بسم الله الرحمن الرحيم

رساله‌ی حاضر، حاصل پژوهش‌های نگارنده در دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته-ی فیزیک حالت جامد است که در مهر ماه سال ۱۳۹۰ در دانشکده‌ی علوم پایه دانشگاه یاسوج به راهنمایی جناب آقای دکتر ابراهیم صادقی و مشاوره‌ی جناب آقای دکتر سید فردین تقی‌زاده از آن دفاع شده است و کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی آن متعلق به دانشگاه یاسوج است.

دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک حالت جامد

تأثیر همزمان فشار و میدان لیزر بر انرژی بستگی ناخالصی در نانو ساختارها

استاد راهنما:
دکتر ابراهیم صادقی

استاد مشاور:
دکتر سید فردین تقی‌زاده

پژوهشگر:
سمیه علیرضایی

مهر ماه ۱۳۹۰

دانشگاه یاسوج

تأثیر همزمان فشار و میدان لیزر بر انرژی بستگی ناخالصی در نانو ساختارها

به وسیله‌ی

سمیه علیرضایی

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ

درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

فیزیک

در تاریخ ۱۳۹۰/۰۷/۱۹ توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه‌ی عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما: دکتر ابراهیم صادقی با مرتبه‌ی علمی دانشیار امضا

۲- استاد مشاور: دکتر سید فردین تقی زاده با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۳- استاد داور داخل گروه: دکتر بهروز واثقی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

۴- استاد داور داخل گروه: دکتر ابوالقاسم عوض پور با مرتبه‌ی علمی دانشیار امضا

مدیر گروه: دکتر بهروز واثقی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضا

مهر ماه ۱۳۹۰

تقدیم به اساتید

فرزانه، فرهیخته، فروتن و مهربانم

دکتر بهروز واثقی ، دکتر قاسم رضایی
دکتر ابراهیم صادقی ، دکتر شاکر حاجتی
دکتر سید حسین هندی ، دکتر رضا خرداد
دکتر ابوالقاسم عوض پور ، دکتر نوراله زمانی
دکتر عباس ظریفی ، دکتر سید فردین تقی‌زاده

و

دوستان و همراهان عزیز و مهربانم

سعید عزیزی ، محمد جواد فقیهی
فاطمه عطار و منصوره مالیان

سپاسگزاری

اکنون که این رساله به پایان رسیده است بر خود فرض می‌دانم که از استاد ارجمند جناب آقای دکتر ابراهیم صادقی که هدایت این رساله را به عهده داشتند و با رهنمودهای ارزشمند خود من را در انجام این رساله یاری کردند تشکر نمایم. همچنین بر خود واجب می‌دانم که مراتب سپاسگزاری خویش را از تمامی اساتید بزرگوار بخش فیزیک دانشگاه یاسوج، که افتخار شاگردی ایشان را داشته‌ام، بیان نمایم. از اعضای محترم کمیته‌ی پایان نامه، آقایان دکتر بهروز واثقی، دکتر ابوالقاسم عوض‌پور، و نماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکترسعید صفائیان سپاسگزاری می‌نمایم. از تمامی اعضای محترم هیأت علمی گروه فیزیک دانشگاه یاسوج کمال تشکر را دارم.

نام: سمیه **نام خانوادگی: علیرضایی**
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته و گرایش: فیزیک حالت جامد**
استاد راهنما: دکتر ابراهیم صادقی **تاریخ دفاع: ۱۳۹۰/۰۷/۱۹**

تأثیر همزمان فشار و میدان لیزر بر انرژی بستگی ناخالصی در نانو ساختارها

در این پایان‌نامه نخست به معرفی نانو ساختارها پرداخته و آنگاه ویژگی‌های فیزیکی برخی از آنها بررسی شده است. ترازهای انرژی الکترون در نقطه‌ی کوانتومی مکعبی تحت تأثیر میدان الکتریکی خارجی محاسبه شده و بر حسب شار ترسیم شده است. قطبش پذیری بر حسب زاویه اعمال میدان خارجی نیز محاسبه و بازاء ابعاد مختلف نقطه‌ی کوانتومی ترسیم گردیده است.
با استفاده از تغییر متغیر مناسب تأثیر میدان با قطبش بیضوی بر خواص خطی و غیر خطی ضریب جذب اپتیکی در نقطه‌ی کوانتومی بیضوی بررسی شده است.
پتانسیل تعدیل یافته تحت تأثیر میدان لیزری معرفی و ساختار سیم کوانتومی تحت این میدان بررسی گردیده است. تأثیر همزمان فشار و دما و پتانسیل تعدیل یافته کولنی بر انرژی بستگی ناخالصی واقع در سیم کوانتومی بررسی شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: فناوری نانو

۱-۱ نانو، دنیای درون..... ۱
۱-۲ مقدمه نانو فناوری ۱
۱-۳ فناوری نانو از آغاز تا کنون..... ۱
۱-۴ نانو متر..... ۳
۱-۵ دلیل اهمیت مقیاس نانو..... ۳
۱-۶ جای پای نانو فناوری در علوم ۴
۱-۷ دورنمایی از ماده..... ۵
۱-۸ شاخه‌های اصلی در نانو..... ۶
۱-۹ روش‌های ساخت در فناوری نانو ۶

۱-۱۰ تفاوت فناوری نانو با فناوری دیگر ۶

۱-۱۰-۱ عناصر پایه..... ۷
۱-۱۰-۲ دسته بندی نانو مواد..... ۷
۱-۱۰-۲-۱ نانو لایه‌ها..... ۷
۱-۱۰-۲-۲ نانو پوشش‌ها..... ۷
۱-۱۰-۲-۳ نانو خوشه‌ها..... ۸
۱-۱۰-۲-۴ نانو سیم‌ها..... ۸
۱-۱۰-۲-۵ نانو لوله‌ها..... ۹
۱-۱۰-۲-۶ نانو حفره‌ها..... ۹
۱-۱۰-۲-۷ نانو ذرات..... ۹
۱-۱۱ تجهیزات نانویی..... ۹
۱-۱۱-۱ میکروسکوپ الکترونی عبوری..... ۹
۱-۱۱-۲ میکروسکوپی نوری میدان نزدیک روبشی..... ۱۰
۱-۱۱-۳ پراکندگی بازگشتی رادرفورد..... ۱۰
۱-۱۱-۴ طیف نگاری الکترونی برای آنالیز شیمیایی..... ۱۰
۱-۱۱-۵ طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز..... ۱۰
۱-۱۱-۶ میکروسکوپ روبشی تونلی..... ۱۱

۱-۱۱-۷ باریکه یونی متمرکز ۱۱
۱-۱۱-۸ میکروسکوپ نیروی اتمی ۱۱
۱-۱۱-۹ تشدید مغناطیس هسته ۱۲
۱-۱۱-۱۰ کروماتوگرافی گازی ۱۲
۱-۱۱-۱۱ طیف سنجی رامان ۱۲
۱-۱۱-۱۲ کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا ۱۲
۱-۱۱-۱۳ پراش اشعهX ۱۳
۱-۱۱-۱۴ میکروسکوپ الکترونی روبشی محیطی ۱۳
۱-۱۱-۱۵ اسپکتروسکوپی الکترون اوژه ۱۳
۱-۱۱-۱۶ میکروسکوپ الکترونی روبشی ۱۳
۱-۱۲ مروری اجمالی بر فصل‌های آینده ۱۴

فصل دوم: نیم‌رساناها و سیستم‌های کوانتومی محدود

۲-۱ مقدمه ۱۵
۲-۲ جامدات به دو دسته تقسیم می‌شود ۱۵
۲-۳ بلور شناسی ۱۵
۲-۳-۱ نگاه اجمالی ۱۵
۲-۳-۲ سیر تحولی و رشد ۱۶
۲-۳-۳ بلور شناسی نوین ۱۶
۲-۴ انواع ساختار بلوری ۱۶
۲-۴-۱ بلور مکعبی مرکز سطحی (fcc) ۱۶
۲-۴-۲ بلور مکعبی مرکز حجمی (bcc) ۱۷
۲-۴-۳ بلور کلرید سدیمNacl ۱۷
۲-۴-۴ ساختار الماسی ۱۸
۲-۴-۵ ساختار مکعبی سولفید روی (ZnS) ۱۸
۲-۵ ساختار نواری جامدات ۱۹
۲-۶ نیم‌رسانا ۲۰
۲-۶-۱ برخی از ویژگی‌های نیم‌رسانا ۲۰
۲-۷ گالیم آرسنایید ۲۰
۲-۷-۱ گالیم ۲۰
۲-۷-۲ آرسنیک ۲۱
۲-۷-۳ گالیم آرسنایید ۲۱
۲-۷-۴ ساختار نواری گالیم آرسنایید ۲۱
۲-۷-۵ کاربردهای GaAs ۲۲
۲-۸ سیستم‌های کوانتومی محدود ۲۳
۲-۸-۱ تاریخچه ۲۳
۲-۸-۲ چاه کوانتومی ۲۴
۲-۸-۳ نانو سیم‌ها (سیم‌های کوانتومی) ۲۵

۲-۸-۳-۱ محاسبه‌ی ویژه مقادیر و ویژه توابع سیم کوانتومی مستطیلی با عمق نامحدود.....۲۶
۲-۸-۳-۲ محاسبه ویژه مقادیر و ویژه توابع سیم کوانتومی مستطیلی با عمق محدود.....۲۸
۲-۸-۴ نقطه کوانتومی.....۲۹
۲-۸-۴-۱ کاربردها.....۲۹
۲-۸-۴-**۲** رفتار نوری نقاط کوانتومی.....۳۰

فصل سوم: محاسبه‌ی خواص الکترونی و اپتیکی بعضی نانو ساختارها

۳-۱ مقدمه ۳۱
۳-۲ روش وردشی.....۳۱
۳-۳ توابع ایری.....۳۳
۳-۳-۱ تعریف.....۳۳
۳-۳-۲ ارتباط توابع ایری با توابع بسل.....۳۴
۳-۴ تأثیر میدان الکتریکی خارجی بر نقطه کوانتومی.....۳۵
۳-۴-۱ مقدمه.....۳۵
۳-۴-۲ محاسبه ترازهای انرژی الکترون در حضور میدان خارجی.....۳۵
۳-۴-۳ بحث و نتیجه گیری.....۳۸
۳-۵ تأثیر میدان لیزر پلاریزه بیضوی بر خواص اپتیکی نقطه کوانتومی ۳۹
۳-۵-۱ نقطه کوانتومی بیضوی در حضور میدان لیزری با قطبش بیضوی.....۴۰
۳-۵-۲ محاسبه‌ی خواص اپتیکی نقطه کوانتومی تحت تأثیر میدان لیزری با قطبش بیضوی.....۴۶

فصل چهارم: محاسبه خواص الکترونی سیم کوانتومی

۴-۱ تأثیر همزمان فشار و میدان لیزر بر انرژی بستگی ناخالصی در سیم کوانتومی.....۵۱
۴-۱-۱ تئوری.....۵۱
۴-۲ انرژی بستگی در حضور فشار.....۶۰
۴-۳ انرژی بستگی در حضور دما.....۶۰
۴-۴ محاسبه‌ی انرژی بستگی ناخالصی واقع در سیم کوانتومی گالیم آرسناید.....۶۱

فصل پنجم: نتیجه گیری، بحث و پیشنهادات

۵-۱ نتایج.....۶۹
۵-۲ پیشنهادات.....۷۱
مراجع

فهرست نگاره‌ها

عنوان **صفحه**

فصل اول: فناوری نانو

نگاره‌ی (۱-۱) تصویر گرفته شده از سطح نمونه مس در IBM ۱۱

فصل دوم: نیم رساناها و سیستم‌های کوانتومی محدود

نگاره‌ی (۲-۱) شبکه‌ی مکعبی مرکز سطحی ۱۷

نگاره‌ی (۲-۲) شبکه‌ی مکعبی مرکز حجمی ۱۷

نگاره‌ی (۲-۳) بلور کلرید سدیم ۱۸

نگاره‌ی (۲-۴) ساختار بلور الماس ۱۸

نگاره‌ی (۲-۵) ساختار سولفید روی ۱۹

نگاره‌ی (۲-۶) ساختار نواری گالیم آرسناید ۲۱

نگاره‌ی (۲-۷) ساختار بلوری گالیوم آرسناید ۲۲

نگاره‌ی (۲-۸) چاه کوانتومی $Al_xGa_{1-x}As/GaAs$ ۲۴

نگاره‌ی (۲-۹) سیم کوانتومی با سطح مقطع مربعی ۲۵

نگاره‌ی (۲-۱۰) سیم کوانتومی مستطیلی با عمق نامحدود ۲۶

نگاره‌ی (۲-۱۱) سیم کوانتومی مستطیلی با عمق محدود ۲۸

نگاره‌ی (۲-۱۲) نمایش نقطه‌ی کوانتومی ۲۹

فصل سوم: محاسبه‌ی خواص الکترونی و اپتیکی بعضی نانو ساختارها

نگاره‌ی (۳-۱) تابع Ai (خطوط پیوسته) و مشتق آن (خطوط نقطه‌چین)..... ۳۴

نگاره‌ی (۳-۲). تابع Bi (خطوط پیوسته) و مشتق آن (خطوط نقطه‌چین)..... ۳۴

نگاره‌ی (۳-۳) تغییرات انرژی بر حسب شار میدان الکتریکی..... ۳۸

نگاره‌ی (۳-۴) تغییرات قطبش بر حسب زاویه‌ی قطبی..... ۳۹

نگاره‌ی(۳-۵): تغییرات ضریب جذب خطی، غیر خطی و کل بر حسب انرژی فوتون تابشی و پارامترهای بیضوی مختلف..... ۴۷

نگاره‌ی(۳-۶): تغییرات ضریب جذب خطی، غیر خطی و کل بر حسب انرژی فوتون تابشی و انرژی‌های نوسانگر مختلف..... ۴۷

نگاره‌ی(۳-۷): تغییرات ضریب جذب خطی، غیر خطی و کل بر حسب انرژی فوتون تابشی در شدت فوتون‌های تابشی مختلف..... ۴۸

نگاره‌ی(۳-۸): تغییرات نسبی ضریب شکست کل بر حسب انرژی فوتون تابشی در پارامترهای بیضوی مختلف.....۴۹
نگاره‌ی(۳-۹): تغییرات نسبی ضریب شکست کل بر حسب انرژی فوتون تابشی در شدت فوتون‌های تابشی مختلف.....۴۹
نگاره‌ی(۳-۱۰): تغییرات نسبی ضریب شکست کل بر حسب انرژی فوتون تابشی در انرژی‌های نوسانگر مختلف.....۵۰

فصل چهارم: محاسبه خواص الکترونی سیم کوانتومی

نگاره‌ی (۴-۱) شکل پتانسیل تحدید در راستای محور x.....۵۳
نگاره‌ی (۴-۲) شکل پتانسیل تحدید در راستای محور z ۵۵
نگاره‌ی (۴-۳) شکل پتانسیل تحدید در راستای محور z ۵۷
نگاره‌ی (۴-۴) تغییرات انرژی بستگی برحسب پارامتر لیزر بازاء میدان‌های الکتریکی مختلف.....۶۲
نگاره‌ی (۴-۵): تغییرات انرژی بستگی برحسب پارامتر لیزر در حضور دما (منحنی پر) و بدون حضور دما (منحنی نقطه چین) بازاء میدان‌های الکتریکی مختلف در $T = 100K$ ۶۲
نگاره‌ی (۴-۶) تغییرات انرژی بستگی برحسب پارامتر لیزر در حضور دما (منحنی پر) و بدون حضور دما (منحنی نقطه چین) بازاء میدان‌های الکتریکی مختلف در $T = 200K$ ۶۳
نگاره‌ی (۴-۷) تغییرات انرژی بستگی برحسب پارامتر لیزر در حضور فشار (منحنی پر) و بدون حضور فشار (منحنی نقطه چین) بازاء میدان‌های الکتریکی مختلف در $P = 20(kbar)$ ۶۳
نگاره‌ی (۴-۸) تغییرات انرژی بستگی برحسب پارامتر لیزر در حضور فشار (منحنی پر) و بدون حضور فشار (منحنی نقطه چین) بازاء میدان‌های الکتریکی مختلف در $P = 40(kbar)$ ۶۴
نگاره‌ی (۴-۹) تغیرات انرژی بستگی بر حسب دامنه‌ی میدان لیزر در فشارهای مختلف و در غیاب میدان الکتریکی خارجی.....۶۴
نگاره‌ی (۴-۱۰) تغیرات انرژی بستگی بر حسب دامنه‌ی میدان لیزر در فشارهای مختلف و $F = 30(kV/cm)$ ۶۵
نگاره‌ی (۴-۱۱) تغیرات انرژی بستگی بر حسب دامنه‌ی میدان لیزر در فشارهای مختلف و $F = 50(kV/cm)$ ۶۵
نگاره‌ی (۴-۱۲) تغیرات انرژی بستگی بر حسب دامنه‌ی میدان لیزر در فشارهای مختلف و $F = -30(kV/cm)$ ۶۶
نگاره‌ی (۴-۱۳) تغیرات انرژی بستگی بر حسب دامنه‌ی میدان لیزر در فشارهای مختلف و $F = -50(kV/cm)$ ۶۶
نگاره‌ی (۴-۱۴) تغییرات انرژی بستگی بر حسب دامنه‌ی میدان لیزر در دماهای مختلف و در غیاب میدان الکتریکی خارجی.....۶۷

نگاره‌ی (۴-۱۵) تغییرات انرژی بستگی بر حسب دامنه‌ی میدان لیزر در دماهای مختلف و $F = 50(kV/cm)$ ۶۸
نگاره‌ی (۴-۱۶) تغییرات انرژی بستگی بر حسب دامنه‌ی میدان لیزر در دماهای مختلف و $F = -50(kV/cm)$ ۶۸

فصل اول
فناوری نانو

۱-۱ نانو، دنیای درون

دنیایی را تصور کنید که در آن مسئولیت محافظت از بدن انسان‌ها بر عهده‌ی پزشکان میکروسکوپی است، دنیایی که در آن پردازنده‌های رایانه‌ای به کوچکی ذرات غبار روی میز شماست، دنیایی که در آن توده‌ای از کاوشگرهای فضایی مینیاتوری داده‌ها را به جاهای خیلی دور ارسال کنند. بسیاری از خواسته های دور از باور بشر امروز، در آینده به کمک نانو فناوری به وسایل ساده تبدیل خواهد شد. اما سؤال این است که واقعاً نانو به چه معناست و دلیل پدیدار شدن این فناوری چیست؟

۱-۲ مقدمه نانو فناوری

در دنیا انقلاب‌های زیادی رخ داده است که عبارتند از: ۱) انقلاب کشاورزی، ۲) انقلاب صنعتی، ۳) انقلاب نیمه هادی‌ها (کامپیوترها) و ۴) انقلاب نانو فناوری.

نانو فناوری به نام ریز ساز مطرح بوده است. کار نانو فناوری در محیط اتمی صورت می‌گیرد و بیشتر از دو شیوه استفاده می‌شود:

۱) جابجایی و حرکت مولکولی (مکانیک مولکولی)

۲) همانند سازی

۱-۳ فناوری نانو از آغاز تاکنون

علم نانو و علوم مرتبط با آن جدید نیستند چرا که صدها سال است که شیمیدانان از تکنیک‌های علم نانو در کار خود استفاده می‌کنند و بی‌شباهت به تکنیک‌های امروزی نانو نیست. پنجره‌های رنگارنگ کلیسا های قرون وسطی، شمشیرهای یافت شده در حفاری‌های سرزمین‌های مسلمان همگی گویای این مطلب هستند که بشر مدت‌هاست که از برخی شگردهای این فناوری در بهینه کردن فرایندها و ساخت با کیفیت تر اشیاء بهره می‌برده است اما تنها به دلیل پیشرفت کم فناوری و نبود امکانات امروزی مانند میکروسکوپ نیروی اتمی، میکروسکوپ تونلی پیمایشی و غیره نتوانسته حوزه مشخصی برای این فناوری تعیین کند.

امروزه علم تا حد دسترسی به اندازه‌هایی زیر محدوده میکرو متر پیشرفت کرده است. در این راستا روش‌ها و تکنیک‌های دستیابی به محدوده‌های نانو متری، نانو فناوری نامیده می‌شود. در واقع نانو فناوری ایجاد و بهره برداری از مواد، قطعات و سیستم‌ها در مقیاس‌های بسیار ریز و در حد نانو متری یعنی همان مقیاس‌ها و اندازه‌های اتمی و مولکولی است، تحقیق و توسعه هدفمند برای درک و دستکاری و اندازه گیری‌های مورد نیاز در سطح موادی با ابعاد در حد اتم، مولکول و سوپر ملکول‌هاست. نانو فناوری یک علم و در عین حال یک مهندسی پیشرفته در مقیاس مولکول‌ها و اتم‌هاست، دانش تغییر دادن مواد و استفاده از آن‌ها برای ساخت وسایل و تجهیزاتی که کوچک‌تر از آن‌ها را نمی‌توان بوجود آورد.

علم نانو فناوری از مهم‌ترین شاخه‌های دانش معرفی شده و از آن‌جا که دامنه کاربرد این دانش بسیار گسترده و فراگیر شده است، می‌توان قرن بیست و یکم را در زمینه دانش، به قرن نانو فناوری نامگذاری کرد. در قرن گذشته تصور می‌شد که فقط بین سیارات و ستارگان فضاهای خالی زیادی وجود دارد ولی در قرن گذشته ثابت شده است که در دنیای کوچک ذرات ماده یعنی اتم‌ها نیز این پدیده یعنی فضاهای خالی وجود دارد به عبارتی می‌توان گفت که مابین اتم‌های یک ماده فضای خالی زیادی وجود دارد ولی این فضاها در حد تقریباً یک نانو متر یا به عبارتی یک میلیاردم متر است.

نانو فناوری، فناوری جدیدی است که تمام دنیا را فرا گرفته است و به تعبیر دقیق‌تر "نانو فناوری بخشی از آینده نیست بلکه همه آینده است" فناوری نانو یا نانو فناوری رشته‌ای از دانش کاربردی و فناوری است که جستارهای گسترده‌ای را پوشش می‌دهد. موضوع اصلی آن نیز مهار ماده با دستگاه‌های در ابعاد کمتر از یک میکرو متر، معمولاً حدود ۱ تا ۱۰۰ نانو متر است. در واقع نانو فناوری فهم و به کارگیری خواص جدیدی از مواد و سیستم‌هایی در این ابعاد است که اثرات فیزیکی جدیدی - عمدتاً متأثر از غلبه خواص کوانتومی بر خواص کلاسیک - از خود نشان می‌دهند. نانو فناوری یک دانش به شدت میان رشته‌ای است و به رشته‌هایی چون فیزیک کاربردی، مهندسی مواد، ابزارهای نیم‌رسانا، شیمی ابر مولکول و حتی مهندسی مکانیک، مهندسی برق و مهندسی شیمی نیز مربوط می‌شود. نانو فناوری می‌تواند به عنوان ادامه دانش کنونی به ابعاد نانو یا طرح ریزی دانش کنونی بر پایه‌هایی جدیدتر و امروزی‌تر باشد.

نانو فناوری ساخت مواد، قطعات و سامانه‌های مفید در مقیاس طولی نانو متر و بهره برداری از خصوصیات و پدیده‌های جدید حاصل از آن مقیاس است. به عبارت دیگر نانو فناوری یک فناوری نو ظهور شامل کلیه فعالیت‌ها با توانایی کنترل در تک اتم‌ها و مولکول‌ها برای ساخت مواد و وسایل با خواص مطلوب است.

تاکنون تعاریف فراوانی برای نانو فناوری ارایه شده است که به نظر می‌رسد تعریف برنامه ملی پیشگامی نانو فناوری در آمریکا یکی از بهترین آن‌ها باشد:

"توسعه‌ی تحقیقات و فناوری در سطوح اتمی، مولکولی و ماکرو مولکولی با طول تقریبی ۱ تا ۱۰۰ نانو متر، برای فراهم آوردن شناخت اصولی از پدیده‌ها و مواد در مقیاس نانو با هدف ایجاد و استفاده از ساختارها، قطعات و سامانه‌هایی که به خاطر اندازه‌ی کوچک و یا متوسط خود خواص کاربردی جدید دارند."

پیشرفت علم و فناوری وتولید ابزارهای دقیق سنجشی نظیر میکروسکوپ نیروی اتمی و میکروسکوپ تونل زنی پیمایشی به پژوهش و نوآوری در عرصه‌ی نانو شتاب قابل ملاحظه‌ای بخشید.

برای نانو فناوری کاربردهایی را در حوزه‌های مختلف از غذا، دارو، تشخیص پزشکی و بیو تکنولوژی تا الکترونیک، کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، انرژی، محیط زیست، مواد، هوا فضا و امنیت ملی بر شمرده-اند. کاربردهای وسیع این عرصه به همراه پیامدهای اجتماعی، سیاسی و حقوقی آن، این فناوری را به عنوان یک زمینه فرا رشته‌ای و فرا بخش مطرح نموده است.

گفته می‌شود که یک نانو متر یک نقطه‌ی سحر آمیز در طول و اندازه است و آن به این علت است که کوچک‌ترین دست ساخته‌های بشر در این مقیاس از لحاظ اندازه با اتم‌ها و مولکول‌های طبیعت مطابقت می‌کنند. به راستی علاقه به نانو فناوری شامل تمام زمینه‌های علوم و مهندسی می‌شود و کم کم عموم مردم در مورد این گفته‌ی ریچارد اسمایلی، شیمیدان برنده جایزه نوبل، آگاهی می‌یابند که گفته بود: " فقط صبر کنید ... قرن آینده باور کردنی نخواهد بود. ما قادر خواهیم شد چیزهایی بسازیم که در کوچک-ترین سایز ممکن و اتم به اتم کار کنند. این ابزارهای کوچک و نانو مقیاس، صنعت و زندگی ما را تحت انقلابی جدید قرار می‌دهند." در گزارشات اخیر[۱] NSF این گزارش مطرح شده که علم و فناوری نانو تغییرات در زندگی انسان را آغاز کرده و در قرن آینده هر شیء ساخته شده توسط انسان را تغییر خواهد داد.

۱-۴ نانو متر

مواد نانو به موادی گفته می‌شود که حداقل یکی از ابعاد آن (طول.عرض.ضخامت) زیر ۱۰۰ نانو متر باشد. کلمه نانو از لغت یونانی دوآرف به معنی کوچک گرفته شده است. یک نانو متر یک میلیاردیم متر است. برای آن که تصوری از این ابعاد داشته باشید می‌توانید فرض کنید ۱۰ اتم هیدروژن پشت سر هم به خط شده‌اند. طول این قطار هیدروژنی، ۱ نانو متر است. برای سنجش طول پیوندهای کربن-کربن، یا فاصله میان دو اتم، بازه ۱۲ تا ۱۵ نانو متر به کار می‌رود. همچنین طول یک جفت DNA نزدیک به ۲ نانو متر است. از سوی دیگر کوچک‌ترین باکتری سلول دار ۲۰۰ نانو متر است. اگر بخواهیم برای دریافتن مفهوم اندازه یک نانو متر نسبت به متر سنجشی انجام دهیم می‌توانیم اندازه آن را مانند اندازه یک تیله به کره زمین بدانیم.

۱-۵ دلیل اهمیت مقیاس نانو

دلایل زیادی برای اهمیت نانو ابعاد وجود دارد، که بعضی از آن‌ها به شرح زیر است:

۱) خصوصیات مواد در اندازه‌های نانو متری دچار تغییراتی می‌شود و با طراحی مواد نانو متری تغییر در خصوصیات ماکروسکوپیک و میکروسکوپیک ماده مانند رنگ، خواص مغناطیسی، دمای ذوب و ... بدون تغییر ترکیبات شیمیایی آن ممکن می‌شود.

۲) از جمله خصوصیت مواد بیولوژیکی و زنده، سازماندهی منظم آن‌ها در ابعاد نانو متری است و توسعه در زمینه نانو فناوری به ما اجازه خواهد داد که چیزهای نانو ابعادی ساخت بشر را در داخل سلول‌های زنده

---

[۱] *National Science Foundation*

قرار دهیم. همچنین این کار باعث خواهد شد که با استفاده از خود چینی طبیعت بتوانیم مواد جدیدی بسازیم. مطمئناً این کار باعث ایجاد ترکیبات بیولوژی با علم مواد خواهد شد.

۳) ترکیبات نانو متری دارای نسبت سطح به حجم بسیار زیادی هستند (حجم کمی دارند اما سطح زیادی را پوشش می‌دهند) و لذا استفاده از آن‌ها در مواد کامپوزیتی دارو رسانی در بدن و ذخیره انرژی به شکل شیمیایی (مانند گاز طبیعی و هیدروژن) بسیار ایده آل خواهد بود.

۴) سیستم‌های ماکروسکوپیک ساخته شده از نانو ساختارها می‌توانند چگالی بسیار بیشتری نسبت به مواد ساخته شده از میکرو ساختارها داشته باشند و همچنین هدایت الکتریکی بهتری دارند. با استفاده از برهمکنش نانو ساختارها مفاهیم جدیدی در ابزارهای الکترونیکی، مانند مدارهای کوچک‌تر و سریع‌تر، کارایی بسیار پیشرفته‌تر و مصرف برق بسیار کم‌تر پدید می‌آید.

رفتارهای جدیدی که در مقیاس نانو مشاهده می‌گردند، لزوماً براساس رفتارهای مشاهده شده در ابعاد بزرگ‌تر قابل پیش بینی نیستند. تغییرات مهم رفتاری عمدتاً ناشی از اثرات کوانتومی کاهش ابعاد به‌علت نزدیکی و قابل مقایسه بودن اندازه ذرات یا ریز ساختارها با مقیاس طولی میانگین پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی رخ می‌دهد.

خصوصیات موجی شکل (مکانیک کوانتومی) الکترون‌ها در درون مواد و اندرکنش‌های اتمی از تغییرات مواد در مقیاس نانو متری تأثیر می‌پذیرند. با ایجاد ساختارهای نانو متری، کنترل خصوصیات مهم مواد مانند دمای ذوب، رفتار مغناطیسی و حتی رنگ آن‌ها، بدون تغییر ترکیب شیمیایی‌شان، ممکن خواهد بود. به کار گیری این توانمندی باعث ایجاد محصولات و فناوری‌های جدید با کارایی بسیار بالا خواهد شد که قبلاً ممکن نبوده است.

۱-۶ جای پای نانو فناوری در علوم

هنگامی که درباره نانو فناوری شروع به جستجو و مطالعه کنید، به موضوعات و مواد مختلفی بر می-خورید مانند: "نانو لوله‌ها، شبیه سازی مولکولی، نانو داروها، سلول‌های سوختی، کاتالیزورها، نانو ذرات و ..."، بنابراین ممکن است نانو فناوری رشته‌ای کاملاً گسترده به نظر آید که موضوعات آن ربط چندانی به هم ندارند. بطور کلی مطالعات نانو فناوری را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد. اگر چه روش‌های تحقیقاتی در آن‌ها با یکدیگر متفاوت است، اما این سه شاخه کاملاً به یکدیگر مرتبط هستند و پیشرفت در یکی از شاخه‌ها می‌تواند در شاخه‌های دیگر نیز کاملاً مؤثر باشد. این سه شاخه عبارتند از[۱]:

۱) نانو فناوری مرطوب

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

۲) نانو فناوری خشک

این شاخه از علوم پایه شیمی و فیزیک مشتق می‌شود 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. در نانو فناوری خشک کاربرد مواد نانویی در الکترونیک، مغناطیس و ابزارهای نوری مورد مطالعه قرار می‌گیرد. برای مثال طراحی و ساختن میکروسکوپ‌هایی که بتوان با استفاده از آن‌ها مواد را در ابعاد نانو متر دید.

۳) نانو فناوری محاسبه‌ای

در بسیاری از مواقع ابزار آزمایشگاهی موجود برای انجام برخی از آزمایش‌ها در مقیاس نانو متر مناسب نیستند و یا آن‌که انجام این آزمایش‌ها بسیار گران تمام می‌شود. در این حالت از رایانه‌ها برای شبیه سازی فرآیندها و واکنش‌های اتم‌ها و مولکول‌ها استفاده می‌شود. شناختی که بوسیله محاسبه بدست می‌آید، باعث می‌شود که زمان پیشرفت نانو فناوری خشک به چند دهه کاهش یابد و البته تأثیر مهمی در نانو فناوری مرطوب نیز خواهد داشت.

از آنجا که فناوری نانو نقطه تلاقی اصول مهندسی، فیزیک، زیست شناسی، پزشکی و شیمی است و به عنوان ابزاری برای کاربرد این علوم و غنی سازی آن‌ها در جهت ساخت عناصر کاملاً جدید عمل می‌کند. فناوری نانو منجر به انقلاب فناوری در هزاره جدید خواهد شد و کاربردهای الکترونیک، اطلاعات، زیست فناوری، صنایع هوا فضا، محیط زیست و پزشکی و تمام بخش‌های اقتصادی نیز به طور عمده با فناوری نانو در ارتباط می‌باشند. تحقیق و توسعه در فناوری نانو برای تغییر در روش طراحی، تحلیل و ساخت بسیاری از تولیدات مهندسی لازم است.

۱-۷ دورنمایی از ماده

بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی ماده تحت تأثیر اندازه سیستم است. یعنی بسیاری از این ویژگی‌ها با کوچک شدن اندازه‌ی سیستم تغییر می‌کند. مکانیک آماری و نیز کوانتوم مکانیک این تغییرات را پیش بینی و توصیف می‌کنند.

اثرهای کوانتومی با گذار از ابعاد متر به میکرو متر مشاهده نمی‌شوند. اما وقتی به ابعاد نانو متر برسیم قوانین حاکم بر رفتار سیستم کمابیش کوانتومی خواهد بود. به علاوه شمار زیادی از ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی، نوری و... در مقایسه با همین ویژگی‌ها در اندازه‌های ماکروسکوپی (درشت مقیاس) تغییر خواهد کرد. ضمن آن‌که در ابعاد نانو ویژگی‌های خاص ذرات، دریچه‌ای به سوی تعامل با زیست مواد[۲] می‌گشاید.

همان طور که در بالا اشاره شد مواد در ابعاد نانو نسبت به ابعاد ماکروسکوپی ویژگی‌های متفاوتی از خود به نمایش می‌گذارند. به عنوان نمونه:

۱) ماده کدر شفاف می‌شود (مس)

---

[۲] *biomaterial*

۲) ماده ساکن متحرک می‌شود (پلاتینیم)
۳) جامد در دمای اتاق به مایع تبدیل می‌شود (طلا)
۴) نارسانا، رسانا می‌شود (سیلیکون)

بسیاری از ویژگی‌های جذاب و فریبنده نانو فناوری از همین پدیده‌های رویه‌ای و کوانتومی منحصر به فردی ناشی می‌شود که مواد در ابعاد نانو از خود به نمایش می‌گذارند[۲].

۱-۸ شاخه‌های اصلی در نانو

می‌توان موارد زیر را شاخه‌های بنیادین دانش نانو فناوری دانست[۳]:

- **نانو روکش‌ها**
- **نانو مواد** «نانو پودرها، نانو لوله‌ها (نانو تیوب‌ها)، نانو کامپوزیت‌ها»
- **مهندسی مولکولی** «موتورهای مولکولی (نانو ماشین‌ها)»
- **نانو الکترونیک**
- **نانو سیم‌ها** «نانو سیم‌های DNA»
- **نانو حسگرها** «نانو ترانزیستورها»

۱-۹ روش‌های ساخت در فناوری نانو

اصولاً در فناوری نانو دو روش برای ساخت محصولات نانویی وجود دارد:

الف) روش پایین به بالا

منظور از پایین به بالا، چینش اتم به اتم، مولکول به مولکول از یک ماده کنار هم بطور دلخواه جهت ایجاد و ساخت مواد جدید نانو متری است. در این روش که خود شامل شیوه‌های مختلف تولید است، مواد جدید با چینش اتمی خاص و منحصر بفرد می‌توانند ساخته شوند.

ب) روش بالا به پایین

در این روش برای رسیدن به نانو مواد، باید ذرات و ترکیبات بزرگ‌تر ماده را با استفاده از روش‌های متداول مانند خرد کردن در چند مرحله به مواد در مقیاس نانو متری تبدیل کنیم.

دانشمندان برای ساخت انبوه محصولات نانویی به دنبال یافتن روش‌هایی هستند که بتوانند بصورت خود به خودی یا خود تکثیری، خود چینی و غیره مواد نانو متری را تولید کنند. خود چینی عبارتست از جذب اتم‌ها و مولکول‌های مواد بطور هوشمندانه توسط خود آن‌ها و بصورت خود به خودی به منظور ایجاد ساختار به هم پیوسته و منظم[۳].

۱-۱۰ تفاوت فناوری نانو با فناوری‌های دیگر

در فناوری نانو 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 در برابر خوردگی و ... تغییر می‌یابد. در

واقع اگر بخواهیم تفاوت این فناوری را با فناوری‌های دیگر بیان نماییم، می‌توانیم وجود "عناصر پایه" را به عنوان یک معیار ذکر کنیم. عناصر پایه در حقیقت همان عناصر نانو مقیاسی هستند که خواص آن‌ها در حالت نانو مقیاس با خواص‌شان در مقیاس بزرگ‌تر فرق می‌کند.

۱-۱۰-۱ عناصر پایه

۱) نانو ذرات

اولین و مهم‌ترین عنصر پایه، نانو ذره است. منظور از نانو ذره، ذراتی با ابعادی در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانو متر و در هر سه بعد می‌باشد. نانو ذرات می‌توانند از مواد مختلفی تشکیل شوند، مانند نانو ذرات فلزی، سرامیکی و ...

۲) نانو لوله‌های کربنی

این عنصر پایه در سال ۱۹۹۱ توسط دانشمندان ژاپنی کشف شد و در حقیقت لوله‌هایی از جنس گرافیت می‌باشند. این نانو لوله‌ها 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 قابل توجهی از آن‌ها می‌شوند.

۳) نانو کپسول‌ها

سومین عنصر پایه، نانو کپسول است. همان طور که از اسم آن مشخص است، کپسول‌هایی هستند که قطر نانو متری دارند و می‌توان مواد مورد نظر را درون آن‌ها قرار داد و کپسوله کرد[۴].

۱-۱۰-۲ دسته بندی نانو مواد

مواد در مقیاس نانو به دسته‌های زیر قابل تقسیم می‌باشند[۵]:

۱-۱۰-۲-۱ نانو لایه‌ها

در دنیای کنونی تغییرات سطحی به یک فرایند مهم و اساسی تبدیل شده است. در این مورد روش‌هایی شامل ایجاد لایه‌های نازک یا پوشش‌ها بر روی سطوح، افزایش کارآیی و محافظت سطوح را به دنبال دارد. رسوب یک لایه نازک (نانو لایه) برای پوشش دهی در اکثر صنایع جایگاه مهمی یافته است. نانو لایه‌ها دارای یک ساختار نانو ذره‌ای می‌باشند که این ساختار یا از توزیع نانو ذرات در لایه ایجاد می‌شود و یا به وسیله یک فرایند کنترل شده، یک نانو ساختار در حین رسوب ایجاد می‌شود. فیلم‌های نانویی لایه نازک، که بر روی سطح یک زیر پایه نشانده می‌شوند کاربردهای عمدتاً الکترونیکی دارند. همانند زیر لایه‌ها، خازن‌ها، قطعات حافظه، آشکار سازهای مادون قرمز و راهنماهای موجی.

۱-۱۰-۲-۲ نانو پوشش‌ها

پوشش‌ها دارای کاربردهای متنوعی از صنایع اتومبیل گرفته تا صنایع لوازم خانگی هستند. این پوشش‌ها سطوحی را که در معرض آسیب‌های محیطی مانند باران، برف، نمک‌ها، رسوب‌های اسیدی،