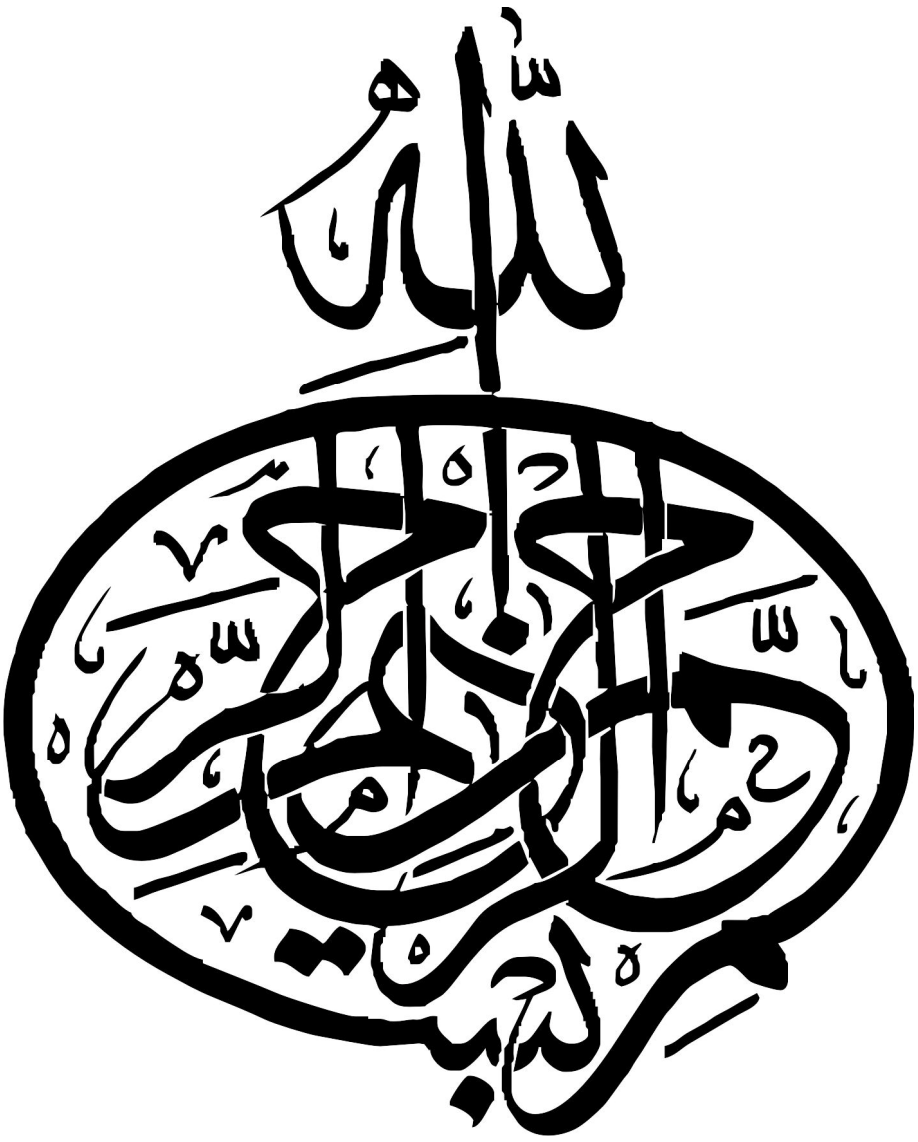

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
دانشکده‌ی علوم پایه
گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فوتونیک

بررسی نظری اثر غیرخطی رامان الکترونی در تار نوری آغشته به نقاط‌کوانتومی PbSe

استاد راهنما
دکتر حسن رنجبرعسکری

استاد مشاور
مجتبی رحیمی

دانشجو
مینا پرواز

اسفند ماه ۱۳۹۰

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان

دانشکده‌ی علوم پایه

گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد رشته‌ی فوتونیک

خانم مینا پرواز با عنوان

بررسی نظری اثر غیر خطی رامان الکترونی در تار نوری آغشته به نقاط کوانتومی PbSe

در تاریخ ۹۰/۱۲/۱۸ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی..... به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	**دکتر حسن رنجبرعسکری**	با مرتبه ی علمی **دانشیار**	امضاء
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	**مجتبی رحیمی**	با مرتبه ی علمی **مربی**	امضاء
۳- استاد داور داخل گروه	**دکتر سید مهدی بیضایی**	با مرتبه ی علمی **استادیار**	امضاء
۴- استاد داور خارج از گروه	**دکترمحمدعلی صادق‌زاده**	با مرتبه ی علمی **استادیار**	امضاء
۵- نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی	**دکتر حمیدرضا روستا**	با مرتبه ی علمی **استادیار**	امضاء

تمامی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های حاصل از پژوهش موضوع این پایان‌نامه، متعلق به دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان است.

الهی تو را سپاس گویم که در سایه ی رحمت تو و

با همراهی استاد فرهیخته و فرزانه ام جناب آقای دکتر حسن رنجبر عسکری، که روشنایی بخش تاریکی های جان و ذهنم

بوده اند و مهربانی و لطفشان سرشار از عشق و یقین است و علم آموزی هایشان، چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی

محقر وجودم فروزان ساخته است. و

همدلی پدر و مادر دلسوز و مهربانم که سجده ی ایثارشان، گل محبت را در وجودم پروراند و دامان گهربارشان لحظه های

مهربانی را به من آموخت و جرعه نوش جام تعلیم و تربیت، فضیلت و انسانیت آن ها بوده ام و همواره چراغ

وجودشان روشن گر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است. این پایان نامه را به اتمام رساندیم.

این همدلی، همراهی و دلسوزی را ارج می نهم و بر دستان تک تکشان بوسه می زنم.

و هم چنین از دقت و حوصله و راهنمایی های اصلاحی داوران محترم جناب آقای دکتر سید مهدی یعنایی و جناب

آقای دکتر محمد علی صادق زاده و مشاور گرامی جناب آقای مجتبی رحیمی سپاس گذاری می نمایم.

تقدیم به

مادر و پدرم و

آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه‌ی راهم بود.

چکیده

تارهای نوری آغشته به نقاط کوانتومی نمک‌های سرب، با شعاع‌های متفاوت، اخیراً به عنوان تقویت‌کننده‌هایی با پهنای باند بهره‌ی وسیع در بازه‌ی طول موج‌های مخابراتی، مطرح شده‌اند. این پایان‌نامه به بررسی اثرات رامان الکترونی در تار نوری آغشته به نقاط کوانتومی $PbSe$، به منظور تقویت بیشتر امواج عبوری از تار نوری می‌پردازد. از بین نظریه‌های مختلفی که برای بررسی خواص نقاط کوانتومی استفاده می‌شوند، به دلیل ویژگی‌های نقاط کوانتومی نمک‌های سرب، از معادله‌های توابع پوش چهار نواری برای مشخص کردن حالت‌های مختلف الکترون‌ها و حفره‌ها در نقاط کوانتومی $PbSe$، استفاده شده است. از حل معادلات فوق‌الذکر توابع موج مربوطه را به‌دست آورده و با استفاده از این توابع موج، قوانین انتخاب برای گذارهای الکترونی به صورت $\Delta m = ۰,\pm۱$، $\Delta j = ۰,\pm۱$ و $\Delta\pi = -۱$ در حالت‌های متفاوت به‌دست آورده می‌شود. سپس با استفاده از ویژه تابع و قوانین گذار، سطح مقطع جذب به دست آورده شده و نشان داده می‌شود که نقاط کوانتومی برای تقویت امواج مخابراتی مناسب هستند. و هم‌چنین سطح مقطع پراکندگی جزئی که طیف پراکندگی نامیده می‌شود، به صورت تابعی از فرکانس پراکندگی در این نقاط محاسبه می‌شود.

واژگان کلیدی: پراکندگی رامان الکترونی، تابع پوش چهار نواری، نقاط کوانتومی

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل اول: مقدمه

مقدمه ۲

فصل دوّم: نقاط کوانتومی

۲-۱- نظریه‌های جامدات ۸

۲-۲- نیم‌رساناها ۱۰

۲-۳- قضیه‌ی بلاخ ۱۱

۲-۴- جرم موثر ۱۴

۲-۵- تقریب تابع پوش ۱۶

۲-۶- بررسی کیفی اکسایتون در یک بلور ۱۷

۲-۷- نقطه کوانتومی ۱۹

۲-۷-۱- تعریف نقطه کوانتومی ۱۹

۲-۷-۲- خصوصیات نقطه کوانتومی ۲۱

۲-۷-۳- روش‌های ساخت نقاط کوانتومی ۲۳

۲-۷-۴- کاربرد نقاط کوانتومی ۲۶

فصل سوّم: انواع تقویت کننده‌های تار نوری

۳-۱- تاریخچه ۳۱

۳-۲- سیستم مخابراتی پایه ۳۳

۳-۳- تضعیف ۳۳

۳-۳-۱- جذب ۳۴

۳-۳-۲- پراکندگی رایلی ۳۴

۳-۳-۳- اثرات هندسی ۳۵

۳-۴- تقویت کننده‌های تار نوری ۳۵

۳-۴-۱- تقویت کننده‌های نوری نیم‌رسانا ۳۷

۳-۴-۲- تقویت کننده تار آلائیده به عناصر خاکی کمیاب ۳۸

۳-۴-۳- تقویت کننده‌های رامان ۴۰

۳-۴-۳-۱- پراکندگی رامان ۴۰

۳-۴-۳-۲- پراکندگی رامان از دیدگاه کلاسیک ۴۲

۳-۴-۳-۳- پراکندگی رامان از دیدگاه کوانتومی ۴۳
۳-۴-۳-۴- تقویت کننده‌ی رامان تار. ۴۴
۳-۴-۴- تقویت کننده تار آلائیده به نقاط کوانتومی. ۴۶

فصل چهارم: نقاط کوانتومی نمک‌های سرب

۴-۱- مقدمه ۴۹
۴-۲- تابع پوش چهار نواری ۵۰

فصل پنجم: پراکندگی رامان در نقاط کوانتومی نمک‌های سرب

۵-۱- مقدمه ۶۶
۵-۲- بر هم کنش موج الکترو مغناطیسی با ماده ۶۷
۵-۳- سطح مقطع جزئی ۶۸
۵-۳-۱- پراکندگی رامان با حالت واسطه در نوار رسانش ۶۹
۵-۳-۲- پراکندگی رامان با حالت واسطه در نوار ظرفیت ۷۰
۵-۳-۳- برقراری قانون بقای انرژی ۷۰
۵-۳-۴- قوانین گذار ۷۱
۵-۴- جدول‌ها و نمودارها ۸۰

فصل ششم: نتیجه‌گیری

۶-۱- نتیجه‌گیری ۸۸
منابع ۹۰

فهرست شکل‌ها

عنوان .....صفحه

شکل (۲-۱)- طرحی از اشغال نوارهای انرژی، توسط الکترون‌ها در عایق، فلز و نیم‌رسانا ۱۱

شکل (۲-۲)-تغییرات پتانسیل در یک جامد متناوب ۱۲

شکل (۲-۳)- نمایی توصیفی از تولید تشدیدی و غیر تشدیدی اکسایتون..... ۱۸

شکل (۲-۴)- ترازهای انرژی اکسایتون نسبت به نوارهای رسانش و ظرفیت ۱۸

شکل (۲-۵)- نحوه‌ی تشکیل اکسایتون در نقطه‌ی کوانتومی ساخته شده از نیم‌رسانا ۱۹

شکل (۲-۶)- مقایسه‌ی چگالی حالت‌های کوانتومی برای ساختارهای با ابعاد مختلف..... ۲۱

شکل (۲-۷)- گسسته شدن نوارهای انرژی در نقاط کوانتومی ۲۲

شکل (۲-۸)- نمودار انرژِی بر حسب بردار موج در نقطه‌ی کوانتومی ۲۲

شکل (۲-۹)- سیم و نقطه‌ی کوانتومی تشکیل شده از طریق لیتوگرافی ۲۵

شکل (۲-۱۰)- مراحل تشکیل یک نقطه‌ی کوانتومی با استفاده از لیتوگرافی..... ۲۶

شکل (۳-۱)- طرحواره‌ای از یک سیستم مخابراتی پایه ۳۳

شکل (۳-۲)- طرحواره‌ای از یک تقویت کننده‌ی اپتو الکترونیکی و تمام نوری ۳۶

شکل (۳-۳)- طرحواره‌ای از پراکندگی‌های استوکس، آنتی استوکس و رایلی ۴۱

شکل (۳-۴)- طرحواره‌ای از تقویت‌کننده‌ی رامان تار نوری ۴۴

شکل (۳-۵)- طیف بهره‌ی تقویت‌کننده‌ی تاری رامان در فرکانس $۲۰۰Hz$ ۴۵

شکل (۴-۱)- ساختار نواری PbS در نزدیک نقطه‌ی L منطقه‌ی بریلوئن ۵۳

شکل (۴-۲)- ترازهای انرژی غیر اختلالی نقطه‌ی کوانتومی $PbSe$ و PbS ۶۳

شکل (۴-۳)- ترازهای انرژی نقطه‌ی کوانتومی PbS در تقریب همسانگرد و غیر همسانگرد ۶۴

شکل (۵-۱)- طرح ساده‌ای از ترازهای انرژی نقطه‌ی کوانتومی $PbSe$ ۷۳

شکل (۵-۲)- سطح مقطع نرمال شده‌ی جذب، برحسب طول موج(متر)، برای حالت $l=۰\rightarrow l=۰$ ۸۳

شکل (۵-۳)- سطح مقطع نرمال شده‌ی جذب، برحسب طول موج(متر)، برای حالت$l=۱\rightarrow l=۰$ ۸۳

شکل (۵-۴)- سطح مقطع نرمال شده‌ی جذب، برحسب طول موج(متر)، برای حالت $l=۱\rightarrow l=۰$ ۸۳

شکل (۵-۵)- سطح مقطع نرمال شده‌ی جذب، برحسب طول موج(متر)، برای حالت $l=۱\rightarrow l=۱$ ۸۴

شکل (۵-۶)- سطح مقطع نرمال شده‌ی جذب، برحسب طول موج(متر)، ۸۴

شکل (۵-۷)- سطح مقطع نرمال شده‌ی پراکندگی، برحسب طول موج(متر)، ۸۴

شکل (۵-۸)- سطح مقطع نرمال شده‌ی پراکندگی، برحسب طول موج(متر) ۸۵

شکل (۵-۹)- سطح مقطع نرمال شده‌ی پراکندگی، برحسب طول موج(متر) ۸۵

شکل (۵-۱۰)- سطح مقطع نرمال شده‌ی پراکندگی، برحسب طول موج(متر) ۸۶

فهرست جدول‌ها

عنوان .....صفحه

جدول (۴-۱)- پارامترهای هامیلتونی $K.P$ برای نقاط کوانتومی $PbSe$ و PbS ۵۲
جدول (۴-۲)- مقدار k به ازای $l = ۰$ در باندهای رسانش و ظرفیت ۶۰
جدول (۴-۳)- مقدار k به ازای $l = ۱$ در باندهای رسانش و ظرفیت..... ۶۱
جدول (۴-۴)- مقدار انرژی‌های مربوط به باند ظرفیت و رسانش به ازای kهای مختلف و $l = ۰$ ۶۱
جدول (۴-۵)- مقدار انرژی‌های مربوط به باند ظرفیت و رسانش به ازای kهای مختلف و $l = ۱$ ۶۲
جدول (۵-۱)- فرکانس و طول موج متناظرش به ازای kهای مختلف..... ۸۱
جدول (۵-۲)- فرکانس و طول موج متناظرش به ازای kهای مختلف.....۸۱
جدول (۵-۳)- فرکانس و طول موج متناظرش به ازای kهای مختلف..... ۸۲
جدول (۵-۴)- فرکانس و طول موج متناظرش به ازای kهای مختلف..... ۸۲

فصل اول

مقدمه

فصل اول

مقدمه

یکی از راه‌های انتقال اطلاعات که امروزه به کار می‌رود، استفاده از تارهای نوری می‌باشد. که این اطلاعات می‌توانند به شکل تصویر، صدا و یا داده‌های رایانه‌ای باشند. اما یکی از مشکلاتی که وجود دارد این است که محیط تار دارای مقداری جذب است. بنابراین اطلاعاتی که به شکل امواج الکترومغناطیسی در طول تار منتشر می‌شوند، دچار افت شده و احتیاج به تقویت دارند.

در واقع یکی از ارکان کلیدی در مخابرات تمام نوری استفاده از تقویت‌کننده‌ها است. یکی از این تقویت‌کننده‌ها، تاری است که به عناصر طبیعی، مانند اربیوم آلائیده شده است(*EDFAs* [1]). اگر چه مطالعه بر روی این تقویت‌کننده‌ها از سال ۱۹۶۴ میلادی آغاز شد[۱]، اما استفاده‌ی عملی از آن‌ها از دهه نود میلادی امکان‌پذیر گردید[۲]. این قبیل تقویت‌کننده‌ها در طول ده سال گذشته توجه‌ی زیادی را به خود جذب کردند و به منظور افزایش پهنای بهره‌ی این تقویت‌کننده‌ها تکنولوژی‌های زیادی توسعه یافته‌اند و کارهای زیادی به این منظور انجام شده است[۳-۶]، در این میان کارهای مهمی توسط لو[2] و همکارانش انجام

[1] - Erbium-doped fiber amplifiers
[2] - Lu

شد[۳]. این گروه با ترکیب $EDFA$ دو هسته‌ای که هر کدام از آن‌ها به یکی از نوارهای اپتیکی ($C-band, L-band$[1]) تعلق داشت، ساختار بسیار مفیدی را طراحی کردند. این تقویت‌کننده، بهره‌ی تختی در حدود $15dB$ در بازه $105nm$ در فاصله ($1620nm-1515$) تولید می‌کند. تغییرات بهره در بازه‌ی پهن ($1555nm-1515$) برابر با $1/3dB$ و برای بازه‌ی پهن ($1620nm-1562$) برابر با $1/5dB$ است. و میزان نوفه‌ی به‌دست آمده بین ۴/۵ تا $4/8dB$ می‌باشد. اگر چه تقویت‌کننده‌های آلائیده به عناصر خاکی کمیاب کاربرد خوبی از خود نشان داده‌اند. مع‌الوصف پهنای بهره‌ی محدودی دارند.

در اوایل سال ۱۹۷۰ استلن[2] و ایپن[3] [۷] تقویت رامان را در تارهای نوری نشان دادند، اما تا نیمه‌ی سال ۱۹۸۰ تقویت‌کننده‌های رامان عمدتاً در آزمایشگاه‌ها باقی ماندند. تحقیقات بعدی نوید تقویت‌کننده‌های رامان را داد، در ۱۹۹۰ توجه و علاقه‌ی زیادی به تقویت رامان معطوف شد. و در نزدیکی‌های سال ۲۰۰۰ اغلب در هر سیستم مخابرات تار نوری خط سیر طولانی[4] (بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ کیلومتر) یا خط سیر فرا طولانی[5] (بیشتر از ۸۰۰ کیلومتر) به کار گرفته شد[۸]. محققین معتقدند در سال‌های آتی تقویت‌کننده‌های تار نوری آلائیده به عناصر خاکی کمیاب نظیر اربیوم به عنوان محیط فعال به دلیل دارا بودن پهنای نوار محدود و هم چنین تقویت‌کننده‌های رامان به دلیل پیچیدگی و نیاز به توان بالا برای کار، عملاً پاسخگوی نیازهای آینده در انتقال اطلاعات نخواهند بود. جهت کاهش نوفه و افزایش پهنای باند تقویت و نتیجتاً بالا بردن سرعت انتقال اطلاعات، باید به دنبال موادی بود که وقتی به عنوان محیط فعال استفاده می‌شوند، این نیاز را برآورده سازند[۹و۱۰].

در سال ۲۰۰۰ میلادی بحث استفاده از نانو ساختارهای نیم‌رسانا با ابعاد نانومتری یا نقاط کوانتومی در تقویت‌کننده‌ی تار نوری مطرح شد و با پیشرفت روز افزون تکنولوژی ساخت نقاط کوانتومی با اندازه‌های دلخواه، دیگر بشر محدودیت انتخاب مواد یا انرژی تابشی و جذبی ثابت در طبیعت را نخواهد داشت یا محدودیت این که ماده طول موج خاصی را جذب یا نشر کند، را ندارد، می‌تواند با این اتم‌های مصنوعی یا ساخته شده به‌دست بشر بر اساس نیاز خود، نانو ذره‌ی نیم‌رسانا را طوری طراحی کند که چه طول موجی را جذب یا نشر کند (طیف جذبی و

---

[1] - Conventional-band ,Long-band
[2] - Stolen
[3] - Ippen
[4] - Long-haul
[5] - Ultra-long-haul

نشری ماده را کنترل کند). این اتم‌های مصنوعی که شباهت زیادی به اتم‌های واقعی دارند، مانند اتم‌های واقعی دارای ترازهای انرژی هستند و با دارا بودن ترازهای انرژیی که وابسته به اندازه‌ی آن‌ها می‌باشند، می‌توانند در محدوده‌ی ۱/۵۵ میکرومتر که طول موج مخابراتی است و تار سیلیکاتی (SiO_2) در این محدوده کمترین جذب را دارد، عمل تقویت‌کنندگی نور را انجام دهند و به این ترتیب ظرفیت خطوط انتقال اطلاعات و بهره‌ی تقویت‌کنندگی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد[۱۳-۱۱]. استفاده از نقاط کوانتومی به عنوان محیط فعال در تار آلائیده به آن‌ها، نیاز به پمپ با توان بالا جهت تحریک ندارد و از نظر اقتصادی کاهش هزینه در خدمات مربوط به مخابرات و ارتباطات را به دنبال خواهد داشت و همین طور مزایای پهنای باند وسیع، ظرفیت بالا و کاهش طول تقویت‌کننده در سیستم‌های مخابراتی از مزیت‌های آن است[۱۸-۱۴].

بنابراین بدون کمک گرفتن از فناوری نانو، قدرت برآورده ساختن نیازهای روز افزون بشر امکان‌پذیر نخواهد بود. فناوری نانو یکی از آخرین دستاوردهای علمی است که دریچه‌ی امید بخش و جدیدی را در دنیای امروز گشوده است. نانو ذرات را معمولاً تعدادی از اتم‌ها یا مولکول‌های به هم پیوسته با شعاعی کمتر از ۱۰۰ نانومتر در نظر می‌گیرند. در حقیقت تمایز روشنی بین مولکول‌ها و نانو ذرات وجود ندارد. نانو ذرات می‌توانند با اجتماع اتم‌های مجزا، یا با تقسیم شدن مواد توده‌ای به قسمت‌های ریزتر به وجود آیند. آن چه نانو ذرات را بسیار جالب توجه کرده و خصوصیت‌های منحصر به فردی برای آن‌ها به وجود می‌آورد، این است که اندازه‌ی آن‌ها، از طول‌های بحرانی مشخص کننده‌ی بسیاری از پدیده‌های فیزیکی، کمتر است. به طور کلی، خواص فیزیکی مواد را می‌توان با برخی طول‌های بحرانی، مثلاً طول پراکنش مشخص ساخت. رسانایی الکتریکی یک فلز، دقیقاً با فاصله‌ای که الکترون‌ها از میان برخورد با اتم‌های در حال ارتعاش یا ناخالصی‌های جامد می‌گذرند، تعیین می‌شود. این فاصله را مسیر آزاد متوسط یا طول پراکنش می‌نامند. هر گاه اندازه‌های ذرات کمتر از این طول‌های شاخص باشند، امکان بروز فیزیک یا شیمی جدید وجود دارد[۱۹و۲۰].

در شروع دهه‌ی ۱۹۸۰، پیشرفت‌های تکنولوژی به ویژه در تکنیک‌های لیتوگرافی بسیار دقیق این امکان را فراهم کرد تا بتوان الکترون‌ها را در ساختاری یک بعدی که سیم کوانتومی

نامیده می‌شود، محدود کرد. رد[1] و همکارانش با به دام انداختن الکترون‌ها در ساختاری صفر بعدی که آن را نقطه‌ی کوانتومی نامیدند، به کوانتیزش کاملی از انرژی الکترون آزاد دست یافتند[۲۲]. هم‌زمان اکیمو و همکارانش گستره‌ای از رنگ‌ها را از کادمیوم سلناید با اندازه‌های مختلف مشاهده کردند که تقریباً همه‌ی طیف مرئی (از قرمز تا آبی) را در بر می‌گرفت. این امر باعث علاقه‌ی وافر محققان به مطالعه خواص نوری مواد نیم‌رسانای نانومتری و بعد از آن سایر مواد گردید[۲۳].

نقاط کوانتومی در واقع نانو بلورهایی با اندازه‌ی نسبی ۱ تا ۲۰ نانومتر می‌باشند که از مواد فلزی یا نیم‌رساناها ساخته می‌شوند. آن‌ها معمولاً داخل محلول‌های کلوئیدی یا مواد شیشه‌ای رشد داده می‌شوند[۲۶-۲۴]. کلمه‌ی کوانتیزش در نقطه‌ی کوانتومی به معنای کوانتیزه بودن انرژی حامل‌ها (الکترون و حفره) می‌باشد، بنابراین فیزیک ذرات با اندازه‌ی کافی کوچک با فیزیک حالت توده‌ای (کپه‌ای) آن‌ها فرق می‌کند. محبوس شدن الکترون‌ها باعث می‌شود چگالی حالت‌های آن‌ها از حالت پیوسته به صورت تابع دلتا تغییر کند[۲۷] و این محدودیت کوانتومی موجب می‌شود خواص الکتریکی و نوری جالب و مهمی داشته باشند خواصی که باعث کاربردهای نوری نظیر تقویت‌کننده‌های نوری، لیزرها، حسگرها، سلول‌های خورشیدی و...می‌شود[۳۳-۲۸].

در میان انواع نقاط کوانتومی (مانند CdS، $PbSe$، PbS، $CdTe$ و $CdSe$) که همگی در سیستم‌های مخابراتی قابلیت استفاده دارند، $PbSe$ از محبوبیت بیشتری برخوردار است. به این دلیل که در منطقه مادون قرمز از ۱۲۰۰ تا ۲۳۴۰ نانومتر گسیل‌های قوی انجام می‌دهد که در تکنولوژی مخابرات بسیار مناسب است. $FWHM$[2] این نقاط ۱۵۰ تا ۲۰۰ نانومتر می‌باشد، قله‌ی گسیل و جذب قابل تنظیم دارند. و یکی از نکات مهم $PbSe$ عدم وابستگی گاف انرژی آن به دما است[۳۴]. هم چنین این نقاط انرژی کولنی ناچیز و برهمکنش الکترون-فونون قابل چشم‌پوشی دارند[۳۵]. در میان شعاع‌های متفاوت نقاط کوانتومی $PbSe$، شعاع $۵/۵nm$ از توجه بیشتری برخوردار است. که به دلیل گسیل در طول موج $۱۶۳۰nm$ که به نوار اپتیکی L متعلق است و هم چنین $FWHM$ پهن می‌باشد. همان طور که گفته شد شعاع نقاط

[1] - Reed
[2] - Full Width at Half Maximum

کوانتومی در انرژی گسیل شده ازآن‌ها تاثیر بسزایی دارد. در سال ۲۰۰۷ چنگ [۶] بـه بررسـی تقویت‌کنندهای تار آلائیده به نقاط کوانتومی($QDFA$[1]) در اندازه‌ی $۵/۵nm$ پرداخت.

در فصل دوم این پایانامه، به بیان ساختار نواری بلورها می‌پردازیم و از ایـن منظـر سـاختار نواری، مواد نیم‌رسانا، عایق و رسانا، مقایسه خواهند شد. با توجه به پتانسـیل دوره‌ای اتـم‌هـا در یک بلور تابع موج بلاخ حاکم بر بلور و برخی از اصطلاح‌های جرم موثر و اکسـایتون‌هـا در مـواد بلوری تعریف شده و سپس با تعریف نقاط کوانتومی و کاربردهایش در علوم مختلـف، فصـل بـه پایان می‌رسد.

در فصل سوم با توجه به مزیت تارهای نوری نسبت به کابل‌های مسی و جانشینی روزافـزون آن، به بیان علت‌های افت سیگنال در داخل تار پرداخته و تقویت‌کننده‌های مختلفـی کـه بـرای غلبه بر این مشکل به وجود آمده‌اند، ذکر شده و در نهایت تقویت‌کننده‌ی تار آلائیـده بـه نقـاط کوانتومی که نوید بخش کارکرد هر چه بهتر تارهای نوری است معرفی می‌شود.

در فصل چهارم به بررسی خواص نقاط کوانتومی نمک‌های سرب بـا توجـه بـه خصوصـیات ویژه و این که قابلیت استفاده در مخابرات نوری را دارند، با استفاده از هامیلتونی و معادلـه‌هـای ویژه مقداری پرداخته می‌شود. و نهایتاً فصل پنجم به به‌دسـت آوردن سـطح مقطـع پراکنـدگی رامان در نقاط کوانتومی $PbSe$ می‌پردازد.

[1] - Quantum dot-doped fiber amplifier

فصل دوم

نقاط کوانتومی

فصل دوم

۲-۱ نظریه‌های جامدات

برای توصیف خواص اپتیکی جامدات، نظریه‌های مختلفی ارائه شده است. نظریه‌ی الکترون آزاد بسیاری از خواص الکترونی فلزات را به خوبی توصیف می‌کند ولی خواص دیگری هم وجود دارند که این نظریه هیچ توجیهی برای آن‌ها ندارد. برای مثال این نظریه نمی‌تواند در فهمیدن این که چرا بعضی عناصر شیمیایی در حین متبلور شدن رسانای خوب جریان الکتریکی و بعضی دیگر عایق خوب می‌شوند، کمکی کند. هم چنین چرا بعضی اجسام نیم‌رسانا با خواص الکتریکی متغیر و فوق‌العاده حساس به دما هستند. اما نظریه‌ی قوی‌تری به نام نظریه‌ی نواری، که مبتنی بر فیزیک کوانتوم است، برای تفسیر این پدیده استفاده می‌شود. در بیشتر مواقع ساختار نواری یک بلور می‌تواند توسط نظریه‌ی الکترون‌های تقریباً آزاد تعریف شود که در آن فرض می‌شود الکترون‌های متعلق به نوارها، اندکی توسط پتانسیل دوره‌ای اتم‌های یونیزه شده آشفته شده‌اند[۳۶].

در یک اتم، الکترون‌ها در مدارهای معینی که هر یک انرژی ویژه‌ای دارند، در اطراف هسته‌ی اتم حرکت می‌کنند. این مقدار انرژی را تراز انرژی آن مدار می‌گویند. به هر یک از این مدارها و تراز انرژی وابسته به آن، یک حالت کوانتومی برای الکترون‌های آن اتم می‌گویند.

در یک اتم منفرد، الکترون‌ها ابتدا ترازهای پایین‌تر انرژی را پر می‌کنند. به بیان دیگر، حالت‌های کوانتومی در هر اتم از تراز پایین به بالا توسط الکترون‌های آن اتم اشغال می‌شود.

هنگامی که همه‌ی الکترون‌ها به ترتیب ترازهای انرژی را از پایین به بالا پر کنند، در این حالت، اتم در حالت پایه‌ی خود قرار دارد. از طرف دیگر، الکترون می‌تواند با جذب مقداری انرژی، تراز خود را ترک کند و به تراز بالاتری که خالی است برود که در این حالت اتم برانگیخته شده است. مقدار این انرژی برابر مقدار اختلاف انرژی دو تراز است. آن چه تاکنون بیان شد مربوط به اتمی منفرد بود.

اما در اجسام جامد که متشکل از تعداد بسیار زیادی اتم است، ترازهای انرژی الکترون‌ها چگونه‌اند؟ پاسخ این پرسش همان چیزی است که به آن نظریه‌ی نواری گویند. در جسم جامد به جای یک اتم، مجموعه‌ای از اتم‌های نزدیک به هم وجود دارد. بنابراین دیگر یک هسته و تعدادی الکترون که اطراف هسته‌ی اتم حرکت می‌کند، نیست، بلکه اکنون تعداد بسیار زیادی الکترون هستند که تحت تاثیر نیروهای حاصل از تمام هسته‌های مثبت قرار دارند. خلاصه این که ترازهای انرژی الکترون‌ها در جسم جامد، مانند ترازهای انرژی الکترون‌ها در یک اتم منفرد، مقدار انرژی ویژه‌ای دارند. ترازهای انرژی الکترون‌ها در جسم جامد، مانند ترازهای انرژی الکترون‌ها در یک اتم منفرد، مقدارهایی گسسته‌اند. هر تراز انرژی توسط دو الکترون با اسپین مخالف پر می‌شود. فاصله‌ی ترازهای انرژی الکترون‌ها در جسم جامد، بسیار کوچک و در مرتبه $۱۰^{-۲۳}$ تا $۱۰^{-۲۲}$ الکترون ولت خواهد بود، به طوری که ترکیب زیر ترازها را می‌توان به عنوان یک نوار انرژی تلقی کرد البته شایان ذکر است که ترازهای داخلی اتم هم‌چنان به دلیل انرژی بستگی قوی به هسته، متعلق به یک اتم خاص باقی می‌مانند و این ترازهای الکترونی بیرونی هر اتم هستند که در تشکیل نوارهای جسم جامد سهیم هستند. هر نوار انرژی شامل تعداد بسیار زیادی ترازهای گسسته است. تفاوت انرژی برخی نوارها بسیار زیاد است. یعنی بین آخرین تراز انرژی نوار پایین با اولین تراز انرژی نوار بالا، اختلاف انرژی زیادی وجود دارد. در این فاصله هیچ تراز انرژی وجود ندارد، یعنی الکترون‌ها در این فاصله نمی‌توانند انرژی مجازی داشته باشند. این ناحیه را ناحیه‌ی ممنوع یا گاف انرژی می‌گویند. در جسم جامد، الکترون‌ها به ترتیب از پایین‌ترین تراز انرژی در پایین‌ترین نوار توزیع می‌شوند، ترازهای انرژی به ترتیب توسط الکترون‌ها پر می‌شوند تا یک نوار انرژی به طور کلی پر شود. الکترون‌های بعدی در ترازهای انرژی نوار بالاتر قرار می‌گیرند تا همه‌ی الکترون‌ها در ترازهای انرژی نواری مجاز جا بگیرند. به این ترتیب آخرین نوار انرژی یا به طور کلی از الکترون پر است و یا نیم‌پر است. واضح است نوارهای انرژی پایین‌تر همگی پر هستند و نوارهای انرژی بالاتر همگی خالی