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 ولی‌عصر(عج) رفسنجان
دانشکده‌ی علوم
گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد
رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی و مولکولی

بررسی فرآیند جذب خطی و غیرخطی در یک سیستم ترکیبی شامل نقاط کوانتومی و نانوذرات

استاد راهنما
- دکتر حسن رنجبر عسکری
-

نگارنده
معصومه ملااکبری دره جوزی زاده

مهر ۹۲

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
دانشکده‌ی علوم
گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد
رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی و مولکولی

معصومه ملاکبری دره جوزی زاده

بررسی فرآیند جذب خطی و غیرخطی در یک سیستم ترکیبی شامل نقاط کوانتومی و نانوذرات

در تاریخ ۹۲/۷/۲۸ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه‌ی عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکترحسن رنجبر عسکری	با مرتبه‌ی علمی	دانشیار	امضاء
۲- استاد داور داخل گروه	دکتر سید یحیی میر افضلی	با مرتبه‌ی علمی	استادیار	امضاء
۳- استاد داور داخل گروه	دکتر مسعود کریمی پور	با مرتبه‌ی علمی	استادیار	امضاء
۴- نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی	دکتر مرضیه محمدی	با مرتبه‌ی 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.

سپاس **خدای** را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند و سپاس خدای را که هر چه دارم از اوست. به امید آنکه توفیق یابم جز خدمت به خلق او نکوشم. سلام و دورد بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است، و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم **پدر** و **مادری** فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی‌ام بوده‌اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند.

سپاس گزارم از **همسرم**، اسطوره زندگی‌ام، پناه خستگی‌ام و امید بودنم که سایه مهربانی‌اش سایه‌سار زندگی‌ام می‌باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نموده است.

سپاس گزارم از گل‌های زیبای زندگی‌ام، **محمدرضا** و **حسین** که کودکی گمشده‌ام را در چهره معصومشان پیدا کردم.

از **برادر** و **خواهران** عزیزم سپاس گزارم که وجودشان شادی بخش و مایه آرامش و دلگرمی من است.

به مصداق «**من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق** » بسی شایسته است از استاد فرهیخته، دلسوز، با تقوا و فرزانه جناب آقای **دکتر حسن رنجبر عسکری** که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی‌های کار ساز و سازنده بارور ساختند، تقدیر وتشکر نمایم و از اساتید فرزانه، جناب آقای **دکتر سید یحیی میرافضلی** و جناب آقای **دکتر مسعود کریمی پور**که زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تقدیم به

ساحت مقدس حضرت علی (ع)

علم خویش را به جهل، و یقین خود را به شک مبدل نکنید، آنگاه که به علم رسیدید عمل کنید و آنگاه که به یقین دست یافتید، اقدام نمایید.

حضرت علی (ع)

چکیده

نانو تکنولوژی مدرن توانایی ساخت نانوساختارهایی با انواع ترکیبات، به‌ویژه ساختارهای ترکیبی متشکل از یک نقطه‌ی کوانتومی نیمرسانا و یک نانوذره فلزی را فراهم کرده است. در این پایان نامه تاثیر حضور نانوذره فلزی را بر پذیرفتاری خطی مرتبه اول و غیرخطی مرتبه سوم یک نقطه‌ی کوانتومی کروی و در نتیجه ضرایب جذب خطی و غیرخطی، ضریب شکست به صورت تئوری با استفاده از تقریب جرم موثر و روش ماتریس چگالی محاسبه می‌شود. تاثیر پارامترهای شعاع نقاط کوانتومی و نانوذرات فلزی و هم‌چنین فاصله نانوذره فلزی و نقطه‌ی کوانتومی بر روی خواص اپتیکی مواد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌گان کلیدی: اپتیک غیرخطی، جذب خطی و غیرخطی، نقطه‌ی کوانتومی کروی، نانوذره فلزی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱
۱-۱-مقدمه ۱
فصل دوم: جامدات و نانوساختارها ۵
۲-۱-مقدمه ۵
۲-۲-ساختار نواری جامدات ۵
۲-۲-۱-طبقه بندی جامدات ٦
۲-۲-۲- الکترون-حفره ۷
۲-۲-۳-تقریب جرم موثر ۸
۲-۳-نانوساختارهای نیمرسانا ۱۰
۲-۳-۱-چاه کوانتومی ۱۰
۲-۳-۲-نقطه‌ی کوانتومی ۱۲
۲-۳-۳-خواص ۱۲
۲-۳-۳-روش‌های ساخت ۱۳
۲-۴-نانوذرات فلزی ۱۳
۲-۴-۱-پلاسمون سطحی ۱٤
۲-۴-۲-مدل درود ۱۵
۲-۴-۳-مدل نوسانگر لورنتس ۱۵
۲-۵-سیستم ترکیبی متشکل از یک نقطه‌ی کوانتومی کروی و یک نانوذره فلزی کروی ۱٦
۲-۵-۱-کاربردها ۱۷
فصل سوم: اپتیک غیرخطی ۱۹
۳-۱-مقدمه ۱۹
۳-۲-اپتیک غیرخطی ۲۰
۳-۲-۱-قطبش مرتبه سوم ۲۲
۳-۲-۲-فرآیندهای پارامتریک و غیرپارامتریک ۲۳
۳-۳-نظریه‌های مکانیک کوانتومی پذیرفتاری غیرخطی ۲٤
۳-۳-۱-نظریه‌ی اختلال ۲٤

عنوان **صفحه**

۳-۳-۲-ماتریس چگالی در مکانیک کوانتومی ۲۶
۳-۴-پذیرفتاری مرتبه اول و سوم در یک مدل دو ترازی ۳۱
۳-۴-۱-بررسی برهم‌کنش یک موج تکفام با فرکانس ω با ماده ۳۴
فصل چهارم ۳۹
۴-۱-مقدمه ۳۹
۴-۲-جسم کروی در حضور میدان الکتریکی یکنواخت ۴۰
۴-۳-پتانسیل الکتریکی درون و بیرون جسم کروی با فرض قرار گرفتن یک دوقطبی الکتریکی در مجاورت آن ۴۱
۴-۴-میدان الکتریکی درون نقطه‌ی کوانتومی ۴۴
۴-۴-۱-میدان الکتریکی موج الکترومغناطیسی در محل نقطه‌ی کوانتومی ۴۵
۴-۴-۲-میدان الکتریکی نانوذره در محل نقطه‌ی کوانتومی ۴۵
۴-۵-ضریب پذیرفتاری χ در سیستم ترکیبی نانوذره فلزی کروی و نقطه‌ی کوانتومی کروی ۵۰
۴-۶-ویژه توابع و ویژه مقادیر هامیلتونی نقطه‌ی کوانتومی کروی ۵۲
۴-۷- محاسبات ۵۳
۴-۷-۱-تاثیر k های متفاوت ۵۴
۴-۷-۲-تاثیر فاصله نانوذره فلزی و نقطه‌ی کوانتومی ۵۶
۴-۷-۳-تاثیر شعاع نانوذره فلزی ۵۸
۴-۷-۴-تاثیر شعاع نقطه‌ی کوانتومی ۶۰
۴-۷-۵-تاثیر فاصله نانوذره فلزی و نقطه‌ی کوانتومی ۶۲
۴-۷-۶-تاثیر شعاع نانوذره فلزی ۶۴
۴-۷-۷-تاثیر شعاع نقطه‌ی کوانتومی ۶۶
۴-۷-۸-تاثیر فاصله نانوذره فلزی و نقطه‌ی کوانتومی ۶۸
۴-۷-۹-تاثیر شعاع نانوذره فلزی ۷۰
۴-۷-۱۰-تاثیر شعاع نقطه‌ی کوانتومی ۷۲
۴-۷-۱۱-تاثیر فاصله نانوذره فلزی و نقطه‌ی کوانتومی ۷۴
۴-۷-۱۲-تاثیر شعاع نانوذره فلزی ۷۶
۴-۷-۱۳-تاثیر شعاع نقطه‌ی کوانتومی ۷۸

عنوان **صفحه**

۴-۷-۱۴-تاثیر فاصله نانوذره فلزی و نقطه‌ی کوانتومی ۸۰
۴-۷-۱۵-تاثیر شعاع نانوذره فلزی ۸۲
۴-۷-۱۶-تاثیر شعاع نقطه‌ی کوانتومی ۸٤
۴-۷-۱۷-تاثیر فاصله نانوذره فلزی و نقطه‌ی کوانتومی ۸٦
۴-۷-۱۸-تاثیر شعاع نانوذره فلزی ۸۸
۴-۷-۱۹-تاثیر شعاع نقطه‌ی کوانتومی ۹۰
۴-۷-۲۰-تاثیر شدت میدان ۹۲
۴-۷-۲۱-تاثیر شعاع نقطه‌ی کوانتومی با توجه به شدت میدان قوی ۹۳
۴-۷-۲۲-بحث و نتایج ۹۵
فصل پنجم: نتیجه گیری ۹۷
منابع ۹۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲- ۱- : طرح ترازهای انرژی در (الف) اتم سدیم آزاد (ب) دو اتم سدیم نزدیک به هم (ج) تعداد زیادی اتم سدیم تشکیل دهندهی سدیم جامد[۱۵]..... ۶

شـکل ۲- ۲- : طرحی از اشغال نوارهای انرژی مجاز، توسط الکترون‌ها در عایق، فلز و نیمرسانا، مناطق سایه خورده، ناحیه‌های پر شده توسط الکترون‌ها می‌باشند. ۸

شکل۲ – ۳- : نمایی از چاه، سیم و نقطه کوانتومی با نمایش ابعاد محدود شده. ۱۱

شکل ۲- ۴- : طرح‌های (الف) یک تک چاه کوانتومی و (ب) یک چاه کوانتومی چند تایی[۱۵]. ۱۱

شکل ۲-۵: برانگیختگی نوسان پلاسمون سطحی نانوذره فلزی کروی در اثر تابش نور ۱۴

[۲۰]. ۱۴

شکل۲-۶: نمایی از برهم‌کنش اکسایتون-پلاسمون[۲۵]..... ۱۷

شـکل ۳-۱ - : دو فرآیند آمیختگی ممکن که توسـط معادله‌ی (۳-۷) توصـیف می‌شـوند و هنگامی روی می‌دهند که سه موج ورودی در محیطی که با یک پذیرفتاری مشخص می‌شود، برهم‌کنش می‌کنند[۱۶]. ۲۲

شکل ۳- ۲- : فرایندهای واهلش اتم دوترازی بسته[۱۶]..... ۳۲

شکل۴-۱:جسمی کروی در مجاورت یک دوقطبی الکتریکی..... ۴۳

شـکل۴-۲: مدلی از یک ملکول نانوسـاختارترکیبی شـامل یک نقطه‌ی کوانتومی کروی و یک نانوذره فلزی کروی..... ۴۵

شـکل۴-۳ میدان اعمال شـده باعث قطبیده شـدن نانوذره فلزی و نقطه‌ی کوانتومی می‌شـود درنتیجه جفت شدگی دوقطبی-دوقطبی را فراهم می‌کند. E_{SM} و E_{MS} به ترتیب به میدان الکتریکی تولید شده به وسیله قطبش نقطه کوانتومی در محل نانوذره فلزی و برعکس اشاره دارد..... ۴۹

شـکل۴-۴: نمودار قسـمت موهومی پذیرفتاری کل برحسـب $\left(\omega-\omega_{21}\right)\times10^{14}\left(HZ\right)$ برای چند قطبی‌های مختلف k. ۵۵

شکل۴-۵: نمودار قسمت حقیقی پذیرفتاری کل برحسب $\left(\omega-\omega_{21}\right)\times10^{14}\left(HZ\right)$ برای چند قطبی‌های مختلف k. ۵۵

شـکل۴-۶: نمودار قسـمت موهومی پذیرفتاری کل برحسـب $\left(\omega-\omega_{21}\right)\times10^{14}\left(HZ\right)$ برای فاصله‌های مختلف d ۵۷

شـکل۴-۷: نمودار قسـمت حقیقی پذیرفتاری کل برحسـب $\left(\omega-\omega_{21}\right)\times10^{14}\left(HZ\right)$ برای فاصـله‌های مختلف d. ۵۷

عنوان **صفحه**

شـکل۴-۸: نمودار قسـمت موهومی پذیرفتاری کل برحسـب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۵۹

شـکل۴-۹: نمودار قسـمت حقیقی پذیرفتاری کل برحسـب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شـعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۵۹

شـکل۴-۱۰: نمودار قسـمت موهومی پذیرفتاری کل برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۶۱

شـکل۴-۱۱: نمودار قسـمت حقیقی پذیرفتاری کل برحسـب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۶۱

شکل۴-۱۲: نمودار قسمت موهومی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای فاصله‌های مختلف d. ۶۳

شکل۴-۱۳: نمودار قسمت حقیقی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای فاصله‌های مختلف d. ۶۳

شکل۴-۱۴: نمودار قسمت موهومی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۶۵

شکل۴-۱۵: نمودار قسمت حقیقی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۶۵

شکل۴-۱۶: نمودار قسمت موهومی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۶۷

شکل۴-۱۷: نمودار قسمت حقیقی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۶۷

شـکـل۴-۱۸: نمودار قسـمـت موهومی ضـریـب پـذیرفتـاری مرتبـه سـوم غیرخطی برحسـب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای فاصله‌های مختلف d. ۶۹

شـکـل۴-۱۹: نـمودار قسـمـت حقیقی ضـریـب پـذیرفتـاری مرتبـه سـوم غیرخطی برحسـب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای فاصله‌های مختلف d. ۶۹

عنوان **صفحه**

شـکـل۴-۲۰: نمودار قسـمـت موهومی ضـریـب پـذیرفتـاری مرتبـه سـوم غیرخطی برحسـب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۷۱

شـکـل۴-۲۱: نـمودار قسـمـت حقیقی ضـریـب پـذیرفتـاری مرتبـه سـوم غیرخطی برحسـب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۷۱

شـکـل۴-۲۲: نمودار قسـمـت موهومی ضـریـب پـذیرفتـاری مرتبـه سـوم غیرخطی برحسـب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۷۳

شـکـل۴-۲۳: نـمودار قسـمـت حقیقی ضـریـب پـذیرفتـاری مرتبـه سـوم غیرخطی برحسـب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۷۳

شـکل۴-۲۴: نمودار قسمت موهومی پذیرفتاری کل برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای فاصله‌های مختلف d. ۷۵

شـکل۴-۲۵: نمودار قسـمت حقیقی پذیرفتاری کل برحسـب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای فاصله‌های مختلف d ۷۵

شـکل۴-۲۶: نمودار قسمت موهومی پذیرفتاری کل برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۷۷

شـکل۴-۲۷: نمودار قسـمت حقیقی پذیرفتاری کل برحسـب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۷۷

شـکل۴-۲۸: نمودار قسـمت موهومی پذیرفتاری کل برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۷۹

شـکل۴-۲۹: نمودار قسـمت حقیقی پذیرفتاری کل بر حسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۷۹

شکل۴-۳۰: نمودار قسمت موهومی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای فاصله‌های مختلف d. ۸۱

شکل۴-۳۱: نمودار قسمت حقیقی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای فاصله‌های مختلف d. ۸۱

عنوان **صفحه**

شکل۴-۳۲: نمودار قسمت موهومی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۸۳

شکل۴-۳۳: نمودار قسمت حقیقی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۸۳

شکل۴-۳۴: نمودار قسمت موهومی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۸۵

شکل۴-۳۵: نمودار قسمت حقیقی پذیرفتاری مرتبه اول خطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۸۵

شکل۴-۳۶: نمودار قسمت موهومی ضریب پذیرفتاری مرتبه سوم غیرخطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای فاصله‌های مختلف d. ۸۷

شکل۴-۳۷: نمودار قسمت حقیقی ضریب پذیرفتاری مرتبه سوم غیرخطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای فاصله‌های مختلف d. ۸۷

شکل۴-۳۸: نمودار قسمت موهومی ضریب پذیرفتاری مرتبه سوم غیرخطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۸۹

شکل۴-۳۹: نمودار قسمت حقیقی ضریب پذیرفتاری مرتبه سوم غیرخطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۸۹

شکل۴-۴۰: نمودار قسمت موهومی ضریب پذیرفتاری مرتبه سوم غیرخطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۹۱

شکل۴-۴۱: نمودار قسمت حقیقی ضریب پذیرفتاری مرتبه سوم غیرخطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۹۱

شکل۴-۴۲: نمودار قسمت حقیقی ضریب پذیرفتاری مرتبه سوم غیرخطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شدت‌های مختلف I_0. ۹۲

شکل۴-۴۳: نمودار قسمت حقیقی ضریب پذیرفتاری مرتبه سوم غیرخطی برحسب $(\omega-\omega_{21})\times10^{14}(HZ)$ برای شدت‌های مختلف I_0. ۹۳

عنوان **صفحه**

شـــکـــل۴-۴۴: نمودار قســـمـــت موهومی ضـــریـــب پـــذیرفتـــاری مرتبـــه ســـوم غیرخطی برحســـــب $\left(\omega-\omega_{21}\right)\times10^{14}\left(HZ\right)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی با توجه به شدت میدان قوی..... ۹۳
شـــکـــل۴-۴۵: نمودار قســـمـــت موهومی ضـــریـــب پـــذیرفتـــاری مرتبـــه ســـوم غیرخطی برحســـــب $\left(\omega-\omega_{21}\right)\times10^{14}\left(HZ\right)$ برای شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی با توجه به شدت میدان قوی..... ۹۴

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جـدول ۴-۱: تـغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_S = 2nm$ و $R_M = 8nm$ بـا فاصله‌های مختلف d. ۵۶

جـدول ۴-۲: تـغـییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_S = 2nm$ و $d = 17nm$ بـا شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۵۸

جـدول ۴-۳: تـغـییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_M = 10nm$ و $d = 15nm$ بـا شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۶۰

جـدول ۴-۴: تغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(1)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_S = 2nm$ و $R_M = 8nm$ بـا فاصله‌های مختلف d. ۶۲

جـدول ۴-۵: تغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(1)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_S = 2nm$ و $d = 17nm$ بـا شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۶۴

جـدول ۴-۶: تغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(1)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_M = 10nm$ و $d = 15nm$ بـا شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۶۶

جـدول ۴-۷: تغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(3)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_S = 2nm$ و $R_M = 8nm$ بـا فاصله‌های مختلف d. ۶۸

جـدول ۴-۸: تغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(3)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_S = 2nm$ و $d = 17nm$ بـا شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۷۰

جـدول ۴-۹: تغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(3)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_M = 8nm$ و $d = 12nm$ بـا شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۷۲

جـدول ۴-۱۰: تغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_S = 2nm$ و $R_M = 8nm$ بـا فاصله‌های مختلف d. ۷۴

جـدول ۴-۱۱: تـغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_S = 2nm$ و $d = 17nm$ بـا شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۷۶

عنوان **صفحه**

جـدول ۴-۱۲: تغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_M = 8nm$ و $d = 15nm$ بـا شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۷۸

جدول ۴-۱۳: تغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(1)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_S = 2nm$ و $R_M = 8nm$ با فاصله‌های مختلف d. ۸۰

جـدول ۴-۱۴: تغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(1)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_S = 2nm$ و $d = 17nm$ با شعاع‌های مختلف نانوذره فلزی. ۸۲

جـدول ۴-۱۵: تغییرات $\Delta\omega_{FWHM}$ و $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(1)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_M = 8nm$ و $d = 15nm$ با شعاع‌های مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۸۴

جدول ۴-۱۶: تغییرات $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(3)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_M = 8nm$ و $R_S = 2nm$ با فاصـــله های مختلف d. ۸۶

جدول ۴-۱۷: تغییرات $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(3)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_S = 2nm$ و $d = 18nm$ با شـعاعهای مختلف نانوذره فلزی. ۸۸

جدول ۴-۱۸: تغییرات $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(3)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_M = 8nm$ و $d = 12nm$ با شـعاعهای مختلف نقطه‌ی کوانتومی. ۹۰

جدول ۴-۱۹: تغییرات $\left(\mathrm{Im}\,\chi^{(3)}\right)_{\mathrm{Max}}$ برای $R_M = 8nm$ و $d = 12nm$ با شـعاعهای مختلف نقطه‌ی کوانتومی برای شدت میدان ضعیف و شدت میدان قوی اعمال شده به سیستم. ۹۴

فصل اول
مقدمه

۱-۱-مقدمه

در اواخر قرن گذشته توجه زیادی به بررسی ویژگی‌های اپتیکی خطی و غیرخطی مواد نانویی، از قبیل نقاط کوانتومی[1]، سیم‌های کوانتومی و نانوذرات فلزی شده است. با تغییر ابعاد مواد کم-بعد و افزایش نسبت سطح به حجم، قوانین کوانتومی وارد صحنه می‌شوند و امکان تغییر خواص ماده از جمله دمای ذوب، ویژگی‌های اپتیکی، مکانیکی، مغناطیسی و ... را به‌وجود خواهند آورد[۱]. نقاط کوانتومی نیمرسانا به صورت ساتع‌کننده‌های نوری عمل می‌کنند و به علت خواص اپتیکی منحصر به فردشان از جمله رنگ تنظیم پذیر، پایداری نوری بالا، پرتوافشانی درخشان پایدار بسیار مورد توجه قرار گرفته اند[۲]. از جمله کاربردهای این نانوذرات، دستگاه الکترونیک نوری[۳] لیزر نیمه هادی[۴]، ترانزیستورهای تک الکترونی[۵]، محاسبات کوانتومی[۶] و حافظه‌های نوری است[۷] هم‌چنین نانوذرات فلزی به علت پراکندگی نور و خواص پلاسمونی مورد توجه بسیاری از تحقیقات بوده‌اند[۸ و ۹]. نانوتکنولوژی مدرن توانایی ساخت نانوساختارهایی با انواع ترکیبات به‌ویژه ساختارهای ترکیبی متشکل از نانو ذرات فلزی و نقاط کوانتومی نیمرسانا، نانو میله‌ها، اتصال دهنده‌های زیستی را امکان پذیر ساخته است. اخیراً توجه زیادی به ساختارهای ترکیبی متشکل از نقاط کوانتومی نیمرسانا و نانوذرات فلزی شده است. چنین ساختارهایی مطالعه مکانیک کوانتومی و کلاسیکی را به صورت مشترک فراهم می‌کنند زیرا در این سیستم ترکیبی نقاط کوانتومی نیمرسانا

---

[1] Quantum Dot

و نانوذرات فلزی به ترتیب به صورت مکانیک کوانتومی و کلاسیکی مورد مطالعه قرار می گیرند. تحریک نوری در نقاط کوانتومی نیمرسانا به صورت اکسایتون (زوج الکترون-حفره) است. تحریک نوری در نانوذرات فلزی پلاسمون‌ها هستند که به صورت یک طیف نوری پیوسته، موضعی و قوی ظاهر می‌شوند. با قرار دادن یک نقطه‌ی کوانتومی نیمرسانا در محل مناسب در مجاورت یک نانوذره فلزی و با اعمال میدان الکتریکی، این دو نانوذره با یکدیگر جفت می‌شوند. امکان تونل زنی مستقیم حامل‌های بار میان نقطه‌ی کوانتومی نیمرسانا و نانوذره فلزی وجود ندارد. به علت برهم کنش کولنی دور-برد یک برهم کنش دوقطبی-دوقطبی میان این دو نانوذره به وجود می آید و به آنها اجازه می‌دهد تا با یکدیگر جفت شوند که این فرآیند به هندسه نانوذرات وابستگی زیادی دارد و زمانی که انرژی اکسایتون در نزدیک قله پلاسمونی واقع شود جفت شدگی به شدت قوی می‌شود. جفت شدگی اکسایتون-پلاسمون در ساختارهای ترکیبی گستره وسیعی از فرصت‌ها را برای کنترل برهم کنش نور و ماده ایجاد می‌کند. برای این سیستم ترکیبی دو رژیم متفاوت مشاهده شده است که رژیم خطی تحت میدان الکتریکی خارجی ضعیف و رژیم غیرخطی تحت میدان الکتریکی خارجی قوی به‌وجود می‌آیند. چنین ساختارهایی ممکن است پدیده‌های فیزیکی جدیدی از قبیل: شکل فانوی[1]نامتقارن[۱۰ و ۱۱] ، شفافیت القایی اکسایتون[2]-پلاسمونیک[3][۱۲ و ۱۳] را به نمایش بگذارند. اثر فانوی غیرخطی نتیجه‌ای از تداخل میان میدان الکتریکی خارجی و میدان الکتریکی القایی است که در درون سیستم ترکیبی به‌وجود می‌آید.

اس پیری دان[4] و همکارانش در سال ۲۰۱۳ اثرات اپتیکی یک نقطه‌ی کوانتومی و نانوذره فلزی کروی را بررسی کردند: برای توصیف سیستم ترکیبی، با استفاده از تقریب جرم موثر و موج چرخان حل دقیقی برای پذیرفتاری خطی نقطه‌ی کوانتومی به‌دست آوردند و وابستگی جذب به اندازه سیستم ترکیبی را با جزئیات مورد بررسی قرار دادند. به وسیله کنترل پارامترهای هندسی ساختار ترکیبی و فاصله میان ذرات افزایش قابل توجهی از پاسخ خطی را مشاهده کردند[۱۴].

هدف این پایان نامه بررسی فرآیندهای جذب خطی و غیرخطی در یک سیستم ترکیبی شامل یک نقطه‌ی کوانتومی کروی و نانوذرات فلزی کروی و بررسی تاثیر نانوذره فلزی کروی بر فرآیند جذب انجام گرفته توسط نقطه‌ی کوانتومی است. سپس در فصل

[1] fono
[2] exciton
[3] plasmonic
[4] Spyridon

دوم بـه مقدمـه‌ای از فیزیـک نیمرسـاناها و معرفـی نقطـه‌ی کوانتـومی و نـانوذره فلـزی پرداختـه مـی‌شـود[۱۵]. در فصـل سـوم مبـاحثی از اپتیـک غیرخطـی و فرآینـدهای غیرخطـی از قبیـل قطـبش مرتبـه سـوم آورده شـده اسـت. در ایـن فصـل بـرای محاسـبه‌ی ضـریب پـذیرفتاری سـه روش معرفی شـده اسـت[۱۶]. فصـل چهـارم بـا محاسـبه میـدان الکتریکـی القـایی درون نقطـه‌ی کوانتـومی کـروی در مـورد ضـریب پـذیرفتاری مرتبـه‌ی اول خطـی و مرتبـه سـوم غیرخطـی بحث شده است. در فصل آخر نتیجه‌گیری کلی ارائه شده