بسم الله الرحمن الرحيم

۱۲۶۷۲۵

دانشگاه ولی‌عصر(عج)رفسنجان
دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش پلاسما

عنوان پایان‌نامه

بررسی رفتار غیرخطی پلاسمای سرد مغناطیسی در حضور پالس کوتاه لیزر فمتوثانیه‌ای

استاد راهنما:
دکتر حسن رنجبر عسکری

استاد مشاور:
دکتر مهدی سویزی

دانشجو :
فاطمه اکبری پورکانی

۱۳۸۹/۳/ ۵

(اسفند ۱۳۸۷)

۱۳۶۷۳۵

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوری‌ها ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان است.

مدیر تحصیلات تکمیلی
دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

دانشکده‌ی علوم‌پایه

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک خانم فاطمه اکبری پورکانی

تحت عنوان:

بررسی رفتار پلاسمای سرد مغناطیسی در حضور پالس لیزر کوتاه فمتوثانیه‌ای

در تاریخ ۸۷/۱۲/۲۱ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی.... به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه آقای دکتر حسن رنجبرعسکری با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۲- استاد مشاور پایان نامه آقای دکتر مهدی سویزی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۳- داور خارج از گروه آقای دکتر مجید تراز با مرتبه‌ی استادیار امضاء

۴- داور داخل گروه خانم دکتر جمیله سیدیزدی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

و سپاس و ستایش خدایی را که درِ نیاز و حاجت خواهی را جز به سوی خود نگشود، پس چگونه توانایی سپاس و ستایش آن را داریم؟ یا آن که کی وکجا حق شکرش را به جای آریم؟ نه، هرگز، کجا؟

خدایا! در پرتو لطف خویش، مرا از هر عیب و نقصی خالص گردان، و یقین مرا به آنچه در نزد توست، ثبات و پایداری بخش، و به قدرت خود آنچه را که از من تباه گردیده، اصلاح فرما.

خدایا بر محمد و آلش درود فرست و مرا از دل مشغولی به خویشتن و بازماندن از وظیفه‌ی بندگی، کفایت کن، و مرا از کاری که در آخرت از آن بازخواست می‌کنی برگمار، و روزگارم را به انجام دادن کاری که مرا برای ان آفریده‌ای (عبودیت)، مصروفم دار و بی نیازم کن.

خداوند عزیز و متعال را هزاران بار شاکرم که سلامت جسم و روح به من داد، تا شاید بتوانم سپاسگزار ذره‌ای از دریای بیکران نعمت‌ها و انوار رحمت الهی باشم، او که در هر لحظه از این راه پر پیچ و خم دست بر شانه‌ی ما گذاشته که پایمان بر پرتگاه گناه نلغزد، که بی شک اگر لطف او نباشد، سرانجام ما تباهی و خسران خواهد شد.

پدر و مادر عزیزتر از جانم که بهترین سالهای عمرشان را وقف زندگی من کردند و بدون کوچکترین چشمداشتی همواره حامی و رهنمای من بوده‌اند، که هیچ کوششی از جانب من، زحمات ایشان را جبران نمی‌کند، و همیشه بی حرمتی‌های ما را با صبر و تحمل نادیده گرفته اند، اجرکم عند الله.....

و همسر مهربانم که همیشه پشتوانه‌ی محکمی در زندگی بوده و هست و برادرانم، مخصوصاً جواد، که با تشویق و راهنمایی‌شان در کارهایم مرا یاری رساندند، بسیار سپاسگزارم....

از جناب آقای دکتر رنجبر عسکری که راهنمایی پایان نامه اینجانب را بر عهده داشتند، بی‌نهایت ممنون و سپاسگزارم.

از سرکار خانم دکتر سیدیزدی که کار داوری را انجام دادند و همچنین اساتید گروه فیزیک کمال تشکر را دارم.

از دوست عزیزم، خانم نجمه موسوی که در تدوین پایان‌نامه‌ام کمک زیادی به اینجانب کردند بسیار ممنون هستم.

تقدیم به ساحت مقدّس

امام عصر(عج) ارواحنا له الفداه

با امید تعجیل در فرج ان حضرت

چکیده

در این پایان نامه، تولید موج طولی در اثر انتشار یک پالس گوسی کوتاه در یک پلاسما کم چگال در حضور یک میدان مغناطیسی یکنواخت مورد بررسی قرار می‌گیرد. مغناطیسی بودن پلاسما، منجر به تولید یک موج طولی در راستای انتشارموج الکترومغناطیس می‌شود. برهم‌کنش بین لیزر و الکترون‌ها، باعث می‌شود الکترون‌ها سرعت نوسانی با فرکانس نوسان نور لیزر ω بگیرد که برهم‌کنش بین سرعت الکترون‌ها با میدان مغناطیسی $\vec{B}_0$ محیط پلاسمایی، منبع خطی موج ، برهم‌کنش آن با میدان مغناطیسی موج الکترومغناطیس، منبع غیر خطی موج طولی(متناسب با توان سوم میدان الکترومغناطیس) می‌باشد. هم‌چنین نشان داده می‌شود که تغییرات مکانی شدت موج الکترومغناطیس، منبع غیر خطی موج الکترومغناطیس می‌باشد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول مقدمه

۱- تاریخچه‌ی فیزیک پلاسما..... ۱

فصل دوم پلاسما

۲-۱- مقدمه..... ۴

۲-۲ -تعریف کلی پلاسما..... ۵

۲-۲-۱-خنثایی ماکروسکوپی..... ۶

۲-۲-۲ -حفاظ الکتریکی دبای..... ۶

۲-۲-۳ -فرکانس پلاسمایی..... ۸

۲-۳ - تولید پلاسما..... ۹

۲- ۴ - کاربرد های پلاسما..... ۹

۲-۴-۱ - تخلیه‌های گازی (الکترونیک گازی)..... ۹

۲-۴-۲ - هم‌جوشی گرما هسته‌ای کنترل شده..... ۹

۲-۴-۳ - فیزیک فضا..... ۱۰

۲-۵ - پلاسمای غیرمغناطیسی..... ۱۰

۲-۶ - پلاسمای مغناطیسی..... ۱۱

۲-۷ - رفتار دینامیکی پلاسما..... ۱۱

۲-۸ – معادله‌ی انتقال جرم..... ۱۳

۲-۹ - معادله‌ی انتقال تکانه خطی..... ۱۴

۲-۱۰- معادله‌ی انتقال انرژی..... ۱۵

۲-۱۱- انواع پلاسما..... ۱۶

۲-۱۲- تابع دی‌الکتریک و فرکانس پلاسما..... ۱۸

فصل سوم اپتیک غیرخطی

۳-۱- مقدمه..... ۲۰

۳-۲- تعریف اپتیک غیر خطی ۲۱

۳-۳- برهم‌کنش ماده با نور شدید..... ۲۱
۳-۴- شکل کلی برهم‌کنش نور با ماده..... ۲۲
۳-۵- انواع مکانیسم ایجاد قطبش غیر خطی در مواد..... ۲۴
۳-۶- خواص اصلی پذیرفتاری غیر خطی..... ۲۵
۳-۷- فرآیندهای پذیرفتاری مرتبه زوج $\chi^{(2)}$..... ۲۶
۳-۸- فرآیندهای پذیرفتاری مرتبه فرد $\chi^{(3)}$..... ۲۷
۳-۹- قطبش مرتبه‌ی سوّم در حالت غیرخطی..... ۲۷
۳-۱۰- تانسور پذیرفتاری مرتبه‌ی سوّم..... ۲۹
۳-۱۱- اثر غیرخطی کر..... ۳۱
۳-۱۲- معادلات ماکسول در اپتیک غیر خطی..... ۳۳
۳-۱۳- معادله‌ی موج کلی..... ۳۴

فصل چهارم برهم‌کنش لیزر و پلاسما

۴-۱- مقدمه..... ۳۶
۴-۲- لیزرهای پر قدرت از نانوثانیه‌ای تا فمتوثانیه‌ای..... ۳۶
۴-۳- لیزرهای فمتوثانیه‌ای..... ۳۸
۴-۴- انتشار پالس لیزر در پلاسما..... ۳۹
۴-۵ شتاب الکترون..... ۴۰
۴-۶- یونیزاسیون..... ۴۲
۴-۷- ویسکوزیته..... ۴۳
۴-۸- ضریب هدایت الکتریکی..... ۴۴

فصل پنجم بررسی پلاسمای سرد مغناطیسی در حضور پالس کوتاه لیزر

۵-۱-مقدمه..... ۴۶
۵-۲- معادلات حاکم بر محیط پلاسمای..... ۴۷
۵-۳- تابش بر سطح خلاء- پلاسما..... ۵۱
۵-۴- اختلال مرتبه‌ی صفرم میدان الکتریکی..... ۵۲
۵-۵- محاسبه و نمودارهای مربوط به اختلال مرتبه‌ی صفرم میدان الکتریکی..... ۵۳
۵-۶- اختلال مرتبه اوّل میدان الکتریکی..... ۵۵
۵-۷- محاسبه و نمودار مربوط به اختلال مرتبه‌ی اوّل میدان الکتریکی..... ۵۸

۵-۸- اختلال مرتبه دوّم میدان الکتریکی..... ۶۴
۵-۹- محاسبه و نمودار مربوط به اختلال مرتبه دوّم میدان الکتریکی..... ۶۹
۵-۱۰- منابع ایجاد اثرات غیر خطی در پلاسما..... ۷۰

فصل ششم

نتیجه گیری..... ۸۰

فهرست شکل‌ها

شکل (۲-۱) نحوه‌ی تبدیل چهار حالت ماده به یکدیگر..... ۵

شکل(۲-۲) نمودار انواع پلاسما بر حسب دمای و چگالی ذرات..... ۱۷

شکل(۳-۱): توصیف طرح مانندی از برهم‌کنش‌ها در فرآیندهای غیرخطی مرتبه‌ی دوّم..... ۲۷

شکل(۳-۲) نمودار مربوط به جمع فرکانس‌های ورودی پالس لیزر..... ۲۹

شکل(۳-۳) هنگامیکه امواج با فرکانس‌های متفاوت وارد محیطی با ضریب پذیرفتاری مرتبه سوم قابل اندازه‌گیری بشوند دو فرآیندی که در شکل‌های (۳-۲) و (۳-۳) نشان داده شده می‌تواند اتفاق بیفتد که فرکانس‌های متفاوتی را نشان می‌دهند..... ۲۹

شکل (۳-۴): اندازه‌گیری ضریب شکست توسط یک موج..... ۳۲

شکل (۳-۵): اندازه‌گیری ضریب شکست توسط دو موج ۳۲

شکل (۴-۱) روش تقویت امواج در لیزرها ۳۷

شکل (۴-۲) نحوه‌ی انتشار پالس لیزر درون پلاسمای فرو چگال و پلاسمای فراچگال..... ۴۰

شکل(۴-۳): (a) شتاب میدان ردّپای لیزر (LWFA)؛ (b) شتاب میدان ردّپای لیزر خودمدوله شده (SMLWFA)..... ۴۱

شکل(۵-۱) نحوه‌ی برخورد باریکه‌ی لیزر به پلاسما ۴۷

شکل (۵-۲) منحنی A_1° بر حسب مولفه مکانی z در زمان $40\cdot 10^{-15}s$..... ۵۴

شکل (۵-۳) منحنی A_1° بر حسب شدت لیزر ۵۴

شکل(۵-۴) نمودار جمله‌ی $aI=-\frac{2i\omega^3}{k_p\alpha}A_1^\circ B_\circ$ است که در ان دامنه‌ی میدان الکتریکی بر حسب مختصه‌ی مکانی x ۶۰

شکل(۵-۵) نمودار جمله‌ی $aI=-\frac{1}{2}ik_p\alpha B_\circ(A_1^\circ)^2A_1^\circ$ است که در آن دامنه‌ی میدان الکتریکی بر حسب مختصه‌ی مکانی x ۶۱

شکل (۵-۶): منحنی A_{1z}^1 بر حسب شدت لیزر..... ۶۱

شکل (۵-۷) نمودار A_{1z}^1 که دامنه‌ی میدان الکتریکی بر حسب مختصه‌ی مکانی x..... ۶۱

شکل (۵-۸) نمودار A_{1z}^1 که در آن دامنه‌ی میدان الکتریکی بر حسب مختصه‌ی مکانی x در زمان‌های ۶۰ ، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ فمتوثانیه ۶۲

شکل (۵-۹) نمودار $A_{1\frac{1}{2}}^2$ که در ان دامنه‌ی میدان الکتریکی بر حسب مختصه‌ی مکانی x در زمان‌های ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ فمتوثانیه رسم شده است. شدت دامنه ورودی در این‌جا 10^{10} می‌باشد.....۶۹

فهرست جدول

جدول(۲-۱) انواع پلاسما با مقادیر چگالی الکترون و دمای الکترون.....۱۷

فصل اوّل

مقدمه

تاریخچه‌ی فیزیک پلاسما

مشاهده می‌شود که ۹۹٪ طبیعت از پلاسما تشکیل شده است. در دوران اوّلیه، جهان از پلاسما ساخته شده بود. اکنون نیز ستارگان، سحابی‌ها و حتی فضای بین ستارگان، از پلاسما تشکیل شده است.

در منظومه‌ی شمسی نیز پلاسما به شکل بادهای خورشیدی جریان داشته و زمین نیز کاملا توسط پلاسمایی که توسط میدان مغناطیسی زمین محبوس شده، احاطه شده است. از پلاسمای زمینی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: رعد و برق، لامپ‌های فلورسنت، انواع آزمایشات تحقیقاتی و مجموعه در حال رشد فرآیندهای صنعتی.

اخیراً تخلیه‌ی الکتریکی، هسته‌ی اصلی صنعت مونتاژ و ساخت مدارهای ریز (میکرو) را تشکیل می‌دهد. سیستم‌های مایع و حتی جامد، بعضی مواقع می‌توانند اثرات مشترک الکترومغناطیسی که ویژگی پلاسما را دارند، از خود بروز دهند. مثلا جیوه مایع دارای بسیاری از وضعیّت‌های دینامیکی مانند امواج آلفن[1] بوده که در پلاسماهای معمولی رخ می‌دهد.

---

[1] Alfven

پلاسما کلمه‌ی یونانی است و اوّلین بار توسط دانشمند اهل چک به نام، جوناس پارکیج[۱] (۱۸۶۹-۱۷۸۷) استفاده شد. در سال ۱۹۲۷ ایروبنگ لانگمیر[۲]، شیمیدان آمریکایی برنده‌ی جایزه نوبل اوّلین بار این لغت را برای توصیف یک گاز یونیزه استفاده کرد. لانگمیر در روشی که پلاسمای خون، گلبول‌های قرمز و سفید را انتقال می‌دهد و روشی که یک سیال الکتریکی الکترون‌ها و یون‌ها را انتقال می‌دهد، تأمل کرده بود. به طور کلی بعد از لانگمیر تحقیقات پلاسما در جهات دیگری گسترش یافت که به پنج مورد از مهم‌ترین ان‌ها اشاره می‌کنیم:

۱- توسعه پخش رادیویی عامل کشف یونسفر زمین شد. این لایه‌ی گاز جزء یونیزه شده‌ای است که در بالای اتمسفر امواج رادیویی را انعکاس می‌دهد. هنگامی‌که علامت‌های رادیویی فرستنده بالای افق هستند، در اثر انعکاس از یونسفر می‌توانند دوباره دریافت شوند.

۲- دانش اختر فیزیک کمک بسزایی به درک این که بیشتر جهان از پلاسما تشکیل شده، کرد. بنابراین برای فهمیدن بهتر پدیده‌های اخترفیزیک نیازمند یک درک بهتر از فیزیک پلاسما هستیم. ابتدا هانس آلفون[۳] بود که در سال (۱۹۴۰) نظریه مگنتوهیدرودینامیک[۴] یا M H D را که در آن پلاسما اساسا مانند یک سیال هادی رفتار می‌کند، را توسعه داد.

۳- اختراع بمب هیدروژنی در ۱۹۵۲ در مورد گداخت گرما هسته‌ای کنترل شده، یک منبع توان کنترل پذیر برای آینده را ایجاد کرد.

۴- در سال ۱۹۵۸ وان الن[۵] کمربندهای تشعشعی که زمین را در برگرفته اند، کشف کرد. دانشمندان فضا نظریه‌ی پلاسمای محبوس شده به وسیله‌ی میدان مغناطیسی را از تحقیقات هم‌جوشی[۶] و نظریه امواج پلاسما را از فیزیک یونسفر به دست آوردند.

۵- سرانجام با پیشرفت لیزرهای پرقدرت در دهه‌ی ۱۹۶۰ حوزه‌ی فیزیک پلاسمای لیزری گشوده شد. وقتی که یک باریکه‌ی لیزر پرتوان به یک هدف جامد می‌خورد، ذرات بلافاصله کنده می‌شوند و اشکالی از پلاسما در مرز بین لیزر و هدف ایجاد می‌شود. پلاسمای لیزری به سمت خواصی (به عنوان مثال چگالی‌های مشخصه یک جامد) گرایش دارد که در بسیاری از پلاسماهای معمولی یافت نمی‌شود. کاربرد دیگر فیزیک پلاسمای لیزری، تولید میدان‌های

---

[۱] Johannes Parkinje
[۲] Irving Langmuir
[۳] Hannes Alfven
[۴] magnetohydrodynamics
[۵] Van Alen
[۶] Fusion

فوق‌العاده قوی است. وقتی که پالس لیزر با شدت بالا از بین ذرات عبور می‌کند و به ذرات شتاب می‌دهد. فیزیکدان‌ها امیدوارند که با استفاده از شیوه‌ی شتاب دادن به وسیله‌ی برهم‌کنش لیزر و پلاسما، اندازه و هزینه‌ی شتاب دهنده‌های ذرات را کاهش دهند[۱].

فصل دوّم در مورد پلاسما، ویژگی‌های یک پلاسما و کاربردهای آن شرح مختصری داده شده است. سپس با استفاده ازتابع توزیع بولتزمن، توابع انتقال جرم، تکانه و انرژی را بدست می‌اوریم.

در فصل سوّم تعریف اپتیک غیرخطی بیان می‌شود. سپس شکل کلی برهم‌کنش نور با ماده را، توضیح می‌دهیم. در این فصل نحوه‌ی تولید قطبش سوم و فرکانس‌های مرتبط با آن و هم‌چنین اثر غیرخطی کر و اثرات ناشی از تولید هارمونیک‌ها، توضیح داده می‌شود. در نهایت معادله‌ی کلی موج را با استفاده از معادلات ماکسول بدست می‌اوریم.

فصل چهارم در مورد چگونگی پیدایش لیزرها مقدّمه‌ای گفته می‌شود. سپس نحوه‌ی تولید پالس‌های لیزری، از نانوثانیه به فمتوثانیه‌ای شرح داده می‌شود. بحث اثرات ویسکوزیته در پلاسما و ضریب هدایت الکتریکی در اثر برهم‌کنش لیزر با پلاسما، نیز مطرح می‌شود.

در فصل پنجم رفتار غیرخطی یک پلاسمای سرد مغناطیسی در اثر برهم‌کنش با یک پالس کوتاه لیزری را بررسی می‌کنیم. پالس در نظر گرفته شده در حد فمتوثانیه است. در این فصل، از مفاهیم پایه‌ای پلاسما و معادلات انتقال جرم و انتقال تکانه و معادلات ماکسول استفاده می‌کنیم و معادله‌ی موج پالس ایجاد شده در یک پلاسمای سرد مغناطیسی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در فصل ششم نیز به طور کلی از شکل‌های رسم شده و نحوه‌ی انتشار امواج در پلاسمای سرد مغناطیسی نتیجه‌گیری می‌کنیم.

فصل دوم

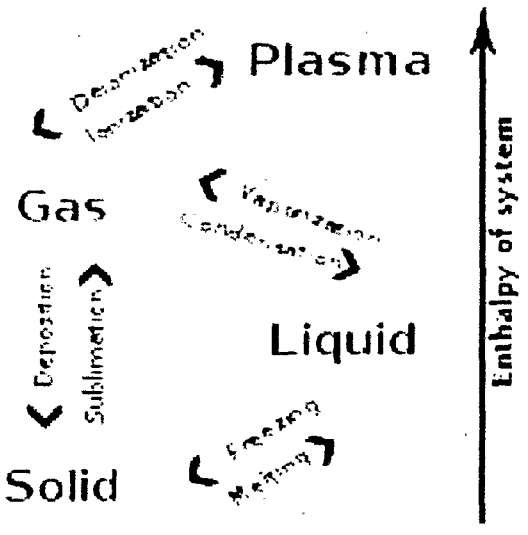
پلاسما

۲-۱ مقدمه

مواد موجود در هستی به چهار فاز جامد، مایع، گاز و پلاسما طبقه‌بندی می‌گردد. تفاوت اصلی میان این چهار گروه به قدرت نیروهای پیوستگی میان اجزای تشکیل دهنده‌ی آن‌ها مربوط می‌شود. این نیروها فقط در جامدات قوی هستند.

عامل اساسی که باعث می‌شود یکی از این چهار حالت ماده را داشته باشیم، انرژی جنبشی کاتوره‌ای (انرژی گرمایی) اتم‌ها و مولکول‌های آن ماده است که به دمای جسم وابسته است.

اگر جامدات و مایعات آنقدر حرارت ببینند که بر انرژی پتانسیل بستگی غلبه نمایند، در نهایت گذار فاز در یک فشار معین و در دمای ثابت مشاهده می‌شود. چنان‌چه یک گاز مولکولی انرژی لازم برای غلبه بر انرژی پیوستگی الکترون‌ها در بیرونی‌ترین مدار خود را بیابد، در این وضعیت یک گاز یونیزه یا پلاسما بوجود می آید. گذار گاز به پلاسما از دیدگاه ترمودینامیکی گذار فاز محسوب نمی‌شود، زیرا سایر تبدیل فازها، یعنی از جامد به مایع و مایع به گاز در دمای ثابت انجام می‌گیرد، اما تبدیل فاز از گاز به پلاسما تدریجاً با افزایش دما صورت می‌گیرد که در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱) نحوه‌ی تبدیل چهار حالت ماده به یکدیگر

۲-۲ تعریف کلی پلاسما

عبارت پلاسما برای توصیف طیف وسیعی از مواد بکار می‌رود که از دیدگاه ماکروسکوپی و الکتریکی خنثی باشد و شامل تعداد زیادی الکترون‌های آزاد، اتم‌ها یا مولکول‌های یونیزه باشند. این ذرات با یکدیگر دارای برهم‌کنش بوده و یک رفتار تجمعی را از خود نشان می‌دهند. به همه‌ی محیط‌هایی که شامل ذرات باردار باشند پلاسما اطلاق نمی‌گردد. خصوصیات یک پلاسما عمدتا به برهم‌کنش ذرات آن بستگی دارد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌هایی که یک پلاسما را از سیالات عمومی یا جامدات متمایز می‌سازد، اثرات تجمعی[1] پلاسما است. به علت برد بلند نیروهای الکترومغناطیسی هر ذره‌ی باردار درون پلاسما، با تعداد قابل توجهی از ذرات باردار دیگر در هر لحظه برهم‌کنش دارد که این منجر به اثرات تجمعی مهمی می‌گردد.

[1] Collective effects

برای تعریف پلاسما باید به چند پارامتر اساسی اشاره کرد، که جزء ویژگی‌های اصلی برای تعریف پلاسما به حساب می‌آیند[۲]:

۱- خنثایی ماکروسکوپی

۲- حفاظ الکتریکی دبای[۱]

۳- فرکانس پلاسمایی[۲]

۲-۲-۱ خنثایی ماکروسکوپی

خنثایی ماکروسکوپی پلاسمایی به این معنی است که در حالت تعادل و در غیاب نیروهای خارجی، بار الکتریکی حجم ماکروسکوپی پلاسما صفر است. منظور از حجم ماکروسکوپی این است که، اگر در حجم به اندازه‌ی کافی بزرگ از پلاسما، ذرات زیادی وجود داشته باشند، تغییرات پارامترهای ماکروسکوپی مانند چگالی و دما، در مقایسه با طول مشخصه پلاسما، به اندازه کافی کوچک باشد. در داخل پلاسما میدان‌های بار میکروسکوپی یکدیگر را خنثی نموده و هیچ فضای بارداری در منطقه ماکروسکوپی وجود ندارد. البته این خنثایی ماکروسکوپی و الکتریکی می‌تواند به طور طبیعی تغییر کند. اما این تغییر بایستی در فاصله‌هایی باشد که انرژی گرمایی ذره تمایل به اشفته نمودن خنثایی الکتریکی را دارد و انرژی پتانسیل الکتروستاتیک که تمایل به حفظ خنثایی الکتریکی، را در توازن قرار دهد. این فاصله از مرتبه یک پارامتر مشخصه طول پلاسما می‌باشد که طول دبای نامیده می‌شود.

در غیاب نیروهای خارجی پلاسما نمی‌تواند خنثایی الکتریکی ماکروسکوپی را در فاصله‌ای بیشتر از طول دبای تحمل کند، زیرا ذرات آزادانه حرکت نموده‌اند که این وضعیّت در اثر نیروی کولن ایجاد می‌شود.

---

[۱] Debye shielding
[۲] Ferquancy Plasma

۲-۲-۲ حفاظ الکتریکی دبای

طول دبای اندازه فاصله‌ای است که در این فاصله تأثیر میدان الکتریکی ذره باردار توسط ذره‌ی باردار دیگری در درون پلاسما احساس می‌شود. در واقع طول دبای، فاصله حرکت ذرات حرارتی در طی یک دوره تناوب پلاسما است.

شکل‌گیری ذرات به گونه‌ای است که در برابر میدان‌های الکتروستاتیکی حفاظ ایجاد کنند. این حفاظ دهی در برابر میدان‌های الکتروستاتیکی نتیجه‌ای از اثرات تجمّعی ذرات پلاسما است.

محاسبه‌ی طول حفاظ ، نخستین بار توسط دبای[۱] صورت گرفت.

طول دبای، $\lambda_D = 10^{-4}\mathrm{m}$ با جذر دمای T نسبت مستقیم و با جذر چگالی تعداد الکترون‌های n_e نسبت عکس دارد:

$$\lambda_{De} \equiv \sqrt{\frac{\varepsilon_o k T_e}{n_e e^2}} = \frac{v_e}{\sqrt{2}\omega_{pe}} \qquad (۱-۲)$$

به طوری‌که $\varepsilon_o = 8.85 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{F/m}$ ثابت گذردهی خلاء، ω_{pe} فرکانس نوسانی الکترون‌ها، T_e دمای الکترون‌ها، k ثابت بولتزمن و n_e چگالی الکترون‌ها می‌باشد.

طول دبای را به عنوان اندازه فاصله‌ای که پتانسیل الکتریکی در حال تغییر است در نظر می‌گیرند. هر ذره باردار درون پلاسما به طور تجمعی با ذرات بارداری برهم‌کنش دارد که درون کره‌ی دبای (می‌توان کره‌ای با شعاع λ_D به عنوان کره‌ی دبای تعریف کرد) واقع هستند و تأثیر آن‌ها بر دیگر بارها در خارج کره‌ی دبای قابل صرف‌نظر است.

می‌توان ثابت کرد که تعداد الکترون‌ها درون یک کره‌ی دبای عبارت است از:

$$N_D = \frac{4}{3}\pi\lambda_D{}^3 n_e = \frac{4}{3}\pi\left[\frac{\varepsilon k_T}{e^2 n_e^{\frac{1}{3}}}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۲-۲)$$

اثر حفاظ دبای مشخصه‌ی تمام پلاسماها می‌باشد. یک شرط لازم برای آن‌که پلاسما وجود داشته باشد این است که ابعاد فیزیکی سیستم (L) در مقایسه با λ_D بزرگ باشد، زیرا باید فضای کافی جهت وقوع اثر حفاظ دهی و تجمع ذرات باردار وجود داشته باشد تا رفتار پلاسمایی مشاهده شود.

---

[۱] Debye

اوّلین معیار برای تعریف پلاسما عبارت است از: $L >> \lambda_D$

با توجه به اینکه اثر حفاظ دهی نتیجه‌ی رفتار تجمعی ذرات در درون کره‌ی دبـای باشـد، لازم است که تعداد الکترون‌های درون کره‌ی دبای زیاد باشد.

دوّمین معیار جهت تعریف پلاسما عبارت است از: $n_e\lambda_D^3 >> 1$

۲-۲-۳ فرکانس پلاسمایی

اگر شبه خنثایی پلاسما توسط بعضی از نیروهای خارجی نابود شود، الکترون‌ها برای برگرداندن حالت خنثایی شتاب می‌گیرند و حول یون‌ها که سنگین‌تر هستند، یک حرکت رفت و برگشتی پیدا می‌کنند. هنگامی که یک پلاسما به صورت لحظه‌ای از حالت تعادل خارج شود، میدان‌های ناشی از فضاهای بار درونی بوجود آمده در پلاسما، باعث افزایش حرکت تجمعی ذرات خواهنـد شد، که نتیجه‌ی ان تمایل به حفظ خنثایی بار الکتریکی می‌باشد. این حرکت‌های تجمعـی بـه وسیله‌ی فرکانس طبیعی نوسانی بیان می‌شود که فرکانس پلاسما نامیده مـی‌شـود و مـی‌تـوان ثابت کرد که:

$$\omega_{pe} = \sqrt{\frac{n_e e^2}{m_e \varepsilon_\circ}} \qquad (۲-۳)$$

به طوری که m_e جرم الکترون، e بار الکترون می‌باشد.

فرکانس نوسان در یک پلاسمای کاملا یونیزه، همان فرکانس پلاسمای الکترونی است.

بعضی از پلاسماها مانند یونسفر زمین کاملا یونیزه نیستند. در این نمونه‌ها تعداد ذرات خنثی بسیار زیاد هستند و در این حالت ذرات باردار با ذرات خنثی برخوردهایی هم دارد و باعث می‌شود که الکترون‌ها در حالت تعادل با ذرات خنثی قرار گیرند و این محیط دیگر نمی‌تواند به صورت پلاسما رفتار کند بلکه به صورت یک گاز خنثی عمل خواهد کرد. برای این که الکترون‌ها تحت تأثیر ذرات خنثی قرار نگیرند، باید زمان متوسط بین دو برخورد الکترون- ذره خنثی بزرگتر از عکس بسامد پلاسمایی باشد. این سومین مختصه برای یک محیط یونیزه شده با رفتار پلاسمایی است که به صورت روابط ریاضی زیر بیان می‌شوند:

$$\omega\tau > 1 \qquad (۲-۴)$$