دانشگاه اراک

دانشکده علوم پایه

کارشناسی ارشد فیزیک (گرایش اتمی مولکولی)

بررسی نقص کریستال پلاسمای غبار آلود یک و دو بعدی با استفاده از مدل فرنکل - کونتوروا

پژوهشگر

فاطمه اشقلی فراهانی

استاد راهنما

دکتر بیژن فرخی

شهریور ۱۳۹۰

به نام خدایی که در این نزدیکی است

بسم ا... الرحمن الرحیم

بررسی نقص کریستال پلاسمای غبار آلود یک و دو بعدی با استفاده از مدل فرنکل - کونتوروا

توسط:

فاطمه اشقلی فراهانی

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی

لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک اتمی مولکولی

از

دانشگاه اراک

اراک-ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: .....

دکتر بیژن فرخی (استاد راهنما و رئیس کمیته)..... دانشیار

دکتر سید کامران مؤیدی (دانشگاه اراک)..... استادیار

دکتر مهدی میرزایی (دانشگاه اراک)..... استادیار

شهریور ۱۳۹۰

خداوندا!

تو را سپاس که گاهی ناچارم اشک بریزم تا بیاموزم که لبخندهایم را ارج نهم.

سپاس به خاطر فراموشی که تلخی ها را از خاطرم محو می کند.

سپاس به خاطر ناتوانی ام که کمک می کند توانایی ها را فراموش نکنم.

سپاس به خاطر شکست ها و زمین خوردن ها که دوباره برخاستن را به من می آموزند.

تو را سپاس به خاطر رفتن های بی بازگشت، چرا که در هر رفتنی امید وصالی ابدی است.

سپاس به خاطر همه آن چه که از من دریغ داشتی، چرا که همیشه چیزی هست که به خاطر رسیدن به آن محتاج تکاپو باشم!

سپاس به خاطر زخم هایی که می خورم و بدی هایی که می بینم، از آنرو که می آموزم چگونه دیگری را ببخشایم.

سپاس که گاه می توانم انکارت کنم تا از یاد نبرم که در برابرت تا چه اندازه حقیرم!

خداوندا! تو را سپاس که هستم!

تقدیم به بانوی آب و آینه

حضرت فاطمه

شکر و سپاس خدای را که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگیست.

تقدیم همراه با سپاس و تشکر فراوان

به دو فانوس روشن زندگیم، به پدر و مادرم که با صبر و پشتیبانی همیشگی خود در تمامی دوران های زندگی ام امید موفقیت را در من زنده نگاه داشتند.

تقدیم همراه با سپاس و تشکر فراوان

به خواهرانم که یاران صمیمی و مهربان من در تمام مراحل زندگی و دوران تحصیلی ام بوده اند و بدون یاری آن ها اتمام این پایان نامه امکان پذیر نبود.

شکر و سپاس خدای را که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگیست.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق»

بسی شایسته است از زحمات بی دریغ، تلاش های بی وقفه و راهنمایی های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر بیژن فرخی در راستای انجام این پروژه و در زمینه تحصیلی در دوره ی لیسانس و فوق لیسانس تشکر و قدردانی نمایم. امیدوارم همواره در زندگی به خصوص در عرصه های علمی، همچنان موفق و پیروز باشند.

و با تقدیر و تشکر فراوان از:

از اساتید فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر کامران مؤیدی و جناب آقای دکتر مهدی میرزایی که زحمت مطالعه و داوری این پایان نامه را پذیرفتند.

و با تقدیر و تشکر فراوان از:

دوستان بسیار عزیزم، به ویژه خانم ملیحه ملک حسینی، خانم فائزه امینی و خانم فاطمه جوکار که در دوره ی لیسانس و فوق لیسانس بهترین دوستان و همراهان من بودند.

شکر و سپاس خدای را که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگی

چكيده

بررسي نقص شبكه بلور پلاسماي غبار آلود يک و دو بعدي با استفاده از مدل فرنكل-كونتوروا
به وسيله:
فاطمه اشقلي فراهاني

بررسي نقايص در موارد زيادي از جمله در كريستال هاي مايع، آلياژها، مواد نرم و كريستال پلاسماي غبار آلود و غيره توجه بسياري را به خود جلب كرده است. در كريستال ها هر انحرافي از شبكه يا ساختار دوره اي كامل يک نقص به شمار مي رود. نقايص نقش بسزايي در كنترل ويژگي هاي مهم مواد دارند، براي مثال وجود نقص در پايداري و قدرت مواد اهميت فراواني دارد. در اين پايان نامه پس از معرفي پلاسما، پلاسماي غبار آلود و كريستال پلاسماي غبار آلود به معرفي مدل فرنكل-كونتوروا و كاربرد هاي آن در فيزيک حالت جامد (از جمله در بررسي نقايص) مي پر دازيم. از آن جا كه كريستال هايي كه در پلاسماي غبار آلود شكل مي گيرند اغلب از نوع كريستال هاي هگزاگونال دو بعدي هستند در فصل سوم اين پايان نامه به مطالعه ي كريستال هاي هگزاگونال دو بعدي همراه با نقص تهي جا (نوعي نقص نقطه كه از نبود ذره در جايگاه خود در شبكه ايجاد مي شود) پرداخته و با استفاده از مدل فرنكل-كونتوروا روابط پاشندگي موج شبكه غبار را در اين سيستم كه در واقع تركيبي از سلول هاي هگزاگونال شكل و لانه زنبوري است بدست مي آوريم.

واژه هاي كليدي: كريستال، نقايص، كريستال پلاسماي غبار آلود، مدل فرنكل-كونتوروا.

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ پلاسما ۲

۱-۳ مفاهيم اصلي پلاسما ۲

۱-۴ پلاسماي غبارآلود ۶

۱- ۵ خصوصيات اصلي پلاسماي غبار آلود ۷

۱-۶ كريستال پلاسماي غبار آلود ۹

فصل دوم

۲-۱ مقدمه ۱۷

۲-۲ مدل فرنكل- كونتوروا (FK) ۱۷

۲-۳ معادله سينوسي گوردون ۲۱

۲-۴ كاربردهاي مدل فرنكل و كونتوروا ۲۳

۲-۵ مدل FK همرا ه با بي نظمي ۲۷

۲-۶ پتانسيل زمينه غير سينوسي ۲۸

۲-۷ مدل FK دو بعدي ۲۹

فصل سوم

۳-۱ مقدمه ۳۲

۳-۲ بررسي روابط پاشندگي امواج شبكه در كريستال هگزاگونال دو بعدي با كمک مدل فرنكل-كونتوروا ۳۲

۳-۴ بحث و نتيجه گيري ۵۲
مراجع..... ۵۶
صفحه چكيده و عنوان به زبان انگليسي .....

فهرست تصاویر

شکل.....صفحه

شکل(۱-۱) - دستگاه مورد استفاده در آزمايش هاي غبار در تخليه صفحات موازي RF .. ۱۱

شکل (۱-۲) - ميکرو گراف الکتروني ذرات غبار استفاده شده در آزمايش ها ۱۲

شکل(۱-۳)- به دام انداختن ذرات در غلاف تخليه RF ۱۳

شکل(۱-۴)- به دام انداختن ذرات در غلاف تخليه RF و محصور سازي عمودي و افقي... ۱۴

شکل(۱-۵)- ترکيب هاي مختلف ذرات غبار در تخليه RF با محصورسازي مناسب..... ۱۵

شکل(۲-۱) - نمايش مدل فرنکل- کونتوروا ۱۸

شکل(۲-۲) - يک زنجيره نامتناهي با $a = a_s$ ۱۹

شکل (۲-۳) - تابع کينک..... ۲۲

شکل (۲-۴) - تابع ضد کينک..... ۲۲

شکل (۲-۵) - مد تنفسي ۲۳

شکل (۲-۶) - ساختار يک در رفتگي لبه اي: يک صفحه اتمي به شبکه کريستالي ۲۴

شکل(۲-۷) - نوعي مدل FK تعميم يافته با پتانسيل زمينه درجه دوم تکه اي ۲۵

شکل (۲-۸) - ازدحام حجمي در شبکه..... ۲۵

شکل (۲-۹) - شکل و ساختار ازدحام سطحي..... ۲۶

شکل (۲-۱۰)- توصيف نوعي سيستم فيزيکي به وسيله مدل FK استاندارد..... ۲۷

شکل (۲-۱۱) - زنجيره همراه با ناخالصي..... ۲۸

شکل (۳-۱) - آرايش ذرات به صورت هگزاگونال..... ۳۳

شکل(۳-۲) - نزديکترين همسايه ها ي ذره دلخواه (m, n) در يک شبکه هگزاگونال..... ۳۳

شکل (۳-۳) - وضعيت جابه جايي دو ذره $(m\ , n)$ و $(m + 1, n)$ ۳۴

شکل (۳-۴) - فاصله بین دو ذره $(m\ ,n)$ و $(m+1,n)$ ۳۵

شکل (۳-۵) - نیروي وارد بر ذره $(m\ ,n)$ از طرف ذره $(m+1,n)$ ۳۶

شکل (۳-۶)- منحني پاشندگي موج طولي در امتداد محور x بدون در نظر گرفتن سایر ذرات و با در نظر گرفتن سایر ذرات ۴۸

شکل (۳-۷)- منحني پاشندگي موج عرضي در امتداد محور x بدون در نظر گرفتن سایر ذرات و با در نظر گرفتن سایر ذرات ۴۸

شکل (۳-۸) - منحني پاشندگي موج طولي در امتداد محور y ها بدون در نظر گرفتن سایر ذرات و با در نظر گرفتن سایر ذرات..... ۴۹

شکل (۳-۹) - منحني پاشندگي موج عرضي در امتداد محور y ها بدون در نظر گرفتن سایر ذرات و با در نظر گرفتن سایر ذرات..... ۴۹

شکل (۳-۱۰) - شبکه لانه زنبوري..... ۵۰

شکل (۳-۱۱)- منحني پاشندگي موج طولي در امتداد محور x ها بدون در نظر گرفتن سایر ذرات، با در نظر گرفتن سایر ذرات و با حضور نقص..... ۵۲

شکل (۳-۱۲)- منحني پاشندگي موج عرضي در امتداد محور x ها بدون در نظر گرفتن سایر ذرات، با در نظر گرفتن سایر ذرات و با حضور نقص ۵۲

شکل (۳-۱۳)- منحني پاشندگي موج طولي در امتداد محور y ها بدون در نظر گرفتن سایر ذرات، با در نظر گرفتن سایر ذرات و با حضور نقص ۵۴

شکل (۳-۱۴)- منحني پاشندگي موج عرضي در امتداد محور y ها بدون در نظر گرفتن سایر ذرات، با در نظر گرفتن سایر ذرات و با حضور نقص ۵۵

فصل اول
مفاهیم اولیه

فصل اول

۱-۱ مقدمه

اولين بار شخصي به نام لانگموئير[1] در سال ۱۹۲۳ هنگامي كه روي پديده تخليه الكتريكي كار مي كرد ستون مثبت در لامپ تخليه الكتريكي را كه محتوي الكترون، يون و ذرات خنثي بود، پلاسما نام نهاد. تحقيقات نشان مي دهدكه ۹۹ درصد ماده موجود در جهان در حالت پلاسما است. پلاسما داراي رفتار منحصر به فردي است كه از روابط جامدات مايعات و گازها پيروي نمي كند لذا آن را حالت چهارم ماده مي نامند. پلاسما را مي توان در بادهاي خورشيدي، كمربند وان آلن، يونسفر، رعد و برق، شفق قطبي، درون خورشيد و ساير ستارگان، فضاي بين سيارات، جو سيارات (مانند حلقه هاي زحل)، در ستاره هاي دنباله دار، آتش، چراغ نئون و غيره مشاهده كرد. همچنين پلاسما در آزمايشگاه به منظور كاربرد هاي مختلف توليد و نگه داري مي شود.

۱-۲ پلاسما

پلاسما گازي يونيزه و شبه خنثي است كه رفتار جمعي از خود نشان مي دهد. شبه خنثي بودن يعني ميانگين بار مثبت و منفي در حجم ماكروسكوپي و در زمان طولاني با يكديگر برابر است هرچند ممكن است در حد ميكروسكوپي اين شرط برقرار نباشد. منظور از رفتار جمعي، حركاتي است كه نه تنها به شرايط موضعي بلكه به حالت پلاسما در ناحيه هاي دور نيز بستگي دارد. به عبارت ديگر ذرات پلاسما به دليل نيروي بلند برد كولمبي حتي در فواصل دور نيز روي يكديگر اثر مي گذارند.

۱-۳ مفاهيم اصلي پلاسما

چگالي الكترون ها n_e، چگالي يون ها n_i، درجه يونيزاسيون α، دما T، تابع توزيع ذرات $f(\boldsymbol{V},t)$، فركانس پلاسما، طول دباي و پارامتر پلاسما از مفاهيم اصلي پلاسما شمرده مي

[1] Langmuir

شوند. تغییر در این پارامتر ها موجب مي شود که پلاسما محدوده وسیعي از جهان اطراف ما را شامل شود.

نسبت چگالي ذرات باردار ($n_{i\alpha}$) به چگالي ذرات خنثي (n_n) درجه یونیزاسیون نام دارد.

$$\alpha \approx T^{3/2} \exp(-{}^{E_i}/_{k_B T}) \qquad (۱-۱)$$

که در آن T دماي گاز بر حسب کلوین، k_B ثابت بولتزمان و E_i انرژي یونیزاسیون گاز است. این معادله براي اولین بار در سال ۱۹۲۰ توسط ساها[1] فیزیکدان هندي ارائه شد.

پلاسما مجموعه اي از تعداد بي شمار ذرات متحرک برهمکنش کننده است. ذرات پلاسما در هر زمان به طور آماري در مکان و سرعت خاصي توزیع شده اند. تابع $f(\boldsymbol{V}, \boldsymbol{r}, t)$ که چگونگي توزیع ذرات در مکان و سرعت را مي دهد، تابع توزیع نامیده مي شود. گازي که درتعادل گرمایي است، از نظر تئوري کلاسیک داراي ذراتي با تمام سرعتها از صفر تا بي نهایت است و محتمل ترین توزیع این سرعتها توزیع ماکسولي نامیده مي شود. براي گازي که ذرات آن تنها در یک بعد حرکت مي کند تابع توزیع ماکسولي به شکل زیر است:

$$f(v_x) = Aexp\left[-\frac{mv_x^2}{2k_B T}\right] \qquad (۲-۱)$$

تعداد ذرات در واحد حجم به صورت تابعي از زمان و مکان از انتگرال گیري روي تابع توزیع در فضاي سرعت بدست مي آید.

$$n(\boldsymbol{r}, t) = \int f(\boldsymbol{V}, \boldsymbol{r}, t) d\boldsymbol{V} \qquad (۳-۱)$$

با توجه به اینکه در تابع توزیع ماکسولي بستگي فضا و زماني وجود ندارد لذا n مقدار ثابتي است.

براي درک معني دقیق دما مي توانیم میانگین انرژي جنبشي ذرات را به کمک تابع توزیع سرعت محاسبه کنیم.

$$\langle E \rangle = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2} m v^2 f(v) dv}{\int_{-\infty}^{\infty} f(v) dv} = \frac{1}{2} k_B T \qquad (۴-۱)$$

[1] Saha

که در حالت سه بعدي به صورت:

$$\langle E\rangle = \frac{3}{2}k_B T \qquad (۵-۱)$$

خواهد بود.

T دماي پلاسما به ميانگين انرژي جنبشي وابسته است. بر اين اساس گاهي دماي الكترون را به جاي كلوين بر حسب الكترون ولت (يكاي انرژي) بيان مي كنند. براي آنكه تعداد درجات آزادي سيستم مانعي براي اين معادل سازي نشود براي مشخص كردن دما از انرژي مربوط به $k_B T$ استفاده مي كنند. لذا انرژي يک الكترون ولت معادل دماي ۱۱۶۰۰ درجه كلوين مي شود.

پلاسما ممكن است بيش از يک دما داشته باشد. به عبارت ديگر دماي الكترون به سبب بالا بودن انرژي جنبشي آن معمولاً بيشتر از دماي يون است. دماي ذرات حتي ممكن است در راستاهاي مختلف نيز متفاوت باشد و اين به سبب متفاوت بودن ميانگين انرژي جنبشي ذرات در راستاهاي مختلف است.

تابع توزيع f در حالت كلي به صورت ماكسولي نبوده و از رابطه اي موسوم به معادله ولاسوف[1] بدست مي آيد.

$$\frac{\partial f}{\partial \mathrm{t}} + \boldsymbol{V}.\frac{\partial f}{\partial \boldsymbol{r}} + \frac{q_j}{m_j}(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{V}\times\boldsymbol{B}).\frac{\partial f}{\partial \boldsymbol{V}} = 0 \qquad (۶-۱)$$

رفتار جمعي پلاسما منشاء يكي از مهمترين ويژگي هاي پلاسما است كه حفاظ دباي ناميده مي شود. هنگامي كه پتانسيل الكتريكي در پلاسما ايجاد شود الكترون ها و يون ها تحت تأثير اين پتانسيل حركت كرده و پوششي در مقابل آن ايجاد مي كنند به طوري كه از فاصله دور اين پتانسيل ديده نمي شود. به ضخامت اين حفاظ كه پتانسيل در لبه هاي آن حدود $k_B T/e$ است طول دباي (λ_D) مي گويند و از رابطه زير بدست مي آيد.

$$\lambda_{\mathrm{D}} = \left(\frac{\varepsilon_0 k_B T_e}{n\mathrm{e}^2}\right)^{1/2} \qquad (۷-۱)$$

[1] Velasov equation

ε_0 ضريب گذرهي الكتريكي خلاء، T_e دماي الكترون و n چگالي ذرات است.

اصولاً براي تشكيل حفاظ دباي لازم است ذرات به تعداد كافي موجود باشند. بديهي است كه اگر در ناحيه غلاف فقط يک يا دو ذره وجود داشته باشد حفاظ دباي از لحاظ آماري مفهوم معتبري نخواهد داشت و لذا تعداد ذرات درون كره اي به شعاع λ_D بايد عدد بزرگي باشد. با توجه به معادله (۱- ۷) تعداد ذرات درون كره اي به شعاع λ_D به صورت زير است :

$$N_D = n\frac{4}{3}\pi{\lambda_D}^3 \qquad (۸-۱)$$

معكوس تعداد ذرات درون كره دباي را پارامتر پلاسما مي نامند.

$$g = 1/N_D \qquad (۹-۱)$$

پارامتر پلاسما يكي از مهم ترين پارامترهاي بدون بعد وابسته به پلاسما بوده و مي تواند به عنوان درجه اي از غلبه پلاسما يا اثرات جمعي بر رفتار تک ذره اي پلاسما تفسير شود.

يكي از شرايط پلاسما بودن يک گاز يونيزه اين است كه چگالي گاز آنقدر بزرگ باشد كه λ_D بسيار كوچكتر از L، ابعاد سيستم بدست آيد و در نتيجه در قسمت اعظم پلاسما شرايط شبه خنثي بودن وجود داشته باشد.

يكي ديگر از شرايط پلاسما بودن يک گاز يونيزه اين است كه گاز مورد نظر بايد به قدري يونيزه باشد كه برخورد بين ذرات باردار از برخورد بين ذرات باردار و خنثي بيشتر باشد. در غير اين صورت حركت ذرات بيشتر توسط نيروهاي هيدروديناميكي معمولي كنترل مي شود.

به زبان رياضي، اگر ω فركانس نوسانات در پلاسما و τ زمان متوسط بين برخوردهاي انجام شده با اتم هاي خنثي باشد (گاهي از $\nu = 1/\tau$ به عنوان فركانس برخورد استفاده مي شود) لازم است كه $\tau \gg 1/\omega$ و يا $\omega\tau \gg 1$ و در نتيجه $\omega \gg \nu$.

بنابر اين سه شرط لازم براي پلاسما بودن يک گاز يونيزه عبارت است از :

۱) $\lambda_D \ll L$ براي حفظ شبه خنثي بودن پلاسما.

۲) $N_D \gg 1$ براي اينكه حفاظ دباي از لحاظ آماري مفهوم معتبري داشته باشد و براي حفظ رفتار جمعي پلاسما.

۳) $\omega\tau \gg 1$ براي اينكه گاز مانند پلاسما و نه يک گاز خنثي رفتار كند.

۱-۴ پلاسماي غبارآلود

پلاسماي غبار آلود به عنوان يک گاز يونيزه كم دما كه اجزاي آن الكترون ها، يون ها و ذرات غبار هستند، شناخته شده است. در سال ۱۹۲۴، لانگموئير چگونگي امكان مشاهده يک پلاسماي غبارآلود را براي اولين بار شرح داد. براي توليد پلاسماي غبارآلود در آزمايشگاه ابتدا ذرات جامد به وسيله تكنيک هاي خاصي به داخل محيط پلاسما تزريق مي شوند و سپس اين ذرات باردار مي گردند. حضور ذرات غبار (دانه ها)، پارامترهاي پلاسما را تغيير داده و بر روي فرآيندهاي جمعي در چنين سيستم هاي پلاسمايي تأثير مي گذارد. دانه هاي غبار ممكن است از جنس فلز،ذرات يخ و غيره باشند اندازه و شكل دانه هاي غبار متفاوت خواهد بود، مگر اينكه به طور مصنوعي ساخته شده باشند.

به طور كلي ذرات غبار به روش هاي زير بار دار مي شوند:

۱) پديده فوتويونشي
۲) گسيل الكترون ثانويه
۳) كند و پاش به وسيله يون هاي پر انرژي
۴) برخورد الكترون ها و يون ها به ذرات غبار

در موارد ۱، ۲، ۳ به ترتيب فوتون ها، الكترون ها، و يون هاي پر انرژي با برخورد به سطح ذره غبار مي توانند باعث جدا شدن ذرات باردار شده و به اين ترتيب ذره غبار را باردار كنند. در مورد چهارم الكترون ها و يون ها با برخورد به سطح ذره غبار ذره را داراي بار منفي يا مثبت مي كنند. با توجه به اينكه الكترون ها سرعت بيشتر و جرم كمتري نسبت به يون ها دارند لذا تعداد برخورد الكترون ها بيشتر بوده و از اين جهت ذرات غبار اغلب بار منفي دارند. ذرات غبار به سبب فرود الكترون ها و يون ها به سطح آن ها پيوسته باردار و بي بار مي شوند. در غياب گسيل الكترون ثانويه و تابش فوتون (هر دو به علت كم بودن انرژي پلاسما و شدت در آزمايش ها قابل چشم پوشي هستند) بار ذره به يک مقدار تعادلي منفي مي رسد كه معمولاً برابر چندين هزار e است. جرم چنين ذراتي معمولاً بيشتر از يون ها و اتم هاي خنثي موجود در

پلاسما است. در کل جرم ذره غبار خيلي بيشتر از جرم يون ها و الکترون ها است بنابراين مقياس زماني حرکت غبار در مقايسه با يون ها و الکترون ها خيلي طولاني تر است.

با چشم پوشي از اثرات غير خطي پتانسيل سطحي دانه غبار، پتانسيل برهمکنشي بين دانه هاي غبار به صورت پتانسيل دباي- هاکل[1] يا يوکاوا[2] در نظر گرفته مي شود:

$$V(r) = \frac{Z_d^2 e^2}{r} exp\left(-\frac{r}{\lambda_D}\right) \qquad (۱۰-۱)$$

که Z_d تعداد بار غبار و λ_D طول دباي است، که با رابطه زير داده مي شود:

$$\frac{1}{{\lambda_D}^2} = \frac{1}{\lambda_{\mathrm{De}}^2} + \frac{1}{\lambda_{Di}^2} \qquad (۱۱-۱)$$

کهλ_{Di} و λ_{De} به ترتيب طول دباي يون و الکترون هستند و به صورت زير تعريف مي شوند:

$$\lambda_{De,i} = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T_{e,i}}{e^2 n_{(e,i)0}}} \qquad (۱۲-۱)$$

دو مقياس طولي ديگر شعاع دانه غبار R و فاصله متوسط غبارها $d = (3/4\pi n_{d0})^{1/3}$ هستند.

۱- ۵ خصوصيات اصلي پلاسماي غبار آلود

براي شناخت خصوصيات پلاسماي غبار آلود بعضي از خصوصيات اساسي مانند خنثي ماکروسکوپي، فاصله بين دانه اي، پارامتر جفت شدگي و فرکانس مشخصه را مورد بحث قرار مي دهيم.

هنگامي که هيچ اختلال خارجي حضور ندارد پلاسماي غبارآلود مانند پلاسماي الکترون-يون معمولي به طور ماکروسکوپي خنثي است به عبارت ديگر در حالت تعادل و بدون حضور

[1] Debye-Huckel

[2] Yukawa

نيروهاي خارجي، بار الكتريكي خالص پلاسماي غبارآلود برابر صفر است. بنابراين در حالت تعادل چگالي الكترون ها و يون ها به وسيله شرط خنثايي زير تعيين مي شود:

$$en_{i0} - en_{e0} + q_d n_{d0} = 0 \qquad (۱۳-۱)$$

كه $n_{e,i,d}$ به ترتيب غلظت الكترون هاي پلاسما، غلظت يون ها و غلظت ذرات غباراست، e اندازه بار الكترون و $q_d = \pm Z_d e$ اندازه بار موجود روي سطح دانه غبار است. حضور ذرات غبار در پلاسما همراه با تشكيل ميدان هاي الكتريكي درون پلاسما، تغيير شكل پتانسيل، تغيير در انتقال ذرات درون پلاسما، معرفي مدهاي جديد و غيره است.

شعاع دانه هاي غبار R، معمولاً خيلي كوچكتر از λ_D، طول دباي پلاسماي غبارآلود و d فاصله بين ذرات است. پلاسما همراه با ذرات غبار مي تواند هم به عنوان پلاسماي غبار آلود [1] و هم به عنوان غبار در پلاسما [2] مطرح شود. براي پلاسماي غبار آلود شرط $R < d \ll \lambda_D$ برقرار است و ذرات غبار مي توانند به عنوان ذرات نقطه اي بزرگ در نظرگرفته شوند و اثر ذرات همسايه مي تواند مهم باشد. براي غبار در پلاسما شرط $R \ll \lambda_D < d$ برقرار است و در اين حالت ذرات غبار با همسايه هاي خود ارتباطي ندارند.

يكي از خصوصيات مهم پلاسماي غبارآلود پارامتر جفت شدگي است. پارامتر جفت شدگي به صورت نسبت انرژي پتانسيل كولمبي بين ذرات غبار به ميانگين انرژي جنبشي ذرات غبار تعريف مي شود.

$$\Gamma_d = \frac{q_d^2}{d(K_B T_d)} \exp\left(-\frac{d}{\lambda_D}\right) \qquad (۱۴-۱)$$

كه در آن $d = (3/4\pi n_{d0})^{1/3}$ فاصله متوسط بين ذرات غبار، n_{d0} چگالي اوليه غبار، q_d بار غبار و $K_B T_d$ انرژي گرمايي غبار است. هنگامي كه $\Gamma_{\mathrm{d}} \gg ۱$، پلاسماي غبار آلود جفت شده داريم. اگر $\Gamma_{\mathrm{d}} < ۱$ باشد دانه هاي غبار به صورت كاملاً كاتوره اي و نامنظم در پلاسماي غبار آلود حركت مي كنند و در اين حالت امكان تشكيل بلور ها به طور كلي از بين مي رود.

[1] Dusty plasma
[2] Dust-in- plasma