بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بین المللی امام خمینی

IMAM KHOMEINI
INTERNATIONAL UNIVERSITY

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پاشندگی امواج الکترومغناطیسی در پلاسماهای غیرگازی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

گرایش فیزیک اتمی و مولکولی

نگارش:

نیلوفر فرزندی

استاد راهنما:

دکتراحمد مهرآمیز

استاد مشاور:

دکتر هدی آل علی

بهمن ۱۳۹۳

دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

معاونت آموزشی – مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم تاییدیه‌ي هیأت داوران جلسه‌ي دفاع از پایان‌نامه

بدین وسیله گواهی میشود جلسه دفاعیه از پایان نامه کارشناسی ارشد **نیلوفر فرزندی** دانشجوی رشته **فیزیک** گرایش **اتمی و مولکولی** تحت عنوان **پاشندگی امواج الکترومغناطیسی در پلاسماهای غیرگازی** در تاریخ **۱۳۹۳/۱۱/۲۹** در دانشگاه برگزار گردید و این پایان نامه/رساله با نمره به عدد **۱۹** و به حروف **نوزده** با درجه **عالی** مورد تایید هیئت داوران قرار گرفت.

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگي	مرتبه‌ي دانشگاهي	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	دکتر احمد مهرآمیز	استادیار	بین المللی امام خمینی(ره)	
۲	استاد مشاور	خانم دکتر هدی آل علی	استادیار	پژوهشگاه استاندارد	
۳	داور داخلی	خانم دکتر احمدی سلطانسرایی	استادیار	بین المللی امام خمینی(ره)	
۴	نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر حسین قاسم زاده	استادیار	بین المللی امام خمینی(ره)	

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به:
محضر ارزشمند پدر و مادر و خانواده عزیزم به خاطر همه ی تلاشهای محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی‌ام انجام داده اند و همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده‌اند.

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم . از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر احمد مهرآمیز به عنوان استاد راهنما که همواره نگارنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند ،کمال تشکر را دارم .

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب **نیلوفر فرزندی** دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد در رشته **فیزیک** گرایش **اتمی و مولکولی** که در تاریخ **۹۳/۱۱/۲۹** از پایان نامه ی خود تحت عنوان **پاشندگی امواج الکترومغناطیسی در پلاسماهای غیرگازی** با کسب درجه ی **عالی** دفاع کرده ام، شرعا و قانونا متعهد می شوم:

۱. مطالب مندرج در این پایان نامه، حاصل تحقیق و مطالعه اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و غیره استفاده کرده ام، با رعایت کامل امانت ، مطابق مقررات، اقدام به ارجاع در متن و ذکر آن در فهرست منابع و مآخذ نموده ام.
۲. تمامی یا بخشی ازاین پایان نامه قبلا برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی به سایر دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.
۳. مقالات مستخرج ازاین پایان نامه کاملا حاصل کار اینجانب بوده و از هرگونه جعل داده و یا تغییر اطلاعات پرهیز کرده ام.
۴. از ارسال همزمان و یا تکراری مقالات مستخرج ازاین پایان نامه (با بیش از ۳ درصد همپوشانی) به مجلات و یا همایش های گوناگون خودداری نموده و می نمایم.
۵. کلیه حقوق مادی و معنوی حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) بوده و متعهد می شوم هرگونه بهره مندی ویا نشر دستاوردهای حاصل از این تحقیق اعم از چاپ کتاب، مقاله، ثبت اختراع و غیره (چه در زمان دانشجویی و یا بعد از فراغت از تحصیل) با کسب اجازه از استاد (استادان) راهنما باشد.
۶. درصورت اثبات تخلف و نقض موارد پنجگانه فوق (درهر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) از درجه اعتبار ساقط و اینجانب هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام ونام خانوادگی دانشجو

امضاء

سوگندنامه دانش آموختگان کارشناسی ارشد دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

به نام خدا

سپاس ایزد منان را که مرا مشمول الطاف خویش نمود که با طی مراحل تحصیل موفق به اخذ درجه کارشناسی ارشد شوم. به شکرانه این نعمت بزرگ الهی که با امکانات این مرز و بوم، فراهم و نزد اینجانب به امانت گذاشته شده است، در پیشگاه ملت ایران به کتاب آسمانی خود، قرآن کریم، سوگند یاد می کنم که :

- در سراسر زندگی حرفه ای، در راه اعتلای کشور ایران و جامعه بشری به نحو احسن قدم برداشته و دراین راه از هیچ تلاشی دریغ ننمایم.
- در تمام فعالیت های تخصصی، رضای خدا را همراه با صداقت علمی و اجتماعی در نظر داشته و از موقعیت های به دست آمده در جهت رفع مشکلات جامعه استفاده کنم و در همه ی امور، منافع کشور را بر منافع فردی مقدم بدارم.
- همواره علم و دانش خود را به روز نگاه داشته و در ایفای مسئولیت و تعهدات حرفه ای در حد توان سعی و تلاش خود را به کار گیرم.
- و اینک از خداوند علیم توفیق بندگی و پای بندی به مفاد این سوگندنامه را خواستارم و از او می خواهم که مرا در ایفای رسالت علمی و انسانی خویش موفق بدارد.

نام ونام خانوادگی دانشجو

امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه‌ی حقوق اعم از چاپ، تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه، اقتباس... از نتایج این پایان‌نامه برای دانشگاه امام خمینی(ره) قزوین محفوظ است. بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح تعیین می شود، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ..... ممنوع است.

استاد راهنما می‌تواند یکی از موارد فوق را انتخاب کند و مسئولین کتابخانه موظف به رعایت موارد تعیین‌شده می‌باشند.

نام استاد و یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

چکیده:

دراین پایان‌نامه پس از بیان مقدمه و تاریخچه‌ی پلاسماهای حالت جامد، به مطالعه‌ی ویژگی‌های پلاسماهای حالت جامد و مدل‌های توصیفی پلاسما پرداخته می‌شود و انواع برهمکنش‌های امواج در پلاسما بررسی می‌شود.

نشان داده می‌شود که در یک محیط نیمه‌رسانا دو پرتوی میکروویو با چگالی توان یکسان قادر است امواج الکترومغناطیسی آلفون، مغناطوصوتی و هلیکون را برانگیخته کند. انتشار این امواج به دو روش سیالی و جنبشی بررسی می‌گردد و توان این امواج بدست آورده می‌شود. سپس بستگی آن‌ها به برخی پارامترهای محیط مربوطه بررسی می‌گردد و در نهایت نتایج با یکدیگر مقایسه می‌گردد.

کلمات کلیدی: پلاسمای نیمه رسانا، امواج الکترومغناطیسی، روش سیالی، روش جنبشی، موج آلفون، موج مغناطوصوتی، موج هلیکون

فهرست:

مقدمه: ۱

فصل اول: ۲

مقدمه ای بر پلاسماهای غیرگازی ۲

۱-۱-پلاسما در نیمه رساناها: ۳

۱-۲-ویژگی های عمومی پلاسمای حالت جامد: ۳

۱-۲-۱-منابع پلاسمای حالت جامد: ٤

۱-۲-۲-گستره ی پارامترها: ٥

۱-۳-شبه ذرات و مدهای جمعی: ۸

۱-۴-توصیف برهمکنشهای بین برانگیختگی های اساسی در پلاسمای حالت جامد: ۱۱

۱-۵-مدل های توصیف کننده پلاسما: ۱۲

۱-۵-۱-معادلات پایه: ۱۲

۱-۵-۲-تابع توزیع در یک پلاسمای غیرمغناطیسی: ۱٦

۱-۵-۳-آثار جنبشی در حضور یک میدان مغناطیسی: ۱۷

۱-۵-۴-برهمکنش های امواج الکتروجنبشی در پلاسما: ۱۸

۱-۶-برانگیختگی امواج توسط دو موج الکترومغناطیسی: ۱۸

فصل دوم: ۲۰

برانگیختگی امواج آلفون در پلاسمای نیمه رسانا ۲۰

۲-۱-امواج آلفون: ۲۱

۲-۲-برانگیختگی امواج آلفون توسط دو پرتوی میکروویو در یک نیمه رسانا: ۲۲

۲-۲-۱-روش سیالی: ۲۲

۲-۲-۲-بدست آوردن رابطه پاشندگی امواج میکروویو: ۲۲

۲-۲-۳- برانگیختگی موج آلفون: ۲۸

۲-۲-۴-بدست آوردن چگالی جریان غیرخطی: ۳۳

۲-۲-۵-بدست آوردن مؤلفه های میدان الکتریکی: ۳۳

۲-۲-۶-بدست آوردن توان موج آلفون: ۳۶

۲-۲-۷-تحلیل عددی و رسم نمودار: ۳۷

۲-۳-روش جنبشی: ۴۰

۲-۳-۱- برانگیختگی موج آلفون: ۴۰

۲-۳-۲-بدست آوردن چگالی جریان موج آلفون با استفاده از تابع توزیع غیرخطی: ۴۶

۲-۳-۳-بدست آوردن میدان الکتریکی موج آلفون: ۴۸

۲-۳-۴-بدست آوردن توان موج آلفون: ۵۱

۲-۳-۵-تحلیل عددی و رسم نمودار: ۵۲

فصل سوم: ۵۴

برانگیختگی امواج مغناطوصوتی در پلاسمای نیمه رسانا ۵۴

۳-۱-امواج مغناطوصوتی: ۵۵

۳-۲-برانگیختیگی امواج مغناطوصوتی : ۵۵

۳-۳-روش سیالی: ۵۶

۳-۳-۱-تحلیل سیالی برانگیختگی موج مغناطوصوتی: ۵۶

۳-۳-۲-چگالی جریان غیرخطی: ۶۲

۳-۳-۳-یافتن مؤلفه های میدان الکتریکی موج برانگیخته: ۶۲

۳-۳-۴-بدست آوردن توان موج برانگیخته: ۶۶

۳-۳-۵-تحلیل عددی و رسم نمودار: ۶۷

۳-۴-روش جنبشی: ۷۰

۳-۴-۱-تحلیل جنبشی برانگیختگی موج مغناطوصوتی:..... ۷۰
۳-۴-۲-بدست آوردن چگالی جریان موج مغناطوصوتی با استفاده از تابع توزیع غیرخطی: ۷٤
۳-۴-۳-یافتن مؤلفه های میدان الکتریکی:..... ۷٦
۳-۴-۴-بدست آوردن توان موج برانگیخته:..... ۷۹
۳-۴-۵-تحلیل عددی و رسم نمودار: ۸۱
فصل چهارم:.....۸۳
برانگیختگی موج هلیکون در پلاسمای نیمه رسانا ۸۳
۴-۱-موج هلیکون: ۸٤
۴-۱-۱-پیشینه:..... ۸٤
۴-۲-برانگیختگی موج هلیکون توسط دو پرتوی میکروویو:..... ۸٥
۴-۲-۱-معادلات مرتبط:..... ۸٥
۴-۲-۲-رابطه پاشندگی موج هلیکون برانگیخته:..... ۸۹
۴-۲-۳-بدست آوردن چگالی جریان غیرخطی:..... ۹۱
۴-۲-۴-بدست آوردن مؤلفه های میدان الکتریکی:..... ۹۱
۴-۲-۵-توان موج هلیکون برانگیخته: ۹٤
۴-۲-۶-تحلیل عددی :..... ۹٥
نتیجه گیری:.....۹۶
فهرست منابع: ۹۸

فهرست نمودارها:

نمودار (۲-۱): تغییرات توان موج آلفون برحسب چگالی(روش سیالی)..... ۳۸

نمودار(۲-۲):تغییرات توان موج آلفون برحسب میدان مغناطیسی(روش سیالی) ۳۸

نمودار(۲-۳):تغییرات توان موج آلفون بر حسب فرکانس برخورد(روش سیالی) ۳۹

نمودار (۲-۴): تغییرات توان موج آلفون برحسب چگالی(روش جنبشی) ۵۲

نمودار(۲-۵):تغییرات توان موج آلفون برحسب میدان مغناطیسی(روش جنبشی) ۵۳

نمودار(۲-۶):تغییرات توان موج آلفون بر حسب فرکانس برخورد(روش جنبشی) ۵۳

نمودار (۳-۱): تغییرات توان موج مغناطوصوتی برحسب چگالی(روش سیالی) ۶۸

نمودار(۳-۲):تغییرات توان موج مغناطوصوتی برحسب میدان مغناطیسی(روش سیالی) ۶۸

نمودار(۳-۳):تغییرات توان موج مغناطوصوتی بر حسب فرکانس برخورد(روش سیالی) ۶۹

نمودار (۳-۴): تغییرات توان موج مغناطوصوتی برحسب چگالی(روش جنبشی) ۸۱

نمودار(۳-۵):تغییرات توان موج مغناطوصوتی برحسب میدان مغناطیسی(روشر جنبشی) ۸۲

نمودار(۳-۶):تغییرات توان موج مغناطوصوتی بر حسب فرکانس برخورد(روش جنبشی) ۸۲

علائم اختصاری

e بار الکترون

$m_{e,h}$ جرم الکترون(حفره)

m^* جرم مؤثر حامل ها

$\vec{E}, \vec{B}$ میدان های الکتریکی و مغناطیسی

$\vec{B}_s$ میدان مغناطواستاتیک خارجی

$\vec{\mathbf{V}}$ بردار سرعت

c سرعت نور در خلأ

V_A سرعت موج آلفون

n_0 چگالی تعادلی الکترون

n_e چگالی اختلالی الکترون

K ثابت بولتزمن

$\vec{k}$ بردار انتشار

ν فرکانس برخورد الکترون-فونون

μ_0 تراوایی مغناطیسی خلأ

ε_0 ثابت گذردهی خلأ

ε ثابت دی الکتریک شبکه

ω فرکانس تداخلی امواج

ω_c فرکانس سیکلوترونی

ω_p فرکانس پلاسمایی

f_0^0 تابع توزیع ماکسولی

f^L تابع توزیع خطی

f^{nL} توابع توزیع غیرخطی

$\vec{J}$ چگالی جریان

مقدمه:

پلاسما در نیمه رساناها(جامدات) اساساً مربوط به مطالعه‌ی رفتار و پاسخ جمعی حامل های نیمه رسانا (الکترون یا حفره‌ها)به اختلالات خارجی می‌باشد. تمام پدیده‌های مغناطواپتیکی، مغناطوهیدرودینامیکی و الکترودینامیکی که در محیط‌های پیوسته شامل حامل‌های بار در فلزات و نیمه رساناها رخ می‌دهند، باید به عنوان پلاسما فیزیک در حالت جامد طبقه‌بندی شوند.

یک پلاسما با برانگیختگی مدهای جمعی‌اش توصیف می‌شود. این مدهای جمعی گاهی ناشی از برهمکنش آنها در حضور میدان مغناطیسی خارجی می باشد و گاهی پمپ امواج الکترومغناطیسی به داخل پلاسما در حضور میدان مغناطیسی خارجی و پاسخ های غیرخطی حامل ها به این امواج برخی از این مدهای جمعی(طولی، عرضی و مرکب) را ایجاد می‌کنند. این مدهای جمعی که توسط پلاسما ایجاد می‌شود می‌توانند امواجی را برانگیخته کنند، در نتیجه این پمپ امواج الکترومغناطیسی در پلاسما به یک موج الکترومغناطیسی دیگری می‌توانند تبدیل می‌شوند. به طور مثال با پمپ دو موج میکروویو در پلاسمای نیمه‌رسانا می‌توان امواج آلفون، مغناطوصوتی(عرضی) و امواج هلیکون را برانگیخته کرد.

مطالعه امواج مغناطوپلاسمایی در محیط‌های رسانا پیشرفت سریعی یافته است[۱و۲]. این امواج به طور گسترده‌ای برای تحلیل رابطه پاشندگی الکترون‌های آزاد و حفره‌ها در ساختارهای پیچیده و همچنین در تعیین پارامترهای اصلی رسانندگی نیمه‌رساناها مورد استفاده قرار گرفته است. پلاسماهای نیمه‌رسانا در دماهای پایین‌تری نسبت به پلاسماهای گازی قرار دارند و پایداری آن‌ها بیشتر است. اگرچه پارامترها در پلاسماهای گازی و نیمه رسانا متفاوت است ولی جنبه‌های خاصی از نظریه پلاسما می‌تواند در نیمه رساناها بهتر از گازها مطالعه و بررسی شوند. پلاسماهای نیمه‌رسانا نیز قابلیت تجربیات آزمایشگاهی و مشاهده شدن را مانند پلاسماهای گازی دارا هستند.

فصل اول:

مقدمه ای بر پلاسماهای غیرگازی

۱-۱-پلاسما در نیمه رساناها:

در یک محیط جامد یا نیمه رسانا حامل‌های بار آزاد و اتم‌های یونیزه شده (الکترونها و حفره‌ها) تشکیل پلاسمایی را می‌دهند که برهمکنش‌های الکترومغناطیسی و رفتار جمعی بر آن‌ها حاکم است.

بارهای متحرک، الکترون‌ها و حفره‌ها، مقید به میدان الکتریکی هستند و در تمام کریستال بدون آن‌که شرایط خنثایی را بهم بزنند حرکت می‌کنند.

تفاوت اصلی بین پلاسما در جامدات و پلاسماهای گازی در حرکت ذرات باردار تحت اعمال نیروهای خارجی به آنها است. در این شرایط ابتدا برهمکنش قوی با میدان های اتم ناشی از شبکه کریستالی رخ می‌دهد و سپس در اثر برخوردهای زیاد منجر به ارتعاشات در شبکه کریستالی می‌شود. به دلیل حضور میدان های اتمی (پتانسیل شبکه) حرکت الکترون ها پیچیده می‌باشد. در این محیط‌ها ذره کلاسیکی فرض می‌شود و به آن جرم مؤثر نسبت داده می‌شود. جرم مؤثر که نسبت به جرم در محیط خلأ کمتر است، نشان دهنده یکی از تفاوت‌های پلاسماهای گازی و حالت جامد است [۴و۳].

در اوایل سال ۱۹۶۰ تحقیقی روی پلاسماهای حالت جامد صورت گرفت که در حضور میدان مغناطواستاتیک امواج الکترومغناطیسی می توانند در جامدات انتشار یابند و این تحقیق باعث شد پلاسمای حالت جامد مورد توجه قرار گیرد.

این تحقیق نخستین بار توسط *پرل و کنستانتینو*[1] [۵] و مستقلا توسط آیگرین [2] [۶] صورت گرفت. در سال ۱۹۶۱ آزمایشات تجربی موفقی در رابطه با این تحقیقات روی عنصر سدیم توسط لجندی، باورز و رز[3] [۷] انجام گرفت.

۱-۲-ویژگی های عمومی پلاسمای حالت جامد:

یک پلاسمای حالت جامد به صورت ترکیبی از الکترون ها، حفره های متحرک و یا هردوی آن‌ها در یک کریستال تعریف می شود.

پلاسماهای حالت جامد دارای ثابت دی‌الکتریک بزرگ و چگالی بالای حامل ها می‌باشند.

[1] Perel and Konstantinov

[2] Aigrain

[3] Legendy, Bowers and Rose

با اعمال میدان های الکتریکی و مغناطیسی بر چنین پلاسمایی گرادیان چگالی و اثرات فضا-بار افزایش می یابد. تحت چنین شرایطی مفاهیم پرده پوشی[1]، نوسانات پلاسمایی و غیره همانند پلاسماهای گازی در پلاسماهای حالت جامد نیز قابل بررسی هستند.

۱-۲-۱-منابع پلاسمای حالت جامد:

پلاسماهای حالت جامد و نیمه رساناها به دو صورت وجود دارند. یک دسته از آن‌ها نیمه رساناهای ذاتی هستند که به صورت طبیعی در طبیعت وجود دارند. در این پلاسماها، تعداد الکترون ها و حفره ها باهم برابرند. دسته‌ی دیگر نیمه رساناهای غیرذاتی هستند که به طور طبیعی وجود ندارند و تعداد الکترون ها و حفره‌ها در آن ها با هم مساوی نیستند.

الف)منابع طبیعی:

- فلزات (مثل Cu, K, Na)
- نیمه فلزات (مثل Bi, Sb)
- نیمه رساناها (مثل Ge, Si, InSb)

ب)منابع غیر ذاتی:

- تزریق الکترون یا حفره یا هر دو در نیمه رساناها مانند پیوند Pn:

نمونه‌ی استفاده از این روش آزمایش هایی است که انکر-جانسون[2] بر روی InSb انجام داده است[۸].

- برخورد یونی در گاف انرژی ممنوعه در نیمه رساناها:

این فرایند شکست بهمنی نامیده می شود و می تواند در مواد متراکم یا بایاس معکوس پیوند Pn اتفاق بیفتد. با استفاده از این روش می توان پلاسماهای الکترون –حفره ی بسیار چگالی را در نیمه رساناهای با گاف نواری کم *مانند* InSb و InAs تولید کرد[۹و۱۰].

برای نیمه رساناها با گاف نواری بزرگ مثل Ge, Si و GaAs فرایند شکست بهمنی براحتی از طریق بایاس معکوس پیوند Pn با اعمال یک میدان الکتریکی بسیار قوی صورت می گیرد.

[1] Screening

[2] Ancker-Johnson

این روش نخستین بار برای InSb ، برای نمایش تشعشعات امواج میکروویو در آن و همچنین برای پی بردن به اثر تنگش در جامدات به کار برده شد[۱۱و۱۲].

- برخورد یونی سطوح ناخالصی در نیمه رساناها:

این روش معمولا برای پلاسماهای با چگالی نسبتا پایین کاربرد دارد.

وقتی انرژی حرارتی شبکه از مرتبه ی انرژی یونیزاسیون ناخالصی شود، بیشتر الکترونها روی ناخالصی ها قرار می گیرند. اگر الکترون هایی که در نوار رسانش باقی مانده اند تحت انرژی های جنبشی به مقدار کافی زیاد قرار گیرند، می‌توانند باعث برخورد یونی با سطوح مقید شوند و در نتیجه باعث افزایش چگالی حامل های متحرک می شوند. که این شرایط با اعمال یک میدان الکتریکی کم از مرتبه ی $۱۰\ V/cm$ در موادی مثل Ge صورت می گیرد تا زمانی که ناخالصی های سطحی انرژی ای در حدود $۰/۰۱ev$ دارند. در این روش پلاسماهای تولید شده تنها شامل یک نوع حامل متحرک (حفره یا الکترون برای ناخالصی نوع p و یا نوع n) هستند.

- تابش یونی برای تولید جفت الکترون-حفره:

هرگاه یک نیمه رسانا با یک گاف انرژی ممنوعه E_G تحت تابش انرژی $\hbar\omega$ قرار گیرد به طوریکه $\omega\hbar > E_G$ ، جفت الکترون-حفره تولید می شود. از این روش می توان برای هر نیمه رسانایی استفاده کرد. این روش را می توان به بمباران نیمه رسانا توسط باریکه های الکترونی پر انرژی تعمیم داد.

۱-۲-۲-گستره ی پارامترها:

- **چگالی حامل ها:** چگالی پلاسماهای حالت جامد دارای مرتبه ی بزرگی هستند. در دماهای پایین چگالی برای فلزات (مانند مس) $۱۰^{۲۸}\ e/m^3$ و برای نیمه رساناهای بسیار خالص (مثل Ge, Si) تقریبا برابر با $۱۰^{۱۴}\ e/m^3$ می باشد.

چگالی بالای پلاسماهای حالت جامد یکی از تفاوت‌های آن‌ها با پلاسماهای گازی است.

- **جرم مؤثر حامل ها:** به دلیل وجود پتانسیل دوره ای شبکه کریستالی، جرم مؤثر حامل های متحرک از جرم الکترون آزاد(m_0) کم تر است.

نسبت جرم مؤثر الکترون به جرم الکترون آزاد یعنی مقدار $\frac{m_e^*}{m_0}$ در جامداتی مانند Bi , $InSb$ حدودا 10^{-2} و در بسیاری از فلزات مانند Cu , Na در حدود $\approx$ ۱ است.

حفره ها نیز مانند الکترون ها دارای جرم مؤثر هستند که معمولا الکترون ها جرم مؤثر کمتری نسبت به حفره ها دارند.

- **فرکانس سیکلوترونی و پلاسمایی:** گستره ی وسیع چگالی و جرم کم در پلاسما تأثیر زیادی بر فرکانس نوسانی حامل ها در حضور میدان مغناطیسی می گذارند.

در این نوع از پلاسماها نیز فرکانس پلاسمایی $\omega_p = \left(\frac{4\pi ne^2}{m}\right)^{1/2}$ و فرکانس سیکلوترونی $\omega_c = \frac{|q|B}{mc}$ مهم ترین نوسانات پلاسمایی را تشکیل می‌دهند. مقادیر نوعی فرکانس پلاسمایی برای نیمه رساناهای مرسوم $\omega_p \approx 10^{12}\ \ s^{-1}$ و برای فلزات $\omega_p \approx 10^{16}\ \ s^{-1}$ است.

فرکانس سیکلوترونی در میدان مغناطیسی حدود $10^3 G$، برای فلزات $\omega_c \approx 10^{10}\ \ s^{-1}$ و برای نیمه رساناها که جرم مؤثر کم تری دارند در حدود $\omega_c \approx 10^{12}\ \ s^{-1}$ است.

- **فرکانس های پراکندگی(برخورد) :** یکی دیگر از مهم ترین تفاوت ها بین پلاسماهای گازی و حالت جامد در فرکانس برخورد ν است. در پلاسماهای گازی از ν به دلیل کوچک بودن در مقایسه با فرکانس های دیگر صرف نظر می شود.

در جامدات به دلیل ارتعاشات همیشگی شبکه ،پراکندگی مساله ی مهمی به شمار می آید. علاوه بر برخورد فونون با حامل ها، اثرات پراکندگی های ناشی از ناخالصی های یونیده (پراکندگی رادرفورد) و ناخالصی های طبیعی نیز وجود دارد.

محدوده ی ν در جامدات بنا بر محدوده دمایی(از هلیم مایع به دمای ۴٫۲ K تا دمای اتاق ۳۰۰K) از 10^{10} تا 10^{13} تغییر می کند.