بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تبریز

دانشکده فیزیک

گروه فیزیک اتمی و مولکولی

۱۳۸۲ /۷/ ۳۰۶

پایان‌نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک پلاسما

عنوان:

بررسی انتشار امواج یون‌صوتی در پلاسماهای غبارآلود

استاد راهنما:

دکتر صمد سبحانیان

استاد مشاور:

دکتر محمود مصلحی‌فرد

پژوهشگر:

محمدعلی محمدی‌دورباش

شهریور ۱۳۸۲ شماره

۴۸-۳

این مختصر

تقدیم به

پدر عزیز

و

مادر مهربانم

تقدیرو تشکر

خداوند منان را سپاسگزارم که به اینجانب توفیق داد تا این مقطع تحصیلی را با سربلندی به پایان برسانم. ایمان دارم که بدون عنایت الهی توان مقابله با مشکلات برایم میسر نمی شد.

لازم می دانم از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر صمد سبحانیان بخاطر راهنماییهای سازنده اشان در انجام این پروژه و همچنین به خاطر زحمات فراوانی که در طول این پژوهش متحمل شدند صمیمانه قدردانی و تشکر کنم.

ازاستاد مشاور، جناب آقای دکتر محمود مصلحی فرد نیز بخاطر زحماتی که در طول این دوره متقبل شدند تشکر می کنم. ازجناب آقای دکتر عبدالرسول اسفندیاری که زحمت داوری این پروژه را بر عهده گرفتند تشکر می کنم. ازمدیرت محترم گروه فیزیک اتمی و مولکولی، جناب آقای دکتر حبیب تجلی کمال تشکررا دارم.

از کلیه دوستان و عزیزان بالاخص آقایان مساوات، مهندس شهروز نجف زاده، مهندس ناصر پناهی ، مهندس حسین ستاریان و مهندس رضا فارغ بال و همچنین از کارمندان دانشکده فیزیک سپاسگزارم.

از خانواده عزیزم که در طول دوران تحصیل و زندگی همواره همراه و مشوق حقیر بودند و از هیچ کوششی در حقم فروگذار نکردند سپاسگزارم.

نام‌خانوادگی دانشجو: محمّدی‌دورباش **نام:** محمّدعلی

عنوان پایان‌نامه: بررسی انتشار امواج یون صوتی در پلاسماهای غبارآلود

استاد راهنما: دکتر صمد سبحانیان

استاد مشاور: دکتر محمود مصلحی‌فرد

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** فیزیک اتمی و مولکولی **گرایش:** پلاسما

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** فیزیک **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** شهریور ۱۳۸۲ **تعداد صفحه:** ۷۰

کلید واژه‌ها: پلاسمای غبارآلود، موج صوتی غباری و موج یون صوتی غباری

چکیده:

دوچیز که تقریبا در تمام قسمت جهان وجود دارد ذرات باردار وپلاسما هستند. اثر متقابل این‌دوبعنوان یکی از موضوعات جالب در فیزیک پلاسما بشمار می‌رود که پلاسمای غبارآلود نام دارد.

این نوع پلاسما درمنظومه‌ی شمسی،قمرهای سیارات، دنباله ستاره‌های دنباله‌دار وغیره وجود دارد.

ذرات باردار در اثر نیروهای الکترومغناطیسی و یا اختلال اعمالی از بیرون با هم اندرکنش می‌کنند که منجر به تشکیل موج می‌گردد.

در این مطالعه، مشخصات اساسی فیزیک پلاسمای غبارآلود و فرایندهای باردار شدن ذرات غبار بررسی و همچنین روابط پاشندگی امواج با فرکانس پایین (امواج صوتی غباری و یون صوتی غباری) در پلاسماهای غبارآلود غیر مغناطیده‌ی بدون برخورد، برخوردی و با تاثیر نیروی گرانش محاسبه و نتایج بدست آمده در شرایط مختلف مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱
فصل اول(بررسی منابع) ۳
۱-۱ مقدمه ٤
۱-۲ مشخصه‌های پلاسماهای غبارآلود ٤
۱-۲-۱ خنثی بودن ماکروسکوپیکی (شرط شبه خنثی بودن) ۷
۱-۲-۲ حفاظ دبای ۸
۱-۲-۳ فرکانسهای مشخصه ۱۰
۱-۲-٤ پارامتر جفت شده کولمبی ۱۳
۱-۳ فرایندهای باردار کردن ذرات غبار ۱٤
۱-۳-۱ مقدمه ۱٤
۱-۳-۲ مجموعه ذرات پلاسمایی ۱۵
۱-۳-۳ نشر ثانویه الکترون ۱۹
۱-۳-۳-۱ برخورد الکترون ۱۹
۱-۳-۳-۲ برخورد یون ۲۷
۱-۳-٤ نشر فوتونی ۲۸
۱-۳-۵ دیگر فرایندهای باردار کردن ۳۰
۱-۳-۵-۱ نشر ترمو یونی ۳۰
۱-۳-۵-۲ نشر میدانی ۳۲
۱-۳-۵-۳ رادیواکتیویته ۳۲
۱-۳-۵-٤ یونیزاسیون (یونش) برخوردی ۳۳

عنوان | صفحه

فصل دوم (مواد و روشها) ۳٤
۲-۱ مقدمه ۳۵
۲-۲ نظریه جنبشی در پلاسماهای غیر مغناطیده ۳٦
۲-۳ امواج در پلاسماهای غباری ٤۱
۲-۳-۱ مقدمه ٤۱
۲-۳-۲ امواج صوتی غباری (DAW) ٤۲
۲-۳-۳ امواج یون صوتی غباری ($DIAW$) ٤٤
۲-٤ تاثیر مرز و برخوردها برانتشار امواج ٤۵
۲-٤-۱ تاثیر مرز و برخوردها بر امواج (DIA) ٤۷
۲-٤-۲ تاثیر مرز و برخوردها بر امواج (DA) ٤۹
۲-۵ بررسی امواج یون‌صوتی غباری و صوتی غباری در حضور نوسانات بار غبار ۵۰
۲-۵-۱ موج صوتی غباری (DAW) ۵٤
۲-۵-۲ موج یون صوتی غباری ($DIAW$) ۵٤
۲-٦ انتشار موج صوتی غباری (DAW) در حضور نیروی گرانش ۵۵
فصل سوم (نتایج و بحث) ۵۷
نتایج و بحث ۵۸
نتیجه‌گیری و پیشنهادات ٦۷
منابع ٦۸
چکیده انگلیسی ۷۰

مقدمه

حوالی سال ۱۹۲۹ واژهٔ پلاسما اولین بار توسط تونک[1] و لانگمیر[2] ابداع شد و به صورت محیطی از گاز یونیزه شده‌ای که شامل الکترون و یون می‌باشد تعریف می‌شود. این محیط بعداً به عنوان حالت چهارم ماده شناخته شد که ۹۹ درصد جهان را تشکیل داده است. تقریباً سیزده سال قبل یعنی در سال ۱۹۹۰ آنجلیز[3] با ارائه مقاله‌ای وجود یک نوع دیگری از پلاسما را گزارش دادند. این پلاسمای جدید به عنوان پلاسمای غبارآلود نام گرفت. پلاسمای غبارآلود شامل پلاسمای یون - الکترون با ذرات باردارریزی با اندازهٔ میکرون و زیر میکرون می‌باشد. به علت داشتن همین فازهای اضافی به پلاسماهای غبارآلود، پلاسماهای مختلط نیز گفته می‌شود.

وجود این نوع پلاسماها در ابرهای بین ستاره‌ای، منظومه شمسی، اتمسفر زمین، ستاره‌های دنباله‌دار، قمرهای سیارات و ... گزارش شده است. همچنین در آزمایشگاه در حین کندوپاش[4] و سونش[5]، این نوع پلاسماها ظاهر شده است. عوامل فوق باعث گردید که پلاسماهای غبار آلود به عنوان موضوع جدیدی تحت مطالعه قرار گیرد.

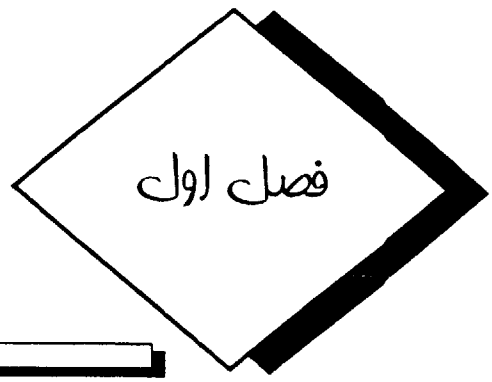
جنس ذرات غبار در نواحی مختلف متفاوت است. بعنوان نمونه در مزوسفر زمین اغلب از جنس یخ و یا در اگزوز راکتهای فضایی به صورت گرده‌های اکسید آلومینیوم است.

در زمینه پلاسماهای غباری مقالات زیادی در مجلات معتبر علمی به چاپ رسیده است. این موضوع را دانشمندان و محققان زیادی از قبیل شوکلا[6]، کاو[7]، مامون[8] و غیره دنبال می‌کنند.

---

1 -Tonks
2- Langmuir
3- Angelis
4- spottering
5- etching
6- Shokla
7- kaw
8- Momun

ذرات غبار تحت فرایندهای مختلفی باردار شده اند و بررسی آنها به عنوان موضوع جدیدی بشمار می‌رود. اندرکنش بین ذرات غبار با الکترونها، یونها و خود ذرات باعث بوجود آمدن موضوعات جالبی از قبیل امواج گردیده است. در این پایان‌نامه ابتدا مرور کلی بر مشخصه های پلاسماهای غباری صورت پذیرفته سپس فرایندهای باردار شدن ذرات غبار بیان گردیده و در فصل دوم انتشار امواج صوتی و یون صوتی غباری با در نظرگرفتن برخوردها ودر غیاب آنها و همچنین با اثر دادن نیروی گرانش مورد بررسی و بحث قرار گرفته است.



بررسی منابع

۱-۱ مقدمه

حدود ۹۹ درصد این جهان از پلاسما تشکیل یافته است که آنرا به عنوان حالت چهارم ماده در نظر می‌گیرند و به صورت گاز یونیزه شده‌ای که الکترونها و یونهای آن از همدیگر جدا شده‌اند تعریف می‌کنیم.

در فضای اطراف ما ذرات ریزی وجود دارند که ما آنها را به عنوان ذرات غبار می‌نامیم. اندرکنش بین ذرات غبار و پلاسما ناحیه تحقیقاتی جالبی را در فیزیک باز کرده است که پلاسماهای غبارآلود[1] نامیده می‌شود یعنی پلاسمایی که هم شامل ذرات باردار و هم شامل یون‌ها و الکترون‌ها می‌باشد.

وجود پلاسماهای غبارآلود در چندین مکان مورد تایید قرار گرفته است از قبیل دنباله ستارهای دنباله‌دار، ابرهای بین ستاره‌ای و منظومه شمسی (شکل ۱-۱) [۱].

همانطوری که گفته شد پلاسماهای غبارآلود شامل ذرات غبار باردار، الکترونها و یونها می‌باشد، به همین خاطر به پلاسماهای غبارآلود پلاسماهای مختلط[2] نیز گفته می‌شود.

۱-۲ مشخصه های پلاسماهای غبارآلود

پلاسماهای غبارآلود شامل یون، الکترون و ذرات غبار باردار با اندازه‌های میکرون و زیر میکرون می‌باشد اگر دمای این نوع پلاسماها پایین باشد پلاسماهای غبارآلود شامل الکترون، یون، ذرات غبار باردار و خنثی‌ها خواهد شد. به علت وجود ذرات غبار معمولاً دمای این نوع پلاسماها نسبت به پلاسماهای معمولی پایین‌تر می‌باشد بدین دلیل به این نوع پلاسماها، پلاسماهای دما پایین[3] نیز گفته می‌شود.

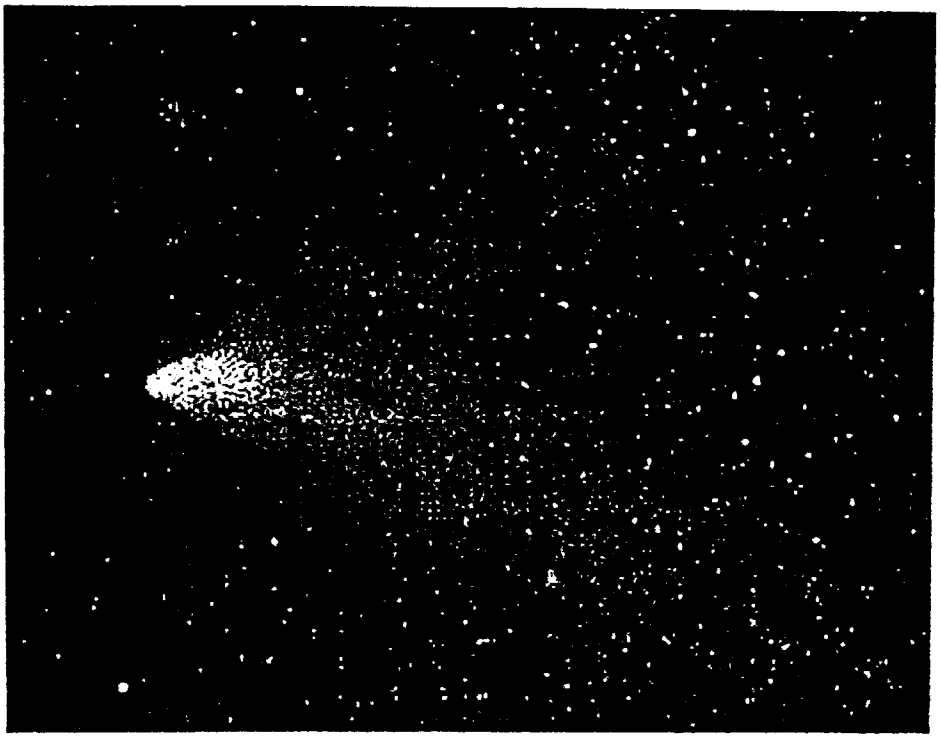
---

1. Dusty plasmus
2- Complex plasmas
3- Low- temperature plasmas

یک پلاسما با ذرات غبار یا دانه‌های غبار را بنا به شرایط زیر بصورت غبار در پلاسما یا پلاسماهای غبارآلود می‌نامند. این شرایط با مقایسه شعاع ذرات غبار (r_d) و فاصله متوسط میانگین بین دانه‌های غبار (a) و همچنین طول دبای پلاسما (λ_D) بوجود می‌آید. در مکانهائیکه بین این متغیرها رابطه $r_d << \lambda_D < a$ برقرار باشد. (دانه‌های غبار به صورت مجموعه‌ای از دانه‌های پوشش یافته ایزوله در نظر گرفته می‌شوند) حالت غبار در پلاسما بوجود می‌آید و اگر رابطه $r_d << a < \lambda_D$ برقرار باشد در این حالت پلاسما را پلاسمای غبارآلود می‌نامیم (ذرات غبار در رفتارهای جمعی شرکت می‌کند). وقتی پلاسما را با دانه‌های غبار ایزوله ($a >> \lambda_D$) در نظر می‌گیریم، پلاسمایی به طور موضعی غیرهمگن خواهیم داشت. ولی در حالت عکس یعنی $a << \lambda_D$ رفتار دانه‌های غبار را مانند ذرات باردار شده سنگین[1] شبیه به چند یونیهای مثبت و منفی در نظر می‌گیریم.

اختلاف اساسی بین پلاسماهای یون ـ الکترون‌دار و غبارآلود در جدول ۱-۱ نشان داده شده است در این جدول منظور از اندرکنش در پلاسماهای معمولی بین یون - یون و در پلاسماهای غبارآلود بین غبار با غبار می‌باشد. بنابر جدول ۱-۱ حضور ذرات غبار باردار نه تنها امواج صوتی (AW)، یون صوتی (IAW) و غیره را تغییر می‌دهد بلکه باعث بوجود آمدن نوع جدیدی از امواج مانند امواج صوتی غباری (DAW) و یون صوتی غباری (DIAW) و غیره می‌شود.

۱- جرم ذرات غبار 10^9 برابر بزرگتر از جرم پروتون می‌باشد.



شکل ۱-۱ پلاسمای غبار گرد موجود در دنباله‌ی شهاب سنگ [۱۳]

جدول ۱-۱ تفاوتهای اساسی بین پلاسمای یون – الکترون و پلاسماهای غباری[۱۳]

Characteristics	Electron- ion plasma	Dusty plasma
Quasi-neutrality condition	$n_{eo}= z_i n_{io}$	$Z_d n_{do}+ n_{eo}= Z_i n_{io}$
Massive particle charge	$q_i = z_i e$	$\|q\| = Z_d e >> q_i$
Charge dynamics	q_i = constant	$\partial q/\partial_t$ = net current
Massive particle mass	m_i	$m_d >> m_i$
Plasma frequency	ω_{pi}	$\omega_{pd}<<\omega_{pi}$
Debye radius	λ_{De}	$\lambda_{Di}<<\lambda_{De}$
Particle size	uniform	dust size distribution
$E\times B_0$ particle drift	Ion drift at low B_0	Dust drift at high B_0
Linear waves	IAW, LHW, etc	DIAW, DAW, etc
Nonlinear effects	IA solitons/shocks	DA/DIA solitons/shocks
Interaction	repulsive only	attractive between grains
Crystallization	no crystallization	crystallization
Phase transition	no phase transition	phase transition

۱-۲-۱ خنثی بودن ماکروسکوپیکی[1] (شرط شبه خنثی بودن)

زمانیکه هیچ توزیع خارجی وجود نداشته باشد مانند پلاسمای یون - الکترون‌دار، پلاسماهای غبارآلود نیز از نظر ماکروسکوپیکی خنثی می‌باشد. یا به عبارت دیگر بدون حضور نیروهای خارجی بار الکتریکی خالص کل در پلاسمای غبارآلود صفر می‌باشد. بنابراین در حالت تعادل شرط شبه خنثی بودن پلاسما به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$q_i n_{i0} = e n_{e0} - q_d n_{d0} \qquad [۱.۱]$$

در این راسطه n_{j0} چگالی غیر اختلالی مربوط به ذره j (j برای الکتروها e، برای یونها i و برای دانه های غبار d است) و $q_i=z_i e$ بار الکتریکی یون (در اغلب جاهای این پایان‌نامه $z_i=1$ را در نظر می‌گیریم)و$q_d=z_d e(-z_d e)$ بار دانه غبار درحالتیکه دانه های غباربه صورت مثبت (منفی)باردار شده باشند، است. e اندازه بار الکترون و z_d تعداد بارهای موجود بر روی سطح دانه غبار می‌باشد. نوعاً بار موجود بر سطح دانه‌های غبار ممکن است هزار و یا چندین هزار برابر بار الکترون باشد بطوریکه $z_d\, n_{d0}$ حتی با $n_{d0} << n_{i0}$ قابل مقایسه با n_{i0} باشد. بهرحال در اکثر پلاسماهای غباری آزمایشگاهی و فضایی اغلب الکترونهای زمینه بر روی سطح دانهٔ غبار می‌چسبند در نتیجه در محیط با کمبود چگالی الکترون مواجه خواهیم شد. در این حالت برای دانه‌های غبار دارای بار منفی رابطه (۱-۱) بصورت زیر خواهد شد:

$$n_{i0} \approx z_d\, n_{d0} \qquad [۲.۱]$$

باید توجه کنیم که تهی‌سازی الکترونها کاملاً صورت نمی‌گیرد زیرا که مقدار مینیمم نسبت چگالیهای الکترون به یون وقتی که دماهای یون و الکترون تقریباً برابر و پتانسیل سطحی دانه غبار بطور تقریبی صفر باشد با ریشه دوم نسبت جرم الکترون به جرم یون برابر می‌باشد.

---

1. Macroscopic neutrality

۱-۲-۲ حفاظ دبای[1]

یکی دیگر از مشخصات اساسی پلاسما قابلیت نگه داشتن میدان الکتریکی ذره باردار و یا سطحی که پتانسیل در آن غیر صفر باشد. این مشخصه فاصله‌ای را در اطراف جسم باردار ایجاد می‌کند (شعاع دبای نامیده می‌شود) به طوریکه هر ذره باردار دیگری در این فاصله قرار گیرد میدان الکتریکی جسم مورد نظر را احساس کند. حفاظ دبای در پلاسماهای یون - الکترون دار قبلاً در کتب مختلف محاسبه می‌شود [۲].

برای آنکه میدان الکتریکی را در اطراف دانه غبار تجسم کنیم پروبی را در درون پلاسمای غبار قرار می‌دهیم بنابراین این پروب ذره‌های مخالف علامت پتانسیل خود را جذب می‌کند. فرض می‌کنیم که ترکیب مجدد[2] در اطراف پروب صورت نگیرد. اگر پلاسما سرد باشد (آشفتگی از ذرات وجود نداشته باشد)، در اطراف پروب تعداد محدودی از ذرات باردار وجود خواهد داشت که به این حالت حفاظ کامل گفته می‌شود. حالت عکس این مطلب نیز درست است یعنی اگر پلاسما گرم باشد بعضی از ذرات موجود در لبه ابر که انرژی حرارتی کافی دارند از پتانسیل اطراف ابر فرار خواهند که به این وضعیت حفاظ ناکامل گفته می‌شود.

حال در این قسمت ضخامت ابر باردار (حفاظ) را بطور تقریبی محاسبه می‌کنیم که پتانسیل $\phi_s(r)$ در مرکز ابر $\phi_{s0}(r = 0)$ باشد و همچنین این نکته را در نظر می‌گیریم که جرم غبار آن قدر بزرگ باشد (نسبت جرم غبار به جرم یون $\frac{m_d}{m_i}$ بزرگ باشد) که از حرکت ذرات غبار صرفنظر شود. و همچنین فرض می‌کنیم که الکترونها و یونها در تعادل ترمودینامیکی باشند و چگالیهای تعداد n_e و n_i از توزیع بولتزمنی پیروی می‌کنند یعنی:

---

1. Debaye shielding
2 . recombination