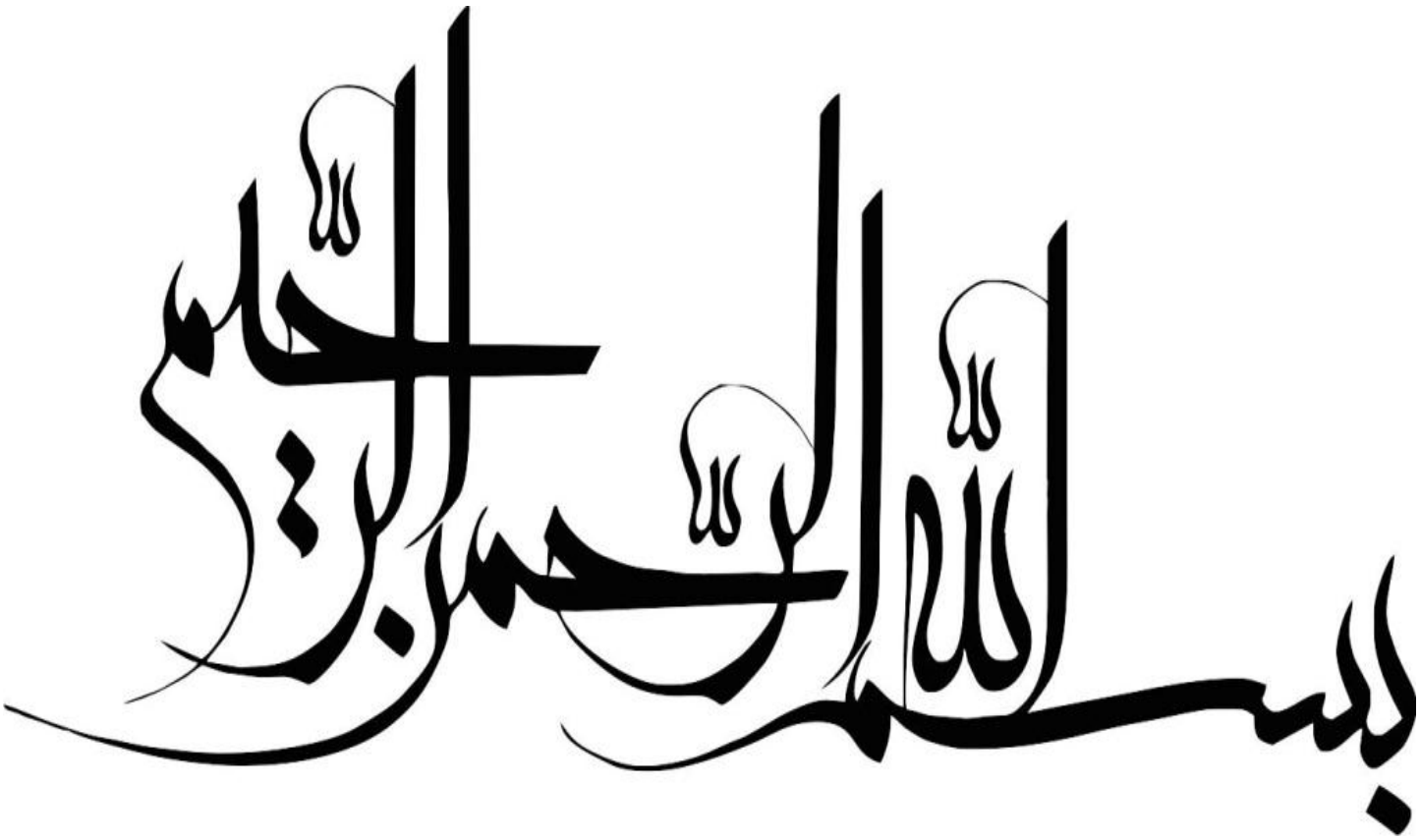

بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد
رشته فیزیک – اتمی و مولکولی (پلاسما)

دینامیک غیرخطی امواج صوتی غباری و آلفن جنبشی غباری در یک پلاسمای سه مؤلفه‌ای شامل ذرات جفت الکترون–پوزیترون و ذرات غباری: کاربرد در نانو ذرات فولرن

استاد راهنما :
دکتر عبدالرسول اسفندیاری

استاد مشاور:
دکتر صمد سبحانیان

پژوهشگر:
نسرین سیدپور

تیر ۱۳۹۲
تبریز – ایران

تقدیم به

پدر و مادر فداکارم

به خاطر همه‌ی تلاش‌های محبت آمیزی که در طول زندگی‌ام انجام داده‌اند

به آنان که نفس خیرشان و دعای روح پرورشان بدرقه‌ی راهم بود

و با مهربانی چگونه زیستن را به من آموخته‌اند.

همسر مهربانم

که در طول تحصیل، همراه و همگام من بوده و

با قلبی آکنده از عشق و معرفت؛ محیطی سرشار از سلامت،

امنیت، آرامش و آسایش برایم فراهم آورده است.

خواهر عزیزم

که وجودش شادی بخش و صفایش مایه آرامش من است.

عزیزانم خاک پایتان سرمه چشمانم باد.

تقدیر و تشکر

با نام و یاد حضرت احدیت

که عزت و شرف ما همگی از اوست.

و درود بی پایان خداوند بر **محمد (ص)** که رهروان حقیقی او از جهل و نادانی به دور ماندند.

این تحقیق مرهون زحمات عزیزانی است که بدون کمک آن ها به نتیجه نمی رسید؛ در اینجا بر خود وظیفه می دانم تا از یکایک کسانی که مرا در انجام این تحقیق یاری نموده اند تشکر و قدردانی نمایم و همیشه خود را مدیون زحماتشان بدانم.

از استاد راهنمای فرهیخته و فرزانه ام، جناب آقای دکتر **عبدالرسول اسفندیاری** که با نکته های دلاویز و گفته های بلندشان، صحیفه های سخن را علم پرور نمودند و همواره راهنما و راه گشای نگارنده در اتمام و اکمال پایان نامه ام بودند صمیمانه قدردانی و تشکر می نمایم.

از جناب آقای دکتر **صمد سجانیان** که زحمات مطالعه و مشاوره این پایان نامه را تقبل نمودند، و از جناب آقای دکتر **محمد قربانعلیلو** که داوری این پژوهش را با نهایت دقت انجام دادند، کمال امتنان را دارم.

از کلیه ی دوستان و عزیزان بالاخص سرکار خانم مرضیه افسری که در امر تدوین این پایان نامه به نوعی یاریگر اینجانب بودند سپاسگذارم.

نسرین سیدپور

تیر ۱۳۹۲

تبریز- ایران

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ..... یک

مقدمه ۱

فصل اول

مقدمه‌ای بر پلاسما و پلاسمای غباری و امواج غیرخطی و نانو ذرات فولرن

۱-۱- مقدمه ٤

۱-۲- چگونگی پیدایش پلاسما ٥

۱-۳- تقسیم بندی پلاسماها ۷

۱-٤- پلاسما از دیدگاه سیالی..... ۷

۱-٥- امواج در پلاسما ۸

۱-٥-۱- امواج لانگمیر ۹

۱-٥-۲- امواج یون صوتی ۹

۱-٦- امواج غیر خطی ۹

۱-۷- سالیتون ۱۰

۱-۸- پلاسمای غباری ۱۲

۱-۸-۱- دلایل اهمیت مطالعه‌ی پلاسمای غباری ۱٤

۱-۸-۲- کاربردهای پلاسمای غباری ۱٤

۱-۸-۳- مشخصه‌های پلاسمای غباری ۱٥

۱-۸-٤- خنثائیت ماکروسکوپی..... ۱٥

۱-۸-٥- حفاظ دبای ۱٦

۱-۸-٦- فرکانس مش..... ۱۸

۱-۹- امواج در پلاسمای غباری ۲۲
۱-۹-۱- امواج صوتی غباری ۲۲
۱-۹-۲- امواج آلفن جنبشی غباری ۲۵
۱- ۱۰- نانو ذرات فولرن(C_{60}) ۲۷
۱- ۱۰-۱- تاریخچه کشف نانو ذرات فولرن ($C_{۶۰}$) ۲۸
۱- ۱۰-۲- ساختار فولرن($C_{۶۰}$) ۳۰
۱- ۱۰-۳- خواص و کاربرد فولرن($C_{۶۰}$)..... ۳۱

فصل دوم

دینامیک غیرخطی امواج صوتی غباری و آلفن جنبشی غباری در پلاسمای غباری مغناطیده‌ی شامل الکترون، یون، غبار

۲-۱- مقدمه ۳۴
۲-۲- معادلات اساسی ۳۶
۲-۳- محاسبه‌ی معادله‌ی پاشندگی خطی ۴۴
۲-۴- آنالیز غیرخطی ۵۰
۲-۴-۱- استفاده از تبدیلات گالیله..... ۵۰
۲-۴-۲- محاسبه‌ی چگالی ذرات غباری ۵۲
۲-۴-۳- محاسبه‌ی معادله‌ی انرژی..... ۵۷
۲-۴-۴- تابع شبه پتانسیل..... ۵۸
۲-۵- رسم شکل هاو تحلیل عددی..... ۶۳

فصل سوم

دینامیک غیرخطی امواج صوتی غباری و آلفن جنبشی غباری در پلاسمای غباری مغناطیده‌ی شامل الکترون، پوزیترون، غبار(کاربرد نانو ذرات فولرن)

۳-۱- مقدمه ۷۲

۳-۲- معادلات اساسی ۷۳

۳-۳- محاسبه‌ی معادله‌ی پاشندگی خطی با کاربرد نانو ذرات فولرن ۷۸

۳-٤- آنالیز غیرخطی با کاربرد نانو ذرات فولرن ۸۲

۳-٤-۱- محاسبه‌ی تابع شبه پتانسیل..... ۸٤

۳-۵- رسم شکل ها و تحلیل عددی ۹۰

نتیجه‌گیری ۹٤

منابع و مآخذ ۹۵

چکیده

یکی از ویژگی‌های پلاسما، انتشار امواج گوناگون در این محیط می‌باشد. از آنجایی که وجود ذرات غبار در پلاسماهای طبیعی امری اجتناب ناپذیر است و این ناخالصی‌ها نه تنها باعث تغییرات در امواج می‌گردد حتی باعث ایجاد انواع جدیدی از امواج از جمله امواج صوتی غباری و آلفن جنبشی غباری می‌گردند. جفت شدگی امواج صوتی غباری و آلفن جنبشی غباری در پلاسمای سه مؤلفه‌ای الکترون، یون (پوزیترون) و غبار در حضور میدان مغناطیسی خارجی بررسی شده‌است.

روش‌های قدرتمند سقدی‌اف و آنالیز عددی برای بررسی خواص و شرایط انتشار امواج صوتی غباری و آلفن جنبشی غباری در سیستم پلاسمای مورد نظر بکار برده می‌شوند. محدودیت بتای پلاسما در پلاسمای غباری برای اختلال جفت شده برای سیستم پلاسمای مورد نظر بحث شده‌است. ساختار غیرخطی متمرکز شده در بررسی محدودیت‌های مختلف بتای پلاسما و آنالیز عددی ارائه شده‌است. مشاهده شده‌است که افزایش میزان بتا نقش مخربی در شکل‌گیری سالیتون‌ها در سیستم پلاسمای مورد نظر بازی می‌کند. از طرف دیگر ملاحظه می‌شود که ساختار سالیتونی در پلاسمای غباری سه مؤلفه‌ای با نانو ذرات غبار منفی(مانند فولرن منفی) اصلاً تشکیل نمی‌شود.

کلید واژه‌ها: روش سقدی‌اف، فولرن، بتای پلاسما، پلاسمای غباری، امواج صوتی غباری ، امواج آلفن جنبشی غباری.

مقدمه

واژه پلاسما نخستین بار توسط فیزیکدان آمریکایی لانگمیر[1] در سال ۱۹۲۷ پیشنهاد شده و از لغت یونانی Plasso به معنی قالب، ترکیب یا سرشت گرفته شده است [۱]. یکی از مسائل مهمی که در فیزیک پلاسما مطرح می‌شود، بررسی انتشار امواج در آن است که امروزه تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت می‌گیرد.

از طرفی در فضای اطراف ما ذرات ریزی به نام غبار وجود دارند که در پلاسما اندرکش می‌کنند، در نتیجه ناحیه تحقیقاتی جدیدی در فیزیک باز کرده است که پلاسمای غبارآلود نامیده می‌شود. این پلاسما شامل پلاسمای یون– الکترون با ذرات باردار ریزی با اندازه‌ای در حدود ۱۰nm تا ۱۰۰μm است. در این راستا ما نیز در این پژوهش به بررسی انتشار امواج غیرخطی در پلاسماهای غباری چند مؤلفه‌ای مغناطیده خواهیم پرداخت.

پدیده‌های موجود در پلاسما (انتشار امواج) را می‌توان به صورت خطی و یا غیرخطی بررسی کرد. دلیل اینکه دانشمندان در دهه‌های اخیر توجه زیادی به پدیده‌های غیرخطی نشان می‌دهند، ارتباط تنگاتنگ آن‌ها با تکنولوژی است. تقریباً در هر شاخه‌ای از فیزیک مانند، اپتیک، ماده چگال، فیزیک پلاسما، دینامیک شاره‌ها، اختر فیزیک و حتی فیزیک نظری می‌توان مسائل و پدیده‌های غیر خطی را مشاهده نمود. امروزه جریان اصلی پژوهش‌های پلاسما به سمت غیر خطی است زیرا در حقیقت یکی از ویژگی‌های اساسی هر محیط پلاسمایی غیرخطیت و پاشندگی است[۲].

هنگامی که دامنه‌های نوسانات امواج بلند باشد دیگر معادلات خطی معتبر نیست و باید از نظریه‌ی غیرخطی برای بررسی این امواج استفاده کرد. برخی معادلات غیرخطی پاسخ‌های منحصر به فردی دارند که با گذشت زمان شکلشان را حفظ کرده و پهن نمی‌شوند، آن‌ها را به اصطلاح موج سالیتونی می‌نامند. برخلاف امواج خطی، امواج غیرخطی با هم برهمکنش می‌کنند. با این همه، جواب‌های موج منفرد برخی از معادلات غیرخطی در برخورد با یکدیگر پایداری قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهند و از برهم‌کنش با هم بدون تغییر شکل خارج می‌شوند. به خاطر همین مشخصه‌ی ذره‌ای است که آن‌ها را سالیتون نامیده‌اند.

در فصل اول این رساله ابتدا تعریف مقدماتی پلاسما و دیدگاه سیالی بیان شده است. سپس مروری بر امواج در پلاسما، امواج سالیتونی و کاربرد آن‌ها را خواهیم داشت. در ادامه‌ی این فصل با پلاسمای

---

[1]. Longmuir

غباری آشنا شده و سپس مروری کلی بر مشخصه‌های این نوع پلاسما و امواج در پلاسمای غباری ، امواج صوتی غباری و آلفن جنبشی غباری خواهیم داشت؛ **و در انتهای این فصل به تعریف مقدماتی از ساختار فولرن، خواص و کاربرد آنها می‌پردازیم.**

در فصل دوم به وسیله‌ی معادلات اساسی و نرمالیزه شده و با بکارگیری معادلات سیالی در یک سیستم پلاسمای چند مؤلفه‌ای مغناطیده شامل الکترون، یون و غبار؛ و با استفاده از روش پتانسیل سقدیف معادله انرژی را بدست آورده و دینامیک غیر خطی امواج صوتی غباری و آلفن جنبشی غباری را برای حالتی که توزیع الکترون‌ها و یون‌ها از توزیع بولتزمن تبعیت می‌کنند مطالعه می‌کنیم، و با آنالیز عددی این معادله در حدهای مختلفی از بتای پلاسما نتایج جدیدی درباره‌ی سالیتون‌های تشکیل شده بدست می‌آوریم. همچنین تأثیر افزایش میزان β_d ،M_{Ad} و δ در دامنه چگالی یون – الکترون نرمالیزه، و تشکیل موج سالیتون مورد بحث قرار گرفته و مشاهده می‌کنیم که برای مقادیر نامتناهی میدان مغناطیسی خارجی B_0 امواج سالیتونی تشکیل نمی‌شود. همچنین با افزایش β_d و M_{Ad} دامنه چگالی یون نرمالیزه شده افزایش یافته اما دامنه‌ی چگالی الکترون نرمالیزه شده کاهش می‌یابد. و با افزایش δ دامنه‌ی چگالی یون نرمالیزه شده کاهش ولی دامنه‌ی چگالی الکترون نرمالیزه شده افزایش دیده می‌شود.

در فصل سوم ابتدا با پلاسماهای حاوی نانو ذرات فولرن و پلاسماهای جفت الکترون– پوزیترون آشنا می‌شویم و سپس با در نظر گرفتن کاربرد نانو ذرات فولرن C_{60} در یک سیستم پلاسمای چند مؤلفه‌ای مغناطیده شامل الکترون – پوزیترون و غبار ، دینامیک غیرخطی امواج صوتی غباری و آلفن جنبشی غباری را برای حالتی که توزیع الکترون‌ها و پوزیترون‌ها از توزیع بولتزمنی تبعیت می‌کنند، را مشابه فصل دوم مورد مطالعه قرار می‌دهیم. مشاهده می‌کنیم که در این سیستم پلاسمایی برای فولرن مثبت طبق رابطه‌ی $\beta_d \propto \frac{1}{B_0^2} = 0$ برای مقادیر نامتناهی میدان خارجی B_0 امواج سالیتونی موجود نمی‌باشد و با افزایش β_d یعنی با کاهش میدان مغناطیسی دامنه چگالی یون نرمالیزه شده افزایش اما دامنه چگالی الکترون نرمالیزه شده کاهش می‌یابد همچنین نتایج نشان داد که برای پلاسمای غباری حاوی نانو ذرات فولرن با بار منفی اصلا سالیتونی بوجود نمی‌آید.

همچنین به مقایسه نتایج بدست آمده در فصل ۲و۳ می‌پردازیم در نتیجه وابستگی تشکیل امواج سالیتونی در بتاهای مختلف و پلاسماهای متنوع مشخص می‌شود.

فصل اول

مقدمه‌ای بر پلاسما ، پلاسمای غباری ، امواج غیرخطی

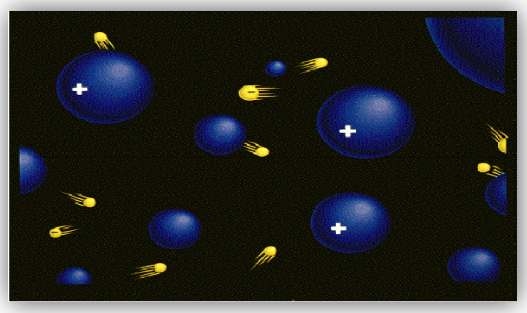
و

نانو ذرات فولرن

۱-۱- مقدمه

پلاسما گاز شبه خنثی‌ائی از ذرات باردار و خنثی است که رفتار جمعی از خود نشان می‌دهد [۲]. پلاسما در اصل گازی است یونیزه، شامل فوتون‌ها، الکترون‌ها، یون‌های مثبت و منفی، اتم‌ها، رادیکال‌های آزاد و مولکول‌های برانگیخته و غیر برانگیخته که دائماً در حال برهم کنش با یکدیگر می‌باشند. الکترون‌ها و فوتون‌ها معمولا به عنوان گونه‌های سبک و سایر مولفه‌های پلاسما تحت عنوان گونه‌های سنگین در نظر گرفته می‌شوند. البته هر گاز یونیزه‌ای را نمی‌توان پلاسما نامید ؛ هر گازی به هر صورت دارای درجه یونش کوچکی می‌باشد. اگر یک محیط پلاسما را در نظر بگیریم و نیرویی را به ذرات پلاسما اعمال کنیم، خود پلاسما است که با پذیرش آن نیرو اثری جدید را برای کل پلاسما به وجود می‌آورد یعنی خود پلاسما برای خود تعیین کننده و تصمیم گیرنده است، پس هر جایی از پلاسما روی بقیه جاهای دیگر اثر می‌گذارد یعنی اگر اثری روی اتم i ام اعمال شود این اثر به همه جای پلاسما منتقل می‌شود(رفتار جمعی).

پلاسماهایی که از یونیزه شدن گازهای خنثی ناشی می‌شوند، عمدتا"حاوی تعداد مساوی حامل‌های مثبت و منفی هستند. در این حالت تجمع‌هایی از بارهای مخالف بهم نزدیک شده و در مقیاس‌های طولی تلاش می‌کنند همدیگر را خنثی کنند چنین پلاسماهای شبه خنثی نامیده می‌شوند (شبه خنثی به خاطر اینکه انحرافات کوچکی از خنثی بودن کامل را دارند.) پلاسماهای غیر خنثی قوی که ممکن است فقط بارهایی از یک نوع را داشته باشند، اصولا در آزمایشات لابراتواری رخ داده، که توازن آن‌ها به وجود میدان‌های مغناطیسی شدید که حول آن مایع باردار می‌چرخد بستگی دارد. در شکل (۱-۱) تصویری شماتیک از پلاسما نشان داده شده است.



شکل (۱-۱) : یونها و الکترون ها پلاسما را تشکیل می دهند

۱-۲- چگونگی پیدایش پلاسما

می‌دانیم که اجسام جامد با گرفتن گرما تبدیل به مایع و مایع بر اثر گرما تبدیل به گاز می‌شوند که سه حالت معمولی اجسام است. حال اگر گازی را حرارت دهیم تا الکترون‌هایی از اتم جدا شوند در آن صورت به محیط یونیزه می‌رسیم که همان پلاسما می‌باشد. در یک درجه حرارت مطلق و غیر صفر هر گازی دارای تعدادی اتم یونیزه شده به صورت یون‌ها مثبت، منفی و خنثی است. اگر غلظت یون‌ها به حدی رسیده باشد که حرکت یون‌ها را محدود نماید، با افزایش غلظت یون‌ها این محدودیت طبق فرمول ساها :

$$\frac{n_i}{n_n} = ۲.٤ \times ۱۰^{۲۱} \frac{T^{\frac{۳}{۲}}}{n_i} exp\left(-\frac{u_i}{KT}\right)$$

افزایش می‌یابد که در غلظت‌های به حد کافی بالا به خاطر برخوردها و ترکیب مجدد، حجم‌های ماکروسکوپیک خنثی پدید می‌آیند، یعنی الکترون‌های آزاد شده از اتم توسط اتم‌های دیگر جذب شده و خنثی می‌شوند یعنی $\frac{n_i}{n_n}$ با افزایش n_i کاهش می‌یابد.

n_i : چگالی ذرات یونیزه

n_n : چگالی ذرات خنثی

u_i : مقدار انرژی که برای آزاد شدن یک الکترون از مدار آخر لازم است.

T : درجه حرارت بر حسب کلوین

K : ثابت بولتزمن

اگر مقادیر فوق را برای شرایط دمای ۲۷ درجه سانتیگراد یک اتاق، قرار دهیم $\frac{n_i}{n_n} = ۱۰^{-۱۲۲}$ خواهد بود و این نشانگر این است که در دماهای معمولی ظاهر شدن پلاسما تقریبا محال است. وجود پلاسما بستگی به دما و عکس چگالی ذرات یونیزه دارد. طبیعی ترین روش برای تولید پلاسما، حرارت دادن به گاز تا حدی که میانگین انرژی ذرات با انرژی ذرات یونیزاسیون اتم‌ها و مولکول‌های گاز قابل مقایسه باشند، در چنین شرایطی گاز به پلاسما تبدیل می‌شود.

حدوث طبیعی پلاسما در دماهای بالا، سبب تخصیص عنوان "چهارمین حالت ماده" به آن شده است [۲]. لازم به توضیح است که، پلاسما می‌تواند در دماهای کمتر از ۱۰۰۰۰۰ درجه کلوین ایجاد شود به شرطی که چگالی به قدر کافی پایین باشد و ترکیب مجدد تکرار نشود.

ذرات پلاسما به دلیل بر هم‌کنش کولنی بلند برد رفتار دسته جمعی از خود نشان می‌دهند و ویژگی‌های منحصر به فرد پلاسما از وجود این ذرات باردار نتیجه می‌شود. گرچه حدود ۹۹ درصد از جهان بطور طبیعی پلاسماست اما به علت بالا بودن چگالی و پایین بودن درجه حرارت، پلاسما در روی زمین بسیار کم است. در طبقات بالای جو، پلاسما در دماهای بالا رخ می‌دهد. آتش، رعد وبرق، جرقه‌های طویل میان ابرها و زمین و پرتوهای پخش نور حتی در آسمان بدون ابر و باد خورشیدی و غیره نمونه‌هایی از پلاسماهای طبیعی پرشدت و ضعیف می‌باشند .

گستره وسیعی از پلاسماها نیز در آزمایشگاه‌ها توسط بشر تولید می‌شوند مانند توکامک‌ها، راکتورهای همجوشی هسته‌ای، همجوشی لیزری، لامپ‌های گازی، لیزرهای گازی و نمایشگرهای تلویزیون پلاسما.

در شکل (۱-۲) نمونه‌ای از پلاسمای تولید شده در بزرگترین راکتور همجوشی هسته‌ای جهان نشان داده شده است .

شکل (۱-۲) : پلاسمای داغ در بزرگترین راکتور همجوشی هسته ای جهان است.

۱-۳- تقسیم بندی پلاسماها

پلاسماها به وسیله‌ی مشخصه‌های مختلفی مانند دما، درجه یونیزاسیون، چگالی، منبع تغذیه و فشار توصیف می‌شوند. مقدار هر یک از این مشخصه‌ها و نیز تقریب‌های موجود در مدلی که آن‌ها را توصیف می کنند، منجر به تقسیم بندی پلاسماها به روش‌های مختلف می‌شود. مثلا انواع پلاسماها را می توان براساس درجه یونیزاسیون، به پلاسمای کم یونیزه که در آن درجه یونیزاسیون (نسبت تعداد الکترون به ذرات خنثی) از مرتبه $۱۰^{-۹}$–$۱۰^{-۶}$ می‌باشد و پلاسمای کاملا یونیزه تقسیم بندی نمود. همچنین می‌توان پلاسما را به دو گروه پلاسمای کم چگال و پلاسمای چگال که امروزه توسط لیزرهای پرتوان تا چگالی‌های بالاتر از ماده جامد هم تولید می‌شوند، تقسیم بندی کرد.

نوع دیگر از تقسیم بندی پلاسماها بر اساس دما می‌باشد. از آنجائیکه پلاسما از ذرات زیادی تشکیل شده است، تغییر در سرعت و مکان ذرات براساس آمار تعیین می‌گردد. به طور مثال در یک پلاسمای متعادل، آمار سرعت الکترون‌ها و یون‌ها از توزیع ماکسول تبعیت می‌کند که در آن سرعت ذرات وابسته به دما می‌باشد. لذا می‌توان برای پلاسما دو دما در نظر گرفت. دمای الکترونی و دمای یونی که دمای الکترونی نشان دهنده‌ی سرعت و انرژی الکترون‌ها و دمای یونی بیانگر دمای گاز پلاسما که متشکل از ذرات خنثی و یون‌هاست، می‌باشد.

۱-٤- پلاسما از دیدگاه سیالی

حرکت حجمی ذرات در پلاسما مانند اثر تنگش و نوسانات پلاسما به بهترین وجه در فرمول بندی خاصی بررسی می‌شود، بنابراین توصیف پلاسما به عنوان یک سیال کلاسیک[۲] می‌تواند از معادلات متعارفی پیروی کند ولی چون این سیال از نظر الکتریکی رسانا است بنابراین باید نیروهای الکترومغناطیسی را صریحاً به حساب آورد. حرکت ذرات با بارهای مثبت و منفی و حرکت دسته جمعی این ذرات می‌توانند میدان‌هایی را تولید کند و همچنین این میدان‌ها که بر روی مسیر ذرات اثر می‌گذارد ظاهر می‌گردد. این وضعیت‌ها بایستی با متغیر زمان بررسی شوند.

---

[۲] . سیستم کلاسیک به این معنی است که از فرمول بندی خاصی پیروی می‌کند.

حدود چگالی پلاسما ^{12} ۱۰ یون – الکترون در cm^3 است که هر یک از این ذرات مسیر پیچیده‌ای را دنبال می‌کنند و اگر مجبور باشیم که مسیر هر ذره را دنبال کنیم عملاً پیش بینی وضعیت بسیار دشوار و ناممکن است و چنین روشی در حل مسائل، عملی نیست. اما چون قسمت اعظمی در حدود ٪۸۰ یا ٪۸۵ از پدیده‌های پلاسما که در آزمایشگاه دیده می‌شود می‌تواند از یک مدل پیروی کند، این همان مدلی است که در مکانیک سیالات به کار برده می‌شود که در آن هویت یک ذره قابل صرف نظر کردن است و تنها حرکت المانی از سیال مورد بررسی است.

البته لازم به ذکر است که در حالت پلاسما، سیالات شامل بارهای الکتریکی هستند. در یک سیال معمولی ذرات در اثر برخوردهای مکرر بین خودشان در یک عنصر سیال نگه داشته شده و با هم حرکت می‌کنند. با وجود اینکه در پلاسماها این برخوردها کمتر اتفاق می‌افتند یک چنین مدلی برای پلاسما هم کاربرد دارد.

۱-۵- امواج در پلاسما

می‌دانیم که پلاسما شامل تعداد خیلی زیادی ذره از قبیل الکترون‌ها ، یون‌ها و ذرات خنثی می باشد و اگر یکی از این ذرات جابجا شود میدان الکتریکی حاصل سعی در بازگرداندن این ذره به حالت اولیه‌اش را دارد، این امر نوساناتی را برای این ذره فراهم می‌کند. حال اگر این نوسانات به واسطه‌ی عواملی همچون اثر حرارتی انتقال یابند، امواج در پلاسما پدید می‌آید. در واقع نوسانات ممکن زیادی در سیستم نوسانگرهای جفت شده پلاسما با درجات آزادی فراوان وجود دارند که سبب انتشار اختلال‌های شبه موجی و میدان الکتریکی E در پلاسما خواهند شد .

$$E = E_. \exp(\omega t - kx)$$

فرکانس ω و عدد موج k بوسیله رابطه پاشندگی که از معادلات پلاسما بدست می‌آیند، به هم مربوط می‌شوند. سرعت فاز (v_{ph}) و سرعت گروه (v_{g}) امواج به صورت $v_{ph} = \frac{\omega}{k}$ ، $v_g = \frac{d\omega}{dk}$ با ω و k رابطه دارند. در مورد امواج خطی پلاسما دامنه‌ی امواج کوچک فرض می-شود، بطوری که جملات غیر خطی قابل صرفنظر هستند.

۱-۵-۱- امواج لانگمیر

یکی از اثراتی که سبب انتشار نوسانات پلاسما می‌شود، اثرات حرارتی و در واقع حرکات حرارتی است. الکترون‌هایی که با سرعت‌های حرارتی به لایه‌های مجاور پلاسما جریان می‌یابند، اطلاعاتی در مورد آنچه در ناحیه نوسان کننده اتفاق می‌افتد، منتقل می‌کنند. بنابراین نوسان پلاسما را می‌توان یک موج پلاسما نامید که فرکانس نوسان با رابطه $\omega_{pe} = (4\pi e^2 n_e/m_e)^{1/2}$ بیان می‌شود. n_e چگالی و m_e جرم الکترون می‌باشد. این فرکانس، فرکانس الکترون پلاسما یا فرکانس لانگمیر نامیده می‌شود.

۱-۵-۲- امواج یون – صوتی

همان طور که می‌دانید امواج صوتی ، امواج فشاری هستند که به وسیله برخورد بین مولکول‌های هوا ، از لایه‌ای به لایه دیگر منتشر می‌شوند. در یک پلاسما که فاقد ذرات خنثی است و برخوردهای کمتری در آن روی می‌دهد، پدیده مشابهی اتفاق می‌افتد که موج یون صوتی یا موج یونی نامیده می‌شود. در واقع هنگامی که برخوردی در سیستم وجود نداشته باشد، امواج صوتی معمولی ایجاد نمی‌شود. با این وجود یون‌ها به دلیل باردار بودنشان باز هم می‌توانند ارتعاشات را به یکدیگر منتقل کنند و به واسطه یک میدان الکتریکی، در چنین شرایطی امکان ایجاد امواج صوتی فراهم می‌شود. از آنجا که در این حالت با حرکت یون‌های سنگین سروکار داریم، نوسانات حاصل فرکانس‌های پایینی خواهند داشت .

۱-۶- امواج غیرخطی

امواج خطی روی این تقریب بنا شده است که دامنه موج کوچک باشد بطوریکه تمام جملات غیرخطی شامل جملات مرتبه دوم یا بالاتر و مشتقات آنها قابل صرفنظر هستند. به هر حال تئوری خطی بطور خیلی ساده قابل شکستن است و در طبیعت پدیده‌های وجود دارد که توسط این تئوری توصیف نمی‌شوند. لذا در این وضعیت باید به سراغ تئوری غیر خطیت برویم و امواج غیرخطی را

بررسی کنیم. به‌طبع غیر خطیت اثرات گوناگونی را می‌تواند در یک سیستم شکل بدهد که یک نمونه از اثرات غیر خطی بدین صورت است که سرعت انتشار به دامنه موج بستگی پیدا می‌کند و باعث واژگونی موج می‌شود .

برای درک بهتر جمله غیر خطی $v\frac{\partial v}{\partial x}$ را در معادله حرکت سیال اضافه می‌کنیم .

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v\frac{\partial v}{\partial x} = F, \qquad (۱-۱)$$

اگر $v = v_0 + v_1$ در نظر گرفته شود بطوری که اختلال وارد آمده به سیستم است. با خطی کردن داریم :

$$\frac{\partial v_1}{\partial t} + v_0\frac{\partial v_1}{\partial x} = F, \qquad (۱-۲)$$

جواب معادله اخیر در غیاب نیروهای F به آسانی دیده می‌شود که در فرم $v_1 = v_1(x - v_0 t)$ است یعنی برای یک اختلال سینوسی آغازین به فرم $\cos(kx)$ است . در این جا سرعت فاز موج v_0 است . حال بدون خطی سازی انتظار داریم که سرعت فاز موج با $v_0 + v_1 cosk(x - v_0 t)$ متناسب باشد که تابعی از x و t است. بنابراین نقاطی با ارتفاع بالا سرعت بیشتری نسبت به نقاطی با ارتفاع کم دارند و سریعتر حرکت می‌کنند ، بنابراین موج مایل می‌شود و این به دلیل آن است که سرعت فاز موج تابعی از دامنه می‌باشد .

برخی از معادلات غیرخطی جواب‌های منحصر به فردی دارند که این جواب‌ها با گذشت زمان شکلشان را حفظ کرده و پهن نمی‌شوند که آن‌ها را به اصطلاح "موج سالیتونی" می‌نامند.

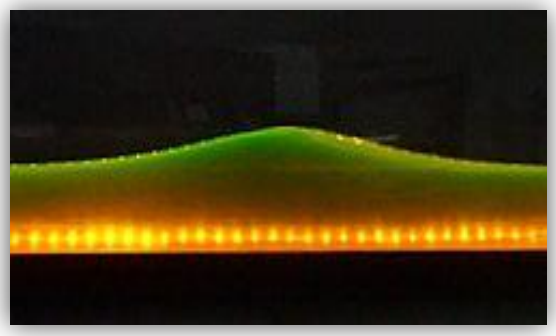
۱-۷- سالیتون‌ها

در ریاضیات و فیزیک، «سالیتون» یک موج منزوی خود تقویت کننده (یک بسته موج یا پالس) است، هنگامی‌که با سرعت ثابت حرکت می‌کند، شکلش را حفظ می‌کند. سالیتون‌ها در نتیجه خنثی‌سازی آثار غیرخطی و پاشندگی در محیط حاصل می‌شوند. «آثار پاشندگی» به رابطه پراش بین فرکانس و سرعت امواج برمی‌گردد.

سالیتون‌ها به عنوان مجموعه‌ای گسترده از جواب‌های معادلات دیفرانسیل جزئی غیرخطی ضعیف پاشنده ناشی می‌شوند که سیستم‌های فیزیکی را توصیف می‌کنند. پدیده سالیتونی اولین بار توسط جان اسکات راسل[۳] (۱۸۸۲–۱۸۰۸ م) توصیف شد. او یک موج سالیتوری را در کانال مشترک در اسکاتلند مشاهده کرد، سپس این پدیده را در یک مخزن موج بازسازی کرد و آن را "موج انتقال" نامید.

به بیان دیگر، سالیتون به دسته خاصی از جواب‌های موضعی یک معادله غیرخطی موج گفته می‌شود که با شکل، ارتفاع و سرعت ثابت به پیشروی و انتشار در محیط ادامه می‌دهند. البته توافق عام بر سر تعریف سالیتون وجود ندارد و در منابع مختلف سالیتون را به صورت‌های متفاوت تعریف می‌کنند. یافتن تعریفی منفرد و مورد توافق از یک سالیتون مشکل است.
درازین و جانسون (۱۹۸۹) سه خاصیت به سالیتون‌ها نسبت دادند: [۳] در شکل (۱–۳) تصویری شماتیک از موج سالیتوری در یک کانال موج آزمایشگاهی نشان داده شده است. یادگیری نحوه‌ی شکل‌گیری سالیتون‌ها در پلاسما برای یادگیری پدیده‌های طبیعی متفاوت اساسی است؛ ویژگی قابل توجه امواج سالیتونی این است:

۱– شکل و سرعت آن‌ها در حین انتشار تغییر نمی‌کند.
۲– در منطقه‌ای از فضا محدود هستند (بصورت موضعی انتشار می‌یابند).
۲– بعد از برخورد با سالیتون های دیگر شکل خود را حفظ کند ، مگر با یک انتقال فاز .



شکل (۱–۳) : موج سالیتوری در یک کانال موج آزمایشگاهی.

۱-Scott Russel

تعریف در فیزیک کلاسیک

برخی از جواب‌های معادله موجی که غیر خطی و پاشنده می‌باشند، می‌توانند خاصیت‌های زیر را داشته باشند :

۱- با حرکت بسته موج، شکل و سرعت آن تغییر نکند .
۲- بقای شکل و سرعت مجانبی حتی پس از برخورد چند بسته موج باهم برقرار باشد .

در فیزیک کلاسیک به جواب‌هایی که خاصیت ۱ را داشته باشند موج انفرادی می‌گویند . اگر جواب علاوه بر خاصیت ۱ ، خاصیت ۲ را نیز دارا باشد آن را سالیتون می‌نامند. همانگونه که گفته شد سالیتون‌ها امواج ذره‌گون هستند که بدون پراکندگی و تغییر شکل انتشار می‌یابند و در محیطی شکل می‌یابند که اثرات پاشندگی و غیرخطیت همدیگر را خنثی کنند. اگر غیر خطیت وجود نداشته باشد پراکندگی باعث از بین رفتن موج سالیتونی می‌شود. بدین ترتیب که مولفه‌های مختلف موج با سرعت های متفاوتی منتشر می‌شوند، با وجود غیر خطیت، بدون پاشندگی نیز امکان شکل‌گیری امواج سالیتونی منتفی است. زیرا انرژی پالس به طور مداوم به مدهایی با فرکانس بالا منتقل می‌شود اما با حضور غیرخطیت و پاشندگی به همراه هم امواج سالیتونی دوباره شکل می‌گیرند .

سالیتون‌ها در کهکشان، مانند چگالی امواج در کهکشان مارپیچی و در لکه قرمز غول پیکر در اتمسفر مشتری وجود دارند. آن‌ها در اقیانوس مانند امواج حاصل از بمباران کردن چاه‌های نفتی وجود دارند. آن‌ها در نظام‌های طبیعی و آزمایشگاهی خیلی کوچکتر مانند پلاسما، پالس‌های لیزر انتشار یافته در جامدها، ابر سیال‌ها، انتقال فاز ساختاری کریستال‌های مایع و پلیمرها ... وجود دارند.

۱-۸- پلاسمای غبارآلود

در سال ۱۹۹۰ آنجلیز[٤] با ارائه مقاله‌ای وجود نوع دیگری از پلاسما را گزارش داد که این پلاسمای جدید پلاسمای غباری[٥] نام گرفت [٤]. یک پلاسمای غبارآلود تقریباً همانند یک پلاسمای معمولی از یون، الکترون و یک مولفه‌ی باردار از ذرات با اندازه میکرون و ریز میکرون می‌باشد.

---

[٤] . Angelis
[٥] . Dusty Plasma