

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

گرایش حالت جامد

بررسی پلاسمون سطحی در نانوذرات فلزی

از

متین ساعی صیقلانی

استاد راهنما

دکتر صابر فرجامی شایسته

اسفند 89



شماره:
تاریخ:

باسمه تعالی
صورتجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی کارشناسی ارشد

با تأییدات الهی و با استعانت از حضرت ولی عصر "عج"، دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

خانم **متین ساعی صیقلانی** در رشته فیزیک گرایش **حالت جامد** تحت عنوان:

بررسی پلاسمون سطحی در نانوذرات فلزی

به ارزش ۶ واحد، رأس ساعت ۲/۵ بعد از ظهر روز سه شنبه مورخ ۸۹/۱۲/۱۰ در محل اتاق سمینار دانشگاه علوم

دانشگاه گیلان تشکیل گردید. هیأت داوران به شرح زیر که قبلاً پایات نامه ایشان را مطالعه نموده اند، پس از استماع دفاعیات و پرسشهای لازم در زمینه علمی و تحقیقاتی ایشان، نتیجه را به شرح زیر اعلام می دارند:

پایات نامه نامبرده با نمره و با امتیاز عالی ، بسیار خوب ، خوب ، قابل قبول مورد تأیید قرار گرفت.

پایات نامه در وضع فعلی یا تصحیحات جزئی مورد قبول است و نامبرده نمره و امتیاز عالی ، بسیار خوب ، خوب ، قابل قبول دریافت نمود.

پایات نامه و پروژه به شکل فعلی، مورد تأیید قرار نگرفت و پیشنهاد شد که...

امضا	تخصص	مرتبه دانشگاهی	اعضا هیأت داوران
	حالت جامد	دانشیار	اسناد راهنما: دکتر صابر فرحامی شایسته
			اسناد مشاور:
			۱- استادان یا محققان مدعو:
	حالت جامد	استادیار	۱- دکتر اسعدیار رحامی
	حالت جامد	استادیار	۲- دکتر حمیدرضا مشایخی

نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی: دکتر سعید مهدوی فر
سه نسخه اصل از صورتجلسه توسط نماینده تحصیلات تکمیلی تنظیم و به مدیر گروه تسلیم می شود.
یک نسخه در گروه آموزشی، یک نسخه در آموزش دانشکده و یک نسخه در اداره فارغ التحصیلان دانشگاه نگهداری خواهد شد.

تقدیم بہ

پدر و مادر عزیزم

سپاسگزاری

خداوندگار بخشنده را شکر می‌گوییم که چون همیشه منت نهاد و با الطاف بی‌پایانش در انجام و به پایان رساندن این رساله مرا یاری نمود.

در آغاز لازم می‌دانم از زحمات پدر و مادر گرامی ام و کلیه کسانی که در دوران تحصیل همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده‌اند، کمال تشکر را بنمایم. هم‌چنین از زحمات اساتید محترم و مهربان دانشگاه گیلان و به خصوص استاد ارجمند جناب آقای دکتر فرجامی شایسته که با راهنمایی‌های خود راهگشای اینجانب بوده‌اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ز	چکیده فارسی
ژ	چکیده انگلیسی
1	مقدمه
	فصل اول:
	معرفی پلاسمون سطحی
4	1-1 مقدمه
4	2-1 تابع دی الکتریک
4	1-2-1 مدل درود
7	2-2-1 مقایسه مدل درود با نتایج تجربی
9	3-1 پاشندگی پلاسمون سطحی در صفحه تخت
12	4-1 برانگیختگی پلاسمون سطحی
14	5-1 نانوذرات فلزی
14	1-5-1 پلاسمون سطحی در نانوذرات فلزی
16	6-1 تابع دی الکتریک در نانوذرات
18	7-1 کاربردها

فصل دوم:

بررسی تاثیر شکل نانوذرات بر پلاسمون سطحی

22	مقدمه	1-2
22	تقریب شبه ایستا	2-2
23	قطبش پذیری در مختصات غیر کروی	1-2-2
27	فرکانس پلاسمون سطحی در نانوذرات بیضی گون	3-2
28	بررسی حالات حدی	1-3-2
29	فرکانس پلاسمون سطحی در نانوذرات پخیده و دوکی شکل	2-3-2
32	تاثیر محیط بر فرکانس تشدید پلاسمون سطحی	4-2
33	سطح مقطع جذب در نانوذرات بیضی گون	5-2
35	میرایی پلاسمون سطحی در نانوذرات بیضی گون	6-2

فصل سوم:

بررسی تاثیر اندازه بر پلاسمون سطحی در نانوذرات کروی شکل

38	مقدمه	1-3
38	تئوری Mie	2-3
38	حل معادله موج در مختصات کروی	1-2-3
41	بسط موج تخت بر حسب هماهنگی های کروی	2-2-3
43	میدان پراکنده شده در نانو ذرات کروی شکل	3-2-3

45	محاسبه فرکانس پلاسمون سطحی در نانوذرات کروی شکل	3-3
53	تاثیر محیط بر فرکانس پلاسمون سطحی ذرات کروی شکل	4-3
54	میرایی نوسانات پلاسمون سطحی	5-3
56	سطح مقطع جذب، پراکندگی و خاموشی در نانوذرات کروی شکل	6-3
59	پلاسمون سطحی در نانوذرات کروی شکل فلزات مختلف	7-3
61	تاثیر تابع دی الکتریک بر پلاسمون سطحی در نانوذرات کروی	8-3

فصل چهارم:

پلاسمون سطحی در نانوذرات هسته-پوسته

63	مقدمه	1-4
63	تئوری Mie در نانو ذرات هسته-پوسته	2-4
64	سطح مقطع خاموشی در نانو ساختار های هسته-پوسته	3-4
66	توصیف کیفی پلاسمون سطحی در نانو ساختار های هسته-پوسته	4-4
67	تاثیر محیط در فرکانس پلاسمون سطحی نانو ساختار هسته-پوسته	5-4
68	تاثیر هسته در فرکانس پلاسمون سطحی نانو ساختار هسته-پوسته	6-4

فصل پنجم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

71	نتیجه گیری	1-5
----	------------	-----

صفحه

عنوان

72

پیشنهادات 2-5

73

مراجع

76

پیوست

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان	شکل
6	نمودار ضریب بازتابش نور نسبت به فرکانس در فلز سدیم با فرکانس پلاسما $w_p = 5/6eV$	شکل 1-1
8	مقایسه نتایج تجربی و قسمت حقیقی تابع دی الکتریک مدل درود در فلز طلا	شکل 2-1
8	مقایسه نتایج تجربی و قسمت موهومی تابع دی الکتریک مدل درود در فلز طلا	شکل 3-1
9	فصل مشترک دو ناحیه نیمه بینهایت فلز و دی الکتریک	شکل 4-1
12	نمودار پاشندگی پلاسماون سطحی در فصل مشترک فلز- دی الکتریک	شکل 5-1
13	پیکربندی Otto (سمت راست) و Kretchman (سمت چپ) دو روش استفاده از منشور در برانگیختن پلاسماون سطحی در فصل مشترک فلز و دی الکتریک	شکل 6-1
13	رابطه پاشندگی پلاسماون سطحی، نور در خلا و نور پس از عبور از منشور	شکل 7-1
14	اشکال مختلف نانوذرات طلا	شکل 8-1
15	(الف)- برانگیختگی پلاسماون سطحی در نانوذرات فلزی، (ب)- برانگیختگی پلاسماون سطحی دو قطبی و (پ)- چهار قطبی	شکل 9-1
17	وابستگی میرایی $g(R)$ در مدل درود نسبت به شعاع نانوذرات طلا	شکل 10-1
19	تصویر پراکندگی نور از نانوذرات نقره در اندازه های متفاوت	شکل 11-1
19	(الف)- تصویر نور پراکنده شده از سلول های سرطانی (ب)- سلول های سالم تجمع نانوذرات طلا در اطراف سلول های سرطانی توسط تصویر میکروسکوپ میدان تاریک در فرکانس تشدید پلاسماون سطحی قابل شناسایی است.	شکل 12-1

- شکل 1-2 ذره بیضی گون 23
- شکل 2-2 وابستگی فرکانس پلاسمون سطحی در مد طولی ذرات دوکی شکل نسبت به تغییر $\frac{a}{c}$ در نانوذرات طلا 29
 واقع در خلا $n_{out} = 1$
- شکل 3-2 وابستگی فرکانس پلاسمون سطحی در مد عرضی ذرات دوکی شکل نسبت به تغییر $\frac{a}{c}$ در نانوذرات طلا 29
 واقع در خلا $n_{out} = 1$
- شکل 4-2 وابستگی فرکانس پلاسمون سطحی در مد عرضی ذرات پخیده نسبت به تغییر $\frac{a}{c}$ در نانوذرات طلا 30
 واقع در خلا $n_{out} = 1$
- شکل 5-2 وابستگی فرکانس پلاسمون سطحی در مد طولی ذرات پخیده نسبت به تغییر $\frac{a}{c}$ در نانوذرات طلا 30
 واقع در خلا $n_{out} = 1$
- شکل 6-2 تاثیر محیط بر فرکانس پلاسمون سطحی در مد طولی شکل پخیده در نانوذرات طلا واقع در محیط 32
 با ضریب شکست $n_{out} = 1/33$ و $n_{out} = 1$ و $n_{out} = 1/5$
- شکل 7-2 تاثیر محیط بر فرکانس پلاسمون سطحی در مد عرضی شکل پخیده در نانوذرات طلا واقع در محیط 33
 با ضریب شکست $n_{out} = 1/33$ و $n_{out} = 1$ و $n_{out} = 1/5$
- شکل 8-2 سطح مقطع جذب در نانوذره بیضی شکل طلا در محیط خلا با سه محور نامساوی $a=15\text{nm}$ ، $b=10\text{nm}$ و $c=5\text{nm}$ 34
- شکل 9-2 سطح مقطع جذب در نانوذره با شکل دوکی (خط توپر $\frac{a}{c} = 1/3$ و نقطه چین $\frac{a}{c} = 2$) 35
- شکل 10-2 نمودار قسمت موهومی فرکانس پلاسمون سطحی در شکل دوکی نانوذرات طلا در خلا 36
- شکل 11-2 نمودار قسمت موهومی فرکانس پلاسمون سطحی در شکل پخیده نانوذرات نقره در خلا 36

- شکل 1-3 نمودار بازده سطح مقطع خاموشی بر حسب شعاع نانو ذرات طلا در طول موج $I = 633 \text{ nm}$ 45
- شکل 2-3 نمودار قسمت قسمت TM (نقطه چین) و TE (نقطه خط) سطح مقطع خاموشی کل (خط توپر) 46
- بر حسب شعاع نانو ذرات طلا در طول موج $I = 633 \text{ nm}$
- شکل 3-3 وابستگی فرکانس پلاسمون سطحی درجه های مختلف قطبش ($n=1,2,..5$) در نانو ذرات کروی شکل 49
طلا در محیط خلا.
- شکل 4-3 وابستگی فرکانس پلاسمون سطحی درجه های مختلف قطبش ($n=1,2,..5$) در نانو ذرات کروی شکل 50
نقره در محیط خلا.
- شکل 5-3 وابستگی فرکانس پلاسمون سطحی درجه های مختلف قطبش ($n=1,2,..5$) در نانو ذرات کروی شکل 51
طلا در محیط خلا. مقدار $w_n(R_n)$ شرایط تشدید در هریک از شعاع های $R_{n=1} = 94 \text{ nm}$ ،
 $R_{n=2} = 118 \text{ nm}$ و $R_{n=3} = 270 \text{ nm}$ هستند.
- شکل 6-3 وابستگی فرکانس پلاسمون سطحی درجه های مختلف قطبش ($n=1,2,..5$) در نانو ذرات کروی شکل 52
نقره در محیط خلا. مقدار $w_n(R_n)$ شرایط تشدید در هریک از شعاع های $R_{n=1} = 89 \text{ nm}$ ،
 $R_{n=2} = 179 \text{ nm}$ و $R_{n=3} = 279 \text{ nm}$ فراهم می شود.
- شکل 7-3 وابستگی فرکانس پلاسمون سطحی درجه های مختلف قطبش ($n=1,2,..5$) در نانو ذرات کروی شکل 53
نقره در محیط خلا. مقدار $w_n(R = 75 \text{ nm})$ فرکانس تشدید هریک از فرکانس $w_{n=1} = 2/24 \text{ eV}$ ،
 $w_{n=2} = 3/34 \text{ eV}$ ، $w_{n=3} = 3/78 \text{ eV}$ ، $w_{n=4} = 3/91 \text{ eV}$ و $w_{n=5} = 3/96 \text{ eV}$ بدست می آید.
- شکل 8-3 تاثیر محیط بر فرکانس تشدید پلاسمون سطحی در دو محیط خلا (خطوط توپر) و محیط با 54
ضریب شکست $n=1/5$ در دو مد دو قطبی و چهار قطبی.
- شکل 9-3 وابستگی میرایی پلاسمون سطحی نسبت به شعاع نانو ذرات طلا در خلا 55
- شکل 10-3 وابستگی میرایی پلاسمون سطحی نسبت به شعاع نانو ذرات طلا در خلا 56

- شکل 3-11 57 سطح مقطع جذب و پراکندگی بر واحد سطح (بازده جذب و پراکندگی) در شعاع 10nm نانوذرات طلا در محیط با ضریب شکست $n_{out} = 1/5$.
- شکل 3-12 58 سطح مقطع جذب (خط توپر)، پراکندگی (نقطه چین) و خاموشی (نقطه خط) در نانوذرات طلا شعاع $R=70 \text{ nm}$ در محیط $n_{out} = 1/5$. خطوط عمودی مقادیر محاسبه شده برای فرکانس پلاسمون سطحی در هریک از مدهای قطبش دو قطبی $n=1$ ، چهار قطبی $n=2$ و درجه های بالاتر است.
- شکل 3-13 59 نمودار قسمت حقیقی (سمت چپ) و قسمت موهومی فرکانس پلاسمون سطحی $\Omega_n(R)$ در نانوذرات کرومی شکل لیتیم در خلا. خط توپر مد دو قطبی و خط چین مد چهار قطبی نوسانات پلاسمون سطحی است.
- شکل 3-14 60 نمودار قسمت حقیقی (سمت چپ) و قسمت موهومی فرکانس پلاسمون سطحی $\Omega_n(R)$ در نانوذرات کرومی شکل سدیم در خلا. خط توپر مد دو قطبی و خط چین مد چهار قطبی نوسانات پلاسمون سطحی است.
- شکل 3-15 60 نمودار قسمت حقیقی (سمت چپ) و قسمت موهومی فرکانس پلاسمون سطحی در نانوذرات کرومی شکل سزیم در خلا. خط توپر مد دو قطبی و خط چین مد چهار قطبی نوسانات پلاسمون سطحی است.
- شکل 3-16 61 قسمت حقیقی و موهومی فرکانس پلاسمون سطحی در حالت دو قطبی برای مقادیر مختلف g
- شکل 4-1 63 ساختار نانوذره با هسته دی الکتریک و پوسته فلزی
- شکل 4-2 65 نمودار بازده خاموشی نانوذرات با هسته با ضریب شکست $n_{core} = 1/5$ ، با شعاع هسته $R_{core} = 10 \text{ nm}$ و ضخامت مختلف پوسته طلا $t=5,10,15 \text{ nm}$ در محیط خلا با $n_{out} = 1$
- شکل 4-3 67 نمودار بازده خاموشی در نانوذره هسته-پوسته در محیط های مختلف. هسته به ضریب شکست $n_{core} = 1/5$ و شعاع $R_{core} = 10 \text{ nm}$. ضخامت پوسته $t = 5 \text{ nm}$.

صفحه

عنوان

شکل 4-4 نمودار بازده خاموشی در نانوذره هسته-پوسته، با هسته های مختلف در محیط به ضریب شکست $n_{out} = 1/5$ و شعاع هسته 30nm ضخامت پوسته 10 nm.

جدول

جدول 1-1 مقادیر اندازه گیری شده در تابع دی الکتریک

7

چکیده:

بررسی پلاسمون سطحی در نانوذرات فلزی

متین ساعی صیقلانی

پلاسمون سطحی نوسانات تجمعی بار در فصل مشترک فلز و دی الکتریک است. حالت های مختلف پلاسمون سطحی، از انتشار آن در سطح فلز تا پلاسمون سطحی جایگزیده در نانوذرات فلزی مورد بررسی قرار گرفت. برانگیختگی پلاسمون سطحی مسئول خواص نوری منحصر به فرد نانوساختارهای فلزی است. در حد تقریب شبه ایستا هنگامی که اندازه نانو ذرات فلزی در مقایسه با طول موج نور فرودی بسیار کوچکتر باشد، از اثرات تاخیری فاز در سطح ذره می توان چشمپوشی نمود. در این حد نانوذرات بیضی گون با داشتن سه محور دارای تانسور قطبش پذیری دوقطبی در امتداد هر محور هستند. هنگامی که اندازه نانوذره افزایش می یابد اهمیت اثرات تاخیری بیشتر و بیشتر می شود. جابه جایی ابر الکترونی همگن نبوده و درجه های بالاتر قطبش نیز القا می شود. این پدیده توسط تئوری Mie به خوبی توصیف می شود. در این تئوری سطح مقطع پراکندگی و خاموشی بر حسب بسط سری هارمونیک های کروی بدست می آید. تئوری Mie در تقریب درجه اول آن برای توصیف پلاسمون سطحی و خواص نوری نانو پوسته های فلزی مورد استفاده قرار گرفت. در اینجا ما از تئوری Mie برای محاسبه طیف خاموشی نانوذرات کروی فلزی و نانو پوسته ها استفاده کرده ایم. نشان داده شده است که پوسته نازک فلزی به روی هسته کروی دی الکتریک، دارای دو تشدید پلاسمون سطحی مربوط به سطح داخلی و خارجی پوسته است. ما برای نانوذرات بیضی گون از تقریب شبه ایستا برای توصیف پلاسمون سطحی استفاده کرده ایم. این تقریب نشان می دهد پلاسمون سطحی به دو قسمت تقسیم می شود (طولی و عرضی). با افزایش نسبت محور بزرگ به محور کوچک در نانوذره دوکی شکل فرکانس پلاسمون سطحی مد طولی به سمت انرژی کمتر و مد عرضی آن به سمت انرژی بیشتر جابه جا می شود.

کلید واژه: پلاسمون سطحی، نانوذرات، تئوری Mie

Abstract:

Investigation of Surface Plasmon in Metal Nanoparticles

Matin Saie

Surface plasmons are collective charge oscillations that occur at the interface between conductors and dielectrics. They can take various forms, ranging from freely propagating electron density waves along metal surfaces to localized surface plasmon on metal nanoparticles. Surface plasmon excitations are known to contribute to exceptional optical properties of metal nanostructures. In the quasi-static regime, When the size of a metal particle is much smaller than the wavelength of the incident light, phase shifts or, retardation effects of the electromagnetic field over the particle dimension are negligible. In this limit ellipsoids nanoparticles with three different axes have tensor polarizabilities with three different dipole modes. When the size of the particle increases, the radiation effects become more and more important. The displacement of the electronic cloud is no longer homogeneous and high multipolar charge distributions are induced. This fact can be seen from the Mie theory, where the extinction and scattering cross sections are expressed in series expansion of the involved fields, which are described in terms of spherical harmonic functions, such that, the different multipolar excitations and their contribution can be easily identified. The Mie model is a first approximation to describe surface Plasmon and the optical response of metallic nanoshells. In this work we used Mie theory to calculate the optical extinction spectra of metallic spherical nanoparticles and nanoshells. It was demonstrated that a thin shell of a metal surrounding a spherical dielectric core exhibits two surface plasmon resonances associated with the outer and inner surfaces of the shell. For ellipsoids nanoparticles, we used quasistatic approximation to describe surface plasmon. This predicts that the surface plasmon will split into two modes (longitudinal and transverse) as the aspect ratio of the prolate is increased, with the longitudinal plasmon mode red-shifting significantly and the transverse surface plasmon blue-shifting slightly.

Key words: Surface Plasmon, Nano particles, Mie theory

در سال های اخیر نانو فناوری به یکی از زمینه های پیشرو در علم فیزیک، شیمی، مهندسی و زیست شناسی تبدیل شده است. از این میان ساخت و مطالعه نانوذرات فلزی در شکل ها و اندازه های مختلف، به علت کاربردهای فراوان آنها هر چه بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از جالب ترین ویژگی های نانوذرات فلزی، خواص نوری آنهاست، که متناسب با شکل و اندازه نانوذرات تغییر می کند. در نانوذرات فلزی تشدید پلاسمون سطحی¹ مسئول خواص نوری منحصر به فرد آنهاست. پلاسمون سطحی برانگیختگی نوسانات جمعی بار در فصل مشترک فلز و دی الکتریک است. در دو ناحیه نیمه بینهایت فلز و دی الکتریک، امواج پلاسمون سطحی در فصل مشترک دو ناحیه منتشر شده و عمود بر فصل مشترک به صورت نمایی میرا می شوند. در نانوذرات امواج پلاسمون سطحی در سطح نانوذره جایگزیده شده و منتشر نمی شود. از این رو پلاسمون سطحی جایگزیده² نامیده می شود. هنگامی که فرکانس نور فرودی به نانوذرات فلزی، با فرکانس پلاسمون سطحی برابر باشد، تشدید پلاسمون سطحی اتفاق می افتد. فرکانس تشدید پلاسمون سطحی در نانوذرات فلزی به شکل، اندازه و محیطی که نانوذرات در آن قرار دارند بستگی دارد. در فلزات نجیب (طلا، نقره و مس) فرکانس پلاسمون سطحی جایگزیده در منطقه مرئی نور واقع می شود. رنگ های زیبایی که در پنجره های قرون وسطی مشاهده می شود، به علت وجود نانوذرات طلا و نقره در آن شیشه ها و برانگیختگی پلاسمون سطحی در نانوذرات فلزات نجیب است. برانگیختگی پلاسمون سطحی در نانوذرات فلزات کاربرد های فراوانی در حسگر های زیستی و شیمیایی، تصویر برداری بیولوژیکی، نانوانتن ها و سلول های خورشیدی دارد.

بررسی نظری هر کدام از عوامل موثر در فرکانس پلاسمون سطحی (شکل، محیط و اندازه آنها) راه را برای استفاده بهتر از نانوذرات با شکل و اندازه مشخص، برای رسیدن به اهداف خاص هموار می سازد. در این پایان نامه ابتدا به معرفی پلاسمون سطحی در حالت کپه ای و نانوذرات فلزی و تفاوت آن در این دو حالت می پردازیم (فصل اول). بررسی دقیق رابطه فرکانس پلاسمون سطحی جایگزیده با اندازه نانوذرات تنها در شکل های ساده مانند نانوذرات کروی شکل امکان پذیر است. تئوری Mie به بررسی بر همکنش نور با نانوذرات کروی شکل فلزی می پردازد و محل تشدید پلاسمون سطحی در طیف نوری نانوذرات کروی شکل فلزی را به خوبی محاسبه می کند. محاسبه رابطه فرکانس تشدید پلاسمون سطحی در شکل های غیر کروی نانوذرات فلزی از روش های تقریبی مانند تقریب شبه ایستا³ و روش تقریب دو قطبی جدا⁴ و روش تفاضل محدود در حوزه زمان⁵ امکان پذیر است. در اینجا تاثیر شکل در نانوذرات بیضی گون طلا و نقره، با استفاده از تئوری شبه ایستا مورد بررسی قرار داده شده است (فصل دوم). همچنین رابطه بین شعاع نانوذرات و فرکانس پلاسمون سطحی جایگزیده با استفاده از تئوری Mie در نانوذرات کروی شکل، بدست می آید (فصل سوم).

¹ Surface Plasmon Resonance (SPR)

² Localized Surface Plasmon

³ Quasi Static

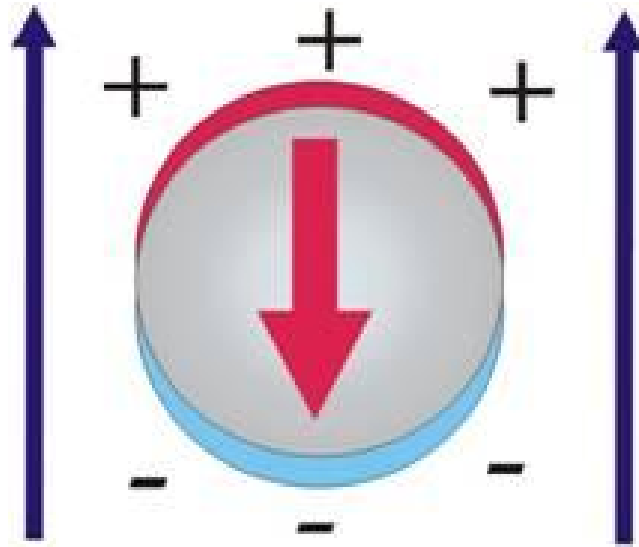
⁴ Discrete Dipole Approximation (DDA)

⁵ Finite Difference Time Domain (FDTD)

نانوذرات هسته-پوسته نوع دیگری از نانوذرات هستند که فرکانس پلاسمون سطحی را در ناحیه مرئی و مادون قرمز طیف نوری از خود نشان می دهند. این نانوذرات از هسته دی الکتریک با لایه ای از فلز تشکیل شده اند. با استفاده از بسط تئوری Mie می توان به بررسی پلاسمون سطحی در نانوذرات هسته-پوسته پرداخت (فصل چهارم). در انتها در فصل پنجم به نتیجه گیری و پیشنهاداتی برای ادامه کار پرداخته شده است.

فصل اول

معرفی پلاسمن سطحی



1-1) مقدمه

برای بررسی پلاسمون سطحی، ابتدا باید رفتار فلزات در مقابل میدان الکترو مغناطیسی نور مورد مطالعه قرار گیرد. پاسخ اپتیکی فلزات توسط تابع دی الکترونیک آنها شناخته می شود. آزمایش های مختلفی برای محاسبه تابع دی الکترونیک انجام شده است [1,2]. از نظر تئوری مدل درود در مورد فلزات ساده به خوبی با نتایج تجربی همخوانی دارد. در نانوذرات تابع دی الکترونیک مدل درود علاوه بر فرکانس به اندازه نانوذرات نیز بستگی دارد. در این فصل با استفاده از تئوری درود به معرفی پلاسمون پرداخته و مدل پلاسمون سطحی در فصل مشترک فلز و دی الکترونیک را بررسی می کنیم. پلاسمون سطحی در نانوذرات با حالت کپه ای متفاوت است، در ادامه این فصل پلاسمون سطحی در نانوذرات را معرفی می کنیم و سپس کاربردهای مختلف تشدید پلاسمون سطحی در نانوذرات فلزی بررسی می شود.

2-1) تابع دی الکترونیک

تابع دی الکترونیک که از نتایج تجربی بدست می آید، از دو قسمت تشکیل شده است. بخشی از آن مربوط به سهم الکترون های آزاد یا گذار درون نواری¹ و بخشی مربوط به سهم الکترون های مقید یا گذار بین نواری² است [3]:

$$e(w) = e_{inter}(w) + e_{intra}(w) \quad 1-1$$

هنگامی که الکترون از باند ظرفیت به باند رسانش گذار انجام دهد گذار بین نواری نامیده می شود. انرژی لازم برای غلبه بر نیروهای برگشتی و برانگیختن الکترون ها در بیشتر فلزات در ناحیه فرا بنفش طیف قرار دارد. در حالیکه در گذار درون بانندی گذار الکترون ها در سطح فرمی اتفاق افتاده و انرژی بسیار کمتری نیاز دارد. سهم مربوط به الکترون های آزاد توسط مدل درود به خوبی توصیف می شود. بخش مربوط به الکترون های مقید از نتایج تجربی بدست می آید.

1-2-1) مدل درود

در مدل درود فرض می شود بارهای مثبت در جای خود ثابتند و ابری از الکترون های آزاد اطراف آنها را احاطه کرده اند. این الکترون ها تحت تاثیر میدان الکترونیک نور شروع به نوسان می کنند. معادله حرکت الکترون ها در میدان الکترونیک به صورت زیر است [4]:

$$m_e \frac{d^2 X(t)}{dt^2} + m_e g \frac{d X(t)}{dt} = -eE(t) \quad 2-1$$

¹ Intraband transition

² Interband transition

که در آن $X(t)$ جابجایی الکترون ها از نقطه تعادل، g میرایی حرکت الکترون ها در اثر برخورد با دیگر یون ها یا نقص های شبکه است. m_e جرم موثر الکترون هاست. با در نظر گرفتن میدان الکتریکی و جابجایی به صورت $E(t) \approx E_0 e^{-i\omega t}$ و $X(t) \approx X_0 e^{-i\omega t}$ در معادله (2-1)، X_0 به صورت به دست می آید:

$$X_0 = \frac{e E_0}{m_e (\omega^2 + i g \omega)} \quad 3-1$$

در فلز با چگالی الکترونی n ، قطبش الکترون های آزاد به چگالی n را با P نشان می دهیم:

$$P = -n e X(t) = \frac{-n e^2 E(t)}{m_e (\omega^2 + i g \omega)} \quad 4-1$$

پذیرفتاری نوری¹ به صورت $C(\omega) = \frac{P(\omega)}{E(\omega)}$ تعریف می شود. رابطه بین پذیرفتاری نوری و تابع دی الکتریک به صورت زیر است:

$$e(\omega) = 1 + \frac{C(\omega)}{e_0} \quad 5-1$$

e_0 گذر دهی خلا بوده و با استفاده از روابط 5-1، 4-1 تابع دی الکتریک به شکل زیر بدست می آید:

$$e_D(\omega) = e_{intra}(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2 + i g \omega} \quad 6-1$$

که در آن ω_p فرکانس پلاسما و برابر است با:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{n e^2}{e_0 m_e}} \quad 7-1$$

کوانتای نوسانات پلاسما، پلاسمون نامیده می شود.

فرکانس پلاسما تقسیم کننده قسمت بازتابنده و شفاف، در طیف بازتابش یا ترا گسیل فلزات است. در انرژی کمتر از فرکانس پلاسما فلزات بازتابنده خوبی هستند، در حالیکه برای انرژی های بالاتر از آن شفاف هستند. فرکانس پلاسما در فلزات در ناحیه فرابنفش واقع شده است. نمودار بازتابش نور از سطح فلز سدیم در شکل (1-1) نشان داده شده است.

¹ Optical susceptibility