بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه الزهراء (س)

دانشکده فیزیک شیمی

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک اتمی و مولکولی

عنوان

ناپایداری جینز در پلاسمای غباری با وجود تغییرات بار غبار

استاد راهنما

دکتر حسین حکیمی پژوه

استاد مشاور

دکتر محمود رضا روحانی

دانشجو

نرگس افشاری

دی ۱۳۹۳

کلیه دستاوردهای این تحقیق متعلق به

دانشگاه الزهراء (س) **است.**

سپاس

سپاس خدای مهربان را که همواره لطف خود را شامل حال من نموده است.

از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر حسین حکیمی پژوه که همواره با صبر و حوصله من را در تهیه این رساله یاری کرده اند، کمال تشکر را دارم.

از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمود رضا روحانی بابت راهنمایی ها و کمک های ارزشمندشان در طول انجام این پروژه، بسیار سپاسگزارم.

چکیده

در این پایان‌نامه، اثر وابستگی بار ذرات غبار به پتانسیل پلاسما بر روی ناپایداری جینز برای ذرات غبار در یک پلاسمای غباری گرانشی، بررسی شده است. بدین منظور رابطه پاشندگی را برای امواج غبار- صوت در یک پلاسمای غباری با غبارهای کروی، شامل: الکترون‌ها و یون‌های ماکسولی و ذرات غبار باردار منفی سرد به دست آورده‌ایم. نشان داده‌ایم که ثابت نبودن بار غبار پلاسمای غباری را ناپایدارتر کرده و طول موج آستانه ناپایداری جینز را کاهش می‌دهد.

محاسبه رابطه میان چگالی ذرات غبار با بار آن‌ها نشان می‌دهد که ثابت نبودن بار ذرات غبار نیروی دافعه الکتروستاتیکی میان آن‌ها را کاهش می‌دهد و در نتیجه نیروی جاذبه گرانشی منجر به رمبش گرانشی پلاسما می‌شود.

همچنین رابطه پاشندگی را برای الکترون‌ها و یون‌های لورنتسی نیز به دست آوردیم و نشان داده‌ایم که افزایش جمعیت ذرات پر انرژی طول موج آستانه ناپایداری جینز را کاهش می‌دهد و در نتیجه پلاسما را نسبت به یک پلاسمای غباری با توزیع ماکسولی برای الکترون‌ها و یون‌ها، ناپایدارتر می‌کند.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

مقدمه ۲

فصل دوم: مبانی نظری پلاسما

۲-۱: تاریخچه پلاسمای غباری ۹
۲-۲: مشخصه‌های پلاسمای غباری ۱۰
۲-۲-۱: خنثایی ماکروسکوپیکی ۱۱
۲-۲-۲: طول دبای ۱۱
۲-۲-۳: فرکانس پلاسمایی ۱۲
۲-۳: پلاسماهای غباری در فضا ۱۳
۲-۳-۱: فضای بین سیاره‌ای ۱۳
۲-۳-۲: دنباله‌دارها ۱۴
۲-۳-۳: حلقه‌های بین سیاره‌ای ۱۵
۲-۳-۳-۱: مشتری ۱۵
۲-۳-۳-۲: زحل ۱۶
۲-۳-۳-۳: اورانوس ۱۶
۲-۳-۳-۴: نپتون ۱۷
۲-۳-۴: جو زمین ۱۷
۲-۴: فرایندهای باردار شدن ذره غبار ۱۸
۲-۴-۱: تجمع ذرات پلاسما ۱۹
۲-۴-۲: گسیل الکترون ثانویه ۲۱
۲-۴-۲-۱: برخورد الکترون ۲۱
۲-۴-۲-۲: برخورد یون ۲۲

۲-۴-۳: گسیل فوتونی ۲۳
۲-۴-۴: گسیل گرما یونی ۲۳
۲-۴-۵: گسیل میدانی ۲۳
۲-۴-۶: یونیزاسیون ناشی از برخورد ۲۴
۲-۴-۷: پرتوزایی ۲۴
۲-۵: امواج خطی در پلاسما ۲۴
۲-۵-۱: امواج غبار- صوت ۲۵
۲-۵-۲: امواج غبار- یون- صوت ۲۷
۲-۶: ناپایداری جینز ۲۸
۲-۶-۱: محاسبه رابطه پاشندگی ۲۸

فصل سوم: ناپایداری جینز در پلاسمای غباری (بدون تغییرات بار غبار)

۳-۱: مقدمه ۳۶
۳-۲: آنالیز خطی ۳۷
۳-۲-۱: توزیع ماکسولی ۳۸
۳-۲-۲: توزیع کاپا (لورنتسی) ۴۲
۳-۲-۳: بررسی رابطه پاشندگی ۴۳
۳-۲-۴: تعادل مجانبی همگن ۵۲
۳-۳: آنالیز غیرخطی ۵۶
۳-۳-۱: شرایط اولیه با وجود تعادل ذرات غبار ۶۶
۳-۳-۲: شرایط اولیه بدون وجود تعادل ذرات غبار ۷۰

فصل چهارم: ناپایداری جینز در پلاسمای غباری (با وجود تغییرات بار غبار)

۴-۱: مقدمه ۷۷
۴-۲: محاسبه رابطه پاشندگی ۷۷

۴-۲-۱: توزیع ماکسولی ۸۰
۴-۲-۲: توزیع کاپا ۸۸
۴-۲-۲-۱: مثال عددی ۹۱

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتیجه‌گیری ۹۵

پیوست‌ها

پیوست ۱: تابع توزیع کاپا ۹۷
پیوست ۲: جریان یون و الکترون (توزیع ماکسولی) ۱۰۳
پیوست ۳: جریان یون و الکترون (توزیع کاپا) ۱۱۱
پیوست ۴: جریان اختلالی یون و الکترون ۱۱۵

فهرست منابع

منابع ۱۲۰

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: دنباله‌دار هالی ۱۵

شکل ۲-۲: ابرهای نوکتیلوسنت ۱۸

شکل ۲-۳: برخورد خراشان میان ذره نوع j و غبار ($q_j q_d < 0$) ۱۹

شکل ۲-۴: موج غبار- صوت ۲۶

شکل ۳-۱: نمودار تو پر: تغییرات نرخ رشد اختلال بر حسب طول موج (توزیع ماکسولی)
نمودار خط‌چین: تغییرات نرخ میرایی اختلال بر حسب طول موج (توزیع ماکسولی) ۴۸

شکل ۳-۲: تغییرات فرکانس نوسان موج غبار- صوت بر حسب طول موج (توزیع ماکسولی)
..... ۴۸

شکل ۳-۳: تغییرات نرخ رشد ناپایداری جینز بر حسب طول موج (توزیع کاپا و توزیع ماکسولی) ۵۰

شکل ۳-۴: نمودار تغییرات فرکانس نوسان موج غبار- صوت بر حسب طول موج (توزیع کاپا و توزیع ماکسولی) ۵۲

شکل ۳-۵: تغییرات N بر حسب kx_0 برای $Gm_d^2/q_d^2>1$ ۶۷

شکل ۳-۶: تغییرات $\gamma\tau_c$ بر حسب kx_0 برای $Gm_d^2/q_d^2>1$ ۶۸

شکل ۳-۷: تغییرات N بر حسب kx_0 برای $Gm_d^2/q_d^2<1$ ۶۹

شکل ۳-۸: تغییرات N بر حسب $\gamma\tau$ برای $Gm_d^2/q_d^2<1$ ۶۹

شکل ۴-۱: تغییرات نرخ رشد ناپایداری جینز بر حسب طول موج (توزیع ماکسولی) ۸۳

شکل ۴-۲: تغییرات فرکانس نوسان موج غبار- صوت بر حسب طول موج با وجود تغییرات بار غبار (توزیع ماکسولی) ۸۳

شکل ۴-۳: تغییرات فرکانس نوسان موج غبار- صوت بر حسب طول موج (توزیع ماکسولی)
..... ۸۴

شکل ۴-۴: تغییرات نرخ رشد ناپایداری جینز بر حسب طول موج (توزیع کاپا $\kappa = 2$) ۹۲

شکل ۴-۵: تغییرات فرکانس نوسان موج غبار- صوت بر حسب طول موج با وجود تغییرات بار غبار (توزیع کاپا $\kappa = 2$) ۹۲

شکل ۴-۶: تغییرات فرکانس نوسان موج غبار - صوت بر حسب طول موج (توزیع کاپا $\kappa = 2$) ۹۳

شکل پ۱-۱: تابع توزیع کاپا به ازای مقادیر مختلف κ ۹۸

شکل پ۲-۱: عنصر سطح ذره غبار ۱۰۷

فصل اول

مقدمه

مقدمه

"پلاسما" گازی شبه خنثی شامل ذرات باردار و خنثی است که رفتار جمعی از خود نشان می‌دهند.

حدود ۹۹ درصد ماده تشکیل دهنده جهان در حالت پلاسما می‌باشد. این تخمین هر چند ممکن است دقیق نباشد، اما قابل قبول است با توجه به این موضوع که درون ستارگان و جو آن‌ها، سحابی‌های گازی و اغلبِ هیدروژن موجود در فضای بین ستارگان، پلاسما می‌باشد. در همسایگی ما به محض اینکه جو زمین را ترک می‌کنیم با پلاسما روبرو می‌شویم. این پلاسما شامل بادهای خورشیدی و کمربند تشعشعیِ ون‌آلن می‌باشد. ستارهٔ خورشید خود نمونه‌ای از یک پلاسمای بسیار داغ می‌باشد.

ما در زندگی روزانه خود با تعداد محدودی از پلاسماها سر و کار داریم. رعد و برق، گاز رسانای موجود در لامپ فلوئورسنت یا لامپ نئونی و شعله آتش نمونه‌هایی از پلاسماهای موجود بر روی کره زمین می‌باشند. این‌طور به نظر می‌رسد که ما، در یک درصد از جهان که در آن پلاسما به طور طبیعی تولید نمی‌شود زندگی می‌کنیم.

در سال ۱۸۷۹ میلادی، ویلیام گروکس[1] فیزیکدان انگلیسی در حین بررسی تخلیه الکتریکی گازها اظهار داشت که این گازها نوع جدیدی می‌باشند که حاوی ذرات باردار هستند. به عبارت دیگر مخلوطی از یک گاز الکترون و یک گاز پروتون را داریم که نمایان‌گر حالت چهارم ماده است.

در سال ۱۹۲۹ میلادی، لانگمور و تانکس اصطلاح پلاسما را برای توصیف گاز یونیزه‌ای که به وسیله تخلیه الکتریکی درون لوله تولید شده بود، به کار بردند. پلاسما، اولین بار توسط دانشمندی[2] از کشور چکسلواکی برای توصیف مایعی شفاف که پس از حذف گلبول‌های سفید و قرمز از خون باقی می‌ماند، به کار برده شد. کلمه پلاسما از واژه یونانی $\pi\lambda\alpha\sigma\mu\alpha$ ، به معنای جسمی با قابلیت شکل‌پذیری گرفته شده است. دلیل استفاده از اصطلاح پلاسما توسط لانگمور و تانکس این بود که لانگمور گاز یونیزه شده را به پلاسمای خون تشبیه کرد. یعنی همان طور که پلاسمایِ خون گلبول‌های سفید و قرمز را حمل می‌کند، سیالی وجود دارد که یون و الکترون در آن شناور هستند و حرکت می‌کند. البته باید توجه داشت اصطلاح پلاسما برای توصیف گاز

[1] William Grooks
[2] Johannes Purkinje

یونیزه شده بی مسمی می‌باشد. زیرا همان طور که اشاره شد پلاسما به معنی جسمی انعطاف‌پذیر است، در حالی که گاز یونیزه شده به دلیل رفتار جمعی که از خود نشان می‌دهد، تحت تأثیر عوامل خارجی نبوده و اغلب طوری عمل می‌کند که گویی رفتار مخصوص به خودش را دارد.

فیزیک پلاسما پس از تحقیقات اولیه صورت گرفته توسط لانگمور، در خیلی از جهات مورد توجه قرار گرفت:

۱. پیشرفت در صنعت رادیویی منجر به کشف لایه یونسفر زمین شد. یونسفر که در بالای لایه اتمسفر قرار دارد و شامل گازی یونیزه شده با درجه یونیزاسیون کم می‌باشد، نقش اصلی را در ارتباطات رادیویی ایفا می‌کند. متأسفانه لایه یونسفر گاهی اوقات امواج رادیویی را جذب و یا منحرف می‌کند و منجر به اختلال در ارتباطات رادیویی می‌شود. به منظور درک اختلال‌های به وجود آمده، برخی از دانشمندان مانند اَپلتون و بودِن[1]، نظریه " انتشار امواج الکترومغناطیسی در پلاسماهای مغناطیده غیر یکنواخت " را توسعه دادند.

۲. متخصصان فیزیک نجومی دریافتند که اغلب جهان از پلاسما تشکیل شده است و به همین منظور درک پدیده‌های نجومی ملزم به درک بهتر از فیزیک پلاسما می‌باشد.

۳. ساخت بمب هیدروژنی در سال ۱۹۵۲ میلادی توجه بسیاری از دانشمندان را به "همجوشی هسته‌ای گرمایی کنترل شده"[2] به عنوان منبع انرژی، جلب کرد. در ابتدا تحقیقات در این زمینه به طور مستقل و محرمانه توسط سه کشور آمریکا، روسیه و انگلستان انجام می‌شد. اما در سال ۱۹۵۸ میلادی تحقیقات دیگر محرمانه نبودند و یافته‌های مهمی در همین زمینه، مربوط به دهه ۱۹۵۰، منتشر شد. فیزیکِ پلاسمای تئوری به صورت روابط ریاضی محض در همین سال‌ها به وجود آمد. در حقیقت دانشمندانِ فیزیک هسته‌ای به دنبال دانستن این موضوع بودند که چگونه می‌توان یک پلاسمای هسته‌ای گرمایی[3] را توسط میدان‌های مغناطیسی به دام بیندازند و تنها به برخی از ناپایداری‌های تولیدی در پلاسما اجازه انتشار بدهند.

۴. در سال ۱۹۵۸ ون آلن با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده توسط ماهواره کاوشگر آمریکا، کمربند تشعشعی ون‌آلن را که زمین را احاطه کرده بود، کشف کرد. این شروعی برای جستجو به دنبال مگنتوسفر زمین از طریق ماهواره‌های ارسالی بود که منجر به پیدایش "فیزیک پلاسما – نجوم[4]"شد.

---

[1] E.V. Appleton, K.G. Budden
[2] controlled thermonuclear fusion
[3] thermonuclear plasma
[4] space plasma physics

۵. توسعه و گسترش لیزرهای با توان بالا در دهه ۱۹۶۰، شاخه "فیزیک لیزر– پلاسما"[1]را به وجود آورد. وقتی سطح یک جسم جامد را در معرض نور یک لیزر با توان بالا قرار می‌دهیم، سطح جسم کنده شده و بین سطح و پرتو لیزر، پلاسما تشکیل می‌شود. یکی از کاربردهای جالب فیزیک لیزر – پلاسما، استفاده از میدان‌های الکتریکی بسیار قوی برای شتاب ذرات می‌باشد. این میدان‌ها در اثر عبور یک پالس لیزر با توان بسیار بالا از یک پلاسما تولید می‌شوند.

پلاسمای غباری دریچه‌ای نو از تحقیقات را در علم فیزیکِ پلاسما گشوده است. علاوه بر یون، الکترون و ذرات خنثی که در پلاسماهای معمولی وجود دارند، پلاسماهای غباری حاوی ذرات سنگین در ابعاد چند ده نانومتر تا چند صد میکرومتر می‌باشند. جنس ذرات غبار ممکن است رسانا، دی‌الکتریک و یا تکه‌های یخ باشد. اغلب این ذرات به صورت جامد هستند ولی برخی از آن‌ها به صورت قطره (مایع) و بلورهای برف می‌باشند. ذرات غبار بسیار سنگین‌تر از یون و الکترون می‌باشند ($m_d = 10^6 - 10^8\, m_p$) که در آن m_d جرم ذره غبار و m_p جرم پروتون می‌باشد. به علاوه، ذرات غبار به دلیل بر هم کنشی که با محیط پیرامون خود دارند می‌توانند به صورت مثبت یا منفی باردار شوند ($|q_d| = 10 - 10^4\, e$) که در آن $|q_d|$ اندازه بار ذره غبار و e اندازه بار الکتریکی می‌باشد.

حضور این ذرات سنگین و باردار که چگالی کمی هم دارند، مقیاس‌های جدیدی از فضا و زمان را در پلاسما وارد می‌کنند و منجر به تولید امواج و ناپایداری‌های جدیدی در پلاسما می‌شوند [۱-۱۱]. فرایند باردار شدن ذرات غبار و افت و خیز بار آن‌ها نیز جالب توجه بوده و در بسیاری از تحقیقات به آن پرداخته شده است [۱۲-۱۵]. وجود ذرات غبار در پلاسما بررسی فیزیکِ پلاسما را پیچیده می‌کند و از این رو به پلاسماهای غباری گاهی پلاسماهای پیچیده [2] نیز می‌گویند.

پلاسماهای غباری را در کجا می‌توان یافت؟ در پاسخ به این سوال باید بگوییم که ذرات غبار در پلاسماهای کیهانی و پلاسماهای اطراف زمین وجود دارند. البته پلاسماهای غباری را در آزمایشگاه‌های زمینی نیز می‌توان مشاهده کرد. به عنوان مثال، شعله شمع شامل ذرات غبار یا همان اصطلاحاً دوده می‌باشد. واقعیت این است که حضور ذرات کربن نسوخته، شعله را به پلاسمای غباری تبدیل کرده است. تابش گرمایی الکترون‌ها از ذرات کربن، که دمای آن‌ها در

[1] laser plasma physics
[2] complex plasma

شعله شمع به ۱۰۰۰ $^{\circ}c$ می‌رسد، درجه یونیزاسیون را تا چند مرتبه بزرگی افزایش داده و به همین دلیل می‌توان شعله شمع را پلاسما نامید.

پلاسماهای غباری را به دو صورت می‌توان دسته‌بندی کرد، پلاسماهایی که به صورت طبیعی وجود دارند و پلاسماهایی که ساخته دست بشر هستند.

الف) پلاسماهایی که به طور طبیعی وجود دارند

این پلاسماها، خود براساس موقعیت مکانی به صورت پلاسماهای کیهانی، پلاسماهای منظومه شمسی و پلاسماهای اطراف زمین دسته بندی می‌شوند.

۱. پلاسماهای کیهانی
- سحابی شمسی
- سحابی سیاره‌ای
- پوسته ابر نواخترها[۱]
- فضاهای میان سیارگان[۲]
- ابرهای مولکولی
- حلقه‌هایی که به دور خورشید می‌چرخند[۳]
- استروئیدها

۲. پلاسماهای منظومه شمسی
- دنباله‌ی دنباله دارها و پوشش گازی که هسته آن‌ها را در بر گرفته است
- سیستم‌های سیاره‌ای که دارای حلقه است – حلقه‌های زحل
- جریان‌هایی از ذرات غبار که از مشتری خارج می‌شوند
- شفق بین الطلوعین[۴]

۳. پلاسماهای زمینی
- رعد و برق (صاعقه)[۵]
- آتشفشان‌ها
- ابرهای غباری اطراف ماه[۶]

---

[1] supernova shells
[2] interplanetary medium
[3] circumsolar rings
[4] zodiacal light
[5] lightening discharge
[6] moon clouds

- ابرهای نازکی که در مزوسفر هستند[1]

ب) پلاسما های مصنوعی

شامل نمونه‌هایی هستند که در آن پلاسمای غباری، با افزودن ذرات غبار به پلاسمای معمولی به دست می‌آید.

۱. شعله آتش
۲. گاز خروجی از موشک
۳. اورسل جوی[2]
۴. ذرات غبار تولید شده در فرایند همجوشی
۵. ابر تشکیل شده بعد از انفجار بمب هسته‌ای[3]
۶. پلاسماهایی که در صنعت الکترونیک مانند تراشه‌های نیمه هادی، سلول‌های خورشیدی و صفحه نمایشگرهای تخت به کار می‌روند
۷. تجهیزات مورد استفاده در آزمایشگاه‌ها برای تولید و مطالعه پلاسماهای غباری

در مباحث نجومی دینامیک اجسام بزرگ مانند سیارات، ستاره‌ها و اقمار توسط نیروی گرانشی کنترل می‌شود. دینامیک ذراتی مانند یون و الکترون، به دلیل جرم کمی که دارند تنها تحت تأثیر نیروهای الکترومغناطیسی می‌باشد. دو نیروی گرانشی و الکترومغناطیسی در دو گستره عددی بسیار متفاوت از یکدیگر عمل می‌کنند.

امروزه می‌دانیم که برای ذرات غبار در ابعاد میکرومتر، مرتبه بزرگی این دو نیرو (حداقل با اختلاف یک مرتبه بزرگی) با یکدیگر قابل مقایسه می باشند [۱۶]. اگر فقط نیروی الکتروستاتیکی را در نظر بگیریم آن‌گاه برابری مرتبه بزرگی این دو نیرو به معنی $Gm_d^2 / q_d^2 \approx O(1)$ می‌باشد (در این پایان‌نامه کمیت‌ها در دستگاه cgs نوشته شده‌اند). q_d بار ذره غبار، m_d جرم ذره غبار و G ثابت گرانشی می‌باشد.

بر هم کنش میان نیروهای گرانشی و الکتروستاتیکی در دینامیک ذرات غبار، منجر به ایجاد پدیده‌هایی بسیار جالب در جو زمین و منظومه شمسی، مانند حلقه‌های زحل و مشتری شده است. به عنوان مثال، برابری نیروی الکتروستاتیکی ذرات غبار و نیروی گرانشی بین آن‌ها، که

[1] noctilucent clouds in the mesosphere
[2] atmospheric aerosols
[3] thermonuclear fireball

منجر به شناور شدن آن‌ها در بالای صفحه حلقه B زحل شده است، دلیل ایجاد اسپاک[1] در این حلقه می‌باشد [۱۷، ۱۸]. همچنین نازک بودن حلقه‌های مشتری به شناوری الکتروستاتیکی[2] ذرات غبار در برابر نیروی گرانشی وارد شده از طرف سیاره، نسبت داده شده است [۱۹].

در بررسی فرایند تشکیل یک ستاره، فرایند تراکم یا پراکندگی ذرات غبار تحت تأثیر نیروی خود-گرانشی[3] ، بسیار مهم می‌باشد [۲۱،۲۰]. مسئله تراکم ذرات غبار خنثی بر اثر نیروی خود-گرانشی این ذرات، اولین بار توسط جینز[4] مورد بررسی قرار گرفت و به همین دلیل این مسئله به ناپایداری جینز[5] [۲۲] معروف می‌باشد.

در این پایان نامه سعی کرده‌ایم که ناپایداری جینز را در یک پلاسمای غباری گرانشی، که در آن بار غبار ثابت نبوده و متناسب با پتانسیل در هر نقطه می‌باشد مورد بررسی قرار دهیم.

در فصل دوم، مفاهیم اصلی پلاسمای غباری بیان شده و ناپایداری جینز در گازهای ساده مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل سوم، پایداری خطی و غیرخطی یک پلاسمای غباری گرانشی را با فرض ثابت بودن بار ذرات غبار، مورد بررسی قرار داده‌ایم.

در فصل چهارم، اثر تغییرات بار ذرات غبار بر روی ناپایداری جینز در یک پلاسمای غباری گرانشی، مورد مطالعه قرار گرفته است.

در فصل پنجم نیز، نتایج و پیشنهادات مطرح شده است.

---

[1] spoke
[2] electrostatic levitation
[3] self - gravity
[4] J. H. Jeans
[5] jeans instability

فصل دوم

مبانی نظری پلاسما

۲-۱: تاریخچه پلاسمای غباری

در حدود ۸۵ سال پیش (۱۹۲۹)، تانکس و لانگمور اولین بار اصطلاح "پلاسما" را برای توصیف ناحیه درونی یک گاز یونیزه شده که به وسیله تخلیه الکتریکی درون لوله تولید شده بود، به کار بردند. عبارت پلاسما، نمایان‌گر گازی است که به طور ماکروسکوپیکی خنثی بوده و شامل تعداد زیادی ذرات باردار (یون و الکترون) و ذرات خنثی می‌باشد که با یکدیگر بر هم کنش دارند.

می‌توان گفت که ۹۹ درصد ماده تشکیل دهنده جهان (که در آن غبار جزئی جدایی ناپذیر است) در حالت پلاسما می‌باشد. در نتیجه در بیشتر موارد، پلاسما در کنار ذرات غبار یافت می‌شود. بزرگی ابعاد این ذرات غبار می‌تواند در حدود میکرومتر باشد. این ذرات خنثی نبوده و متناسب با پلاسمایی که آن‌ها را احاطه کرده است، دارای بار مثبت و یا منفی می‌باشند.

مخلوطی از این ذرات ماکروسکوپیکی باردار، یون‌ها، الکترون‌ها و ذرات خنثی "پلاسمای غباری" را تشکیل می‌دهند.

تاریخچه پلاسمای غباری کاملاً قدیمی می‌باشد. شفق بین الطلوعین (روشنایی که در مدت زمان کوتاهی بعد از غروب آفتاب و یا قبل از طلوع خورشید در بالای خط افق قابل رؤیت است) که در زمان‌های بسیار قدیم نیز شناخته شده بود، نمونه بسیار خوبی از یک پلاسمای غباری می‌باشد. سحابی جبار (با چشم غیر مسلح به صورت یک ستاره در شمشیر جنگجو، در صورت فلکی جبار، قابل رؤیت است) و ابرهای نوکتیلوسنت (در فصل تابستان در قطب دیده می‌شوند) نیز نمونه‌هایی از پلاسمای غباری می‌باشند.

مشاهده پلاسمای غباری در آزمایشگاه نیز امکان پذیر می باشد. این حقیقت که شعله آتش به عنوان پلاسما شناخته می‌شود، به دلیل درصد بالای برخورد در آن، کمی عجیب به نظر می‌رسد اما می‌توان گفت که دقیقاً این‌طور نیست. زیرا چیزی که باعث می‌شود تا شعله شمع شبیه به پلاسما باشد، حضور ذرات بسیار ریز (در حدود ۱۰۰ Å) کربن نسوخته (دوده) می‌باشد. واقعیت آن است که نور زرد ساطع شده از شعله‌های هیدروکربنی معمولی (شمع) به دلیل افروختگی ذرات ریزی است که بالای ۱۰۰۰ $^{\circ}$c به خوبی گرم شده‌اند. تابش گرمایی الکترون‌ها از این ذرات، میزان یونیزاسیون را در داخل شعله تا چند مرتبه بزرگی افزایش می‌دهد. بنابراین تصور قدیم از آتش به عنوان حالت چهارم ماده (آب، خاک و هوا سه حالت دیگر بوده‌اند) جالب است، در حالی که این رده‌بندی پلاسما تنها به حدود ۸۵ سال قبل برمی‌گردد.

۲-۲: مشخصه های پلاسمای غباری

به طور خلاصه می‌توان گفت که پلاسمای غباری یک پلاسمای یون – الکترون، شامل ذرات باردار در ابعاد میکرومتر و نانومتر می‌باشد. پلاسماهای غباری گازهایی یونیزه شده (درصد یونیزاسیون در آن‌ها می‌تواند کم[1] و یا زیاد[2] باشد) با دمای پایین بوده و از لحاظ الکتریکی رسانا می‌باشند. به طور نوعی، یک ذره غبار در حدود هزار میلیون بار سنگین‌تر از یک پروتون می‌باشد. ذرات غبار می‌توانند از جنس فلز، مواد رسانا، مواد دی‌الکتریک و تکه های یخ باشند. ابعاد و اشکال ذرات غبار می‌تواند مختلف باشد مگر اینکه ساخته دست بشر باشند.

پلاسمایی حاوی ذرات غبار را می توان براساس مرتبه بزرگی سه طول مشخصه، "غبار در پلاسما" یا "پلاسمای غباری" نامید. طول مشخصه‌ها عبارتند از:

- r_d: شعاع ذره غبار
- λ_D: طول دبای پلاسما
- a: فاصله میانگین بین ذرات غبار (که $a = (n_d)^{-\frac{1}{3}}$ و n_d چگالی ذرات غبار است)

۱) $r_d << \lambda_D << a$: به این حالت اصطلاحاً «غبار در پلاسما» می‌گویند که در آن ذرات غبار همانند مجموعه‌ای از ذرات منزوی استتار شده رفتار کرده و پلاسما دارای ناهمگنی موضعی می‌باشد.

۲) $r_d << a << \lambda_D$ ؛ به این حالت «پلاسمای غباری» می‌گویند که در آن ذرات غبار از خود رفتار دسته جمعی نشان می‌دهند. در این حالت با ذره غبار همانند یون‌های سنگینی با بار مثبت یا منفی، رفتار می‌کنیم. در مطالعه رفتارهای جمعی در پلاسمای غباری باید به فرایند باردار شدن ذرات غبار توجه داشته باشیم. در پلاسمای غباری بر هم کنش میان ذرات غبار توسط یون‌ها و الکترون‌های زمینه پوشیده می‌شود.

حضور ذرات غبار باردار نه تنها منجر به ایجاد تغییراتی در انتشار امواج فرکانس پایین (امواج یون– صوت، امواج هیبریدی پایین و سالیتون‌های یون– صوت)، می‌شود بلکه امواج فرکانس پایین جدیدی (امواج غبار– صوت، امواج غبار-یون- صوت و سالیتون‌های غبار-یون- صوت)، را نیز تولید می‌کنند. همچنین وجود این ذرات سنگین منجر به ایجاد ناپایداری در پلاسما می‌شوند.

---

[1] partially ionized
[2] fully ionized