بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه بیرجند
دانشکده علوم-گروه فیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک اتمی و مولکولی(پلاسما)

عنوان پایان‌نامه:

تابش امواج الکترومغناطیسی از یک ستون پلاسمایی استوانه‌ای مغناطیده

استاد راهنما:
دکتر سید محمد خراشادی‌زاده

استاد مشاور:
دکتر بابک شکری

نگارنده:
راحله مشیری

آبان ماه ۱۳۸۸

دانشگاه سیرجند
مدیریت تحصیلات تکمیلی

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

فرم شماره ۱۰

با تاییدات خداوند متعال جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی کارشناسی ارشد **راحله مشیری** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته:**فیزیک** به شماره دانشجویی: **۸۶۱۳۱۰۴۰۱۳** گرایش: **پلاسما** دانشکده: علوم

تحت عنوان : **تابش امواج الکترومغناطیسی از یک ستون پلاسمایی استوانه ای مغناطیده**

به ارزش: **۶** واحد درساعت: **۹/۵** صبح روز: **پنج شنبه** مورخ: **۸۸/۸/۲۸**

با حضور اعضای محترم جلسه دفاع و نماینده تحصیلات تکمیلی به شرح ذیل تشکیل گردید :

سمت	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنمای اول	**دکتر سید محمد خراشادی زاده**	استادیار	
استاد راهنمای دوم			
استاد مشاور اول	**دکتر بابک شکری**	استادیاذر	
استاد مشاور دوم			
داور اول	**دکتر علیرضا نیکنام**	استادیار	
داور دوم	**دکتر رضا پژوهش**	استادیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	**دکتر کاظم نفیسی**	استادیار	

نتیجه ارزیابی دفاع که منوط به ارائه اصلاحات پیشنهادی توسط هیئت داوران حداکثر ظرف مدت یکماه پس از تاریخ دفاع می باشد، به شرح زیر مورد تایید قرار گرفت:

♦ قبول (با درجه: بسیار خوب و امتیاز: ۱۸/۷۵) ♦ دفاع مجدد ♦ غیرقابل قبول

۱- عالی (۲۰-۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ – ۱۸) ۳- خوب (۱۷/۹۹ – ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ -۱۴)

(بدیهی است عواقب آموزشی ناشی از عدم ارائه به موقع اصلاحات مزبور به عهده دانشجو می باشد)

چکیده

در این پایان نامه، به بررسی توان تابش شده از یک ستون پلاسمایی مغناطیده و غیر مغناطیده و مقایسه آن‌ها می‌پردازیم. با استفاده از معادلات ماکسول، معادلات میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را در سه ناحیه پلاسما، دی‌الکتریک (برای محدود کردن پلاسما) و خلاء محاسبه می‌کنیم و سپس با محاسبه بردار پوینتینگ، توان تابش شده را می‌توان محاسبه کرد.

هدف ما از این پایان نامه، بررسی توان تابشی برای دو حد ۱- طول موجهای بلند $(r \prec \lambda)$ ۲- طول موجهای کوتاه $(r \succ \lambda)$ با مدهای متقارن محوری $(l=0)$ و غیر متقارن $(l=1)$ و رسم نمودارهای آن‌ها می‌باشد و سپس به تحلیل آن‌ها می‌پردازیم و مکانیزم تشعشعات پلاسمایی را بیان می‌کنیم و چگالی جریانی که در پلاسما به دلیل حرکت الکترون‌ها به وجود می‌آید، را محاسبه می‌کنیم و همچنین نشان می‌دهیم توان تابش شده از ستون پلاسما با حضور میدان مغناطیسی و در غیاب میدان مغناطیسی فرق چندانی با هم ندارند. همچنین نشان می‌دهیم کدام طول موج‌ها برای انتشار امواج برای ما از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.

کلید واژه‌ها : تابش الکترومغناطیسی، ستون پلاسمایی، میدان مغناطیسی

فهرست

چکیده

مقدمه

فصل۱ : مبانی واساس تئوری پلاسمایی ۱۰

۱-۱- تعریف پلاسما ۱۱

۱-۱-۱- حفاظ دبای ۱۲

۱-۱-۲- پارامتر پلاسما ۱۴

۱-۱-۳- فرکانس پلاسما ۱۴

۱-۱-۴- فرکانس سیکلوترونی ۱۵

۱-۱-۵- کاربردهای فیزیک پلاسما ۱۶

۱-۱-۶- تولید پلاسما ۱۷

۱-۲- برهم‌کنش امواج الکترومغناطیسی با محیط پلاسمایی ۱۸

۱-۳- اساس تئوری پلاسمایی ۲۱

۱-۴- مکانیزم تشعشعات ۲۵

۱-۴-۱- تابش اتمی ۲۶

۱-۴-۲- تابش پیوسته ۲۶

۱-۴-۳- تابش پلاسمایی ۲۸

۱-۵- موجبرها و خواص آن‌ها ۳۰

۱-۶- شرایط مرزی ۳۳

۱-۷- انرژی الکترومغناطیسی ۳۴

فصل ۲ : ستون پلاسمای استوانه‌ای غیر مغناطیده ۳۵

مقدمه ۳۶

۲-۱- محاسبه معادلات موج ۳۶
۲-۱-۱- ناحیه پلاسما ۳۷
۲-۱-۲- ناحیه دی‌الکتریک ۴۰
۲-۱-۳- ناحیه خلاء ۴۲
۲-۲- محاسبه ضرایب ۴۳
۲-۳- محاسبه توان تابشی در هر ناحیه ۴۵
۲-۳-۱- ناحیه پلاسمایی ۴۶
۲-۳-۲- ناحیه دی‌الکتریک ۴۸
۲-۳-۳- ناحیه خلاء ۵۲
۲-۴- چگالی جریان در ناحیه پلاسمایی ۵۳
۲-۵- توان کل تابش شده ۵۴
۲-۵-۱- توان کل تابش شده برای طول موج‌های کوتاه ۵۴
۲-۵-۱-۱- توان کل تابش شده برای طول موج‌های کوتاه در راستای r ۵۵
۲-۵-۱-۲- توان کل تابش شده برای طول موج‌های کوتاه در راستای z ۵۷
۲-۵-۲- توان کل تابش شده برای طول موج‌های بلند ۶۱
۲-۵-۲-۱- توان کل تابش شده برای طول موج‌های بلند در راستای r ۶۱
۲-۵-۲-۲- توان کل تابش شده برای طول موج‌های بلند در راستای z ۶۴

فصل ۳ : ستون پلاسمای استوانه‌ای مغناطیده ۶۹

۳-۱- محاسبه معادلات موج ۷۰
۳-۱-۱- ناحیه پلاسما ۷۱
۳-۲- تانسور گذردهی دی‌الکتریک در محیط پلاسما مغناطیده ۷۴
۳-۳- محاسبه ضرایب ۷۵
۳-۴- محاسبه توان تابشی در هر ناحیه ۷۸

۳-۴-۱- ناحیه پلاسمایی ۷۸
۳-۵- چگالی جریان در ناحیه پلاسمایی ۸۱
۳-۶- توان کل تابش شده ۸۲
۳-۶-۱- توان کل تابش شده برای طول موج‌های کوتاه ۸۲
۳-۶-۱-۱- توان کل تابش شده برای طول موج‌های کوتاه در راستای r ۸۳
۳-۶-۱-۲- توان کل تابش شده برای طول موج‌های کوتاه در راستای z ۸۵
۳-۶-۲- توان کل تابش شده برای طول موج‌های بلند ۸۷
۳-۶-۲-۱- توان کل تابش شده برای طول موج‌های بلند در راستای r ۸۷
۳-۶-۲-۲- توان کل تابش شده برای طول موج‌های بلند در راستای z ۹۰
۳-۷- تقریب‌ها در یک پلاسمای سرد مغناطیده ۹۲
۳-۷-۱- میدان مغناطیسی خیلی ضعیف ۹۳
۳-۷-۲- میدان مغناطیسی خیلی قوی ۹۳
۳-۷-۲-۱- توان کل تابش شده برای طول موج‌های کوتاه ۹۴
۳-۷-۲-۲- توان کل تابش شده برای طول موج‌های بلند ۹۸

نتیجه‌گیری ۱۰۲

مراجع ۱۰۹

فهرست شکل‌ها

شکل(۱-۱): مقایسه پتانسیل دبای و کولنی ۱۳

شکل (۱-۲): یک طرح اتلاف برای چگالی‌های الکترونی مختلف ۲۳

شکل (۱-۳): انعکاس از یک سطح پلاسمایی ۲۴

شکل (۱-۴): پراکندگی الکترون بر اثر برهمکنش با یون و تابش یک فوتون ۲۷

شکل (۱-۵): ترکیب الکترون با یون و تابش یک فوتون ۲۷

شکل (۱-۶): امواج سطحی ۲۹

شکل(۲-۱): نمودار توان تابشی در راستای محور z برای ستون پلاسمای غیرمغناطیده در حد طول موج‌های کوتاه در حالت متقارن $l=0$ ۵۸

شکل(۲-۲): نمودار توان تابشی در راستای محور z برای ستون پلاسمای غیرمغناطیده در حد طول موج‌های کوتاه در حالت غیر متقارن $l=1$ ۵۹

شکل (۲-۳): نمودار توان تابشی در راستای محور z برای ستون پلاسمای غیرمغناطیده در حد طول موج‌های بلند در حالت متقارن $l=0$ ۶۵

شکل (۲-۴): نمودار توان تابشی در راستای محور z برای ستون پلاسمای غیرمغناطیده در حد طول موج‌های بلند در حالت غیر متقارن $l=1$ ۶۷

شکل (۳-۱): نمودار توان تابشی در راستای محور z برای ستون پلاسمای مغناطیده قوی در حد طول موج‌های کوتاه در حالت متقارن $l=0$ ۹۴

شکل (۳-۲): نمودار توان تابشی در راستای محور z برای ستون پلاسمای مغناطیده قوی در حد طول موج‌های کوتاه در حالت غیر متقارن $l=1$ ۹۶

شکل (۳-۳): نمودار توان تابشی در راستای محور z برای ستون پلاسمای مغناطیده قوی در حد طول موج‌های بلند در حالت متقارن $l=0$ ۹۸

شکل (۳-۴): نمودار توان تابشی در راستای محور z برای ستون پلاسمای مغناطیده قوی در حد طول موج‌های بلند در حالت غیر متقارن $l=1$ ۱۰۰

مقدمه

درک مکانیزم انتشار امواج الکترومغناطیسی از داخل پلاسما و کاربردهای آن از اهمیت زیادی برخوردار است و امروزه مورد توجه بسیاری واقع شده است.

در اکثر دیدگاه‌ها، پلاسما یا همان گاز یونیده شده می‌تواند به راحتی جایگزین رسانا شود. یک پلاسما با یونیزاسیون بالا اساساً رسانای خوبی می‌باشد و در نتیجه می‌توان از میله‌های پلاسمایی به عنوان المان‌های خطوط انتقال برای انتقال موج یا در سطوح آنتن‌ها برای تابش استفاده کرد. محیط یونیزه شده می‌تواند شکل‌های مختلفی به خود بگیرد. که در واقع می‌توانند در هوا در فشار اتمسفر توسط لیزرها، بیم‌های مایکروویو توان بالا یا امواج فرابنفش ایجاد شوند. همچنین یک پلاسما می‌تواند درون یک تیوب پر شده از گازی مثل نئون یا آرگون ایجاد شود. روش‌هایی که از تیوب استفاده می‌کنند به انرژی کمتری برای تحریک و نگهداری نیازمند هستند. به این دلیل که گاز خالص است و حضور تیوب از پراکندگی جلوگیری می‌کند. الگوی تابشی با استفاده از پارامترهایی مثل چگالی پلاسما، شکل لوله، توزیع جریان کنترل می‌شود.

در این پایان نامه به بررسی توان تابش شده از یک ستون پلاسما در دو حالت مغناطیده و غیر مغناطیده می پردازیم. اخیراً بررسی‌هایی در مورد کاربرد گازهای یونیزه شده یا پلاسماها به عنوان وسیله‌ای برای تولید امواج الکترومغناطیسی انجام شده است. با بکار بردن این خاصیت از پلاسما در آنتن‌ها می‌توانند این آنتن‌های پلاسمایی تولید کرد که قادر به رقابت با آنتن‌های فلزی می باشند [۱]. به دلیل کاهش تداخل امواج الکترومغناطیسی در محیط پلاسما می‌توان از آنتن‌های پلاسمایی در سنجش از راه دور، ارتباطات مخابراتی، باند پهن، ناوبری و رادار هوا شناسی استفاده کرد. چون تابشی که از این پلاسماها حاصل می‌شود در حد تابش‌های مایکروویو ولی با ابعاد خیلی کوچک می‌باشد و این خیلی مهم است.

فصل۱

مبانی و اساس تئوری پلاسمایی

۱-۱- تعریف پلاسما

پلاسما گاز شبه خنثایی از ذرات باردار و خنثی است که رفتار جمعی از خود ارائه می‌دهد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که واژه پلاسما به گاز یونیده شده‌ای اطلاق می‌شود که همه یا بخش قابل توجهی از اتم‌های آن یک یا چند الکترون از دست داده و به یون‌های مثبت تبدیل شده باشند و یا به گاز به شدت یونیزه شده‌ای که تعداد الکترون‌های آزاد آن تقریباً برابر با تعداد یون‌های مثبت آن باشد، پلاسما گفته می‌شود. پلاسما به علت رفتار جمعی[1] که از خودش نشان می‌دهد، گرایشی به متاثر شدن در اثر عوامل خارجی ندارد و اغلب طوری عمل می‌کنند که گویا دارای رفتار مخصوص به خودش است.

اغلب گفته می‌شود که ۹۹٪ ماده موجود در طبیعت در حالت پلاسما است، یعنی به شکل گاز الکتریسیته داری که اتم‌هایش به یون‌های مثبت و الکترون‌های منفی تجزیه شده باشد. هر چند که این تخمین ممکن است خیلی دقیق نباشد. ولی تخمین معقولی است از این واقعیت که درون ستارگان و جو آنها، ابرهای گازی و اغلب هیدروژن فضای بین ستارگان بصورت پلاسماست. در نزدیکی خود ما، وقتی که جو زمین را ترک می‌کنیم بلافاصله با پلاسما مواجه می‌شویم که شامل کمربندهای تشعشعی وان آلن و بادهای خورشیدی است. در زندگی روزمره نیز با چند نمونه محدود از پلاسما مواجه می‌شویم، جرقه رعد وبرق، تابش ملایم شفق قطبی، گازهای داخل یک لامپ فلورسان یا لامپ نئون و یونیزاسیون مختصری که در گازهای خروجی یک موشک دیده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که ما در یک در صدی از عالم زندگی می‌کنیم که در آن پلاسما بطور طبیعی یافت نمی‌شود.

---

[1] - Collective effect

۱-۱-۱- حفاظ دبای[۲]

برای اینکه پلاسما در حالت ایستا رفتاری شبه خنثی را داشته باشد. چنین عنصر حجمی باید به حد کافی بزرگ باشد تا به تعداد کافی از ذرات را در برگیرد. در عین حال می‌باید در مقایسه با طول‌های مشخصه برای تغییرات ماکروسکوپی (کلان) مانند چگالی و دما، به اندازه کافی کوچک باشد. در عنصر حجمی می‌باید میدان‌های بار فضایی میکروسکوپی ناشی از حاملین بار تکی همدیگر را خنثی کنند تا بدین ترتیب خنثی بودن ماکروسکوپی بار فراهم شود. پتانسیل کولنی هر بار q در فضای آزاد بصورت زیر است:

$$\Phi_c = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} \qquad (۱-۱)$$

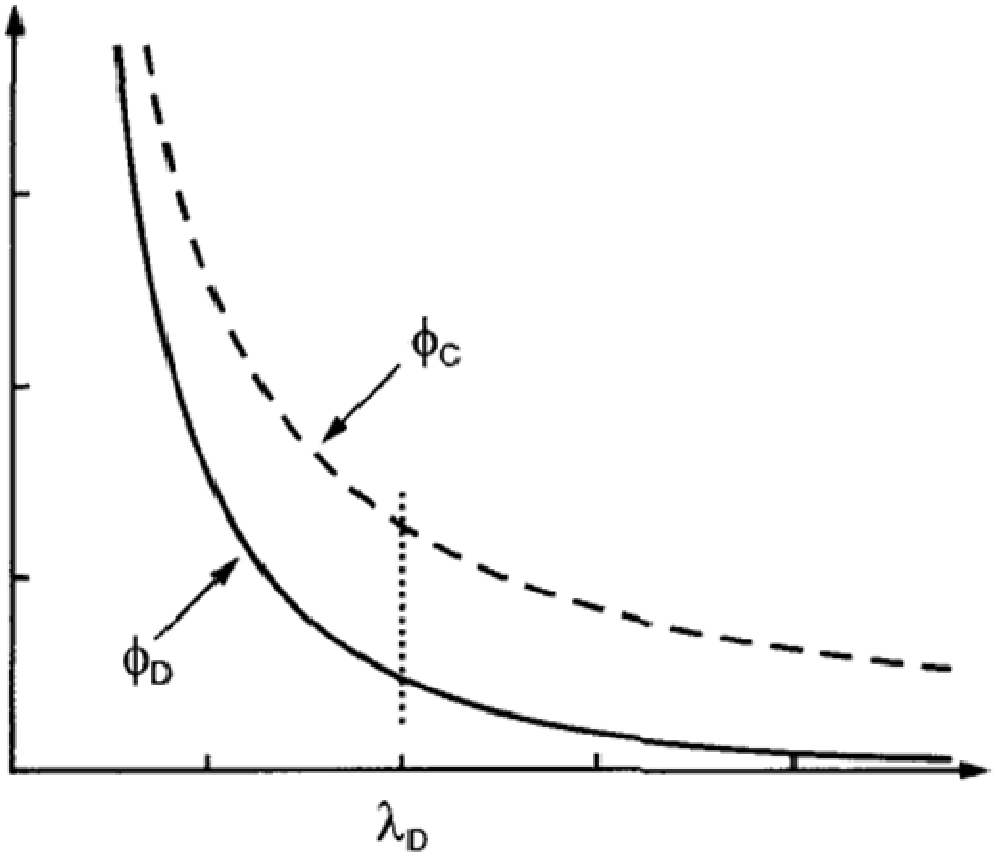
با ε_0 به عنوان ضریب گذردهی فضای آزاد، بطوریکه در داخل پلاسما توسط سایر بارهای موجود در پلاسما حفاظ می‌شود و شکل پتانسیل دبای را به خود می‌گیرد.

$$\Phi_D = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}\exp(-\frac{r}{\lambda_D}) \qquad (۱-۲)$$

مقیاس طولی مشخصه λ_D، طول دبای نامیده می‌شود و آن عبارت است از فاصله‌ای است که در ورایش بین انرژی حرارتی ذره از یک طرف که تمایل به مختل کردن خنثایی الکتریکی دارد و انرژی پتانسیل الکترواستاتیکی ناشی از هر نوع جدایی بار، تعادل برقرار گرد. شکل (۱-۱) اثر حفاظ را به نمایش می‌گذارد.

---

[2] - Debye legth



شکل(۱-۱) مقایسه پتانسیل دبای و کولنی

می‌توان نشان داد که طول دبای تابعی از دماهای الکترونی و یونی T_e و T_i و چگالی پلاسما $n_e = n_i = n_0$ است (فرض می‌شود که یون‌ها یک بار یونیده‌اند).

$$\lambda_D = \left(\frac{\varepsilon_0 k_B T}{n_0 e^2} \right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۳-۱)$$

که در آن فرض کرده‌ایم که $T_e = T_i$ و k_B ثابت بولتزمن و e بار الکتریکی است. همچنین جملات دما را به صورت مترادف با انرژی متوسط $\prec W \succ = k_B T$ به کار می‌بریم.

برای این که پلاسما شبه خنثی باشد، می‌باید بعد فیزیکی L در مقایسه با λ_D بزرگ باشد.

$$\lambda_D \prec\prec L \qquad (۴-۱)$$

وگرنه فضای کافی برای رخ دادن اثر حفاظ جمعی در بین نبوده و یک گاز یونیده ساده خواهیم داشت. این ایجاب را اغلب معیار اول پلاسما می‌نامند.

۱-۱-۲- پارامتر پلاسما

چون اثر حفاظ، نتیجه‌ای از رفتار جمعی ذرات در داخل یک کره دبای به شعاع λ_D است، لذا لازم است که کره مزبور شامل تعداد کافی از ذرات باشد. تعداد ذرات در داخل یک کره دبای برابر با $\frac{4}{3}\pi n_e \lambda_D^3$ است. عبارت $n_e\lambda_D^3$ اغلب پارامتر پلاسما Λ نامیده می‌شود و دومین معیار برای یک پلاسما عبارت می‌شود از:

$$\Lambda = n_e\lambda_D^3 \succ\succ 1 \qquad (۵-۱)$$

با قرار دادن مقدار λ_D از عبارت داده شده در معادله (۱-۳) و به توان $\left(\frac{2}{3}\right)$ رساندن طرفین معادله معلوم می‌شود که انرژی پتانسیل متوسط یک ذره ناشی از نزدیکترین ذره مجاورش، که تناسب معکوس با فاصله میانگین ذره‌ای دارد و بنابراین متناسب با $n_e^{\frac{1}{3}}$ است، باید خیلی کوچکتر از انرژی متوسط آن ذره k_BT_e باشد.

۱-۱-۳- فرکانس (بسامد) پلاسما

بسامد نوسان نوعی در یک پلاسما کاملاً یونیده، همان فرکانس پلاسمایی الکترونی ω_{pe} است. اگر شبه خنثایی پلاسما توسط برخی نیروهای خارجی مختل شود، الکترون‌ها که تحرک بیشتری نسبت به یون‌های به مراتب سنگین‌تر دارند، برای برگرداندن خنثایی بار شتاب می‌گیرند. آن‌ها بنا بر لختی خود، حول موضع تعادل به حرکت رفت و آمدی پرداخته و در نتیجه حول یون‌ها با جرم بیشتر به سرعت به نوسان‌های جمعی خواهند آمد. می‌توان نشان داد که بسامد پلاسما به مجذور چگالی پلاسما وابسته است. با فرض m_e جرم الکترون، ω_{pe} را می‌توان چنین نوشت:

$$\omega_{pe} = \left(\frac{n_e e^2}{m_e \varepsilon_0}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \text{فرکانس الکترونی پلاسما} \qquad (۶-۱)$$

برخی پلاسماها مانند یونیسفر زمین کاملاً یونیده نیستند. در این‌ها تعداد قابل توجهی ذرات خنثی داریم و اگر ذرات باردار برخوردهایی با ذرات خنثی داشته باشند، الکترون‌ها وادار به ترکیب با یونهای مثبت شده و تشکیل خنثی می‌دهند و محیط مذکور دیگر نمی‌تواند به صورت پلاسما رفتار کند بلکه به صورت یک گاز خنثی در خواهد آمد.

برای اینکه الکترون‌ها از برخورد با ذرات خنثی بی‌تاثیر باقی بماند، می‌باید زمان متوسط بین دو برخورد الکترون – ذره خنثی، τ_n ، بزرگتر از عکس بسامد پلاسمایی باشد.

$$\omega_{pe}\tau_n \succ\succ 1 \qquad (۷-۱)$$

این سومین معیار برای یک محیط یونیده با رفتاری همانند یک پلاسما است[۲].

۱-۱-۴- فرکانس سیکلوترونی

اگر پلاسما در یک میدان مغناطیسی قوی قرار بگیرد، میدان مغناطیسی باعث دوران سیکلوترونی ذرات باردار می‌شود. با استفاده از معادله حرکت، فرکانس سیکلوترونی حرکت ذرات باردار به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\Omega_\alpha = \frac{q_\alpha B_0}{m_\alpha} \qquad (۸-۱)$$

در این معادله Ω_α فرکانس سیکلوترونی ذره نوع α و B_0 میدان مغناطیسی خارجی

۱-۱-۵- کاربردهای فیزیک پلاسما

پلاسما را می‌توان با دو پارامتر n و kT_e مشخص کرد. کاربردهای پلاسما، ناحیه بسیار وسیعی از n ، kT_e را می‌پوشاند به طوری که n از 10^6 تا $10^{34}m^{-3}$ به اندازه بیش از 10^{28} برابر تغییر می‌کند و kT_e می‌تواند از $0/1$ تا $10^6 ev$ بیش از 10^7 برابر شود. برخی از این کاربردها، به طور خلاصه در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد. وسعت بسیار زیاد ناحیه تغییرات چگالی را می‌توان با در نظر گرفتن این که چگالی هوا و آب فقط با ضریب $10^3 m^{-3}$ از هم

متفاوت است و یا آب و ستارگان کوتوله سفید از لحاظ چگالی با ضریب 10^5 از هم جدا می‌شوند، تجسم کرد. حتی ستارگان نوترونی، 10^{15} برابر از آب متراکم‌تر هستند، پلاسماهای گازی در تمام ناحیه چگالی 10^{28} را هم می‌توان توسط مجموعه معادلات مشابهی تشریح کرد. زیرا فقط قوانین کلاسیک (غیر مکانیک کوانتومی) فیزیک مورد نیاز هستند[۳].

- تخلیه گازی، قدیمی‌ترین کار با پلاسما مربوط به لانگمیر، تانکس و همکاران آن‌ها در سال ۱۹۲۰م. می‌شود. تحقیقات در این مورد از آن جا شروع شد که می‌خواستند برای انتقال جریانهای قوی از لوله‌های خلایی که بتوانند جریان‌های قوی را حمل کنند و در نتیجه می‌بایست استفاده نمایند که به استفاده از گازهای یونیزه، منجر شد.

- همجوشی گرما هسته‌ای کنترل شده، فیزیک پلاسما جدید از حدود ۱۹۵۲ که در آن ساختن راکتوری براساس کنترل همجوشی بمب هیدروژنی پیشنهاد گردید آغاز می‌شود.

- فیزیک فضا: کاربرد مهم دیگر فیزیک پلاسما، مطالعه فضای اطراف زمین است. جریان پیوسته‌ای از ذرات باردار، که باد خورشیدی خوانده می‌شود. به مگنتوسفر زمین برخورد می‌کند و مگنتوسفر حفاظی در مقابل این تابش شده و در طول فرآیند، توسط آن تغییر شکل می‌یابد همچنین درون جو ستارگان آنقدر داغ هستند که می‌توانند در حالت پلاسما باشند.

- تبدیل انرژی مگنتوهیدرودینامیک (MHD) و پیشرانش یونی، در کاربرد عملی فیزیک پلاسما در تبدیل انرژی مگنتوهیدرودینامیک از یک فواره غلیظ پلاسما که به داخل یک میدان مغناطیس پیشرانده می‌شود، می‌باشد.

- پلاسمای حالت جامد: الکترون‌های آزاد و حفره‌ها در نیم رساناها، پلاسمایی را تشکیل می‌دهند که همان نوع نوسانات و ناپایداری‌های یک پلاسمای گازی را عرضه می‌دارند.

- لیزرهای گازی: سرانجام با پیشرفت لیزرهای پرقدرت در دهه ۱۹۶۰م. مرز فیزیک پلاسمای لیزری گشوده شد. وقتی یک شعاع لیزر قدرتمند به یک هدف جامد می‌خورد ذرات بلافاصله کنده می‌شوند و اشکالی از پلاسما در مرز بین پرتو لیزر و هدف ایجاد می‌شود.

- کاربرد اصلی فیزیک پلاسمای لیزری رویکردی دیگر به انرژی همجوشی است که معروف به همجوشی محبوس شده است. در این رویکرد پرتوهای قوی متمرکز شده لیزر برای از داخل منفجر کردن یک هدف جامد کوچک استفاده می‌شود تا به مشخصه چگالی‌ها و دماهای همجوشی هسته‌ای (مانند مرکز یک بمب هیدروژنی) برسند.

- کاربرد جالب دیگر فیزیک پلاسمای لیزری تولید میدان‌های فوق‌العاده قوی است. وقتی که پالس لیزر با چگالی بالا از بین پلاسما عبور می‌کند ذرات را شتاب می‌دهد. فیزیکدانان انرژی زیاد امیدوارند با استفاده از شیوه شتاب دادن به وسیله پلاسما اندازه و هزینه شتاب دهنده‌های ذرات را کاهش دهند.

شایان ذکر است که کاربردهای دیگری مانند چاقوی پلاسما، تلویزیون پلاسما، تفنگ الکترونیکی، لامپ پلاسما، آنتن پلاسما و غیره نیز وجود دارد. که ما تابش از یک ستون پلاسمای مغناطیده را در این پایان نامه بررسی می‌کنیم.

۱-۱-۶- تولید پلاسما

پلاسما باید در توزیع فضایی معین و دقیق مثل رشته‌ها، ستون‌ها و یا ورقه‌های نازکی ایجاد شود. حجم پلاسما می‌تواند در داخل یک تیوپ یا در فضای آزاد تشکیل شود. گازهایی که می‌توان برای ایجاد پلاسما در داخل تیوپ استفاده شود عبارتند از نئون، آرگون، کریپتون، هیدروژن، هلیوم و یا بخار جیوه می‌باشد.

انرژی دادن به پلاسما می‌تواند با الکترودها، سیگنالهای مایکروویو، لیزرها و یا کوپلرهای الکترومغناطیسی انجام شود. با محدود کردن لوله های گاز پلاسما، می‌توان از پخش شدن پلاسما جلوگیری کرد. همچنین الگوی تابش می‌تواند توسط پارامترهایی مثل چگالی پلاسما، شکل تیوپ و توزیع جریان کنترل شود[۴].

۱-۲- برهمکنش امواج الکترومغناطیسی با محیط پلاسمایی

همان‌طور که می‌دانیم پلاسما از ذرات باردار و خنثی تشکیل شده‌است که این ذرات باردار در اطراف خود در کره‌ای با شعاع λ_D پتانسیل الکترواستاتیکی ایجاد می‌کنند که این پتانسیل باعث به‌وجود آمدن میدان الکتریکی (E) در پلاسما می‌شود، اما چون این ذرات در حال حرکتند باعث ایجاد میدان مغناطیسی (B) در داخل پلاسما می‌شود. در این‌جا پاسخ ذرات پلاسما را، هنگامی‌که اغتشاشی وارد این محیط می‌شود را بررسی کنیم. در واقع هر چیزی که بتواند این ذرات را از حالت تعادل خارج کند اغتشاش نامیده می‌شود، مثلاً یک موج الکترومغناطیسی.

می‌توانیم پاسخ محیط را درمقابل این اغتشاشات در تانسور نفوذپذیری‌الکتریکی محیط جستجو کنیم. که این تانسور در حالت کلی به صورت زیر می‌باشد[۵]:

$$\varepsilon_{ij}(\omega,\kappa)=\begin{bmatrix}\varepsilon_{rr} & \varepsilon_{r\varphi} & \varepsilon_{rz}\\ \varepsilon_{\varphi r} & \varepsilon_{\varphi\varphi} & \varepsilon_{\varphi z}\\ \varepsilon_{zr} & \varepsilon_{z\varphi} & \varepsilon_{zz}\end{bmatrix} \qquad (۹-۱)$$

چون این ذرات در هر جهتی قادر به حرکت هستند نفوذپذیری‌الکتریکی به‌صورت تانسور نوشته می‌شود. ولی این تانسور در خلاء به‌صورت یک ماتریس واحد، که فقط عناصر روی قطر اصلی آن یک می‌باشند، در می‌آید[۵]:

$$\varepsilon_{ij}(\omega,\kappa)=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \qquad (۱۰-۱)$$

حال برهمکنش ذرات بادار را با محیط پلاسمایی بررسی می‌کنیم. در واقع یون‌ها و الکترون‌ها اجزاء اصلی محیط پلاسمایی هستند. برهمکنش امواج الکترومغناطیسی را می‌توان از رفتار یک ذره باردار تنها، تحت اثر موج الکترومغناطیسی فرمول بندی کرد. ذرات باردار در داخل پلاسما، می‌توانند تحت اثر نیروی لورنس هنگام برهمکنش با یک موج الکترومغناطیسی به‌صورت زیر در نظر گرفت[۵]:

$$\vec{F} = q\left(\vec{E} + \frac{1}{c}\left(\vec{u} \times \vec{B}\right)\right) \qquad (۱۱-۱)$$

ذره باردار q ، سرعت ذره u ، E,B میدان‌های الکترومغناطیسی اثر کننده بر ذره هستند.

برای محاسبه معادلات موج در داخل موجبر از معادلات ماکسول باید استفاده کنیم. در حالت کلی معادلات ماکسول برای هر محیطی به صورت زیر می‌باشد[۵]:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \frac{4\pi}{c}\vec{J}_0 + \frac{1}{c}\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (۱۲-۱)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \qquad (۱۳-۱)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{1}{c}\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (۱۴-۱)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = 4\pi\rho_0 \qquad (۱۵-۱)$$

در این معادلات $\rho_0, \vec{J}_0$ به ترتیب چگالی‌های جریان و بار از منابع خارجی می‌باشند و $\vec{D}$ نیز بردار جابجایی نامیده می‌شود و وابستگی آن با میدان الکتریکی در حالت کلی به‌صورت زیر می‌باشد[۵]:

$$\vec{D}_i(t,r) = \int_{-\infty}^{t} dt' \int dr' \tilde{\varepsilon}_{ij}(t,t',r,r')\vec{E}_j(t',r') \qquad (۱۶-۱)$$

که $\tilde{\varepsilon}_{ij}$ را ضریب گذردهی دی الکتریکی می‌نامند. علاوه بر چگالی جریان خارجی، چگالی جریانی بر اثر حرکت ذرات در داخل محیط نیز وجود دارد. که بصورت رابطه زیر با میدان الکتریکی مربوط می‌شود[۵]: