دمای بالاتر از یک دمای مشخص، که دمای قفل شدن نامیده می‌شود، انرژی حرارتی کافی برای ذره وجود دارد تا مثل یک اتم پارامغناطیس با گشتاور مغناطیسی بزرگ رفتار کرده و حالت سوپراپارامغناطیس ایجاد کند و برای ذرات کوچک قابل ملاحظه است. ارتباط بین اندازه دانه و دمای قفل شدن، بسیار جالب است. این موضوع برای نانوذرات کبالت مورد مطالعه قرار گرفته است. وقتی اندازه ذرات کبالت از ۴,۴ نانومتر به ۱,۸ نانومتر کاهش می‌یابد، دمای قفل شدن از ۵۰ به ۱۹ درجه سانتیگراد کاهش می‌یابد. با استفاده از نانوذرات مغناطیسی و ایجاد یک میدان مغناطیسی می‌توان

دارو را به صورت هوشمند به بافت مورد نظر رسانده و سبب بهبود بافت، بدون صدمه به بافت‌های دیگر شد. در یک مثال موردی، محققان اسید فولیک را بر روی نانوذرات مغناطیسی قرار داده و سپس با داغ کردن نانوذرات سبب افزایش دمای سلول سرطانی و انهدام آن شده‌اند .

تاثیر کاهش ابعاد در گرانیوی سیالات هم دیده میشود. آب در مقیاس نانو به همان روانی نیست که ما در مقیاسهای بزرگ استفاده می کنیم. اشیای کوچک در این محیط با ماده چسبنده ای مثل عسل یا آب قند احاطه شده اند. این به خاطر آن است که خواص گرانیوی سیالات در مقیاس نانو نیز دچار تغییر میگردد. اگر $dp/dt \sim \rho a^2 v^2$ ، نیروی اینرسی باشد و $F = \eta a v$ ، نیروی گرانیوی (η) ویسکوزیته مایع است). عدد رینولدز نسبت نیروی اینرسی به نیروی گرانیوی یعنی $Re = \rho a v / \eta$ است. ثابت رینولدز در ابعاد کم بسیار اندک خواهد شد. این به معنای گرانیوی بالای محلول است .

خواص مکانیکی نیز در مقیاس نانو دچار تحول می شوند. در مقیاس نانو، نیروهای بین سطحی و سطحی برجسته میشوند. برای مثال نیروهای چسبندگی، موینگی و کشیدگی نسبت به نیروهایی که در ابعاد ماکرومتری برجسته هستند (جاذبه)، بیشتر خواهند شد. پوششهای سطحی از این نظر اهمیت دارند که در سیستمهای الکترومکانیکی نانو مقیاس (NEMS) از چسبندگی جلوگیری کنند. حرکت مکانیکی با کاهش ابعاد خیلی سریعتر صورت می گیرد. به همین دلیل انتظار می رود که روتورهای مولکولی فرکانسهای گردشی بالایی داشته باشند (۱۰۰ تا ۱۰۰۰ گیگاهرتز).