دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک (حالت جامد)

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

بررسی اثر فشار و دما بر روی حرکت لرزشی الکترون در نانو ساختارهای نیم‌رسانا

زهرا قیصری زردک

استاد راهنما:

دکتر بهروز واثقی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی

اسفند ماه ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم صراط الذين انعمت عليهم غير المغضوب عليهم ولا الضالين

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 اثر فشار و دما بر روی حرکت لرزشی الکترون در نانو ساختارهای نیم‌رسانا

زهرا قیصری زردک

استاد راهنما:

دکتر بهروز واثقی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی

اسفند ماه ۱۳۹۲

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

دانشگاه پیام نور شیراز
باسمه تعالی

تاریخ : ۹۳/۱۲/۰۷
شماره : ۰۵/۱۶۲۷۵
پیوست :

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد **خانم زهرا قیصری زردک** دانشجوی رشته **فیزیک گرایش حالت جامد** به شماره دانشجویی **۹۰۰۰۱۴۵۳۵** با عنوان:

" بررسی اثر فشار و دما بر روی حرکت لرزشی الکترون در نانوساختارهای نیم‌رسانا"

با حضور هیات داوران در روز چهارشنبه مورخ **۱۳۹۲/۱۲/۰۷** ساعت **۱۱** 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 هجده و هفت دهم با درجه عالی تشخیص داد.

ردیف	نام و نام‌خانوادگی	هیأت داوران	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه	امضاء
۱	دکتر بهروز واثقی	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

دانشگاه پیام نور
معاونت 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 **زهرا قیصری زردک** دانشجوی ورودی سال ۱۳۹۰ مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش 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

زهرا قیصری زردک

تاریخ و امضاء

۱۳۹۲ ,۱۲ ,۱۲

اینجانب **زهرا قیصری زردک** دانشجوی ورودی سال ۱۳۹۰ مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش 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

زهرا قیصری زردک

تاریخ و امضاء

۱۳۹۲ ,۱۲ ,۱۲

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

بهمن ماه ۱۳۹۲

تقدیم به:

شانه های پر مهر **پدرم** که بر فرازم برد

به همت والای او که با بزرگواریش تکیه گاهم شد تا ایستادن را بیاموزم که مهرش بی ریا و عشقش ستودنی است، خدایا توانم ده تا قطره ای از دریای بی کران محبتش را سپاس گویم

سلیمان سرزمین بردباری و صفا **مادرم**

سرچشمه ی بی ریای مهربانی، فداکاری و از خودگذشتگی، او که صبر، گذشت، چگونه زندگی کردن و ایستادگی در تنگناهای زندگی را به من آموخت، لحظه لحظه زندگیم ثمره ی ایثار اوست.

ضرب آهنگ قلب های پاک و زلال **برادران و خواهرانم** به پاس همه ی خوبی هایشان

و به

همه ی کسانی که از ابتدا تا به حال تفسیری از «**ن و القلم و ما یسطرون**» بوده اند

سپاسگزاری

خداوند بزرگ را سپاسگزارم که بندگانش را به زیور اندیشیدن آراست.

خداوندا، آنچه داشته‌ام تو داده‌ای و آنچه کرده‌ام تو میسر نموده‌ای، همه‌ی وجود من از اراده‌ی توست پس، مرا از شاکران درگاهت و حقیقت جویان راهت قرارده و یاریم کن در آموختن تا نلغزم و آنچه را که آموخته ام به شایستگی عرضه کنم

همتم بدرقه‌ی راه کن ای طایر قدس که دراز است ره مقصد و من نوسفرم

لازم است تا مراتب سپاس و قدردانی خود را از محضر استاد راهنمایم جناب آقای دکتر بهروز واثقی به عمل آورم که اگر بخشش دریای علم ایشان نبود، بی‌شک به اهداف والای خود را در ارایه این رساله نمی رسیدم. از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر رضا خرداد که داوری این پایان نامه را به عهده داشتند کمال تشکر را دارم. در پایان از خانواده عزیزم که محبت بی دریغ آنان تلاش همیشگی را در وجودم نهادینه و شور زندگی را در آن فروزان کردند، نهایت سپاسگزاری را دارم.

چکیده

بررسی اثر فشار و دما بر روی حرکت لرزشی الکترون در نانوساختارهای نیم‌رسانا

توسط: زهرا قیصری زردک

در سال‌های اخیر بررسی اثر اسپین مربوط به جفت‌شدگی اسپین- مدار در ساختارهای کوانتومی نیم‌رسانا به ویژه نقاط کوانتومی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده است. کنترل اسپین مستلزم این است که اسپین، تمیز پذیر باشد و این بدین معنی است که تبهگنی اسپینی باید از میان برداشته شود. یکی از راه‌های کنترل حالت‌های اسپینی، به کار بردن یک میدان مغناطیسی برای حذف تبهگنی کرامرز است که در نتیجه آن امکان دستکاری حالت‌های اسپینی از طریق جفت‌شدگی اسپین– مدار راشبا و درسل‌هاوس، که به دلیل عدم تقارن انعکاسی فضایی به وجود آمده است، فراهم می‌شود. در سیستم‌های کوانتومی محدود عوامل خارجی همچون میدان‌های الکتریکی، مغناطیسی، فشار، دما و غیره نقش اساسی در تعیین ویژگی‌های فیزیکی نانوساختارها بازی می‌کنند. در این رساله به بررسی اثر فشار و دما بر روی حرکت لرزشی الکترون در نقاط کوانتومی نیم‌رسانا تحت تأثیر جفت‌شدگی اسپین– مدار راشبا و درسل‌هاوس می‌پردازیم و دینامیک مقدار چشم‌داشتی موقعیت الکترون را بر حسب زمان محاسبه می‌کنیم. در این راستا دو سیستم متفاوت که یکی از آن‌ها نقطه‌ی کوانتومی با محدودیت سهموی و تحت تأثیر دما، فشار و میدان مغناطیسی و دیگری یک گاز الکترونی دو بعدی تحت تأثیر دما، فشار و اثر توأم راشبا و درسل‌هاوس می‌باشد بررسی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در نوسانات الکترون یک زنش وجود دارد و فرکانس و دامنه این نوسانات لرزشی به شدت به دما و فشار وابسته می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسپین، نقاط کوانتومی، نانوساختارهای نیم‌رسانا، تبهگنی کرامرز، جفت‌شدگی اسپین- مدار، میدان مغناطیسی، محدودیت کوانتومی، حرکت لرزشی الکترون، دما، فشار.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول مقدمه و تاریخچه	**۱**
۱-۱ مقدمه	۱
۱-۲ نانوفناوری و تاریخچه آن	۲
۱-۲-۱ روش بالا به پایین	۵
۱-۲-۲ روش پایین به بالا	۵
۱-۳ اهمیت مطرح شدن نانوفناوری در جهان	۵
۱-۴ دید کلی درباره‌ی نانوفناوری	۶
۱-۴-۱ نانوفناوری مرطوب	۶
۱-۴-۲ نانوفناوری خشک	۶
۱-۴-۳ نانوفناوری محاسبه ای	۷
۱-۵ کاربردهای نانوفناوری	۷
۱-۵-۱ نانوفناوری در زیست شناسی	۷
۱-۵-۲ نانوفناوری در صنعت الکترونیک	۸
۱-۵-۳ نانوفناوری در پزشکی	۸
۱-۵-۴ نانوفناوری در شیمی	۹
۱-۵-۵ نانوفناوری و دوام پذیری منابع: کشاورزی، آب، انرژی و...	۱۰
۱-۵-۶ نانوفناوری در هوا و فضا	۱۰
۱-۵-۷ نانوفناوری در امنیت ملی	۱۱
۱-۶ تفاوت نانو فناوری با فناوری‌های دیگر	۱۲
فصل دوم نیم‌رساناها و ساختارهای کوانتومی محدود	**۱۵**
۲-۱ مقدمه	۱۵
۲-۲ ساختار بلور	۱۵
۲-۲-۱ شبکه‌های براوه	۱۵
۲-۲-۱-۱ ساختار بلور مکعبی ساده	۱۶
۲-۲-۱-۲ ساختار بلور مکعبی مرکز حجمی	۱۷
۲-۲-۱-۳ ساختار بلور مکعبی مرکز سطحی	۱۸

۲-۲-۱-۴ ساختار بلوری هگزاگونال شش وجهی فشرده ۱۹
۲-۲-۱-۵ ساختار الماسی ۱۹
۲-۲-۱-۶ ساختار کلرید سدیم ۲۰
۲-۲-۱-۷ ساختار سولفید روی ۲۱
۲-۳ خواص بلورها ۲۱
۲-۳-۱ کاربرد ناهمسانگردی ۲۲
۲-۳-۲ خواص نیم‌رسانایی ۲۲
۲-۳-۳ خواص ساختاری ۲۲
۲-۴ دسته بندی مواد جامد از نظر خاصیت رسانندگی ۲۳
۲-۵ نظریه نواری ۲۳
۲-۵-۱ مقایسه اجسام رسانا، نارسانا، نیم‌رسانا با استفاده از ساختار نواری ۲۴
۲-۵-۱-۱ ساختار نواری جسم رسانا ۲۴
۲-۵-۱-۲ ساختار نواری جسم نیم‌رسانا ۲۵
۲-۵-۱-۳ ساختار نواری جسم نارسانا ۲۶
۲-۶ برخی ویژگی‌های نیم‌رساناها ۲۶
۲-۷ انواع نیم‌رساناها ۲۸
۲-۷-۱ نیم‌رساناهای ذاتی ۲۸
۲-۷-۲ نیم‌رساناهای مصنوعی ۲۸
۲-۷-۲-۱ نیم‌رسانای نوع n ۲۹
۲-۷-۲-۲ نیم‌رسانای نوع p ۳۰
۲-۸ نیم‌رسانای ترکیبی ۳۱
۲-۸-۱ ساختار نواری گالیوم آرسناید ۳۲
۲-۹ مروری بر تاریخچه مواد نیم‌رسانا ۳۳
۲-۱۰ نانوساختارها ۳۵
۲-۱۱ ساختارهای کوانتومی ۳۵
۲-۱۱-۱ چاه کوانتومی ۳۵
۲-۱۱-۲ سیم کوانتومی ۳۶
۲-۱۱-۳ نقاط کوانتومی ۳۷
فصل سوم معرفی اسپین الکترون، اثر جفت شدگی اسپین- مدار راشبا و درسل‌هاوس ۴۰

۳-۱ مقدمه ۴۰
۳-۲ تاریخچه و مفهوم اسپین ۴۰
۳-۲-۱ اعداد کوانتومی ۴۱
۳-۲-۱-۱ عدد کوانتومی n ۴۱
۳-۲-۱-۲ اعداد کوانتومی اندازه حرکت زاویه‌ای مداری ۴۲
۳-۲-۱-۳ اعداد کوانتومی مغناطیسی مداری ۴۳
۳-۲-۱-۴ اعداد کوانتومی مغناطیسی اسپینی ۴۴
۳-۳ اسپینترونیک ۴۵
۳-۴ تبهگنی و تقارن ۴۶
۳-۴-۱ عملگر پاریته ۴۶
۳-۴-۲ عملگر انتقال شبکه ۴۷
۳-۴-۳ عملگر برگشت زمانی ۴۷
۳-۵ تبهگنی اسپینی حالت‌های الکترونی ۴۹
۳-۶ جفت شدگی اسپین- مدار ۴۹
۳-۶-۱ معادله‌های چهار مؤلفه‌ای دیراک ۵۰
۳-۶-۲ ماتریس‌های دیراک ۵۱
۳-۶-۳ یافتن فرم کلی هامیلتونی جفت شدگی اسپین- مدار ۵۲
۳-۶-۴ اثبات فیزیکی اثر راشبا ۵۶
۳-۶-۵ اثبات فیزیکی اثر درسل‌هاوس ۵۷
۳-۷ حرکت لرزشی الکترون ۵۸
فصل چهارم حرکت لرزشی الکترون تحت تأثیر فشار، دما وجفت شدگی اسپین- مدار ۶۰
۴-۱ مقدمه ۶۰
۴-۲ هامیلتونی الکترون محصور در نقطه‌ی کوانتومی ۶۰
۴-۲-۱ تقریب جرم مؤثر ۶۱
۴-۲-۲ بررسی تحول زمانی موقعیت الکترون ۶۵
۴-۳ گاز الکترونی دوبعدی تحت تأثیر فشار، دما وجفت شدگی اسپین- مدار راشبا و درسل‌هاوس ۶۸
فصل پنجم بحث و نتیجه‌گیری ۷۴
۵-۱ نتایج ۷۴

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
فصل اول مقدمه و تاریخچه	**۱**
شکل ۱-۱ نمونه‌ای از شیشه های کلیساهای قرون وسطایی	۴
شکل ۱-۲ نمونه‌ای از جام لیکرگوس	۵
شکل ۱-۳ نانوفناوری در زیست شناسی	۷
شکل ۱-۴ نانوفناوری در صنعت الکترونیک	۸
شکل ۱-۵ نانوفناوری در پزشکی و بهداشت	۹
شکل ۱-۶ نانوفناوری در شیمی	۱۰
شکل ۱-۷ نانوفناوری در کشاورزی، آب و غیره	۱۰
شکل ۱-۸ نانو فناوری در هوا و فضا	۱۱
شکل ۱-۹ نانو فناوری در ساخت تسلیحات نظامی...	۱۲
شکل ۱- ۱۰ نانو ذرات	۱۳
شکل ۱-۱۱ نانو کپسول	۱۳
شکل ۱-۱۲ نانولوله‌های کربنی	۱۴
فصل دوم نیم‌رساناها و ساختارهای کوانتومی محدود	۱۵
شکل ۲-۱ نمایش کلی از سلول واحد اولیه پنج شبکه بلوری در دو بعد	۱۶
شکل ۲-۲ ساختار بلوری مکعبی ساده	۱۶
شکل ۲-۳ محاسبات مربوط به ثابت شبکه در ساختار بلوری مکعبی ساده	۱۷
شکل ۲-۴ ساختار بلوری مکعبی مرکز حجمی	۱۷
شکل ۲-۵ محاسبات مربوط به ثابت شبکه در ساختار بلوری مرکز حجمی	۱۸
شکل ۲-۶ ساختار بلوری مکعبی مرکز سطحی	۱۸
شکل ۲-۷ محاسبات مربوط به ثابت شبکه در ساختار بلوری مرکز سطحی	۱۹
شکل ۲-۸ ساختار بلوری هگزاگونال شش وجهی فشرده	۱۹
شکل ۲-۹ سلول واحد در ساختار بلوری الماس	۲۰
شکل ۲-۱۰ دو شبکه بلوری مرکز سطحی در هم فرو رفته	۲۰
شکل ۲-۱۱ ساختار کلرید سدیم	۲۰

شکل ۲-۱۲ ساختار سولفید روی ۲۱
شکل ۲-۱۳ نمایشی از ابعاد مساوی بلورهای متبلور شده در دستگاه مکعبی ۲۲
شکل ۲-۱۴ نمایش میزان استحکام پیوند بین مولولی بلورها ۲۳
شکل ۲-۱۵ ساختار نواری جسم رسانا ۲۵
شکل ۲-۱۶ ساختار نواری جسم نیم‌رسانا ۲۵
شکل ۲-۱۷ ساختار نواری جسم نارسانا ۲۶
شکل ۲-۱۸ ساختار نواری نیم‌رساناهای ذاتی ۲۸
شکل ۲-۱۹ ساختار نواری نیم‌رسانای مصنوعی ۲۹
شکل ۲-۲۰ آلایش سیلیسیوم با آرسنیک ۲۹
شکل ۲-۲۱ ساختار نواری سیلیسیوم آلایش شده با آرسنیک ۳۰
شکل ۲-۲۲ آلایش سیلیسیوم با بور ۳۰
شکل ۲-۲۳ ساختار نواری سیلیسیوم آلایش شده با بور ۳۱
شکل ۲-۲۴ بخشی از جدول تناوبی شامل عناصر نیم‌رسانا ۳۲
شکل ۲-۲۵ ساختار گالیوم آرسناید ۳۳
شکل ۲-۲۶ ساختار چاه کوانتومی ۳۶
شکل ۲-۲۷ چاه کوانتومی و نمایش کوانتیدگی انرژی در راستای رشد چاه ۳۶
شکل ۲-۲۸ نمایش سیم کوانتومی با سطح مقطع مربعی ۳۷
شکل ۲-۲۹ نمایش نقطه کوانتومی ۳۸
فصل سوم معرفی اسپین الکترون، اثر جفت شدگی اسپین- مدار راشبا و درسل‌هاوس ۴۰
شکل ۳-۱ نمایش حرکت مداری و اسپین الکترون ۴۰
شکل ۳-۲ مدل کوانتومی بوهر ۴۱
شکل ۳-۳ نمایش جهش الکترون از تراز پایین به تراز بالاتر ۴۲
شکل ۳-۴ نمایش نقش عدد کوانتومی مغناطیسی مداری ۴۳
شکل ۳-۵ کوانتیدگی ترازهای انرژی بر حسب مقادیر مختلف l ۴۴
فصل چهارم حرکت لرزشی الکترون تحت تأثیر فشار، دما وجفت شدگی اسپین- مدار ۶۰
شکل۴-۱ نمایش پتانسیل محدودیت کوانتومی ۶۱
شکل ۴-۲ تغییرات مقدار چشم داشتی موقعیت الکترون بر حسب زمان در یک نقطه کوانتومی $T=0K$, $P=0Pa$ ۶۶
شکل ۴-۳ تغییرات مقدار چشم داشتی موقعیت الکترون بر حسب زمان در یک نقطه ۶۷

کوانتومی $P=50Pa$, $T=0K$

شکل ۴– ۴ تغییرات مقدار چشم داشتی موقعیت الکترون بر حسب زمان در یک نقطه ۶۷
کوانتومی $P=0Pa$, $T=300K$

شکل ۴– ۵ تغییرات مقدار چشم داشتی موقعیت الکترون بر حسب زمان در یک نقطه ۶۸
کوانتومی $P=200Pa$, $T=300K$

شکل ۴–۶ تغییرات مقدار چشم داشتی موقعیت الکترون بر حسب زمان در یک گاز ۷۱
الکترونی دو بعدی $P=0Pa$, $T=0K$

شکل ۴–۷ تغییرات مقدار چشم داشتی موقعیت الکترون بر حسب زمان در یک گاز ۷۲
الکترونی دو بعدی $P=50Pa$, $T=0K$

شکل ۴– ۸ تغییرات مقدار چشم داشتی موقعیت الکترون بر حسب زمان در یک گاز ۷۲
الکترونی دو بعدی $P=0Pa$, $T=300K$

شکل ۴– ۹ تغییرات مقدار چشم داشتی موقعیت الکترون بر حسب زمان در یک گاز ۷۳
الکترونی دو بعدی $P=200Pa$, $T=300K$

فصل اول
مقدمه و تاریخچه

۱-۱ مقدمه

دیری است که تحولات گسترده در علوم و فناوری، زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده است، به گونه‌ای که ساخت دستگاه‌های الکترونیکی و هزاران نوآوری دیگر در طول تاریخ، تغییرات شگرفی را در نحوه‌ی زندگی انسان‌ها، بوجود آورده است. بسیاری فناوری نانو را نقطه عطف تاریخ علم بشر در اواخر قرن بیستم دانسته‌اند. به طوری که امروزه از نانوفناوری با کاربردهای گسترده آن به عنوان انقلابی یاد می‌شود که منشأ بسیاری از تحولات تکنولوژی آینده، اعم از الکترونیک، پزشکی، صنایع نظامی و فضایی خواهد بود. تحقیقات در زمینه استفاده از اتم‌ها و مولکول‌ها به صورت جداگانه در جایگاه مناسب ساختمانی آن‌ها، سبب کاربردهای فراوان این فناوری شده است. با اعمال پتانسیل‌های محدودکننده بر سیستم‌های کوانتومی کاهش ابعاد این سیستم‌ها میسر خواهد شد که باعث بروز خواص الکترونی و نوری قابل توجهی می‌شود [۴-۱]. در دو دهه اخیر ساختارهای کوانتومی هم به لحاظ نظری و هم به لحاظ تجربی توجه بسیاری را به خود جلب نموده اند[۶-۵]. اسپین الکترون در این ساختارها می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای خواص الکترونی و نوری آن‌ها را تغییر دهد. از جمله برهمکنش‌هایی که اسپین الکترون در این ساختارها به وجود می‌آورد برهمکنش اسپین- مدار[1] می‌باشد. دو نوع برهمکنش مهم اسپین- مدار در فیزیک حالت جامد با عنوان برهمکنش اسپین- مدار راشبا[2] و درسل‌هاوس[3] که اولین بار توسط دانشمندانی با همین عناوین بررسی شده‌اند بسیار حائز اهمیت می‌باشد[۸-۷]. آن‌ها نشان داده‌اند که حرکت الکترون‌ها در حضور یون‌ها و نیز ساختارهای تناوبی همانند الکترون در اتم‌ها با یک میدان الکتریکی غیریکنواخت روبرو شده و در نتیجه روی انرژی و توابع موج این ساختارها تأثیر می‌گذارد. تاکنون تحقیقات زیادی روی این برهمکنش‌ها در ساختارهای متفاوت صورت گرفته و آثار آن‌ها بررسی شده‌اند. از جمله می‌توان به تأثیر این برهمکنش بر خواص الکترونی و نوری نانوساختارها اشاره نمود[۱۱-۹]. علاوه بر این برهمکنش

1-Spin- Orbit Interaction
2-E. I. Rashba
3-G. Dresselhaus

اسپین- مدار، حرکت لرزشی[1] الکترون‌ها (حفره‌ها) در نانو ساختارها که ناشی از اسپین آن‌ها می‌باشد نیز به لحاظ نظری از اهمیت فراوانی برخوردار است. این پدیده اخیراً در نانوساختارها توجه عده‌ای از محققین را به خود جلب نموده است. از جمله جدیدترین تحقیقات در این زمینه می‌توان به این موارد اشاره نمود: کتسنلسن[2] به بررسی این پدیده در گرانش پرداخته است[۱۲]، زولیکه[3] و همکاران به بررسی حرکت لرزشی برای الکترون‌ها و حفره‌ها با اثر راشبا در لایه‌های گرانشی پرداخته‌اند[۱۳]، بررسی حرکت لرزشی اتم‌های سرد شده که دینامیک آنها از معادلات دیراک پیروی می‌کند توسط مرکل[4] و همکاران بررسی شده است. آن‌ها نشان داده‌اند که حرکت لرزشی در مرکز جرم و نیز جمعیت ترازهای اتمی اتفاق می‌افتد[۱۴]. واثقی[5] و همکاران به بررسی تأثیر میدان مغناطیسی روی حرکت لرزشی الکترون در نقاط کوانتومی و سیم‌های کوانتومی پرداخته‌اند. آن‌ها نشان داده‌اند که میدان مغناطیسی تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی دوره‌ی تناوب و دامنه‌ی حرکت جنبشی الکترون‌ها در این ساختارها دارد[۱۵]. اخیراً بیس‌واس[6] و همکاران به بررسی اثر میدان مغناطیسی صفحه‌ای روی حرکت لرزشی الکترون‌ها در چاه و نقاط کوانتومی پرداخته‌اند[۱۶].

۱-۲ نانوفناوری و تاریخچه‌ی آن

علم نانو ایجاد دانش‌های بنیادی برای اعمال کنترل بر ساختار و عملکرد ماده فیزیکی در مقیاس‌های اتمی و مولکولی را هدف خود قرار داده است. مؤسسه‌ی علوم طبیعی در آمریکا، واژه نانوفناوری را چنین توصیف می کند: "تحقیق و توسعه هدفمند علم درباره‌ی مواد با ابعادی در حد اتم، مولکول و ابرمولکول‌ها تقریباً به اندازه یک تا ۱۰۰ نانومتر". از طریق فناوری نانو خواهیم توانست ساختارهای نوینی را که به نانوساختارها موسوم‌اند و دارای خواص و عملکردهای کاملاً نوین می‌باشند به وجود آوریم. با استفاده از این ساختارها می‌توانیم دستگاه‌ها، ادوات و قطعات فوق‌ریزی که در مقیاس‌های طولی و زمانی بسیار تقلیل یافته فعالیت می‌کنند، تولید نماییم. نانوساختارها سنگ بنای فناوری نانو هستند.

1- Zitterbewgung
2- M. Katsnelson
3- U. Zulicke
4-M. Merkl
5-B.Vaseghi
6-T. Biswas

نانوساختارها از نظر اندازه در فاصله بین ساختارهای مولکولی و میکرونی قرار دارند، از تعداد قابل شمارشی از اتم‌ها تشکیل می‌شوند و نسبت سطح به حجم آنها بسیار بالاست. در واقع شکل‌های جدیدی از ماده فیزیکی‌اند که برای خواص آنها به ویژه خواص الکترونی و مغناطیسی آن‌ها باید به مفاهیم بسیار پیشرفته مکانیک کوانتومی دستگاه‌های پس ذره‌ای متوسل شد. خواص مواد به شدت به اندازه اجزاء تشکیل دهنده آن‌ها یا ریزدانه‌های آن‌ها وابسته است. موادی که ریزدانه‌های آن‌ها در مقیاس نانو طراحی می‌شوند از کیفیت‌های نوینی برخوردارند که در مواد معمولی این‌چنین نیستند.

نانو از لغت یونانی نانونس به معنای "کوتوله" گرفته شده است و در اصل اجسام با ابعاد بسیار ریز را مطالعه می‌کند. یک نانومتر یک میلیونیم میلیمتر (برابر با یک میلیاردیم‌متر) است. در موارد خاص اندازه‌ها ممکن است کوچکتر از یک نانومتر یا بزرگتر از صد نانومتر باشد، در نگاه اول به نظر می‌رسد که تمام این برنامه‌ها تا واقعیت فاصله زیادی داشته باشد. شاید بتوان دموکریتوس[1] فیلسوف یونانی را پدر فناوری و علوم نانو دانست چرا که در حدود ۴۰ سال پیش از میلاد مسیح او اولین کسی بود که واژه اتم را که به معنی تقسیم نشدنی در زبان یونانی است برای توصیف ذرات سازنده مواد به کار برد[۱۷]. اریک درکسلر[2] که به عنوان یکی از بنیان‌گذاران نانو تکنولوژی شناخته می‌شود این واژه را در سال ۱۹۸۶ در کتاب ماشین آفرینش[3] مورد استفاده قرار داده است. درکسلر که یکی از محققان انستیتو ماساچوست آمریکا بود آینده‌ای را پیش‌بینی می‌کند که در آن ماشین‌های بسیاربسیار کوچک قادر هستند سلول‌های بیمار را به طور مجزا در جریان خون مداوا کنند، مغزهای مصنوعی را توسعه دهند، آلودگی محیط زیست را از بین ببرند و هر چیزی را از ساختمان‌ها گرفته تا فضا پیماها، به طور کامل اتم به اتم و با دقتی بی‌نظیر مورد آزمایش قرار دهند. درکسلر اولین کسی نبود که رؤیای این انقلاب صنعتی و علمی جدید را در سر داشت. تقریباً سه دهه قبل از آن در سال ۱۹۵۹ ریچارد فاینمن[4] فیزیکدان مشهور سخنرانی معروفی را در انجمن فیزیک آمریکا ارائه داد که در این انجمن سخنان فاینمن با عبارت " در آن‌جا فضای زیادی وجود دارد" شروع شد و بیان کرد که تمام کلماتی که تاکنون در جهان به رشته تحریر درآمده است را می‌توان روی حجمی به اندازه یک دهم میلیمتر جای داد که تقریباً به اندازه‌ی کوچکترین ذره‌ی گرد و غباری است که انسان می‌تواند ببیند و چنین متنی به صورت دیجیتالی ذخیره می‌شود. علم و فناوری نانو (نانو علم و نانو تکنولوژی) توانایی

1- Democritus
2-Eric Drexler
3-Engines Creation
4- Richard Feynman

بدست گرفتن کنترل ماده در ابعاد نانومتری (ملکولی) و بهره‌برداری از خواص و پدیده‌های این بعد در مواد، ابزارها و سیستم‌های نوین است.

نقطه شروع و توسعه‌ی اولیه‌ی فناوری نانو به طور دقیق مشخص نیست. شاید بتوان گفت که اولین کسانی که به نانوفناوری دست یافتند شیشه‌گران قرون وسطایی بوده‌اند که از قالب‌های قدیمی برای شکل دادن شیشه‌هایشان استفاده می‌کرده‌اند. البته این شیشه‌گران نمی‌دانستند که چرا با اضافه کردن طلا به شیشه رنگ آن تغییر می‌کند. در آن زمان برای ساخت شیشه‌های کلیساهای قرون وسطایی از ذرات نانومتری طلا استفاده می‌شده است و با این کار شیشه‌های رنگی بسیار جذابی به دست می‌آمده است. این قبیل شیشه‌ها هم اکنون در بین شیشه‌های بسیار قدیمی یافت می‌شوند. رنگ به وجود آمده در این شیشه‌ها بر پایه‌ی این حقیقت استوار است که مواد با ابعاد نانو دارای همان خواص مواد با ابعاد میکرو نمی‌باشند. در واقع یافتن مثال‌هایی برای استفاده از نانو ذرات فلزی چندان سخت نیست. رنگدانه‌های تزیینی جام مشهور لیکرگوس[1] در روم باستان (قرن چهارم بعد از میلاد) نمونه‌ای از آن‌ها است. این جام هنوز در موزه بریتانیا قرار دارد. چیزی که این جام را بی‌همتا می‌کند این است که بسته به جهت نور تابیده شده به آن رنگ‌های متفاوتی دارد، وقتی که از بیرون به آن نور می‌تابد به رنگ سبز و هنگامی که تابش نور از درون است به رنگ قرمز درمی‌آید. تنوع زیاد رنگ‌های زیبای پنجره‌های کلیسای جامع مربوط به قرون وسطی نیز به سبب وجود نانو ذرات فلز درون آن‌ها است.

شکل۱-۱ نمونه‌ای از شیشه‌های کلیساهای قرون وسطایی

1- Likergus

شکل۱-۲ نمونه‌ای از جام لیکرگوس

در این تکنولوژی می‌توان با اعمال کنترل بر ساختار ماده‌ی فیزیکی در سطوح اتمی یا مولکولی به مواد جدید دست یافت. دخالت در بافت‌های اتمی باعث ایجاد ساختار جدید به دو طریق زیر می شود[۱۸]:

۱-۲-۱ روش بالا به پایین

یک ساختار میکرونی یعنی میلیاردها اتم را کوچک کنیم تا به ساختار نانو برسیم. در این روش یک ماده بزرگ را برمی‌داریم و با کاهش ابعاد و شکل‌دهی آن، به یک محصول با ابعاد نانو می‌رسیم. که این‌کار اغلب و نه همیشه شامل حذف بعضی از مواد به شکل ضایعات است مثل ماشین کاری یک بخش فلزی از یک موتور.

۱-۲-۲ روش پایین به بالا

رویکرد پایین به بالا درست عکس رویکرد بالا به پایین می‌باشد. در این رویکرد، محصول از طریق کنار هم قراردادن مواد ساده‌تر به وجود می‌آید، مانند ساخت یک موتور از قطعات آن. در حقیقت کاری که در این‌جا انجام می‌شود، کنار هم قرار دادن اتم‌ها و مولکول‌ها (که ابعاد کوچکتر از مقیاس نانو دارند) برای ساخت یک محصول نانومتری است. تصور کنید که قادریم اتم‌ها و مولکول‌ها را به طور واقعی ببینیم و آن‌ها را به طور دلخواه کنار هم قرار دهیم تا شکل مورد نظر حاصل شود. معمولاً روش‌های پایین به بالا ضایعاتی ندارند، هر چند الزاماً این مسأله صادق نیست.

۱-۳ اهمیت مطرح شدن نانوفناوری در جهان

وقتی ریچارد فاینمن متخصص کوانتوم نظری و دارنده جایزه نوبل به بررسی بعد رشد نیافته علم پرداخت اظهار داشت اگر دانشمندان فرا گرفته‌اند که چگونه ترانزیستورها و دیگر سازه‌ها را با مقیاس‌های کوچک بسازند پس ما خواهیم توانست آن‌ها را کوچک و کوچک‌تر کنیم. در واقع آن‌ها به مرزهای حقیقی‌شان در لبه‌های نامعلوم کوانتوم نزدیک خواهند شد. به طوری‌که یک اتم را در مقابل دیگری به گونه‌ای قرار دهیم که بتوانیم کوچکترین محصول مصنوعی و ساختگی را ایجاد کنیم. با این نظریه و منطق فاینمن، جهان روندی به سوی کوچک شدن در پیش گرفت.

۱-۴ دید کلی درباره‌ی نانوفناوری

مطالعه در مورد نانو تکنولوژی ما را به سوی موضوعات و مواد مختلفی از قبیل "نانولوله‌ها، شبیه سازی مولکولی، نانو داروها، نانو ذرات، سلول‌های سوختی، کاتالیزروها و غیره " سوق خواهد داد. بنابراین در نگاه اول نانو فناوری رشته‌ای کاملاً گسترده به نظر می‌آید که موضوعات آن ربط چندانی به هم ندارند. به طورکلی مطالعات نانوفناوری را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد گر چه روش‌های تحقیقاتی در هر کدام از شاخه‌ها متفاوت هست ولی پیشرفت در یکی از شاخه‌ها می‌تواند در مطالعه و شناخت شاخه‌های دیگر کاملاً مؤثر باشد. این سه شاخه عبارتند از [۱۹]:

۱-۴-۱ نانوفناوری مرطوب

این شاخه به مطالعه سیستم‌های زنده‌ای می‌پردازد که اساساً در محیط‌های آبی وجود دارند. در این شاخه ساختمان مواد ژنتیکی، غشاءها و سایر ترکیبات سلولی درمقیاس نانومتر مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پژوهشگران موفق شده‌اند ساختارهای زیستی فراوانی تولید کنند که نحوه عملکرد آن‌ها در مقیاس نانویی کنترل می‌شود. این شاخه دربرگیرنده علوم پزشکی، دارویی و به طور کلی علوم و روش‌های مرتبط با زیست فناوری است.

۱-۴-۲ نانوفناوری خشک

این شاخه از علوم پایه شیمی و فیزیک مشتق می شود و به مطالعه تشکیل ساختارهای کربنی، سیلیکون و مواد غیر آلی و فلزی می‌پردازد. نکته قابل توجه این است که الکترون‌های آزاد که در فناوری مرطوب موجب انتقال مواد و انجام واکنش‌ها می‌گردند، در فناوری خشک خصوصیات فیزیکی ماده را پدید می‌آورند.