دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک (حالت جامد)

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

بررسی خواص نوری چاه کوانتومی تحت تأثیر میدان‌های لیزری، مغناطیسی و الکتریکی خارجی

لیلا محمدی ناصرآباد

استاد راهنما :

دکتر قاسم رضایی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی

اسفند ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

مرکز شیراز

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک (حالت جامد)

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

بررسی خواص نوری چاه کوانتومی تحت تأثیر میدان‌های لیزری، مغناطیسی و الکتریکی خارجی

لیلا محمدی ناصرآباد

استاد راهنما :

دکتر قاسم رضایی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی

اسفند ۱۳۹۲

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه پیام نور استان فارس

دانشگاه پیام نور شیراز
باسمه تعالی

تاریخ : ۹۲/۱۲/۰۷
شماره : ۰۵/۱۶۲۷۵
پیوست :

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد **خانم لیلا محمدی ناصرآباد** دانشجوی رشته **فیزیک گرایش حالت جامد** به شماره دانشجویی **۹۰۰۱۰۹۲۴۰** با عنوان:

" بررسی خواص نوری چاه کوانتومی تحت تاثیر میدان‌های لیزری، مغناطیسی و الکتریکی خارجی"

با حضور هیات داوران در روز چهار**شنبه** مورخ **۱۳۹۲/۱۲/۰۷** ساعت **۱۳** در محل ساختمان **غدیر دانشگاه پیام نور شیراز** برگزار شد و هیأت داوران پس از بررسی، پایان‌نامه مذکور را شایسته نمره به عدد ۱۸/۷ به حروف هجده‌دهم با درجه عالی تشخیص داد.

ردیف	نام و نام‌خانوادگی	هیأت داوران	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه	امضاء
۱	دکتر قاسم رضایی	راهنما	استادیار	یاسوج	
۲	دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی	مشاور	دانشیار	پیام‌نور شیراز	
۳	دکتر رضا خرداد	داور	استادیار	یاسوج	
۴	امیر اکبری	نماینده تحصیلات تکمیلی	مربی	پیام‌نور شیراز	

معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی

شیراز- شهرک گلستان،بلوار دهخدا
قبل از نمایشگاه بین المللی
تلفن : ۶۲۲۲۲۵۵ - ۰۷۱۱
دورنگار : ۶۲۲۲۲۴۹ - ۰۷۱۱
صندوق پستی: ۱۳۶۸ - ۷۱۹۵۵
www.spnu.ac.ir
Email : admin@spnu.ac.ir

اینجانب **لیلا محمدی ناصرآباد** دانشجوی ورودی سال۹۰/۷. مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک –حالت جامد گواهی می نمایم چنانچه در پایان نامه خود از فکر ، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته ام با نقل قول مستقیم یا غیر مستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده ام . بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می دانم و جوابگوی آن خواهم بود .

دانشجو تائید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است .

نام و نام خانوادگی دانشجو **لیلا محمدی ناصرآباد**

تاریخ و امضاء ۹۲,۱۲,۲۰

اینجانب **لیلا محمدی ناصرآباد** دانشجوی ورودی سال مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک –حالت جامد گواهی می نمایم چنانچه بر اساس مطالب پایان نامه خود اقدام به انتشار مقاله ، کتاب ، و ... نمایم ضمن مطلع نمودن استاد راهنما ، با نظر ایشان نسبت به نشر مقاله ، کتاب ، و ... و به صورت مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم .

نام و نام خانوادگی دانشجو **لیلا محمدی ناصرآباد**

تاریخ و امضاء ۹۲,۱۲,۲۰

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات ، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه مطعلق به دانشگاه پیام نور می باشد .

ماه و سال

اسفند۱۳۹۲

تقدیم با بوسه بر دستان پدرم: به او که نمی دانم از بزرگیش بگویم یا سخاوت، سکوت، مهربانی و . . .

تقدیم به مادر عزیزتر از جانم: مادرم دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج و وجودش برایم همه مهر.

تقدیم به همسرم: که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم است.

تقدیم به خواهرانم: که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است.

تقدیم به برادرانم: که وجودشان مایه دلگرمی من می باشد.

تقدیم به فرزندم: که وجودش برایم یکی از الطاف خداوند بزرگ است.

سپاسگزاری

سپاس خداوندی را که دهنده‌ی بی منت است. او بنده‌اش را به زیور علم آراست و چراغ معرفتش را در دل عالمیان روشن ساخت. سپاس و ستایش مرخدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بـر چهـره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به مـا شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضـعیف خـویش را در طریق علم و معرفت بیازماید. او که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه‌ی زندگیست.

در ابتدا از پدر و مادر عزیزم سپاسگزارم.

پروردگارا: نمی‌توانم موهایشان را که در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دست‌هـای پینـه بسته‌شان که ثمره تلاش برای افتخار من است، مرهمـی دارم. پـس تـوفیقم ده کـه هـر لحظـه شـکر گزارشان باشم و ثانیه‌های عمرم را در عصای دست بودنشان بگذرانم. نمی‌توانم معنایی بالاتر از تقدیر و تشکر بر زبانم جاری سازم وظیفه‌ی خود می‌دانم که اردت قلبی خود را به استاد علم و اخلاقم و سپاس خود را در وصف استاد بزرگوارم آقای دکتر قاسم رضایی آشکار نمایم، که هر چه گویم ، کـم گفته ام ازشما استاد گرامی که همواره با صبر و بصیرت خـویش مـن را در انجـام هرچـه بهتـر ایـن پژوهش همراهی کرده‌اید سپاسگزارم و خداوند منان را به خاطر این توفیق شاکرم و از درگاه او برای شما وخانواده‌تان سلامتی و سعادت آرزومندم. و از استاد مشاور گرامی‌ام مدیر گروه محتـرم فیزیـک دانشگاه پیام نور آقای دکتر عبدالرسول قرائتی کمال تشکر را دارم. صبر و سختی‌های ایشان در گـروه فیزیک و اخلاق نیک این بزرگوار الگویی برایم در زندگی خواهد بود.

چکیده

توسط : لیلا محمدی ناصرآباد

بررسی خواص نوری چاه کوانتومی تحت تأثیر میدان های لیزری، مغناطیسی والکتریکی خارجی

چاه کوانتومی، یکی از سیستم‌های کوانتومی نیم‌رسانا است که درآن حرکت حامل‌های بار در یک راستا محدود و در دو راستای دیگر آزاد می‌باشند. محدودیت کوانتومی یک بعدی در این ساختارها باعث گسستگی ترازهای انرژی شده و ویژگی‌های الکترونی و نوری جدیدی که در مواد کپه‌ای وجود ندارد را تولید می‌نماید. علاوه براین، به علت کاربرد گسترده چاه های کوانتومی نیمرسانا در ساخت قطعات الکترونی، اپتوالکترونی، لیزرهای نیمرسانا، رایانه‌های کوانتومی و دیودهای نورگسیل، مطالعه ویژگی‌های الکترونی و نوری این سیستم کوانتومی و تاثیر عوامل خارجی بر این ویژگی‌ها ضروری به نظر می‌رسد. ازاین‌روی، در این پایان نامه یک چاه کوانتومی نیم‌رسانا را در نظر گرفته و با حل معادله شرودینگر در مختصات دکارتی، ترازهای انرژی الکترون محبوس در چاه کوانتومی را تحت تأثیرمیدان‌های مغناطیسی، الکتریکی و لیزری مورد مطالعه قرار می‌دهیم. در ادامه با داشتن ویژه توابع و ویژه مقدارهای انرژی، تغییرات ضرایب جذب، شکست و همچنین ضریب همسوسازی نوری ناشی از گذار بین زیرنوارهای چاه کوانتومی مورد نظر را محاسبه می‌نماییم. بدین منظور با استفاده از ماتریس چگالی و روش تکرار، تغییرات ضرایب جذب، شکست و ضریب همسوسازی نوری را بررسی نموده و تأثیر اندازه چاه و میدان‌های الکتریکی، مغناطیسی و لیزری را بر این ویژگی-های نوری مورد مطالعه قرار می‌دهیم. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نه تنها اندازه چاه بلکه عوامل خارجی از قبیل میدان‌های مغناطیسی، الکتریکی و لیزری تاثیر قابل توجهی بر ساختار الکترونی و ویژگی‌های نوری چاه کوانتومی دارند.

کلید واژه : خواص نوری، چاه کوانتومی، میدان لیزری، میدان‌های مغناطیسی والکتریکی.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول مقدمه..... ۱

۱-۱نانو الکترونیک..... ۱

۱-۲نانو در طبیعت..... ۴

۱-۳آشنایی با نانو..... ۵

۱-۴ساختارهای کوانتومی..... ۶

۱-۴-۱نقاط کوانتومی..... ۶

۱-۴-۲سیم کوانتومی..... ۷

۱-۴-۳چاه کوانتومی..... ۸

۱-۵سلول‌های خورشیدی چاه کوانتومی..... ۹

۱-۶تاریخچه نانو تکنولوژی..... ۱۰

فصل دوم بررسی ترازهای انرژی ساختارهای کوانتومی محدود..... ۱۳

۲-۱مقدمه..... ۱۳

۲-۲دسته بندی مواد جامد..... ۱۳

۲-۳ساختار بلوری نیمرسانا..... ۱۵

۲-۴تقریب جرم مؤثر..... ۱۵

۲-۵نوارهای انرژی نیم‌رساناها..... ۱۸

۲-۵-۱نیم‌رساناهای گاف مستقیم و نیم‌رساناهای گاف غیرمستقیم..... ۱۸

۲-۶چگالی حالات نیمرسانای حجمی..... ۱۹
۲-۷ساختارهای کوانتومی وبرآمدگی انرژی ۲۲
۲-۷-۱طیف انرژی ساختارهای دوبعدی: چاه‌های کوانتومی.....۲۶
۲-۷-۲حرکت درصفحه.....۲۷
۲-۷-۳طیف انرژی ساختارهای تک بعدی: سیمهای کوانتومی.....۲۹
۲-۷-۴طیف انرژی ساختارهای صفر بعدی: نقطه کوانتومی.....۳۱
۲-۸نتیجه گیری.....۳۳
فصل سوم چاه کوانتومی نیمرسانا.....۳۴
۳-۱حل معادله شرودینگر در ساختار چاه کوانتومی نیم‌رسانا.....۳۴
۳-۱-۱محدودیت کوانتومی.....۳۴
۳-۱-۲چاه نامحدود.....۳۷
۳-۱-۳حرکت در صفحه.....۴۰
۳-۲چاه محدود با جرم ثابت.....۴۲
۳-۳عدم تطابق جرم مؤثردر اتصالات چندگانه.....۴۷
۳-۴مطالعه‌ی خواص الکترونی چاه کوانتومی درحضور میدان‌های مغناطیسی ،الکتریکی ولیزری ۵۱
۳-۴-۱مقدمه ۵۱
۳-۴-۲حل معادله‌ی شرودینگر چاه کوانتومی.....۵۱
۳-۵ محاسبه ویژه‌مقادیر و ویژه‌حالتها ی چاه کوانتومی در حضور میدان‌های الکتریکی ، مغناطیسی ولیزری ۵۳
۳-۶محاسبات عددی ونتایج ۵۴

۳-۷نتیجه گیری ۵۷

فصل چهارم بررسی خواص نوری خطی وغیر خطی چاه کوانتومی ۵۹

۴-۱مقدمه ۵۹

۴-۲پدیده‌های خطی وغیرخطی ۵۹

۴-۲-۱ضرایب جذب وشکست نوری ۶۰

۴-۲-۲ضریب همسوسازی نوری وتولید هماهنگ مرتبه دوم ۶۲

۴-۲-۳تولید هماهنگ مرتبه سوم ۶۳

۴-۳تحول زمانی ماتریس چگالی ۶۴

۴-۴حل معادله تحول زمانی ماتریس چگالی بااستفاده از روش اختلال ۶۷

۴-۵محاسبه خواص نوری چاه کوانتومی ۶۹

۴-۵-۱محاسبه پذیرفتاری خطی با استفاده ازماتریس چگالی ۷۰

۴-۵-۲محاسبه پذیرفتاری غیرخطی مرتبه دوم ۷۱

۴-۵-۳محاسبه پذیرفتاری غیر خطی مرتبه سوم به کمک ماتریس چگالی ۷۵

۴-۶محاسبات عددی ونتایج ۸۱

۴-۶-۱جداول مربوط به محاسبات عددی ۸۱

۴-۶-۱-۱بررسی تاثیر میدان لیزری بر ویژگی‌های نوری چاه کوانتمی ۸۱

۴-۶-۱-۲ بررسی تأثیر میدان مغناطیسی بر خواص نوری چاه کوانتومی ۸۴

۴-۶-۱-۳بررسی تأثیر میدان الکتریکی خارجی بر خواص نوری چاه کوانتومی ۸۶

۴-۶-۱-۴بررسی تغییرات طول چاه بر خواص نوری چاه کوانتومی ۸۹

۴-۷نتیجه گیری ۹۲

فصل پنجم نتایج وپیشنهادات ۹۳

۵-۱نتایج ۹۳

۵-۲پیشنهادات ۹۴

مراجع ۹۵

فهرست شکل‌ها

شکل۱-۱ شکلی از نقاط کوانتومی و بستگی رنگ‌ها به سایزها ۷

شکل۱-۲ سطح مقطع مستطیلی بینهایت عمیق برای سیم کوانتومی ۷

شکل۱-۳ چاه کوانتومی تک گانه ۸

شکل۱-۴ سلول خورشیدی چاه کوانتومی ۱۰

شکل۲-۱ ترازهای انرژی نوارهای ظرفیت و رسانش نارسانا ، نیمرسانا ورسانا (به ترتیب از راست به چپ) ۱۵

شکل۲-۲ نمودار نوار ظرفیت ورسانش با گاف نواری مستقیم وغیر مستقیم ۱۹

شکل۲-۳ نمایش ساختار نواری الف)گالیم آرسناید ب) ژرمانیم ۱۹

شکل۳-۱ یک طرح ساده از چاه کوانتومی از جنس گالیم-آرسناید ۳۴

شکل۳-۲ نمایی از سیم‌های کوانتومی ۳۵

شکل۳-۳ یک سیم تک گانه ونمای گسترده برای نشان دادن شماتیک درجه آزادی درتکانه الکترون۳۶

شکل۳-۴ یک ستون ایستاده تک گانه شامل نقطه کوانتومی ویک نمای گسترده که بطور شماتیک حذف همه‌ی درجات آزادی تکانه‌ی الکترون را نشان می‌دهد. ۳۷

شکل۳-۵ نمای شماتیکی از شکل هرمی نقاط کوانتومی خود مونتاژ در سیستم‌های با عدم تطابق شبکه. ۳۷

شکل۳-۶ محدودیت پتانسیل چاه نامحدود یک بعدی ۳۸

شکل۳-۷ اولین مقادیر سه سطح انرژی عرض چاه برای یک الکترون در یک چاه پتانسیل نامحدود GaAs ۳۹

شکل۳-۸ ساختار لایهای $GaAs/Ga_{1-x}Al_xAs$، وحرکت یک باردرصفحه ۴۰

شکل۳-۹ شکل نشان داده شده حرکت خمیده $k_{x,y}$ ، درصفحه وساختار زیرباندها ۴۲

شکل۳-۱۰ جواب‌هایی برای چاه پتانسیل محدود. ۴۲

شکل۳-۱۱ تصویری از fبه عنوان تابعی از E، برای جواب‌های پاریته زوج که $l_\omega = 100^0 A$، $m^* = 0.067m_0$ و $V = 1000meV$ ۴۵

شکل۳-۱۲ سطح‌های انرژی دریک چاه کوانتومی تک گانه‌ی $GaAs$ باجرم مؤثرثابت $m^* = 0.067m_0$ و $V = 1000meV$. ۴۶

شکل۳-۱۳ ویژه تابع های $\psi(z)$، برای سه تا از اولین سطوح انرژی چاه $GaAs$، 200^0A شکل(۳-۱۲) ۴۷

شکل۳-۱۴ انرژی حالت پایه‌ی الکترون E_1، به عنوان تابعی از عرض l_ω چاه $GaAs$، احاطه شده باسدهای $Ga_{1-x}Al_xAs$، محاسبه شده برای هردو مدل جرم ثابت و جرم متفاوت سد برای طیف وسیعی ازغلظت آلیاژ سد $x = (0.1, 0.2, 0.3, 0.4)$. ۴۹

شکل۳-۱۵ تفاوت انرژی $\Delta E_1 = E_1\left(m^* = \text{constant}\right) - E_1(m^*(z))$ برای ساختارهای نشان داده درشکل۳-۱۴. ..... ۵۰

شکل۳-۱۶ پتانسیل داخل چاه V_eوخارج چاه صفر ۵۲

شکل۳-۱۷ تغییرات انرژی نسبت به تغییرات میدان مغناطیسی ۵۵

شکل۳-۱۸ تأثیر میدان لیزری برروی طیف انرژی چاه کوانتومی ۵۶

شکل۳-۱۹ تأثیر میدان الکتریکی برروی طیف انرژی چاه کوانتومی ۵۶

شکل۳-۲۰ تأثیر اندازه برترازهای انرژی چاه کوانتومی ۵۷

شکل۴-۱تولید هماهنگ مرتبه دوم و نمودار ترازهای انرژی آن ۶۲

شکل۴-۲ تولید هماهنگ مرتبه سوم و نمودارهای ترازهای انرژی مربوط به آن ۶۴

شکل۴-۳: نمودارهای فاینمن برای فرایندهای غیر خطی مرتبهی سوم. الف) ترکیب چهار موج، ب) تولید هماهنگ مرتبه‌ی سه، پ) اثر کر، وت) اثر رامان واداشته ۷۶

شکل۴-۴ تغییرات ضرایب جذب (الف) خطی وغیر خطی وکل وتغییرات ضرایب شکست (ب) خطی وغیر خطی وکل به ازای $F = 15(kv/cm)$، $\gamma = 1.5$ و $V_0 = 50R_y^*$مقادیر مختلف پارامتر لیزری α. ۸۳

شکل۴-۵ تغییرات ضریب همسوسازی نوری برحسب تابعی از انرژی فوتون فرودی، به ازای، $F = 15(kv/cm)$، $\gamma = 1.5$ و $V_0 = 50R_y^*$ومقادیر مختلف پارامتر لیزری. ۸۳

شکل۴-۶ تغییرات ضرایب جذب(الف) و شکست(ب)خطی، غیرخطی و کل برحسب تابعی از انرژی فوتون فرودی، به ازای $F = 15(\frac{kV}{cm})$ ، $\alpha = 0.1nm$ ، $V_0 = 50R_y^*$ و مقادیر مختلف میدان مغناطیسی.۸۵
شکل۴-۷ تغییرات ضریب همسوسازی نوری برحسب تابعی از انرژی فوتون فرودی، به ازای $F = 15(\frac{kV}{cm})$ ، $\alpha = 0.1nm$ ، $V_0 = 50R_y^*$ و مقادیر مختلف میدان مغناطیسی. ۸۶
شکل۴-۸ تغییرات ضرایب جذب (الف) وشکست (ب) خطی، غیرخطی وکل، برحسب تابعی از انرژی فوتون فرودی، به ازای، $\gamma = 1.5$ و $V_0 = 50R_y^*$ و $\alpha = 0.1nm$ و مقادیرمختلف میدان الکتریکی خارجی. ۸۸
شکل۴-۹ تغییرات ضریب همسوسازی نوری برحسب تابعی از انرژی فوتون فرودی، به ازای، $\gamma = 1.5$ و $V_0 = 50R_y^*$ و $\alpha = 0.1nm$ ومقادیرمختلف میدان الکتریکی خارجی. ۸۹
شکل۴-۱۰ انرژی گذار وعامل ساختار مربوط به گذار بین زیر نوارهای چاه کوانتومی به ازای $F = 15(\frac{kV}{cm})$ و $\alpha = 0.1nm$ و $V_0 = 50R_y^*$ و $\gamma = 1.5$ ومقادیرمختلف طول چاه. ۹۱
شکل۴-۱۱ تغییرات ضریب همسوسازی نوری برحسب تابعی از انرژی فوتون فرودی،به ازای $F = 15(\frac{kV}{cm})$ ، $\alpha = 0.1nm$ ، $V_0 = 50R_y^*$ و $\gamma = 1.5$ و مقادیر مختلف طول چاه. ۹۱

فهرست جداول

جدول۲-۱: پارامترهای مربوط به $GaAs$و $AlAs$ ۲۶

جدول۳-۱: تعداددرجات آزادی D_fدرحرکت الکترون،همراه بامحدودیت ابعادی D_cبرای چهارسیستم ابعادی اصلی. ۳۵

جدول۴-۱:انرژی گذاروعامل ساختارمربوط به گذاربین زیرنوارهای چاه کوانتومی به ازای $F=15(\frac{kV}{cm})$و $\gamma=1.5$ و $V_0=50R_y^*$ومقادیرمختلف پارامترلیزری α. ۸۲

جدول۴-۲: انرژی گذاروعامل ساختارمربوط به گذاربین زیرنوارهای چاه کوانتومی به ازای $F=15(\frac{kV}{cm})$، $\alpha=0.1nm$، $V_0=50R_y^*$ومقادیرمختلف میدان مغناطیسی ۸۴

جدول ۴-۳:انرژی گذاروعامل ساختارمربوط به گذاربین زیرنوارهای چاه کوانتومی به ازای $\gamma=1.5$ و $V_0=50R_y^*$و $\alpha=0.1nm$ومقادیرمختلف میدان الکتریکی خارجی..... ۸۷

جدول۴-۴:انرژی گذاروعامل ساختارمربوط به گذاربین زیرنوارهای چاه کوانتومی به ازای $F=15(\frac{kV}{cm})$، $\alpha=0.1nm$، $V_0=50R_y^*$و $\gamma=1.5$مقادیرمختلف طول چاه ۹۰

۱ فصل اول مقدمه

۱-۱ نانو الکترونیک

تعاریف مؤثر زیادی از فناوری نانو وجود دارد که از آن‌ها می‌توان تفسیرهای متعددی ارائه نمود. یکی از این تعاریف به شرح زیر می‌باشد. مهندسی هدفمند مواد در مقیاس کمتر از صد نانومتر برای بدست آوردن ویژگی‌ها و عملکردهای وابسته به اندازه. برای درک بهتر مقیاس نانومتر کافی است بدانیم که اندازه ده اتم هیدروژن در کنار هم حدود یک نانومتر است و عرض یک رشته دی ان ای[1]، حدود دو نانومتر می‌باشد. تعاریف دیگری نیز از فناوری نانو موجود می‌باشد. فناوری نانو به فناوری‌هایی اطلاق می‌شود که به بررسی قطعات و ذرات با ابعاد و اندازه‌های اتمی، مولکولی و سوپر مولکولی می‌پردازند. این ذرات ابعادی بطول تقریبی یک تا صد نانومتر دارند. فناوری نانو به فناوری‌هایی می‌پردازد که بدلیل اندازه بسیار کوچک قطعات مورد کاربرد، بتوانند مواد، ابزار و سیستم‌هایی با خصوصیات و عملکرد جدید بنیادی ایجاد نموده و آنها را بکار گیرند. در تعریفی دیگر می‌توان گفت فناوری نانو، علم کنترل، اندازه‌گیری و دستکاری مواد در ابعاد نانو است به گونه‌ای که بتوان خواص و وظیفه‌مندی آنها را به شکل دلخواه تغییر داد. بدلیل اینکه تعریف اول دربرگیرنده تعاریف دیگر از فناوری نانو نیز می‌باشد، در ادامه به توضیح در مورد هر یک از اجزای آن تعریف می‌پردازیم. الف) مهندسی هدفمند: هدف از گنجاندن این بخش در تعریف فناوری نانو، حذف مواد و ابزارهایی است که ابعاد نانومتری داشته ولی بصورت هدفمند طراحی نشده و بصورت تصادفی ایجاد شده‌اند. بسیاری از مواد با ابعاد نانومتری وجود دارند که برای این منظور طراحی نشده‌اند. فهمیدن اینکه این مواد ابعاد (طول، عرض یا ارتفاع) کمتر از صد نانومتر دارند، دهه‌ها یا قرن‌ها بعد و همزمان با ظهور میکروسکوپ‌های جدید روی داده است. به عنوان مثال، "جام لیکروس" یک ظرف یونانی ساخته شده از شیشه می‌باشد که ۱۶۰۰ سال قبل از میلاد مسیح ساخته شده است و اکنون در موزه انگلستان در لندن نگهداری می‌شود. زمانی که این جام در نور معمولی قرار دارد، سبز دیده می‌شود اما زمانی که نور سفید مستقیماً از آن عبور داده شود، رنگ آن قرمز روشن به نظر می‌آید. این

[1] DNA

خاصیت بدلیل نانو ذرات طلا و نقره‌ای است که به صورت غیر عمدی هنگام پخت این جـام توسـط یونانیان قدیم، درون آن قرار داده شده‌اند. آنها نانو ساختارها را قرن‌ها قبل بکار می‌بردند اما هیچ چیز را بصورت هدفمند مهندسی نمی‌کردند. در حقیقت یافته‌های باستان شناسی مبنی بر عدم موفقیـت در ساخت مجدّد این جام، این فرضیه را تایید می‌کند که ساخت این جام تنها یک اتفاق خوشـایند بـوده است. آنچه بطور روشن در فناوری نانو، جدیـد مـی‌باشـد، مهندسـی هدفمنـد بـرای بدسـت آوردن ویژگی‌های وابسته به اندازه می‌باشد. ب) مقیاس کمتر از صد نانومتر: این حد مرزی بیان شده به هیچ وجه یک قانون غیر قابل تغییر نیست. این مقدار، تنها به عنوان یک تعبیر برای نقطه‌ای است که در آن ویژگی‌های مواد (به شکل وابسته به اندازه) به دلیل اثرات کوانتومی، افزایش بسیار زیـاد در مسـاحت سطحی، یا اثرات دیگری که خودشان را تنها در مقیاس نانو نشان می‌دهند، تغییر می‌یابد. هدف اصلی این بخش از تعریف، حذف میکروسیستم‌ها از این فنـاوری مـی‌باشـد. میکروسیسـتم‌هـا بخـش‌هـای مطلوبی از فناوری نوین را در بر می‌گیرند ولی شامل ابزارهایی هستند که اندازه آنها بزرگتر از مقیاس نانو بوده و به غیر از ویژگی‌هایی که در سیستم‌های بزرگتر دیده می‌شوند، خواص وابسته به اندازه از خود بروز نمی‌دهند. مناسب‌تر است که این سیستم‌ها را به جای منسوب نمودن به کاربردهای فناوری نانو، به صورت بخشی خاص از صنعت نیمه هادی به حساب بیاوریم. ج) ویژگی‌هـا و عملکردهـای وابسته به اندازه: این بخش، اصلی‌ترین قسمت تعریف می‌باشد. کاربردهای فناوری نانو، شامل مواد و ساختارهایی می‌باشند که نه تنها کوچک بوده، بلکه متفاوت نیز هستند. هدف این بخـش از تعریـف، حذف کارهای بسیار جالب مربوط به کوچک‌سازی می‌باشد که منجر به ساختارهای بـا مقیـاس نـانو می‌گردند اما هیچ تغییر وابسته به تغییر اندازه در ویژگی‌های آنها ایجـاد نمـی‌شـود. بـه عنـوان مثـال، تراشه‌های پنتیوم ۴ را که توسط شرکت اینتل از فوریه ۲۰۰۴ به بازار عرضه شده‌اند و دارای سیم‌هایی به قطر تنها ۹۰ نانومترهستند، در نظر بگیرید. این فناوری دو بخش اول تعریف فنـاوری نـانو را دارد زیرا این ساختارها بصورت هدفمند مهندسی شـده و دارای ابعـاد زیـر صـد نـانومتر مـی‌باشـند. امـا ویژگی‌های وابسته به اندازه را از خود بروز نمی‌دهند. این مدارات دقیقاً به همان روش مشـابه تراشـه هایی با ابعاد مشخصه ۱۳۰ و یا ۱۸۰ نانومتر که از قبل مورد استفاده بودنـد، عمـل مـی‌کننـد. آنهـا بـا استفاده از فرایندهای لیتوگرافی نوری خشک که تولید کنندگان نیمه هادی‌ها به مدت بیش از سه دهه

بکار برده‌اند، ساخته شده‌اند. بدون شک یک مهندس با تجربه نیمه هادی‌ها پاسخ خواهد داد که فناوری مورد استفاده در فرایند تولید مدارات ۹۰ نانومتری بسیار متفاوت می‌باشد و مهندسی بسیار پیشرفته‌ای برای رسیدن به این مقیاس مورد نیاز است. اما او احتمالاً در مورد اینکه در این اندازه مرزی، یک گسستگی مشخص در ویژگی‌های فیزیکی، الکتریکی و یا نوری مدارات دیده می‌شود، بحث نخواهد کرد. در ادامه دو مثال از کاربردهای فناوری نانو بیان می‌شود. الف)موی سخت مصنوعی (شرکت نانوسیس[1]): مارمولک‌ها می‌توانند از دیوار بالا بروند، نه به این دلیل که در کف پاهای خود بادکش‌های مکنده و یا مواد چسبناک دارند، بلکه به این دلیل که کف پاهای آنها از صدها هزار موی کوچک با قطر حدود ۱۰ نانومتر پوشانده شده است. این موهای کوچک بدلیل وجود نیروهای واندروالسی (نیروهای جاذبه الکتروستاتیکی ضعیف میان مواد که تنها در مقیاس نانو خود را بروز می‌دهند) به دیوار یا سقف می‌چسبند. جاذبه میان این موها و دیوار است که باعث می شود مارمولک بتواند به دیوار متصل بماند. شرکت مذکور، یک نمونه اولیه برای ارتش ایالات متحده تولید کرده است که در آن نانو سیم‌های سیلیکانی نظم یافته، بر روی سطح دستکشی که توسط یک انسان پوشیده می‌شود، قرار گرفته‌اند و این امکان را ایجاد می‌کنند که فرد بتواند بدون نیاز به کمک، از دیوار بالا برود. ب) حافظه متشکل از نانو لوله‌های کربنی (شرکت نانترو[2]): شرکت نانترو، یک تراشه حافظه ساخته است که از نوعی نانو ماده یعنی نانو لوله کربنی برای ذخیره سازی داده‌ها بهره می‌برد. این حافظه جدید، نسبت به اس رم[3]، دی رم [4]و حافظه‌های فلش معمولی سریعتر بوده، انرژی کمتری مصرف می‌کند، حرارت کمتری تولید می‌کند و در مقابل تشعشعات مقاوم‌تر می‌باشد. این تراشه از شبکه‌ای از نانو لوله‌های کربنی تک دیواره بهره می‌برد که بر روی پایه‌های فلزی قرار گرفته و بالای یک سری الکترودهایی که بصورت عمود با آنها قرار گرفته‌اند، گسترده شده‌اند. زمانی که بار مخالف، در نانو لوله‌هایی که بر روی دو پایه قرار گرفته‌اند و در الکترود زیر آنها جریان می‌یابد، نانو لوله‌ها به سمت الکترود جذب شده و به سمت پایین خم می‌شوند تا در تماس با آن قرار گیرند. این کار منجر به ایجاد یک مقاومت الکتریکی در حوالی نانو لوله می‌شود که نشاندهنده "یک" می‌باشد. اعمال

[1] Nanosys
[2] Nantero
[3] Sram
[4] Dram

جریان موافق در نانو لوله‌ها و الکترودها موجب می‌شود که نانو لوله‌ها دوباره بـه حالـت اولیـه خـود بازگردند که این حالت نشاندهنده "صفر" است. زمانی که نانو لوله‌ها با الکترودها تماس پیدا می‌کنند، بدلیل وجود نیروهای واندروالسی که تنها در مقیاس نانو خود را بروز می‌دهند، در تماس با هم بـاقی می‌مانند که این امر منجر به غیر فرّار بودن حافظه می‌گردد. به همین دلیل، ایـن کـاربرد، یـک کـاربرد فناوری نانو می‌باشد. اگر ساختارهای کربنی با ابعاد میکرومتری (همانند الیاف کربنی) بکار می‌رفـت، نیروهای واندروالسی میان این ساختارها و الکترودها قادر به غلبه بر نیروهای مکانیکی کـه آنهـا را از هم می‌رانند، نبوده و در نتیجه حافظه کار نمی‌کرد. کاربرد فناوری نانو در تمامی زمینه‌ها بـوده و نـانو فناوری‌هایی که امروزه توجه بیشتری را در زمینه الکترونیک به خود معطوف کـرده‌انـد، مـی‌تـوان در چند مورد زیر خلاصه کرد: ۱) اتوماتای سلولی کوانتـومی ۲) منطـق فـاز تـونلی ۳) تونـل‌زنـی تـک الکترونی هر سه مورد فوق بعنوان نامزدهای جایگزینی سی موس[1] مطرح می‌باشند. بیش از نـیم قـرن است که صنعت الکترونیک به سمت سیلیکان معطوف شده است و امروزه به مرحله‌ای رسیده اسـت که از لحاظ تجاری و صنعتی تقریباً کامل شده است. از طرفی نانو الکترونیک، تازه پا به عرصه وجود نهاده است و قرار است در آینده نسل بعدی صنعت الکترونیک مطـرح گـردد. الکترونیـک مولکـولی دانشی است که مبتنی بر نانو بوده و کاربردهای وسیعی در آینده خواهد داشت. در سـال‌هـای اخیـر، اتوماتای سلولی کوانتومی بسیار مورد توجه واقع شده است زیرا طراحی‌هـا و شـبیه‌سـازی‌هـا نشـان می‌دهند که اتوماتای سلولی کوانتومی قابلیت‌های زیادی در مقایسه با سی موس خواهد داشـت ولـی هنوز هم به روشنی معلوم نیست که این فناوری بتواند جایگزین سی موس شود حتی با آنکه بسیاری از مشکلات و موانع سـاخت اتوماتـای سـلولی کوانتـومی بـا گذشـت زمـان در حـال مرتفـع شـدن می‌باشد[۱].

۱–۲ نانو در طبیعت

نانو درحقیقت از ابتدای حیات به اشکال مختلف در طبیعت وجود داشته است از جمله نانوفوتونیک های موجود درپر طاووس و خاصیت خود تمیز شوندگی در گیاه لوتوس را می‌توان نام برد.

[1] CMOS