١١٠٧٩

۸۷/۱/۱۰۷۷۱۶
۸۸/۱۷۲۴

دانشگاه یاسوج

دانشکده علوم

گروه فیزیک

# پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش حالت جامد

## تأثیر میدان های الکتریکی فضایی و مغناطیسی بر انرژی بستگی ناخالصی و خودقطبیده‌گی در سیم کوانتومی مربعی

**استاد راهنما:**

دکتر ابراهیم صادقی

**استاد مشاور:**

دکتر ابوالقاسم عوض پور

**پژوهشگر:**

سولماز موسوی

مهر ماه ۱۳۸۷

۱۱۰۱۷۹

**صورت جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد**

**پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی فیزیک گرایش جامد خانم سولماز موسوی**

**با عنوان**

# تأثیر میدان های الکتریکی فضایی و مغناطیسی بر انرژی بستگی ناخالصی و خودقطبیده گی در سیم کوانتومی مربعی

در تاریخ ۸۷/۰۷/۲۹ توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه ....عالی.... به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر ابراهیم صادقی با مرتبه ی علمی استادیار امضا

۲- استاد مشاور پایان نامه دکتر ابوالقاسم عوض پور با مرتبه ی علمی استادیار امضا

۳- استاد داور داخل گروه دکتر قاسم رضایی با مرتبه ی علمی استادیار امضا

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر محمود براتی خواجویی با مرتبه ی علمی استاد امضا

امضای مدیر گروه

۱۳۸۱/۱/۲۱

## تقدیم به پدر و مادرم

برای مادرم که مهرش در دلم گرامی و مقدس است

به پدرم که مهرش بنایی شد برای تلاش پرشورم در کسب دانش

و همه آنان که مرا علم آموختند

سپاس و ثنا یکتا خالقی را که در عظمت، یگانه و در پاکی بی‌همتاست و بر بنده منت نهاد و توفیقم داد تا در مسیر علم و تجربه قرار گیرم.

سپاس و فروتنی به پیشگاه تمامی اساتید که در طول تحصیل چراغ راهم بودند به ویژه جناب آقای دکتر ابراهیم صادقی استاد ارجمندم که در طول دوران کارشناسی ارشد راهنمایی‌هایشان همواره راهگشایم بود. از جناب آقای دکتر ابوالقاسم عوض‌پور مشاور پایان‌نامه، جناب آقای دکتر قاسم رضایی داور پایان‌نامه، جناب آقای دکتر سعید عطارد نماینده محترم تحصیلات تکمیلی سپاس گزاری می‌نمایم.

بدین وسیله از زحمات استاد فرزانه جناب آقای دکتر محمود براتی خواجویی که باعث غنای علمی پایان‌نامه گردیدند، قدردانی می‌نمایم. همچنین از مدیریت محترم گروه فیزیک جناب آقای دکتر بهروز واثقی و هیات علمی گروه فیزیک که در طی دوره کارشناسی ارشد از محضرشان بهره بردم سپاسگزاری می‌نمایم.

در پایان صمیمانه‌ترین سپاس خویش را نسبت به پدر، مادر، خواهر و برادرانم که در همه حال با صبر و بردباری پشتیبان و مشوقم بودند ابراز می‌دارم که هر چه دارم از حمایت‌های وصف‌ناپذیر و بی‌دریغ ایشان است.

## چکیده

تأثیر میدان‌های الکتریکی فضایی و مغناطیسی بر انرژی بستگی ناخالصی و خود قطبیده‌گی در سیم کوانتومی مربعی

توسط

سولماز موسوی

در این پایان نامه با استفاده از تقریب جرم مؤثر و روش وردشی انرژی حالت پایه، انرژی بستگی ناخالصی و خودقطبیده‌گی در سیم‌های کوانتومی با سطح مقطع مستطیلی محاسبه می‌گردد. در این تقریب ضمن ارائه شکل خاصی برای تابع موج، ارتفاع سد پتانسیل نیز محدود در نظر گرفته شده است.

انرژی بستگی وخود قطبیده‌گی برای ناخالصی موجود در مکان‌های مختلف درون سیم کوانتومی *GaAs/AlAs* بر حسب چگالی انرژی و زاویه اعمال میدان الکتریکی محاسبه شده است. نتایج بدست آمده با سایر روش‌ها مقایسه شده است.

# فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| **فصل اوّل : کلیّات** | |
| ۱-۱- مقدمه | (۱) |
| ۱-۲- تعریف نانو تکنولوژی | (۲) |
| ۱-۳- پیشینه‌ی تاریخی نانو تکنولوژی | (۲) |
| ۱-٤- تعریف نانومتر | (۲) |
| ۱-٥- اهمیت مقیاس طول نانو | (۲) |
| ۱-٦- تفاوت فناوری نانو با فناوری‌های دیگر | (۳) |
| ۱-۷- کاربردهای فنانوری نانو | (٤) |
| ۱-۷-۱- مواد وساخت | (٤) |
| ۱-۷-۲- امنیت ملی | (٤) |
| ۱-۷-۳- پزشکی و بهداشت | (٤) |
| ۱-۷-٤- بیوتکنولوژی وکشاورزی | (٤) |
| ۱-۷-٥- نانو الکترونیک وتکنولوژی کامپیوتر | (٥) |
| ۱-۷-٦- انرژی | (٥) |
| ۱-۷-۷- محیط زیست | (٥) |
| ۱-۸- نانو ذرات | (٥) |
| ۱-۸-۱- متداولترین نانو ذرات | (٥) |
| ۱-۸-۱-۱- نانو ذرات سرامیکی | (٥) |
| ۱-۸-۱-۲- نانو ذرات فلزی | (٦) |
| ۱-۸-۱-۳- نانو ذرات نیمرسانا | (۷) |
| ۱-۹- نانو سیم | (۸) |
| ۱-۹-۱- انواع نانوسیم‌ها | (۸) |

## فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| ۱-۹-۱-۱- نانو سیم‌های فلزی | (۸) |
| ۱-۹-۱-۲- نانو سیم‌های آلی | (۸) |
| ۱-۹-۱-۳- نانو سیم‌های نیمه هادی | (۸) |
| ۱-۹-۲- روش‌های ساخت نانوسیم‌ها | (۹) |
| ۱-۹-۳- کاربردهای نانوسیم‌ها | (۹) |
| ۱-۱۰- انرژی بستگی ناخالصی و خودقطبیده‌گی در نانو سیم‌ها | (۱۰) |
| ۱-۱۱- معرفی فصل‌های بعد | (۱۱) |
| **فصل دوّم : ساختارهای کوانتومی محدود** | |
| ۲-۱- مقدمه | (۱۲) |
| ۲-۲- مواد نیمرسانا | (۱۳) |
| ۲-۳- ساختار بلوری نیمرساناها | (۱٤) |
| ۲-٤- بردارهای انتقال شبکه | (۱٤) |
| ۲-۵- معرفی نظریه‌ی رسانش | (۱۵) |
| ۲-۵-۱- لزوم استفاده از نظریه‌ی نواری رسانش | (۱۵) |
| ۲-۵-۲- نظریه‌ی نواری رسانش | (۱۵) |
| ۲-٦- حامل‌های جریان در نیمرساناها | (۱٦) |
| ۲-۷- ساختار سولفید روی | (۱۷) |
| ۲-۷-۱- ساختار مکعبی سولفید روی | (۱۷) |
| ۲-۷-۲- ساختار شش گوشی روی سولفید | (۱۷) |
| ۲-۸- گالیوم آرسناید - $GaAs$ | (۱۸) |
| ۲-۹- تقریب جرم مؤثر | (۲۱) |

## فهرست مطالب

**عنوان** صفحه


۲-۱۰- نیمرساناهای شبه دوبعدی (۲۳)

۲-۱۰-۱- چاه‌های کوانتومی (۲۳)

۲-۱۰-۲- حالت‌های الکترونی سدهای پتانسیل نامتناهی (۲٤)

۲-۱۰-۳- حالت‌های الکترونی سدهای پتانسیل متناهی (۲۹)

۲-۱۰-٤- چگالی حالت‌ها در دو بعد (۳٤)

۲-۱۰-۵- ساختار چاه‌های کوانتومی چند گانه $GaAs - AlGaAs$ (۳۷)

۲-۱۰-٦- چاه‌های پتانسیل کوانتومی نوع $I$ و نوع $II$ (۳۹)

۲-۱۰-۷- ابرشبکه‌های نیمرسانا و نوارهای کوچک (٤۱)

۲-۱۱- نیمرساناهای شبه یک بعدی وصفر بعدی (٤۳)

۲-۱۱-۱- سیم‌های کوانتومی (٤۳)

۲-۱۱-۲- حالت‌های الکترونی در سیم‌های کوانتومی با ارتفاع سد پتانسیل نامحدود (٤٤)

۲-۱۱-۳- حالت‌های الکترونی در سیم‌های کوانتومی با ارتفاع سد پتانسیل محدود (٤٦)

۲-۱۱-٤- تفاوت حالت‌های محدود و نامحدود (٤۷)

۲-۱۱-۵- چگالی حالت‌ها در سیم‌های کوانتومی (٤۷)

۲-۱۱-٦- نقاط کوانتومی (۵۰)

۲-۱۱-۷- چگالی حالت‌ها در نیمرساناهای صفر بعدی (۵۰)

**فصل سوم : بررسی تأثیر ناخالصی‌ها در ویژگی‌های فیزیکی**

۳-۱- مقدمه (۵۲)

۳-۲- حالت‌های ناخالصی (۵۳)

۳-۲-۱- اتم‌های دهنده (۵۳)

۳-۲-۲- اتم‌های پذیرنده (۵۵)

## فهرست مطالب

**عنوان** صفحه


۳-۳- تحرّک در حضور ناخالصی‌ها (٥٦)

۳-٤- روش‌های عددی (٥٧)

۳-٥- روش وردشی (٥٨)

۳-٥-۱- مفهوم وردش (٥٨)

۳-٥-۱-۱- یک متغیر وابسته و یک متغیر مستقل (٥٨)

۳-٥-۱-۲- چند متغیر وابسته (٦٠)

۳-٥-۱-۳- چند متغیر مستقل (٦١)

۳-٥-۱-٤- بیش از یک متغیر وابسته ، بیش از یک متغیر مستقل (٦١)

۳-٥-۲- محاسبه‌ی انرژی بستگی حالت پایه‌ی چاه کوانتومی نامتناهی (٦٢)

۳-٥-۳- محاسبه‌ی انرژی کل حالت پایه‌ی چاه کوانتومی (٦٤)

**فصل ٤ : محاسبه‌ی انرژی بستگی ناخالصی و خودقطبیده‌گی در سیم‌های کوانتومی مربعی شکل**

٤-۱- محاسبه‌ی انرژی بستگی ناخالصی وخودقطبیده گی در سیم کوانتومی مربعی (٦٦)

٤-۱-۱- محاسبه‌ی انرژی بستگی ناخالصی برای زاویه‌ی $\theta = ۰^{\circ}$ (٦٩)

٤-۱-۲- محاسبه‌ی انرژی بستگی ناخالصی برای زاویه‌ی $\theta = ۳۰^{\circ}$ (٧٥)

٤-۱-۳- محاسبه‌ی انرژی بستگی ناخالصی برای زاویه‌ی $\theta = ۴۵^{\circ}$ (٨١)

٤-۱-٤- محاسبه‌ی انرژی بستگی ناخالصی بر حسب زاویه‌ی اعمال میدان الکتریکی (٨٧)

٤-۱-٥- محاسبه‌ی خودقطبیده‌گی بر حسب چگالی انرژی کل به ازای زاویه‌ی $\theta = ۰^{\circ}$ (٨٩)

٤-۱-٦- محاسبه‌ی خودقطبیده‌گی بر حسب انرژی بستگی به ازای زاویه‌ی $\theta = ۰^{\circ}$ (٩١)

٤-۱-۷- محاسبه‌ی خودقطبیده‌گی بر حسب زاویه (٩٢)

**فصل٥ : نتیجه گیری** (٩٤)

**مراجع** (٩٦)

## فهرست نگاره‌ها

**عنوان** صفحه


نگاره ۲-۱- سه یاخته‌ی واحد بلور مکعبی (۱٤)
نگاره۲-۲- نمایش طرح نوارهای انرژی (۱٥)
نگاره۲-۳- تصاویر پیوند های اساسی سیلیسیوم طبیعی (۱٦)
نگاره ۲-٤- ساختار بلوری سولفید روی مکعبی (۱۷)
نگاره ۲-٥- الف) شبکه‌ی سولفوید روی. ب) شبکه‌ی الماسی (۱۸)
نگاره ۲-٦- ساختار نواری $GaAs$ (۱۹)
نگاره ۲-۷- گسترش ساختار $GaAs$ در نزدیکی $k=0$ ، شامل جفت شدگی اسپین- مدار (۱۹)
نگاره ۲-۸- شکافتگی تراز انرژی اتمی برای یک ترکیب دوتایی مانند $GaAs$ (۲۰)
نگاره ۲-۹- طیف جذبی $GaAs$ (۲۱)
نگاره ۲-۱۰- نمایش نوارها با جرم‌های مؤثرمختلف (۲۲)
نگاره ۲-۱۱- نمایش الف)یک چاه کوانتومی منفرد ب) یک چاه کوانتومی چندتای (۲۳)
نگاره ۲-۱۲- ساختار نواری در فضای حقیقی (۲٤)
نگاره ۲-۱۳- طرحواره‌ی یک چاه پتانسیل عمیق نامتناهی (۲٥)
نگاره ۲-۱٤- انرژی های ذره منفرد در یک چاه پتانسیل نامتناهی برای الکترون‌ها وحفره‌ها (۲۹)
نگاره ۲-۱٥- یک چاه پتانسیل مربعی با پهنای $L_z$ وعمق $V_0$ (۳۰)
نگاره ۲-۱٦- حل ترسیمی معادله‌ی(۲-٥۰) (۳۲)
نگاره ۲-۱۷- حل ترسیمی معادله‌ی(۲-٥۳) (۳۳)
نگاره ۲-۱۸- توابع موج وانرژی‌های حالت های زوج وفرد برای یک ذره منفرد (۳٤)
نگاره ۲-۱۹- نوارهای سهمی وار دو بعدی در جهت $k_\perp$ (۳٦)
نگاره ۲-۲۰- چگالی حالت‌های مشترک کل دردوبعد و در سه بعد (۳۷)
نگاره ۲-۲۱- طرحواره‌ای از ساختار نواری در نزدیکی $k=0$ برای گالیوم آرسنایدکپّه‌ای (۳۸)

## فهرست نگاره‌ها

**عنوان** صفحه


نگاره ۲-۲۲- نمایش طرحواره‌ی چاه کوانتومی نیمرسانای نوع اول و دو نمونه از نوع دوم (۳۹)

نگاره ۲-۲۳- نمایش طرحواره‌ای یک ساختار مرکب از دو چاه پتانسیل جفت شده (٤١)

نگاره ۲-۲٤- نمایش طرحواره‌ای نوارهای ظرفیت یک ابر شبکه (٤٢)

نگاره ۲-۲۵- نوارهای انرژی وگاف های انرژی ابرشبکه (٤٣)

نگاره ۲-۲٦- طرحی از سیم کوانتومی با مقطع مربعی (٤٤)

نگاره ۲-۲۷- طرحی از پتانسیل نا محدود در سیم کوانتومی (٤٤)

نگاره ۲-۲۸- طرح یک سیم کوانتومی که پتانسیل احاطه کننده آن محدود باشد (٤٦)

نگاره ۲-۲۹- چگالی حالت‌های مشترک در یک بعد ودوبعد و سه‌بعد (۵۰)

نگاره ۲-۳۰- نمایش طرحواره‌ی چگالی حالت‌های صفر- بعدی (۵۱)

نگاره ۳-۱- تصاویر طرحی پیوند برای الف)$Si$ نوع $n$ - وب)$Si$ نوع $p$ (۵۳)

نگاره ۳-۲- تراز دهنده در یک نیمرسانا (۵٤)

نگاره ۳-۳- تراز پذیرنده در یک نیمرسانا (۵۵)

نگاره ۳-٤- یک مسیر وردش یافته (۵۸)

نگاره ٤-۱- انرژی بستگی بر حسب چگالی انرژی در یک سیم کوانتومی به ازای زاویه‌ی $\theta = ۰^\circ$ (٦۹)

نگاره ٤-۲- انرژی بستگی بر حسب چگالی انرژی درسیم کوانتومی به ازای زاویه‌ی $\theta = ۳۰^\circ$ (۷۵)

نگاره ٤-۳- انرژی بستگی بر حسب چگالی انرژی در سیم کوانتومی به ازای زاویه‌ی $\theta = ۴۵^\circ$ (۸۱)

نگاره ٤-٤- انرژی بستگی بر حسب زاویه به ازای مکان ناخالصی $x_i = y_i = \frac{L}{۸}$ (۸۷)

نگاره ٤-۵- انرژی بستگی بر حسب زاویه به ازای مکان ناخالصی $x_i = y_i = \frac{L}{۴}$ (۸۸)

نگاره ٤-٦- خودقطبیده‌گی بر حسب چگالی انرژی کل به ازای زاویه‌ی $\theta = ۰^\circ$ (۸۹)

## فهرست نگاره‌ها

**عنوان** صفحه


نگاره ٤-٧- خودقطبیده گی بر حسب انرژی بستگی به ازای مکان ناخالصی $x_i = y_i = \frac{L}{8}$ (۹۱)

نگاره ٤-٨- خودقطبیده گی بر حسب زاویه به ازای مکان ناخالصی $x_i = y_i = \frac{L}{8}$ (۹۲)

نگاره ٤-٩- خودقطبیده گی بر حسب زاویه به ازای مکان ناخالصی $x_i = y_i = -\frac{L}{8}$ (۹۳)

# فهرست جداول

**عنوان** صفحه


جدول ۲-۱- قسمتی از جدول تناوبی مربوط به نیمرساناها (۱۳)

جدول ۳-۱- انرژی‌های یونی اتم‌های دهنده و پذیرنده در $Ge$ و $Si$ (۵۶)

جدول ۳-۲- انرژی کل برای یک الکترون در چاه کوانتومی $CdTe/Cd_{0.9}Mn_{0.1}Te$ (۶۵)

جدول ٤-۱- انرژی بستگی ناخالصی برای ناخالصی به موقعیت $x_i = y_i = 0$ (۷۰)

جدول ٤-۲- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = \frac{L}{8}$ (۷۱)

جدول ٤-۳- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = \frac{L}{4}$ (۷۲)

جدول ٤-٤- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = -\frac{L}{8}$ (۷۳)

جدول ٤-۵- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = -\frac{L}{4}$ (۷٤)

جدول ٤-٦- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = 0$ (۷٦)

جدول ٤-۷- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = \frac{L}{8}$ (۷۷)

جدول ٤-۸- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = \frac{L}{4}$ (۷۸)

جدول ٤-۹- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = -\frac{L}{8}$ (۷۹)

جدول ٤-۱۰- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = -\frac{L}{4}$ (۸۰)

جدول ٤-۱۱- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = 0$ (۸۲)

جدول ٤-۱۲- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = \frac{L}{8}$ (۸۳)

جدول ٤-۱۳- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = \frac{L}{4}$ (۸٤)

# فهرست جداول

**عنوان** صفحه


جدول ٤-١٤- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = -\frac{L}{8}$ (٨٥)

جدول ٤-١٥- انرژی بستگی ناخالصی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = -\frac{L}{4}$ (٨٦)

جدول ٤-١٦- خودقطبیده گی برای موقعیت ناخالصی $x_i = y_i = \frac{L}{8}$ (٩٠)

# فصل اوّل
# کلیّات

## ۱-۱-مقدمه

از دیر باز تحولات گسترده در علوم و فناوری، زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده و دگرگون ساخته است. ساخت دستگاه‌های الکترونیک و هزاران نوآوری دیگر در طول تاریخ، تغییرات شگرفی در نحوه زندگی انسانها به وجود آورده، اما هیچ گاه انسان چشم اندازی از این تحولات نداشته و این همه دگرگونی برای او متصوّر نبوده است. امروزه از نانوتکنولوژی با کاربردهای گسترده آن به عنوان انقلابی یاد می شود که منشأ بسیاری از تحولات تکنولوژی آینده خواهد بود.

انقلاب صنعتی پرقدرتی که انتظار می رود برای هر فردی بر روی کره زمین، سرمایه، سلامتی و آگاهی به دور از هر گونه آلودگی به ارمغان بیاورد، این قولی است که بینش نانوتکنولوژی به بشریت می دهد. در مسیر حرکت تولیدات جهانی، گرایش فزاینده ای به علوم ریزسازی و نانوتکنولوژی روی داده است واین یکی از پیشرفت‌های بزرگ آینده تکنولوژی است. یکی از وجوه تمایز نانوتکنولوژی از تکنولوژی‌های دیگر این است که نانوتکنولوژی، منحصر به هیچ رشته خاصی نبوده و رشته جدیدی نیست، بلکه رویکردی جدید به تمام رشته‌ها است و گستره ای به پهنای تمام علوم دارد. نانوتکنولوژی مبحث جدیدی نیست و از سال‌ها پیش در زندگی بشر

وجود داشته است، ولی قرن حاضر زمانی است که بشر توانسته آن را بهتر بشناسد و با رویکردی جدید، بیشتر از گذشته، آن را تحت کنترل خود در آورد.

## ۱-۲- تعریف نانوتکنولوژی

نانوتکنولوژی تولید کارآمد مواد و دستگاه‌ها و سیستم‌ها با کنترل ماده در مقیاس طولی نانومتر، بهره برداری از خواص و پدیده های نوظهوری است که در مقیاس نانو توسعه یافته‌اند.

## ۱-۳- پیشینه‌ی تاریخی نانوتکنولوژی

نوریوتانیگوچی در سال ۱۹۷٤ برای اولین بار اصطلاح فناوری را معرفی کرد و اریک دکسلر[۱] در بحث برانگیزترین کتاب خود به نام «موتورهای خلقت: ظهور عصر فناوری نانو» این اصطلاح را عمومیت بخشید. در این کتاب، آینده تحقیق و توسعه فناوری نانو به تصویر کشیده شده است و تمرکز اصلی آن روی یکی از جنبه های فناوری نانو به نام آرایش مولکولی است- به صورت تئوری آرایش مولکولی می تواند امکان تولید محصولات را از طریق آرایش پایین به بالا به صورت اتم به اتم فراهم آورد. این نظر بسط نگاه ریچارد فایمن[۲] در سخنرانی معروف وی در سال ۱۹۵۹ در مؤسسه فناوری کالیفرنیاست. فاینمن رویایی دید که در آن میلیاردها شی که وی آنها را«کارخانه‌های کوچک »می نامید در حال-ساختن نسخه های از خودشان با رفتاری دقیقاً مشابه بودند. وی در سخنرانی معروف خود تحت عنوان «آن پایین فضای بسیاری است » به بررسی بعد رشد نیافته‌ای از علم پرداخت که اساس و نظام عمل و اندیشه جهان را لرزاند و با ارائه دورنمایی از اکتشافات جدید و هیجان انگیز از امکان ساخت مواد و دستگاه‌ها در مقیاس اتمی و مولکولی سخن گفت و مخاطبان خویش را به وجد آورد. وی خاطرنشان کرد که تحقق این امر مستلزم ظهور دسته جدیدی از ابزارهای مینیاتوری برای دست‌کاری و سنجش ویژگی‌های این ساختارهای ریز یا نانویی است[۱].

## ۱-٤- تعریف نانومتر

یک نانو متر یک میلیاردم متر، یعنی $m^{-9}$ ۱۰ است این مقداردر حدود چهار برابر قطر یک اتم است. مکعبی با ابعاد ۲/۵ نانومتر ممکن است حدود ۱۰۰۰ اتم را شامل شود. در مقایسه یک جسم نانومتری با اندازه‌ای حدود ۱۰ نانومتر، هزار برابر کوچکتر از قطر یک تار موی انسان است و علوم نانو، علمی است که در این محدوده از طول مواد بحث می‌کند.

## ۱-۵- اهمیت مقیاس نانو

از جمله آثار جالب و مهم نانومتری که باعث شده مقیاس نانو تا این اندازه حائز اهمیت و مورد علاقه قرار گیرد، می توان به موارد زیر اشاره نمود.

۱- تعامل‌های الکترونی و اتمی در داخل ماده متأثر از تغییراتی است که در مقیاس نانو انجام می‌شود.

---

۱- *K.Eric Drixler*

۲- *Richard.D.Feynman*

طراحی الگومند ماده در مقیاس نانو، کنترل ویژگی‌های بنیادی ماده همچون خاصیت مغناطیسی، ظرفیت ماده و فعالیت کاتالیزوری را بی‌آنکه نیازی به تغییر در ترکیب شیمیایی آن باشد ممکن می‌سازد.

۲- از آنجا که سازمان پذیری نظام‌مند ماده در مقیاس نانو، یکی از ویژگی‌های کلیدی سیستم‌های بیولوژیک به شمار می رود، به کمک علوم و مهندسی نانو می‌توانیم اجزاء مصنوعی را در درون سلول جاسازی کرده و به تقلید از شیوه های خودآرایی طبیعت، مواد نوینی با ساختارهای سازمان یافته بسازیم. اینگونه مواد و اجزاء به مراتب زیست‌سازگارتر خواهند بود.

۳- اجزای نانومتری، مساحت بیرونی بسیار بزرگتری به ازای واحد حجم دارند. چون بسیاری از تعامل‌های مهّم شیمیایی و فیزیکی از طریق سطوح بیرونی صورت می گیرد، یک نانوساختار می‌تواند خواص واقعاً متفاوتی نسبت به ماده‌ای بزرگتر با همان ترکیب داشته باشد.

٤- بسیاری از مواد نانوساختاری به دلیل اثرات فصل مشترکی مطمئن وکوچکی اندازه، استحکام بیشتری داشته و در عین حال نسبت به مواد حجیم با همان ترکیب شیمیایی، شکنندگی کمتری دارند. نانوذرات کوچکتر از آنند که معیوب باشند و چون انرژی سطحی دارند لخت‌ترند، بنابراین برای ساخت ترکیبات بسیار محکم، مناسب می‌باشند.

۵- به دلیل کوچکی ابعاد، سرعت تعامل نانوساختارها بیشتر از میکروساختارهاست. از اینرو در آینده ای نه چندان دور، شاهد سیستم‌های پرسرعت وکاراتر در تبدیل انرژی، خواهیم بود.

٦- راندمان بالا و مطلوب بودن خواص مواد تولید شده از ذرات نانومتری و همچنین افزایش عمر و کاهش هزینه نگهداری این مواد.

موارد فوق از جمله مواردی هستند که بر اهمیّت استفاده از این تکنولوژی جدید می افزاید.

## ۱-٦- تفاوت فناوری نانو با فناوری‌های دیگر

تفاوت اصلی فناوری نانو با فناوری‌های دیگر، در مقیاس مواد و ساختارهایی است که در این فناوری مورد استفاده قرار می گیرند. 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 ارزیابی نمائیم، می توانیم وجود « عناصر پایه » را به عنوان یک معیار ذکرکرد. عناصر پایه در حقیت همان عناصر نانو مقیاسی هستند که خواص آنها در حالت نانو مقیاس با خواص‌شان در مقیاس بزرگتر متفاوت است.

اوّلین و مهمترین عنصر پایه، نانو ذره 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. دومین عنصر پایه، نانوکپسول است. همان طوری که از اسم آن مشخص است، کپسول‌هایی هستند که قطر نانومتری دارند و می‌توان مواد مورد نظر را درون آنها قرار داده وکپسوله کرد. سال‌هاست که نانوکپسول‌ها در طبیعت تولید می‌شوند. مولکول‌های مرسوم به فسفولیپیدها که یک سر آنها آبگریز و سر دیگر آنها آب‌دوست است، وقتی در محیط آبی

قرار می‌گیرند، خودبه‌خود کپسول‌هایی را تشکیل می دهند که قسمت‌های آبگریز مولکول در درون آنها واقع می شود و از تماس با آب محافظت می‌شود. حالت بر عکس نیز قابل تصوّر است.

عنصر پایه بعدی نانولوله‌ی کربنی است. این عنصر پایه در سال ۱۹۹۱ در شرکت *NEC* کشف شد و در حقیقت لوله هایی از جنس گرافیت می باشند. اگر صفحات گرافیت را 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 می‌شوند.

## ۱-۷- کاربردهای فناوری نانو

### ۱-۷-۱- مواد و ساخت

- مواد سبکتر، قویتر و قابل برنامه ریزی لایه نشانی نانوذرات
- سنتز مواد از طریق طراحی *By Design*
- ساخت بیومواد، نانوپلیمرها، نانوکامپوزیت‌ها و نانوسرامیک‌ها
- دستگاه‌های جدید بر مبنای قوانین و معماری جدید و استفاده از ساخت مولکولی
- تشخیص عوامل خرابی مواد در مقیاس نانو و پیشگیری از خرابی

### ۱-۷-۲- امنیّت ملی

- سلاح‌های جدید
- تسلّط بر اطّلاعات از طریق نانو الکترونیک پیشرفته
- استفاده از اتوماسیون و رباتیک پیشرفته برای جبران کاهش نیرو در نیروی نظامی
- کارایی بالاتر در تجهیزات نظامی
- *Io- Detection* برای تشخیص هویّت

### ۱-۷-۳- پزشکی و بهداشت

- داروهای جدید
- مراقبت بهداشتی با استفاده از دستگاه‌های دوردست و داخل بدن
- فرمولاسیون و روش های جدیدی برای توزیع دارو در داخل بدن
- هدف گرفتن توزیع دارو به نقاطی از بدن، حتی نقاطی که تاکنون غیر قابل دسترس بوده اند
- بافت‌ها واندام‌های بادوام تر و سازگارتر
- سیستم‌های حسگر برای تشخیص بیماری در حال ایجاد

### ۱-۷-٤- بیوتکنولوژی و کشاورزی

- تقلید و همانندسازی سیستم‌های بیولوژیکی
- مواد شیمیایی قابل استحاله از طریق علوم زیستی و با مهندسی مولکولی
- برای تغذیه گیاهان و مراقبت در برابر حشرات

- بهبود ژنتیک در حیوانات و گیاهان
- تحویل ژن و دارو به حیوانات
- مقابله با اثرات خشکسالی و افزایش نمک بر گیاه

### ۱-۷-۵- نانوالکترونیک و تکنولوژی کامپیوتر

- توقف زیرسازی آی.سی‌ها به دلیل محدودیت فیزیکی و نیاز به تکنولوژی جدید
- ریزپردازنده های نانوساختاری( کامپیوتر مولکولی )
- سیستم‌های ارتباطی
- حافظه‌های ریز و پرظرفیت
- نانوسنسورها

### ۱-۷-٦- انرژی

- ذخیره کاراتر
- تولید و تبدیل انرژی کاراتر
- کاتالیست‌های نانوساختاری

### ۱-۷-۷- محیط زیست

- کاهش آلاینده‌ها
- مواد سازگار با طبیعت
- تکنولوژی سبز
- جداسازی آلاینده‌ها از آب و هوا با استفاده از نانوپودرها
- نمک زدایی از آب

## ۱-۸- نانو ذرات

نانو ذرات رایجترین عناصر در علم و فناوری نانو بوده و خواص جالب توجه آنها باعث شده که کاربردهای بسیار متنوعی در صنایع شیمیایی، پزشکی و دارویی، الکترونیک و کشاورزی داشته باشند. یک نانو ذره، ذره‌ای است که ابعاد آن در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانو متر باشد.

نانوذرات علاوه بر نوع فلزی، عایق‌ها و نیمه‌هادیها، نانوذرات ترکیبی نظیر ساختارهای لایه‌ای را نیز در بر می گیرند. همچنین نانوکره‌ها، نانومیله‌ها ونانوفنجان‌ها تنها اشکالی از نانوذرات در نظر گرفته می‌شوند. نانوذرات در اندازه‌های پایین نانوخوشه به حساب می‌آیند. نانوبلورها و نقاط کوانتومی نیمه هادیها نیز زیرمجموعه نانوذرات هستند [۲].

### ۱-۸-۱- متداولترین نانوذرات

#### ۱-۸-۱-۱- نانوذرات سرامیکی

معمول ترین نانوذرات، نانوذرات سرامیکی است.که به سرامیکهای اکسیدفلزی نظیر: اکسید تیتانیوم روی