



پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد
در رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی و مولکولی زمینه پلاسما

عنوان:

طراحی، ساخت و مشخصه‌یابی تخلیه الکتریکی تابناک با جریان مستقیم

استاد (اساتید) راهنما:

دکتر جعفر برهانیان

استاد (اساتید) مشاور:

دکتر محمد حمدی‌پور

پژوهشگر:

میثم رضانی شبخوس سرایی

تابستان ۱۳۹۶

نام خانوادگی دانشجو: رضانی شبخوس سرایی	نام: میثم
عنوان پایان نامه: طراحی، ساخت و مشخصه‌یابی تخلیه الکتریکی تابناک با جریان مستقیم	
استاد راهنما: دکتر جعفر برهانیان استاد مشاور: محمد حمدی پور	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: فیزیک
گرایش: اتمی - مولکولی زمینه پلاسما	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: علوم	تاریخ دفاع: ۱۳۹۶/۵/۲۴
	تعداد صفحات: ۱۱۳
چکیده:	
<p>در این پایان نامه ابتدا مروری بر فیزیک پلاسما و تخلیه در گازها انجام گرفته است. انواع مختلف تخلیه‌های الکتریکی معرفی شده و به صورت مختصر در مورد آن‌ها بحث شده است. سپس اقدام به معرفی و توضیح پیکربندی آزمایش شده است. مؤلفه‌های مختلف مربوط به آزمایش‌های انجام گرفته توصیف گردیده است. سپس به پدیده شکست الکتریکی در گازها پرداخته می‌شود. در این بخش، ابتدا به صورت نظری فرایند شکست الکتریکی در گازها مورد بررسی قرار گرفته است. سپس موارد ذکر شده با نتایج تجربی مقایسه گردیده است تا بتوان به اندازه‌گیری تجربی برخی پارامترهای اساسی در شکست و تخلیه الکتریکی DC مانند نقطه Stoletow، حداکثر توانایی یونیزاسیون الکترون، ارزش انرژی جفت الکترون _ یون، و همچنین مسیر آزاد میانگین الکترون در گاز آرگون و سطح مقطع کل برخورد بین الکترون‌ها و اتم‌های گاز پی برد. در نهایت به صورت نظری و تجربی مشخصه‌های الکتریکی و فیزیکی تخلیه تابناک و همچنین گذار از رژیم‌های مختلف تخلیه مانند گذار از تخلیه تاریک به تخلیه تابناک و گذار از تخلیه تابناک به قوسی و همچنین ساختار و ویژگی‌های شیارها در گازها در فشار کم در لوله‌های بلند بررسی شده است. یافتن مشخصه‌های ولتاژ - جریان و جریان - فشار و تفسیر فیزیکی آن‌ها از اهم کار این بخش از پایان نامه بوده است</p>	
کلید واژه‌ها: شکست گاز، تخلیه DC، تخلیه تاریک تاوانند، تخلیه تابناک	

فهرست مطالب

شماره و عنوان مطالب	صفحه
فصل اول: فیزیک پلاسما و تخلیه‌های الکتریکی	
۱-۱ پلاسما.....	۲
۲-۱ پلاسما در طبیعت	
۳.....	
۳-۱ پارامترهای توصیف‌کننده پلاسما.....	۵
۱-۳-۱ چگالی.....	۵
۲-۳-۱ فرکانس پلاسمایی.....	۵
۳-۳-۱ حفاظ دمای.....	۶
۴-۳-۱ پارامتر پلاسما.....	۷
۵-۳-۱ دما.....	۸
۶-۳-۱ برخوردها در پلاسما.....	۸
۴-۱ حرکت ذرات باردار.....	۹
۵-۱ راه‌های مختلف یونیزه شدن گازها.....	۱۰
۱-۵-۱ یونیزاسیون حرارتی.....	۱۰
۲-۵-۱ یونیزاسیون در اثر نور.....	۱۱
۳-۵-۱ یونیزاسیون در اثر برخورد یا ضربه.....	۱۱
۴-۵-۱ گسیل الکترون از رسانا.....	۱۲
۵-۵-۱ گسیل الکترون از رسانا به کمک میدان الکتریکی.....	۱۲
۶-۵-۱ گسیل الکترون از رسانا در اثر برخورد یون‌های سریع به رسانا.....	۱۳
۷-۵-۱ یونیزاسیون مولکول گاز در اثر برخورد با یون.....	۱۳
۶-۱ کاربردهای کلی فیزیک پلاسما.....	۱۴
۱-۶-۱ تخلیه‌های گازی.....	۱۵

۱۵.....	۲-۶-۱ همجوئی گرمهسته‌ای کنترل شده
۱۶.....	۳-۶-۱ فیزیک فضا
۱۶.....	۴-۶-۱ اختر فیزیک جدید
۱۷.....	۵-۶-۱ تبدیل انرژی مغناطوهیدرودینامیکی و پیش‌رانش یونی
۱۹.....	۶-۶-۱ پلاسماهای حالت جامد
۱۹.....	۷-۶-۱ لیزرهای گازی
۲۰.....	۷-۱ تاریخچه تخلیه
۲۳.....	۸-۱ طبقه‌بندی تخلیه‌های الکتریکی
۲۳.....	۱-۸-۱ تخلیه DC
۲۴.....	۲-۸-۱ تخلیه فرکانس رادیویی (RF)
۲۵.....	۳-۸-۱ تخلیه پالسی
۲۶.....	۴-۸-۱ تخلیه سد دی‌الکتریک (DBD)
۲۷.....	۵-۸-۱ تخلیه مگنترون
۲۸.....	۶-۸-۱ تخلیه میکروویو
۲۹.....	۷-۸-۱ تخلیه اپتیکی
۲۹.....	۸-۸-۱ تخلیه در مایع‌ها
۳۰.....	۹-۱ موارد استفاده از تخلیه الکتریکی

فصل دوم: معرفی پیکربندی آزمایشگاهی

۱-۲ ایجاد پلاسما در آزمایشگاه

۳۲.....

۲-۲ پیکربندی آزمایشگاهی

۳۲.....

۳۳.....	۳-۲ پمپ تخلیه
۳۴.....	۴-۲ منبع تغذیه
۳۵.....	۵-۲ ساخت مدار منبع تغذیه
۳۶.....	۱-۵-۲ ولتاژ ترانسفورماتور

۳۷.....	۲-۵-۲ تبدیل جریان AC به DC
۳۸.....	۱-۲-۵-۲ یکسوکننده نیم موج
۳۹.....	۲-۲-۵-۲ یکسوکننده تمام موج
۳۹.....	۳-۲-۵-۲ یکسوکننده پل
۴۰.....	۳-۵-۲ فیلتر کردن جریان یکسوکننده
۴۱.....	۶-۲ لوله تخلیه
۴۲.....	۷-۲ مولتی متر
۴۲.....	۸-۲ مقاومت
۴۳.....	۹-۲ خطاها
۴۳.....	۱۰-۲ مراحل انجام آزمایش
۴۴.....	۱۱-۲ هدف از آزمایش تخلیه و شکست در گاز

فصل سوم: شکست الکتریکی در گاز آرگون

۱-۳ شکست گاز

۴۶.....	
۴۸.....	۲-۳ چگالی جریان در تخلیه
۴۹.....	۳-۳ ضرایب تخلیه تاوزند
۵۰.....	۴-۳ چگالی و جریان کل در تخلیه
۵۱.....	۵-۳ بهمن الکترونی
۵۲.....	۶-۳ معیار شکست گاز
۵۳.....	۷-۳ شرایط برای آغاز تخلیه خود نگهدار
۵۳.....	۸-۳ مقدار ولتاژ شکست
۵۵.....	۹-۳ قانون پاشن و منحنی شکست
۵۸.....	۱۰-۳ نقطه Stoletov
۶۲.....	۱۱-۳ سطح مقطع برخورد
۶۳.....	۱۲-۳ مقایسه با نتایج تجربی

فصل چهارم: تخلیه تابناک

۶۸.....	۱-۴ ایجاد تخلیه تابناک DC
۶۹.....	۲-۴ مشخصه ولتاژ - جریان تخلیه DC خود نگه‌دار
۷۳.....	۳-۴ تخلیه تاریک تاوانند
۷۴.....	۱-۳-۴ توزیع بار در جریان ضعیف تخلیه تاریک
۷۶.....	۲-۳-۴ تغییرات میدان خارجی
۷۸.....	۳-۳-۴ محدودکننده جریان برای ایجاد تخلیه تاریک
۷۹.....	۴-۴ قوس الکتریکی
۷۹.....	۱-۴-۴ ویژگی‌های کلی تخلیه قوسی
۸۰.....	۲-۴-۴ محدوده پارامترهای تخلیه قوسی
۸۰.....	۳-۴-۴ طبقه‌بندی تخلیه قوسی
۸۲.....	۵-۴ تخلیه تابناک
۸۵.....	۱-۵-۴ الگوی انتشار نور در تخلیه تابناک
۸۷.....	۲-۵-۴ تفسیر کیفی از الگوی انتشار نور
۸۸.....	۳-۵-۴ بررسی شرایط مختلف در تخلیه
۸۹.....	۴-۵-۴ توزیع پارامترها در طول لوله تخلیه تابناک
۹۰.....	۶-۴ نظریه سقوط کاتدی
۹۴.....	۷-۴ بررسی تخلیه تابناک عادی و غیرعادی با نتایج تجربی
۹۷.....	۸-۴ بررسی گذار از تخلیه غیرعادی به تخلیه قوسی با نتایج تجربی
۹۸.....	۹-۴ تخلیه غیرطبیعی
۹۸.....	۱۰-۴ تخلیه مسدود
۹۹.....	۱۱-۴ بررسی و تشریح تصاویر تخلیه تابناک با توجه به مشخصه ولتاژ - جریان
۱۰۳.....	۱۳-۴ شیار در تخلیه تابناک
۱۰۵.....	۱۲-۴ بررسی مشخصه جریان - فشار در تخلیه تابناک
۱۰۹.....	نتیجه‌گیری
۱۱۱.....	فهرست منابع و مأخذ

فهرست جدول‌ها

شماره و عنوان جدول	صفحه
جدول ۴-۱: معمولی‌ترین شرایط برای ایجاد تخلیه تابناک.....	۶۸
جدول ۴-۲: ضرایب A و B برای محاسبه α	۹۳
جدول ۴-۳: چگالی جریان عادی، ضخامت لایه‌ی کاتدی عادی وافت پتانسیل برای کاتدی عادی، برای گازها و مواد	۹۴
کاتدی مختلف در دمای اتاق	۹۴

فهرست شکل‌ها

شماره و عنوان شکل	صفحه
شکل ۱-۱: خورشید، رعدوبرق و شفق قطبی به‌عنوان پلاسما.....	۴
شکل ۱-۲: اساس مولد MHD.....	۱۸
شکل ۱-۳: اساس موتور جت پلاسما برای پیشرانس سفینه‌ی فضایی.....	۱۹
شکل ۱-۴: اتاقک کروکس.....	۲۲
شکل ۱-۵: ساختار دو حالت از تخلیه فرکانس رادیویی جفت شده القایی و جفت شده خازنی.....	۲۵
شکل ۱-۶: نمایش شماتیک یک تخلیه سد دی‌الکتریک در وضعیت حجمی و سطحی.....	۲۶
شکل ۱-۷: تخلیه مسطح مگنترون با شعاع متوسط R و عرض W.....	۲۷
شکل ۲-۱: نحوه قرار گرفتن وسایل آزمایشگاهی.....	۳۳
شکل ۲-۲: قسمت‌های مختلف پمپ روتاری.....	۳۴
شکل ۲-۳: پمپ تخلیه و منبع تغذیه مورد استفاده در آزمایش.....	۳۴
شکل ۲-۴: مدار داخلی یک آداپتور.....	۳۶
شکل ۲-۵: یکسوکننده نیم موج با یک دیود.....	۳۸
شکل ۲-۶: یکسوکننده تمام موج با استفاده از دو دیود.....	۳۹
شکل ۲-۷: یکسوکننده پل با استفاده از چهار دیود.....	۴۰
شکل ۲-۸: خازن استفاده‌شده برای فیلتر کردن خروجی یکسوکننده.....	۴۱
شکل ۲-۹: صاف کردن ولتاژ خروجی در مرحله فیلترینگ.....	۴۱
شکل ۳-۱: پدیده‌ی بهمنی در تخلیه.....	۵۲
شکل ۳-۲: ضریب اول تاوزند α/p نسبت به میدان الکتریکی کاهش یافته E/p.....	۵۴
شکل ۳-۳: منحنی شکست در آرگون با لوله‌های استوانه‌ای به طول ۱۵٫۷۴ cm و ۳٫۱۳ cm.....	۵۶
شکل ۳-۴: قابلیت یونیزه کنندگی الکترون η/p نسبت به میدان الکتریکی کاهش یافته E/p.....	۵۸
شکل ۳-۵: هزینه انرژی جفت الکترون - یون $1/\eta$ نسبت به میدان الکتریکی کاهش یافته E/p.....	۶۵
شکل ۴-۱: نواحی مختلف تخلیه با توجه به مشخصه ولتاژ - جریان.....	۷۰

- شکل ۴-۲: خط بار ۷۲
- شکل ۴-۳: توزیع چگالی جریان تخلیه تاوزند ۷۷
- شکل ۴-۴: تحول میدان الکتریکی برای چگالی‌های جریان‌های مختلف در تخلیه تاریک: (۱) میدان مختل نشده (۲) چگالی جریان ضعیف، $j < j_L$ (۳) $j = j_L$ (۴) $j > j_L$ ۷۷
- شکل ۴-۵: (a) مقدار نور ساطع شده در تخلیه. (b) پتانسیل در تخلیه. (c) میدان الکتریکی در تخلیه. (d) چگالی جریان در تخلیه. (e) چگالی الکترون و یون در تخلیه. (f) چگالی بار در تخلیه ۸۳
- شکل ۴-۶: نواحی مختلفی که در لوله تخلیه ایجاد می‌شوند ۸۴
- شکل ۴-۷: پارامترهای بدون بعد از لایه کاتدی ۹۲
- شکل ۴-۸: نمودار به دست آمده از نتایج تجربی برای تخلیه عادی و غیرعادی در فشار $P = 90.1 \text{ mTorr}$ ۹۶
- شکل ۴-۹: نمودار تجربی تخلیه غیر عادی در فشار $P = 90.1 \text{ mTorr}$ متناسب با ناحیه GH در شکل (۴-۱) ۹۶
- شکل ۴-۱۰: نمودار تجربی گذار از تخلیه غیر عادی به قوسی (HI) در فشار $P = 389 \text{ mTorr}$ ۹۸
- شکل ۴-۱۱: تصاویر ثبت شده از لوله تخلیه تابناک در ولتاژهای مختلف در فشار ثابت $P = 90.1 \text{ mTorr}$ ۱۰۱
- شکل ۴-۱۵: شیارهای ایستا در لوله تخلیه به طول ۵۰ سانتی‌متر در فشار $P = 200 \text{ mTorr}$ ۱۰۲
- شکل ۴-۱۶: شیارهای ایستا در لوله‌ای به طول ۳/۱۳ سانتی‌متر در فشار $P = 90.1 \text{ mTorr}$ ۱۰۲
- شکل ۴-۱۳: نمودار جریان - فشار تخلیه تابناک در ولتاژ ۴۲۳ V ۱۰۶
- شکل ۴-۱۴: رفتار تخلیه تابناک و مقدار درخشندگی آن در فشارهای مختلف ۱۰۷

مقدمه

پلازما به عنوان حالت چهارم ماده شناخته می‌شود و اعتقاد بر این است که بیش از ۹۹ درصد ماده موجود در طبیعت در این حالت قرار دارد. در واقع پلازما حالت چهارمی از ماده است که دانش امروزی نتوانسته آن را جزو سه حالت دیگر محسوب کرده و آن را حالت مستقلی به حساب آورده است. پلازما با ماهیت محیط یونیزه، ترکیبی از یون‌های مثبت و الکترون با غلظت معین می‌باشد که مقدار الکترون‌ها و یون‌های مثبت تقریباً برابر است و حالت شبه خنثایی دارد. در کنار پلاسمای موجود در فضا، که در همه جا هستند، می‌توان پلاسمای آزمایشگاهی را به دو گروه پلازما با دمای بالا که بیشتر برای مقاصد همجوشی به کار می‌رود و پلاسمای دمای پایین یا تخلیه الکتریکی گازها تقسیم کرد. پلاسمای ایجاد شده از تخلیه یک گاز نیز بر اساس فشار به دو بخش تقسیم می‌شود. در تخلیه با فشار بالا، تعداد برخوردها بالا بوده (طول مسیر آزاد میانگین الکترون‌ها در مقایسه با طول لوله کم است) که سبب مبادله انرژی کارآمد بین ذرات و دمای یکسان بین الکترون‌ها و ذرات سنگین‌تر در پلازما (پلاسمای تعادلی) می‌شود. در تخلیه فشار پایین، تعداد برخوردها کم (الکترون‌ها طول مسیر آزاد میانگین بیشتری طی می‌کنند) و دمای مؤلفه‌های مختلف پلازما متفاوت و پلازما غیرتعادلی است (باید توجه داشت که علاوه بر فشار، طول لوله تخلیه نیز نقش مهمی ایفا می‌کند) (بوگرتس^۱ و همکاران، ۲۰۰۲). یعنی در پلاسمای غیرتعادلی دمای الکترون‌ها با دمای یون‌ها و ذرات خنثی متفاوت می‌باشد. این خصوصیت باعث می‌شود تا تا بتوان از این نوع پلازماها که حساس به دمای بالا هستند، استفاده بهینه کرد.

اصطلاح تخلیه الکتریکی، به عبور جریان الکتریکی از داخل یک گاز یا به عبارت دیگر هر نوع فرایند یونیزاسیون در گاز که با اعمال میدان الکتریکی صورت می‌گیرد را می‌گویند. تخلیه‌های الکتریکی شامل تخلیه DC، فرکانس رادیویی، پالسی، سد دی‌الکتریک، مگنترون، ماکروویو، اپتیکی و تخلیه در مایع‌ها می‌باشد (ریزر^۲، ۱۹۹۱). مولکول‌ها یا اتم‌ها در حالت گازی از لحاظ الکتریکی تقریباً خنثی هستند و دارای رسانایی کم می‌باشند. اگر ولتاژ اعمالی به اندازه کافی بالا نباشد، جریان قابل ملاحظه‌ای از گاز عبور نخواهد کرد. با تأمین ولتاژ به اندازه کافی بالا، در مقدار خاصی از ولتاژ ذرات یونیزه شده و الکترون‌ها به راحتی در گاز جریان می‌یابند. این مقدار مشخص از ولتاژ اعمال شده که در آن گاز رسانا می‌شود ولتاژ شکست نامیده می‌شود که با توجه به نوع گاز مقدار آن متفاوت می‌باشد (بوگرتس، ۲۰۰۲). اغلب مشخصه‌های مختلف تخلیه باهدف تعیین پارامترهای مناسب برای عملکرد پایدار فیزیک پلاسما مورد مطالعه قرار می‌گیرد. ذرات باردار در پلاسما به طور قابل توجهی تعادل پلاسما را تغییر و منجر به مشاهده پدیده‌های مختلف می‌شود (صفا^۳ و همکاران، ۲۰۱۰). دو پارامتر مهم فیزیکی که بر وضعیت تخلیه تأثیر می‌گذارند، فشار گاز و فاصله بین الکترودها است که بررسی آن به صورت تجربی اطلاعات مفیدی در اختیار ما قرار می‌دهد. با اندازه‌گیری شدت نورهای گسیل شده از تخلیه الکتریکی، می‌توان به تجزیه کیفی سازوکارهای برانگیختگی، یونیدگی و سایر پدیده‌ها در آن گاز پی برد.

شناخت فیزیک پلاسما برای بسیاری از کاربردها، مانند تأمین انرژی و تکنولوژی شتاب‌دهنده نسل بعدی تأثیر می‌گذارد (موروزوف، ۲۰۱۲). در واقع شناخت بیشتر پلاسما و پارامترهای مؤثر آن، پلاسما را در عرصه‌های جدیدی از علم و تکنولوژی مانند لیزرها نیز وارد کرده است. در این تحقیق پلاسما تخلیه تابناک^۴ DC در فشار کم مورد بررسی قرار می‌گیرد. این نوع از پلاسما در فرآیندها و تکنولوژی‌هایی مثل قلم‌زنی و لایه نشانی فیلم نازک و محافظت سطح قطعات در برابر عواملی مانند دمای بالا، خوردگی و فرسایش، تجزیه کردن، تولید صفحات خورشیدی و ... کاربرد دارد (متل و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین پلاسما تخلیه

2- Y. P. Raizer

1- S. S. Safaai

2- Glow discharge

DC به عنوان یک منبع تحلیلی برای طیف‌سنج جرمی، انتشار نوری، جذب و طیف‌سنجی فلورسانس و همچنین در صنعت میکروالکترونیک و لیزر یون - فلز در لایه نشانی استفاده می‌شود (بوگرتس و همکاران، ۱۹۹۷). تخلیه تابناک DC در ضد عفونی کردن بیولوژیکی و شیمیایی مواد نیز کاربرد پیدا کرده است (شرستا^۵ و همکاران، ۲۰۱۶؛ سولوشنکو^۶ و همکاران، ۲۰۰۰). در واقع این پلاسما طیف وسیعی از کاربردهای صنعتی را پوشش داده است. حتی تکنولوژی پلاسما تخلیه تابناک در فشار کم برای کاهش دی‌اکسید کربن هوا و تبدیل آن اکسیژن افزایش یافته است (اسپکمانا^۷ و همکاران، ۲۰۱۷).

درواقع تحقیقات بیشتر بر روی پلاسما تخلیه الکتریکی با رشد و توسعه این شاخه از علم ارتباط مستقیم دارد. بسیاری از محققان مطالعات مختلفی را در زمینه تخلیه DC فشار پایین انجام داده‌اند. به طور کلی خصوصیات فیزیکی این تخلیه به پارامترهایی مانند هندسه لوله تخلیه، فشار گاز، نوع گاز، ماده‌ی کاتد، پتانسیل اعمال شده و جریان در تخلیه بستگی دارد (گرمون^۸ و همکاران، ۲۰۰۳).

بر اساس شواهد تاریخی، کار با تخلیه و پلاسما به افرادی چون پتروف، کروکس، لانگمیر، تانکس مربوط می‌شود. در سال ۱۸۰۲، پتروف، دانشمند روسی توانست به کشف مهمی در زمینه‌ی تخلیه‌های الکتریکی دست یابد. او توانست قوس‌های الکتریکی مابین دو الکترود کربن را تولید کند. هم‌زمان با وی دیوی، لامپ‌های معروف قوسی کربن را در سال ۱۸۰۷ اختراع کرد (لیبرمن^۹ و همکاران، ۲۰۰۵). آن‌ها در آزمایش‌های خود از باتری‌های شیمیایی که ولتاژ در سال ۱۷۹۹ اختراع کرده بود، استفاده کردند. در سال ۱۸۷۹ ویلیام کروکس توانست با استفاده از ظرف لوله‌ای معروف خود پرتوهای کاتدی را که توسط میدان‌های مغناطیسی منحرف می‌شوند، کشف کند و آن‌ها را حالت چهارم ماده نامید وی توانست با طراحی دستگاه ساده‌ای، انحراف پرتوهای کاتدی را نشان دهد. یکی از تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در تخلیه برای بیش از ۱۵۰ سال پیش لوله‌ی تخلیه‌ای به شکل استوانه‌ای بوده است که شکل آن با توجه اهداف

3- R. Shrestha
1- I. A. Soloshenko
2- F. W. Speckmanna
3- A. A. Garamoon
4- M. A. Lieberman

مورد بررسی تغییر کرده است. لوله تخلیه شامل گاز خاصی که در یک فشار مناسب قرار دارد و دو الکترون که به انتهای لوله متصل بوده که در یک مدار بسته با یک مقاومت و منبع تغذیه قرار دارند، می‌شود. نوع تخلیه مشاهده شده به مقاومت، فشار و ولتاژ اعمال شده و جریان عبوری بستگی دارد (لیسووسکی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۴). برای ولتاژ اعمالی در حدود چند ولت جریان بسیار ضعیفی در حدود $A \cdot 10^{-16}$ می‌باشد که یونیزاسیون در آن ناشی از اشعه‌های کیهانی یا رادیواکتیو طبیعی می‌باشد. بعد از حالت اشباع بودن جریان با افزایش ولتاژ جریان نیز افزایش می‌یابد. این ناحیه تخلیه تاریک تاوزند نامیده می‌شود. با افزایش بیشتر ولتاژ و شکست در گاز، جریان به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد که از افزایش یونیزاسیون نتیجه می‌شود. این افزایش یونیزاسیون در اثر پدیده‌ای به نام پدیده‌ی بهمنی اتفاق می‌افتد که در اثر گسیل ثانویه الکترون ایجاد می‌شود. بعد از افت و سپس ثابت شدن ولتاژ، در جریان بالای $A \cdot 10^{-6}$ لوله تخلیه روشن می‌شود که به این ناحیه تخلیه تابناک می‌گویند. در واقع تخلیه تابناک به پلاسمای غیرتعادلی ضعیف یونیزه شده که درخشان می‌باشد گفته می‌شود. در این تخلیه که خود نگه‌دار بوده کاتد سرد می‌باشد، که یونیزاسیون در آن به وسیله الکترون‌ها ثانوی افزایش می‌یابد. در مقایسه با سایر تخلیه‌ها این نوع تخلیه در جریان و فشار نسبتاً کم ایجاد می‌شود (بوگرتس و همکاران، ۲۰۰۲). یکی از ویژگی‌های متمایز در گذار به این تخلیه این است که در نزدیکی کاتد چگالی یون‌ها بالا بوده که منجر به افت ولتاژ بسیار زیاد در حدود ۱۰۰ تا ۵۰۰ ولت می‌شود. این ناحیه در مشخصه ولتاژ - جریان به‌وضوح قابل مشاهده می‌باشد (فریدمن^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۱). در تخلیه تابناک بخشی که ساختار آن در تشکیل تخلیه تابناک مهم بوده و نقش اساسی دارد ناحیه کاتدی می‌باشد. ضخامت این لایه با عکس فشار و چگالی متناسب است. در ساختار این نوع تخلیه بعد از لایه کاتدی ناحیه‌ای با یونیزاسیون ضعیف وجود دارد. این ناحیه ستون مثبت نامیده شده و فقط به‌عنوان یک رابط بین دو ناحیه کاتدی و آندی می‌باشد. در تخلیه تابناک اگر فاصله بین الکترودها و فشار

5- V. Lisovski
1- A. Fridman

کم باشند این لایه تشکیل نخواهد شد (ریزر، ۱۹۹۱). ستون مثبت در تخلیه تابناک که شبه خنثی بوده در واقع همان پلاسما می باشد.

در این تحقیق به بررسی دقیق تر نواحی مختلف، مشخصه های مختلف در تخلیه تابناک، چگونگی گذار نواحی مختلف در تخلیه تابناک و مشخصه های ولتاژ - جریان و جریان - فشار و خطوط تاریک و روشن ایجاد شده در تخلیه تابناک می پردازیم.

در فصل اول، پلاسما و پارامترهای مشخص کننده پلاسما، چگونگی حرکت ذرات باردار در پلاسما، چگونگی ایجاد پلاسما در تخلیه مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین به بررسی انواع تخلیه و موارد استفاده آن خواهیم پرداخت.

در فصل دوم به بررسی شرایط آزمایشگاهی ایجاد تخلیه تابناک DC کم فشار، چگونگی انجام اتصالات و وسایل آزمایشگاهی مورد نیاز و نحوه کارکرد آن ها می پردازیم. در این فصل همچنین مراحل انجام آزمایش و هدف از انجام آن مطالعه و بررسی می شود.

در فصل سوم به بررسی دقیق پدیده شکست، پدیده ی بهمنی، مقدار ولتاژ مورد نیاز برای شکست و معیارهای شکست در گاز پرداخته و آن را با نتایج تجربی به دست آمده در آزمایشگاه، مورد بررسی قرار می دهیم.

در فصل چهارم تخلیه تابناک DC و انواع آن و همچنین چگونگی گذار از تخلیه تاوزند به تخلیه تابناک و گذار به تخلیه قوسی با نتایج تجربی مورد بررسی قرار می گیرد. در این فصل همچنین به تفسیر مشخصه های مختلف در تخلیه تابناک با نتایج تجربی و چگونگی ایجاد لایه های روشن و تاریک در لوله تخلیه (شیارها) خواهیم پرداخت.

فصل اول:

فیزیک پلاسما و تخلیه‌های الکتریکی

۱-۱ پلاسما

پلاسما پدیده جدیدی برای انسان و شناخت او از کیهان و جهان اطرافش است. می‌دانیم که برای ماده سه حالت جامد، مایع و گاز در نظر گرفته می‌شود؛ اما در مباحث علمی معمولاً یک حالت چهارم نیز برای ماده فرض می‌شود. تشکیل طبیعی پلاسما در دماهای بالا، سبب تخصیص عنوان چهارمین حالت ماده به آن شده است. یک نمونه بسیار طبیعی از پلاسما آتش است. خورشید نمونه‌ای از پلاسمای داغ بزرگ است.

درواقع واژه پلاسما به گاز یونیزه شده‌ای اطلاق می‌شود که همه یا بخش قابل توجهی از اتم‌های آن یک یا چند الکترون ازدست‌داده و به یون‌های مثبت تبدیل شده باشند. پلاسما در فیزیک، یک محیط رسانای الکتریکی است که تعداد ذرات باردار مثبت و منفی آن تقریباً باهم برابر بوده و زمانی ایجاد می‌شود که اتم‌ها در گاز یونیزه شوند. هر گاز یونیزه شده را نمی‌توان پلاسما نامید؛ البته یونیدگی اندکی در هر گازی وجود دارد (چن^{۱۲}، ۱۹۸۴). به‌طور کلی پلاسما گاز شبه خنثایی از ذرات باردار و خنثی است که رفتار جمعی از خود نشان می‌دهد (ریزر، ۱۹۹۱). پلاسما به علت رفتار جمعی، گرایشی به پیروی از نیروهای خارجی ندارد و اغلب طوری رفتار می‌کند که گویی اختیارش با خودش است. هر الکترون دارای یک واحد بار منفی است. بار مثبت توسط اتم‌ها یا مولکول‌هایی که این الکترون‌ها را ازدست‌داده‌اند حمل می‌شود. در موارد نادر اما جالب، الکترون‌هایی که از یک نوع اتم یا مولکول جدا شده‌اند به ترکیب دیگری متصل می‌شوند و منجر به تولید پلاسما می‌شوند که هر دو یون مثبت و منفی را دارا است (در گازهای الکترون‌گاتیو).

۲-۱ پلاسما در طبیعت

اغلب گفته می‌شود که ۹۹٪ ماده موجود در طبیعت در حالت پلاسماست (چو^۱ و همکاران، ۲۰۱۴)؛ یعنی به شکل گاز رسانایی که اتم‌هایش به یون‌های مثبت و الکترون منفی تجزیه شده باشد. این تخمین هرچند 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 به صورت پلاسماست. در نزدیکی خود ما، وقتی که جو زمین را ترک می‌کنیم بلافاصله با پلاسمایی مواجه می‌شویم که شامل کمربندهای تشعشعی وان‌آلن^۲ و بادهای خورشیدی است. در زندگی روزمره نیز با چند نمونه محدود از پلاسما مواجه می‌شویم. جرقه‌ی رعدوبرق، تابش ملایم شفق قطبی، گازهای داخل یک لامپ فلورسنت^۳ یا لامپ نئون و یونیزاسیون مختصری مختصری که در گازهای خروجی یک موشک دیده می‌شود (فریدمن و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین می‌توان گفت که ما در یک درصدی از عالم زندگی می‌کنیم که در آن پلاسما به‌طور طبیعی یافت نمی‌شود (موروزوف، ۲۰۱۲). پلاسما رسانای بسیار خوبی برای برق است و در مواردی حتی بهتر از بهترین رساناهای فلزی عمل می‌کند.

اگر مقداری گاز معمولی را یونیزه کنیم، یعنی درون آن تخلیه الکتریکی انجام دهیم، گاز به پلاسما تبدیل می‌شود زیرا تخلیه الکتریکی سبب می‌شود ذرات گاز باردار شوند. هر اتم معمولی از یک هسته با بار مثبت و ابری از الکترون‌ها با بار منفی در اطراف آن تشکیل شده است. الکترون‌های جدا شده که بار منفی دارند آزادانه در محیط حرکت می‌کنند. این الکترون‌های آزاد از میدان الکتریکی انرژی می‌گیرند و سرعتشان زیاد و زیادتر می‌شود و در این روند به اتم‌های دیگر برخورد می‌کنند و سبب آزاد شدن الکترون‌های بیشتر می‌شوند. این کار به‌طور پی‌درپی صورت می‌گیرد و تعداد الکترون‌های آزاد شده رفته‌رفته زیادتر می‌شود.

1- P. K. Chu

2- Van Allen radiation belt

3- Fluorescent lamp

این فرآیند به پدیده بهمنی^۱ معروف است. در این میان تخلیه الکتریکی گسترش می‌یابد و جریان الکتریکی برقرار می‌شود. گاز قبل از تخلیه الکتریکی نارسانا بود و در مواقعی که تخلیه الکتریکی بسیار قدرتمندی انجام می‌گیرد، ممکن است بخش کثیری از اتم‌های گاز به سبب پدیده‌ی بهمنی یونیزه شوند و گاز به پلاسما تبدیل شود. نزدیک‌ترین پلاسما به ما، یونسفر^۲ است که از صد و پنجاه کیلومتری سطح زمین شروع و به طرف بالا ادامه می‌یابد. در واقع لایه‌های بالاتر از اتمسفر زمین، به شکل پلاسما است که توسط تابش موج کوتاه در حوزه‌ی وسیعی از طیف اشعه فرابنفش گرفته تا پرتوهای ایکس و همچنین به وسیله‌ی پرتوهای کیهانی یونیزه می‌شوند. پدیده شفق نیز نوعی پلاسما است که تحت اثر یونیزاسیون ایجاد می‌شود. یونسفر پلاسمایی با جذب پرتوهای ایکس، فرابنفش، تابش خورشیدی، انعکاس امواج کوتاه و رادیویی اهمیت اساسی در ارتباط رادیویی در سرتاسر جهان دارد. با همه این احوال نه تنها زمین بلکه زهره و مریخ نیز فضایی یونسفری دارند. ملاحظات نظری نشان می‌دهد که در سایر سیاره‌های منظومه شمسی نظیر مشتری، زحل، سیاره اورانوس و نپتون نیز باید یونسفرهای قابل مشاهده وجود داشته باشد. فضای بین سیاره‌ها نیز از پلاسمای بین سیاره‌ای در حال انبساط پر شده که محتوای یک میدان مغناطیسی ضعیف است.



شکل ۱-۱: خورشید، رعدوبرق و شفق قطبی به عنوان پلاسما

4- Avalanche phenomenon
1- Ionosphere

۳-۱ پارامترهای توصیف‌کننده پلاسما

۱-۳-۱ چگالی

یک کمیت مهم در توصیف پلاسما چگالی ذره^۱، n ، است که برای ذرات باردار یونی با اندیس i ، برای الکترون‌ها با اندیس e و برای ذرات خنثی با n نشان داده می‌شود. با استفاده از نسبت چگالی الکترونی به چگالی ذرات خنثی، $r = n_e/n_n$ ، کمیت مفیدی برای توصیف پلاسما به دست می‌آید که درجه‌ی یونیدگی پلاسما را نشان می‌دهد. بر این اساس اگر $10^{-2} \dots 10^{-3}$ ، پلاسما، کم‌یونیده و اگر $r \rightarrow \infty$ ، پلاسما کاملاً یونیده است. به عبارتی پلاسما فقط از ذرات باردار تشکیل شده است (راث^۲، ۱۹۹۵).

۲-۳-۱ فرکانس پلاسمایی

وقتی در یک پلاسما، الکترون از محل تعادل خود جابجا شود، میدان‌های الکتریکی در جهتی ایجاد می‌شوند که با عقب کشیدن الکترون‌ها به مکان‌های اولیه خود، خنثایی پلاسما را بازگردانند. الکترون‌ها به دلیل انرژی جنبشی حول مکان تعادلی خود با فرکانس مشخصه‌ای به نام فرکانس پلاسمایی^۳، ω_p ، نوسان می‌کنند. این نوسان آن‌قدر سریع است که یون‌های فشرده، زمانی برای پاسخ به میدان نوسان‌کننده نداشته و به صورت ثابت به نظر می‌رسند. مقدار فرکانس پلاسمایی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\omega_p = \left(\frac{n_e e^2}{\epsilon_0 m_e} \right)^{\frac{1}{2}}; \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \quad (1-1)$$

که در آن n چگالی، e بار الکترون، ϵ_0 قابلیت‌گذردهی خلاء و m جرم ذره است.

1- Particle density
2- J Reece Roth
3- Plasma frequency

۳-۳-۱ حفاظ دبای

یکی از مشخصات اساسی پلاسما، که پلاسما را از گازهای معمولی متمایز می‌سازد، خصوصیت ایجاد حفاظ در مقابل پتانسیل‌های الکتریکی است. هرگاه در محدوده‌ای از پلاسما به علت حضور بار خالص پتانسیلی ایجاد شود، ذرات با بار مخالف در این ناحیه طوری آرایش می‌یابند که اثر این پتانسیل را خنثی کنند. بدیهی است که در یک پلاسما سرد که هیچ‌گونه حرکت حرارتی وجود ندارد ذرات مخالفی که بارشان برابر با بار موضعی خارجی ایجاد شده است می‌توانند در ناحیه نازکی از فضا اثر حفاظ‌سازی را انجام داده و پتانسیل خارجی را سریعاً خنثی نمایند ولی به علت وجود حرکت حرارتی در ذرات پلاسما همواره جایی که انرژی ذرات با انرژی الکتروستاتیک ایجاد شده برابر است، ذرات می‌توانند از چاه پتانسیل فرار کنند. بنابراین گستردگی ابر حفاظ تا ناحیه‌ای از فضا خواهد بود که در آن انرژی جنبشی $K_B T$ ذرات برابر با انرژی پتانسیل الکتروستاتیک در آن نقطه باشد. پارامتری تحت عنوان طول دبای^۱ که بوسیله معادله‌ی زیر تعریف می‌شود ناحیه‌ای را تعریف می‌کند که خارج از آن پتانسیل اثر خود را از دست می‌دهد.

$$\lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 K_B T_e}{n_e e^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (۲-۱)$$

که در آن n_e چگالی الکترون، e بار الکترون، T_e دمای الکترون، K_B ثابت بولتزمن و ϵ_0 قابلیت گذردهی خلاء است. همان‌طور که از رابطه بالا مشاهده می‌شود، با افزایش چگالی، λ_D کاهش و با افزایش $K_B T_e$ افزایش پیدا می‌کند. علت این‌که در رابطه بالا از دمای الکترون استفاده شده، این است که چون عموماً الکترون‌ها تحرک بیشتری از یون‌ها دارند، با حرکت خود و با تولید اضافی، عمل حفاظ‌سازی را انجام می‌دهند. برای دستگامی با ابعاد L ، ملاک پلاسما بودن یک گاز یونیزه این است که به‌اندازه‌ی کافی چگال باشد که λ_D خیلی کوچک‌تر از L شود.

1- Debye length

۴-۳-۱ پارامتر پلازما

پارامتر پلازما^۱ یک عدد بی بعد بوده که آن را با علامت Λ نشان می دهند. معمولاً گفته می شود که پارامتر پلازما نسبت پارامتر برخورد ماکزیمم به فاصله ی کلاسیکی نزدیک ترین مسیر در پراکندگی کولنی است. در این حالت، پارامتر پلازما با رابطه زیر نشان داده می شود:

$$\Lambda = 4\pi n\lambda_D^3 \quad (۳-۱)$$

که در آن n چگالی عددی الکترون و λ_D طول دبای است. این عبارت، فقط برای پلاسمایی معتبر است که در آن، سرعت های حرارتی یونی بسیار کمتر از سرعت های حرارتی الکترونی باشد. مطابق تعریف دیگر این پارامتر تعداد الکترون ها در کره ی دبای (کره ای با شعاع طول دبای) را مشخص می کند (راث، ۱۹۹۵؛ چن، ۱۹۸۴).

گاهی پارامتر پلازما را عدد دبای می نامند و با N_D نشان می دهند که در این صورت پارامتر پلازما به صورت زیر تعریف می شود:

$$N_D = \frac{4\pi}{3} n\lambda_D^3 \quad (۴-۱)$$

که تفاوت این دو تعریف در یک ضریب $\frac{4}{3}$ است که می توانند به جای هم به کار روند. باید توجه داشت که علاوه بر $L \ll \lambda_D$ رفتار جمعی ایجاب می کند که $1 \gg N_D$ باشد (چن، ۱۹۸۴).

۱-۳-۵ دما

در حالت تعادل ذرات تشکیل دهنده‌ی پلاسما دارای حرکت نامنظم حرارتی هستند. برای توصیف این حرکت در ترمودینامیک از کمیتی به نام دما استفاده می‌شود. در حالت کلاسیکی برای توصیف تعادل ترمودینامیکی می‌توان از تابع توزیع ماکسول - بولتزمن^۱ استفاده نمود. به عبارت دیگر گازی که در تعادل گرمایی است دارای ذراتی با تمام سرعت‌هاست و محتمل‌ترین توزیع سرعت توزیع ماکسولی نامیده می‌شود. اگر طول عمر پلاسما به اندازه‌ای باشد که در اثر برخوردهای متوالی، الکترون‌ها و یون‌ها به تعادل ترمودینامیکی برسند، آنگاه می‌توان صحبت از دمای واحد کرد ولی اغلب اتفاق می‌افتد که الکترون‌ها و یون‌ها توزیع ماکسولی جداگانه‌ای با دماهای متفاوت T_e و T_i دارند. این حالت با توجه به این که میزان برخورد بین خود یون‌ها یا خود الکترون‌ها از میزان برخوردهای بین یک یون و یک الکترون بیشتر است، می‌تواند پیش آید. در حالتی که دمای الکترون‌ها و یون‌ها باهم برابر باشد، پلاسما را هم‌دما می‌گویند. توجه به این لازم است که تابع توزیع ماکسول - بولتزمن تابعی است که توزیع سرعت ذرات را در گاز مشخص می‌کند. توزیع ماکسول - بولتزمن در گاز ایده‌آل نزدیک به تعادل ترمودینامیکی^۲ با اثرات کوانتومی ناچیز و سرعت غیرنسبیتی صحیح است.

۱-۳-۶ برخوردها در پلاسما

تاکنون دو شرط برای این که یک گاز یونیده را بتوان پلاسما نامید مطرح کردیم. شرط سوم به برخوردها مربوط می‌شود (چن ، ۱۹۸۴). اگر ω بسامد نوعی نوسان‌های پلاسما و τ زمان متوسط بین برخوردها با

1- Maxwell-Boltzmann distribution
2- Thermodynamic equilibrium

اتم‌های خنثی باشد، برای اینکه گاز مانند پلاسما، و نه یک گاز نجیب، رفتار کند لازم است که $\omega\tau > 1$.

بنابراین سه شرط مشخص‌کننده پلاسما عبارت‌اند از:

$$\lambda_D \ll L \quad -1$$

$$N_D \gg 1 \quad -2$$

$$\omega\tau > 1 \quad -3$$

۴-۱ حرکت ذرات باردار

برای بررسی دقیق پلاسما نیاز به اطلاع از چگونگی حرکت ذرات باردار در شرایط مختلف را داریم. ذرات باردار در گازها عبارت از الکترون‌ها و یون‌ها هستند. یون هنگامی به وجود می‌آید که یک مولکول یا یک اتم یک یا چند الکترون از دست بدهد یا کسب نماید. لذا یون‌ها همیشه تعدادی الکترون کم یا تعدادی الکترون زیاد دارند و بار یک یون، یک یا چند برابر بار الکتریکی یک الکترون است (هری، ۲۰۱۰). بار الکتریکی یک پروتون یا قدر مطلق بار الکتریکی الکترون، 1.6×10^{-19} کولن است. جرم یون برابر جرم مولکول یا اتمی است که از آن الکترون کم یا بر آن الکترون اضافه شده باشد. جرم الکترون در مقابل جرم مولکول بسیار کوچک است. اگر فشار گاز در محفظه بسیار کم باشد تعداد برخوردها نیز بسیار کم خواهد بود. در چنین شرایطی در میدان الکتریکی، ذرات باردار با شتابی متناسب با شدت میدان الکتریکی حرکت می‌نمایند. در این حالت البته ذرات باردار بایستی از الکترودها خارج شوند. سرعت ذرات باردار پس از خروج از الکترودها در میدان الکتریکی حرکتی شتابدار خواهد بود تا هنگامی که به ذره باردار دیگر و یا به جداره محفظه برخورد کنند.

۱-۵ راه‌های مختلف یونیزه شدن گازها

از آنجایی که به گاز یونیزه شده‌ای 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؛ بنابراین آشنایی با راه‌های مختلف یونیزه شدن گازها به شناخت بهتر پلاسما کمک زیادی می‌کند. این روش‌ها عبارت‌اند از:

۱-۵-۱ یونیزاسیون حرارتی

اگر درجه حرارت گاز خیلی زیاد باشد، سرعت مولکول‌ها نیز افزایش یافته و لذا یون‌ها و مولکول‌ها با انرژی حرکتی زیاد در برخورد با دیگر مولکول‌ها قادرند آن‌ها و یا خود را یونیزه کنند. باید به یاد داشت که این یونیزاسیون زمانی ممکن است که درجه حرارت گاز به چند هزار درجه سانتی‌گراد برسد.

با توجه به این نکته که انرژی مولکول‌های گاز در درجه حرارت محیط مطابق توزیع ماکسول - بولتزمن است می‌توان ملاحظه نمود که احتمال بروز این نوع یونیزاسیون بسیار کم است. این نوع یونیزاسیون نیز می‌تواند طی چند مرحله انجام شود. یعنی در طول برخورد مولکول‌ها با یکدیگر، مقداری از انرژی یکی از آن‌ها به دیگری منتقل می‌شود و در چند برخورد متوالی، مولکول می‌تواند ابتدا به حالت تحریک و نهایتاً به شکل یونیزه درآید. در این مورد نیز فوتون‌ها نقش دارند.

در درجه حرارت زیاد تعداد الکترون‌ها و یون‌های گاز بسیار زیاد می‌شوند. در واقع اعظم مولکول‌ها به شکل یون درمی‌آیند. بدین جهت خیلی زود الکترون‌ها و یون‌ها به یکدیگر برخورد نموده و دوباره تشکیل مولکول خنثی می‌دهند. لکن به جهت آنکه در هر لحظه مقدار قابل ملاحظه‌ای از مولکول‌های گاز به صورت یونیزه وجود دارند، یک حالت تعادلی بین تولید الکترون و یون و ترکیب مجدد آن‌ها به وجود خواهد آمد.

بدیهی است هر چه درجه حرارت گاز بیشتر باشد بخش بیشتری از مولکول‌های گاز به صورت یون خواهند بود. در نتیجه وجود تعداد بسیار زیاد ذرات باردار که می‌توانند آزادانه حرکت کنند، گاز دارای قابلیت هدایت

الکتریکی بالایی است. چنین حالتی از گاز به پلاسما معروف است، که حالتی از گاز است که قسمت اعظم مولکول‌های آن به صورت یون باشند.

۱-۵-۲ یونیزاسیون در اثر نور

بر اثر تابش نور به گاز، امکان یونیزه شدن مولکول گاز وجود دارد. اگر یک فوتون به یک مولکول گاز برخورد کند و انرژی کافی برای یونیزاسیون مولکول را داشته باشد، مولکول گاز یونیزه می‌شود. چنین نوری در محدوده ماوراءبنفش قرار دارد. نورهای مرئی با طول موج تا ۲۰۰ نانومتر قادر به یونیزه کردن مولکول‌های گاز نیستند. مگر آنکه به مولکولی برخورد کنند که قبلاً تحریک شده باشد و لذا به انرژی کمتری جهت یونیزاسیون کامل نیاز داشته باشد به همین دلیل است که نورهای مرئی تنها در یونیزاسیون‌های چندمرحله‌ای ظاهر می‌گردند و در مجموع می‌توان گفت که نورهای شدید با طول موج‌های کوتاه، از جمله نورهای حوالی نور بنفش از مؤثرترین نورها در امر یونیزاسیون گازها می‌باشند.

۱-۵-۳ یونیزاسیون در اثر برخورد یا ضربه

مهم‌ترین عامل ازدیاد تعداد یون‌ها و الکترون‌ها، برخورد ذرات باردار با مولکول‌های گاز است. ذرات باردار پس از کسب انرژی در میدان الکتریکی، طی برخورد با مولکول‌های گاز قادرند آن‌ها را یونیزه کنند که در این نوع خاص از یونیزاسیون الکترون‌ها نقش عمده را ایفا می‌کنند. چراکه الکترون‌ها ضمن برخورداری از مسیر آزاد طولانی‌تر، از تحرک بیشتری نیز برخوردار می‌باشند و لذا در میدان الکتریکی انرژی بیشتری کسب می‌نمایند. چنانچه الکترونی از کاتد خارج شود و مسیر آزاد را طی کند و در طول این حرکت به اندازه کافی انرژی کسب نماید، در برخورد با مولکول گاز آن را یونیزه کرده و در نتیجه یک الکترون و یون جدید تولید می‌گردد. از این لحظه به بعد دو الکترون به سمت آند و یک یون به سمت کاتد در حرکت

هستند. دو الکترون مذکور نیز می‌توانند با کسب انرژی کافی در برخورد با مولکول‌های دیگر گاز دو مولکول دیگر را یونیزه کنند و در نتیجه یک رشد تصاعدی را موجب می‌شوند. در واقع این نحوه ازدیاد یک نوع رشد نمایی است.

۱-۵-۴ گسیل^۱ الکترون از رسانا

حال به بحث مختصری در مورد گسیل الکترون از هادی می‌پردازیم. چراکه کاند نیز به‌عنوان یک رسانا، منبع تولید الکترون به شمار می‌رود. گسیل الکترون از رسانا می‌تواند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل شروع تخلیه الکتریکی در گازها و یا برای ادامه تخلیه و یا تکمیل آن مطرح باشد. الکترون‌ها در داخل فلزات به سهولت و آزادانه حرکت می‌کنند. در حقیقت الکترون‌ها در سطوح معینی از انرژی و در اطراف هسته‌ی اتم قرار گرفته‌اند و بدون صرف انرژی قابل جدا کردن از اتم نمی‌باشند.

البته باید توجه کرد که اتم‌های فلز طوری در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند که مدار خارجی الکترون‌های مربوط به اتم‌های مجاور یکدیگر را قطع می‌کنند. در چنین وضعیتی الکترون تنها تحت تأثیر هسته‌ی اتم خود نیست، بلکه هسته‌های اتم‌های مجاور نیز به این الکترون نیرو وارد می‌نمایند. اثر هسته‌های دیگر بر روی الکترون‌های مدار خارجی باعث می‌شود که سطوح انرژی اتم‌ها شکافته شود و الکترون‌های مدار خارجی اتم فلزات از هسته جدا شده و برای خود آزادانه به حرکت درآیند.

۱-۵-۵ گسیل الکترون از رسانا به کمک میدان الکتریکی

تعداد کمی از الکترون‌ها انرژی کافی برای گسیل از رسانا را دارند. الکترون به‌واسطه دارا بودن سطح انرژی مذکور بایستی بتواند از مدار به بیرون بپرد. به کمک میدان الکتریکی می‌توان انرژی لازم برای خارج

1- Emission

شدن الکترون از رسانا را پایین آورد. شدت میدان الکتریکی لازم برای خارج کردن الکترون‌ها از رسانا بسیار زیاد است و در حقیقت باوجود میدان الکتریکی عوامل دیگری نیز در آن تأثیر می‌گذارند که عبارت‌اند از :

۱- گرم کردن رسانا تا درجه حرارت‌های چند هزار درجه کلوین (گسیل حرارتی)

۲- برخورد یک‌ذره پرنرژی مانند یون با سرعت زیاد به هادی (گسیل ثانوی)

۳- برخورد اشعه پرنرژی به رسانا (گسیل فوتونی)

۱-۵-۶ گسیل الکترون از رسانا در اثر برخورد یون‌های سریع به رسانا

یکی از عوامل مهم در تخلیه الکتریکی گسیل الکترون از کاتد به واسطه برخورد یون‌های سریع با آن است. در حقیقت در میدان الکتریکی یون‌های مثبت تحت تأثیر میدان به طرف کاتد رانده می‌شوند و در صورت وجود مسیر آزاد کافی بعضی از یون‌ها قبل از اصابت با کاتد انرژی قابل ملاحظه‌ای کسب می‌نمایند. این یون‌ها در برخورد خود با کاتد می‌توانند باعث گسیل الکترون از کاتد شوند.

گسیل الکترون از کاتد باعث به وجود آمدن تعداد بیشتری الکترون در فاصله بین کاتد و آند می‌گردد. در نتیجه گاز بیشتر یونیزه می‌شود و سرانجام باعث گسیل بیشتر الکترون از کاتد و افزایش جریان می‌گردد.

۱-۵-۷ یونیزاسیون مولکول گاز در اثر برخورد با یون

یون‌ها نیز همانند الکترون‌ها در میدان الکتریکی به حرکت درمی‌آیند و از میدان الکتریکی انرژی کسب می‌نمایند. نیروی وارده از میدان الکتریکی به یون‌ها باعث شتاب آن‌ها در جهت میدان گردیده و انرژی که یون از میدان الکتریکی بین دو برخورد متوالی کسب می‌کند همانند الکترون با شدت میدان الکتریکی و طول مسیر آزاد و بار الکتریکی یون متناسب است. این انرژی تبدیل به انرژی حرکتی می‌گردد.

Family name: Ramezani Shabkhossaraei	Name: Meysam
Title of Thesis: Design, fabrication, and characterization of direct-current glow discharge	
Supervisor: Dr. Jafar Borhanian Advisor: Dr. Mohammad Hamdipoor	
Graduate Degree M.Sc.	
Major: Physics	Specialty: Atomic and Molecular Physics - Plasma
University: Mohaghegh Ardabili	Faculty: Science
Graduation date: 2017/8/15	Number of pages: 113
<p>Abstract:</p> <p>In this thesis, we first had a concise review on plasma physics and electrical discharges in gases. The different types of electrical discharges are introduced and discussed briefly. Then, experimental apertures and set-up used in this work is illustrated. The electrical breakdown in gases is described in details, theoretically as well as experimentally. The comparison between theoretical findings with the experimental results leads us to obtain some fundamental parameters and quantities are important in electric breakdown and discharge in gases, e.g. Stoletow point, maximum electron ionization ability, the cost of electron-ion pair energy, mean free path for electrons, and total cross-section for electron-atom collision in argon gas. At the end, the physical and electrical characteristics of glow discharge and transitions from one discharge regime to other regime, i.e. transition from dark discharge to glow one as well as glow to arc transition are investigated. Structuring and properties of the striation in long tubes in low pressure ambient argon gas is addressed. Inspecting the current-voltage and current-pressure characteristics and their physical interpretations is one of the main part of this thesis.</p>	
Keywords: Gas dreackdown, DC discharge, Townsend dark discharge, Glow discharge	



University of Mohaghegh Ardabili

Faculty of Science

Department of Applied Physics

Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of
M.Sc. in Atomic and Molecular Physics - Plasma

Title:

Design, fabrication, and characterization of direct - current glow discharge

Supervisor(s):

Dr. Jafar Borhanian

Advisor(s):

Dr. Mohammad Hamdipoor

By:

Meysam Ramzani Shabkhossareh

August – 2017