بسم الله الرحمن الرحيم

۱۳۸۶/۸/۲۷

۲۹۸۱۲

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده علوم–گروه فیزیک
پایان نامه دکترای فیزیک
گرایش–اتمی مولکولی (فیزیک پلاسما)

عنوان پایان نامه :

بررسی امواج سطحی در سطوح پلاسما و مکانیسم تحریک آنها درچشمه های جدید مایکروویو

۱۳۸۶/۸/۲۷

نگارش : بهرام جزی

استاد راهنما : دکتر بابک شکری

دی ۱۳۸۳

۷۹۸۱۲

به یاد مرحوم پدرم :

(رضا جزی)

و تقدیم به:

مادر ، همسر و فرزند عزیزم

فهرست:----------صفحهٔ

چکیده ای بر کل رساله----------۵

پیشگفتار----------۶

فصل اوّل: مروری بر چشمه های جدیدِ امواج مایکروویو----------۸

فصل دوّم : مبانی نظریه امواج سطحی در محیطهای پلاسما----------۱۹

۲-۱- توصیف پلاسماهای نیمه کراندار به کمک معادله ولاسو و جوابهای معادلات میدان----------۲۰

۲-۲- معادله پاشندگی امواج سطحی بر اساس نظریه بر هم نهی و تطبیق امپدانس----------۲۴

۲-۳- طیف امواج سطحی بر روی سطوح پلاسماهای سرد و نیمه کراندار غیر مغناطیده----------۲۷

۲-۴- نا همگنی در پلاسما و کاربرد تقریب اپتیک هندسی در پلاسماهای مغناطیده----------۲۹

۲-۵- موجبر های استوانه ای پلاسمائی و معادلات امواج در آنها----------۳۷

فصل سوّم : امواج سطحیِ الکترومغناطیسی تکسویه در یک پلاسمای ----------۴۲
نیمه کراندارمغناطیده و تحریک آنها

۳-۱- معادلات میدان در پلاسماهای نیمه کراندار مغناطیدهٔ غیر همگن و همگن----------۴۳

۳-۲- دیاگرامهای پاشندگی و خواص امواج سطحی در سطح یک پلاسمای----------۴۶
نیمه کراندار مغناطیدهٔ همگن

۳-۲-بررسی تحریک امواج سطحی غیر پتانسیلی در سطح یک پلاسمای----------۵۱
نیمه کراندار مغناطیده به کمک یک بیم الکترونی

فصل چهارم : امواج سطحی درموجبرهای پلاسمائی استوانه ای----------۵۷

۴-۱- جفت شدگی معادلات میدان دریک موجبر پلاسمائی استوانه ای----------۵۸

۴-۲- امواج سطحی سمتی غیر پتانسیلی در یک موجبر پلاسمائی مغناطیده----------۶۴
متشکل ازیک ستون پلاسمای حلقوی

۴-۳- امواج سطحی سمتی غیر پتانسیلی در یک موجبر پلاسمائی مغناطیده ----------۷۳
با دیواره دی الکتریک متشکل از یک ستون پلاسمای تو پر

۴-۴- تحریک امواج سمتی ، در یک موجبر پلاسمائیِ مغناطیده شامل یک----------۸۱
لایهٔ پلاسمای حلقوی ، و یک بیم الکترونیِ دوّارِ

۴-۵- تحریک امواج سمتی ، در یک موجبر پلاسمائیِ مغناطیده با دیوارهٔ----------۹۶
دی الکتریک شامل یک ستون پلاسمای توپر و یک بیم الکترونیِ دوّارِ

فصل پنجم : امواج سطحی غیر پتانسیلی دریک موجبرپلاسمائیِ----------۱۰۲
مغناطیده با یک دی الکتریک در محور آن

۵-۱- امواج سطحی غیر پتانسیلی در یک موجبر پلاسمائی مغناطیده قوی با یک دی الکتریک در محور آن ----۱۰۳

۵-۲- تحریک امواج سطحی غیر پتانسیلی به وسیله یک بیم الکترونی حلقوی----------۱۰۸
در یک موجبر پلاسمائی مغناطیده قوی با یک دی الکتریک در محور آن

فصل ششم : مدولاسیون در امواج سطحی در پلاسماهای متحرکِ نیمه کراندار تخت----۱۲۱

۶-۱- مدولاسیون در امواج سطحی در یک پلاسمای نیمه کراندار غیر مغناطیدهٔ جت شده----------۱۲۲

۶-۲- مدولاسیون در امواج سطحی در یک پلاسمای نیمه کراندار مغناطیدهٔ جت شده $\vec{B}_0 \| \vec{u}_0$ ----------۱۲۸

۶-۳- مدولاسیون در امواج سطحی در یک پلاسمای نیمه کراندار مغناطیدهٔ جت شده $\vec{B}_0 \perp \vec{u}_0$ ---------۱۳۲

جمع بندی:----------۱۳۶

منابع و مراجع:----------۱۳۸

تقدیر نامه:

در اینجا وظیفه خود میدانم مراتب تشکر و قدردانی خود را از همیشه استادم جناب آقای دکتر بابک شکری اعلام نمایم که بدون راهنما ئی های استادانهٔ ایشان هرگز نمیتوا نستم دراین حیطه گام بردارم و ایمان دارم که تا رسیدن به مقام شامخ ایشان در هر دو بُعد علمی و اخلاقی ، هزاران فرسنگ باقی است . همچنین مراتب تشکر و قدردانی خود را از جناب آقای پروفسور روخادزه که در سفر یک هفته ای ِ ایشان به ایران ، با شرکت در برنامه های سخنرانی ، از رهنمودهای ارائه شده توسط ایشان بهرمند شدم ، اعلام میدارم. بذل توجه و اعتماد صادقا نه مدیریت محترم گروه فیزیک دانشگاه شهید بهشتی جناب آقای دکتر غفوری و پشتیبانی های ریاست محترم پژوهشکده لیزر دانشگاه شهید بهشتی جناب آقای دکتر لطیفی چیزی نیست که بتوان از آن به سادگی گذشت و من از این بابت از یکایک این عزیزان قدردانی میکنم . تشویق ها و حمایت های خانوادهٔ خود و همچنین خانوادهٔ محترم همسرم ، ره توشه ای بودند برای پیمودن این مسیر ، و از این بابت نیز خود را مدیون ایشان دانسته و مراتب تشکر و قدردانی خود را خدمتشان تسلیم میدارم .

چکیده ای بر کل رساله:

در این رساله با مروری بر سیستم های تولید کنندهٔ امواج مایکروویو ، به معرفی چشمه های جدید امواج مایکروویو در ناحیهٔ فرکانسی ۱GHz–۱۰THz پرداخته و ضمن بررسی تئوریِ انتشار امواج سطحی در سطوح مختلف پلاسمائی ، با مدل نمودنِ چند سیستم پلاسمائی همچون پلاسمای مگنتوسفر زمین و یا موجبرِ چشمه های جدید مایکروویو ، انتشار این امواج و مکانسیم تحریک آنها را در سطوح پلاسمائیِ این نوع سیستم ها مورد بررسی قرار میدهیم و در نهایت پدیدهٔ مدولاسیون در سطوح پلاسماهای نیمه کراندارِ تخت ، به کمک امواج سطحی تجزیه و تحلیل میگردد.

پیشگفتار :

انتشار امواج الکترومغناطیس در محیهای پلاسما و همچنین محیطهای پلاسما گونه ، موضوعی است که در دهه های اخیر بسیار مورد توجه محققان این شاخه از علم فیزیک قرار گرفته و اطلاع از چگونگی وابستگی انتشار این امواج به فاکتورهای محیط پلاسما ، ابزار مناسبی را برای اندازه گیری های پلاسما ئی پیش رو گذا شته که از آن جمله میتوان به اندازه گیری دما ، سرعت و یا چگالی حاملهای الکتریکی در این خصوص اشاره نمود .

در یک محیط پلاسما انتشار امواج توأم با افت و خیزهائی درچگالیهای حاملهای الکتریکیِ آن بوده و تنوع در حرکات مکانیکی این حاملها منشأ بوجود آمدن تنوع در معادلات پاشندگی این امواج در پلاسما میگردد . اثر پذیری انتشار امواج نسبت به اِعمال میدانهای مگنتواستاتیک و الکترواستاتیک در محیط پلاسما ، یکی از شاخص ترین ویژگی انتشار امواج در اینگونه محیطها نسبت به خلأ میباشد . از جمله خاصیت منحصر به فرد دیگری که میتوان برای انتشار امواج در محیطهای پلاسما قائل شد ، انتشار امواج در سطح پلاسماهای کراندار است که ما این امواج را به امواج سطحی میشناسیم . ویژگی مهم این امواج در محیطهای پلاسمای کراندار را میتوان در ماکزیمم بودن دامنهٔ آنها در سطح پلاسما نسبت به نواحی دیگرِ آن دانست .

بطورکلی دراکثرموارد این امواج دارای سرعت فاز کمی میباشند و انرژی الکترومغناطیسی به توسط این امواج در یک لایهٔ نازکِ سطحی منتقل میگردد . همین موضوع باعث کاهش تلفات اهمی در یک فرآیندِ انتقال انرژی به کمک پلاسما میگردد . شرایط مرزی و مدلهای توصیف کنندهٔ رفتار پلاسما درنواحی مرزها ، موضوعی است که نظریه پردازان الکترودینامیکِ پلاسما ، به آن پرداخته و تنوع در توصیف این مدلها به نوبهٔ خود نیز به گوناگونی معادلات پاشندگیِ این امواج می افزاید .

این جزوه به عنوان رساله دکترای فیزیک در گرایش فیزیک اتمی و مولکولی شاخهٔ پلاسما تنظیم یافته و متشکل از شش فصل میباشد . در فصل اوّل تنها بطور کیفی به معرفی چشمه های امواج مایکروویو پرداخته و در ادامه سازو کارهای تجربی ای را که در فصول آتیِ این رساله برای انجام محاسبات نظری ، مدل گردیده معرفی خواهیم نمود.

در فصل دوّم به بررسی کلیِ نظریهٔ انتشار امواج سطحی در پلاسماها خواهیم پرداخت و به دنبال آن به معرفی مدلهای متنوع در توصیف این امواج میپردازیم و نیز با ارائه چند مثالِ نمونه ،کاربرد هر یک از مدلها ارائه خواهد شد . در فصل سوّم با بکار گیری نظریات ارائه شده در فصل دوّم سعی در بدست آوردن معادلات پاشندگی امواج سطحی برروی سطح

یک پلاسمای نیمه کراندار مغناطیده نموده و پیرو آن مکانیسم تحریک این امواج به کمک یک بیم الکترونی را بررسی میکنیم . در فصل چهارم به بررسی کلی انتشار امواج در پلاسما های استوانه ای در یک موجبر استوانه ای در پیکربندی های متفاوت خواهیم پرداخت و در ادامه پاشندگی امواج سطحی را درحالتهائی که قابل تفکیک به دو مد متفاوت باشند بدست می آوریم .بررسیِ مکانیسم تحریک امواج سطحیِ سمتی برای چند پیکربندی از چشمه های مایکروویو در همین فصل ارائه میگردد. در فصل پنجم امواج سطحی منتشره در راستای محورِ یک پیکربندی بسیار جدید از انواع چشمه های مایکروویو را مورد بررسی قرار داده و نشان خواهیم داد آنها نیز به کمک بیم های الکترونی قابل تحریک هستند و در نهایت در فصل ششم بررسی انتشار امواج سطحی را به انتشار این امواج در سطوح پلاسما های تخت نیمه کراندارمغناطیده و غیر مغناطیدهٔ جت شده معطوف داشته و پدیده ای را که طی آن سطح پلاسما دارای یک ساختار تناوبیِ استاتیکی از لحاظ توزیع میدان میگردد ، مورد بررسی قرار میدهیم و در ادامه اثرات وجود میدان مغناطیسی را در حذف این پدیده مشاهده میکنیم . این پایان نامه را در انتها با ارائه یک جمع بندی ازکار انجام شده و ارائه لیستی از مراجع به پایان می رسا نیم .

فصل اوّل : مروری بر چشمه های جدیدِ امواج مایکروویو

چکیده:

این فصل را تنها به معرفی و کاربردِ چشمه های جدیدِ امواج مایکروویو اختصاص داده و انواع پیکربندی های عملیِ آنها را از نظر کیفی مورد بررسی قرار میدهیم و در ادامه سازو کارهای تجربی ای را که در فصول آتیِ این رساله برای انجام محاسبات نظری ، مدل گردیده معرفی خواهیم نمود.

در یک آزمایشگاه بسیار مجهزِ الکترونیکی ، مداراتی را میتوان طراحی نمود و بکار بست که طی آن نوسانات قابل کنترلی را در فرکانس و قدرت معین تولید نمایند. در یک دسته بندی کلی ، این مدارات را تحت عنوان نوسان سازهای الکترونیکی میشناسیم که از آن جمله میتوان به نوسان سازهائی همچون نوسان ساز کُلپیتز و یا نوسان سازِ هارتلی و یا جابجاکننده های فاز و.... اشاره نمود.[1] صرف نظر از مکانیسم دقیقِ عملکرد اینگونه مدارات ، میتوان ساز و کار اصلیِ تمامی آنها را در یک عبارت به این صورت خلاصه نمود که در تمامی آنها با بکارگیری خواصی همچون سوئیچینگ ، اثرات خازنی ، جابجا کنندگیِ فازی و تقویت کنندگی ای که در محلِ پیوندگاههای نیمه رساناهای غیر ذاتیِ غیر همنامِ P و n وجود دارد ، یک نوسان غیر سینوسیِ الکترونیکی بوجود میآید که به کمک انواع فیلترهای الکترونیکی ، سعی در پالایش آن مینمایند. تولید نوساناتِ با فرکانس بالا و قدرت قابل ملاحظه ، کاربری فراوانی در تکنولوژی داشته که از آن جمله میتوان به کاربرد وسیع آن در تکنولوژی مخابراتِ بدون سیم اشاره نمود[2]. نقش تکنولوژیکی و استراتژیکیِ مخابرات بدون سیم در رادارهای هوائی و زمینی جهت شناسائی و آشکار سازی اجسام و اشیاءِ در فواصل دور ، انکار ناپذیر بوده زیرا که با دستیابیِ هر چه بیشتر به این فنّآوری و ارتقاءِ آن در راستای تولید امواج با فرکانسهای بالا و توان های قابل ملاحظه ، میتوان عملکردِ شناسائی و آشکارسازی اجسام را با دقت هر چه بیشتر به انجام رساند. با گسترش و توسعهٔ انواع علوم و تکنولوژی در جهان ، یکی از موارد کاربریِ مخابراتِ بدون سیم را میتوان در ***فنّآوریِ مخابرهٔ اطلاعات*** (ICT) دانست. ارسال و دریافتِ سریع و بدون اعوجاجِ اطلاعات ، یک نیازِ لاینفک برای تداوم روندِ توسعه و پیشرفتِ یک جامعه میباشد که این مهم نیز در سایهٔ ارتقاءِ فنّآوریِ تولید امواج با فرکانسهای بالا و توان های قابل ملاحظه میسر خواهد گردید. تولید امواج در فرکانسهای بالا (در حدود $۳۰۰\ GHz$ به بالا) با قدرت های بالا ، به کمک نوسان سازهای الکترونیکی دارای محدودیتهای فراوانی است زیرا در فرکانس های بالا ، پاسخِ مناسب مدارات الکترونیکی به عبور شدت جریان دچار اشکال شده که منشاءِ اصلیِ آنرا میتوان در پدیدار گشتن اثرات خازنیِ موجود در محل پیوندگاههای نیمه رساناها دانست.

راهکار اساسی برای تولید یک موج الکترومغناطیسی با قدرت بالا و در فرکانس بالا آنست که :

اوّلاً در تولید امواج الکترومغناطیسی در فرکانس بالا(مایکروویو) ، بجای بکارگیری نوسان سازهای الکترونیکی ، از اُفت و خیزهای مکانیکیِ ذرات باردار استفاده شود و در ثانی در روند تقویتِ آنها نیز بجای بکارگیریِ تقویت کننده های الکترونیکی ، از سازو کارِ برهمنهی های امواج با ذرات باردار بهرمند شد.

بدنبال رسیدن به این هدف ، بکارگیریِ موجبرها و مشددهای الکترومغناطیسی ای متشکل از ذرات باردار اجتناب ناپذیر میباشد.در یک تقسیم بندیِ کلی از این نوع مشددها و موجبرها ، میتوان آنها را به دو نوعِ متمایز تقسیم نمود که در هر دو دسته یک بیم الکترونی نقش اساسی را بازی میکند. اساس کارِ دستهٔ اوّل بطور مستقیم از اثرات نسبیتیِ بیم الکترونی و دینامیکِ ویژه ای که به آنها داده میشود ، نشأت گرفته و اساس کارِ دستهٔ دوّم از برهم نهیِ الکترونهای غیر همبسته ای که

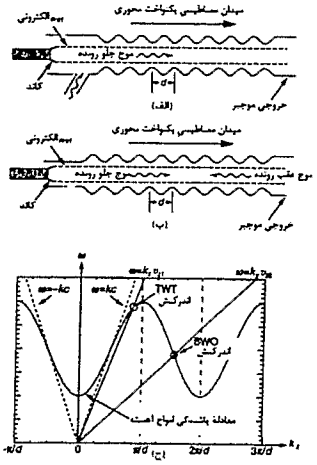
به صورت خودبخودی با فازهای تصادفی تشعشع مینمایند و در مجموع تشعشعشان در یک شاخهٔ پاشندگی با فاز یکسان ظاهر میگردد ، سرچشمه میگیرد . بطور کلی مکانیسم تشعشع در هر دو دسته را میتوان به سه حالت عمده تقسیم نمود.

۱- تشعشع چرنکفی حاصل از انتشار امواج آهسته با سرعت فازی کمتر از سرعت سیر نور در خلا

۲- تشعشع به واسطهٔ گذار

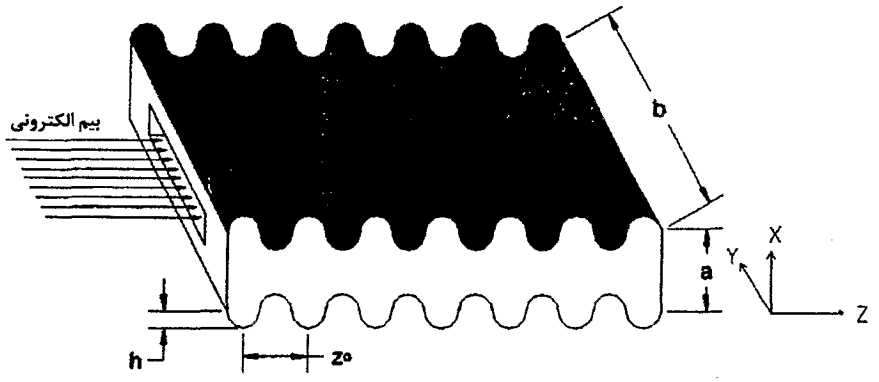
۳- تشعشع ترمزی یا بِرم اِشتِرالانگ

بحث در خصوص هر یک از موارد آورده شده در بالا مفصل بوده و از حوصلهٔ این رساله خارج میباشد. در راستای اهداف این رساله در اینجا ما تنها به مورد اوّل یعنی تشعشع چرنکفی خواهیم پرداخت و به دنبال آن انواع پیکربندی هائی را که بر این اساس کار میکنند ، ارائه خواهیم نمود. تشعشع چرنکفی در یک محیط با ضریب شکست $n>1$ هنگامی به وقوع میپیوندد که طی آن الکترونها با سرعتی بیش از سرعت فاز امواج در آن محیط در حرکت باشند[3].بدون شک نظر به وجود محدودیت نسبیتی در سرعت الکترونها ، جهت نیل به این پدیده باید سازو کاری را جستجو نمود که طی آن امواج دارای سرعت فازی باشند که کمتر از سرعت سیر نور در خلا بوده و به تعبیر ریاضی تحت تشعشع چرنکفی سرعت حرکت الکترونها v_e باید در نامساویِ $v_e > v_{Ph} = c/n$ صدق کند. چنین امواجی با ویژگیِ $v_{Ph} < c$ را به امواج آهسته میشناسیم که معمولا بر اساس قضیهٔ فِلوّکه در سازوکارهائی که دارای ساختار تناوبی باشند نیز تولید میگردند که ما آن سازوکارها را به موجبرِ موجِ آهسته می شناسیم. تیوپ هائی که بر اساس تشعشع چرنکفی کار میکنند از نوعِ TWT (Traveling-Wave Tubes) و یا BWO (Backward-Wave Oscillator) میباشند.شکل (۱-۱) در قسمت (الف) به صورت طرح وار یک TWT را که در آن یک بیم الکترونی به کمک یک میدان مغناطیسی در راستای محور سیستم هدایت گشته و پیرو آن در حال تقویت کردنِ یک موج الکترومغناطیسیِ تزریق شده در یک پیکر بندی تناوبی میباشد را نشان میدهد که در اینجا پیکربندی تناوبی را ، یک سری دیواره های پریدیک تشکیل میدهد. در قسمت (ب) همان مکانیسم تقویت را برای یک تیوپ BWO به نمایش میگذارد و در نهایت قسمت (ج) دیاگرامهای پاشندگی این نوع سازو کار را نشان داده است.



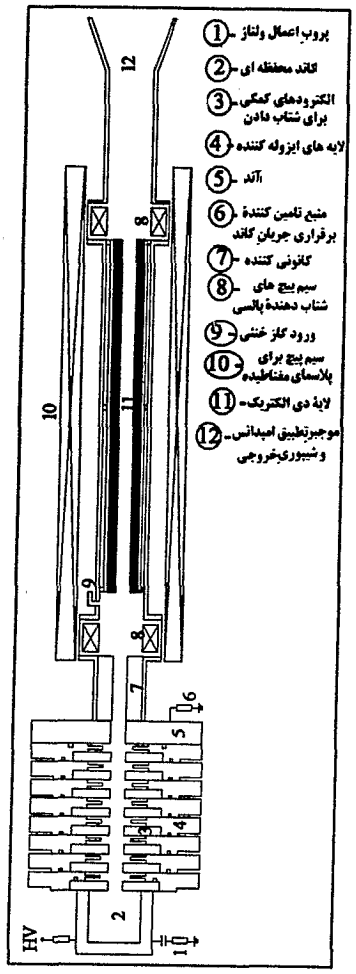
شکل (۱-۱)
پیکربندی دو نوع تیوپ امواج آهسته با ساختارِ دیواره های پریدیک و دیاگرام پاشندگی در آنها

در شکل (۲-۱)یک نمونه از موجبرِ موج آهسته از نوع BWO با دیواره های تناوبی و سطح مقطع مستطیلی که اخیراً مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته شده را مشاهده میکنیم.[4]



شکل(۲-۱) موجبرِ موج آهسته از نوع BWO با دیواره های تناوبی و سطح مقطع مستطیلی

محاسبات نظری بیانگرِ این مسئله است که چنانچه در این نوع سازو کارها فقط بیم الکترونی حضور داشته باشد راندمانِ کار زیاد بالا نیست زیرا در به جریان انداختن بیم های الکترونی در خلا محدودیت وجود دارد[5]. همچنین با انجام محاسبات نظری و تائید آزمایشات تجربی به این موضوع رسیده اند که تزریق یک زمینهٔ پلاسما به ناحیهٔ فعالِ سیستم با عث کاهش این محدودیت و افزایش راندمان کار برای تیوپ های BWO تا چیزی درحدود ۴۰٪ میگردد[6]. این محاسبات بیانگر آن است که حضور زمینهٔ پلاسما در موجبر نرخ رشدِ زمانی موج را افزایش داده و باعث افزایش انرژی الکترومغناطیسی میگردد. این نوع ادوات که بطور کلی ما آنها را به موجبر های پلاسمائی میشناسیم در دهه های اخیر به عنوان **چشمه های جدیدِ مایکروویو با قدرت بالا** ، جایگاه مخصوصی را به خود اختصاص داده اند . آنچه که در برخی از انواع جدیدِ این نوع موجبرها طراحی شده و به آزمایش نیز رسیده است وجود یک لایهٔ دی الکتریک در جدارهٔ موجبر و یا در محور تقارن آن میباشد[7].در شکل(۳-۱)یک نمونه از این نوع را تحت عنوان میزر چرنکف با موجبرِ دیواره دی الکتریک ، همراه با یک ستون پلاسمای مغناطیده مشاهده میکنیم .این نوع از انواع چشمه های مایکروویو که در آن یک لایهٔ دی الکتریک به صورت دیواره قرار داده شده ، خود نیز در پیکر بندی های مختلف مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است به این ترتیب که ستون پلاسما در آن میتواند به صورت یک لایهٔ پلاسمای حلقوی ظاهر شود که این سازو کارها معمولا به کمک سیستمی به نام سرفاترون که در ادامه به آن اشاره خواهیم نمود بوجود می آید. همانطور که در شکل (۳-۱) مشاهده میگردد در ابتدا بیم الکترونی از محفظهٔ کاتد تولید شده و پس از کسب انرژی از شتابدهنده های موجود در مسیر ، به داخل محیطی تزریق میگردد که در آن فلوئی از گاز خنثی در حال پمپ شدن میباشد.

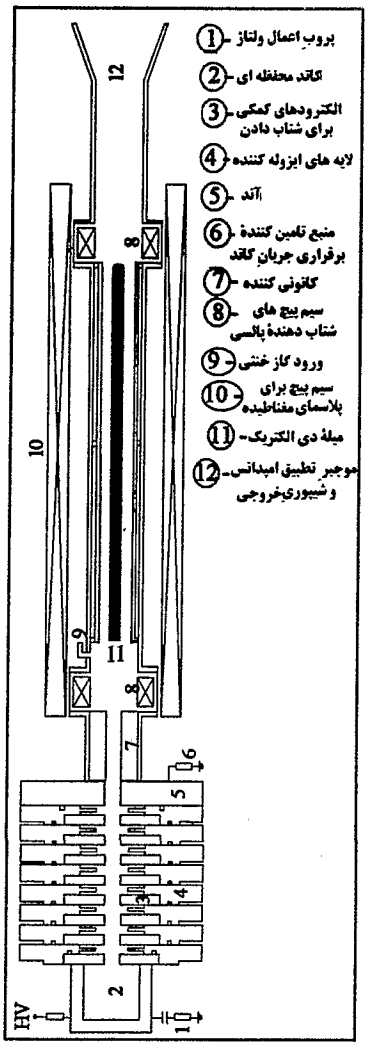


شکل(۳-۱)پیکربندیِ آزمایشگاهیِ میزر دی الکتریک چرنکف با یک پلاسمای مغناطیدهٔ زمینه

با برخورد بیم الکترونی به گاز خنثی ، محیط یونیزه شده و پلاسما تشکیل میگردد که به کمک سیم پیچ های مولدِ میدان مغناطیسی بطور محوری محدود میگردد.به عبارت دیگر در این مرحله بیم الکترونی مولد تولید پلاسما به واسطهٔ تزریق میباشد [8] . پس از رسیدن سیستم به تعادل ، این سیم پیچ های شتاب دهنده هستند که عهده دارِ به سرعت رساندنِ بیم الکترونی(در حد سرعتهای نسبیتی) به صورت پالسی خواهند بود که در نتیجه پس از برقراری شرایط تابشِ چرنکفی ، ما در خروجی یک سیگنال الکترومغناطیسی در فرکانس مایکروویو با قدرت بالا خواهیم داشت.در این سازو کار ، سیستم به کمک یک بیم الکترونیِ توپر شارژ میگردد و جهت محدود کنندگی هر چه بیشترِ پلاسما ، میدان مغناطیسیِ محدود کننده را حتی الامکان زیاد در نظر میگیرند.در سازو کار های جدید برای مکانیسم تحریک از بیم های الکترونی حلقویِ نازک در اینگونه موجبرها استفاده میگردد که طی آن از بروز ناپایداریهای موجود در یک بیم الکترونیِ توپر که موسوم به ناپایداری دایکترونی است ، جلوگیری میگردد [9]. در اینجا ما از پرداختن به مکانیسم دقیق کار و محاسبات نظریِ این نوع موجبر صرف نظر نموده و تنها به این موضوع بسنده خواهیم نمود که در هر صورت این نوع سازو کارها در ابتدای امر نیاز به وجود یک زمینهٔ پلاسما داشته که در مورد بالا توسط بیم الکترونی ، در سیستم تولید گردید. **در فصل دوّم از این رساله** ابتدا الگوی ریاضیِ حاکمه بر این

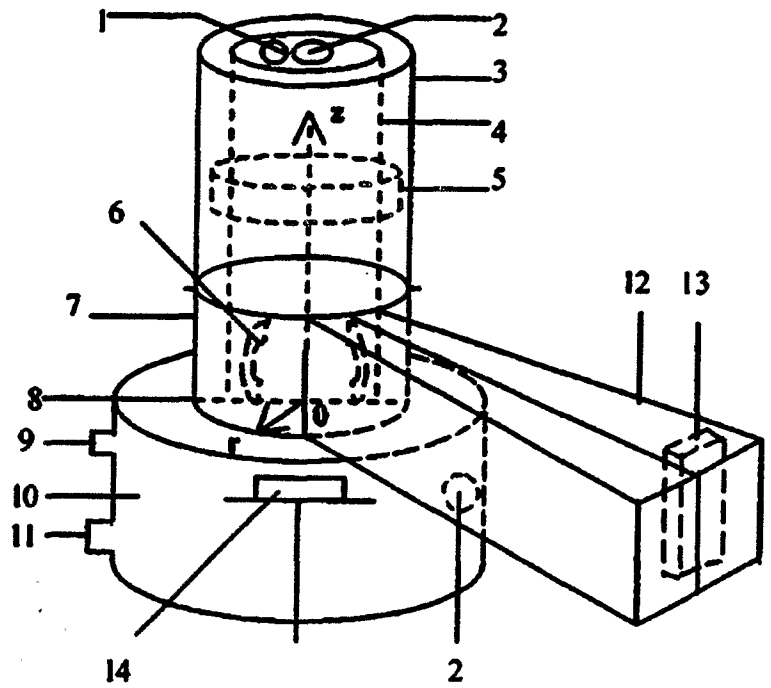
نوع پیکربندی های استوانه ای ارائه شده و به دنبال آن **درفصل چهارم از این رساله** ، برای پیکربندیِ بالا مدلی را ارائه و طی آن اثبات خواهیم نمود که چنانچه میدان های مغناطیسیِ محدودکنندگی ، متناهی باشند ، امواج قابل تفکیک به دو مد مختلف نخواهند بود و در روند تحریک ، امواجِ کوپل شده بوجود آمده که تحریک آنها ، خود نیز راندمان کار را کاهش خواهد داد . در آن فصل اشاره خواهیم نمود که تحت شرط میدان مغناطیسیِ متناهی و تحت شرایطی خاص امواجی را میتوان بطور تفکیک شده داشت که از لحاظ وضعیت انتشار عمود بر راستای میدان مغناطیسی منتشر میگردند. **نکتهٔ قابل توجه آن است که** بدون شک انتشار موجِ بوجود آمده در این نوع ادوات در عبور از مسیرِ تیوپ و محیط پلاسما ، دارای اتلاف های انرژی خواهند بود و هر چه نشت میدانهای موج به محیط پلاسما بیشتر باشد(موج حجمی باشد) این اتلاف بطور موثر تری خود را نشان میدهد. نوعی از انتشار که طی آن مولفه های میدان در ناحیهٔ کمتری از پلاسما متمرکز بوده و به عبارت دیگر بطور سطحی با ناحیهٔ پلاسما درخور باشد ، دارای اتلاف کمتری در حین انتشار خواهد بود . این نوع از انتشار امواج در موجبر های پلاسمائی را به **امواج سطحی** میشناسیم که در **فصل چهارم و پنجم** مدلهای ارائه شده را برای این نوع از امواج در موجبر های پلاسمائی مورد بررسی قرار خواهیم داد.

در شکل(۴-۱) نوع دیگری از موجبر پلاسمائی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته را مشاهده میکنیم . همانطور که مشاهده میگردد این نوع سازوکار ، شباهت زیادی با شکل (۳-۱) دارد تنها با این تفاوت که در آن یک دی الکتریک در محور آن قرار داده شده است. این نوع از موجبر ها که آنها را به موجبرهای دی الکتریک میله ای میشناسند(Rod Dielectric Wave-guide) اخیراً هم به عنوانِ یک موجبرِ پلاسمائی جهت تولید امواج مایکروویو و هدایت آن بکار گرفته میشوند و هم با توجه به ویژگیِ تشعشعیِ یک ستون پلاسما ، که از پیش شناخته شده بود ، به عنوان یک چشمهٔ پخش کنندهٔ امواج مایکروویو در فضا **(آنتن پلاسمائی)** موارد استفادهٔ بسیاری پیدا کرده است [10]. قرار دادن یک دی الکتریک در محورِ موجبر دارای پشتوانهٔ نظری بوده که آنرا به مرجع (۷) ارجاع میدهیم. همانطور که آورده شد یکی از کاربردهای پلاسما در ایجاد چشمه های جدیدِ مایکروویو با قدرت و فرکانس بالا میباشد. از جمله مواردی که میتوان آنرا از کاربریهای پلاسما بر شمرد ، کاربرد آنها در پردازش مواد و تمیز نمودن سطوح با قابلیت انعطاف پذیری و کنترل بالا در تکنولوژیِ سطح است. در ادواتی همچون موجبرهای پلاسمائی و همچنین در پردازش سطوح در مقیاس نسبتاً بزرگ ، در هر دو مورد چنانچه قطر ستون پلاسما زیادتر و توزیع آن یکنواختر باشد ، چه از لحاظ رسیدن به توان بالا در چشمه های مایکروویو و چه از لحاظ یکنواختیِ عملیاتِ پردازش در تکنیک سطح ، راندمان کار بالا میرود. اخیراً جهت نیلِ به این مقصود(داشتن یک ستون پلاسمای یکنواختِ قطور و در مواردی هم طویل) توجه زیادی به ساخت و نگهداری پلاسما به کمک **امواج سطحی** شده است. در این نوع سازو کارها (سرفاترون) در فشاری حدود $0.5\ Torr$ پلاسمای یکنواختی به قطر $120mm$ ایجاد میگردد [11] .



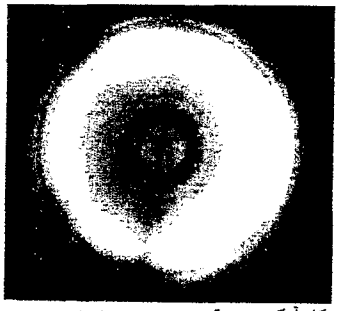
شکل(۴-۱)پیکربندیِ آزمایشگاهیِ میزر دی الکتریک چرنکف با یک پلاسمای مغناطیدهٔ زمینه

شکل(۵-۱) پیکربندیِ یک سرفاترون را جهت عملیات پردازش روی یک لایه با مقیاس نسبتاً بزرگ نشان میدهد که در آن اطاقک پلاسما متشکل از یک تیوپ کوارتز بوده که در یک سیلندر استیل محاط گشته است. موج مایکروویو از مسیر مخروطیِ موجبر و از طریق شکافهای جدارهٔ استوانهٔ استیل به طریق مماسی وارد محفظه ای شده که در آن گاز خنثی ای از طریق مسیر (۱) در فشار کم داخل سیستم میباشد. دریچهٔ خلا برای پائین آوردن فشار گذاشته شده است و موج مایکروویو در بدو امر در انتقالش به ناحیهٔ گاز خنثی دچار عدم تطبیق امپدانس شده که به کمک اتصال کوتاهِ موجبر این مهم در حین کار کنترل میگردد. در شکل(۶-۱) سطح مقطع ستون های پلاسمای بوجود آمده در هنگامی که قدرت موج تابانده شده به ترتیب ۸۰۰ و ۹۰۰ وات بوده ، در فشار های مختلف مشاهده میکنیم.

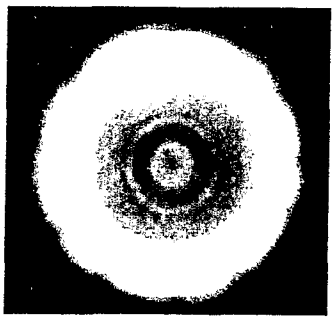


اتصال کوتاه(5) تیوپ کوارتز(4) تیوپ فلزی (3) پنجره برای مشاهده (2) ورودگاز (1)
ناحیهٔ پخشی (10) محل پروب (9) ادامهٔ تیوپ کوارتز (8) تحریک کنندهٔ موج (7) شکاف(6)
ویفر (14)اتصال کوتاهِ متحرکِموجبر(13) مخروطیِ موجبر(12) دریچهٔ خلا (11)

شکل(۵–۱) پیکر بندیِ یک سرفاترون برای ساخت و نگهداریِ یک ستون پلاسمای ضخیم و یکنواخت



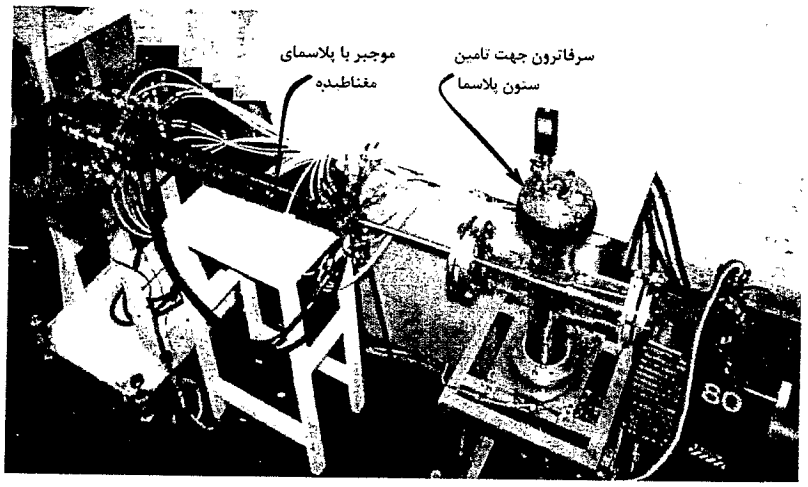
گاز آرگن و در قدرت 800W و فشار 10 Pa(الف)



گاز آرگن و در قدرت 900 W و فشار 230 Pa(ب)

شکل(۶–۱)سطح مقطع ستون پلاسمای بوجود آمده در سرفاترون

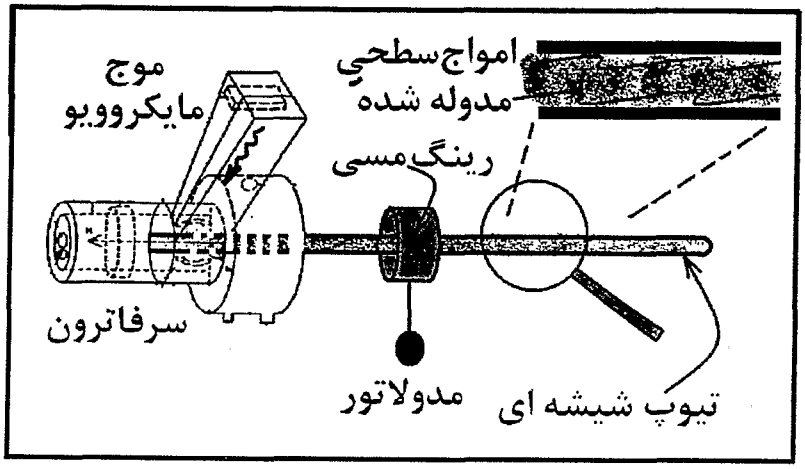
همانطور که مشاهده میگردد با کاهش فشار و افزایش قدرتِ موج مایکروویو ناحیهٔ پلاسمای بوجود آمده به سمت مرکز نیز گسترش بیشتری می یابد که دلیلی بر نفوذ موثرترِ امواج سطحی به سمت محور سیستم است. در اینجا خاطر نشان میگردد ، چند مزیّت مهم این سازو کار به این ترتیب است که اولاً ضخامت لایهٔ پلاسما و چگالی آن قابل کنترل بوده به قسمی که میتوان در ساخت ستون های پلاسمای حلقوی تا ستونهای توپر نیز از آن بهره گرفت. در ثانی نظر به وجود انتشار سطحی در این سیستم و اتلاف کمِ این نوع از انتشار نسبت به انتشار امواج به طریقهٔ حجمی، میتوان به طولهای نسبتاً زیادی از ستون پلاسما دست یافت که این خود نیز برای سازو کارهای چشمه های مایکروویو (موجبر های پلاسمائی) مفید میباشد زیرا که در روند مکانیسم تقویت هر چه طول موجبر طویل تر باشد توان بالا تری میتوان کسب نمود [3].**در فصل سوّم از این رساله** سیستم مذکور را به نحوی که طی آن با یک بیم الکترونی بتوان امواج سطحیِ این لایهٔ پلاسما را شارژ نمود مورد بررسی قرار داده و مدل خواهیم کرد. همانطور که در پیش نیز اشاره گردید در ادواتی همچون موجبرهای پلاسمائی وجود یک زمینهٔ پلاسما باعث افزایش راندمان کار خواهد گردید و در ادامه به روشی که طی آن ، بیم الکترونی خودش آن لایهٔ پلاسما را ایجاد میکرد ، اشاره کردیم . زمینهٔ پلاسما را میتوان با سرفاترون نیز در موجبر های پلاسمائی ایجاد نمود که در نتیجه کنترل آن از لحاظ ابعاد و ضخامت و چگالی ، دقیقتر خواهد بود. در شکل (۷-۱) نمونه ای از یک میزر چرنکف با دی الکتریکِ دیواره ای که مغناطیده میباشد و از طریق یک سرفاترون ستونِ پلاسمای آن تامین میگردد را مشاهده مینمائیم [12].



شکل(۷-۱) میزر دی الکتریک چرنکف با تغذیهٔ سرفاترون برای ستون پلاسما

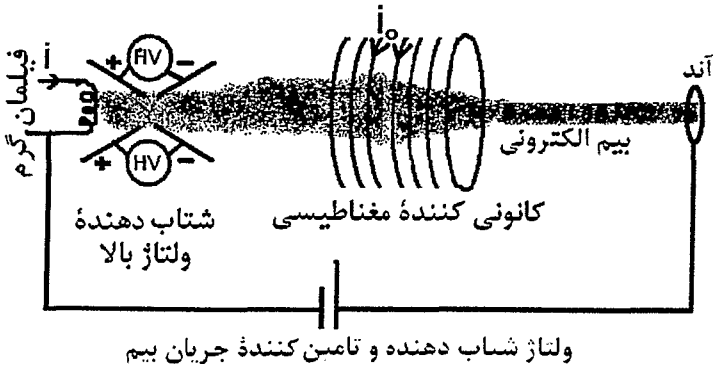
یکی دیگر از کاربردهای تولید پلاسما به کمک امواج سطحی در طراحی آنتن های پلاسمائی میباشد که در شکل (۸-۱) نمونه از آن را مشاهده میکنیم. مطابق شکل (۸-۱) ابتدا به کمک سرفاترون گاز موجود در تیوپ شیشه ای یونیده شده و ستونِ نسبتاً بلندی از پلاسما تولید میگردد. در این لحظه ستون پلاسما همچون یک میلهٔ رسانا عمل خواهد نمود و با توجه به نظریهٔ تطبیق

امپدانس بین سطح پلاسما و سطح شیشه و هوا این ستون پلاسما تشعشع خواهد نمود.[10] همانطور که شکل نشان میدهد ، میتوان با قرار دادن یک حلقهٔ مسی و اتصال آن به یک سیگنال ژنراتور اطلاعات خود را اعم از اطلاعات تصویری و یا صوتی ، بر روی سیگنالِ آنتن سوار نمود. یکی از مزیت های مهم این نوع آنتن ها نسبت به سایر آنتن های فلزی آن است که در هنگام خاموش بودنِ آنتن ، سیستم همچون یک عایق عمل نموده و به آسانی به کمک رادارهای دیگر قابل شناسائی نمیباشد.



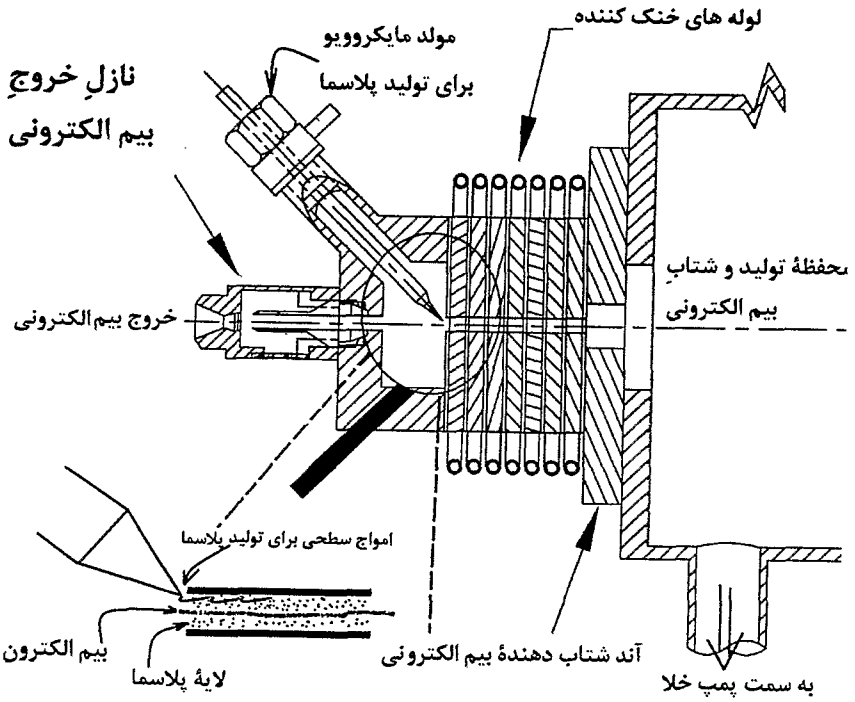
شکل(۸-۱) پیکربندی یک آنتن پلاسمائی و مکانیسم شارژ آن به کمک امواج سطحی

در اینجا با اشاره به یکی دیگر از کاربردهای امواج سطحی در نگهداری و ساخت لایهٔ پلاسما فصل اوّل را به پایان میرسانیم . همانطور که میدانیم تکنولوژی تاکنون در ساخت بیم های الکترونی با سرعت های نسبتاً بالا (اشعهٔ کاتدیک) به موفقیت های چشمگیری دست یافته که اساس این نوع ادوات را معمولا میتوان در کَنده شدنِ الکترونها از سطح فلزات ، یا به واسطهٔ گرما (ترمویونیک) و یا پدیدهٔ فوتوالکتریک دانست که در زیر بطور طرحوار یک نمونهٔ ساده ای از آن را مشاهده میکنیم.



شکل(۹-۱)پیکربندی یک تفنگ الکترونی ساده

کاربرد این بیم الکترونی را در تولید زمینهٔ پلاسما در موجبرهای پلاسمائی قبلاً مشاهده نمودیم . یکی از کاربردهای مهم این بیم در ادواتی به نام پلاسما کاتر ها (برشگر های پلاسمائی) میباشد و همچنین کاربرد جدیدترِ آن در سلاح های اشعهٔ کاتدیکی است [13]. در هر دو مورد که ذکر شد باید بیم الکترونی از محیطی با فشارهای بسیار کم (محفظهٔ تولید بیم و شتاب دهنده) به محیطی همچون هوای معمولی با فشاری معادلِ یک جوّ منتقل گردد که مسئلهٔ مهم بازگشت هوا به داخل محفظه بوده و این در حالی است که مقاوم ترین نوع سرامیک هم نمیتواند به عنوان پنجرهٔ سیستمی قرار گیرد ، که مثلاً قرار است فولاد به قطر ۵ سانتی متر را به راحتی بِبّرد.یکی از تکنیک های موفقیت آمیز در حل این مشکل ، استفاده از یک لایهٔ حلقویِ پلاسما به عنوان پنجره میباشد [14]. شکل (۱۰-۱) پیکربندیِ یک تفنگ الکترونی را نشان میدهد . [15]



شکل(۱۰-۱) پیکربندیِ یک پنجرهٔ پلاسمائی برای یک تفنگ الکترونی

مطابق شکل (۱۰-۱) در بدو خروجِ بیم از محفظهٔ تولید و شتاب دهندهٔ آن ، به کمک یک سرفاترون یک لایهٔ پلاسما در حد واصلِ دو منطقهٔ محفظه و محیط جوّ ایجاد شده و بیم الکترونی از داخل آن عبور داده میشود. برای کاهش سرعت بازترکیب لایهٔ پلاسما با جدارهٔ فلزیِ سیستم ، پلاسما از ناحیهٔ نزدیک به جدارهٔ فلزیِ سیستم ، سرد شده بطوریکه روند بازترکیب حتی المکان کُند گردد.

فصل دوّم : مبانی نظریهٔ امواج سطحی در محیطهای پلاسما

چکیده:

در این فصل ابتدا به بررسی انتشارامواجی با طول موج های بسیار بزرگتر از مقیاسهای ناهمگنیِ مکانیِ پلاسما ، میپردازیم که پیرو آن مرزهای پلاسما بطور موثر در نظر گرفته شده و پلاسما کراندار است .سپس به بررسی الکترودینامیک محیطهای غیر همگن پرداخته و امواج سطحی و پاشندگی های آنها رادر پیکر بندی های گوناگون مورد مطالعه قرار میدهیم .