آزمایش شماره ۶:

تخلیهٔ الکتریکی در گازها

هدف آزمایش

مطالعه و بررسی تخلیه الکتریکی در گازها و تغییرات اختلاف پتانسیل لازم برای ایجاد تخلیه الکتریکی با فشار داخل لوله.

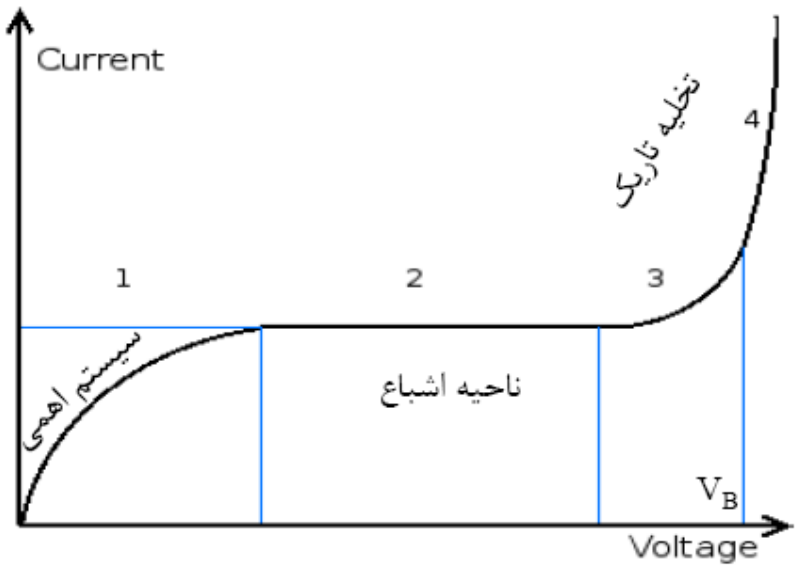
تئوری آزمایش

آزمایشات در قرن نوزدهم نشان می‌داد که هادیهای باردار تدریجاً بارشان را از دست می‌دهند و میزان کاهش بار بستگی به شرایط محیط دارد. در اواخر قرن هیجدهم مشخص شد که حتی اگر محیط هوا هم باشد تخلیه انجام خواهد گرفت. با کشف منابع جراین پیوسته در قرن نوزدهم قوس الکتریکی کشف شد و سپس فارادی توانست در فشار کمتر از آتمسفر تخلیه الکتریکی ایجاد کند. سپس در قرن نوزدهم اشعه کاتد یک کشف گردید و قوس الکتریکی کاربرد فعلی پیدا کرد. تخلیه الکتریکی در علم فیزیک و صنعت کاربرد فراوانی دارد مثلاً در تولید نور، فیزیک پلاسما و تولید گرما و .. اصولاً تخلیه الکتریکی به معنی جاری شدن جریان الکتریکی از میان یک محیط گازی است و این در صورتی است که بعضی از ذرات گاز یونیزه شوند و علاوه بر آن میدان الکتریکی موجود باشد تا ذرات را براند. تخلیه الکتریکی را می‌توان در فشار و جریانهای مختلف تا 10^{-6} A انجام داد. در حالت پایدار برحسب جریان، تخلیه گازی را به سه دسته تقسیم می‌کنند.

۱. تخلیه تاریک یا TOWNSEND با ظرفیت جریانی 10^{-6} A
۲. تخلیه نورانی GLOW با ظرفیت جریانی 10^{-6} A تا 10^{-1}
۳. تخلیه قوسی ARC با ظرفیت جریانی بیش از 10^{-1} A

آزمایش بررسی تخلیه تاریک TOWNSEND و نقطه شکست BREAKDOWN گازها

گازها در حالت عادی دارای تعدادی یون و الکترون می‌باشند در جو حدود ۱۰۰۰ یـون مثبـت و منفـی در هـر cm^3 به علت اشعه پرانرژی ماوراء بنفش، کیهانی و x وجود دارد و در هر 2-10s عمل یونش انجام می‌گیـرد. در غیاب میدان الکتریکی میزان تولید ذرات باردار مساوی با میزان بازترکیب آن‌ها است. با اعمال میدان کم مـثلاً 1 V/cm یونها و الکترونها به حرکت درمی‌آیند. در جریانهای کم حالت تعادل گاز بندرت بهـم مـی خـورد و گـاز یک سیستم اهمی است اما با ازدیاد میدان E حالت تعادل گاز بهم می‌خورد. زیرا یونها و الکترونها جذب قطبهـا شده و خنثی می‌شوند، یعنی تعداد ذرات باردار مؤثر کم می شود در نتیجه میـزان ازدیـاد جریـان بـا ولتـاژ کـم می‌شود. اگر میزان تولید یون و الکترون ثابت باشد با ازدیاد E حالتی وجود دارد که الکترونها و یونها بدون هیچ ترکیب مجدد به الکترودها می‌رسند. در این صورت کل بارهایی که به قطبها می‌رسند مساوی بـا بارهـای تولیـد شده است و چگالی جریان j بصورت $j = ed\frac{dn}{dt}$ است. d فاصله دو قطب، e بـار الکتـرون و $\frac{dn}{dt}$ کـل میـزان تولید بار در واحد حجم و در واحد زمان است j را چگالی جریان اشباع گویند و حدود 10^{-9} A/cm^2 است.



شکل (۱)

اگر بعد از حالت اشباع اختلاف پتانسیل بین دو الکترود بیشتر شود حالتی می‌رسد که جریان دوباره زیاد می‌گردد طبیعت این ازدیاد بستگی به نوع گاز و فشار آن دارد. در این حالت علت ازدیاد جریان اینست که انرژی الکترونهائی که کاتد را ترک می‌کنند بیشتر از انرژی یونش اتمها است و بعضی از آنها اتم‌ها را یونیزه و تولید الکترون و یون می‌کنند و این الکترونها در صورت کسب انرژی کافی باعث یونش اتمهای دیگر می‌شوند. با افزایش ولتاژ در نقطه خاصی جریان چندین برابر می‌شود که آن را ولتاژ شکست BREAK گویند. برای بررسی بهتر فرض کنید یک الکترون به ازاء هر سانتی‌متر که طی می‌کند α الکترون ایجاد می‌کند. α بستگی به سطح مقطع مؤثر الکترونها و یا احتمال یونش توسط الکترونها دارد و به اولین ضریب یونش تخلیه تاریک معروف است. پس n الکترون در طول مسافت dx تعداد dn الکترون ایجاد میکند.

(۱) $dn=\alpha n dx$

اگر α بستگی به x نداشته باشند.

$$\int_{n_0}^{n} \frac{dn}{n} = \alpha \int_0^d dx$$

n_0 تراکم اولیه الکترونا ناشی از تشعشع خارجی و d فاصله دو الکترود است.

$$n = n_0 e^{\alpha d} \qquad \Rightarrow \qquad i = i_0 e^{\alpha d} \tag{۲}$$

i بدست آمده از طریق آزمایش بیشتر از مقدار بدست آمده از رابطه ۲ است و این به دلیل تولید اضافی بارهائی است که بدلیل بمباران قطب منفی توسط یونهای مثبت بوجود می‌آیند. بنابراین، دومین ضریب یونش TOWNSEND (γ) را بعنوان تعداد الکترونهائی که بر اثر برخورد هر یون با کاتد رها می‌شوند فرض می‌کنیم اگر n_a تعداد کل الکترونهائیی باشد که در هر ثانیه از تمام منابع به قطب مثبت می‌رسند n_+ تعداد الکترونهائی باشد که توسط برخورد یونهای مثبت از قطب منفی در هر ثانیه رها می‌شوند n_0+n_+ تعداد الکترونهائی است که در هر ثانیه از قطب منفی رها می‌شوند. طبق رابطه (۲) $n_a = (n_0 + n_+)e^{\alpha d}$ در حالت پایدار تفاضل تعداد الکترونهائی که به قطب مثبت می‌رسد و تعداد الکترونهائی که قطب منفی را ترک می‌کند باید برابر یونهائی باشد که به قطب منفی می رسند یعنی

$$n_a - (n_0 + n_+) = \frac{n_+}{\gamma}$$

با جایگذاری n_+ از رابطه فوق در فرمول $n_a = (n_0 + n_+)e^{\alpha d}$ داریم:

$$n = n_0 \frac{e^{\alpha d}}{1-\gamma(e^{\alpha d}-1)}$$

$$i = i_0 \frac{e^{\alpha d}}{1-\gamma(e^{\alpha d}-1)} \qquad (۳)$$

γ عدد ثابت کوچکی است که بستگی به نوع گاز و جنس قطب (الکترود) دارد.

در نقطه شکست چون i خیلی زیاد است و چون $\gamma << 1$ پس $\gamma e^{\alpha d} \to 1$ یعنی اگر رفتار الکترونها و تغییرات سطح مقطع را بدانیم γ و α را می‌توان برحسب p فشار و E میدان الکتریکی محاسبه کرد.

فرض کنید λ طول مسیر آزاد میانگین یک الکترون، بین تمام برخوردهایش با اتمها در جهت میدان می‌باشد (یعنی فاصله در جهت میدان بین دو برخورد با اتمها) انرژی متوسطی که یک الکترون در بین برخوردهایش می‌گیرد $Ee\lambda$ است بنابراین α که مشخص کننده تعداد برخوردهای یونیزه کننده الکترون در یک سانتی‌متر حرکت در جهت میدان است باید به این انرژی بستگی داشته باشد و همچنین باید بستگی به تعداد برخوردها یعنی بستگی به فشار گاز در دمای ثابت داشته باشد پس $\alpha = Pf(Ee\lambda)$ است چون در دمای ثابت طول مسیر آزاد میانگین بستگی به عکس فشار دارد $\lambda \propto \frac{1}{p}$ پس معمولاً به اینصورت می‌نویسند.

$$\alpha = Pf\left(\frac{Ee}{p}\right) \qquad \frac{\alpha}{P} = \phi\left(\frac{E}{P}\right) \qquad (۴)$$

تابع ϕ اولین بار توسط TOWNSEND بطور تقریبی بصورت زیر پیدا شد که A و B مقادیر ثابت و بستگی به نوع گاز دارند.

$$\frac{\alpha}{P} = Ae^{-B\frac{P}{E}} \qquad (۵)$$

در شکل ۲ برای گازهای مختلف مقادیر $\frac{\alpha}{P}$ برحسب $\frac{E}{P}$ نشان داده شده است.

γ هم مانند α بستگی به $\frac{E}{P}$ دارد با قرار دادن $\gamma=\psi(\frac{E}{P})$ در رابطه ۴ و با توجه به اینکه به ازای $\gamma<<1$ داریم $\gamma e^{\alpha d}\to 1$

$$\psi\left(\frac{E}{P}\right)e^{P\phi\left(\frac{E}{P}\right)d}=1$$

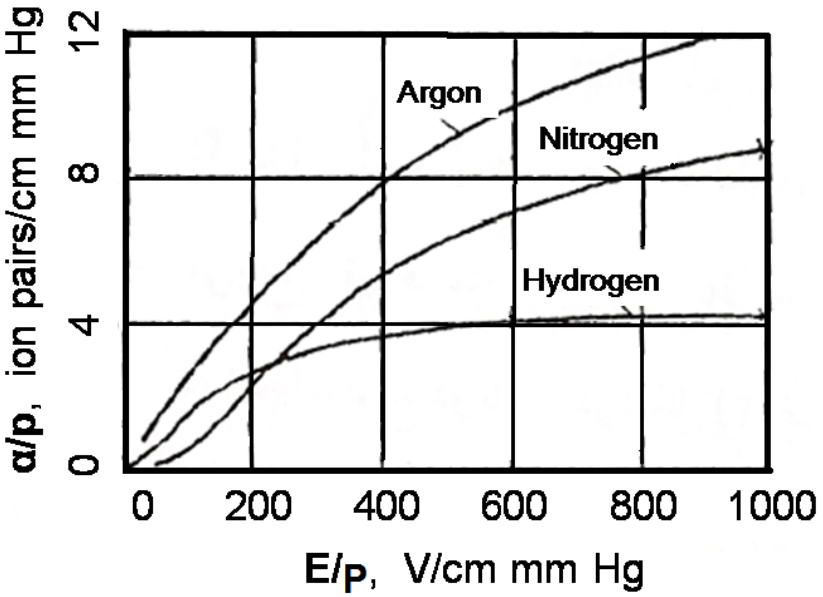
و با توجه به اینکه رابطه فوق در مورد نقطه شکست صحیح می‌باشد داریم:

$$\psi\left(\frac{V_B}{Pd}\right)e^{Pd\phi\left(\frac{V_B}{Pd}\right)}=1 \qquad (۶)$$

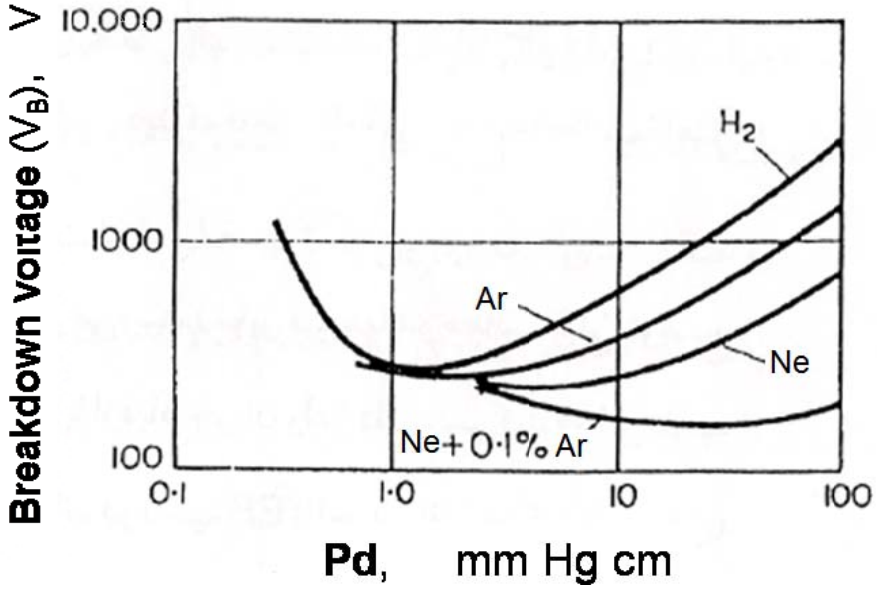
یعنی V_B ولتاژ شکست بستگی به حاصلضرب فشار گاز و فاصله بین قطبها دارد که به قانون پاشن PASCHEN معروف است.

$$V_B=f(Pd)$$

منحنی V_B برحسب p برای هر نوع گاز و الکترود یک می‌نیمم دارد که پتانسیل شکست نامیده می‌شود. شکل شماره ۳ منحنی V_B برحسب p را برای چهار گاز نشان می‌دهد.



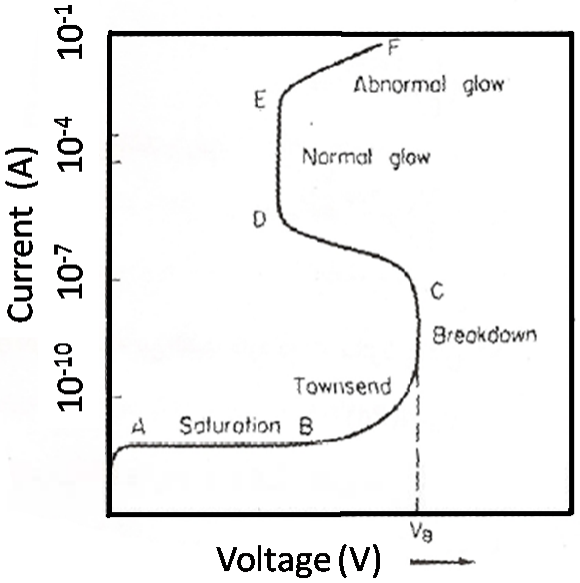
شکل (۲)



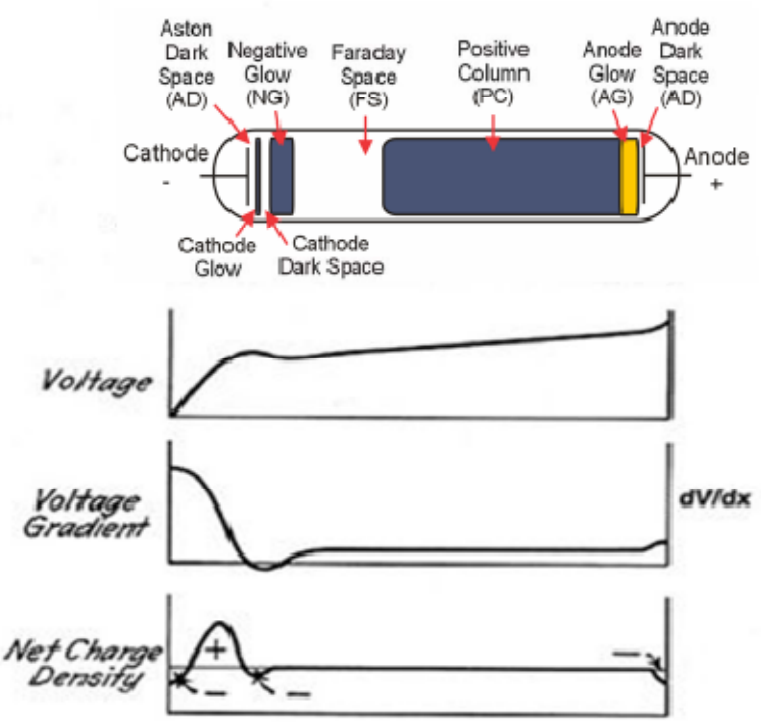
شکل (۳)

تخلیه نورانی

بعد از ولتاژ شکست با افزایش جریان تخلیه بصورت نورانی است. فضای تخلیه در فشار کم به نواحی مختلفی تقسیم می‌شود شکل شماره ۴ منحنی جریان به ولتاژ را در فشار 1torr نشان می‌دهد شکل شماره ۵ نواحی، ولتاژ، میدان و نوع بار را برای تخلیه نورانی نشان می‌دهد.



شکل (۴)



شکل (۵)

اگر فشار را ثابت نگه داریم و فاصله قطبها را کم کنیم خواهیم دید که فقط طول قسمت ستون مثبت کاهش می‌یابد و بقیه قستها بدون تغییر باقی خواهند ماند.

در اینجا توضیح دو ناحیه در شکل (۴) ضروری به نظر می‌رسد (سایر قسمتها در مطالب قبلی توضیح داده شده‌اند) در ناحیه DE (ناحیه برافروختگی عادی) با ازدیاد جریان ولتاژ تغییر نمی‌کند در این ناحیه برافروختگی کاتدی تنها قسمتی از سطح کاتد را می‌پوشاند در ناحیه EF (ناحیه برافروختگی غیر عادی) با افزایش جریان ولتاژ نیز افزایش می‌یابد و برافروختگی کاتدی کل سطح کاتد را پوشش می‌دهد. وقتی در یک لوله تخلیه الکتریکی به وقوع می‌پیوندد در طول لوله تخلیه نواحی تاریک و روشنی دیده می‌شود که شکل ۵ این نواحی تاریک و روشن را در لولهٔ تخلیه نشان می‌دهد. نواحی تاریک و روشن به ترتیب زیر از ناحیهٔ کاتد تا آند در شرایط مناسب قابل مشاهده هستند.

ناحیه تاریک آستون: این ناحیه لایه بسیار نازکی است که روی کاتد را می‌پوشاند و بعلت کم بودن سرعت الکترونها در این ناحیه و جریان یونهای مثبت، بار فضا مثبت و میدان نیز مثبت است.

ناحیهٔ افروختگی کاتد: در این ناحیه الکترونهایی که کاتد را با انرژی کم ترک کرده‌اند دوباره با یونهایی که به طرف قطب منفی می‌روند ترکیب می شوند و باعث تولید نور مرئی می‌شود.

ناحیه تاریک کاتدی: در انتهای ناحیهٔ افروختگی کاتدی به علت کاهش جریان یونهای مثبت، بار مثبت فضا کاهش می‌یابد در این ناحیه الکترونها شتاب می‌گیرند ولی چون انرژی کافی ندارند نمی‌توانند اتمها را یونیزه کنند و به همین دلیل این ناحیه تاریک است.

ناحیه افروختگی منفی: در این ناحیه اتمها یونیزه شده و نور مرئی ایجاد می‌کنند و بار فضا منفی و میدان نیز منفی می‌باشد.

ناحیه تاریک فاراده: بار فضا در این ناحیه صفر است چون الکترونها با یونهایی که جذب قطب منفی می‌شوند در این ناحیه دوباره ترکیب می‌گردند.

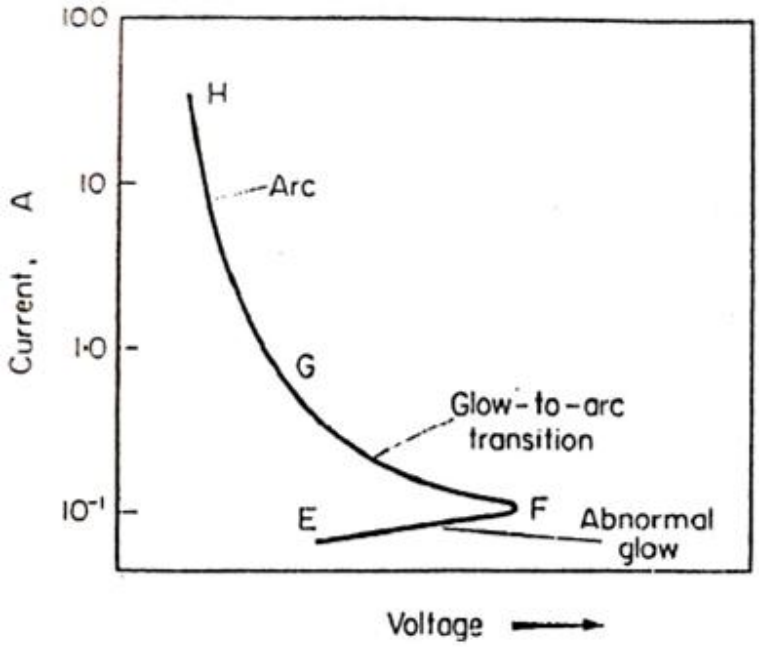
ستون مثبت: در این ناحیه گاز یونیزه شده و پلاسما نامیده می‌شود بطوریکه E مثبت و بار صفر است.

ناحیهٔ تاریک آندی: در این قسمت الکترونهای که انرژی خود را در برخوردهای متوالی در ستون مثبت از دست داده‌اند از این ناحیه عبور می‌کنند و به طرف آند می‌روند.

افروختگی آندی: الکترونهایی که ناحیه قبلی را پشت سر گذاشته‌اند؛ انرژی مختصری که طی آن کسب کرده‌اند در نزدیکی یا روی آند ایجاد یک لایه نازک تابناک می‌کنند.

تخلیه قوسی

شکل شماره ۶ منحنی ولتاژ برحسب جریان از تخلیه نورانی تا قوس را نشان می‌دهد. با انتخاب منبع با مقاومت کمتر میتوان این نوع تخلیه را ایجاد کرد در این نوع تخلیه ستون مثبت بشدت نورانی می‌شود و تخلیه شکل نورانی بخود می‌گیرد در ناحیه تخلیه قوسی ولتاژ حتی به کمتر از 50V هم می‌رسد.



شکل (۶)

وسائل

لوله تخلیه بزرگ و منبع تغذیه ولتاژ بالا و دستگاههای اندازه‌گیر آمپرمتر و ولتمتر، پمپ تخلیه و فشارسنج ترموکوپل – مجموعه لوله‌های تخلیه.

آزمایش ۱

لوله‌های تخلیه شماره‌دار را در مدار قرار داده، دو الکترود را به منبع تغذیه DC وصل کنید. منبع باید خاموش و کمینه باشد. برای هر یک از لوله‌ها با تغییر ولتاژ، جریان را برای ولتاژهای مختلف اندازه‌گیری کنید و منحنی ولتاژ برحسب جریان را رسم کنید. از روی منحنی تغییر ولتاژ برحسب جریان ولتاژ شکست را برای فشارهای مختلف بدست آورید، منحنی V_B را برحسب فشار رسم کنید و شکل تخلیه و ولتاژ شکست را در هر کدام بررسی و اندازه‌گیری کنید.

لوله شماره ۱ 25 mmHg

لوله شماره ۲ 10 mmHg

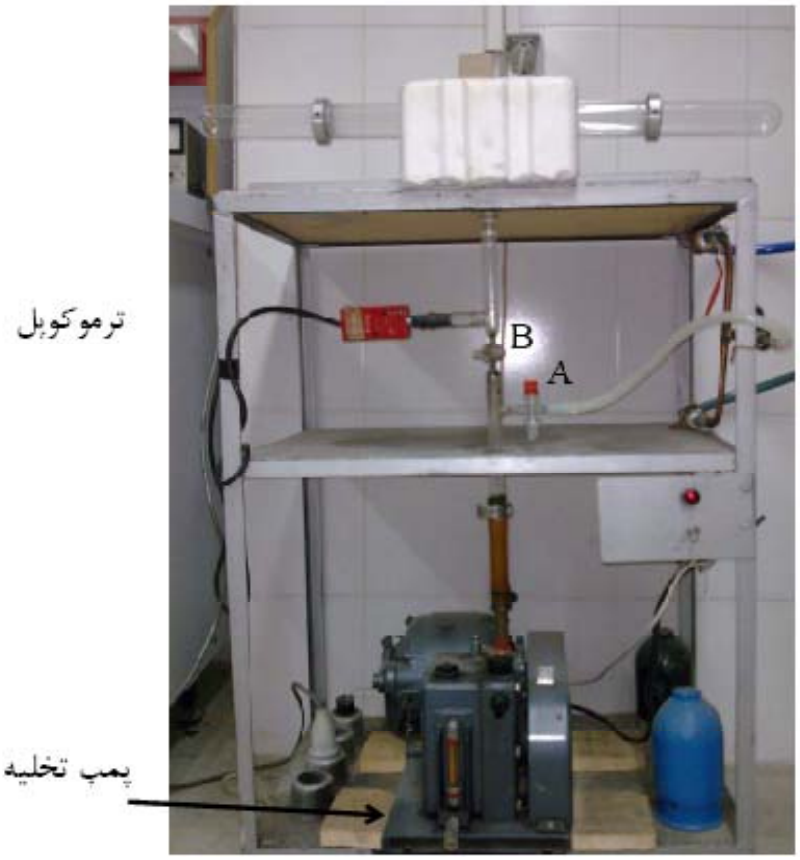
لوله شماره ۳	5 mmHg
لوله شماره ۴	2 mmHg
لوله شماره ۵	0.03 mmHg
لوله شماره ۶	0.01 mmHg

شکل (۷)

آزمایش۲

توجه: بعلت تولید اشعه X به مقدار ناچیز بهتر است زمان آزمایش کوتاه گردد.

ابتدا لوله تخلیه اصلی را به پمپ تخلیه وصل کنید فشار سنج را در جای مخصوص قـرار دهیـد دو الکتـرود را مطابق شکل زیر به منبع تغذیه DC وصل کنید. منبع باید خاموش و کمینه باشد.



شکل (۸)

دو شیر A و B را بسته، پمپ را روشن کنید و سپس به آرامی شیر B را باز کنید پس از تخلیه محافظه و رسیدن فشار به حدود 0.1 torr منبع را روشن کرده و برای فشارهای ثابت ۰/۱ و ۰/۲ و ۰/۵ با تغییر ولتاژ، جریان را برای ولتاژهای مختلف اندازه‌گیری کنید و منحنی ولتاژ برحسب جریان را رسم کنید.

برای ثابت نگه‌داشتن فشار می‌توان از شیر A کمک گرفت. از روی منحنی تغییر ولتاژ برحسب جریان ولتاژ شکست را برای فشارهای مختلف بدست آورید و منحنی V_B را برحسب فشار رسم کنید سپس پمپ را بطریق زیر خاموش نمائید تا روغن پمپ وارد لوله نشود – الف – شیر B را ببندید. ب: شیر A را به آرامی باز کنید. ج: پمپ را خاموش کنید د: شیر B را باز کنید.

مشاهدات خود را برای نواحی مختلف تشکیل شده در لوله تخلیه شرح دهید.

آزمایش۳

لوله اصلی شیشه را تخلیه کرده و سپس گازهای مختلف را به آهستگی و با دقت وارد آن کنید. با اتصال لوله به پمپ تخلیه آزمایش ۱ را برای گازهای مختلف تکرار نمائید.

به سؤالات زیر پاسخ دهید:

۱. نقاط نورانی که در ولتاژهای بالا روی قطبها دیده شده و زود از بین می‌روند چیستند؟

۲. تخلیه قوسی چه کاربردی دارد؟

۳. برای اندازه‌گیری شدت اشعه α ، β و γ از شمارنده ی گایگر استفاده می‌شود عمل شمارنده، را شرح دهید.

۴. آزمایشی برای تعیین α طرح کنید.

۵. چرا در اطراف قطب مثبت بار فضا منفی است؟