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

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد
رشته فیزیک

تولید میدان مغناطیسی در یک پلاسمای نسبیتی الکترون- پوزیترون مغناطیده

استاد راهنما:
دکترمحمد قربانعلیلو

پژوهشگر:
حوری ساعی

بهمن / ۱۳۹۲
تبریز / ایران

تقدیم

تقدیم به دختر نازنینم آیلین

پایان نامه ام را تقدیم به دختر نازنینم آیلین جان که روشنی بخش محفل گرم زندگی مان می باشد نموده و بهترین بهترین های نعمات عالم را از ایزد پاک به فرشته زیبایمان تمنا دارم.

وهمچنین از همسر و پدر و مادر عزیزم که از مشاورات و تشویق آنان برخوردار بودم قدردانی می نمایم.

تشکر و قدر دانی

کرانه های بیکران هستی آیات و نشانه هایی از عظمت و اقتدار باریتعالی که شایسته ترین سپاس ها و ستایش ها را سزاست حسی در مخلوقات هوشمند خویش خلق نموده که همواره تشنه و کنجکاو آموختن و آموزاندن و رساندن علم انسان به حد والای نیروی لایزال احد و واحد در جایگاه اشرف مخلوقات به واسطه فهم و شعور بالایش می باشد. خدا را شاکرم که به بنده حقیرش توفیق عنایت فرموده تا به واسطه راهنمایی و آموزش مدبرانه و عالمانه اساتید برجسته پله های ترقی را در عرصه علم و دانش پیموده و در راستای ادامه طی طریق علم، تشویق و حریص آموزش گردم.

گرانمایه ترین سپاس ها را تقدیم می نمایم به استاد ارجمندم جناب آقای دکتر محمد قربانعلیلو که با راهنمایی های عالمانه و زحمات بی دریغشان در خصوص ارزیابی علمی پایان نامه تحصیلی بنده تقبل نموده همچنانچه به واسطه احاطه ای که ایشان بر علم تخصصی خویش دارند وظیفه خود می دانم صمیمانه ترین قدردانی ها را نثار استاد بزرگوارم نموده و آرزوی نظاره ایشان در رفیع ترین قله دانش را می نمایم. و نیز از دوستان و سروران گرامی از جمله آقای سینا صادق زاده دانشجوی دکترای فیزیک که در این زمینه بنده را مساعدت نمودند تقدیر و تشکر می نمایم.

حوری ساعی

بهمن ماه ۱۳۹۲

تبریز – ایران

فهرست

فصل اول 1

تعریف پلاسما 1

۱-۱: تعریف پلاسما ٤

۱-۲: حدودپلاسما ٥

۱-۳-۱: حفاظ دبای ٦

۱-۳-۲: پارامترپلاسما: ٦

۱-۳-۳: فرکانس پلاسما: ٧

۱-٤ پلاسمای مغناطیده ٨

۱-٥ ناپایداری در پلاسما ٩

۱-٥-۱ طبقه بندی ناپایداریهای پلاسما: ۱۰

۱-٦ روش آنالیزبرداری ۱۱

فصل دوم ۱۳

توصیف سیالی پلاسما ۱۳

۲-۱: توصیف نظری پلاسما ۱٤

۲-۱-۱ تئوری جنبشی ۱٥

۲-۱-۲ تئوری سیال ۱٦

۲-۲ تئوری پلاسمای دوسیالی ۱۸

۲-۳ تئوری پلاسمای تک سیالی ۱۹

۲-۳-۱ متغیرهای تک سیالی: ۱۹

۲-۳-۲ معادلات تک سیالی ۲۰

۲-۳-۲ تقریب های استفاده شده درتئوری تک سیال: ۲۲
۲-٤ معادلات تک سیال ومعادلاتMHDساده شده: ۲٤
۲-٤-۱ : معادلات تک سیال ساده شده: ۲٤
۲-٤-۲: معادلاتMHDساده شده: ۲۵
فصل سوم ۲٦
ناپایداری وایبل دریک پلاسمای جریان متقابل با ناهمسانگردی دمایی ذاتی ۲٦
۳-۱ پلاسمای الکترون-پوزیترون ۲٦
۳-۲: محاسبه رابطه پیاشندکی ۲۷
۳-۲-۱ معادله ولاسوف–بولترمن: ۲۷
۳-۲-۲ حل معادله ولاسوف خطی شده: ۲۸
۳-۳: تابع توزیع سرعت ۳۱
۳-٤: ناپایداری وایبل ۳۲
۳-۵: ناپایداری وایبل دریک پلاسما با ناهمسانگردی دمایی ۳٤
تابع پاشندگی پلاسما : z(z) ۳۸
۳-۷: حل عددی معادلات پاشندگی ٤٤
۳-۸: حل تحلیلی معادلات پاشندگی ٤۹
۳-۸-۱: حل تحلیلی معادله پاشندگی ناپایداری وایبل کلاسیک ۵۰
۳-۹: ناپایداری وایبل در یک پلاسما با میدان مغناطیسی خارجی غیرصفر ۵٦
۳-۹-۱: معادلات اساسی ۵٦
۳-۹-۲: رابطه پراکندگی وایبل ۵۷
فصل چهارم ٦۱

رشد میدان مغناطیسی در یک پلاسمای نسبیتی الکترون- پوزیترون مغناطیده ٦١
٤-١: انتشار مواج الکترومغناطیس در پلاسمای الکترومغناطیده ٦٢
٤-٢: رشد میدان مغناطیسی در یک پلاسمای نسبیتی الکترون–پوزیترون مغناطیده ٦٦
٤-٢-١: حل تحلیلی رابطه پاشندگی ٦٧
٤-٣ : رشد میدان مغناطیسی در یک پلاسمای جریان متقابل الکترون–پوزیترون مغناطیده: ٧٨
٤-٣-١ : حل تحلیلی رابطه پاشندگی ٧٩
٤-٤- حل عددی معادلات پاشندگی ٨١
فصل پنجم ٨٦
نتیجه گیری ٨٦
نتیجه گیری ٨٧
منابع ٨٩

فهرست تصاویر

شکل ۱-۱: نمونه ای یک لامپ پلاسما ٦

شکل ۱-۲: جابجایی الکترون ها و ایجاد فرکانس پلاسما ۹

شکل ۳-۱: راستای انتشار ناپایداری های وایب و رشته ای شدن ۳۸

شکل ۳-۲ : جهت گیری انتخابی برای بردار انتشار و میدان های الکتریکی و مغناطیسی ٤۱

شکل ۳-۳: جهت گیری میدان های الکتریکی و مغناطیسی نسبت به جهت انتشار مدهای وایبل و رشته ای شدن در یک پلاسمای جریان متقابل ٤٦

شکل ۳-٤ : انتشار مدهای ناپایدار الکترومغناطیسی وایبل و رشته ای شدن ٤٦

شکل ۳-۵: انتشار مورب موج الکترمغناطیسی نسبت به محور مختصات ٤۸

شکل ۳-٦: حل عددی معادلات پاشندگی در سه ناهمسانگردی ۵۲

شکل ۳- ۷: حل عددی معادلات پاشندگی در سه ناهمسانگردی ۵۳

شکل ۳-۸: حل عددی عادلات پاشندگی د سه ناهمسانگردی $v_{th,\perp}/v_{th,\parallel} = ۱۰ ،۷/۵ ،۵$ ۵٤

شکل ۳-۹: حل عددی معادلات پاشندگی در سه ناهمسانگردی $v_{th,\perp}/v_{th,\parallel} = ۱۰ ،۷/۵ ،۵$. ۵۵

شکل ۳-۱۰: حل تحلیلی معادله پاشندگی برای ناپایداری وایبل کلاسیک در سه ناهمسانگردی ۵، ۷/۵، ۱۰ ۵۷

شکل ۳- ۱۱ : مقایسه حل عددی و حل تحلیلی معادله پاشندگی ۳-۳-۱۲ برای ناپایداری وایبل در ناهمسانگردی ۵ ٦۱

شکل ۳- ۱۲: مقایسه حل عددی و حل تحلیلی معادله پاشندگی ۳-۳-۱۲ برای ناپایداری وایبل در ناهمسانگردی ۱۰ ٦۱

شکل ٤-۱: رابطه پاشندگی برای امواج الکترومغناطیسی در پلاسمایی که هیچ میدان مغناطیسی در آن وجود ندارد. ۷۲

شکل ٤-۲ : جهت گیری انتخالی برای بردار انتشار و میدان های الکتریکی و مغناطیسی ۷۳

شکل ٤-۳: جهت گیری انتخابی برای حرکت (e-p) ۸۵

شکل ٤-٤: نرخ رشد برای مقادیر متفاوت در غیاب میدان مغناطیسی ۹۰

شکل ٤-٥ : نرخ رشد ناپایداری وایبل برای مقادیر متفاوت ۹۱

چکیده

معادله پاشندگی امواج الکترومغناطیس عرضی دریک پلاسمای الکترون –پوزیترون مغناطیده بدست آمده است. الکترونها و پوزیترونها میتوانند باسرعتهای سوقی متفاوت در راستای یک میدان مغناطیسی خارجی حرکت کنند. حل تحلیلی معادله پاشندگی نشان میدهد ناپایداری وایبل دراین سیستم پلاسمایی رشد خواهد نمود و با افزایش قدرت میدان مغناطیسی از آهنگ رشد ناپایداری کاسته خواهد شد. نتایج این تحقیق، برای فهمیدن منشاء میدان مغناطیسی نوسانی در پلاسمای کیهانی و اندرکنش لیزر – پلاسما کاربرد دارد.

کلمات کلیدی: پلاسمای مغناطیده، پلاسمای الکترونی- پوزیترون نسبیتی

مقدمه

پلاسما محیط بسیار پیچیده از ذرات باردار است. رفتار دینامیکی این ذرات تابع نیروهای الکترومغناطیس می باشد. ساده ترین حالتی که می توان برای پلاسما تصور کرد، پلاسمایی در حال تعادل ترمودینامیکی است در این حالت آنتروپی بیشینه است و در غیاب عوامل خارجی، هیچ انرژی آزادی برای برانگیختن امواج وجود ندارد. اما مشاهدات، امواجی خود برانگیخته را درون پلاسما نشان می دهد. تنها عامل ایجاد کننده این امواج خود برانگیخته انرژی آزاد موجود در سیستم است؛ بنابراین تعادل در پلاسما یک تعادل ناپایدار است. ناپایداری همیشه حرکتی است که پلاسما را به تعادل ترمودینامیکی واقعی نزدیک تر می سازد. از این رو بررسی ناپایداری های پلاسما دارای اهمیت ویژه ای می باشد.

امروزه پژوهش های گسترده ای در مورد ناپایداری های پلاسما انجام گرفته است یکی از این ناپایداری ها، ناپایداری وایبل نام دارد. این ناپایداری که از نوع الکترومغناطیسی عرضی است با ذرات پلاسما در نوسان نیست و فقط در زمان رشد می کند. ناپایداری وایبل موجب آزاد شدن انرژی ذخیره شده در ذرات با سرعت ناهمسانگرد است. چه این سرعت ناهمسانگرد به دلیل دمای ناهمسانگرد باشد (وایبل کلاسیک) و چه جریان های متقابل در یک پلاسمای بی برخورد باشد. برای درک بهتر پلاسمای جریان متقابل، می توان آنرا متشکل از دو پلاسما دانست که علاوه بر سرعت حرارتی با یک سرعت توده ای V_0 در خلاف جهت یکدیگر در حال حرکتند. این پلاسماها برای پایداری آزمایش های بیم – پلاسماهای رقیق خنثی نیز مشاهده می شود. بررسی این ناپایداری مستلزم استفاده از معادلات ماکسول – ولاسوف نظریه جنبشی و استفاده از روش تحلیل مد نرمال می باشد.

در پایان نامه حاضر اثر هر دو علت ناهمسانگردی سرعت در هر دو پلاسمای مغناطیده و غیر مغناطیده مورد مطالعه قرار گرفته است و حل تحلیلی و عددی نرخ رشد خطی ناپایداری های پلاسما در هر دو پلاسما محاسبه شده است.

در این پایان نامه طبق چهارچوب زیر در جهت رسیدن به نتایج مناسب و مساعد تر برای اهدافی که دنبال کردن آن چه به لحاظ تئوری و چه عملی امکان پذیر است، مطالعاتمان را شکل داده ایم.

در فصل ۱ به طور مختصر با دنیای فیزیک پلاسما و انواع ناپایداریها آشنا خواهید شد.

فصل ۲ را به توصیف سیالی پلاسما اختصاص داده ایم.

در فصل ۳ ناپایداری وایبل و یک پلاسمای جریان متقابل ناهمسانگردی دمایی در یک پلاسمای غیر مغناطیده و ناپایداری وایبل در یک پلاسمای مغناطیده غیر صفر را بررسی می کنیم.

و نهایتا در فصل ٤ که بخش پایانی این پایان نامه است رابطه پاشندگی جدیدی بدست می آوریم که رشد ناپایداری های اختلال الکترومغناطیسی عمود بر میدان مغناطیسی را نشان می دهد.

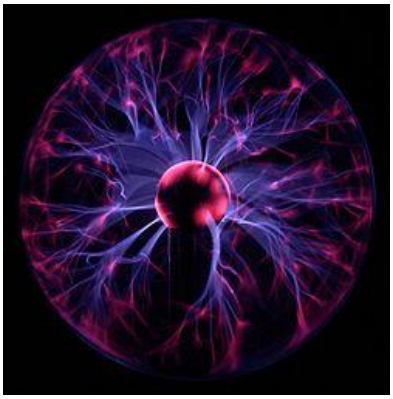
فصل اول

تعریف پلاسما

۱-۱: تعریف پلاسما

فیزیک پلاسما یکی از شاخه های فیزیک است که در آن به طور همزمان از یافته های چندین مبحث در فیزیک پایه (مکانیک حرارتی، الکترومغناطیس و فیزیک اتمی) استفاده می شود. فیزیک پلاسما از اوایل قرن گذشته با پژوهشهای بنیادی درباره پدیده های وابسته به پلاسماهای طبیعی نظیر آذرخش، شفق قطبی شمالی، میدان مغناطیسی زمین و لکه های خورشیدی شروع به رشد کرد.

پلاسما را معمولا حالت چهارم ماده می گویند که (جامد، مایع و گاز سه حالت اول آن هسند) زیرا پلاسما در دماهایی بیشتر از چند هزار کلوین پدید می آید. در این دماها ماده از حالت گازی اتم ها و مولکول ها به حالت پلاسمایی الکترون هایی با بار منفی و یونهای با بار مثبت تبدیل می شود. حرکت یون ها و الکترون ها در داخل پلاسما تحت تاثیر رفتار جمعی قرار می گیرد . این رفتار جمعی هم بر اثر نیروهای الکتریکی و مغناطیسی ناشی از بارها و جریان های ایجاد شده در سرتاسر پلاسما حاصل می شود. متخصصان امروزی فیزیک پلاسما، با مطالعاتی که در زمینه های پلاسمای فضایی و پلاسمای اختر فیزیکی انجام می دهند خود را در پژوهش های فیزیک پایه سهیم می بینند.



شکل ۱-۱: نمونه ای یک لامپ پلاسما

پلاسما گاز شبه خنثایی از ذرات باردار و خنثی است که رفتار جمعی از خود ارائه می دهد به عبارت دیگر می توان گفت که واژه پلاسما به گاز یونیزه شده ای اطلاق می شود که همه یا بخش قابل توجهی از اتمهای آن یک یا چند الکترون از دست داده و یونهای مثبت تبدیل شده باشد، یا گاز به شدت یونیزه شده ای که تعداد الکترونهای آزاد آن تقریبا برابر با تعداد یونهای مثبت آن باشد پلاسما گفته می شود. [۱]

۱-۲: حدود پلاسما

به تقریب ۹۹٪ ماده ی موجود در عالم در حالت پلاسما یافت می شود یعنی به شکل گاز الکتریسیته داری که اتمهایش به یونهای مثبت و الکترون منفی تجزیه شده باشد این تخمین هر چند ممکن است خیلی دقیق نباشد ولی تخمین معقولی است از این واقعیت که درون ستارگان وجو آنها ابرهای گازی و اغلب هیدروژن فضای بین ستارگان به صورت پلاسماست .در نزدیکی خود ما وقتیکه جو زمین را ترک می کنیم بلافاصله با پلاسمایی مواجه می شویم که شامل کمربندهای تشعشعی وان آلن و بادهای خورشیدی است در زندگی روزمره نیز با چند نمونه محدود از پلاسما مواجه می شویم جرقه، رعد و برق، تابش ملایم شفق قطبی، گازهای داخل یک لامپ فلورسان یا لامپ نئون و یونیزاسیون مختصری که در گازهای خروجی یک موشک دیده می شود. بنابراین می توان گفت ما در یک درصدی از عالم زندگی می کنیم که در آن پلاسما به طور طبیعی یافت نمی شود. [۲]

۱-۳-۱: حفاظ دبای

یکی از مشخصات اساسی رفتار پلاسما توانایی آن برای ایجاد حفاظ در مقابل پتانسیل های الکتریکی است که به آن اعمال می شود حفاظ دبای می گویند. طول دبای را با λ_D نشان می دهند. در صفحه بعدی X تخمین زده شده است که انرژی پتانسیل از جدا شدن با رها $E_p = e\varphi(\lambda_D)$ در فاصله λ_D با انرژی جنبشی ذرات $K_B T\,{}^{1}/_{2}$ برابر است که K_B ثابت بولتز من است.دراین تقریب میدان الکتریکی E (X) در یک پلاسمای شبه خنثی یعنی با $n_e = n_1 = n$ از رابطه زیر بدست می آید.

$$\nabla . E = \frac{\rho}{\varepsilon 0} = \frac{ne}{\varepsilon 0} \simeq \frac{E(x)}{x} \qquad (۱-۱)$$

پس انرژی پتانسیل برابر است با :

$$E_{\mathrm{p}} = \mathrm{e}\varphi(\lambda_D) = \mathrm{e}\int_0^{\lambda_D} \mathrm{E(x)dn} = \frac{\mathrm{ne}^2{\lambda_D}^2}{2\varepsilon_0} = \frac{1}{2}\mathrm{K_B T} \qquad (۱-۲)$$

که از آنجا طول دبای λ_D برابر است با :

$$\lambda_D = (\frac{\varepsilon . K_B T}{ne^2})^{\frac{1}{2}}$$

K_Bثابت بولتز من است . $K_{\mathrm{B}} = 1.38 \times 10^{-16} ery/degree$

طول موج دبای λ_D باید خیلی کوچکتر از ابعاد پلاسما باشد.

۱-۳-۲: پارامتر پلاسما:

تصویری که از حفاظ دبای ارائه شد فقط وقتی معتبر است که در ابر بار ذرات به تعداد کافی موجود باشد. برای یک پلاسمای خنثی ($n_e = n_1 = n$)تعدادN_{D}ذرات درکره دبای به وسیله رابطه زیر داده می شود:

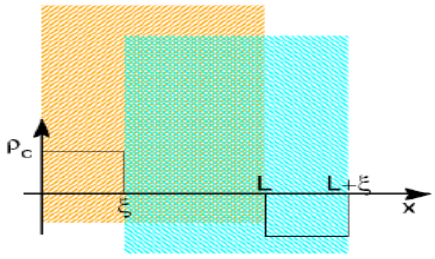
$$N_{\mathrm{D}} = \mathrm{n}\,\frac{1}{3}\pi{\lambda^3}_D \qquad ,\lambda_{D_{e.i}} = (\frac{\varepsilon . \mathrm{K_B T}_{e,\mathrm{i}}}{\mathrm{ne}^2})^{\frac{1}{2}}$$

واگر داشته باشیم $a = \left(\frac{a\pi n}{3}\right)^{-\frac{1}{3}}$ که شعاع (ویگنر – سیتز) است. پارامتر پلاسما به صورت زیر خلاصه می شود.

$$n_d = \left(\frac{\lambda_D}{a}\right)^3$$

۱-۳-۳: فرکانس پلاسما:

یکی از پارامترهای مهم در معرفی پلاسما، فرکانس پلاسما است که به تبین نوسانات گاز الکترونی در میان یونها می پردازند و مقیاس خوبی برای تعیین زمان در فیزیک پلاسما می باشد به عبارت دیگر فرکانس پلاسما ناشی از حرکت الکترون هاست. اگر در یک پلاسما الکترون ها از زمینه یکنواخت یونها جدا شوند میدان های الکتریکی در جهتی به وجود می آیند که با برگرداندن الکترونها به مکان های اولیه شان خنثی بودن پلاسما را مجددا برقرار کنند. الکترون ها در اثر لختی شان از وضعیت اولیه آن طرف تر رفته و با فرکانس مشخصه ای که به عنوان فرکانس پلاسما شناخته شده است نوسان می کنند. این نوسان آن اندازه سریع است که یونهای سنگین مجالی برای پاسخ گویی به میدان نوسان کننده پیدا نمی کنند و می توان آن را ثابت فرض کرد. با در نظر گرفتن یک سری فرضیات شامل صرفنظر کردن از حرکتحرارت، یون های ساکن و بی نهایت بودن ابعاد پلاسما به راحتی می توان این مقدار فرکانس را بدست آورد.



شکل ۱-۲: جابجایی الکترون ها و ایجاد فرکانس پلاسما

$$\frac{dne}{ne} = -\frac{d_\xi}{d_x} \qquad (۳-۱)$$

در این رابطه d_ξ مقدار جابجایی الکترون از نقطه ی تعادل آنها در نظر می گیریم و محور x را به عنوان راستای جابجایی فرض می کنیم. طول پلاسما L در نظر گرفته شده است. از مباحث مربوط به

فیزیک الکتریسیته کاملا این موضوع روشن خواهد بود که تغییر در چگالی الکترون باعث ایجاد میدان الکتریکی $\vec{E}$ خواهد شد و با توجه به قانون گاوس می توان آنرا نشان داد:

$$\frac{d\vec{E}}{dx} = -4\pi e dn_e = -4\pi e n_e(-\frac{d_\xi}{dx}) \qquad (٤-١)$$

میدان ایجاد شده نیرویی را به هر یک از الکترون ها اعمال می کند که می توانیم طبق معادله حرکت نیوتونی بنویسیم:

$$m\frac{d_\xi^2}{dt^2} = -eE = -4\pi n e^2 \xi(t) \qquad (٥-١)$$

ω_P را فرکانس پلاسما می نامند .این فرکانس اولین بار توسط لانگمیر به صورت زیر ارائه شد:

$$\omega_p^2 = 4\pi n_e e^2 / m$$

این فرکانس که فقط به چگالی پلاسما پستگی دارد یکی از پارامترهای اساسی می باشد. به علت کوچکی (m) جرم، فرکانس معولا خیلی بالاست. این پارامتر توصیف کننده محیط پلاسما از نظر چگالی می باشد و پارمتری مهم در پلاسما است.

١-٤ پلاسمای مغناطیده

در نتیجه اثر میدان مغناطیسی، پلاسما ناهمسانگرد شده و تمام خواص آن از اساس تغییر می کند فرض کنید پلاسمایی با دانسیته ی متوسط در یک میدان مغناطیسی قوی تر قرار دارد، بین دو برخورد کولمبی هر ذره ی باردار پلاسما در مسیری مارپیچی حول میدان حرکت می کند. اگر میدان یکنواخت باشد محور مسیرهمان خط میدان است. ذرات فقط در اثر برخورد کولمبی می توانند عمود بر میدان حرکت کنند، برخورد باعث حرکت ذره در فاصله ای از مرتبه ی شعاع لارمور[1] می شود. اگر برخوردها کم باشد (پلاسما با دانسیته ی کم و دمای زیاد) ذرات کاملا در امتداد خطوط میدان هستند، چنین پلاسمایی را «مغناطیسی» گوییم. درجه ی مغناطیس شدگی به نسبت $\frac{\lambda}{\rho}$ است که در آن λ مسیر آزاد میانگین و ρ شعاع لارمور متوسط است.هنگامیکه $\frac{\lambda}{\rho} \gg 1$ است (برخوردها به ندرت و میدان قوی است) حرکت ذره در امتداد عمود بر میدان فقط وقتی محسوس می شود که ذره مقدار قابل توجهی در امتداد و خطوط میدان حرکت کرده باشد و هنگامی که $\frac{\lambda}{\rho} \ll 1$ است (پلاسمایی با

[1].Larmor

دانسیته ی بالا و میدان ضعیف) حرکت ذرات عملا در تمام جهات یکسان است، به عبارتی اثر میدان مغناطیسی بر رفتار پلاسما بسیار ناچیز است. درجه مغناطیس شدگی را به فرم زیر نیز می توان بیان داشت.

$$\frac{\lambda}{\rho} \sim \frac{\lambda}{V} = \omega_c \tau \qquad (۶-۱)$$

که ω_c فرکانس لامور (فرکانس سیکلوترونی) و τ زمان متوسط بین دو برخورد متوالی است. مغناطیس شدگی الکترونها و یون های پلاسما متفاوت است. در شرایط طبیعی مقدار $\omega_c\tau$ ، وقتی $\tau_i \sim \tau_e$ نسبت بین این عوامل از مرتبه $\sqrt{\frac{m_i}{m_e}}$ است، بنابراین مغناطیس شدگی الکترون ها بیشتر از یون هاست. برای مثال گاهی اتفاق می افتد که الکترون ها، مغناطیس شده و آزادانه در طول خطوط میدان حرکت می کنند ولی میدان مغناطیسی هیچ اثر قابل توجهی بر حرکت یون ها ندارد. تحت چنین شرایطی الکترون ها به میدان مغناطیسی گره خورده اند ولی یون ها در ناحیه ای فضایی، توسط میدان الکتریکی الکترون های پلاسما محبوس شده اند. [۲]

۱-۵ ناپایداری در پلاسما

پلاسما محیط بسیار پیچیده ای از ذرات باردار است. رفتاردینامیکی این ذرات تابع نیروهای الکترومغناطیسی می باشد. ساده ترین حالتی که می توان برای پلاسما تصور کرد، پلاسماهایی در حال تعادل ترمودینامیکی کامل است. تعادل ترمودینامیکی،در سیستم های ترمودینامیکی، به حالتی گفته می شود که در آن سیستم در حالت تعادل مکانیکی، تعادل شیمیایی و تعادل گرمایی باشد. در این حالت آنتروپی بیشینه است و در غیاب عوامل خارجی، هیچ انرژی آزادی برای برانگیختن امواج وجود ندارد. اما مشاهدات، امواجی خود بر انگیخته را درون پلاسما نشان می دهد[۳].تنها عوامل ایجاد کننده این امواج خود برانگیخته، انرژی آزاد موجود در سیستم است. با توجه به این که، انرژی آزاد به دلیل انحراف سیستم از حالت تعادل دینامیکی کامل بوجود می آید. بنابراین تعادل در پلاسما یک تعادل ناپایدار است.

تعادل ناپایدار به حالتی گفته می شود که سیستم در حالت ترمودینامیکی نباشد، ولی تمام نیروهایش در حال موازنه باشد. این سیستم خودش را طوری تغییر می دهد که به وضعیت قبل برسد.

پس ناپایداری همیشه حرکتی است که انرژیآزاد را کاهش داده و پلاسما را به تعادل ترمودینامیکی واقعی نزدیکتر می سازد. از این رو بررسی های پلاسما دارای اهمیت ویژه ای می باشند.

۱-۵-۱ طبقه بندی ناپایداریهای پلاسما:

برای مشخص کردن یک تعادل در پلاسما، پارامترهای زیادی مورد نیاز استو یک تعادل ممکن است به دلایل مختلفی ناپایدار باشد. از طرفی یک ناپایداری نیز ممکن است میان چندین تعادل مشترک باشد. انرژی آزاد در پلاسما، می تواند سبب برانگیختن خود به خودی موج ها شود، این حالت ایجاد شده موقتی خواهد بود زیرا حرکات ایجاد شده درون پلاسما سعی می کنند انرژی را کاهش داده و سیستم را به تعادلی ترمودینامیکی واقعی برسانند. عوامل موثر در ناپایداری را می توان به صورت زیر طبقه بندی کرد:

۱- انرژی آزاد موجود در پلاسما: به عنوان مثال می توان از ناپایداری های جریانی نام برد. در این ناپایداریها، باریکه ای از ذرات انرژی دار از داخل پلاسما عبور می کند، بطوریکه ذرات مختلف نسبت به هم سوق هایی داشته باشند. همین سوق ها سبب برانگیختن امواج می شود.

۲- گرادیان چگالی: در این حالت پلاسما یکنواخت نیست. یک نیروی خارجی سبب بروز ناپایداری می شود (ناپایداری رنا- تیلور[1])

۳- پلاسمای محدود شده که فشار آن باعث گسترش پلاسما می شود (ناپایداری عمومی).

٤- توزیع غیر ماکسولی سرعت ها (ناپایداری جنبشی)

۵- غیر همسان بودن ذرات پلاسما

یک شکل ساده طبقه بندی ناپایداریها در پلاسما به دو گروه اصلی زیر است:

۱- ناپایداریهای فضایی پیکربندی (ماکروسکپی)

این نوع ناپایداری وابسته به انحراف مقادیر ماکروسکپی ترمودینامیکی است. مانند پلاسمائی که از نظر اندازه محدود شده باشد. اگر این پلاسما با تغییر شکل به حالتی با انرژی پتانسیل کمتر برسد،

[1]- Renee- taylor instaility