



دانشکده‌ی علوم پایه
گروه آموزشی فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته‌ی فیزیک گرایش بنیادی

عنوان:

تأثیر میدان مغناطیسی بر پلاسمای تخلیه الکتریکی

استاد راهنما:

دکتر جعفر برهانیان

پژوهشگر:

الهام نکوئیان

زمستان 94

نام خانوادگی دانشجو: نکوئیان	نام: الهام
عنوان پایان نامه: تأثیر میدان مغناطیسی بر پلاسمای تخلیه الکتریکی	
استاد راهنما: دکتر جعفر برهانیان	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
گرایش: بنیادی - نظری	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: علوم پایه	تاریخ دفاع: 94/11/19
	تعداد صفحات: 133
چکیده:	
<p>در این پایان نامه مروری کوتاه بر تعریف و خواص اساسی پلاسما و چند اثر بنیادی که در فیزیک تخلیه مهم هستند مانند سطح مقطع، تحرک پذیری، پخش و غیره شده است. سپس شکست الکتریکی گازها تحت یک میدان الکتریکی dc تشریح شده است. تخلیه توزند، اثرات بار فضا، گسیل ثانویه الکترون، قانون همسانی، قانون پاشن توصیف شده است. تخلیه الکتریکی در گازها شامل تخلیه تاریک، تخلیه تابناک (روشن) و رژیم های مختلف تخلیه تابناک و چند موضوع مرتبط با آن ها در فصل سوم مورد مطالعه قرار گرفته است. در فصل چهارم اثر میدان مغناطیسی بر پلاسمای تخلیه برای دو پیکربندی، تخلیه تخت و تخلیه استوانه ای مورد بررسی قرار گرفته است. در هر دو حالت از آنالیز عددی برای حل معادلات حاکم بر مدل استفاده شده است.</p>	
کلید واژه ها: تخلیه الکتریکی، پلاسمای مغناطیده، فرایندهای بنیادی	

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
---------------------	------

مقدمه 2

فصل اول: مقدمه‌ای بر فیزیک پلاسما

1-1- تعریف پلاسما 9

2-1- پلاسما در طبیعت **Error! Bookmark not defined.**

3-1- تاریخچه‌های از فیزیک پلاسما **Error! Bookmark not defined.**

4-1- پلاسما در آزمایشگاه **Error! Bookmark not defined.**

5-1- دما در پلاسما **Error! Bookmark not defined.**

6-1- روشهای تولید پلاسما **Error! Bookmark not defined.**

7-1- شبه خنثایی و طول دبی **Error! Bookmark not defined.**

8-1- فرکانس پلاسما **Error! Bookmark not defined.**

9-1- شعاع لارمور و فرکانس سیکلوترونی **Error! Bookmark not defined.**

10-1- غلاف پلاسما **Error! Bookmark not defined.**

11-1- مدل‌های پلاسما **Error! Bookmark not defined.**

12-1- واکنشهای شیمیایی بنیادی در پلاسما به دلیل واکنشهای اولیه **Error! Bookmark not defined.**

13-1- سطح مقطع برخورد و مسافت آزاد متوسط **Error! Bookmark not defined.**

14-1- سطح مقطع یونیزاسیون **Error! Bookmark not defined.**

15-1- ذرات باردار اولیه در پلاسما **Error! Bookmark not defined.**

16-1- برخورد الاستیک و غیرالاستیک **Error! Bookmark not defined.**

17-1- برخورد ذرات در پلاسما **Error! Bookmark not defined.**

18-1- برخورد الاستیک **Error! Bookmark not defined.**

19-1- طبقه بندی فرآیندهای یونیزاسیون **Error! Bookmark not defined.**

20-1- فرآیندهای بنیادی شیمیایی پلاسما برای یونهای مثبت **Error! Bookmark not defined.**

21-1- مکانیسمهای مختلف بازترکیب الکترون - یون در پلاسما **Error! Bookmark not defined.**

22-1-گسیل الکترون و فرآیندهای یونیزاسیون Error! Bookmark not defined.

1-22-1-پدیده ی نشر گرما یونی (فرمول سامرفیلد و اثر شاتکی) Error! Bookmark not defined.

2-22-1-گسیل میدانی الکترونها در میدانهای الکتریکی قوی (فرمول فولر- نوردھیم و گسیل میدان گرما یونی)..... Error! Bookmark not defined.

3-22-1-گسیل الکترون ثانویه Error! Bookmark not defined.

فصل دوم: شکست الکتریکی گازها

1-2- تخلیه الکتریکی Error! Bookmark not defined.

2-2- انواع تخلیه الکتریکی Error! Bookmark not defined.

3-2- شکست الکتریکی گازها..... Error! Bookmark not defined.

1-3-2- تخلیه توزند Error! Bookmark not defined.

4-2- اثر بار فضا Error! Bookmark not defined.

5-2- اثر گسیل ثانویه Error! Bookmark not defined.

6-2- همسانی Error! Bookmark not defined.

7-2- شرط توزند Error! Bookmark not defined.

8-2- قانون پاشن Error! Bookmark not defined.

9-2- شکست در فشار پایین و برای میدانهای غیر یکنواخت Error! Bookmark not defined.

10-2- اثر میدان مغناطیسی بر روی شکست: Error! Bookmark not defined.

فصل سوم: تخلیه الکتریکی در گازها

1-3- تخلیه تابناک Error! Bookmark not defined.

2-3- مشخصه ولتاژ - جریان تخلیه بین دو الکترو Error! Bookmark not defined.

1-2-3-تخلیه تاریک توزند..... Error! Bookmark not defined.

2-2-3-تخلیه تابناک Error! Bookmark not defined.

3-3- تفاوت اصلی بین تخلیه تابناک و تاریک Error! Bookmark not defined.

1-3-3-اختلال میدان الکتریکی خارجی Error! Bookmark not defined.

2-3-3-جریان حدی برای وجود تخلیه تاریک Error! Bookmark not defined.

4-3-لایه (ناحیه) کاتدی Error! Bookmark not defined.

1-4-3-افت کاتدی عادی و چگالی جریان Error! Bookmark not defined.

2-4-3-تخلیه غیر عادی Error! Bookmark not defined.

3-4-3-طبیعت غیر موضعی طیف الکترون و ضریب یونیزاسیون در لایه کاتدی Error! Bookmark not defined.

5-3-گذار از لایه کاتدی به ستون مثبت همگن Error! Bookmark not defined.

6-3-ستون مثبت Error! Bookmark not defined.

فصل چهارم: تخلیه الکتریکی dc در حضور میدان مغناطیسی

1-4-تخلیه الکتریکی تخت و تأثیر میدان مغناطیسی Error! Bookmark not defined.

2-4-تخلیه الکتریکی استوانه‌های و تأثیر میدان مغناطیسی Error! Bookmark not defined.

1-2-4-معادلات حاکم و شرایط مرزی Error! Bookmark not defined.

نتیجه‌گیری Error! Bookmark not defined.

فهرست جدول ها

شماره و عنوان جدول	صفحه
جدول 1-1: مقایسه شعاع دبای و مشخصه‌ی اندازه، برای انواع سیستم های پلاسما (منبع: فریدمن، 2008، 142)	18.....
جدول 1-2: تابع کار برای مواد کاتدی مختلف (فریدمن، 2008)	33.....
جدول 1-3: چگالی‌های جریان گرما یونی، میدان و گسیل میدانی گرما یونی در میدان های الکتریکی E مختلف (فریدمن، 2008)	38.....
جدول 1-4: فاکتور تصحیح شده‌ی $\zeta \left(\frac{\Delta W}{W_0} \right)$ در فرمول فولر-نوردهیم برای گسیل میدانی (فریدمن، 2008)	36.....
جدول 1-5: ضریب گسیل ثانویه برای تحریک الکترون گسیلی بالقوه بوسیله‌ی برخورد اتم های شبه پایدار (فریدمن، 2008)	38.....
جدول 1-4: مقادیر γ برای J و B های مختلف	91.....

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل‌ها	صفحه
شکل 1-1: توزیع ماکسولی (چن، 1، 2003)	9.....
شکل 1-2: پلاسمای خورشیدی (چن، 2003)	12.....
شکل 1-3: دایره‌های برخورد (آ.ام. هاتسون، 2011)	29.....
شکل 1-4: انرژی پتانسیل الکترون‌های روی سطح فلز در حضور میدان الکتریکی خارجی (فریدمن، 2008)	34.....
شکل 1-5: اثر شاتکی در گرما یونی و گسیل میدان (فریدمن، 2008)	35.....
شکل 1-6: ضریب گسیل فوتو الکترون به عنوان تابعی از انرژی فوتون (فریدمن، 2008)	39.....
شکل 1-7: گسیل الکترون ثانویه به عنوان یک تابع از انرژی الکترون‌های بمباران کننده (فریدمن، 2008)	40.....
شکل 2-1: ویژگی تخلیه در ناحیه توزند (آ.ام. هاتسون، 2011)	45.....
شکل 2-2: منحنی $\frac{\alpha}{p}$ برای انواع گازها (آ.ام. هاتسون، 2011)	49.....
شکل 2-3: اثر بار فضا (آ.ام. هاتسون، 2011)	51.....

شکل 2-4: اثر گسیل ثانویه (آ.ام. هاتسون، 2011)

52.....

شکل 2-5: ولتاژ شکست برای چند نوع گاز (آ.ام. هاتسون، 2011)

56.....

شکل 3-1: تخلیه تابناک (رایزر، 1991)

60.....

شکل 3-2: خط بار (رایزر، 1991)

62.....

شکل 3-3: تغییرات میدان الکتریکی (رایزر، 1991)

64.....

شکل 3-4: رسم مقادیر E ، V و d بر حسب j (رایزر، 1991)

69.....

شکل 3-5: افزایش چگالی الکترون در ستون مثبت و به طور طبیعی گذار از لایه کاتدی به ستون مثبت (رایزر، 1991)

72.....

شکل 4-1: هندسه تخلیه الکتریکی (کرامر، 1996)

78.....

شکل 4-2: تغییرات میدان الکتریکی بر حسب x در چگالی جریان $0.1 \frac{A}{m^2}$ به ازای دو زاویه θ متفاوت و فشار 0.68 pa 87

شکل 4-3: تغییرات جریان الکترون بر حسب x در چگالی جریان $0.1 \frac{A}{m^2}$ به ازای دو زاویه θ متفاوت و فشار 0.68 pa 87

شکل 4-4: تغییرات اختلاف چگالی بر حسب x در چگالی جریان $0.1 \frac{A}{m^2}$ به ازای دو زاویه θ متفاوت و فشار 0.68 pa 87

شکل 4-5: تغییرات میدان الکتریکی بر حسب x در چگالی جریان $1 \frac{A}{m^2}$ به ازای دو زاویه θ متفاوت و فشار 0.68 pa 88

شکل 4-6: تغییرات جریان الکترون بر حسب x در چگالی جریان $1 \frac{A}{m^2}$ به ازای دو زاویه θ متفاوت و فشار 0.68 pa 88

شکل 4-7: تغییرات اختلاف چگالی بر حسب x در چگالی جریان $1 \frac{A}{m^2}$ به ازای دو زاویه θ متفاوت و فشار 0.68 pa 88

شکل 4-8: تغییرات میدان الکتریکی بر حسب x در چگالی جریان $10 \frac{A}{m^2}$ به ازای دو زاویه θ متفاوت و فشار 0.68 pa 89

شکل 4-9: تغییرات جریان الکترون بر حسب x در چگالی جریان $10 \frac{A}{m^2}$ به ازای دو زاویه θ متفاوت و فشار 0.68 pa 89

شکل 4-10: تغییرات اختلاف چگالی بر حسب x در چگالی جریان $10 \frac{A}{m^2}$ به ازای دو زاویه θ متفاوت و فشار

0.68 pa 89

شکل 4-11: تغییرات میدان الکتریکی بر حسب x در چگالی جریان $\frac{A}{m^2}$ و فشار 6.8 pa 90

شکل 4-12: تغییرات جریان الکترون بر حسب x در چگالی جریان $\frac{A}{m^2}$ و فشار 6.8 pa 90

شکل 4-13: تغییرات اختلاف چگالی بر حسب x در چگالی جریان $\frac{A}{m^2}$ و فشار 6.8 pa 90

شکل 4-14: تغییرات چگالی الکترون بر حسب شعاع و به ازای سه میدان مغناطیسی متفاوت
100.....

شکل 4-15: تغییرات چگالی یون‌ها بر حسب شعاع و به ازای سه میدان مغناطیسی
متفاوت..... 101

شکل 4-16: تغییرات سرعت شعاعی الکترون‌ها بر حسب شعاع و به ازای سه میدان مغناطیسی متفاوت
101.....

شکل 4-17: تغییرات سرعت شعاعی یون‌ها بر حسب شعاع و به ازای سه میدان مغناطیسی متفاوت
102.....

شکل 4-18: تغییرات سرعت سمتی الکترون‌ها بر حسب شعاع و به ازای سه میدان مغناطیسی متفاوت
102.....

شکل 4-19: تغییرات سرعت سمتی یون‌ها بر حسب شعاع و به ازای سه میدان مغناطیسی متفاوت
103.....

شکل 4-20: تغییرات سرعت طولی الکترون‌ها بر حسب شعاع..... 104

شکل 4-21: تغییرات سرعت طولی یون‌ها بر حسب شعاع..... 104

شکل 4-22: تغییرات میدان الکتریکی بر حسب شعاع و به ازای سه میدان مغناطیسی متفاوت
105.....

فصل اول:

مقدمه‌ای بر پلازما

مقدمه

رفتار پلاسما در یک میدان مغناطیسی مسئله قدیمی در فیزیک پلاسما است. تحقیقات همجوشی پلاسما در پلاسماهای محدود شده در میدان مغناطیسی در سال 1950 مورد توجه قرار گرفت (چن، 1975). وجود میدان مغناطیسی در بسیاری از پلاسماهای تخلیه که برای فراوری مواد نیمه هادی استفاده می‌شود بسیار مهم بوده (لیبرمن¹، 2005). اعمال میدان مغناطیسی بر یک تخلیه باعث القاء اثرات متنوعی خواهد شد. میدان مغناطیسی خواص تراپردی پلاسما به طرف دیواره را تحت تأثیر قرار داده و یونیزاسیون و توزیع فضایی پلاسما را تحت تأثیر قرار می‌دهد. (لیبرمن، 2005).

ستون پلاسماهای استوانه‌ای از جمله پلاسماهایی است که بخاطر تخلیه الکتریکی یک گاز در داخل یک استوانه بوجود می‌آید. چنین سیستمی دارای کاربردهای زیادی از جمله در لیزرهای گازی است. دو مدل و نظریه برای بررسی و توصیف ستون مثبت یک تخلیه الکتریکی dc² وجود دارد، این دو مدل برای حالت‌های خاصی صادق هستند. یکی مدل سقوط آزاد³ تونکس⁴ و لانگمیر⁵ (لانگمیر، 1929) می‌باشد و دیگری مدل پخش دو قطبی که توسط شاتکی⁶ پیشنهاد شده است. نظریه اول اغلب وقتی قابل استفاده است که مسیر آزاد میانگین برای برخورد یون و ذرات خنثی بسیار بزرگتر از شعاع ستون مثبت باشد، در حالیکه نظریه دوم وقتی می‌تواند بکار برده شود که فشار در داخل ستون مثبت بسیار بالا باشد بطوریکه مسیر آزاد میانگین کوچکتر از شعاع ستون پلاسما باشد. به عبارت دیگر، نظریه‌ی اول برای پلاسماهایی با فشار پایین و دومی برای پلاسماهایی با فشار بالا صادق هستند. در هر دو نظریه، پلاسماها شبه خنثی در نظر گرفته می‌شود و لذا ناحیه غلاف پلاسما که شبه خنثی بودن در آن نقض می‌شود، بوسیله این مدل‌ها قابل توجیه نیست. به علاوه نقش اینرسی یون‌ها در این دو مدل نادیده گرفته می‌شود. اگر چه می‌توان برخی از این محدودیت‌ها را نادیده گرفته و مدل عام‌تری ارائه داد، ولی از لحاظ نظری، دست و پنجه نرم

1- Lieberman

2 -Direct Current

3 -Free fall

4 -Toonaks

5 -Langmuir

6 -Schottky

کردن با این مدل‌ها بسیار مشکل خواهد بود. لذا استفاده از روش‌های عددی و شبیه‌سازی عددی شاید نتواند در فهم فیزیکی این سیستم برای حالت‌های عام‌تر چاره‌ی کار باشد.

تئوری تانکس-لانگمیر به طور ریاضی مرز غلاف پلاسما را در شعاع محدود مورد توجه قرار می‌دهد. جایی که هم چگالی پلاسما و هم پتانسیل آن محدود هستند، در حالیکه گرادیان آنها بطور نامحدود بزرگ می‌شود. ولی تئوری پخش دو قطبی به غلاف مرزی پلاسما منجر نمی‌شود. طبق این تئوری چگالی پلاسما در غلاف مرز صفر می‌شود در حالیکه پتانسیل و سرعت یون در یک شعاع محدود، بطور نامحدودی بزرگ شده‌اند.

پیرسون^۱ نشان داد که با اضافه کردن یک جمله‌ی غیر خطی اینرسی در معادله‌ی تعادل تکانه‌ی یون می‌توان راهی برای تبدیل تئوری پخش دو قطبی پیدا کرد که در مرز غلاف پلاسما چگالی و پتانسیل محدود شوند (پیرسون، ۱۹۶۲).

سلف^۲ و اوالد^۳ نشان دادند که با به حساب آوردن جمله اینرسی، تئوری شاتکی را می‌توان همچین در فشارهای پایین استفاده کرد و نتایجی را که با تئوری سقوط آزاد مطابقت دارد را بدست آورد (سلف و اوالد، ۱۹۶۶). بنابراین، سلف - اوالد یک حالت انتقال بین دو تئوری را نشان دادند و همچنین نتایجی برای فشارهای متوسط بدست آوردند. فورست^۴ و فرانکلین^۵ تعریف هیدرودینامیکی ستون مثبت را بکار بردند و شبه‌خنثایی را در سراسر کار فرض کردند (فورست و فرانکلین، ۱۹۶۶). این تعریف منجر به یک مدل موثر تک-سیالی شد که در آن ذرات گاز دارای جرم $m = m_i + m_e$ ، دمای $T = T_i + T_e$ و میانگین سرعت $V = V_i = V_e$ هستند. در مدل تک سیالی، تکینگی بیشتر اوقات بعنوان مرز ستون مثبت بکار برده می‌شود، زمانیکه عرض غلاف بسیار کوچکتر از امتداد ستون می‌باشد (پیرسون، ۱۹۶۲ و کی نو^۶، شاو^۷، ۱۹۶۶ و فورست، فرانکلین، ۱۹۶۶ و والننتینی^۸، ۱۹۸۸).

گر چه چگالی بار در ستون نسبت به مرز غلاف خیلی کوچکتر است، با این حال لازم است که کل پلاسما را مدل بندی کرد تا بتوان جزئیات مرز غلاف-پلاسما و خود غلاف را توصیف کرد. بنابراین، فریدمن و لوی^۹، اینگولد^{۱۰}، والننتینی، متز^{۱۱}، ارنی^{۱۲} و اسکام فرض شبه خنثی بودن را رها کردند و مدل

1-Persson

2-Self

3-Ewald

4-Forrest

5-Franklin

6-Kino

7-Shaw

8-Valentini

9-levi

10-Ingold

11-.Metze

12-Emie

دو سیالی را گسترش دادند (اینگولد، 1965 و متر و ارنی، 1989)، جایی که مشتق هیچ تکینگی را در سرعت بوهم نشان نداده است. دو تکینگی جدید از سرعت صوت الکترون و یون در حالت هم دما ناشی می‌شود، در حالیکه الکترون‌ها در داخل پلاسما به سرعت صوت نمی‌رسند، ولی سرعت یون‌ها در ستون مثبت به سرعت صوت خواهد رسید. از آنجا که تقریب شبه خنثایی، در این نقاط، پیوستگی منحنی چگالی و سرعت سوق را حل می‌کند، فریدمن، لوی، اینگولد و والنتینی فرض کردند که نسبت چگالی الکترون و یون روی محور نمی‌تواند به طور اختیاری انتخاب بشود. ولی این نسبت بوسیله‌ی شرط داخلی در نقطه‌ی صوتی یون ثابت می‌باشد. شرط داخلی آنها، $n_i = n_e$ بود که منجر به نتایج غیر منطقی فیزیکی شد. اینگولد $T_i = 0$ را بکار برد و متوجه شد که نقطه بحرانی در جایی روی محور استوانه قرار دارد، جایی که می‌توان به راحتی با بسط سری تیلور آن را جابجا کرد.

بیشتر اوقات دمای یون‌ها ثابت در نظر گرفته شده است، اُفت دما را در مقالات ایلک^۱، والنتینی و والشلاگر^۲ می‌توان دید (ایلک، 1979 و والشلاگر، 1990). در حالیکه ایلک، در مدل شبه خنثی خودش، شار حرارتی را به حساب نیاورد. والنتینی در مدل دو سیالی خودش $T_i = 0$ را روی محور قرار داد. والشلاگر در رفتار جنبشی، تغییرات دمای یون را در نظر گرفت، ولی فرض کرد گاز خنثی سرد است ($T_n \approx 0$). والنتینی تغییرات شعاع دمای الکترون را بوسیله‌ی یک مدل دو سیالی شامل تعادل انرژی الکترون‌ها محاسبه کرد، در حالیکه دمای یون‌ها را ثابت فرض کرده بود.

جکسون^۳ و کینگ^۴ نیز در مقاله‌ای به مشخصه‌ی فضا و زمان تخلیه‌ی تابناک پرداختند (جکسون، 2003). برای این کار پالس‌های قدرتی را در طول چرخه‌ی کار اعمال کردند. با این کار آنها طبیعت پلاسما را در هر سیکل پالسی و در هر موقعیت از مکان مشاهده کردند.

ونگ^۵ و همکاران برای نشان دادن پایه و اساس مدل تک سیالی، یک شبیه سازی از تخلیه‌ی الکتريکی میکروپلاسما با گاز هلیوم در فشار اتمسفر را انجام دادند (ونگ و همکاران، 2006). میکروتخلیه^۶ را در بسیاری از روابط همانند حالت ماکروسکوپی یک تخلیه‌ی الکتريکی تابناک dc فشار پایین در نظر می‌گیرند. این شبیه سازی وجود میدان الکتريکی واژگون در تابناک منفی را پیشگویی می‌کند. این تابناک منفی تحت اعمال شرایطی است که موافق شارش پخش الکترون از غلاف کاتد باشد. میدان الکتريکی برای ارضاء پیوستگی جریان کل تنظیم می‌شود. نتایج این شبیه سازی با آزمایشات مشاهده شده موافقت دارد.

1-Ilic
2-Wallschlager
3-Jackson
4-King
5-Wang
6-Microdischarge

پتروف^۱ و فریرا^۲ مدلی در نظر گرفتند که مربوط به انقباض ستون مثبت در یک تخلیه الکتریکی تابناک گاز آرگون در فشار بالا می‌باشد (پتروف و فریرا، 1999). این مدل کاربرد معادلات پیوستگی ذرات باردار و معادله‌ی تعادل دمایی گاز جفت شده با معادله‌ی بولتزمن برای الکترون موضعی و همینطور جزئیات مدل برخورد تابشی برای انواع اتم‌ها و یون‌ها را بررسی می‌کند. برخلاف دیگر مدل‌های انقباض در گازهای نجیب، مدلی که این دو نفر پیشنهاد کردند، خودنگه‌دار بوده، بطور کامل جزئیات را در نظر گرفته و یک بیان کمی از تمام ویژگی‌های تخلیه را ارائه داده است.

برادران فاروک^۳، استاک^۴، گتسول^۵ و فریدمن مدل هیبرید^۶ را پیشنهاد دادند (فاروک و استاک، 2006). این مدل برای شبیه‌سازی نمودار تخلیه‌ی میکرو تابناک در فشار اتمسفر کاربرد دارد. این شبیه‌سازی برای شکل‌بندی الکترودهای مسطح با فاصله داخلی $200 \mu\text{m}$ از هم و با یک جریان خارجی اجرا می‌شود. در ضمن این مدل مشخصه‌های ولتاژ-جریان و نمایه‌ی چگالی جریان منحنی مربوط به تخلیه-ی تابناک متعارف را پیشگویی می‌کند. پیشگویی دمای گاز خنثی نشان می‌دهد که تخلیه، تشکیل یک پلاسمای غیر حرارتی و غیر متعادل را می‌دهد، پیشگویی این مدل با آزمایشات مطابقت دارد.

با توجه به اینکه شرایط مرزی در حل معادلات نقش بسیار مهمی دارد، هاگلار^۷ و همکاران در مقاله‌ای به این نکته پرداخته‌اند (هاگلار و همکاران، 2005). آن‌ها در این مقاله، شرایط مرزی را برای معادلات پیوستگی و پخش-سوقی^۸ که پایه و اساس مدل سیالی تخلیه‌ی گاز هستند، مورد بررسی قرار دارند.

سلف و اوالد نیز در مقاله‌ای تئوری حالت پایدار را در ستون تخلیه، برای فشار متوسط بررسی کردند، که آن میانگین مسیر آزاد یون نه خیلی بزرگتر و نه خیلی کوچکتر از شعاع ستون است. فشار نیز در محدوده‌ی کم و زیاد، بترتیب برای تئوری سقوط آزاد و پخش چند قطبی در نظر گرفته شده است، چون این فشار کاربردهای بیشتری دارد. حل آن در هندسه‌های مسطح و استوانه‌ای، نمایه‌هایی از چگالی و پتانسیل را می‌دهد. (سلف و اوالد، 1966)

در تئوری تخلیه‌ی فشار پایین دو بعدی، کینو و شاو اصلاح تولید یون را محاسبه کردند، که در توصیف تخلیه‌ی بدون برخورد حالت پایدار بکار برده شده بود. پارامترهای پیدا شده در این روش به خوبی با روش‌های لانگمیر مطابقت دارد.

1-Petrov
2-Ferreira
3-Farouk
4-Staack
5-Gutsol
6-Hybrid
7-Hagelaar
8-Drift-Diffusion

در سال 2012 برادران یانوف¹ (یانوف، 2012) تأثیر میدان مغناطیسی عرضی را در ستون مثبت مورد بررسی قرار دادند. این تأثیر روی مشخصات ستون مثبت تخلیه‌ی الکتریکی در هر دو تقریب انتشاری و غیرانتشاری بررسی شد. تمامی جواب‌ها در تقریب انتشاری نتیجه‌ای به شکل تحلیلی دارد. این تحلیل نشان می‌دهد که با افزایش میدان مغناطیسی القایی، غلظت توزیع‌های پلاسما و شار ذرات به طرف دیواره‌های عایق نامنظم بوده و بیشینه غلظت در جهت اعمال نیروی مغناطیسی، جابجا می‌شود و غلظت شار یون نیز با این نیرو جابجا شده و در جهت مخالف نیرو شارش می‌یابد.

رفتار پلاسما در یک میدان مغناطیسی از مسائل قدیمی در فیزیک پلاسما است و به خصوص در تحقیقات مربوط به همجوشی بسیار مهم می‌باشد. همچنین وجود میدان مغناطیسی در بسیاری از پلاسماهای تخلیه که برای فرآوری مواد نیمه هادی استفاده می‌شود، بسیار مهم بوده به طوری که اعمال میدان مغناطیسی باعث بهبود مشخصه‌های مطلوب این نوع از مواد می‌شود. اعمال میدان مغناطیسی بر یک تخلیه باعث القاء اثرات متنوعی خواهد شد. میدان مغناطیسی خواص تراپردی پلاسما به طرف دیواره را تحت تأثیر قرار داده و نیز یونیزاسیون و توزیع فضایی پلاسما را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به خاطر برهم‌کنش کمتر پلاسما با دیواره اعمال میدان مغناطیسی به پلاسما تخلیه همراه با کاهش در فرکانس یونیزاسیون و دمای الکترون خواهد بود در این حالت اثرات میدان مغناطیسی مانند اثرات حاصل از افزایش فشار گاز خواهد بود. رویکردهای متفاوتی برای این نوع مطالعات در این دو نوع پلاسما صورت گرفته است. تقریب سوق مرکزی² برای پلاسماهای داغ همجوشی بکار برده شده است، در حالی که تقریب پخشی معمولاً برای پلاسماهای تخلیه الکتریکی بکار می‌روند.

تقریب سوق مرکزی، برخورد و یونیزاسیون را در نظر می‌گیرد و شامل یک میدان مغناطیسی قوی و تقریباً یکنواخت می‌باشد. در حالی که تقریب پخشی از اینرسی یون و یونیزاسیون در انتقال اندازه حرکت صرف نظر کرده و فقط برای فشارهای بالا صادق می‌باشد، جایی که شرایط برای ثابت بودن تحرک‌پذیری یون (پخش خطی) صادق باشد (کودیاک³ و ماکسیمو⁴، 1977 و کودیاک، 1990).

این تقریب‌ها برای پلاسماهای تخلیه‌ی الکتریکی محبوس که تحت تأثیر میدان مغناطیسی ضعیف یا متوسط و با فشارهای پایین تا متوسط که در آن نه از برخورد، نه از اینرسی یون‌ها و نه از یونیزاسیون می‌توان صرف نظر کرد صادق نخواهد بود. لذا در چنین شرایطی که از نظر پلاسماهای مورد استفاده در صنعت

1-Yanov

2-Guided Center approximation

3-Godyak

4-Maximov

و همچنین آزمایشگاه قابل حصول تر است باید از مدل‌های هیدرودینامیکی بدون در نظر گرفتن تقریبات محدود کننده بالا استفاده کرد.

یک مدل هیدرودینامیکی برای یک پلاسمای نیمه متناهی در یک میدان مغناطیسی مورب توسط چودورا^۱ در مرجع (چودورا، 1982) معرفی شده است. فرض شده است که حرکت یون‌ها در پلازما با میدان مغناطیسی هم‌راستا بوده لذا این مدل یک ناحیه پیش غلاف نیمه متناهی بین پلاسمای یکنواخت و غلاف پیش‌بینی می‌کند. مطابق این مرجع (چودورا، 1982) یون‌ها زمانی وارد ناحیه پیش غلاف می‌شوند که مؤلفه سرعت آن‌ها در میدان مغناطیسی به سرعت صوت آن‌ها برسد و آن‌ها زمانی ناحیه پیش غلاف را ترک می‌کنند که مؤلفه عمود بر دیواره سرعت آن‌ها به سرعت صوت یون‌ها برسد.

در بسیاری از کارهای انجام گرفته در مورد عبور از ناحیه غلاف که شامل میدان مغناطیسی نیز می‌باشد (ریمن^۲، 1994 و استنیک و همکاران، 2004 و فرانکلین^۳، 2005) فرض می‌شود که پلازما نامتناهی و ناحیه گذار پیش غلاف شبه نامتناهی است. در چنین مدل‌هایی یونیزاسیون و اثرات متناهی بودن پلازما که برای پلاسمای واقعی اساسی است به صورت سیستماتیک وارد تحلیل‌ها نمی‌شوند.

تمام مدل‌هایی که در بالا گفته شد معمولاً برای پلاسمای تخت که تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی مورب قرار گرفته‌اند، استفاده شده است. در این مدل‌ها فرض می‌شود تعادل بولتزمنی همراه با یک میدان دوقطبی برای توزیع الکترون‌ها در نظر گرفته شده است. از طرفی دیگر همانطور که در مرجع (بیلیس^۴ و همکاران، 1997) و همچنین در مراجع (فرن‌سلر^۵ و همکاران، 2005 و بیلیس، 1998 و آلترکوپ^۶، 2005) اشاره شده است، تعادل بولتزمن در حضور میدان مغناطیسی قوی که نیروی لورنتس مربوط به الکترون‌ها قابل مقایسه با نیروی هیدرودینامیکی حاصل از پخش می‌شود، برقرار نخواهد بود. برای اینکه به این نکته دست یافت، که تعادل بولتزمنی تحت چه شرایطی قابل اجرا است باید معادله اندازه حرکت الکترون‌ها را نیز در مدل خود در نظر بگیریم که این کار در مراجع (فرن‌سلر و همکاران، 2005 و آلترکوپ، 2005 و تس‌خاکایا^۷ و همکاران، 2005 و بیلیس، 1998) انجام گرفته ولی یونیزاسیون در نظر گرفته نشده است.

1-Chodura
2-Riemann
3-Franklin
4-Beilis
5-Fernsler
6-Alterkop
7-Tskhakaya

تحلیل اثرات میدان مغناطیسی بر تخلیه الکتریکی استوانه‌ای در فشارهای پایین در مرجع (فرانکلین¹، 1979) بدون در نظر گرفتن تعادل بولتزمنی و با در نظر گرفتن اندازه پلاسما مورد مطالعه قرار گرفته است.

در این پایان نامه تاثیر میدان مغناطیسی را بر تخلیه الکتریکی تخت و تخلیه الکتریکی استوانه‌ای مورد بررسی قرار دادیم. در تخلیه الکتریکی تخت فرض کردیم که میدان مغناطیسی بر دو صفحه موازی وارد شود و از معادله پواسون و معادله یونیزاسیون استفاده کردیم چون این معادلات جفت شده هستند برای حل این معادلات دیفرانسیل از روش عددی اویلر مرتبه 4 استفاده شده و مشاهده کردیم که تأثیر بار در انتقال ذرات از بار فضایی مثبت به بار فضایی منفی باعث کاهش فشار و افزایش میدان مغناطیسی می شود. حضور ذرات می تواند بار فضایی منفی را در آند ایجاد کند، که باعث افزایش میدان مغناطیسی می شود. در تخلیه پلاسمای استوانه‌ای از معادلات پیوستگی و معادلات حرکت و همچنین از معادله پواسون برای توصیف الکترون‌ها و یون‌ها استفاده کردیم، که به سه تکینگی رسیدیم، دو تکینگی مربوط به سرعت شعاعی الکترون‌ها و یون‌ها و دیگری روی محور استوانه است. که در مورد تکینگی سرعت‌ها، وقتی سرعت سوق الکترون‌ها به سرعت حرارتی آن‌ها برسد، تکینگی در معادلات بوجود می آید. به همین ترتیب تکینگی دیگر در جایی صورت می گیرد که سرعت سوق یون‌ها به سرعت حرارتی یون‌ها برسد. در داخل ستون پلاسما، سرعت سوق الکترون‌ها نمی تواند به سرعت حرارتی آنها برسد (دمای الکترون‌ها بسیار بالاتر است) لذا فقط امکان به وقوع پیوستن تکینگی دوم باقی خواهد ماند. جایی را که سرعت سوق یون‌ها با سرعت حرارتی آنها برابر می شود را لبه غلاف پلاسما گویند. برای رفع تکینگی سوم یعنی وقتی که شعاع برابر صفر می شود با استفاده از بسط تیلور به یه سری شرایط مرزی برای کمیت‌ها می-رسیم که با استفاده از روش عددی رانگ-کوتا معادلات را حل می کنیم و مشاهده می کنیم که چگالی الکترون‌ها و یون‌ها با افزایش میدان مغناطیسی کاهش می یابند و سرعت شعاعی با افزایش میدان مغناطیسی کاهش و سرعت سمتی با افزایش میدان مغناطیسی افزایش و سرعت طولی تغییر نمی کند چون در راستای میدان مغناطیسی است و میدان الکتریکی نیز با افزایش میدان مغناطیسی کاهش می یابد.

1-Franklin

فصل اول: مقدمه‌ای بر پلاسما

1-1- تعریف پلاسما

پلاسما حالت چهارم ماده است (فریدمن^۱، 2008)، (سه حالت دیگر: جامد، مایع، گاز)، پلاسما گاز شبه خنثی از ذرات باردار و خنثی است که رفتار جمعی از خود نشان می‌دهد. واژه پلاسما به گاز یونیزه شده‌ای گفته می‌شود که همه یا بخش قابل توجهی از اتم‌های آن یک یا چند الکترون از دست داده و به یون‌های مثبت تبدیل شده باشد، یا به گاز بشدت یونیزه شده‌ای که تعداد الکترون‌های آزاد آن تقریباً برابر با تعداد یون‌های مثبت آن باشد، پلاسما گفته می‌شود. در مورد یونیزاسیون بعداً بحث می‌کنیم.

اکنون رفتار جمعی و شبه خنثی در پلاسما را بیان می‌کنیم، الکترون‌ها و یون‌های مثبت موجود در پلاسما که بشدت تحت تاثیر میدان مغناطیسی قرار می‌گیرند، باعث رسانندگی بالای پلاسما می‌شوند. (فریدمن، 2008)

میدان ایجاد شده توسط ذرات باردار دور برد است، و رفتار جمعی در آن ناشی از نیروهای دور برد است یعنی اگر یک ذره جا به جا شود تمام پلاسما تحت تأثیر آن ذره قرار می‌گیرد. این حرکت دسته جمعی یکی از شروط پلاسما است. در حالت کلی پلاسما شامل تعداد مساوی از بارهای مثبت و منفی است، که این بارهای مثبت و منفی هر کدام مانند سیالی است که از دید ماکروسکوپی بشدت در پی خنثی سازی یکدیگراند.

گازی که در تعادل گرمایی است دارای ذراتی با تمام سرعتهاست و محتمل ترین توزیع این سرعت-ها توزیع ماکسولی^۲ نامیده می‌شود (چن^۳، 2003).

$$F(V) = A e^{-\left(\frac{1}{2}mV^2/KT\right)} \quad (1-1)$$

1-Fridman
2-Maxwellian
3-Chen

Family name: Nekoeyan	Name: Elham
Title of Thesis: Effect of magnetic field on discharge plasmas	
Supervisor: Dr. Jafar Borhanian	
Graduate Degree M.Sc.	
Major: Physics	Specialty: Elementary
University: Mohaghegh Ardabili	Faculty: Basic Sciences
Graduation date: 19/11/1394	Number of pages: 137
<p>Abstract:</p> <p>In the present thesis, we have a short review on definitions and basic properties of plasmas and some fundamental effects that are important in gas discharge physics, e.g. cross section, mobility, diffusion, etc. Then the electrical breakdown of gases upon dc electric field is described. The Townsend discharge, the effects of space-charge, secondary electron emission, the similarity law, Pasche's law are described. Electrical discharge in gases involving dark discharge, glow discharge, different regimes of glow discharge and some other subjects related to them are studied in chapter three in the absence of external magnetic field. In chapter four the effect of magnetic field on gas discharge plasmas are investigated for two configurations: planar discharge and cylindrical discharge. In both cases, we have used numerical analysis to solve the governing model equations.</p>	
<p>Keywords: Gas discharge, Elementary processes, gas discharge, glow discharge, dark discharge</p>	



University of

Mohaghegh Ardabili

Faculty of Science

Department of physics

**Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of
M.Sc. in Department of physics**

Title:

Effect of magnetic field on discharge plasmas

Supervisor:

Dr.Jafar Borhanian

By:

Elham Nekoeyan

january-2016