

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شیراز

انتشارات دانشگاه شیراز

۴۴۷

فوری نانو اصول کاربردها

نویسنده

دکتر سولابها کولکرنی

مترجمان

دکتر کمال جانقربان

مهندس علی میرزائی

مهندس مریم بنیانی

چاپ اول

۱۳۹۲



سرشناسه	:	کولکرنی، سولابها کی
عنوان و نام پدیدآور	:	Sulabha K. Kulkarni
مشخصات نشر	:	فناوری نانو، اصول و کاربردها؛ مترجمان کمال جانتقربان، علی میرزائی، مریم بنیانی، شیراز: دانشگاه شیراز، مرکز نشر، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	:	۲۸۶ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	۹۷۸-۹۶۴-۴۶۲-۴۳۷-۷
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Nanotechnology: principles and practices
موضوع	:	نانوتکنولوژی
موضوع	:	موادنانوساختار
شناخت افزوده	:	جانتقربان، کمال
شناسه افزوده	:	میرزایی، علی، ۱۳۶۲ -
شناسه گروه	:	بنیانی، مریم، ۱۳۶۲ - مترجم
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۱ ک ۹۷۴/۹۷۴ T1۷۴
رده بندی دیویی	:	۶۲۰/۵
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۰ ۸۱



فناوری نانو: اصول و کاربردها

مترجمان: دکتر کمال جانتقربان، مهندس علی میرزائی، مریم بنیانی
 ناشر: انتشارات دانشگاه شیراز
 طراح جلد: عبدالرضا اتنی عشری
 چاپ اول: ۱۳۹۲
 شمارگان: ۱۰۰۰
 قیمت: ۱۴۰۰۰۰ ریال

(حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه شیراز محفوظ می باشد.)

شورای انتشارات دانشگاه شیراز

دکتر مصطفی سمادت	معاون پژوهشی دانشگاه و رئیس شورای انتشارات
دکتر محمدعلی رنجبر	رئیس مرکز نشر دانشگاه
دکتر حسن ایزدی	دانشکده هنر و معماری
دکتر مهدی محبی فانی	دانشکده دامپزشکی
دکتر محمدعلی گودرزی	دانشکده علوم تربیتی و روان شناسی
دکتر محمدجواد سلمان پور	دانشکده ادبیات و علوم انسانی
دکتر حبیب احمدی	دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی
دکتر ایوب کریمی جشنی	دانشکده مهندسی
دکتر نجفعلی کریمیان	دانشکده کشاورزی
دکتر مظفر اسدی	دانشکده علوم
دکتر محمد امامی	دانشکده حقوق

پیش‌گفتار مترجمان

از دست و زبان که برآید
پروردگار متعال را شاکریم که توفیق اتمام ترجمه‌ی این کتاب را به عنوان یک قدم کوچک علمی و فرهنگی در راه اعتلای دانش فناوری نانو به ما عطا فرمود.

فضایل ریادی در پایین قرار دارد» این جمله در سال ۱۹۵۹ توسط دکتر ریچارد فاینمن پیرامون علم نانو فناوری ایراد شد و به این موضوع اشاره داشت که دانشمندان در آینده با کاهش ابعاد مواد، مواد با خواص و ویژگی‌های بسیار جالب خواهند ساخت. اما امروزه در قرن ۲۱ رویای بسیاری از دانشمندان به واقعیت تبدیل شده است و عملاً فناوری نانو وارد زندگی ما شده است. به عنوان مثال بسیاری از یخچال‌ها و ماشین‌های لباسشویی از خاصیت ضد باکتری نانو ذرات نقره استفاده می‌کنند. همچنین بسیاری از وسایل الکترونی مدرن همچون ام‌پی‌تری، لپ‌تاپ، تلفن‌های همراه و تلویزیون‌های هوشمند از فناوری نانو بهره می‌گیرند.

فناوری نانو علمی بین رشته‌ای است و برای درک آن نیاز به دانستن علمی همچون الکترونیک، زیست‌شناسی، شیمی، فیزیک، مواد و دیگر علوم مهندسی می‌باشیم. امروزه دانشگاه‌های بسیاری در سراسر جهان در زمینه‌ی نانو را در مقاطع مختلف دانشگاهی ارائه می‌کنند که کشور ما نیز از این قاعده مستثنی نیست.

کتاب حاضر ترجمه‌ی کتاب «فناوری نانو: اصول و کاربردها» تألیف پروفیسور کولکرنی استاد فیزیک از دانشگاه پون هندوستان می‌باشد. از ویژگی‌های بارز این کتاب می‌توان به سادگی متن کتاب، جامع و در عین حال مختصر بودن مطالب آن و بالاخره کاربرد بودن آن اشاره کرد. این کتاب در ۱۱ فصل تدوین شده است و به زبانی ساده و گویا خواص فناوری نانو را توضیح می‌دهد. فصل اول مقدمه‌ای در رابطه با مکانیک کوانتوم می‌باشد که اصول مکانیک کوانتوم مورد استفاده در فناوری نانو را توضیح می‌دهد. فصل دوم به ساختار و پیوندهای اتم‌ها، بلورها می‌پردازد. در فصل سوم تا پنجم روش‌های مختلف سنتز نانو مواد شامل روش‌های مختلف شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی شرح داده شده است. فصل ششم روش‌های آنالیز نانو مواد با تأکید بر میکروسکوپ‌ها و طیف‌سنج‌های مختلف توضیح داده شده است. فصل هفتم توضیحاتی مفید در رابطه با خواص نانو مواد ارائه می‌کند. در فصل هشتم انواع روش‌های لیتوگرافی مورد استفاده در فناوری نانو مورد بحث قرار گرفته‌اند. فصل نهم به توضیح برخی نانو مواد ویژه همچون نانو لوله‌های کربنی، سیلیکون متخلخل، آنروژل‌ها و ژئولیت‌ها می‌پردازد. در فصل دهم

برخی کاربردهای حال حاضر نانو مواد و نیز کاربردهای آتی آن‌ها توضیح داده می‌شود و در آخرین فصل روش‌های آزمایشگاهی ساده و کم هزینه برای سنتز نانو ذرات مواد مختلف به طور بسیار ساده توضیح داده می‌شود.

معادل لاتین اسامی افراد و کلمات کلیدی متن در انتهای کتاب آورده شده است. این کتاب می‌تواند به عنوان یکی از مراجع دروس مرتبط با فناوری نانو برای دانشجویان دوره‌ی کارشناسی و کارشناسی ارشد مورد استفاده قرار گیرد. همچنین تمام کسانی که علاقه‌مند به کسب اطلاعاتی در رابطه با علم و فناوری نانو می‌باشند، می‌توانند به مطالب جالبی در این کتاب دست یابند.

با احترامات جناب آقای دکتر محمد حسین عنایتی استاد دانشکده‌ی مهندسی مواد دانشگاه صنعتی شریف به پاس داورى کتاب و ارائه‌ی پیشنهادات ارزنده‌ی سپاسگزاری می‌نمائیم. همچنین مترجم از شورای محترم انتشارات دانشگاه شیراز به خاطر چاپ کتاب، و از مسئولین موسسه‌ی چاپ و انتشارات دانشگاه بخصوص از زحمات جناب آقای زارع که در تمامی مراحل با نظارت و راهنمایی ارزشمند خود نهایت همکاری را داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

این ترجمه به طور قطع خالی از اشباه و خطا نیست و لذا از خوانندگان فرهیخته‌ی این کتاب تقاضا داریم که در صورت برخورد با اشکالات احتمالی ما را آگاه کرده تا در چاپ‌های بعد به همت آنان کتابی کامل‌تر در اختیار علاقمندان به فناوری نانو قرار گیرد.

دکتر کمال جعفریان Janghor@shirazu.ac.ir

مهندس علی میری - مهندس مریم بنیانی

۱	مقدمه
۷	فصل ۱ مقدمه‌ای بر مکانیک کوانتوم
۷	۱-۱ مقدمه
۱۷	۲-۱ امواج ماده
۱۹	۳ اصل عدم قطعیت هایزنبرگ
۲۲	۴-۱ مدل ذرات و شرودینگر
۲۶	۱ محدود شدن الکترون
۳۳	۶-۱ مدل ذرات و شرودینگر از طریق سد پتانسیل
۳۶	منابع برای مطالعه بیشتر
۳۷	فصل ۲ ساختار پیلو
۳۷	۱-۲ مقدمه
۳۹	۲-۲ چینش اتم‌ها
۴۲	۳-۲ ساختارهای بلوری دو بعدی
۴۳	۴-۲ ساختارهای بلوری سه بعدی
۴۵	۵-۲ مثال‌هایی از شبکه‌های بلوری سه بعدی
۴۵	۶-۲ صفحات در بلورها
۴۶	۷-۲ جهات بلوری
۴۶	۸-۲ شبکه‌ی معکوس
۴۷	۹-۲ شبه بلورها
۴۹	۱۰-۲ پیوند در جامدات
۵۶	۱۱-۱ ساختار الکترونی جامدات
۶۱	منابعی برای مطالعه بیشتر
۶۳	فصل ۳ سنتز نانو مواد - I (روش‌های فیزیکی)
۶۳	۱-۳ مقدمه
۶۴	۲-۳ روش‌های مکانیکی
۶۷	۳-۳ روش‌های مبتنی بر تبخیر
۷۴	۴-۳ رسوب توسط پراکنش
۸۱	۵-۳ رسوب بخار شیمیایی (CVD)

۸۳	۶-۳ رسوب توسط قوس الکتریکی
۸۵	۷-۳ روش‌های پرتو یونی (کاشت یونی)
۸۵	۸-۳ اپیتکسی پرتو مولکولی
۸۷	منابعی برای مطالعه‌ی بیشتر
۸۹	فصل ۴ سنتز نانو مواد - II (روش‌های شیمیایی)
۸۹	۱-۴ مقدمه
۹۰	۲-۴ کلونیدها و کلونیدها در محلول‌ها
۱۰۰	۳-۴ رشد نانو ذرات
۱۰۲	۴ سنتز نانو ذرات فلزی توسط روش کلونیدی
۱۰۳	۵-۴ سنتز نانوذرات نیمه‌رسانا توسط روش کلونیدی
۱۰۶	۶-۴ روش لانگمیر-بلودجت
۱۱۰	۷-۴ میکرواسکوپ‌ها
۱۱۴	۸-۴ روش سل-ر
۱۱۷	منابعی برای مطالعه‌ی بیشتر
۱۱۹	فصل ۵ سنتز نانو مواد - III (روش‌های بیولوژیکی)
۱۱۹	۱-۵ مقدمه
۱۲۳	۲-۵ سنتز با استفاده از میکروارگانیزم‌ها
۱۲۷	۳-۵ سنتز با استفاده از عصاره‌های گیاهی
۱۲۸	۴-۵ استفاده از پروتئین‌ها و الگوهای همچون L-A
۱۳۲	منابعی برای مطالعه‌ی بیشتر
۱۳۳	فصل ۶ روش‌های آنالیز
۱۳۳	۱-۶ مقدمه
۱۳۴	۲-۶ میکروسکوپ‌ها
۱۴۱	۳-۶ میکروسکوپ‌های الکترونی
۱۴۷	۴-۶ میکروسکوپ‌های روبشی پیمایشگر (SPM)
۱۶۱	۵-۶ روش‌های تفرق
۱۷۳	۶-۶ طیف‌سنجی‌ها
۱۸۹	۷-۶ اندازه‌گیری‌های مغناطیسی نمونه لرزان
۱۹۱	منابعی برای مطالعه‌ی بیشتر
۱۹۳	فصل ۷ خواص نانو مواد

۱۹۳	۱-۷ مقدمه
۱۹۳	۲-۷ خواص مکانیکی
۱۹۹	۳-۷ خواص ساختاری
۲۰۱	۴-۷ ذوب شدن نانو ذرات
۲۰۲	۵-۷ رسانش الکتریکی
۲۰۵	۶-۷ خواص نوری
۲۱۸	۷-۷ خواص مغناطیسی
۲۳۳	منابعی برای مطالعه‌ی بیشتر
۲۳۵	فصل ۸ نانولیتوگرافی
۲۳۵	۱-۸ مقدمه
۲۴۰	۲-۸ لیتوگرافی استفاده از فوتون‌ها (لیزرهای UV-VIS یا اشعه‌های X)
۲۴۲	۳-۸ لیتوگرافی با استفاده از پرتوهای ذره
۲۴۴	۴-۸ لیتوگرافی روبشی
۲۴۸	۵-۸ لیتوگرافی نرم
۲۵۳	منابعی برای مطالعه‌ی بیشتر
۲۵۵	فصل ۹ برخی نانو مواد ویژه
۲۵۵	۱-۹ مقدمه
۲۵۵	۲-۹ نانو لوله‌های کربنی (CNTs)
۲۷۰	۳-۹ سیلیکون متخلخل
۲۸۳	۴-۹ آنروژل‌ها
۲۹۰	۵-۹ زئولیت‌ها
	۶-۹ مواد دارای تخلخل‌های منظم که توسط میسل‌ها به عنوان قالب ساخته می‌شوند
۲۹۳	۷-۹ نانو مواد خود گردآرایی شونده
۳۰۲	۸-۹ ذرات هسته-پوسته
۳۰۶	منابعی برای مطالعه‌ی بیشتر
۳۰۷	فصل ۱۰ کاربردها
۳۰۷	۱-۱۰ مقدمه
۳۰۸	۲-۱۰ الکترونیک
۳۱۰	۳-۱۰ انرژی

۳۱۱	۴-۱۰ اتومبیل
۳۱۲	۵-۱۰ لوازم ورزشی و اسباب بازی‌ها
۳۱۳	۶-۱۰ نساجی
۳۱۳	۷-۱۰ لوازم آرایشی
۳۱۳	۸-۱۰ لوازم خانگی
۳۱۴	۹-۱۰ بیوفناوری و پزشکی
۳۱۷	۱۰-۱۰ فضا و دفاع
۳۱۸	۱۱-۱۰ فناوری نانو و محیط زیست
۳۲۱	منابعی برای مطالعه‌ی بیشتر
۳۲۳	فصل ۱۱ روش‌های آزمایشگاهی
۳۲۳	۱-۱۱ مقدمه
۳۲۴	۲-۱۱ سنتز و ذرات نانوذرات/نقره
۳۲۷	۳-۱۱ سنتز نانو ذرات Cd
۳۲۸	۴-۱۱ سنتز نانو ذرات ZnO
۳۳۰	۵-۱۱ سنتز نانو ذرات TiO ₂
۳۳۲	۶-۱۱ سنتز نانو ذرات Fe ₂ O ₃
۳۳۴	۷-۱۱ سنتز سیلیکون متخلخل
۳۳۷	۸-۱۱ لیتوگرافی نوری ابتدایی
۳۴۰	۹-۱۱ نانولیتوگرافی ابتدایی با استفاده از PDMS
۳۴۵	منابعی برای مطالعه‌ی بیشتر
۳۴۷	پیوست I
۳۴۹	پیوست II
۳۵۰	پیوست III
۳۵۱	پیوست IV
۳۵۳	واژه نامه
۳۶۵	اسامی افراد
۳۶۹	واژه یاب

جدول تناوبی عناصر با ۱۱۸ عنصر شیمیایی دارای مقدار مشخصی از عناصر است. اما با ترکیب عناصر مختلف در نسبت‌های معین، طبیعت تعداد زیادی از گازها، مایعات، کانی‌ها و مهم‌تر از همه جهان زنده را ایجاد کرده است. بشر نیز با نبوغ خلاقانه‌ی خود، نحوه‌ی ساخت وسایل زیادی را یاد گرفته است و حتی برای به کارگیری آن‌ها در شرایط مطلوب، آن‌ها را به اشکال مختلف در آورده است. در آغاز انسان کارکردن با ابزار سنگی را یاد گرفت و سپس چگونگی جد کردن فلزات از یکدیگر و ساخت آلیاژهای مختلف را آموخت. انسان از آغاز خلقت تاکنون مواد آلی و غیر آلی شگفت آوری را ساخته است.

امروزه انسان به واسطه راحتی خود از چوب، فلزات، آلیاژها، پلیمرها و غیره استفاده می‌کند. برخی مواد به‌طور مستقیم از طبیعت به دست می‌آیند و برخی نیز ساخته‌ی دست بشر هستند. همه‌ی وسیله‌ی امروزه استفاده می‌شوند دارای توانمندی‌های مختلفی هستند و در واقع ثمره‌ی مهارت و نوآوری بشر است. اکنون این نبوغ بشر منجر به ایجاد سیستم‌های الکترونیکی، وسایل ارتباطی، دسته جمعی، وسایل حمل و نقل، منسوجات، وسایل آشپزخانه، مواد ساختمانی و غیره شده است.

انسان همواره سعی در غلبه بر محدودیت‌های فیزیکی خویش داشته است. حیواناتی همچون اسب می‌توانند با سرعت‌های بالایی بدوند و تنه پرنده‌گان می‌توانند پرواز کنند. اما انسان با ابداع مواد مناسب و نیز درک و فهم سیستم پرواز در طبیعت قادر به ساخت وسایلی شده است که نه تنها می‌تواند سریع‌تر از اسب حرکت کند بلکه می‌تواند در آسمان نیز بالاتر از پرنده‌گان، پرواز کند. انسان سیستم‌های ارتباطات و جهت‌یابی را توسعه و گسترش داده است که می‌تواند خود او یا وسایل ساخته‌ی دست او را به سیارات دوردست برسانند. ممکن است انسان از نظر فیزیکی نتواند به همه جا قدم بگذارد ولی با نبوغ خود توانسته است در مورد بسیاری از مختلف، ستاره‌ها و حتی کهکشان‌های مختلف اطلاعاتی را کسب کند.

اما برای ادامه‌ی چنین ماجراجوایی انسان نیاز به مواد بیشتر و بیشتری با خواص کنترل شده دارد. او نیاز به موادی دارد که تاکنون شناخته نشده‌اند، همچنین او نیاز به مواد جدید و کوچکی دارد که بازدهی بالایی داشته باشند. دانشمندان در تلاش برای ساخت وسایل الکترونیکی سبک‌تر و کوچک‌تر، اندازه‌ی مواد را به ابعاد نانومتر رسانده‌اند. در چنین مقیاسی پدیده‌های نوینی برای موادی که تاکنون شناخته شده‌اند، مشاهده می‌شود و این امر منجر به ساخت وسایل جدیدی که دارای کاربردهای متنوعی از کالاهای مصرفی گرفته تا تجهیزات مربوط به سلامت می‌باشند، شده است. شاید اکنون ما در عصری زندگی می‌کنیم که برنده‌ی

جایزه‌ی نوبل ریچارد فاینمن آن را در سال ۱۹۵۹ تصور می‌کرد. او در سخنرانی معروف خود در انجمن فیزیک آمریکا بیان کرد که چرا از طبیعت تقلید نکنیم و مواد کاربردی با بازدهی بسیار بالا و اندازه‌ی کوچک و کوچک‌تر تولید نکنیم؟ در آن زمان رایانه‌ها بسیار بزرگ بودند و فضای زیادی را اشغال می‌کردند در حالی که فقط قادر به انجام محاسباتی بودند که اکنون توسط ماشین حساب‌های ساده انجام می‌شوند و دانشمندان از اختراع چنین رایانه‌هایی بر خود می‌بالیدند. دستگاه‌های رادیو بسیار بزرگ بودند و انرژی زیادی مصرف می‌کردند. اما اکنون پس از گذشت چهل سال تغییرات بسیار مشهودی را احساس می‌کنیم. اکنون رایانه‌های شخصی (PC)، لپ‌تاپ‌ها، پخش‌کننده‌های دیسک فشرده (CD)، ترانزیستورهای جیبی، تلفن‌های همراه، دوربین دیجیتال و دیگر وسایل پیشرفته‌ی کوچک‌تر و کارآمدتری وجود دارند. اگر چه فاینمن عبارات «علم نانو» و «فناوری نانو» استفاده نکرد اما امروزه مزایای کوچک کردن اشیاء را نامیده می‌کنیم.

به هر حال بایست به خاطر داشت که نانو مواد واقعا موادی جدید نمی‌باشند. مایکل فارادی در سال ۱۸۵۷ میلادی در ذرات کلئیدی پایدار طلا را سنتز کرد. نمونه‌های سنتزی وی به صورت محلولی به رنگ قرمز ریشیا (رنگ دلائی) هنوز در موزه‌ی بریتانیا وجود دارند. شیشه‌های تزئینی در پنجره‌هایی با طراحی رمال و شیشه‌های شاخ‌های قدیمی حاوی نانو ذرات آهن، کبالت، نیکل، طلا، نقره و غیره می‌باشند که در عکاسی نیز حاوی نانو ذرات می‌باشند و تمام کاتالیزورهای موجود در شیمی دارای انواع مختلفی از ذرات با اندازه‌ی نانو هستند. به هر حال، در تمام چنین مواردی تحقیقات و تلاش‌های متمرکز به درک اثرات اندازه ذرات بر روی خواص انجام شد یا ناکافی بودند و یا در برخی موارد تحقیقات اصلا انجام نشدند. مهمترین مانع در کارهای اولیه فقدان میکروسکوپ‌های قوی که ارتباط بین اندازه با خواص را برقرار کنند، بود. یادداشت ۱ برخی از وقایع مهم در فناوری نانو را نشان می‌دهد.

یادداشت ۱

وقایع مهم در فناوری نانو

- ۱۸۵۷- مایکل فارادی نانو ذرات کلئیدی طلا را سنتز کرد.
- ۱۹۱۵- اوستوالد، یک شیمیدان مشهور، کتاب «دنیای ابعاد فراموش شده» را به زبان آلمانی نوشت.
- ۱۹۳۱- روسکا و نول اولین میکروسکوپ الکترونی را ساختند.
- ۱۹۵۱- مولر میکروسکوپ میدان یونی را ساخت که قادر به تصویربرداری از اتم‌ها از نوک نمونه‌های فلزی بود.

• ۱۹۵۹- فاینمن سخنرانی خود را که اکنون بسیار مشهور است، ایراد کرد: «فضای زیادی در پایین قرار دارد» و به این موضوع اشاره داشت که دانشمندان با کاهش ابعاد مواد، موادی با ویژگی‌های بسیار جالب خواهند ساخت.

• ۱۹۶۸- کو و آرتور، تکنیک اپتیکسی پرتو مولکولی را برای رشد لایه به لایه‌ی مواد ابداع کردند.

• ۱۹۷۰- ایساکی اثر اندازه‌ی کوانتومی (QSE) را در نیمه‌رساناها اثبات کرد.

• ۱۹۷۰- ایموف QSE را در ذرات CdS و CdSe که در شیشه پراکنده شده بودند نشان داد و این امر بازی بر تحقیق و پژوهش در زمینه‌ی نانو ذرات بود.

• ۱۹۸۱- بینینگ، روه، میکروسکوپ تونلی الکترونی (STM) با قدرت تفکیک اتمی را اختراع کردند. همچنین این اختراع منجر به ایجاد خانواده‌ی متنوعی از میکروسکوپ‌های روبشی پروبی شد.

• ۱۹۸۵- کرل، کرو، ایساکی مولکول‌های کربن شصت اتمی را سنتز کردند که بعدها فولرین نام گرفت.

• ۱۹۸۹- ایگلر حروف "M" را به سیستم از اتم‌های زنون نوشت.

• ۱۹۹۱- ایجیما نانولوله‌های کربن را آشف کرد.

• ۱۹۹۹- میرکین «لیتوگرافی نگارشی» را اختراع کرد.

• ۲۰۰۰- ایگلر سراب کوانتومی را با استفاده از اتم‌های Fe بر زیر لایه‌ی Cu ابداع کرد.

در آغاز قرن ۲۱ شاهد فعالیت‌های زیادی در حوزه «علم نانو» و «فناوری نانو» بوده‌ایم، که بذره‌های آن در قرن گذشته پاشیده شده بودند. دانشمندان کارشناسان فنی و حتی دولت‌های بسیاری از کشورها در سراسر جهان متقاعد شده‌اند که «علم نانو» بر مبنای علم نانو، فناوری قرن ۲۱ می‌باشد. اصطلاحات «فناوری نانو» و «علم نانو» اغلب به‌کار می‌روند. معنای اصلی کلمه‌ی «نانو»، «کوئوله» یا فردی که به طور غیر عادی دارای قد کوتاهی می‌باشد، است. به هر حال در زبان علمی نانو به معنای یک میلیاردم (10^{-9}) یک واحد معیاری است، مثلاً نانو متر یا نانو ثانیه به ترتیب به معنای 10^{-9} متر یا 10^{-9} ثانیه می‌باشند. نانو متر اندک کوچک است که اگر بتوانیم تصور کنیم که ۱۰ اتم هیدروژن بر روی یک خط در تماس کامل با یکدیگر قرار گرفته اند، مجموع اندازه‌ی آن‌ها برابر با یک نانومتر می‌شود. برای داشتن یک تصویر کیفی یادداشت ۳ را مشاهده کنید. بنابراین فناوری نانو، مربوط به موادی با ابعاد کوچک است که معمولاً دارای اندازه‌ای در محدوده‌ی ۱-۱۰۰ nm می‌باشند. هنگامی که حداقل یکی از ابعاد ماده به کمتر از ۱۰۰ nm ~ کاهش یابد، خواص مکانیکی، حرارتی، نوری، مغناطیسی و دیگر

خواص با رسیدن به اندازه‌ای خاص (در محدوده‌ی ذکر شده) که برای هر ماده متفاوت می‌باشد، تغییر می‌کنند. بنابراین می‌توان گستره‌ی وسیعی از خواص را در یک ماده به دست آورد. برای مثال [یادداشت ۴ را ببینید] نیمه رسانایی همچون CdS را در نظر بگیرید که در حالت عادی قرمز رنگ است. اگر اندازه‌ی ذرات CdS را تا ۱۰ nm کاهش دهیم، رنگ پودر آن هنوز قرمز می‌باشد، اما با کاهش اندازه‌ی آن به کمتر از حدود ۶ nm تغییرات شدیدی در خواص نوری CdS مشاهده می‌شود. همان طور که در شکل [یادداشت ۴ و پیوست ۱ مشاهده شود] نشان داده شده است، رنگ ذراتی با اندازه‌ی ۴ nm ~ نارنجی، رنگ ذراتی با اندازه‌ی ۳ nm ~ زرد و یک ذره‌ی با اندازه‌ی ۲ nm ~ سفید است. نه تنها ظاهر ماده بلکه خواص دیگر نیز به شدت تغییر می‌کند. نقطه‌ی ذوب برای مواد جامد خالص و یک پارچه^۱، خیلی دقیق تعریف شده است. اگر نقطه‌ی ذوب نانوذرات (یعنی ذراتی با قطر چند نانومتر) CdS اندازه گیری شود، مشاهده می‌شود که با کاهش اندازه ذرات، نقطه‌ی ذوب کاهش می‌یابد. بنابراین با تغییر اندازه‌ی ذره‌ی یک ماده می‌توان خواص آن را به دست آورد.

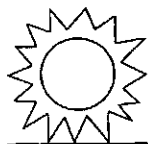
یادداشت ۲

عامل	نماد	عامل	نماد	عامل	نماد
۱۰ ^{-۱۸}	a	آتو	۱۰ ^۱	da	دکا
۱۰ ^{-۱۵}	f	فمتو	۱۰ ^۲	h	هکتو
۱۰ ^{-۱۲}	p	پیکو	۳	k	کیلو
۱۰ ^{-۹}	n	نانو		M	مگا
۱۰ ^{-۶}	μ	میکرو	۱۰ ^۶	G	گیگا
۱۰ ^{-۳}	m	میلی	۱۰ ^{۱۲}	T	ترا
۱۰ ^{-۲}	c	سانتی	۱۰ ^{۱۵}	p	پتا
۱۰ ^{-۱}	d	دسی	۱۰ ^{۱۸}		اگزا

^۱ یا توجه به استفاده مکرر از کلمه Bulk که دارای معانی مختلفی می‌باشد، با در نظر گرفتن مفهوم آن در متن، ترجمه آن به یکی از عبارات زیر در متن انجام شده است: بالک، یک پارچه، حجیم و پیوسته.

یادداشت ۳

مقایسه‌ی اندازه‌ی اجسام مختلف



۱۳۹۳۰۰۰ km

قطر خورشید



۱۲۸۰۰۰ km

قطر زمین



۸۸۴۸ m

ارتفاع کوه تالیا

۱/۶۵ m

قد انسان



۲۰-۲۵ nm

ویروس



۱-۱۰ nm

نانو ذرات سولفات کادمیوم

یادداشت ۴

نانو ذرات CdS (تغییر رنگ با تغییر اندازه). [پوسته I مشاهده می‌شود]



- ۲ nm

- ۲ nm

- ۴ nm

- ۶ nm

بنابراین دانشمندان پتانسیل بالای نانو مواد برای استفاده در کالاهای مصرفی تا کاربردهای فضایی را دریافته‌اند. طی یک دوره‌ی کوتاه چند ساله، شرکت‌هایی به وجود آمده‌اند که محصولاتی همچون، وسایل آرایشی، البسه، تلویزیون، رایانه، وسایل پزشکی، اسباب بازی، وسایل ورزشی، اتومبیل و غیره را با استفاده از نانو مواد یا فناوری‌های نانو تولید می‌کنند.

فناوری نانو مجموعه‌ای از شاخه‌های مختلف علم است. بنابراین برای استفاده‌ی کامل از پتانسیل این فناوری می‌بایست به فیزیک، شیمی، مهندسی، زیست‌شناسی و دیگر علوم اشراف کامل داشته باشیم. می‌توان گفت آنچه که تاکنون از این فناوری به دست آمده است، قله‌ای از یک کوه بزرگ و غوطه‌ور در آب است. به هر حال، برای حداکثر استفاده از پتانسیل علم فناوری نانو، دانشمندان اینک به دنبال مواد چه می‌باشند، چگونه و چرا از دیگر مواد متفاوت می‌باشند و نیز دانش چگونگی ساخت آنالیز و طبقه‌بندی آن‌ها لازم است و درک و فهم این مفاهیم سبب استفاده‌ی این مواد در صنایع گوناگون می‌شده است.

کتاب‌های متعددی در زمینه فناوری نانو وجود دارد که توسط دانشمندان پیشگام در زمینه‌ی نانو نوشته شده است. به هر حال، بیشتر کتاب‌ها، مجموعه‌ای از مقالات پژوهشی است. این بدان معناست که انتظار می‌رود خواننده پیش زمینه‌ی قابل قبولی در علوم پایه داشته باشد. اصطلاحات فنی مخصوصی که در این کتاب‌ها وجود دارد که فهم آن‌ها مشکل است.

هدف این کتاب ایجاد پیش زمینه‌ی علمی برای دانشجویان مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد می‌باشد. در متن یادداشت‌هایی وجود دارد که خارج از متن اصلی، اطلاعات بیشتری را در اختیار خواننده قرار می‌دهد. در واقع این کتاب به منبعی جامع دیگری نیاز ندارد.

Sulabha K. kulkarni

سپتامبر ۲۰۰۶

مقدمه‌ای بر مکانیک کوانتوم

۱-۱ مقدمه

فیزیکی نو مربوط به مواد طبیعی و مصنوعی با اندازه‌ی $1-100\text{ nm}$ می‌باشد. در چنین اندازه‌ی کوچکی، مکانیک کلاسیک بسیار آشنای نیوتونی یا ترمودینامیک قادر به توضیح خواص مشاهده شده‌ی مواد نمی‌باشد. برای توضیح خواص و پدیده‌های مواد مختلف، گاهی اوقات می‌بایست به طریقی مستقیم از فیزیک کوانتوم و گاهی اوقات به طور غیر مستقیم از علومی همچون فیزیک حالت جامد یا شیمی استفاده کرد. بنابراین در این فصل سعی خواهد شد مفاهیم اولیه‌ی مکانیک کوانتوم و چند نتیجه‌ی ساده‌ی ضروری آن توضیح داده شود. این فصل و فصل آتی به طور خاص برای کسانی نوشته شده است که با فیزیک کوانتومی و فیزیک حالت جامد آشنا نیستند. ابتدا نیاز به مکانیک کوانتوم و سپس چگونگی توسعه و گسترش آن توضیح داده می‌شود، به نحوی که از آن بتوان به درک اتم‌ها، مولکول‌ها، مواد جامد و نانو مواد استفاده کرد. یادداشت ۱.۱ برخی از رویدادهای مهم در تاریخ ظهور مکانیک کوانتوم را نشان می‌دهد.

در زمان کیرشهوف، بسیاری از دانشمندان به درک فوری چگونگی تشعشع از یک جسم سیاه علاقه‌مند بودند. هنگامی که یک پرتو به یک جسم تابیده می‌شود، چه اتفاقی می‌افتد؟ پرتو می‌تواند بازتابیده (r) یا جذب (a) شود و یا عبور (t) کند. اگر به هر یک می‌توانند به صورت جزئی اتفاق افتند- به نحوی که همواره داریم: $a + r + t = 1$. سادگی «جسم سیاه» (یادداشت ۲.۱) نامیده می‌شود که بدون بازتاب یا عبور، همه‌ی پرتوها سیاه شده به خود را جذب کند. همان‌طور که در شکل ۱.۱ نشان داده شده است، هنگامی که یک جسم سیاه گرم می‌شود، طیفی را از خود گسیل می‌کند. طیف جسم سیاه دارای گستره‌ی وسیعی از طول موج‌ها می‌باشد و یک پیک قابل تشخیص دارد. آزمایشات انجام گرفته بر روی تشعشع جسم سیاه منجر به ارائه‌ی قانون استفن- بولتزمان شد که استفن (۱۸۷۹) و بولتزمان (۱۸۸۴) آن را ارائه کردند. برطبق این قانون، تشعشع کلی از یک جسم سیاه با توان چهارم دمای مطلق متناسب است. اگر E شدت کلی تشعشع و T دما باشد، خواهیم داشت:

$$E = \sigma T^4 \quad (1.1)$$

جایی که σ ثابت استفن- بولتزمان نامیده می‌شود و مقدار آن $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ است.

یادداشت ۱.۱

رویدادهای تاریخی در توسعه مکانیک کوانتوم

عصر ماقبل مکانیک کوانتوم

• در سال ۱۶۶۹، نیوتن (یادداشت ۳.۱) بیان کرد که نور دارای طبیعت ذره مانند یا ذره‌ای می‌باشد.

• در سال ۱۶۹۰ هویچن ادعا کرد که نور دارای طبیعت موجی است.

• در سال ۱۸۶۰ کیرشهوف و دیگران دانشمندان تشعشع جسم سیاه را مورد مطالعه قرار دادند. یانگ (۱۸۰۴-۱۸۰۳) آزمایشاتی را با استفاده از دو شکاف نوری انجام داد و نشان داد که نور دارای طبیعت موجی است.

• ماکسول (۱۸۷۲) نوری امواج الکترومغناطیس را بیان کرد.

• در سال ۱۸۸۷ هاینریش هرتز، تشعشع الکترومغناطیس را تولید و اندازه گیری نمود.

دوره‌ی تئوری کوانتوم

• در سال ۱۹۰۱، ماکس پلانک نشان داد فقط در صورتی که فرض شود تشعشع کوانتیزه یا

دارای طبیعت ذره‌ای می‌باشد، تئوری انرژی در تشعشع جسم سیاه را می‌توان توضیح داد.

• در سال ۱۹۰۵، انیشتین تئوری فوتون‌ها را توضیح داد که به طور قاطع اثبات می‌کرد کوانتوم یا طبیعت ماده مربوط به امواج الکترومغناطیس است.

• اثر کامپتون (۱۹۲۰) را تنها هنگامی می‌توان توضیح داد که طبیعت ذره‌ای تشعشع الکترومغناطیس را در نظر گرفت. این امر نتایج ماکس پلانک را تایید می‌کند. ذرات امواج الکترومغناطیس «فوتون» نامیده می‌شوند.

• دوبروی (۱۹۲۳) این سوال را مطرح نمود که اگر امواج الکترومغناطیس به صورت ذرات (فوتون) می‌باشند، چرا ذرات دارای امواج مربوط به خود نمی‌باشند؟

• مدل اتمی بوهر با حالت‌های ایستا که در سال ۱۹۱۳ مطرح شد، پراش‌ها را بایستی دارای انرژی‌های ثابتی باشند را می‌توان توسط تئوری دوبروی توضیح داد.

آغاز تئوری مکانیک نوین

• هایزنبرگ مکانیک ماتریس (۱۹۲۵) را بیان نمود.

• معادله‌ی شرودینگر (۱۹۲۶) اثبات قاطعی برای تئوری دوبروی ارائه کرد و بعدها ساختار

الکترونی اتم‌ها، مولکول‌ها و مواد جامد را تشریح کرد.