رساله‌ی حاضر، حاصل پژوهش‌های نگارنده در دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش حالت جامد است که در مهرماه سال ۱۳۸۹ در دانشکده‌ی علوم پایه دانشگاه یاسوج به راهنمایی جناب آقای دکتر ابراهیم صادقی و مشاوره‌ی جناب آقای دکتر رضا خرداد از آن دفاع شده است و کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی آن متعلق به دانشگاه یاسوج است.

دانشگاه یاسوج

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش حالت جامد

عنوان پایان نامه

بررسی انرژی اندرکنش الکترون _ الکترون در نقطه کوانتومی کروی

استاد راهنما:

دکتر ابراهیم صادقی

استاد مشاور:

دکتر رضا خرداد

پژوهشگر:

سیده فاطمه حسینی

مهر ماه ۱۳۸۹

ای عزیز

چگونه می‌توان نعمتت را سپاس گفت، آنگاه که ما را همقدم کاروان مشتاقانی قرار دادی که در میان انبوه سؤالها و چراها به دنبال نیم نگاهی از کمال کبریایی تو می‌گردند و آتش اشتیاق به دانستن و سوز نیاز به شناختن تو را با اشک قلم فرو می‌نشانند.

بینهایتِ نزدیک

اگر آنچه می‌کاویم با تأیید آسمانیت متبرک نگردد، پرسه زدنی است بی‌حاصل، حرکت ما را بپذیر و آنچنان کن که نظر لطفت بدرقه راهمان باشد.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم.

سپاسگزاری

اکنون که این رساله به پایان رسیده وظیفه‌ی خود می‌دانم که از استاد راهنمای خود جناب دکتر ابراهیم صادقی تشکر و قدردانی کنم که با صبر و حوصله فراوان بنده را تا پایان راه همراهی نمودند و در تدوین این رساله مرا یاری رساندند. همچنین از استاد مشاورم جناب دکتر رضا خرداد و اعضای هیات داوران آقایان دکتر عبدالرسول قرائتی و دکتر ابوالقاسم عوض پور و اساتید مهربانم جناب دکتر قاسم رضایی، دکتر فردین تقی زاده، دکتر بهروز واثقی و دکتر عباس ظریفی نیز سپاسگزارم.

نام: سیده فاطمه **نام خانوادگی: حسینی**
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته و گرایش: فیزیک حالت جامد**
استاد راهنما: دکتر ابراهیم صادقی **تاریخ دفاع: ۱۳۸۹/۰۷/۰۷**

بررسی انرژی اندرکنش الکترون- الکترون در نقطه کوانتومی کروی

در سال‌های اخیر مطالعه نانوساختارها و بویژه نقاط کوانتومی و نانوبلورها بطور نظری و تجربی مورد توجه فراوان قرار گرفته است. بدلیل اینکه از نقاط کوانتومی بطور گسترده در ساخت حافظه‌های رایانه، لیزرها، سیستم‌های مخابراتی و اپتیکی استفاده می‌شود لذا آگاهی از برهم‌کنش سیستم‌های دوذره‌ای در حضور سد پتانسیل محدود مفید و در محاسبه انرژی حامل‌ها و سایر ویژگی‌های فیزیکی نقاط کوانتومی تأثیرگذار می‌باشد. هدف از انجام این پروژه حل معادله شرودینگر در تقریب جرم مؤثر برای دو الکترون برهم‌کنشی در نقطه کوانتومی کروی و تعیین توابع موج و ترازهای انرژی حالت‌های مختلف می‌باشد. در این پژوهش نقطه کوانتومی کروی با پتانسیل محدود در نظر گرفته می‌شود، هامیلتونی سیستم دوالکترونی بدون برهم‌کنش تعیین و با حل معادله شرودینگر توابع موج و انرژی حالت‌های مختلف ns، np و nd بدست می‌آید. پس از آن معادله شرودینگر برای سیستم دوالکترونی برهم‌کنشی برای حالت‌های ۱s-۱s، ۱s-۱p، ۱d-۱s و ۱s-۲s نوشته و به جهت محاسبه انتگرال‌های پیچیده از قضیه مقدار میانگین و روش اختلال استفاده کرده‌ایم. انرژی همبستگی و انرژی کل این سیستم‌های دوالکترونی با افزایش ابعاد نقطه کوانتومی کاهش می‌یابد، بعبارت دیگر در نقاط کوانتومی کوچک اندرکنش الکترون_الکترون مهم گشته و می‌بایست در ویژگی‌های فیزیکی ابزارهای ساخته شده از این سیستم‌ها لحاظ گردند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- معرفی نانوتکنولوژی ۲
۱-۲-عناصر پایه در فناوری نانو ۳
۱-۳- تجهیزات اندازه‌گیری درفناوری نانو ۴
۱-۴- پیشگامان نانوتکنولوژی ۵
۱-۵- نانوتکنولوژی و همگرایی علمی ۵
۱-۵-۱- نانوتکنولوژی مرطوب ۶
۱-۵-۱-۱- نانوتکنولوژی و فراپزشکی ۶
۱-۵-۱-۲- نانوتکنولوژی و علم بیوتکنولوژی ۷
۱-۵-۲- نانوتکنولوژی خشک ۷
۱-۵-۳- نانوتکنولوژی تخمینی (محاسبه‌ای) ۷
۱-۶- مثال‌هایی از کاربردهای نانوتکنولوژی ۸
۱-۶-۱- قطعات نانویی پلیمرهای مسطح ۸
۱-۶-۲- کاتالیزورهایی با ساختار نانویی ۹
۱-۶-۳- فلزات بی‌شکل با ساختار اتمی کنترل شده ۹
۱-۷- خواص مواد نانومتری ۱۰
۱-۷-۱- خواص مکانیکی ۱۰
۱-۷-۲- خواص حرارتی ۱۱
۱-۷-۳- خواص شیمیایی ۱۱
۱-۷-۴-خواص نوری ۱۱

عنوان **صفحه**

۱-۷-۵-خواص الکتریکی.......... ۱۱
۱-۷-۶- خواص مغناطیسی.......... ۱۲
۱-۸-ساختار پایان نامه.......... ۱۲

فصل دوم: ساختار بلوری

۲-۱- مواد نیمرسانا.......... ۱۵
۲-۲- ساختار بلور.......... ۱۵
۲-۳- جرم مؤثر و نوارهای انرژی.......... ۱۸
۲-۴- نیمرسانای نوع n و نیمرسانای نوع p.......... ۲۰
۲-۵- تراکم حامل‌های آزاد در نیمرسانا.......... ۲۲
۲-۶- انرژی و چگالی حالت‌ها.......... ۲۳
۲-۷- پراکندگی و سوق الکترون‌ها و حفره‌ها.......... ۲۴
۲-۸- ساختارهای کوانتومی.......... ۲۸
۲-۸-۱- چاه‌های کوانتومی.......... ۲۹
۲-۸-۲- سیم‌های کوانتومی.......... ۲۹
۲-۸-۳- نقاط کوانتومی.......... ۳۰

فصل سوم: روش‌های محاسباتی

۳-۱- سیم ها و نقاط کوانتومی.......... ۳۳
۳-۱-۱- معادله شرودینگر برای سیم های کوانتومی.......... ۳۳
۳-۱-۲- تابع موج و انرژی حامل‌ها در سیم کوانتومی مربعی با عمق نامحدود.......... ۳۵
۳-۱-۳- تقریبی ساده برای یک سیم مربعی با پتانسیل محدود.......... ۳۸
۳-۱-۴- تابع موج و انرژی الکترون در سیم کوانتومی با سطح مقطع دایروی.......... ۳۹
۳-۱-۵- انرژی حامل‌ها در جعبه کوانتومی با پتانسیل محدود.......... ۴۱
۳-۱-۶- نقطه کوانتومی کروی.......... ۴۲
۳-۲- قضیه دوم مقدار میانگین برای انتگرال‌های ریمان.......... ۴۵
۳-۲-۱- اثبات قضیه ۱ بر اساس قضایای دیگر.......... ۴۶
۳-۳- نظریه اختلال مستقل از زمان.......... ۴۸
۳-۳-۱- اصل وردشی.......... ۴۹

فصل چهارم: محاسبه انرژی همبستگی الکترون‌ها در نقطه کوانتومی کروی

۴-۱-دو الکترون مستقل در نقطه کوانتومی کروی با پتانسیل محدود.......... ۵۴
۴-۲- دو الکترون برهم‌کنشی در یک نقطه کوانتومی کروی.......... ۵۷

عنوان **صفحه**

۴-۲-۱-دو الکترون برهم کنشی در حالت های ۱sو ۱sدر نقطه کوانتومی کروی...۵۷
۴-۲-۲-دو الکترون برهم کنشی در حالت های۱s و ۱pدر نقطه کوانتومی کروی...۶۱
۴-۲-۳-دو الکترون برهم کنشی در حالت های ۱sو ۱dدر نقطه کوانتومی کروی...۶۵
۴-۲-۴- دو الکترون برهم کنشی در حالت های ۱sو ۲sدر نقطه کوانتومی کروی...۷۱
۴-۲-۵- دو الکترون برهم کنشی در حالت های ۱s، ۱s در نقطه کوانتومی کروی با تابع موجی متفاوت..........................۷۴
۴-۳- اختلال مرتبه دوم...۸۰
۴-۴- بررسی دو الکترون برهم کنشی در حالت‌های ۱sو ۱sدر مختصات مرکز جرم در نقطه کوانتومی کروی................۸۳

فصل پنجم:

نتایج...۸۵
منابع...۸۷

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

جدول۱.۳ درجات آزادی و محدودسازی..۳۳
جدول ۱.۴ مقادیر انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1s}(r_2)$...۶۰
جدول ۲.۴ مقادیر انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1p}(r_2)$...۶۴
جدول ۳.۴ مقادیر انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1d}(r_2)$...۶۷
جدول ۴.۴ مقادیر انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\frac{1}{\sqrt{2}}[\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1d}(r_2) - \Psi_{1s}(r_2)\Psi_{1d}(r_1)]$ ..۷۰
جدول ۵.۴ مقادیر انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{2s}(r_2)$...۷۲
جدول ۶.۴ مقادیر انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1s}(r_2)\, e^{-\lambda|\vec{r_1}-\vec{r_2}|}$.................................۷۸
جدول ۷.۴ مقایسه محاسبات با محاسبات انجام شده توسط سیواکامی بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1s}(r_2)$.....۸۰
جدول ۸.۴ مقایسه محاسبات با محاسبات انجام شده توسط رجو جسی بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1p}(r_2)$....۸۰
جدول ۹.۴ مقادیرحاصل از بررسی انرژی اختلالی مرتبه دوم..۸۳
جدول ۱۰.۴ مقادیر انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1s}(r_2)$ در مختصات مرکز جرم..............۸۴

فهرست نگاره ها

عنوان **صفحه**

نگاره ۱.۲ سلول های واحد بلور مکعبی.. ۱۷

نگاره ۲.۲ شبکه الماسی و گالیم آرسناید.. ۱۷

نگاره ۳.۲ نمودارهای نوار انرژی برای رسانا، نارسانا، و نیمرسانا.. ۱۹

نگاره ۴.۲ نمودار نوار انرژی، انرژی بر حسب تکانه، در گالیم آرسناید و سیلیسیم ۲۰

نگاره ۵.۲ ساختار بلوری سیلیسیم.. ۲۱

نگاره ۶.۲ نمودار نوار انرژی برای نیمرسانای نوع p و n.. ۲۲

نگاره ۷.۲ انرژی های یونش برای ناخالصی های گوناگون در سیلیسیم و گالیم آرسناید.. ۲۲

نگاره۸.۲ نمایشی از انرژی جنبشی و پتانسیل در نمودار نوار انرژی.. ۲۳

نگاره ۹.۲ مسیر نوعی الکترون در بلور، (الف) بدون میدان و (ب) با میدان الکتریکی.. ۲۵

نگاره ۱۰.۲ سرعت سوق به صورت تابعی از میدان الکتریکی برای الکترون و حفره.. ۲۶

نگاره ۱۱.۲ تحرک به صورت تابعی از دما در سیلیسیم.. ۲۷

نگاره ۱۲.۲ تحرک الکترون و حفره به صورت تابعی از تراکم برای گالیم، سیلیسیم و گالیم آرسناید.. ۲۸

نگاره ۱۳.۲ طرحی از یک سیم کوانتومی ساده.. ۲۹

نگاره ۱۴.۲ طرحی ساده از یک نقطه کوانتومی ساده.. ۳۱

نگاره ۱.۳ ترکیب یک سیم کوانتومی GaAs.. ۳۵

نگاره ۲.۳ سیم کوانتومی با سطح مقطع مربعی با دیواره نامحدود.. ۳۵

نگاره۳.۳ نمودار انرژی محصور در یک سیم کوانتومی با عمق نامحدود و سطح مقطع مربعی.. ۳۶

نگاره ۴.۳ چگالی های بار برای چهار حالت انرژی پایین در یک سیم کوانتومی.. ۳۷

نگاره ۵.۳ تقریبی برای پتانسیل یک سیم کوانتومی محدود با سطح مقطع مربعی.. ۳۸

نگاره ۶.۳ یک سیم کوانتومی با سطح مقطع دایروی.. ۳۹

نگاره ۷.۳ نمودار انرژی در یک سیم کوانتومی با سطح مقطع دایروی.. ۴۰

نگاره۸.۳ نمودار مؤلفه شعاعی تابع موج برای دو ویژه حالت پایین در یک سیم کوانتومی محدود و با سطح مقطع دایروی.. ۴۱

نگاره ۹.۳ جعبه ی کوانتومی با ابعاد L_x، L_y و L_z.. ۴۲

نگاره ۱۰.۳ طرحی ساده از یک نقطه کوانتومی کروی.. ۴۳

نگاره۱۱.۳ نمودار انرژی محصور در یک نقطه کوانتومی کروی $GaAs$.. ۴۴

نگاره۱۲.۳ نمودار توابع موج پایین ترین حالت های انرژی در نقطه کوانتومی کروی.. ۴۴

نگاره۱۳.۳ نمودار چگالی احتمال سه حالت با پایین ترین انرژی در نقطه کوانتومی کروی.. ۴۵

عنوان **صفحه**

نگاره ۱.۴ نمودار انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1s}(r_2)$..۶۱
نگاره ۲.۴ نمودار انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1p}(r_2)$..۶۴
نگاره ۳.۴ نمودار انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1d}(r_2)$..۶۸
نگاره ۴.۴ نمودار انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\frac{1}{\sqrt{2}}[\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1d}(r_2) - \Psi_{1s}(r_2)\Psi_{1d}(r_1)]$.....۷۰
نگاره ۵.۴ نمودار انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{2s}(r_2)$..۷۳
نگاره ۶.۴ نمودار انرژی همبستگی و انرژی کل بازاء ویژه تابع $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1s}(r_2)\ e^{-\lambda|\overrightarrow{r_1}-\overrightarrow{r_2}|}$....................................۷۸
نگاره ۷.۴ نمودار مقایسه انرژی کل ویژه حالت‌های $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1s}(r_2)$ و $\Psi_{1s}(r_1)\Psi_{1s}(r_2)\ e^{-\lambda|\overrightarrow{r_1}-\overrightarrow{r_2}|}$...........۷۹

فصل اول

مقدمه

از نانوتکنولوژی، بیوتکنولوژی و فناوری اطلاع‌رسانی به عنوان سه قلمرو علمی نام می‌برند که انقلاب سوم صنعتی را شکل می‌دهد. از همین روست که کشورهای در حال توسعه که اغلب از دو انقلاب قبل جا مانده‌اند، می‌کوشند با سرمایه‌گذاری در این سه قلمرو، عقب‌ماندگی خود را جبران کنند. نانوتکنولوژی کاربردهای گسترده‌ای در تمام حیطه‌های زندگی دارد و از این رو توسعه آن می‌تواند به بهبود و تسهیل زندگی کمک فراوان کند.

اتم سنگ بنای بنیادی ماده است، توصیف و تصور جهان در سطح اتم و مولکول دشوار است. این حیطه از علم به قدری عجیب است که بخشی خاص از فیزیک یعنی مکانیک کوانتوم به آن اختصاص یافته شده است. هدف این علم توصیف رخدادها در سطح اتم است. در سال ۱۹۸۱ پژوهشگران شرکت آی بی ام نوعی میکروسکوپ به نام STM ساختند. نامگذاری این میکروسکوپ بدلیل کاربرد خاصیت مکانیک کوانتومی در آن است. این دستگاه می‌تواند پستی و بلندی‌هایی در مقیاس جهان نانو را نشان دهد. میکروسکوپ STM این امکان را به دانشمندان داد که برای اولین بار اتم‌ها و ملکول‌ها را ببینند. تصاویر این میکروسکوپ به زیبایی و به وضوح تصاویر طبیعت، اما در مقیاس تصورناپذیر نانومتر بود.

یافتن خواص جدید در مقیاس نانو گام نخست است و گام بعدی استفاده از این دانش است. توانایی ساخت اجسام با دقت اتمی این امکان را به دانشمندان می‌دهد که موادی با خواص بهتر یا جدید نوری، مغناطیسی، حرارتی یا الکتریکی تولید کنند. از آنجایی که نانوتکنولوژی کاربردهای گسترده‌ای دارد، بسیاری از افراد بر این تصورند که این علم اهمیتی همانند برق یا پلاستیک پیدا خواهد کرد. مطالعات نشان می‌دهد نانو تکنولوژی با بهبود مواد و محصولات و تولید مواد کاملاً جدید بر تمام صنایع تأثیر خواهد گذاشت. افزون براین، فعالیت در حد کوچکترین مقیاس‌ها به پیشرفت‌های مهم در عرصه‌هایی مانند الکترونیک، انرژی و پزشکی زیستی خواهد انجامید[۱].

۱-۱ معرفی نانوتکنولوژی

نانو کلمه ای یونانی و به معنی کوتوله[1] می‌باشد. به زبان تکنیکی می‌توان یک نانو را معادل $۱۰^{-۹}$ یا یک میلیاردم چیزی دانست.

در واقع یک نانومتر یک هزارم میکرون است و اگر بخواهیم احساس فیزیکی نسبت به آن داشته باشیم می‌توان گفت که یک نانومتر ۱/۸۰۰۰۰قطر موی انسان می‌باشد اما این تعریف مقیاس نانو، نمی‌تواند مقایسه درستی باشد چرا که ضخامت موی انسان متغیر است.

بنابراین نیاز به یک استاندارد برای بیان مفهوم مقیاس نانو وجود دارد. با ایجاد ارتباط میان اندازه اتم‌ها و مقیاس نانو می‌توان یک نانومتر را راحت‌تر تصورکرد. یک نانومتر برابر قطر ۱۰ اتم هیدروژن و یا ۵ اتم سیلسیم می‌باشد. درک این موضوع برای افراد معمولی نیز راحت‌تر می‌باشد. علی‌رغم اینکه درک اندازه یک اتم برای افراد غیرعلمی ساده نمی‌باشد، با این حال اندازه دقیق اتم برای فهماندن این مقیاس زیاد اهمیت ندارد. چیزی که با این تشابه مشخص می‌شود، این است که نانوفناوری شاخه‌ای از علوم است که هدف نهایی آن کنترل بر روی تک‌تک اتم‌ها و مولکول‌ها می‌باشد تا بتوان به کمک آن تراشه‌های کامپیوتری و تجهیزاتی تولید کرد که هزاران بار کوچکتر از تجهیزات فعلی باشند.

در فناوری فعلی تولید مدارات نیمه‌هادی از روش لیتوگرافی برای ایجاد طرح مدار بر روی مواد نیمه هادی استفاده می‌شود. پیشرفت شگرفی که در لیتوگرافی طی۲ دهه اخیر رخ داده است به ما این امکان را می‌دهد که با بهره‌گیری از دستگاه‌های جدید بتوانیم مداراتی کوچکتر از ۱ میکرون (۱۰۰۰ نانومتر) را تولید کنیم. البته باید توجه داشت که این مدارات هنوز از میلیون‌ها اتم تشکیل شده‌اند. بیشتر دانشمندان بر این باور هستند که لیتوگرافی به مرزهای محدودکننده فیزیکی خود نزدیک شده است. بنابراین برای کوچکتر کردن اندازه نیمه‌هادی‌ها می‌بایست از فناوری‌های جدیدی که می‌توانند تک‌تک اتم‌ها را سازماندهی کنند، استفاده کرد و طبعاً چنین فناوری جزء محدوده فناوری نانو محسوب می‌شود. بسیاری از دانشمندان هنگامی که می‌خواهند درباره فناوری نانو به معنی واقعی و علمی کلمه صحبت کنند از آن به عنوان فناوری نانومولکولی یاد می‌کنند که به معنی فناوری نانو در ابعاد مولکولی می‌باشد.

در واقع هدف نانو تکنولوژی ساختن مولکول به مولکول آینده است. همانطور که وسایل مکانیکی به ما اجازه می‌دهند که چیزی فراتر از نیروی فیزیکی خود به دست آوریم، علم نانویی و تولید در مقیاس نانو هم سبب می‌شود تا بتوانیم پا را فراتر از محدودیت‌های اندازه‌ای که به طور طبیعی موجود است، گذاشته و بر روی واحدهای ساختاری مواد کار کرد. بطوریکه بتوان با تغییر در آن واحدها در خاصیت مواد تغییر ایجاد کرد. فرض اصلی در نانو تکنولوژی ساخت ساختارهایی با ثبات شیمیایی است که از نظر قوانین فیزیک مجاز باشند[۲و۱].

ماهیت نانو تکنولوژی عبارت است از توانایی کار کردن در تراز اتمی، مولکولی و فراتر از مولکولی، در ابعاد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، با هدف ساخت و دخل و تصرف در چگونگی آرایش

---

[1] *Dwarf*

اتم‌ها یا مولکول‌ها و با استفاده از مواد، وسایل و سیستم‌هایی با توانایی‌های جدید و اعمال تازه که ناشی از ابعاد کوچک ساختارشان می‌باشد.

در اینجا مثال‌هایی جهت درک بهتر ابعاد نانو ذکر می‌کنیم. یک مولکول آب دارای قطری در حدود ۱ نانومتر است. قطر یک نانو تیوپ تک لایه ۱.۲ نانومتر می باشد. کوچکترین ترانزیستورها به اندازه ۲۰ نانومتر می‌باشند. مولکول DNA، ۲.۵ نانومتر و پروتئین‌ها بین ۱ تا ۲۰ نانومتر پهنا دارند.

تعاریف زیادی برای فناوری نانو وجود دارد، اما NNI این تعریف را برای فناوری نانو ارائه می‌دهد:

۱- توسعه فناوری و تحقیقات در سطوح اتمی ، مولکولی و یا ماکرومولکولی در مقیاس اندازه‌ای ۱ تا ۱۰۰ نانومتر

۲- خلق و استفاده از ساختارها و سیستم‌هایی که به خاطر اندازه‌کوچک یا حدمیانه آنها، خواص نوینی دارند.

۳ – توانایی کنترل یا دستکاری در سطوح اتمی .

۱-۲ عناصر پایه در فناوری نانو

تفاوت اصلی فناوری نانو با فناوری‌های دیگر در مقیاس مواد و ساختارهایی است که در این فناوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته تنها کوچک بودن اندازه مد نظر نیست؛ بلکه زمانی که اندازه مواد در این مقیاس قرار می‌گیرد، خصوصیات ذاتی آنها از جمله رنگ، استحکام، مقاومت خوردگی و ... تغییر می‌یابد. در حقیقت اگر بخواهیم تفاوت این فناوری را با فناوری‌های دیگر به صورت قابل ارزیابی بیان نماییم، می‌توانیم وجود "عناصر پایه" را به عنوان یک معیار ذکر کنیم. عناصر پایه در حقیقت همان عناصر نانومقیاسی هستند که خواص آنها در حالت نانومقیاس با خواص‌شان در مقیاس بزرگتر فرق می‌کند.

اولین و مهمترین عنصر پایه، نانوذره است. منظور از نانوذره، همانگونه که از نام آن مشخص است، ذراتی با ابعاد نانومتری در هر سه بعد می‌باشد. نانوذرات می‌توانند از مواد مختلفی تشکیل شوند، مانند نانوذرات فلزی، سرامیکی، ...

دومین عنصر پایه، نانوکپسول است. نانوکپسول‌ها قطری نانومتری دارند و می‌توان مواد مورد نظر را درون آنها قرار داد و کپسوله کرد. سال‌هاست که نانوکپسول‌ها در طبیعت تولید می‌شوند؛ مولکول‌های موسوم به فسفولیپیدها که یک سر آنها آبگریز و سر دیگر آنها آبدوست است، وقتی در محیط آبی قرار می‌گیرند، خود به خود کپسول‌هایی را تشکیل می‌دهند که قسمت‌های آبگریز مولکول در درون آنها واقع می‌شود و از تماس با آب محافظت می‌شود. حالت

برعکس نیز قابل تصور است. نانوبلورها و نقاط کوانتومی نیمرسانا زیر مجموعه‌ای از نانوذرات هستند[۳و۱].

عنصر پایه بعدی نانولوله کربنی است. این عنصر پایه در سال ۱۹۹۱ در شرکت NEC کشف شد و در حقیقت لوله‌هایی از گرافیت می‌باشد. اگر صفحات گرافیت را پیچیده و به شکل لوله در بیاوریم، به نانولوله‌های کربنی می‌رسیم. این نانولوله‌ها دارای اشکال و اندازه‌های مختلفی هستند و می‌توانند تک دیواره یا چند دیواره باشند. این لوله‌ها خواص بسیار جالبی دارند که منجر به ایجاد کاربردهای جالب توجهی از آنها می‌شود. در دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ پودرهای نانومتری فلزات برای ذخیره اطلاعات بر روی نوار ساخته شد. در سال ۱۹۷۶ کریستال نانومتری توسط گرانکویست و بورمن، با استفاده از روش تبخیر گاز کامل تولید گردید و دنیای جدیدی از علم و فناوری را به روی بشریت گشود[۵ و۴].

۱-۳ تجهیزات اندازه گیری درفناوری نانو

تجهیزات اندازه گیری در فناوری نانو عبارتند از:

۱. میکروسکوپ الکترونی عبوری
۲. میکروسکوپ الکترونی روبشی
۳. اسپکتروسکوپی الکترون واژه
۴. میکروسکوپ الکترونی روبشی محیطی
۵. طیف سنجی جرمی یون ثانویه
۶. پراش اشعه X
۷. کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا
۸. طیف سنجی جرمی
۹. طیف سنجی رامان
۱۰. کروماتوگرافی گازی
۱۱. طیف سنجی زیرقرمز
۱۲. رزونانس مغناطیس هسته
۱۳. میکروسکوپ نیروی اتمی
۱۴. باریکه یونی متمرکز
۱۵. میکروسکوپ روبشی تونلی
۱۶. طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز
۱۷. طیف نگاری الکترونی برای آنالیز شیمیایی
۱۸. پراکندگی بازگشتی رادرفورد

۱۹. و میکروسکوپ نوری میدان نزدیک روبشی[۱].

۱-۴پیشگامان نانو تکنولوژی

چهل سال پیش ریچارد فینمن[۱] ، متخصص کوانتوم نظری و دارنده‌ی جایزه‌ی نوبل، در سخنرانی معروف خود در سال ۱۹۵۹ با عنوان ″ آن پایین فضای بسیاری هست″ به بررسی بعد رشد نیافته علم مواد پرداخت. وی در آن زمان اظهار داشت: ″ اصول فیزیک بر خلاف امکان ساختن اتم به اتم چیزها حرفی نمی‌زنند″. او فرض را بر این قرار داد که اگر دانشمندان فرا گرفته‌اند که چگونه ترانزیستورها و دیگر ساختارها را با مقیاس‌های کوچک بسازند پس ما قادر خواهیم بود که آنها را کوچک و کوچک‌تر کنیم. در واقع آنها به مرزهای حقیقی‌شان در لبه‌های نامعلوم کوانتوم نزدیک خواهند شد و فقط هنگامی این کوچک شدن متوقف می‌شود که خود اتم‌ها تا حد زیادی ناپایدار شده و غیرقابل‌فهم گردند. وی فرض کرد وقتی زبان یا سبک خاص اتم‌ها کشف گردد، طراحی دقیق مولکول‌ها امکان‌پذیر است به طوری که یک اتم را در مقابل دیگری به گونه‌ای قرار دهیم که بتوانیم کوچک‌ترین محصول مصنوعی و ساختگی ممکن را ایجاد کنیم.

ماروین مانسکی[۲] تفکرات بسیار باروری داشت که می‌توانست به اندیشه‌های فینمن قوت ببخشد.

مانسکی، پدر یابنده‌ی هوش‌های مصنوعی دهه‌ی ۷۰-۱۹۶۰ جهان را در تفکراتی که مربوط به آینده می‌شد، رهبری می‌کرد.

در اواسط دهه‌ی ۷۰، اریک درکسلر[۳] نسبت به وسایل بسیار کوچک فینمن علاقه‌مند شده بود و قصد داشت تا در مورد توانایی‌های آنها به کاوش بپردازد. درکسلر ایده‌های خودش را نانوتکنولوژی نامگذاری کرد[۶].

۱- ۵ نانوتکنولوژی و همگرایی علمی

نانوتکنولوژی به سه شاخه جدا و در عین‌حال مرتبط با یکدیگر تقسیم می‌شود که بر اساس ساختارهای زیر تعریف می‌شوند:

---

[۱] *Richard Feynman*

[۲] *Marvin Minsky*

[۳] *Eric Drexler*

۱-۵-۱ نانوتکنولوژی مرطوب

این شاخه به مطالعه سیستم‌های زیست‌محیطی که اساساً در محیط‌های آبی پیرامون وجود دارند می‌پردازد و چگونگی مقیاس نانومتری ساختمان مواد ژنتیکی، غشاءها و سایر ترکیبات سلولی را مورد مطالعه قرار می‌دهد. موفقیت این رشته، بوسیله ساختمان‌های حیاتی فراوانی که تشکیل شده‌اند و نحوه عملکرد ساختمانشان در مقیاس نانویی نظارت می‌شود، به اثبات رسیده است. این شاخه در برگیرنده علوم پزشکی، دارویی، زیست محیطی و کلاً علوم مربوط به Bio می‌باشد.

۱-۵-۱-۱ نانوتکنولوژی و فراپزشکی

نانوتکنولوژی به عنوان یک دانش پایه در تولیدات صنعتی بشر، زمینه‌های مختلف دنیای فن‌آوری را تحت تأثیر قرار خواهد داد. پزشکی و درمان یکی از موارد مهمی است که انسان در طول تاریخ برای حفظ بقا به عنوان مسأله‌ای اساسی به آن نظر داشته است، انقلاب صنعتی آینده در پزشکی هم دگرگونی عظیمی به همراه خواهد داشت.

پژوهش‌های انجام شده ساختاری را ارائه می‌کند که می‌تواند پیشرفت حیرت انگیری را در صنعت دارو و درمان بیماری‌ها و آسیب‌های زیستی ایجاد کند. ماشین‌های مولکولی هوشمند نمونه‌ی بسیار کوچک یک سیستم شناساگر، ترمیم‌کننده و متحرک بسیار دقیقند که می‌توانند تمام مشکلات را در پزشکی امروز برطرف سازند. این باکتری‌ها، میکروب‌ها و ویروس‌های بیماری‌زا خواهند بود. مثلاً با داشتن اطلاعات دقیق از DNA ، سلول‌های بدن می‌توانند مهاجمین را قبل از آسیب زدن به سلول‌های سالم شناسایی کرده و از بین ببرند.

ماشین‌های مولکولی هوشمند می‌توانند مواد دارویی لازم برای بیماری خاص را دریافت و تا محل سلول‌های بیمار حمل می‌کنند و پس از شناسایی تک تک آنها دارو را اثر داده و با حداقل ماده مورد نیاز و آسیب جانبی بیماری را درمان نمایند. در عین حال این ماشین‌ها با ابعاد کوچک خود می‌توانند از دیواره‌ی سلول‌ها عبور کرده و حتی اجزای سلول‌ها را هم ترمیم نمایند. بدین ترتیب است که نانوماشین‌های مولکولی با این قابلیت‌های مذکور به راحتی می‌توانند حتی ویروس HIV را از مقایسه اطلاعات آن با DNA در بدن انسان شناسایی کرده و آنها را از بین ببرند. اضافه بر روش‌های درمانی خارق العاده، نانوتکنولوژی امکان ایجاد ساختارهای زیستی عجیبی را فراهم می‌سازد.

۱-۵-۱-۲ نانوتکنولوژی و علم بیوتکنولوژی

سیستم‌های بیوتکنولوژی صفاتی دارند که آنها را برای کاربردهای نانوتکنولوژی بسیار مناسب می‌سازد علیرغم وعده‌ها $Nano\ Structure$ها، $Nano\ Particle$ها و $Nano\ device$ها به اندازه نانوبیولوژی توسعه نیافته‌اند.

۱-۵-۲ نانوتکنولوژی خشک

این مبحث از علوم پایه فیزیک و شیمی مشتق می‌شود و به تمرکز روی ساختمان‌های کربنی، سیلیکون و دیگر مواد غیرآلی می‌پردازد. قابل تأمل است که فن‌آوری خشک ـ مرطوب استفاده از مواد و نیمه هادی‌ها را نیز می‌پذیرد. الکترون‌های آزاد و انتقال‌دهنده در این مواد آنها را برای محیط مرطوب سودمند می‌سازد. اما همین الکترون‌ها خصوصیات فیزیکی فراهم می‌کنند که ساختارهای خشک از آنها در الکترونیک، مغناطیس و ابزارهای نوری استفاده می‌کنند.

اثر دیگر که باعث پیشرفت ساختارهای خشک می‌شود این است که این ساختارها قسمت‌های خود تکثیری مشابه ساختارهای مرطوب دارند.

۱-۵-۳ نانوتکنولوژی تخمینی (محاسبه‌ای)

این شاخه از نانو به مطالعه‌ی مدلسازی و ساختن ظاهر ساختمان‌های پیچیده در مقیاس نانویی توجه دارد. توانایی پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل محاسبه‌ای در موفقیت نانوتکنولوژی بحرانی است زیرا طبیعت میلیون‌ها سال وقت لازم دارد که نانوتکنولوژی مرطوب را بصورت کاربردی درآورد. شناختی که بوسیله‌ی محاسبه بدست می‌آید به ما اجازه می‌دهد که زمان پیشرفت نانوتکنولوژی خشک را به چند دهه کاهش داده، بطوریکه تأثیر مهمی در نانوتکنولوژی مرطوب نیز دارد. نانوتکنولوژی تخمینی، پلی است برای ارتباط بین علوم مهندسی، محاسباتی، کامپیوتر و فن‌آوری جدید.

با توجه با ساختارهای عنوان شده برای نانوتکنولوژی تأثیر متقابل آنها بر یکدیگر و لزوم مشارکت هر سه ساختار برای خلق و توسعه‌ی اکثر محصولات نانویی، واضح است که فن‌آوری برتر آینده نقطه تلاقی تفکر و عمل تمامی دانشمندان و محققان علوم مختلف است[۶].

۱-۶ مثال‌هایی از کاربردهای نانوتکنولوژی

۱-۶-۱ قطعات نانویی پلیمرهای مسطح

نیازمندی به افزایش سوخت در وسایل موتوری از یک طرف و دید اقتصادی و صرفه جویانه‌ی امروز ما از طرفی دیگر، استفاده از مواد جدید و کم وزن ـ نوعاً پلاستیک‌ها ـ که می‌توانند جایگزین فلزات شوند را ایجاب می‌کند. انواع مرغوب این پلاستیک‌ها گران هستند.

نانو کامپوزیت‌ها کلاس جدیدی از مواد هستند که تحت مطالعات بین‌المللی قرار گرفته‌اند، نانو کامپوزیت‌هایی که از پلیمرهای قدیمی مسطح شده‌اند، بوسیله‌ی قطعاتی که در ابعاد نانومتر در سرتاسر پلیمر پراکنده شده‌اند، تشکیل شده است. این پلیمرهای مسطح اکنون می‌توانند راه‌حلی اقتصادی برای جایگزینی فلزات باشند. در این نظریه، نانو کامپوزیت‌ها راحت‌تر می‌توانند تغییر شکل پیدا کنند و به فرم نهایی مورد نظر تبدیل شوند و این محصولات محکم تر، استوارتر و سفت‌تر از فلزات می‌باشند؛ حال آنکه وزنشان کمتر از فلزات است. مقاوم بودن در برابر عوامل ایجاد فساد تدریجی، صداهای آزاردهنده، قطعات ترکیبی زمخت و ناراحت‌کننده، با این تکنولوژی همگی بهبود خواهند یافت.

کمپانی شیمیایی داو[۱] و شرکت بین‌المللی مگنا[۲] آمریکا، یک برنامه‌ی پیوسته‌ی تکنولوژی پیشرفته (ATP) طراحی کردند که توسط مؤسسه استاندارد و تکنولوژی ملی، ضمانت و حمایت شده است. این برنامه در نظر دارد فعالیت‌های عملی برای کاربردی کردن نانوکامپوزیت‌ها در صنعت اتومبیل‌سازی را گسترش دهند. نانوکامپوزیت‌ها مواد جدیدی هستند که فوق‌العاده سبک و بطور باورنکردنی باقابلیت و کارا می‌باشند. با بکار بردن نانوکامپوزیت‌ها به عنوان مثال در صنایع خودکار کشور آمریکا، سالانه پانزده میلیون لیتر بنزین کمتر مصرف می‌شود و از این رهگذر پنج میلیون کیلوگرم $CO_۲$ کمتر تولید و وارد فضا می‌شود. این صرفه‌جویی در مصرف سوخت، به‌خاطر سبک بودن نانوکامپوزیت‌ها نسبت به سایر مواد مشابه است (نانوکامپوزیت‌ها نسبت به مواد مشابه خیلی سبک‌ترند، درصورتیکه همه‌ی خواص کاربردی آن مواد را نیز دارا می‌باشند).

این مواد علاوه بر مثال‌های گفته شده، احتمالاً در کاربری‌های غیراتوماتیک مثل لوله‌ها و صنایع غیرمنقول منازل (از قبیل گاز و برق)، برای ساختمان‌ها و صنایع زیربنایی، لوله‌های یخچال، مشاغل مختلف پزشکی و تجهیزات خانگی، وسایل تفریحی و اسباب و وسایل روزمره نیز مفید خواهد بود.

۲-۶-۱ کاتالیزورهایی با ساختار نانویی

---

[۱] *Dow*

[۲] *Magana*

محققین شرکت موبایل اویل[1] با توسعه‌ی مواد کریستالی ـ که دارای یک ساختار ابتکاری نانویی هستند ـ و ایجاد کاتالیزورهای هیدروکربنی، انقلابی در صنعت کاتالیست‌ها به وجود آورده‌اند. برنامه‌ی آنها روی مواد متخلخل و زئولیت[2] ـ نوعی کاتالیزور تازه یافته شده ـ که شکل شکل تعریف شده و محدود شده‌ی خوبی داشته باشند و در لایه‌ی سطح شیمیایی خود سوراخ‌هایی با قطر کمتر از یک نانومتر داشته باشند، متمرکز شده است.

یک کلاس جدید زئولیت‌ها، ZSM-۵ می‌باشد که البته قبل از ۱۹۶۰ کشف شده است.

ZSM-۵، ۱۰ اتم با ساختار حلقوی دارد که باعث می‌شود حفره‌های سطح آن در ترتیبی معادل ۵.۴۵ نانومتر تا ۵.۶ نانومتر قرار بگیرند (این مقدار کمتر از قطر سوراخ‌های موجود در زئولیت X و زئولیت Y است و بیشتر از قطر حفره‌های موجود در زئولیت A)، و این قضیه باعث شده تا شیمیدان‌ها قادر به انتخاب شکل آن باشند، کاری که قبلاً انجام پذیر نبود.

کاتالیزور زئولیت اکنون برای پردازش مسیر تولید بیش از ۷ میلیون بشکه محصولات نفتی و شیمیایی در سال بکار می‌رود. کشور نیوزیلند از کاتالیزور مشابهی برای تولید یک سوم سوخت فسیلی مورد نیاز خود به وسیله‌ی تبدیل آن از گاز طبیعی (از طریق متانول) به سوخت‌هایی با اکتان بالا استفاده می‌کند. ZSM -۵ همراه با زئولیت Y امروزه برای پایه‌ریزی تقطیر و سبک‌کردن هیدروکربن‌ها و اصلاح فرآیندها با لحاظ کردن صرفه‌ی اقتصادی به کار می‌روند.

یک مثال دیگر از شرکت موبایل اویل : سیلیکات آلومینیوم که بصورت روزنه‌ای استوانه‌ای شکل با اندازه‌ی ۱۰ nm داده شده بود، در دو مورد برای واکنش‌های کاتالیزوری و عملیات خالص‌سازی اجزای پراکنده در محیط زیست بکار گرفته شده است (در سال ۱۹۶۶). پیشرفت‌های سیستمی آینده، این انتظار را ایجاد کرده است که بازار کاتالیزورهای سراسر جهان توسط نانوتکنولوژی تسخیر شود.

۳-۶-۱ فلزات بی‌شکل با ساختار اتمی کنترل شده

افزایش قدرت طراحی و ساخت اتم به اتم مواد، اجازه‌ی ایجاد ماده‌های جدیدی را با خصوصیات مورد نیاز فیزیکی و الکتریکی خواهد داد. یک مثال در مورد اینگونه ماده‌ها، آلیاژ بی‌شکل به نام $Vitreloy^{TM}$ است. این آلیاژ ترکیبی از Zr, Ni, Be, Ti و Cu می‌باشد. نسبت این مواد به ترتیب ۱۳.۸، ۲۲.۵، ۱۰، ۱۴.۸، ۱۲.۵ درصد می‌باشد. مواد جدید ساخته شده نسبت به فولاد، دو برابر قوی‌تر، کشسان‌تر، سخت‌تر و محکم‌تر هستند. خصوصیات تابش و انتقال انرژی گرمایی کریستالی با یکدیگر اختلاف غیرقابل اغماضی دارند و دلیل این تفاوت، نوع اتم‌ها و نحوه‌ی چیدمان آنهاست.

---

[1] *Mobil Oil*

[2] *Zeolites*