دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

پایان نامه برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک اتمی و مولکولی

گروه فیزیک

عنوان:

پراکندگی نور توسط نانوآنتن‌ها

عباس مدبر

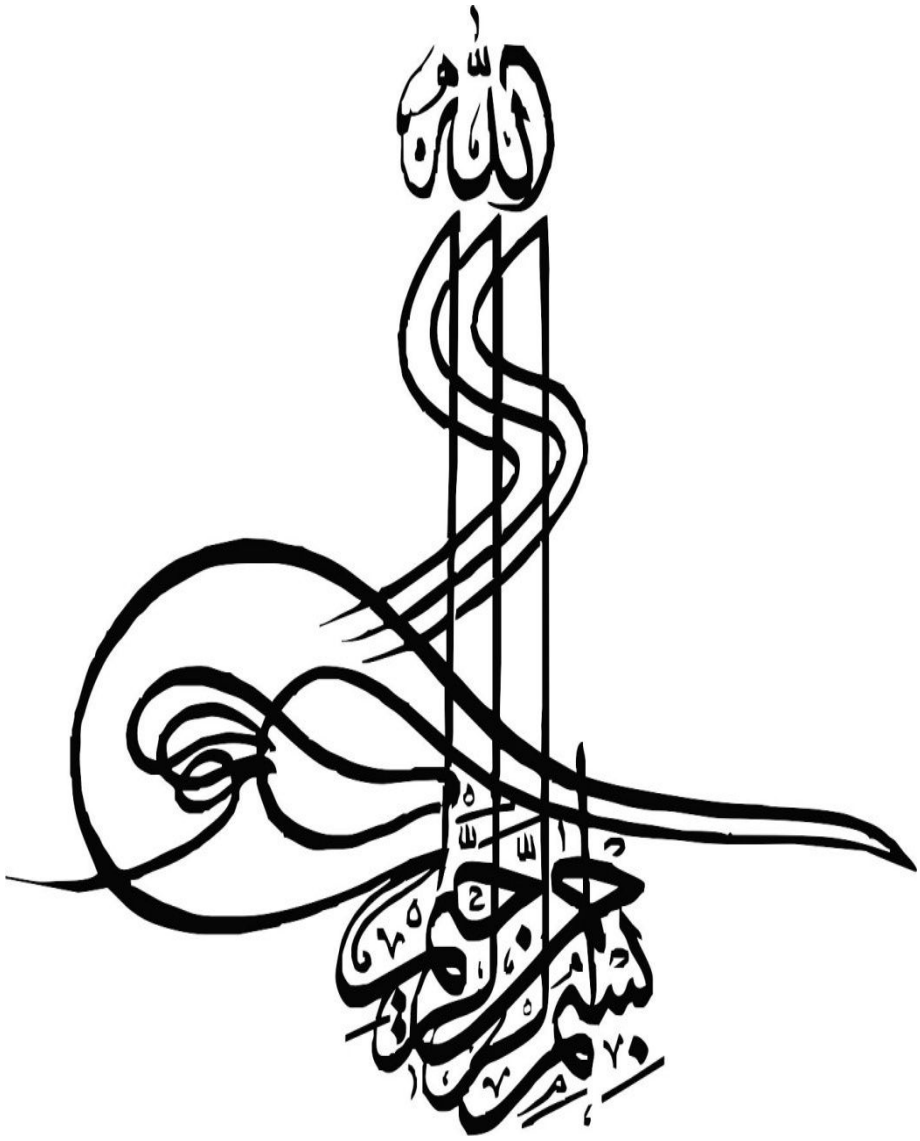
استاد راهنما :

دکتر احمد محمدی

استاد مشاور :

دکتر عبدالرسول قرائتی

تیر ماه ۱۳۹۰


الله
بسم الله الرحمن الرحيم

این پایان نامه تحت حمایت مالی ستاد نانو کشور می باشد

دانشگاه پیام نور شیراز

دانشکده علوم پایه

پایان نامه برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک اتمی و مولکولی

گروه فیزیک

پراکندگی نور توسط نانوآنتن‌ها

عباس مدبر

استاد راهنما:

دکتر احمد محمدی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی

تیرماه ۱۳۹۰

تاریخ : .....
شماره : .....
پیوست : .....

جمهوری اسلامی ایران
ارت علوم، تحقیقات وفناوری

دانشگاه پیام نور استان فارس
باسمه تعالی

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد آقای **عباس مدبر** دانشجوی رشته **فیزیک گرایش اتمی و مولکولی** به شماره دانشجویی **۸۶۸۱۰۳۳۰۳** با عنوان:

" پراکندگی نور توسط نانو آنتن‌ها"

با حضور هیات داوران در روز **پنج‌شنبه** مورخ **۱۳۹۰/۴/۳۰** ساعت **۹ صبح** در محل ساختمان **غدیر** دانشگاه **پیام نور شیراز** برگزار شد و هیأت داوران پس از بررسی، پایان‌نامه مذکور را شایسته نمره به عدد ۱۸/۰۸ به حروف هجده و هشت صحیح با درجه عالی تشخیص داد.

ردیف	نام و نام خانوادگی	هیات داوران	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه	امضاء
۱	دکتر احمد محمدی	راهنما	استادیار	خلیج فارس	
۲	دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی	مشاور	دانشیار	پیام نورشیراز	
۳	دکتر نسرین حسینی‌مطلق	داور	استادیار	آزاد اسلامی شیراز	
۴	دکتر بهمن یوسفی	نماینده تحصیلات تکمیلی	استاد	پیام نور شیراز	

رئیس اداره تحصیلات تکمیلی

دانشگاه پیام نور
معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی

شیراز- شهرک گلستان، بلوار دهخدا
قبل از نمایشگاه بین المللی
تلفن : ۳-۶۲۲۲۲۴۰-۰۷۱۱
دورنگار: ۶۲۲۲۲۴۹-۰۷۱۱
صندوق پستی :۱۳۶۸ - ۷۱۹۵۵
www.spnu.ac.ir
Email : admin@spnu.ac.ir

اینجانب *عباس مدبر* دانشجوی ورودی سال ۱۳۸٦ مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک اتمی و مولکولی گواهی می‌نمایم چنانچه در پایان‌نامه خود از فکر، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته‌ام با نقل قول مستقیم یا غیرمستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده‌ام. بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می‌دانم و جوابگوی آن خواهم بود .

دانشجو تائید می‌نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می‌باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است .

عباس مدبر تاریخ و امضاء ۹۰/٤/۳۰

اینجانب *عباس مدبر* دانشجوی ورودی سال ۱۳۸٦ مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک گواهی می‌نمایم چنانچه بر اساس مطالب پایان‌نامه 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 .

عباس مدبر تاریخ و امضاء ۹۰/٤/۳۰

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

تیر ۱۳۹۰

تقدیم به روح جاودان پدرم و مهر بی‌همتای مادرم

تقدیم به همسر عزیزم که بی‌یاری او این مهم دست یافتنی نبود

و تقدیم به گلهای زندگی‌ام سهند و آتیلا

تشکر و تقدیر

سپاس بی‌پایان پروردگاری را که به انسان نیروی اندیشه و بیان عطا فرمود، تا بتوانیم به رهبری آن و به یاری حکمت، اندیشه خود را بارور ساخته، ذهن خویش را روشن سازیم، و هر چه بیشتر به رموز هستی و قدرت صنعتش پی ببریم و چون پویندگان راستین راه حق، در تعظیم و تکریمش بکوشیم.

در آغاز لازم می‌دانم از زحمات همسر عزیزم که در دوران تحصیل همواره مشوق و پشتیبانم بوده است کمال تشکر را بنمایم. همچنین از زحمات اساتید محترم و دانشجویان صمیمی و مهربان دانشگاه پیام نور شیراز و دانشگاه خلیج فارس بوشهر، و به خصوص جناب آقای دکتر احمد محمدی عضو هیات علمی دانشگاه خلیج فارس (استاد راهنمای محترم)، جناب آقای دکتر عبدالرسول قرائتی عضو هیات علمی و مدیر گروه بخش فیزیک دانشگاه پیام نور شیراز (استاد مشاور محترم) و جناب آقای دکتر رضا محمدی عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور، که با راهنمایی‌های مختلف خود در راستای انجام این پایان نامه راه‌گشای اینجانب بوده‌اند، کمال تشکر و سپاس‌گذاری را دارم

چکیده

هرگاه موج الکترومغناطیس بر روی نانوذرات فلزی تابیده شود، میدان الکتریکی موج تابشی، الکترون‌های باند هدایت فلز را به نوسان در می‌آورد. نوسان گروهی و هم زمان الکترون‌های باند هدایت پلاسمون نامیده می‌شود. در فلزات نجیب و در بسامدهایی خاص، نوسان پلاسمون‌ها تشدید می‌شود که این پدیده، تشدید پلاسمون‌های سطحی جایگزیده(LSPR) نامیده می‌شود.

تشدید پلاسمون‌های سطحی نانوذرات فلزات نجیب دارای کاربردهای بسیار زیادی می‌باشد که برای دست‌یابی به آن‌ها، لازم است که بسامد تشدید تنظیم گردد. چندین عامل در تنظیم بسامد SPR نانوذرات تاثیر دارد. این عوامل عبارتند از اندازه، شکل و جنس نانوذرات و هم چنین ضریب شکست محیط دی‌الکتریک اطراف نانوذره. اعمال تغییر در هر یک از عوامل فوق موجب تغییر در منحنی سطح مقطع پراکندگی می‌شود که نشان دهنده تغییر در SPR می‌باشد.

در این تحقیق SPR نانوذرات و نانوآنتن‌های مس، نقره و طلا مورد بررسی قرار گرفته است. ما با استفاده از روش عددی المان متناهی، سطح مقطع پراکندگی این نانوآنتن‌ها را محاسبه کرده و در مورد تاثیر ضریب شکست محیط، اندازه و شکل نانوذرات و هم‌چنین فاصله جدایی نانوآنتن‌ها بر تشدید پلاسمون‌های سطحی، تحقیق کرده‌ایم.

لغات کلیدی

نانوآنتن، پلاسمون، تشدید پلاسمونی، پراکندگی نور

فهرست عناوین

صفحه

۱ مقدمه ۱

۱-۱ تاریخچه ۲

۱-۲ تشدید پلاسمونهای سطحی جایگزیده ۳

۱-۲-۱ نانوآنتنها و کاربردهای خاص آنها ۳

۱-۲-۲ تنظیم تشدید پلاسمونهای سطحی جایگزیده ۸

۱-۲-۳ تنظیم تشدید پلاسمونهای سطحی و افزایش راندمان سلولهای خورشیدی ۱۳

۲ روشهای عددی در حل مسایل الکترومغناطیس ۱۶

۲-۱ تئوری الکترومغناطیس امواج ۱۶

۲-۱-۱ معادلات ماکسول در خلا برای میدانهای الکتریکی و مغناطیسی ۱۶

۲-۱-۲ معادلات ماکسول در محیط مادی ۱۷

۲-۲ روش‌های عددی ۲۰

۲-۳ روش تفاضل متناهی بازه زمانی (FDTD) ۲۱

۲-٤ روش چند قطبی چندتایی (MMP) ۲۲

۲-٤-۱ روش المان متناهی (Finite Element Method) ۲۲

۲-٤-۱-۱حل مسایل الکترومغناطیس یکبعدی به روش المان متناهی ۲۳

۲-٤-۱-۲حل مسایل الکترومغناطیس به روش المان متناهی در دو بعد ۲۶

۳ پراکندگی نور ۳۳

۳-۱ تئوری می ۳۳

۳-۱-۱ نظریه می در دو بعد ۳۳

۳-۱-۲ نرم‌افزار COMSOL ۳۶

۳-۱-۲-۱روش حل مساله پراکندگی توسط نرم‌افزار COMSOL ۳۷

۳-۱-۲-۲محاسبه انتگرال بردار پویین‌تینگ ٤۰

۳-۱-۳ مدل لورنتس ٤۲

3-1-4 مدل درود ٤۳

٤ تنظیم تشدید پلاسمون‌های سطحی ٤۵

٤-۱ بررسی تاثیر خواص فیزیکی نانوذرات بر تشدید پلاسمون‌های سطحی ٤۶

٤-۱-۱ تأثیر تغییرات شعاع نانوذرات بر تشدید پلاسمونهای سطحی ٤۷

٤-۱-۱-۱تاثیر شعاع بر تشدید پلاسمونی نانوذرات طلا ٤۷

٤-١-١-٢تاثیر شعاع بر تشدید پلاسمونی نانوذرات نقره ٤٨
٤-١-٢ تاثیر ضریب شکست محیط بر تشدید پلاسمونهای سطحی نانوذرات ٤٩
٤-١-٢-١تاثیر ضریب شکست محیط بر تشدید پلاسمونی نانوذرات طلا ٥٠
٤-١-٢-٢تاثیر تغییرات ضریب شکست محیط بر تشدید پلاسمونی نانوذرات نقره ٥١
٤-١-٣ تأثیر شکل نانوذرات بر تشدید پلاسمونهای سطحی ٥٢
٤-١-٤ تأثیر تغییر جنس نانوذرات بر تشدید پلاسمونهای سطحی ٥٤
٤-٢ بررسی تاثیر خواص فیزیکی نانوآنتنها بر تشدید پلاسمونهای سطحی ٥٥
٤-٢-١ تاثیر فاصله مرکز تا مرکز بر تشدید پلاسمونهای سطحی ٥٦
٤-٢-١-١تاثیر فاصله مرکز تا مرکز بر تشدید پلاسمونی نانوآنتنهای طلا ٥٧
٤-٢-١-٢تاثیر فاصله مرکز تا مرکز بر تشدید پلاسمونی نانوآنتنهای نقره ٥٨
4-2-2 تاثیر ضریب شکست محیط بر تشدید پلاسمونهای سطحی ٥٩
٤-٢-٢-١تاثیر ضریب شکست محیط بر تشدید پلاسمونی نانوآنتنهای طلا ٦٠
٤-٢-٢-٢تاثیر ضریب شکست محیط بر تشدید پلاسمونی نانوآنتنهای نقره ٦١
٤-٢-٣ تاثیر تغییر شعاع نانوذرات بر تشدید پلاسمونهای سطحی نانوآنتنها ٦٣
٤-٢-٣-١تاثیر تغییر شعاع نانوذرات بر تشدید پلاسمونی نانوآنتنهای طلا ٦٤
٤-٢-٣-٢تاثیر تغییر شعاع نانوذرات بر تشدید پلاسمونی نانوآنتنهای نقره ٦٥
٤-٢-٤ تغییر توام فاصله مرکز تا مرکز و ضریب شکست ٦٧
٤-٢-٥ تاثیر جنس نانوذرات بر تشدید پلاسمونی نانوآنتنها ٦٨
٤-٢-٦ تاثیر شکل نانوذرات بر تشدید پلاسمونی نانوآنتنها ٦٩
٤-٣ جمعبندی ٧٠

٥ جمعبندی نتایج ٧٣

منابع و مراجع ٧٦

فهرست اشکال

صفحه

شکل ۳-۱ **پنجره اصلی نرم‌افزار** COMSOL ۳۷

شکل ۳-۲ **فضای اولیه مساله پراکندگی** ۳۹

شکل ۳-۳ مولفه H_z نور پراکنده شده توسط ذره دی‌الکتریک ۳۹

شکل ۳-٤ مولفه E_z نور پراکنده‌شده توسط دو ذره دی‌الکتریک ٤۱

شکل ٤-۱ تشکیل دوقطبی الکتریکی در نانوذرات فلزی بر اثر تشدید پلاسمون‌های سطحی جایگزیده ٤٥

شکل ٤-۲ تاثیر تغییرات شعاع بر سطح مقطع پراکندگی نور توسط نانوذرات طلا- افزایش شعاع نانوذرات، افزایش سطح مقطع پراکندگی و افزایش عرض FWHM را به دنبال دارد..... ٤۸

شکل ٤-۳ تاثیر تغییرات شعاع بر سطح مقطع پراکندگی نور توسط نانوذرات نقره. افزایش شعاع نانوذرات موجب افزایش سطح مقطع پراکندگی و افزایش عرض FWHM میشود..... ٤۹

شکل ٤-٤ تاثیر تغییرات ضریب شکست محیط بر سطح مقطع پراکندگی نور توسط نانولوله‌های طلا. افزایش ضریب شکست محیط، موجب انتقال سرخ، افزایش ارتفاع بیشینه و پهن شدگی منحنی شده است. ۵۱

شکل ٤-۵ تاثیر تغییرات ضریب شکت محیط بر نالوله‌های نقره. افزایش ضریب شکست محیط در مورد نانوذرات نقره نیز مانند نانوذرات طلا انتقال سرخ، افزایش ارتفاع و پهن شدگی به دنبال دارد. ۵۲

شکل ٤-٦ تاثیر شکل سطح مقطع نانولوله بر تشدید پلاسمون‌های سطحی نانوذرات طلا. تغییر شکل در راستای تابش فقط انتقال سرخ یا آبی به همراه دارد، ولی تغییر شکل در راستای عمود بر تابش علاوه برانتقال سرخ یا آبی، ارتفاع بیشینه را نیز تغییر می‌دهد..... ۵۳

شکل ٤-۷ اختلاف بین منحنیهای سطح مقطع پراکندگی نانوذرات نقره، طلا و مس. ارتفاع منحنی در نانوذرات نقره نسبت به طلا و مس بیش‌تر بوده و امواج کوتاه‌تری را پراکنده میکند..... ۵۵

شکل ٤-۸ نانولوله‌هایی که در کنار هم و به موازات یکدیگر تشکیل نانوآنتن داده‌اند..... ۵٦

شکل ٤-۹ تابش موج الکترومغناطیس بر نانوآنتنی از جنس نقره. موج الکترومغناطیس عمود بر خط واصل مرکز تا مرکز نانوآنتن بوده و در صفحه شکل واقع می‌باشد. میدان الکتریکی نور تابشی موجب ایجاد دوقطبی الکتریکی در هر یک از نانوذرات شده است..... ۵۷

شکل ٤-۱۰ تاثیر افزایش فاصله مرکز تا مرکز نانوذرات طلا بر سطح مقطع پراکندگی. ادغام بیشینه‌های اصلی و فرعی و انتقال آبی بیشینه اصلی، نتیجه افزایش فاصله مرکز تا مرکز نانوآنتن‌های طلا می‌باشد. ۵۸

شکل ٤-۱۱ تاثیر افزایش فاصله مرکز تا مرکز نانوذرات بر نانوآنتن‌های نقره. نانوآنتن‌های نقره با افزایش فاصله مرکز تا مرکز، ادغام بیشینه‌های اصلی و فرعی و انتقال آبی بیشینه اصلی را به دنبال دارند. ٦۰

شکل ٤-١٢ تاثیر افزایش ضریب شکست محیط بر نانوآنتن‌های طلا. نتیجه افزایش ضریب شکست محیط، افزایش ارتفاع و انتقال سرخ بیشینه‌ها و هم چنین جدا شدن دو بیشینه اصلی و فرعی از هم می‌باشد. ٦١
شکل ٤-١٣ تاثیر افزایش ضریب شکست محیط بر نانوآنتن‌های نقره. افزایش ضریب شکست محیط موجب افزایش ارتفاع بیشینه فرعی، انتقال سرخ بیشینه‌ها و جدا شدن بیشینه‌های اصلی و فرعی از هم شده است. ٦٢
شکل ٤-١٤ تاثیر افزایش ضریب شکست محیط توام با کاهش فاصله مرکز تا مرکز نانوآنتن‌های طلا بر منحنی سطح مقطع پراکندگی ٦٣
شکل ٤-١٥ فاصله مرکز تا مرکز و فاصله جدایی نانوآنتن‌ها ٦٤
شکل ٤-١٦ تاثیر افزایش شعاع سطح مقطع نانولوله‌ها بر تشدید پلاسمونی نانوآنتن‌های طلا. با افزایش شعاع نانولوله‌های تشکیل دهنده نانوآنتن‌های طلا، دو بیشینه از هم جدا شده، ارتفاع آن‌ها افزایش یافته، FWHM عریض‌تر شده و بیشینه اصلی انتقال سرخ داشته است. ٦٥
شکل ٤-١٧ تاثیر افزایش شعاع بر تشدید پلاسمونی نانوآنتن‌های نقره. عریض شدن FWHM ، افزایش ارتفاع بیشینه‌های اصلی و فرعی و انتقال سرخ بیشینه اصلی نتیجه افزایش شعاع نانوذرات می‌باشد. ٦٦
شکل ٤-١٨ تاثیر افزایش ضریب شکست محیط هم زمان با کاهش فاصله مرکز تا مرکز بر سطح مقطع پراکندگی ٦٧
شکل ٤-١٩ منحنی‌های سطح مقطع پراکندگی برای نانوآنتن‌های سه فلز طلا، نقره و مس. شعاع نانوذرات تشکیل دهنده نانوآنتن‌ها ٢٥ نانومتر، فاصله جدایی ٥ نانومتر و ضریب شکست محیط ٢ می‌باشد. بیشینه منحنی نقره در ناحیه نور مرئی واقع شده است. ٦٩
شکل ٤-٢٠ تاثیرات حاصل از تغییرات شکل نانوذرات در تشدید پلاسمونی نانوآنتن‌ها. افزایش(کاهش) شعاع در راستای تابش، انتقال سرخ (آبی) برای بیشینه اصلی و افزایش(کاهش) ارتفاع برای بیشینه فرعی را دارد. افزایش (کاهش) شعاع در راستای عمود بر تابش، انتقال سرخ (آبی) جزیی برای بیشینه فرعی و پهن شدگی و کاهش ارتفاع برای بیشینه اصلی را دارد. ٧٠
شکل ٤-٢١ روش‌های مختلف استفاده از نانوساختارهای فلزی به عنوان تله‌های نوری ٧١

فهرست علائم

لاتین

SCS	سطح مقطع پراکندگی
LSPR	تشدید پلاسمون‌های سطحی جایگزیده
D	فاصله مرکز تا مرکز نانوآنتن‌ها
Dd	فاصله جدایی نانوآنتن‌ها
FWHM	عرض بیشینه منحنی در جایی که ارتفاع بیشینه به $\frac{1}{2}$ ارتفاع خود می‌رسد

۱ مقدمه

انحراف پرتوهای نوری یا دیگر امواج الکترومغناطیسی در مسیرهای تصادفی توسط اختلالات و ذرات موجود در محیط انتشار پراکندگی نامیده می‌شود. پراکندگی نور توسط ذراتی کوچک‌تر از طول موج نور تابشی، پراکندگی ریلی[۱] است که در گازها، مایعات و جامدات بی‌شکل رخ می‌دهد. دلیل آبی بودن رنگ آسمان بر اساس پراکندگی ریلی توجیه می‌شود. هم چنین پراکندگی ریلی منبع اصلی اتلاف سیگنال در فیبرهای نوری است. پراکندگی نور توسط ذرات کروی با هر قطری پراکندگی می[۲] نامیده می‌شود. پراکندگی ریلی حالت خاصی از پراکندگی می به‌شمار می‌آید. چنانچه شکل ذرات پراکننده کروی صرف در نظر گرفته نشود، پراکندگی حاصل پراکندگی تیندال[۳] نامیده می‌شود. پراکندگی نور و دیگر امواج الکترومغناطیس توسط فنون‌ها پراکندگی بریلوئن[۴] بوده و بالاخره پراکندگی رامان[۵] پراکندگی غیرالاستیک نور را تشریح می‌کند.

---

[1] Rayleigh scattering

[2] Mie scattering

[3] Tyndall scattering

[4] Brillouin scattering

[5] Raman scattering

۱-۱ تاریخچه

نانوذرات فلزات نجیب جذب و پراکندگی شدیدی در برابر تابش امواج الکترومغناطیس از خود نشان می‌دهند. این جذب و پراکندگی زمانی رخ می‌دهد که نوسان گروهی الکترون‌های باند هدایت فلز (پلاسمون‌های) تشدید شود. در سال ۱۹۰۲ در دانشگاه جان هاپکینز[1] آمریکا، وود[2] اعلام کرد زمانی که او نور پلاریزه را بر روی سطحی فلزی با زیر لایه‌ی توری پراش تابانیده، الگویی نامتعارف از نوارهای روشن و تاریک در نور منعکس شده پدیدار گشته است(۱)(۲). هر چند وود در مورد عکس‌العمل نور با فلز و توری پراش تحقیقات و مطالعات بسیار زیادی انجام داد، ولی جواب روشن و قانع کننده‌ای برای این پدیده غیرعادی نیافت. در سال ۱۹۰۷ ریلی تئوری دینامیکی توری پراش خود را عنوان نمود که این تئوری بر پایه بسط پراکندگی امواج الکترومغناطیسی می‌باشد(۳). در دهه پنجاه بوهم[3] و پاینز[4] تحقیقاتی در رابطه با تلفات انرژی بر اثر تحریک الکترون‌های باند هدایت انجام دادند(٤)(٥)(٦). در اواخر دهه شصت تحریک اپتیکی پلاسمون‌های سطحی(الکترون‌های باند هدایت) به روش تضعیف انعکاس کلی در منشور توسط کرتسمن[5] انجام گردید(۷). تحریک الکترون‌های باند هدایت فلزات توسط میدان الکتریکی امواج الکترومغناطیس و در نتیجه آن نوسان

[1] John Hopkins University

[2] Wood

[3] Bohm

[4] Pines

[5] Kretschmann

گروهی این الکترون‌ها، پلاسمون‌های سطحی نامیده می‌شوند. تشدید پلاسمون‌های سطحی در برخی از بسامدهای نور تابشی تشدید پلاسمونی و بسامدهای مذکور، بسامد تشدید نامیده می‌شود.

۱-۲ تشدید پلاسمون‌های سطحی جایگزیده

استفاده از توری شکست برای تحریک پلاسمون‌های سطحی توسط کولن[1] انجام گردید(۸). تشدید پلاسمون‌های سطحی (SPR) بر پایه توری شکست از سال ۱۹۸۰ مورد بررسی قرار گرفته است که این روش در شیمی و بیولوژی کاربردهای فراوانی دارد. این پدیده علاوه بر سطوح فلزی در درون نانوذرات فلزی نیز می‌تواند رخ دهد که در این صورت با توجه به محدود بودن الکترون‌های باند هدایت در درون نانوذره، موج به‌وجود آمده در زیر سطح فلز منتشر نشده و" تشدید پلاسمون‌های سطحی جایگزیده[2]" نامیده می‌شود(۹). تشدید پلاسمون‌های سطحی جایگزیده نانوذرات فلزات نجیب از جمله طلا، نقره و مس کاربردهای فراوانی در اکثر شاخه‌های علوم و مهندسی دارد که به تعدادی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

۱-۲-۱ نانوآنتن‌ها و کاربردهای خاص آن‌ها

هر گاه دو نانوذره از جنس فلزات نجیب در کنار هم قرار گیرند تشکیل نانوآنتن می‌دهند. زمانی که موج الکترومغناطیس بر نانوآنتن‌ها می‌تابد میدان الکتریکی نور تابشی، پلاسمون‌های سطحی نانوذرات تشکیل دهنده نانوآنتن را تشدید می‌کند. در اثر این تشدید یک میدان نزدیک

---

[1] Cullen

[2] Locallized Surface Plasmon Resonance(LSPR)

الکترومغناطیسی بسیار قوی در فاصله‌ی میانی دو نانوذره تشکیل می‌شود. همین میدان نزدیک الکترومغناطیسی است که به نانوآنتن‌ها قابلیت آنتن بودن را می‌دهد. نانوآنتن‌ها مانند آنتن‌های دوقطبی عمل می‌کنند با این تفاوت که به جای جذب امواج رادیویی، امواج کوتاه‌تر و نور مرئی را جذب می‌کنند. نانوآنتن‌های فلزات نجیب کاربردهای بسیار وسیع و گسترده‌ای دارند. تعدادی از معروف‌ترین کاربردهای تشدید پلاسمون‌های نانوذرات و نانوآنتن‌های فلزات نجیب عبارتند از:

- میکروسکوپی: زمانی که نور منتشر شونده بر یک عدسی می‌تابد، عدسی نور را کانونی می‌کند. ناحیه‌ای که پرتو نور کم‌ترین عرض را داراست، کمر پرتو نامیده می‌شود. هرچه عدسی نور را بیش‌تر کانونی کند، قطر کمر پرتو کوچک‌تر می‌باشد و هر چه قطر کمر کوچک‌تر باشد، قدرت تفکیک عدسی بالاتر رفته و اجسام ریزتری می‌توان با آن آشکارسازی نمود. قطر کمر پرتو در کم‌ترین مقدار خود، حداکثر می‌تواند نصف طول موج باشد. این محدودیت به‌دلیل وجود حد پراش نور منتشر شونده می‌باشد (۱۰). چون طول موج نور مرئی حدودا ٤۰۰ الی ۷۰۰ نانومتر می‌باشد. در نتیجه کمر پرتو می‌تواند ۲۰۰ نانومتر باشد. این به آن معنی است که کوچک‌ترین ذره‌ای که می‌توان با عدسی‌های معمولی دید، بزرگ‌تر از ۲۰۰ نانومتر می‌باشد (۱۱).

با جایگزین کردن نانوآنتن به جای عدسی‌های معمولی، می‌توان ذراتی به اندازه یک صدم طول موج نور تابشی را آشکارسازی نموده و تصویر برداری کرد. با تابش نور بر نانوآنتن‌ها بر اثر تشدید پلاسمون‌های سطحی جایگزیده، در سطح نانوذرات تشکیل دهنده نانوآنتن نور میدان نزدیک یا نور ناپایا تولید می‌شود. نور ناپایا محدودیت حد پراش نداشته

و در فاصله میانی نانوآنتن کانونی می‌شود. در این صورت می‌توان ذراتی به اندازه چند نانومتر را با میکروسکوپ آشکارسازی کرد (۱۱).

- شبکه‌های کامپیوتری ایمن: اگر در شبکه‌های کامپیوتری به جای الکترون از تک فوتون‌ها به عنوان رسانه برای ارسال اطلاعات استفاده گردد، از آن جایی که فوتون جذب نمی‌شود و یا در صورت جذب فنا می‌گردد، لذا هرگونه سرقت اطلاعات در میانه‌ی راه بلافاصله تشخیص داده می‌شود. یکی از روش‌های استفاده از تک فوتون به جای الکترون در شبکه‌های کامپیوتری، استفاده از نانوآنتن‌ها به عنوان گیرنده در آن سوی شبکه می‌باشد، (۱۱).
- سلول‌های خورشیدی با راندمان بالا: با به‌کارگیری نانوذرات فلزات نجیب در سطح نیمه هادی سلول‌های خورشیدی، این نانوذرات نور خورشید را به شدت پراکنده نموده و طول مسیر نوری را افزایش می‌دهند، که این عامل موجب بالا رفتن راندمان در سلول‌های خورشیدی می‌شود. ضمن این‌که به این طریق می‌توان سلول‌های بسیار باریک در حد چندصد نانومتر ایجاد نمود و با کم کردن مواد به‌کار رفته در آن، قیمت تمام شده سلول را پایین آورد(۱۲).
- دستگاه‌های خنک کننده: با استفاده از نانوآنتن‌های فلزات نجیب، می‌توان امواج مادون قرمز را جذب نمود. با دست‌یابی به این فناوری می‌توان گرمای دستگاه‌های الکترونیکی که به صورت امواج مادون قرمز ساطع می‌شود را جذب نموده و این دستگاه‌ها را خنک کرد. ضمن این‌که با به‌کارگیری یکسو کننده‌های مناسب می‌توان این امواج را به انرژی الکتریکی

مفید تبدیل نمود و یا با نصب این نانوآنتن‌ها در پشت بام منازل، سلول‌هایی خورشیدی ساخت که حتی شب‌ها و روزهای ابری که نور مستقیم خورشید وجود ندارد، قادر به تولید جریان الکتریکی هستند (۱۱). ایده استفاده از نانوآنتن‌ها برای جذب انرژی خورشیدی اولین بار توسط روبرت بایلی[1] در سال ۱۹۷۲ شکل گرفت.

- کنترل گسیل خودبه‌خودی: گسیل خودبه‌خودی فرایندی است که طی آن یک منبع نوری مانند اتم، مولکول، نانوکریستال و یا هر ذره دیگر، از یک حالت تحریک شده به حالتی پایدار با انرژی پایین‌تر گذار کرده و فوتونی گسیل می‌کند که انرژی آن برابر اختلاف انرژی بین این دو حالت می‌باشد. گسیل خودبه‌خودی کاربردهای زیادی دارد، از جمله در صفحات نمایش پلاسما، تلویزیون‌های لامپی، تیوب‌های فلوئورسانس، دیودهای نوری و لیزر. هم‌چنین توانایی در کنترل گسیل خودبه‌خودی می‌تواند کاربردهای نوین دیگری به دنبال داشته باشد. سرعت گسیل توسط قانون طلایی فرمی[2] قابل توجیه بوده و به دو عامل بستگی دارد، عامل اتمی یا درونی و عامل بیرونی یا میدانی. عامل درونی یا اتمی، به ساختار اتمی ذره بستگی دارد و عامل بیرونی یا میدانی، به چگالی مدهای الکترومغناطیس موجود در محیط اطراف(۱۳). یکی از روش‌هایی که بتوان عامل میدانی را تحریک نموده و برخی از مدهای مورد نیاز گسیل را خلق کرد، استفاده از نانوآنتن‌های فلزات نجیب است(۱٤). بررسی نظری کنترل کسیل خودبه‌خودی در حوزه الکترودینامیک کلاسیک امکان پذیر است. برای این منظور از مدل دوقطبی الکتریکی در مجاورت نانوذره فلزی استفاده می‌شود. هر اتم

[1] Robert Boily

[2] Fermi's golden rule