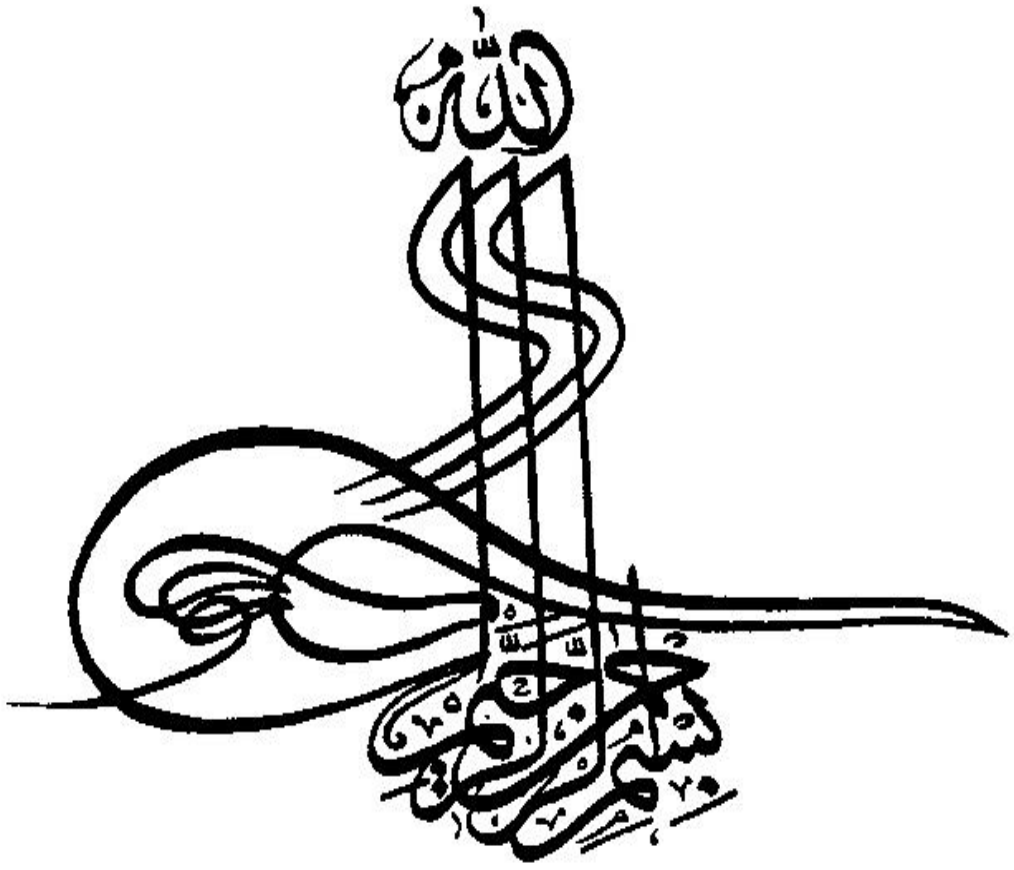
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه الزهرا(س)
دانشکده علوم پایه
پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته فیزیک گرایش اتمی و مولکولی

عنوان:

اثر برهمکنش دوقطبی-دوقطبی بر روی نوسان‌های کریستال غباری در دو بعد

استاد راهنما:

دکتر حسین حکیمی پژوه

استاد مشاور:

دکتر محمود رضا روحانی

دانشجو:

مریم صالحی برزکی

اسفند ۹۱

کلیه دستاوردهای این تحقیق متعلق به دانشگاه الزهرا(س) است

تقدیم به

برترین موهبت‌های زندگی‌ام

پدر و مادر عزیزم

به پاس مهر صادقانه، عشق بی پایان و رنج بی منتهایشان در گشایش و آسایش من

و

برادرم

به پاس یاری همیشگی‌اش

سپاس

سپاس و ستایش بی‌قیاس مخصوص پروردگار یکتاست که یگانه است و یگانه در یگانگی، منان است و منت نهاده است و آن‌چه در دست من است همه از منت اوست، او که لطف بی‌منتهایش همواره راهنما و راه‌گشایم بوده است.

این پژوهش به پاس راهنمایی و همدلی این عزیزان به سرانجام رسیده است:

- استاد بزرگوار و عزیزم جناب آقای دکتر حکیمی‌پژوه، همراه بی‌دریغ این پایان‌نامه، که بی‌شک راهنمایی‌های شایسته و مستمر ایشان همواره گره‌گشا و امید آفرین برای ادامه‌ی کار بوده است.
- استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر روحانی که راهنمایی‌ها و کمک‌های ایشان در طول این پروژه بسیار ارزشمند بوده است.
- همراهی و همدلی خواهر عزیزم و خانواده محترمش که همواره مشوق من بودند و محبت و زحماتشان برایم فراموش نشدنی است.

... نسبت به همه‌ی آن‌ها حق‌شناس و عمیقاً سپاس‌گزارم.

چکیده

دراین پایان‌نامه به بررسی اثر برهمکنش دوقطبی- دوقطبی بر روی نوسان‌های شبکه‌ی غباری کریستال هگزاگونال دوبعدی در جهت‌های مختلف پرداخته شده است. این کریستال از دانه‌های غبار غیر کروی که به‌طور منفی باردار شده‌اند و در داخل یک محیط پلاسمای الکترون و یون قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. تاثیر شکل دانه‌های غبار به صورت برهمکنش دوقطبی الکتریکی به مسئله‌ی دانه‌های غبار با بار تک‌قطبی اضافه شده است. نشان داده‌ایم که در تقریب خطی اثر دوقطبی الکتریکی باعث تغییر فرکانس نوسان سیستم در راستاهای مختلف می‌شود و نیز پایداری یا ناپایداری سیستم را در راستاهای مختلف تغییر می‌دهد.

نوسان‌های غیرخطی سیستم نیز مورد بررسی قرار گرفته و به معادله‌ی kp رسیده‌ایم، نشان داده‌ایم که با در نظر گرفتن برهمکنش دوقطبی‌ها، در هر دو راستای x و y ضرایب معادله‌ی kp به قدرت دوقطبی‌ها و زاویه‌ی آن‌ها بستگی دارد و باعث تغییر معادله‌ی kp از پاشندگی مثبت به منفی به ازای مقدارهای خاصی از پارامتر شبکه، قدرت و زاویه‌ی دوقطبی‌ها شده است. جواب‌های سالیتون خطی معادله‌ی kp را بدست آورده که دامنه و پهنا و جهت سالیتون به ویژگی‌های دوقطبی‌ها وابسته است.

سرانجام برهمکنش بین دو سالیتون خطی را برای هر دو نوع معادله‌ی kp بررسی کرده‌ایم و نشان داده‌ایم وجود دوقطبی‌ها باعث تغییر معادله‌ی kp از پاشندگی مثبت به منفی شده‌اند که تفاوت آن‌ها به طور برجسته در برهمکنش دو سالیتون نشان داده شده است.

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول: مقدمه

مقدمه..... ۱۳

فصل دوم: پلاسمای غباری

۲-۱- پلاسمای غباری..... ۱۷

غلاف شدگی دبای..... ۱۷

فرکانس مشخصه‌ی پلاسما..... ۱۸

خنثایی ماکروسکوپیک..... ۱۹

پارامتر کوپل‌شدگی ۱۹

امواج در پلاسمای غباری..... ۲۱

۲-۲- باردار کردن ذره‌ی غبار..... ۲۲

۲-۳- روش‌های تولید پلاسمای ۲۳

۲-۴- کریستال پلاسمای غباری..... ۲۷

۲-۵- روش آزمایشگاهی تشکیل کریستال..... ۲۸

۲-۶- سالیتون و معادله‌ی kdv..... ۳۰

۲-۷- معادله‌ی kp..... ۳۴

فصل سوم: اثرات خطی و غیرخطی ذرات غبار با برهمکنش تک‌قطبی

مقدمه..... ۳۸

۳-۱- مدل شبکه..... ۳۹

۳-۲- اثرات خطی..... ۴۲

سرعت فاز امواج غبار شبکه..... ۵۱

۳-۳- اثرات غیرخطی..... ۵۲

۳-۴- پاسخ تک سالیتونی معادله‌ی kp ۶۳

۳-۵- برهمکنش دو سالیتون..... ۶۷

فصل چهارم: اثرات خطی و غیرخطی ذرات غبار با برهمکنش دوقطبی

مقدمه..... ۷۰

۴-۱- انرژی پتانسیل سیستم..... ۷۰

۴-۲- دوقطبی‌ها در فضا..... ۷۳

۴-۳- اثرات خطی دوقطبی‌ها در صفحه‌ی x-z ۷۸

سرعت فاز امواج غبار شبکه..... ۹۹

۴-۴- اثرات غیرخطی دوقطبی‌ها در صفحه‌ی x-z ۱۰۱

پاسخ تک سالیتونی معادله‌یkp ۱۲۱

برهمکنش دو سالیتون..... ۱۳۲

نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۱۴۱

پیوست الف..... ۱۴۴

پیوست ب..... ۱۴۹

منابع..... ۱۵۴

فهرست جداول

عنوان ..... صفحه

جدول ۳-۱: تعیین علامت ضرایب موج طولی در راستای x ۳۲
جدول ۳-۲: تعیین علامت ضرایب موج عرضی در راستای y ۳۲
جدول ۳-۳: تعیین علامت ضرایب موج عرضی در راستای x ۳۵
جدول ۳-۴: تعیین علامت ضرایب موج طولی در راستای y ۳۵
جدول ۴-۱: تعیین علامت ضرایب موج طولی در راستای x در حضور دوقطبی‌ها..... ۷۰
جدول ۴-۲: تعیین علامت ضرایب موج عرضی در راستای x در حضور دوقطبی‌ها..... ۷۱
جدول ۴-۳: تعیین علامت ضرایب موج عرضی در راستای y در حضور دوقطبی‌ها..... ۷۳
جدول ۴-۴: تعیین علامت ضرایب موج طولی در راستای y در حضور دوقطبی‌ها..... ۷۴
جدول۴-۵: تعیین علامت ضرایب معادله‌ی kp برای موج منتشر شده در راستای x ۹۸
جدول۴-۶: تعیین علامت ضرایب معادله‌ی kp برای موج منتشر شده در راستای y ۱۰۲
جدول۴-۷: تعیین علامت ضرایب معادله‌ی kp برای موج منتشر شده در راستای x به ازای $\kappa = 1.5$ ۱۰۳
جدول۴-۸: تعیین علامت ضرایب معادله‌ی kp برای موج منتشر شده در راستای y به ازای $\kappa = 1.5$ ۱۰۴

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... صفحه
شکل ۲-۱: نمایش ترسیمی از Q ماشین..... ۱۱
شکل۲-۲: نمایی از سیستم تخلیه‌ی استوانه‌ای..... ۱۲
شکل۲-۳: نمایی از تولید پلاسمای غباری درلایه‌ای در تخلیه نئونdc..... ۱۳
شکل۲-۴: کریستال پلاسمای غباری و ساختار کریستال هگزاگونال..... ۱۶
شکل۲-۵: موج سینوسی اولیه به ترکیبات سالیتونی می‌شکند..... ۱۹
شکل۲-۶ : دو اثر پاشندگی و تیزشدگی اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند..... ۲۰
شکل۲-۷: نمایش پایداری سالیتون خطی پاسخ معادله‌ی kp با پاشندگی منفی..... ۲۲
شکل۲-۸: نمایش ناپایداری سالیتون خطی پاسخ معادله‌ی kp با پاشندگی مثبت..... ۲۳
شکل ۳-۱: کریستال هگزاگونال دو بعدی..... ۲۶
شکل ۳-۲: موج طولی در راستای x..... ۳۴
شکل ۳-۳: موج عرضی در راستای y..... ۳۵
شکل ۳-۴: موج عرضی در راستای x..... ۳۶
شکل ۳-۵: موج طولی در راستای y..... ۳۶
شکل۳-۶ : سالیتون خطی به ازای $\kappa = 1.5$ در راستای x..... ۴۹
شکل۳-۷: سالیتون خطی در جهت y به ازای $\kappa = 2$..... ۵۰
شکل۳-۸: موج Lump در راستای x..... ۵۳
شکل۳-۹: موج Lump در راستای y..... ۵۴
شکل ۴-۱: موج طولی در راستای x ، $\kappa = 1.5, \theta = 90^0$..... ۷۶
شکل ۴-۲ : موج طولی در راستای x. $\kappa = 1.5,\ \chi = 0.5, \theta = 90^0$..... ۷۶
شکل ۴-۳ : موج طولی در راستای x، $\kappa = 1.5, \chi = 0.5$..... ۷۷
شکل ۴-۴ : موج عرضی در راستای y. به ازای $\kappa = 1.5, \theta = 90^0$..... ۷۹
شکل۴-۵ : موج عرضی در راستای y . $\kappa = 1.5,\ \chi = 0.5, \theta = 90^0$..... ۷۹
شکل۴-۶ : موج عرضی در راستای y. $(\kappa = 1.5, \chi = 0.5)$..... ۸۰
شکل۴-۷ : موج عرضی در راستای x بر حسب q, χ به ازای $\theta = 90^0$..... ۸۱
شکل۴-۸ : موج عرضی در راستای x. $\kappa = 1.5, \theta = 90^0, \chi = 0.5$..... ۸۱

شکل۴-۹ : موج عرضی در راستای x به ازای $\kappa = 1.5, \chi = 0.5$ ۸۲
شکل۴-۱۰: موج طولی در راستای y به ازای $\kappa = 1.5, \theta = 90^0$ ۸۳
شکل۴-۱۱: موج طولی در راستای y . $\kappa = 1.5, \theta = 90^0, \chi = 0.5$ ۸۳
شکل۴-۱۲: موج طولی در راستای y به ازای $\kappa = 1.5, \chi = 0.5$ ۸۴
شکل۴-۱۳: سالیتون خطی در راستای x با $\theta = 90$, $\chi = 0.2$, $\kappa = 1.5$ ۱۰۷
شکل۴-۱۴: نمایش $\chi_{A'_4}$ بر حسب θ ۱۰۸
شکل۴-۱۵: نمایش $\chi_{A'_{10}}$ بر حسب θ ۱۰۸
شکل۴-۱۶: نمایش $\chi_{A'_1}, \chi_{A'_9}, \chi_{A'_4}$ بر حسب θ ۱۰۹
شکل۴-۱۷: سالیتون در راستای x به ازای $\kappa = 1.5$ ۱۱۰
شکل۴-۱۸: نمایش ماکزیمم دامنه بر حسب θ در $\chi = 0.2$ ۱۱۰
شکل۴-۱۹: نمایش جهت سالیتون بر حسب جهت‌گیری دوقطبی‌ها..... ۱۱۱
شکل۴-۲۰: سالیتون در راستای y به ازای $\theta = 90$, $\chi = 0.2$, $\kappa = 1.5$ ۱۱۲
شکل۴-۲۱: نمایش $\chi_{B'_4}$ بر حسب θ ۱۱۳
شکل۴-۲۲: نمایش $\chi_{B'_{10}}$ بر حسب θ ۱۱۳
شکل۴-۲۳: نمایش $\chi_{B'_1}, \chi_{B'_4}, \chi_{B'_{10}}$ بر حسب θ ۱۱۴
شکل۴-۲۴: سالیتون در راستای y به ازای $\theta = 90$, $\chi = 0.2$, $\kappa = 2$ ۱۱۵
شکل۴-۲۵: سالیتون در راستای y . $\kappa = 2$ ۱۱۵
شکل۴-۲۶: نمایش دامنه‌ی سالیتون بر حسب زوایای دوقطبی‌ها..... ۱۱۶
شکل۴-۲۷: نمایش جهت سالیتون بر حسب جهت‌گیری دوقطبی‌ها..... ۱۱۶
شکل۴-۲۸: نمایش $b'_1c'_1$ بر حسب زاویه‌ی دوقطبی‌ها..... ۱۱۷
شکل۴-۲۹: برهمکنش دو سالیتون با دامنه‌های مساوی در راستای x ۱۱۹
شکل۴-۳۰: برهمکنش دو سالیتون با دامنه‌های نامساوی در راستای x ۱۲۰
شکل۴-۳۱: نمایش $b'_2c'_2$ بر حسب زاویه‌ی دوقطبی‌ها..... ۱۲۱
شکل۴-۳۲: برهمکنش دو سالیتون با دامنه‌های مساوی در راستای y ۱۲۲
شکل۴-۳۳: برهمکنش دو سالیتون با دامنه‌های نامساوی در راستای y ۱۲۳
شکل۴-۳۴: نمایش موج Lump در راستای y با $\kappa = 2, \chi = 0.25, \theta = 45^0$ ۱۲۴

فصل اول

مقدمه

مقدمه

حدود ۸۰ سال پیش تانکس[1] و لانگمویر[2] اولین بار عبارت پلاسما را برای توصیف ناحیه‌ی داخل گاز یونیزه درخشان که بوسیله‌ی تخلیه‌ی الکتریکی در تیوب تولید شده بود، استفاده کردند. "پلاسما" گاز شبه خنثی از ذرات باردار خنثی است که رفتار جمعی از خود نشان می‌دهند. شبه خنثی بودن به این معنی است که پلاسما به اندازه کافی خنثی هست که می‌توان فرض کرد $n_i \cong n_e \cong n$ که n چگالی مشترک پلاسما نامیده می‌شود، ولی آن‌قدر خنثی نیست که همه‌ی نیروهای الکترومغناطیسی مورد توجه صفر باشند. منظور از رفتار جمعی حرکت‌هایی است که نه تنها به شرایط موضعی، بلکه به حالت پلاسما در ناحیه‌های دور نیز بستگی دارند.

۹۹ درصد جهان در حالت پلاسما است؛ محیط زندگی ما آن ۱ درصد جهان است که در آن پلاسما به طور طبیعی یافت نمی‌شود. وجود طبیعی پلاسما در دمای زیاد باعث شده که آن را حالت چهارم ماده بنامند. بنابراین تصور قدیم از آتش به عنوان حالت چهارم ماده جالب است، درحالی‌که این رده‌بندی پلاسما به حدود ۸۰ سال پیش برمی‌گردد.

اگر به پلاسمای الکترونی و یونی مولفه‌های باردار از ذرات در اندازه‌ی میکرون یا کوچکتر اضافه کنیم، پلاسمای غباری تشکیل می‌شود. بیان کردیم که بیشتر جهان در حالت پلاسما است و در اکثر موارد پلاسما با ذرات غبار آمیخته شده است، بنابراین مطالعه‌ی پلاسمای غباری از اهمیت بسیاری برخوردار است. مطالعه‌ی تاریخچه‌ی پلاسمای غباری بسیار قدیمی است. ستاره‌ی دنباله‌دار مشاهده شده بوسیله‌ی نیاکان دور ما آزمایشگاه کیهانی مناسبی برای

[1] Tonks
[2] Langmuir

مطالعه‌ی برهمکنش غبار-پلاسما و نتایج فیزیکی و دینامیکی آن‌ها بوده است. پلاسمای غباری در شفق بین الطلوعین، یونوسفر، حلقه‌های سیارات مثل مشتری و زحل و اورانوس، فضای بین ستاره‌ای و... مشاهده شده‌اند.

مشاهده‌ی پلاسمای غباری در آزمایشگاه‌های زمینی نیز کاملاً امکان‌پذیر است. نمونه‌های پلاسمای غباری در محیط‌های زمینی عبارتند از: خروجی‌های شاتل فضایی و موشک، گلوله‌های انفجاری راکتور هسته‌ای، ریزتراشه‌های کامپیوتری، کریستال پلاسما و غیره.

در پلاسمای غباری در اثر اختلال خارجی به دلیل اندرکنش ذرات غبار با الکترون‌ها و یون‌ها و خود ذرات غبار مدهای جدیدی در آن منتشر می‌شوند که با مدهای منتشر شده در پلاسمای معمولی متفاوت اند.

بررسی پلاسمای غباری به دلیل گستردگی وسیع آن و حضور ذرات غبار که نقش مهمی در دینامیک محیط پلاسما ایجاد می‌کنند، از اهمیت زیادی برخوردار است. برای مثال تشکیل میکروذرات در راکتور پلاسما باعث کاهش بازدهی آن می‌شود؛ در نیمه رساناها هنگامی‌که قطعات با ابعاد کوچک در فرکانس بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند، در آن‌ها دوقطبی‌های بسیارکوچک نوسانی ظاهر می‌شوند که توان اتلافی ناشی از این دوقطبی‌ها باعث ایجاد محدودیت در کارایی قطعات می‌شود؛ در لیزر گازی در عادی‌ترین پمپاژ لیزر، یعنی وارونه کردن جمعیت حالاتی که منجر به تقویت نور می‌شود، پلاسما ایجاد می‌کنند؛ بنابراین کنترل این‌گونه پلاسماها در آزمایشگاه موضوع مهمی به منظور بررسی کیفیت نیمه‌رساناها و لیزر و راکتور و ... است.

حضور ذرات غبار تحت شرایط خاصی باعث به وجود آمدن ساختار کریستالی در پلاسما می‌شود. پلاسمای کریستالی به دلیل امکان تولید و کنترل آسان آن و نیز امکان مشاهده‌ی ساختار آن توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است[۱و۲].

در این پایان‌نامه یک پلاسمای کریستالی که ذرات غبار در آن ساختار کریستال هگزاگونال دو بعدی را تشکیل داده‌اند، بررسی شده است. در این کریستال غباری برای ذرات غبار علاوه بر بار تک‌قطبی اثر شکل ذره غبار به صورت دوقطبی‌های الکتریکی در نظر گرفته شده و پس از محاسبه‌ی اندرکنش آن‌ها با یکدیگر و با ذرات با بار تک‌قطبی، مدهایی که در اثرهای خطی و غیرخطی سیستم بوجود آمده‌اند، را بررسی می‌کنیم.

در فصل دوم، مفاهیم اصلی پلاسمای غباری و کریستال پلاسما توضیح داده شده است.

در فصل سوم، ذرات غبار با بار تک‌قطبی در نظر گرفته و مدهایی که در اثر برهمکنش آن‌ها در حالت خطی و غیرخطی در شبکه بوجود آمده‌اند، بررسی شده است.

در فصل چهارم، اثر شکل ذره‌ی غبار به صورت دوقطبی الکتریکی در نظر گرفته و به مسئله‌ی ذرات غبار کریستالی اضافه شده است. مدهای تولید شده در این برهمکنش‌ها در اثرهای خطی و غیرخطی سیستم بدست آمده است و در نهایت با حالت برهمکنش ذرات با بار تک‌قطبی سیستم مقایسه شده و نشان داده شده است که درنظر گرفتن دوقطبی‌ها مدهای سیستم را به شکل قابل توجهی تغییر داده است.

فصل دوم

پلاسمای غباری

۲-۱: پلاسمای غباری

پلاسمای غباری به عنوان پلاسمای الکترونی و یونی به علاوه‌ی مولفه‌ی بارداری از ذرات در اندازه‌ی میکرون یا کوچکتر تعریف شده است. این مولفه‌ی اضافی از میکروذرات باعث می‌شوند پیچیدگی‌های سیستم افزایش یابد، به همین دلیل به پلاسمای غباری "پلاسمای پیچیده" نیز می‌گویند. پلاسمای غباری گاز الکتریسیته‌دار یونیزه شده‌ای است که شامل الکترون‌ها، یون‌ها، ذرات غبار باردار و اتم‌های خنثی است. ذرات غبار بیلیون‌ها بار سنگین‌تر از پروتون‌ها و محدوده‌ی اندازه‌ی آن‌ها از نانومتر تا میلی‌متر است. ذرات غبار می‌توانند از جنس فلز، رسانا، یا از ذرات یخ ساخته شده باشند. شکل و اندازه‌ی ذرات غبار متفاوت است مگر این‌که دست‌ساز باشند. پلاسما با ذرات غبار بسته به مرتبه‌ی تعدادی طول‌های مشخصه به عنوان غبار در پلاسما یا پلاسمای غباری نامیده می‌شود. این طول‌های مشخصه ، شعاع ذره‌ی غبار r_d و متوسط فاصله‌ی بین ذرات a و شعاع غلاف‌شدگی پلاسما λ_D و ابعاد پلاسمای غباری است. اگر $r_d \ll \lambda_D < a$ باشد ذرات غبار به صورت ذرات غلاف‌شده‌ی مجزا در نظر گرفته می‌شوند که به این پلاسما، "غبار در پلاسما" می‌گویند. اما اگر $r_d \ll a < \lambda_D$ باشد، ذرات غبار باردار در رفتار جمعی شرکت می‌کنند که به این پلاسما ، "پلاسمای غباری" می‌گویند.

برای این‌که پلاسمای غباری را مطالعه کنیم باید مشخصه‌های اساسی آن مثل غلاف‌شدگی دبای، شرط شبه خنثایی، فرکانس مشخصه، و پارامتر کوپل‌شدگی را بررسی کنیم:

غلاف‌شدگی دبای

مشخصه‌ی اساسی پلاسما توانایی برای پوشاندن میدان الکتریکی یک ذره‌ی باردار یا سطحی که پتانسیل غیر صفر دارد و به آن وارد می‌شود، است. این مشخصه اندازه‌ای از فاصله (که شعاع دبای نامیده می‌شود) را ایجاد می‌کند که در آن میدان الکتریکی ذره‌ی باردار یا

سطحی با پتانسیل غیرصفر توسط ذرات باردار دیگر در پلاسما احساس می‌شود. شعاع غلاف شدگی در پلاسمای غباری به صورت زیر است:

$$\frac{1}{\lambda_D^2}=\frac{1}{\lambda_{De}^2}+\frac{1}{\lambda_{Di}^2} \qquad (۱-۱-۲)$$

که در آن $\lambda_{Di}=(\frac{k_BT_i}{4\pi n_{i0}e^2})^{\frac{1}{2}}$ و $\lambda_{De}=(\frac{k_BT_e}{4\pi n_{e0}e^2})^{\frac{1}{2}}$ و λ_D ضخامت غلاف است، که T_e و T_i دمای الکترون و یون و n_{i0},n_{e0} چگالی الکترون و یون در حالت تعادل و k_B ثابت بولتزمن است.

فرکانس مشخصه پلاسما

هنگامی که ذرات پلاسما از نقطه‌ی تعادلشان جابجا می‌شوند، میدان بار فضایی ایجاد می‌شود تا خنثایی پلاسما را با کشیدن ذرات به عقب برگرداند. اما ذرات به دلیل لختی‌شان از حد خارج می‌شوند و دوباره به موقعیت اولیه‌شان توسط میدان بار فضایی با قطبش مثبت برمی‌گردند. دوباره لختی‌شان، آن‌ها را جابجا می‌کند و ذرات حول موقعیت اولیه‌شان نوسان می‌کنند. فرکانس چنین نوساناتی به جرم و بار ذره بستگی دارد. برای مثال الکترون‌ها حول یون‌ها با فرکانس پلاسمای الکترونی $\omega_{pe}=(\frac{4\pi n_{e0}e^2}{m_e})^{\frac{1}{2}}$ و یون‌ها حول ذرات غبار با فرکانس پلاسمای یونی $\omega_{pi}=(\frac{4\pi n_{i0}e^2}{m_i})^{\frac{1}{2}}$ و ذرات غبار حول موقعیت تعادلی خودشان با فرکانس پلاسمای غباری $\omega_{pd}=(\frac{4\pi n_{d0}Z_d^2e^2}{m_d})^{\frac{1}{2}}$ نوسان می‌کنند.

خنثایی ماکروسکوپیک

موقعی که اختلال خارجی وجود نداشته باشد، پلاسمای غباری خنثایی ماکروسکوپیکی دارد، یعنی در حالت تعادل که هیچ نیروی خارجی وجود نداشته باشد، برآیند بار الکتریکی خالص در پلاسمای غباری صفر است. بنابراین شرط شبه خنثایی بار در پلاسمای غباری برابر است با:

$$q_i n_{i0} = e n_{e0} - q_d n_{d0} \qquad (۲-۱-۲)$$

n_{s0} چگالی غیر اختلالی، s نوع ذره‌ی پلاسما که $s = i,e,d$ است. $q_d = Z_d e$ $(-Z_d e)$ بار ذره‌ی غبار و $q_i = Z_i e$ است.

پارامتر کوپل‌شدگی

تراکم در سیستم‌هایی با ذرات زیاد ایجاب می‌کند که انرژی پتانسیل ناشی از نزدیکترین همسایه‌ها بیشتر از انرژی حرارتی ذرات باشد. پارامتر کوپل‌شدگی به صورت نسبت انرژی پتانسیل به انرژی حرارتی سیستم تعریف شده است:

$$\Gamma_j = \frac{q_j^2 n_j^{\frac{1}{3}}}{k_B T_j} \geq 1 \qquad , \; a_j \propto \frac{1}{n_j^{\frac{1}{3}}} \qquad (۳-۱-۲)$$

a_j فاصله بین ذرات است. اگر پلاسمای الکترونی و یونی را در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$\Gamma_e = \frac{e^2 n_e^{\frac{1}{3}}}{k_B T_e} \qquad , \; \Gamma_i = \frac{Z_i^2 e^2 n_i^{\frac{1}{3}}}{k_B T_i}$$

حال با قراردادن شرایط شبه خنثایی $Z_i n_i = n_e$ و نیز $T_i = T_e$ داریم:

$$\Gamma_i \approx Z_i^{\frac{5}{3}} \Gamma_e$$

رابطه‌ی بالا نشان می‌دهد که پارامتر کوپل‌شدگی با حالت بار یون‌ها افزایش می‌یابد. الکترون‌ها خودشان را اطراف یون‌ها آرایش می‌دهند تا به طور موثری بار اضافی را در شعاع دبای الکترون غلاف کنند. بدین ترتیب پتانسیل کولنی در رابطه‌ی (۲-۱-۳) اصلاح می‌شود تا شامل این غلاف شدگی باشد. بنابراین به جای معادله‌ی (۲-۱-۳) داریم:

$$\Gamma_j = \frac{q_j^2 n_j^{\frac{1}{3}} e^{-\kappa_j}}{k_B T_j} \qquad (۴-۱-۲)$$

شرط کوپل‌شدگی قوی این است که $\kappa = \frac{a}{\lambda_D} \ll 1$ (نسبت فاصله‌ی بین یون‌ها به طول غلاف‌شدگی) باشد در نتیجه داریم:

$$\frac{1}{n_i^{\frac{1}{3}} \lambda_{De}} < 1 \quad \Rightarrow \quad n_i^{\frac{2}{3}} \ \lambda_{De}^2 > 1 \Rightarrow \begin{cases} Z_i n_i = n_e \\ \dfrac{n_i^{\frac{2}{3}} k_B T_e}{4\pi n_e e^2} > 1 \end{cases} \Rightarrow \quad \frac{Z_i T_e k_B T_i}{4\pi T_i Z_i^2 e^2 n_i^{\frac{1}{3}}} > 1$$

$$\Rightarrow Z_i \frac{T_e}{4\pi T_i \Gamma_i} > 1 \Rightarrow Z_i > 4\pi \frac{T_i}{T_e} \Gamma_i$$

برای پلاسمای متراکم $\Gamma_i > 170$, $T_i \cong T_e$ است لذا با قراردادن در رابطه‌ی بالا نتیجه می‌گیریم باید پلاسمای الکترون و یون با اتم‌های سنگینی که عدد اتمی آن‌ها زیاد باشد داشته باشیم تا بتوانیم آن‌ها را یونیزه کنیم و پلاسمای متراکم تشکیل شود، که این امکان‌پذیر نیست. بنابراین کوپل‌شدگی قوی در پلاسمای الکترون و یون اتفاق نمی‌افتد و باید غبار وارد پلاسما کنیم. پارامتر کوپل‌شدگی در پلاسمای غباری برابراست با: