ریزذره‌های مغناطیس‌پذیر

رویا نوری
معلم شیمی منطقه ۷ تهران

چکیده

نانوذره‌های مغناطیسی، دسته‌ای از نانوذره‌ها هستند که به کمک میدان مغناطیسی خارجی می‌توان ویژگی‌های آن‌ها را تغییر داد. این ذره‌ها از عنصرهای مغناطیسی مانند آهن، نیکل، کبالت و ترکیب‌های شیمیایی آن‌ها تشکیل شده‌اند. قطر نانوذره‌های کوچک معمولاً ۱μm است و این مقدار برای ذره‌های بزرگ‌تر به ۰/۵ تا ۵۰۰ میکرومتر می‌رسد. از این ذره‌ها می‌توان به‌عنوان کاتالیزگر استفاده کرد و در تصویربرداری رزونانس مغناطیسی، ذخیرهٔ اطلاعات و زیست پزشکی نیز از آن‌ها بهره گرفت.

کلیدواژه‌ها

نانوذره، رفتار مغناطیسی، دوقطبی‌ها، گشتاور مغناطیسی

مقدمه

رفتار مغناطیسی مواد ناشی از حرکت الکترون‌هاست. هر الکترون در اتم دو گشتاور مغناطیسی دارد: یکی، گشتاور مغناطیسی ناشی از چرخش (اسپین) الکترون حول محور خود است و دیگری، از حرکت اوربیتالی الکترون حول هستهٔ اتم ایجاد می‌شود. هر اوربیتال معین می‌تواند حداکثر شامل دو الکترون (یک جفت الکترون) با چرخش (اسپین) مخالف باشد. بنابراین از آنجا که گشتاورهای مغناطیسی هر جفت الکترون، در هر سطح انرژی، برابر اما خلاف جهت یکدیگر بوده، در اغلب موارد آرایش الکترون‌ها در اتم‌ها به‌صورت جفت شده است، در این عنصرها رفتار مغناطیسی مشاهده نمی‌شود.

بر این اساس، انتظار می‌رود، اتم عنصرهایی که عدد اتمی فرد دارند، یک گشتاور مغناطیسی ناشی از الکترون منفرد داشته باشند، اما این حالت همیشه برقرار نیست. در بیشتر این عنصرها، تک الکترون‌های مدار خارجی که ـ الکترون ظرفیتی اتم آن عنصرند ـ به‌طور متوسط گشتاورهای مغناطیسی یکدیگر را خنثی می‌کنند و در نتیجه ماده در کل، رفتار مغناطیسی نخواهد داشت. در مقابل، برخی فلزهای واسط که دارای سطح انرژی داخلی هستند و به‌طور کامل با جفت الکترون پر نشده‌اند، رفتار مغناطیسی از خود نشان می‌دهند. وجود تک الکترون‌ها در لایه‌های الکترونی داخلی اتم این عنصرها، گشتاورهای دوقطبی مثبت کوچکی ایجاد می‌کند مانند الکترون‌های اوربیتال‌های ۳d در Fe، Co و Ni.

شکل ۱ فرومغناطیس پارامغناطیس دیامغناطیس

نانوذره‌های مغناطیسی

هر مادهٔ مغناطیسی در حالت حجیم، از حوزه‌های مغناطیسی تشکیل شده است. هر حوزه حاوی هزاران اتم است که در آن، جهت اسپین الکترون‌ها یکسان بوده، گشتاورهای مغناطیسی نیز همسو هستند اما جهت گشتاورهای هر حوزه با حوزهٔ دیگر متفاوت است. هرچه تعداد حوزه‌ها کمتر باشد، نیرو و میدان کمتری نیز برای هم‌جهت کردن حوزه‌ها مورد نیاز است و چنانچه ماده‌ای تنها دارای یک حوزه باشد، نیازی به هم‌جهت کردن آن با دیگر حوزه‌ها نخواهد بود. از آنجا که قطر این حوزه‌ها در محدودهٔ یک تا چند هزار نانومتر است، هر ذره‌ای که تنها شامل یک حوزه باشد، می‌تواند نانوذره به‌شمار رود. نانوذره‌های مغناطیسی دارای تعداد حوزه‌های کمی هستند و مغناطیسی شدن آن‌ها ساده‌تر است. از سوی دیگر، براساس قانون دوم ترمودینامیک «بی‌نظمی در یک سامانهٔ منزوی، در یک فرایند خودبه‌خودی افزایش می‌یابد.» بنابراین، موادی که از حالت طبیعی خارج می‌شوند، تمایل شدیدی برای برگشت به وضعیت طبیعی خود دارند و مغناطیس شدن، مثالی در این مورد است اما چون نانوذره‌های 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 ندارند. هرگاه، یک میدان مغناطیسی بزرگ، تمام حوزه‌های مغناطیسی را هم‌جهت کند، تغییر فاز مغناطیسی روی می‌دهد و مغناطیسی شدن به حدّ اشباع می‌رسد. در دمای بالاتر از یک دمای مشخص، که دمای قفل شدن نامیده می‌شود، انرژی گرمایی کافی برای ذره وجود دارد تا مثل یک اتم پارامغناطیس با گشتاور مغناطیسی بزرگ رفتار کرده، حالت فراپارامغناطیس[1] ایجاد کند که برای ذره‌های کوچک قابل ملاحظه است. پس می‌توان گفت، نانوذره‌های مغناطیسی دسته‌ای از نانوذره‌ها هستند که با استفاده از میدان مغناطیسی خارجی می‌توان خصوصیات آن‌ها را تغییر داد. این ذره‌ها معمولاً شامل عنصرهای مغناطیسی مانند آهن، نیکل، کبالت و ترکیب‌های شیمیایی آن‌ها هستند. قطر نانوذره‌های کوچک ۱ میکرومتر است و قطر ذره‌های بزرگ‌تر، به ۰/۵ تا ۵۰۰ نانومتر می‌رسد. ارتباط بین اندازهٔ دانه و دمای قفل شدن، بسیار جالب است. این موضوع برای نانوذره‌های کبالت مورد بررسی قرار گرفته است. وقتی اندازهٔ ذره‌های کبالت از ٤/٤ نانومتر به ۱/۸ نانومتر کاهش می‌یابد، دمای قفل شدن از ۵۰ به ۱۹ درجهٔ سلسیوس می‌رسد.

ویژگی نانوذره‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نانوذره‌های مغناطیسی، به روش‌های سنتز و ساختار شیمیایی آن‌ها بستگی دارد. معمولاً ذره‌ها، اندازه‌ای بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند و خصوصیات فراپارامغناطیسی از خود نشان می‌دهند.

انواع نانوذره‌های مغناطیسی

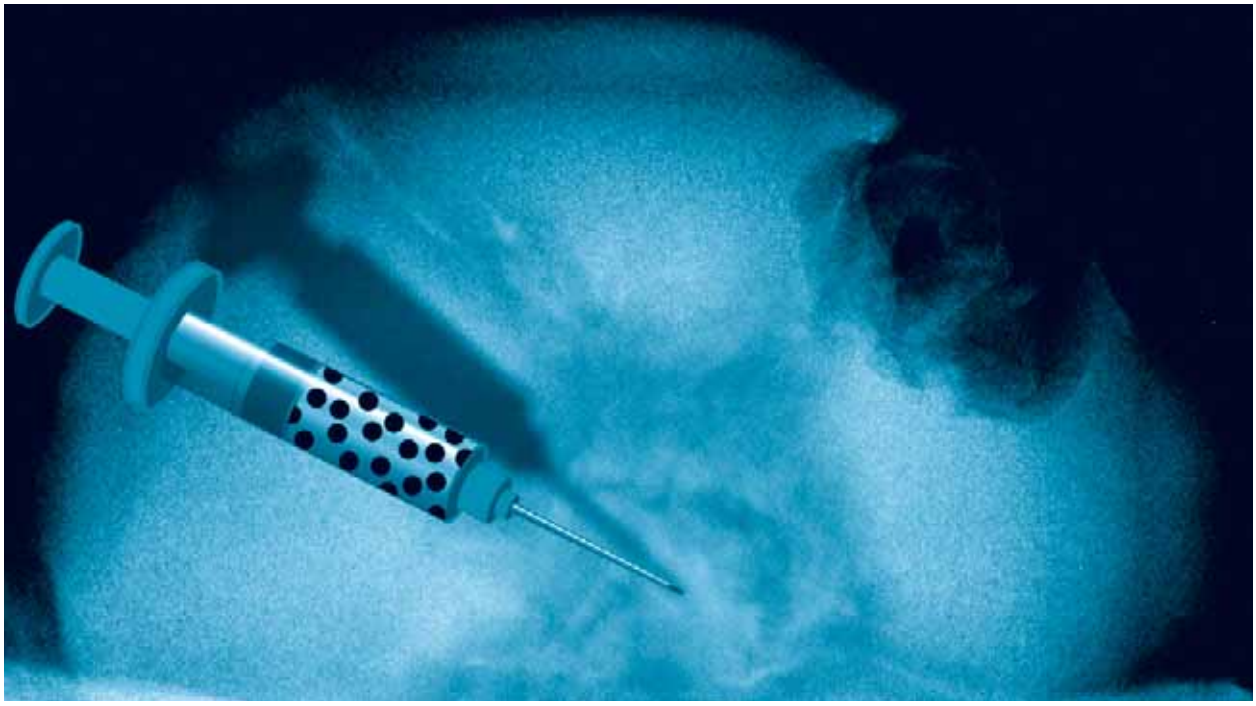
هم‌اکنون سه نوع نانوذرهٔ مغناطیسی تولید می‌شود و مورد استفاده قرار می‌گیرد که به این قرارند:

آ. اکسیدها: فرّیت

فرّیت[2]ها ترکیب‌های شیمیایی شامل آهن (III) اکسید هستند. نانوذره‌های فرّیت تا این زمان بیشتر از نانوذره‌های مغناطیسی دیگر مورد بررسی و توجه قرار گرفته‌اند. زمانی که ذره‌های فرّیت کوچک‌تر از ۱۲۸ نانومتر باشند فرامغناطیسی می‌شوند و تنها زمانی که در میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرند، رفتار مغناطیسی از خود نشان می‌دهند. برعکس، با از بین رفتن میدان مغناطیسی خارجی این رفتار را از دست می‌دهند. سطح نانوذره‌های مغناطیسی اغلب با ترکیب‌های سیلیسیم‌دار و فسفریک اسیدها پوشانده می‌شود تا در محلول‌ها، پایداری بیشتری داشته باشند.

ب. نانوذره‌های فلزی

نانوذره‌های فلزی اغلب به‌طور خودبه‌خود شعله‌ور می‌شوند و نسبت به عوامل اکسیدکننده، فعال هستند. این مسئله کار با آن‌ها



روش‌های قبلی درمان توده‌های سرطانی، شامل تزریق مستقیم ذره‌های آهن بوده است.

را دشوار می‌کند و باعث واکنش‌های جانبی نامطلوب می‌شود.

پ. نانوذره‌های فلزی با پوشش خارجی

هستهٔ فلزی نانوذره‌های مغناطیسی را می‌توان با انجام اکسایش خفیف یا استفاده از مواد فعال سطحی مانند پلیمرها و فلزهای ارزشمندی مانند طلا و نقره، غیرفعال کرد. در محیط دارای اکسیژن، نانوذره‌های کبالت با لایه‌ای از کبالت اکسید پوشیده می‌شوند. به تازگی نانوذره‌هایی با هستهٔ مغناطیسی، شامل کبالت یا آهن با پوستهٔ غیرفعال گرافن سنتز شده‌اند. مزیت این نانوذره‌ها نسبت به فرّیت یا نانوذره‌های عنصری این است که خاصیت مغناطیسی بیشتری دارند، در محلول‌های اسیدی و بازی هم مانند حلال‌های آلی پایدار هستند و شیمی آن‌ها به‌دلیل وجود سطح گرافنی، شبیه به نانولوله‌های کربنی است.

کاربردها

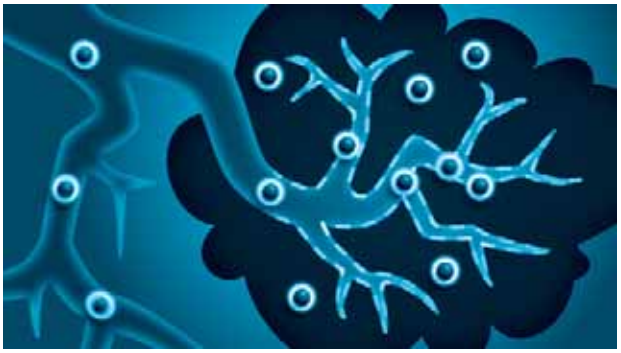
● تشخیص‌های پزشکی و درمان

از نانوذره‌های مغناطیسی برای درمان سرطان به روش مغناطیس گرمایی در دمای بالا[3] استفاده می‌شود. این ذره‌ها وقتی در میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند گرم می‌شوند و همین خصوصیت آن‌هاست که در این روش درمانی مورد استفاده واقع می‌شود. یکی دیگر از راه‌های درمانی، اتصال این ذره‌ها به سلول‌های سرطانی و به حال شناور درآوردن آن‌هاست. در این حال می‌توانیم این ذره‌ها را به دام بیندازیم و از بدن خارج کنیم. این روش درمانی در آزمایشگاه روی موش‌ها امتحان شده است.

نانوذره‌های مغناطیسی می‌توانند برای تشخیص سرطان هم استفاده شوند بدین صورت که نمونهٔ خون را همراه نانوذره‌های مغناطیسی به یک میکرو تراشه مایع که دارای نانوذرات مغناطیسی است الحاق می‌کنند. حال، هنگامی که یک میدان مغناطیسی خارجی قوی بر آن اعمال شود، این نانوذره‌های مغناطیسی به دام می‌افتند و در حالی‌که خون در جریان است نانوذره‌ها با پادزیست‌هایی پوشیده می‌شوند که به سلول‌های سرطانی و پروتئین‌ها اتصال دارند. به این ترتیب سلول‌های سرطانی را در صورت وجود می‌توان جدا کرد و مورد بررسی و آزمایش قرار داد. همچنین می‌توان این نانوذره‌های مغناطیسی را دوباره بازیابی کرد. نانوذره‌های مغناطیسی می‌توانند با کربوهیدرات‌ها هم‌پوشانی کنند و برای تشخیص باکتری‌ها استفاده شوند. نانوذره‌های اکسیدآهن برای تشخیص باکتری‌های گرم منفی[4] مانند اشریشیا کولی و باکتری‌های گرم مثبت مانند استرپتوکوکوس سیوس استفاده شده‌اند.

● ارزیابی ایمنی مغناطیسی

ارزیابی ایمنی مغناطیسی یک روش جدید ارزیابی ایمنی تشخیصی است که از دانه‌های مغناطیسی به‌عنوان یک برچسب



نانوذره‌های آهن در یک میدان مغناطیسی متناوب می‌چرخند و گرمای کافی برای پختن و نابودی تودهٔ سرطانی را تولید می‌کنند.

به‌جای آنزیم‌ها، رادیوایزوتوپ‌ها یا گونه‌های فلورسانس متداول برای ردیابی استفاده می‌شود. این ارزیابی شامل اتصال اختصاصی یک پادزیست به یک آنتی‌ژن است. سپس حضور دانه‌های مغناطیسی با یک مغناطیس‌سنج تشخیص داده می‌شود که تغییر میدان مغناطیسی القا شده به‌وسیلهٔ دانه‌های مغناطیسی را اندازه‌گیری می‌کند. علامت اندازه‌گیری شده با یک مغناطیس‌سنج با میزان ویروس، سم، باکتری و... در نمونهٔ اولیه متناسب است.

● بازیافت پساب‌ها

نانوذره‌ها مغناطیسی به‌دلیل توانایی در جداسازی و نیز نسبت بالای سطح به حجم آن‌ها، می‌توانند برای بازیافت پساب‌های آلوده به‌کار روند. در این روش، اتصال لیگاندهای مشابه EDTA به نانوذره‌های فلزی پوشیده با کربن، عامل مغناطیسی مناسبی را برای زدودن فلزهای سنگین از محلول‌ها یا آب‌های آلوده فراهم می‌کند.

کاربردهای شیمیایی

نانوذره‌های مغناطیسی می‌توانند به‌عنوان یک کاتالیزگر یا پشتیبان کاتالیزگر استفاده شوند. در شیمی، پشتیبان کاتالیزگر ماده‌ای معمولاً جامد با مساحت زیاد است، که کاتالیزگر اصلی روی سطح آن به‌طور ثابت قرار داده می‌شود. کاتالیزگرهای ناهمگن در سطح اتم‌ها فعالیت می‌کنند. بنابراین تلاش زیادی برای افزایش مساحت یک کاتالیزگر با پخش کردن آن روی سطح یک پشتیبان انجام می‌گیرد. پشتیبان می‌تواند خنثی باشد یا در فعالیت کاتالیزگر شرکت کند. انواع پشتیبان‌ها مانند کربن، آلومینیم اکسید و سیلیسیم دی‌اکسید مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تصویربرداری زیست‌پزشکی

نانوذره‌های مغناطیسی از نوع اکسید آهن در تصویربرداری رزونانس مغناطیسی (MRI) استفاده می‌شوند. نانوذره‌های مغناطیسی کبالت/ پلاتین نیز در MRI برای تشخیص سلول عصبی پیوندی بنیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ذخیرهٔ اطلاعات

پژوهش‌هایی به‌منظور استفاده از نانوذره‌های مغناطیسی برای ثبت مغناطیسی داده‌ها در حال انجام است. به‌نظر می‌رسد مناسب‌ترین ماده برای این هدف، آلیاژ فاز تتراگونال مرکز ـ پر آهن/ کبالت است که اندازهٔ آن باید به کوچکی ۳ نانومتر باشد. در صورتی‌که این ماده در چنین اندازه‌ای قابل تهیه باشد حجمی معادل یک ترابایت از اطلاعات را می‌توان روی یک اینچ مربع از این ماده ذخیره کرد.

مهندسی ژنتیک

نانوذره‌های مغناطیسی می‌توانند برای کاربردهای متنوع ژنتیکی مورد استفاده قرار بگیرند. یکی از این کاربردها جداسازی mRNA است. این عمل به سرعت و در طول ۱۵ دقیقه انجام می‌گیرد. دانه‌های مغناطیسی همچنین در تجمع پلاسمید مورد استفاده قرار می‌گیرند. با استفاده از دانه‌های مغناطیسی می‌توان به‌سرعت مدارهای ژنتیکی را ساخت به این صورت که ژن به یک زنجیرهٔ در حال ساخت اضافه می‌شود. در اینجا نانوذره‌های مغناطیسی نقش یک پشتیبان را دارند. این روش برای تولید ساختارهای چند ژنی عامل‌دار نسبت به روش‌های پیشین بسیار سریع‌تر است و در کمتر از یک ساعت انجام می‌شود.

1. superparamagnetism
2. ferrite
3. magnetic hyperthermia
4. gram negative bacteria

en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_nanoparticles
www.nanobiotec.blogfa.com/1391/04
metallurgybank.persianblog.ir/post/25