به نام خدا

نام درس : عایق ها و فشار قوی

فصل اول : عایق های گازی

GAS INSULATION

WWW.ABARMOHANDESI.COM
ابرمهندسی

WWW.ABARMOHANDESI.COM
ابرمهندسی

مهم ترین عایق های گازی :

۱– هوا

۲– ازت (N_2)

۳– دی اکسید کربن (CO_2)

۴– هیدروژن (H_2)

۵– هگزا فلوئورسولفور (SF_6)

دی اکسید کربن ← جلوگیری از اکسیداسیون

هیدروژن ← خنک سازی در ژنراتورها

2 مقدمه:

در مبحث عایق های فشار قوی ، گازها دارای اهمیت بالا و کاربردهای فراوانی در صنعت

برق می باشند از جمله این کاربردها می توان استفاده از آنها در کلیدهای فشار قوی نام برد . از مهمترین عایق های گازی می توان به هوا ، ازت (N_2) دی اکسید کربن (CO_2) هیدروژن (H_2) و هگزا فلوئور سولفور (SF_6) نام برد . از گاز دی اکسید کربن برای جلوگیری از اکسیداسیون استفاده می شود. همچنین هیدروژن دارای گرمای ویژه ۱۵

از لحاظ حرارتی SF_6دارای استقامت عایقی ۲ تا ۳ برابرهواست . بسیار پایدار و بدون اثر سوء روی فلزات است . از هیدروژن به دلیل خاصیت خوب انتقال

گرمایی آن ، معمولاً در خنک کردن ژنراتورها استفاده می کنند .

تعریـــــف کلـــــی عـــــایق:

هرچیزی که مانع جـرم و انـرژی شـود عـایق اسـت

دلیل عایق بودن بعضی از گاز ها نداشتن ذرات بار دار است

مهم ترین خصوصیت های هر عایق استقامت الکتریکی آن ها است

استقامت الکتریکی: مقدار مقامتی که در مقابل اختلاف پتانسیل از خود نشان میدهد

مواد عایقی همیشه بر اساس دمای کار نامی آنها طبقه بندی می شود

ویژگی های یک ماده عایقی برای استفاده های بخصوص:

۱. رفتار مکانیکی
۲. رفتار گرمایی
۳.پارامتر های شیمیایی
۴. خصوصیت های الکتریکی
۵.عوامل اقتصادی

WWW.ABARMOHANDESI.COM
ابرمهندسی

هوا :

هوا متشکل از گاز های اکسیژن، نیتروژن،دی اکسید کربن،...
دارای خاصیت عایقی نسبتا خوبی است.

WWW.ABARMOHANDESI.COM
ابرمهندسی

مزایای هوا:

۱. رایگان بودن
۲.در دسترس بودن

معایب:

۱. نسبت به دیگر گاز ها عایق خوبی نیست
۲.نسبت به شرایط جوی حساس است

گاز ازت یا نیتروژن (N2) :

نیتروژن از گروه غیرفلزات بوده و دارای بار الکترون منفی ۳ می‌باشد. نیتروژن پنج الکترون در پوسته خود داشته و در نتیجه در اکثر ترکیبات سه‌ظرفیتی است. نیتروژن خالص یک گاز بی‌اثر و بی‌رنگ است و ٪۷۸ جو زمین را به خود اختصاص داده‌است

مزایای نیتروژن:

در هنگام ساخت قطعات الکترونیک مانند ترانزیستور، دیود و مدار یکپارچه و همچنین برای ساخت فلزات ضدزنگ استفاده می‌شود

در این نوع میزان گاز نیتروژن داخل ترانسفورماتور ثابت و برابر مقدار اولیه‌ای است که وارد آن نموده‌ایم. در این ترانسفورماتورها برای کاهش دامنه تغییرات فشار، حجم محفظه گاز به قدر کافی بزرگ در نظر گرفته می‌شود.

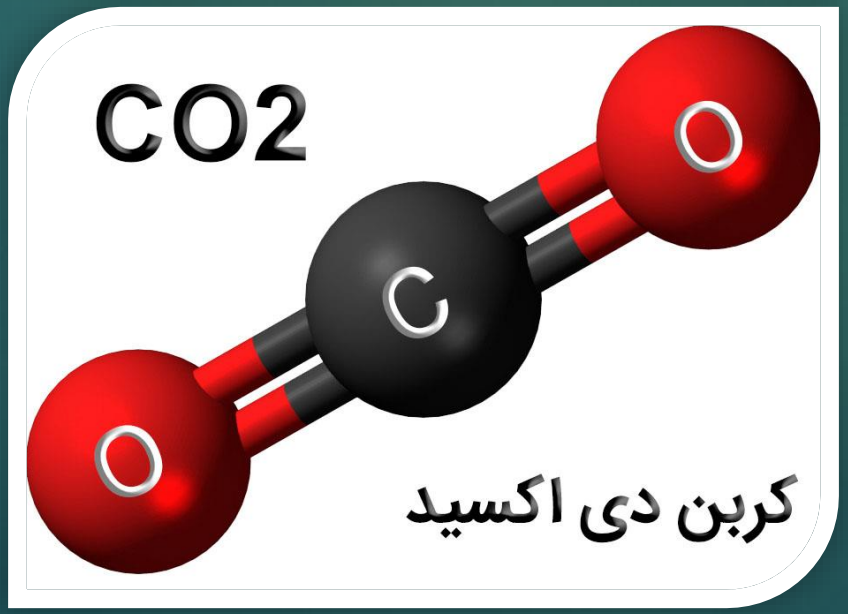
میزان گاز حل شده در روغن تابع خطی از فشار بوده و دما تاثیر ناچیزی در حلالیت گاز دارد. مقدار گاز نیتروژن دارای حجمی معادل ۲۰درصد الی ۵۰درصد حجم روغن ترانسفورماتور می‌باشد

کاربرد:

کابل های گازی باغلاف الومینیومی استفاده می شود

کربن دی‌اکسید:

- کربن دی‌اکسید یا گازکربنیک (با فرمول شیمیایی CO_2)، از ترکیب کربُن با اکسیژن به دست می‌آید. گاز کربنیک بر اثر سوختن زغال و مواد آلی در مجاورت اکسیژن، تخمیر مایعات، تنفس جانوران و گیاهان و غیره به دست می‌آید. (به‌طور بسیار ساده‌تر می‌توان گفت زمانی که کربن می‌سوزد-یا به عبارت دیگر سوختن کامل صورت می‌گیرد-گاز دی‌اکسید کربن تولید می‌شود) کربن دی‌اکسید دارای دو پیوند دوگانه O=C=Oمی‌باشد تعداد پیوندهای کووالانسی در آن ۴ می‌باشد و دو قلمرو الکترونی دارد



کاربرد:

به عنوان گاز عایق در جوشکاری

و برای جلو گیری از اکسیداسیون استفاده می شود

این گاز به سه حالت جامد مایع گاز در می آید

مثل یخ خشک

معایب:

احتمال خفگی افراد

WWW.ABARMOHANDESI.COM
ابرمهندسی

هیدروژن :

- هیدروژن یا آبزا (به انگلیسی: Hydrogen)، با نماد شیمیایی Hنام یک عنصر شیمیایی در جدول تناوبی با عدد اتمی ۱ است. وزن اتمی این عنصر ۱٫۰۰۷۹۴ U است. می‌توان گفت نزدیک به ۷۵٪ از جرم جهان از هیدروژن ساخته شده‌است.

کاربرد:

اثر خاموش کننده این گاز نسبت به گاز ازت خیلی بیشتر است

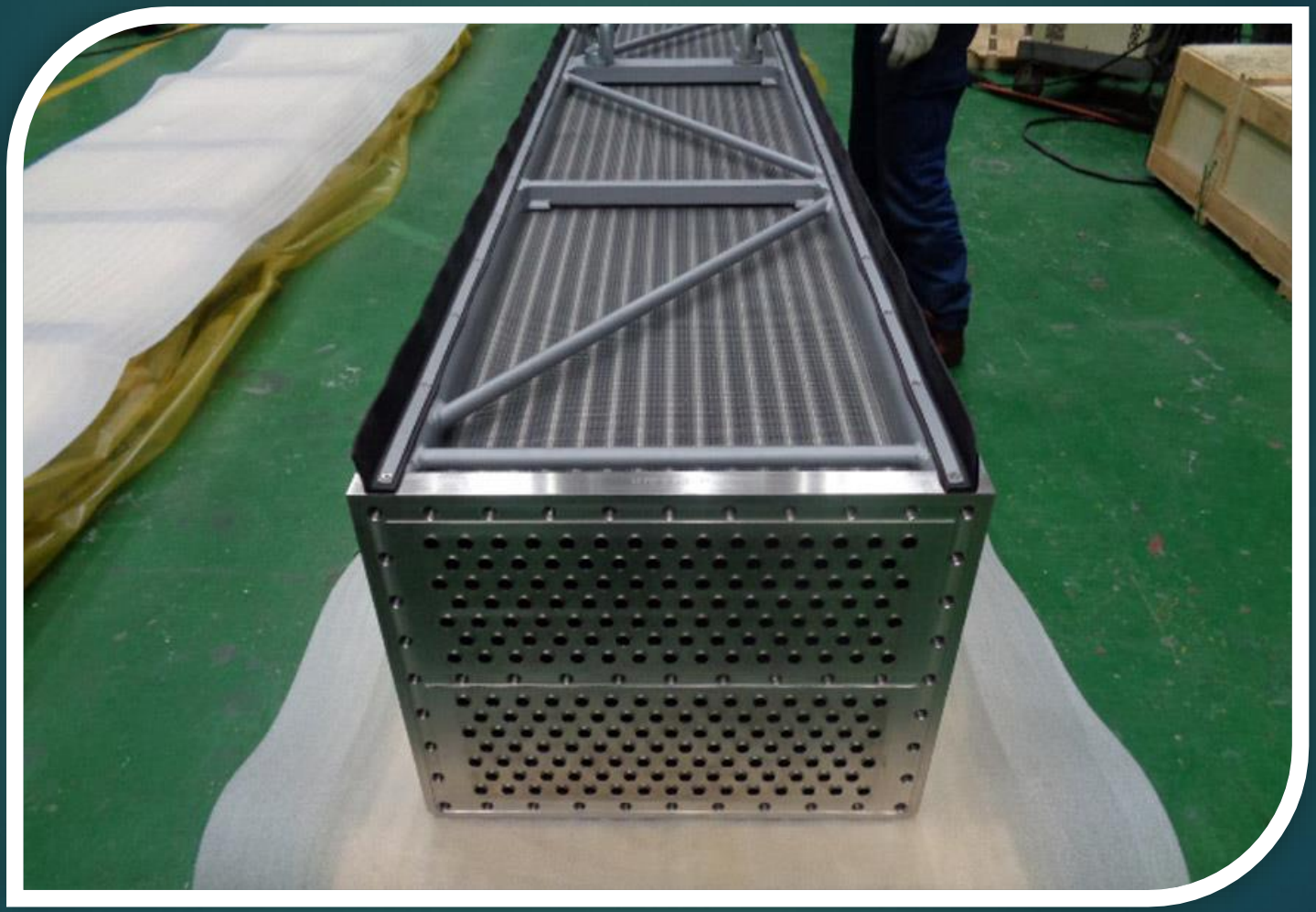
زیرا هیدروژن دارای قابلیت هدایت حرارت بیشتری است این گاز باعث خاموش کردن جرقه در کلید های فشار قوی استفاده می شود از هیدروژن به دلیل خاصیت خوب و انتقال گرمایی آن معمولا در خنک سازی ژنراتورها استفاده می شود

WWW.ABARMOHANDESI.COM
ابرمهندسی

گاز های ترکیبی با روغن ترانسفورماتور

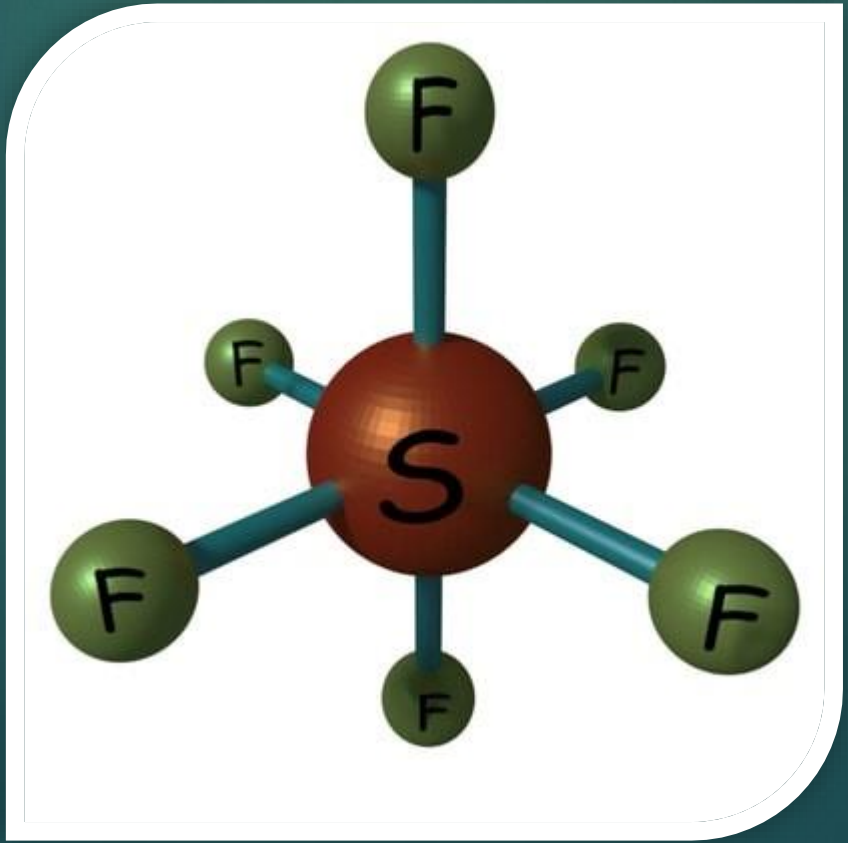
نام آزمایش	مقدار توصیه شده
ولتاژ شکست روغن تزریق	≥kv50
دمای روغن تزریق	≥c°۴۰
میزان آب در روغن	<PPM10
آزمایش گاز کروماتوگرافی و نام گاز	مقدار توصیه شده
H2	<PPM5
CO	<PPM50
CO2	<PPM250
CH4	<PPM1
C2H4	=PPM0
C2H6	=PPM0
C2H2	=PPM0
C3H6	<PPM5
C3H8	<PPM5
O2	<PPM1000
N2	<PPM10000

شبکه های خنک کننده با گاز نیتروژن



گاز هگزا فلوئور سولفور :

گاز SF6بصورت تجاری از طریق واکنش فلوئور (حاصل از الکترولیز) با گوگرد تولید می شود متشکل از ٦ اتم فلوئور و یک اتم گوگرد در مرکز پیوسته است.



کاربرد:

این گاز بی رنگ بی بو و اشتعال ناپذیر است و در آب به سختی حل می شود این گاز بازدارنده جرقه زنی در تجهیزات ولتاژ بالا استفاده می شود این گاز دارای استفامت عایقی ۲ تا ۳ برابر هوا است

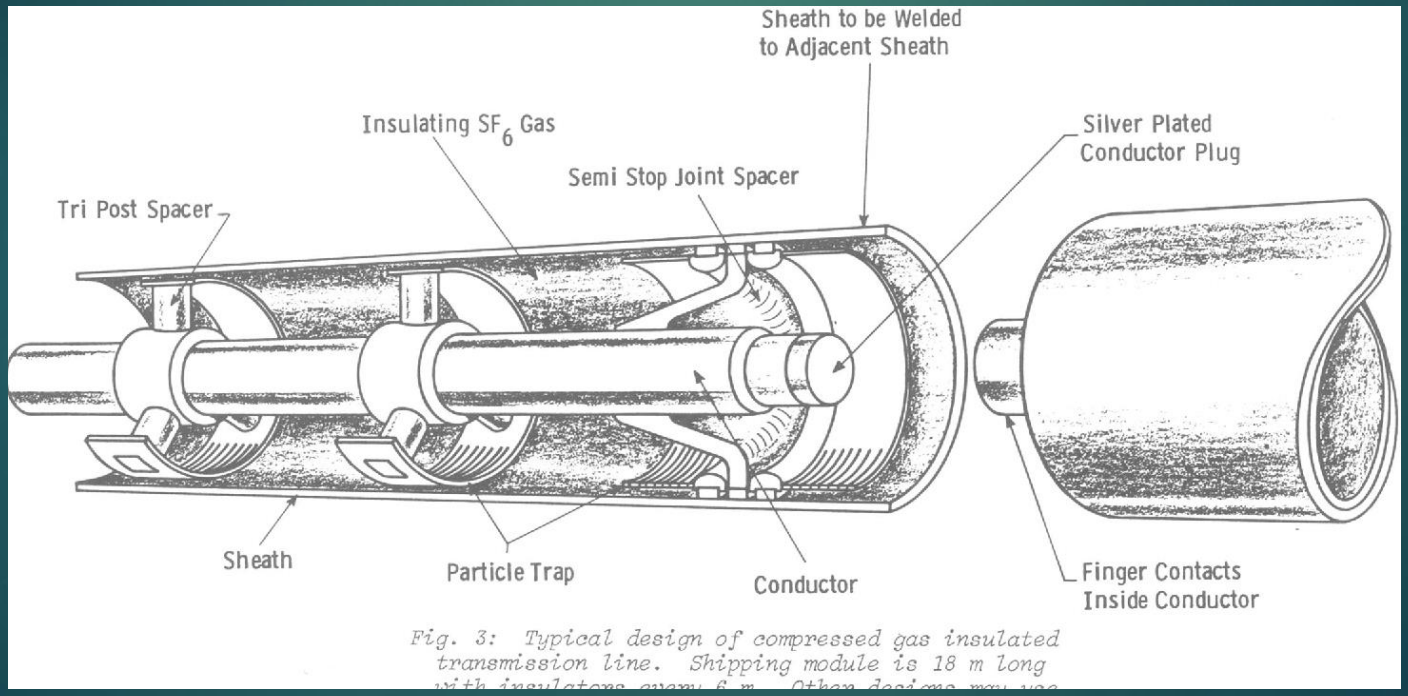


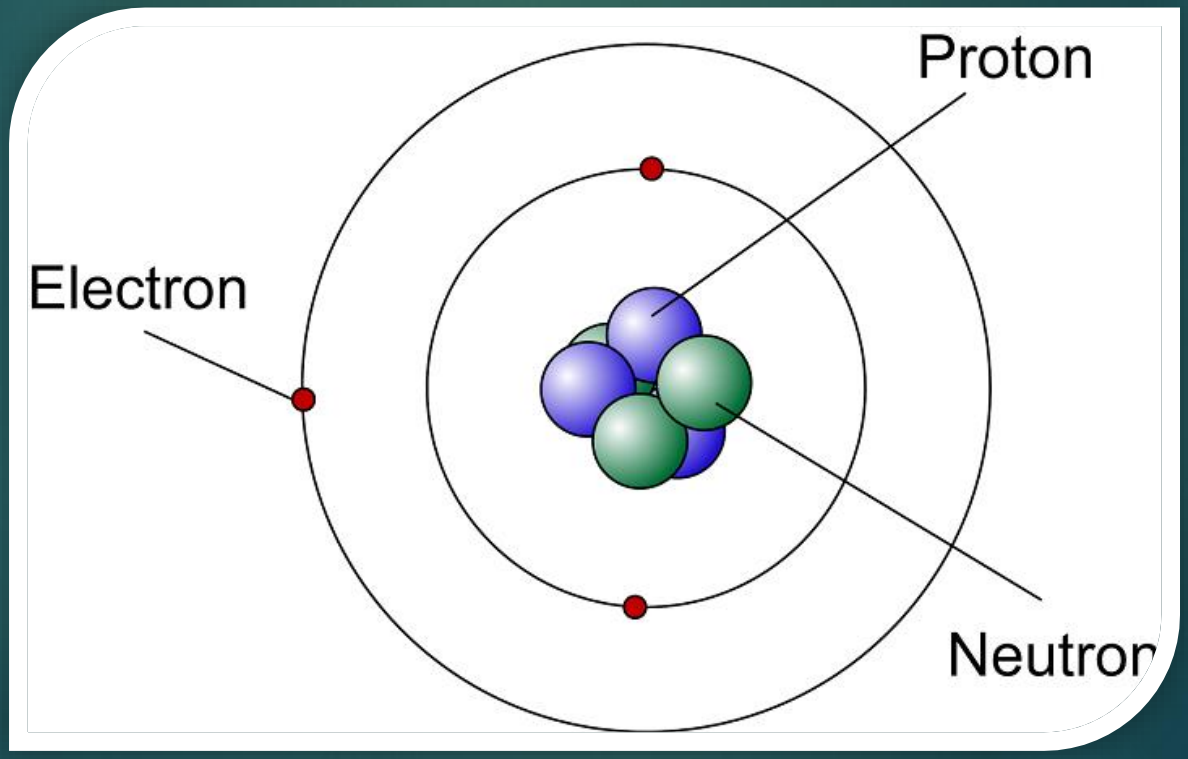
Fig. 3: Typical design of compressed gas insulated transmission line. Shipping module is 18 m long

انواع یونیزاسیون در گازها :

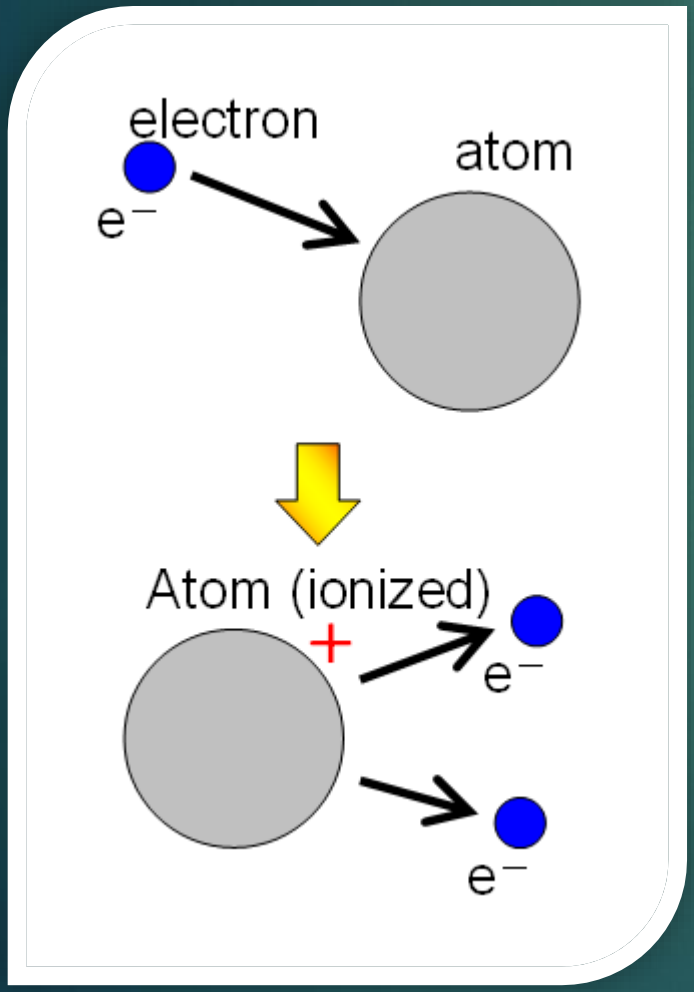
1) یونیزاسیون ضربه ای
2) یونیزاسیون نوری
3) یونیزاسیون حرارتی
4) یونیزاسیون سطحی

یونیزاسیون در گازها

عمل جدا شدن الکترون از اتم یا مولکول را یونیزاسیون و انرژی لازم برای انجام آن را انرژی یونیزاسیون می گویند.

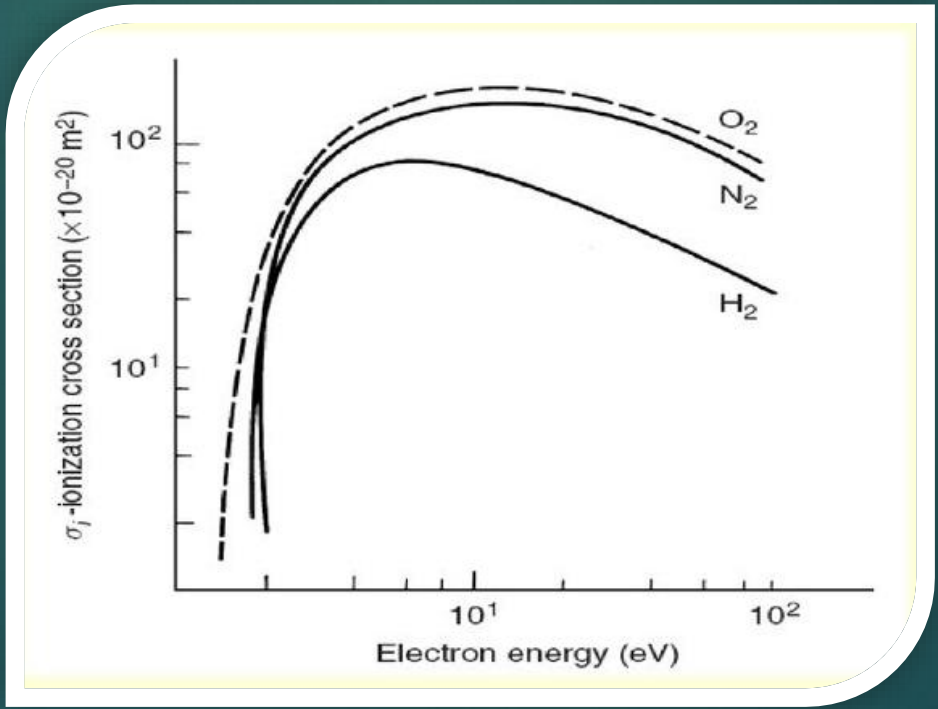


یونیزاسیون ضربه ای:



- اگر ذره ای مثل الکترون یا یک اتم پر انرژی با یک اتم یا مولکول خنثی در گاز برخورد کند انرژی خود را به آن اتم یا مولکول می دهد و اگر این انرژی آنقدر باشد که توانایی جدا کردن الکترون را از اتم خنثی داشته باشد آن را تبدیل به یون می کند . ذره ی برخورد کننده اگر از نوع الکترون یا یون باشد انرزی خود را می تواند از میدان کسب کند و نیز ممکن است برخورد در چند مرحله انجام شود یعنی بار اول ذره انرژی کافی برای جدا کردن الکترون را نداشته باشد و چون انرژی خود را به الکترون می دهد الکترون انرژی کمتری برای جدایی کامل نیاز دارد تا اینکه با برخوردی دیگر به طور کامل از اتم جدا می شود.

از طرفی تمام الکترون های پر انرژی قادر به یونیزاسیون کرده ملکول ها نبوده و این مرحله تابع احتمال است

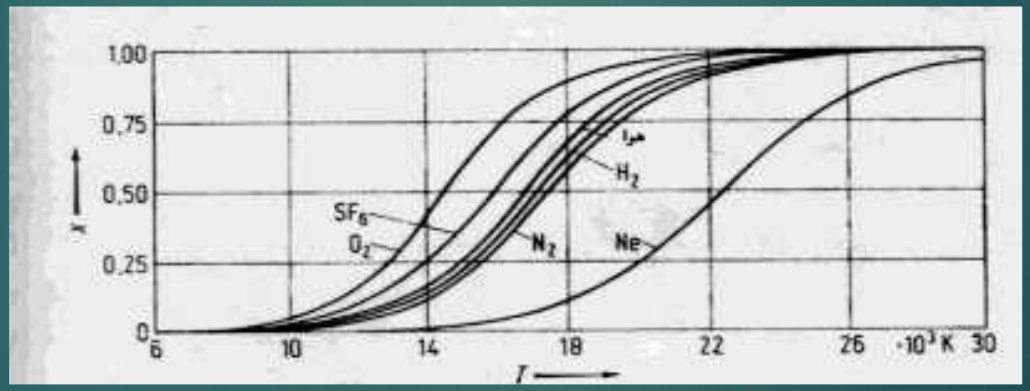


یونیزاسیون نوری:

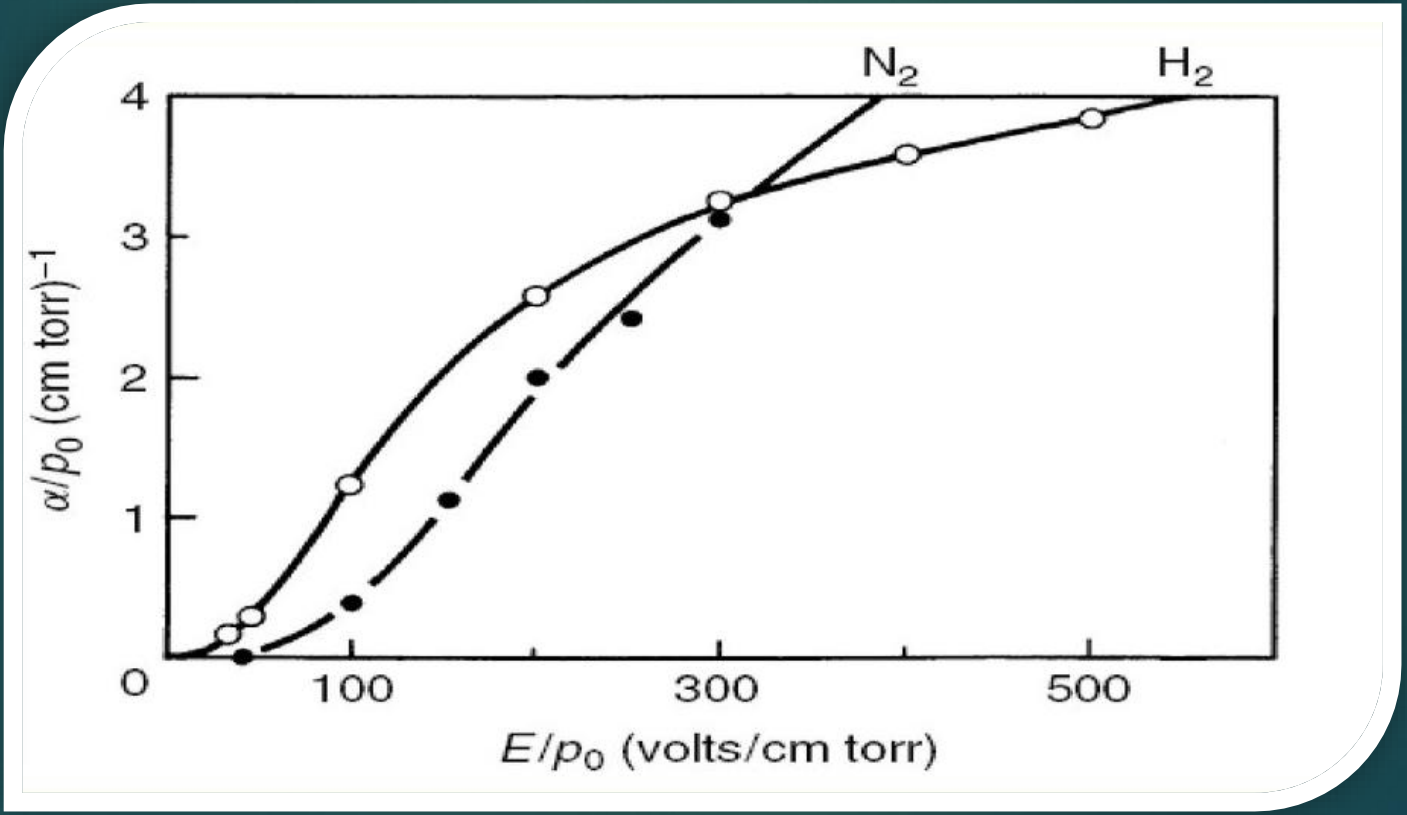
عامل دیگری که می تواند به الکترون انرژی لازم برای جدا شدن را بدهد ، امواج الکترومغناطیس با فرکانس بالا یا همان فوتون پر انرژی می باشد . مهمترین منبع برای یونیزاسیون نوری برگشت یون ها و مولکول های تحریک شده به وضعیت عادی است زیرا وقتی یک یون به اتم خنثی تبدیل می شود و نیز هنگامی که اتم یا مولکول تحریک شده به وضعیت عادی برگردد دچار افت انرژی می شود و قسمتی از این انرژی را به صورت فوتون از دست می دهد . موارد دیگری مانند پرتوهای کیهانی ویا اشعه ماورای بنفش خورشید نیز هستند که باعث می شود گازها مقدار کمی الکترون آزاد داشته باشد.

یونیزاسیون حرارتی:

طبیعتاً هر چه دمای گاز بالاتر رود سرعت حرکت مولکول های آن هم زیادتر و در نتیجه تعداد برخوردها بیشتر می شود اما دمایی که بتواند منجر به یونیزه شدن گاز شود دمای بسیار بالایی (چندین هزار درجه است) که در حالت عادی به این دما نمی رسد . یکی از مواردی که می تواند گاز را تا این حد گرم کند قوس الکتریکی است .



تابعیت α از فشار و درجه حرارت گاز



یونیزاسیون سطحی:

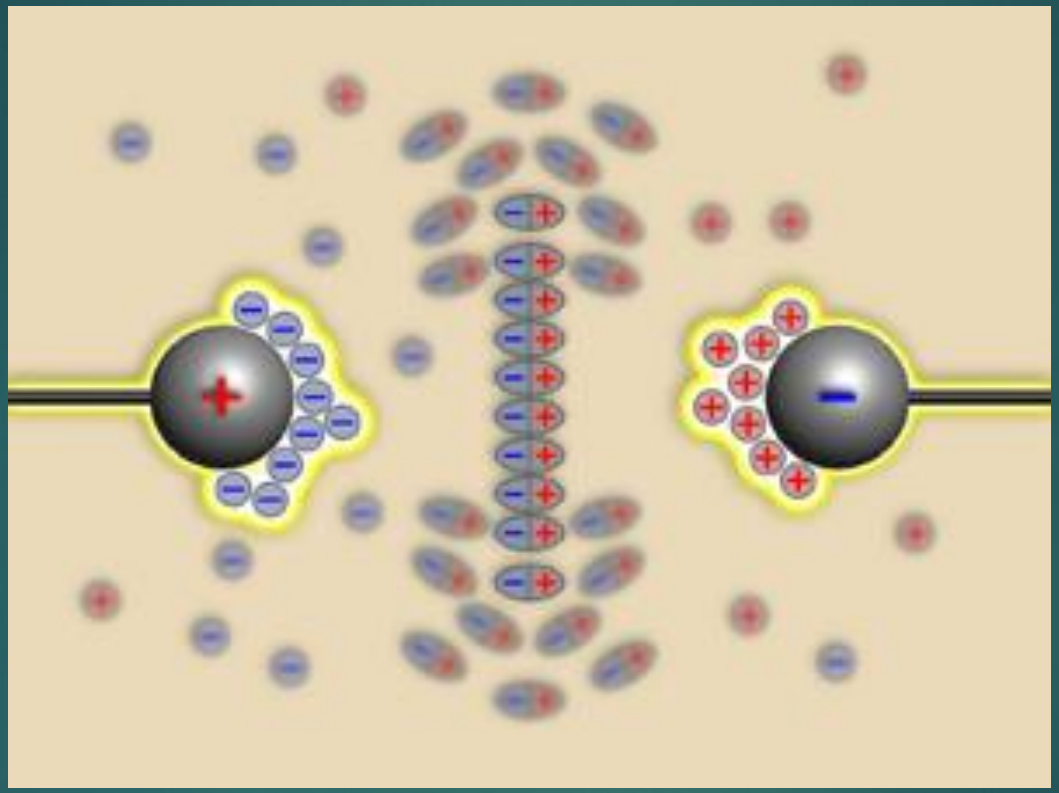
این پدیده در سطح تماس بین عایق گازی و الکترودهایی که در دو طرف آن قرار گرفته است به وجود می آید ، طوری که دیگر الکترون آزاد مربوط به گاز نیست بلکه الکترون از سطح الکترودها خارج می شود . البته تحت شرایط خاصی این اتفاق می افتد، چون نیروی بین شبکه یونی فلز و الکترودهای آزاد اجازه خروج الکترون را نمی دهد و باید الکترون انرژی لازم برای غلبه بر این نیرو را به دست آورد .

الف. فوتو هایی که دارای انرزی بیشتر از انرژی آزاد سازی باشند در صورت برخورد با الکترون ها می توانند آنها را از سطح فلز آزاد کنند . البته هیچ وقت تمام فوتونهای برخوردی این کار را انجام نمی دهند بلکه مقداری از آنها باز تابیده می شوند و مقداری نیز صرف گرم کردن فلز می شود.

ب. بمباران سطح کاتد توسط یونهای اتمهای تحریک شده هم می تواند منجر به خروج الکترون از سطح الکترود شود . یونها هنگام بوجود آمدن دارای انرژی جنبشی هستند که این انرژی هنگام برخورد با کاتد به الکترون منتقل و باعث جدا شدن آن از سطح کاتد می شود . حتی یونهایی که انرژی کافی ندارد هم هنگام برخورد با انتقال انرژی پتانسیل خود باعث جدا شدن الکترون می شوند(نحوه ی این نوع انتقال به درستی مشخص نشده ولی آزمایش آن را به اثبات رسانده)

از بین انواع یونیزاسیون نوع ضربه ای از اهمیت بالاتری برخوردار است زیرا نوع حرارتی نیاز به دمای خیلی بالا دارد .مانند دمای قوس الکتریکی که گازها در این دما قرار ندارند و گازها معمولاً در برابر امواج مغناطیسی با طول موج پایین قرار نمی گیرند و یونیزاسیون سطحی نیز نیاز به میدان الکتریکی خیلی قوی دارد تا به یون انرژی کافی بدهد

یونیزاسیون سطحی بین دو صفحه بار دار



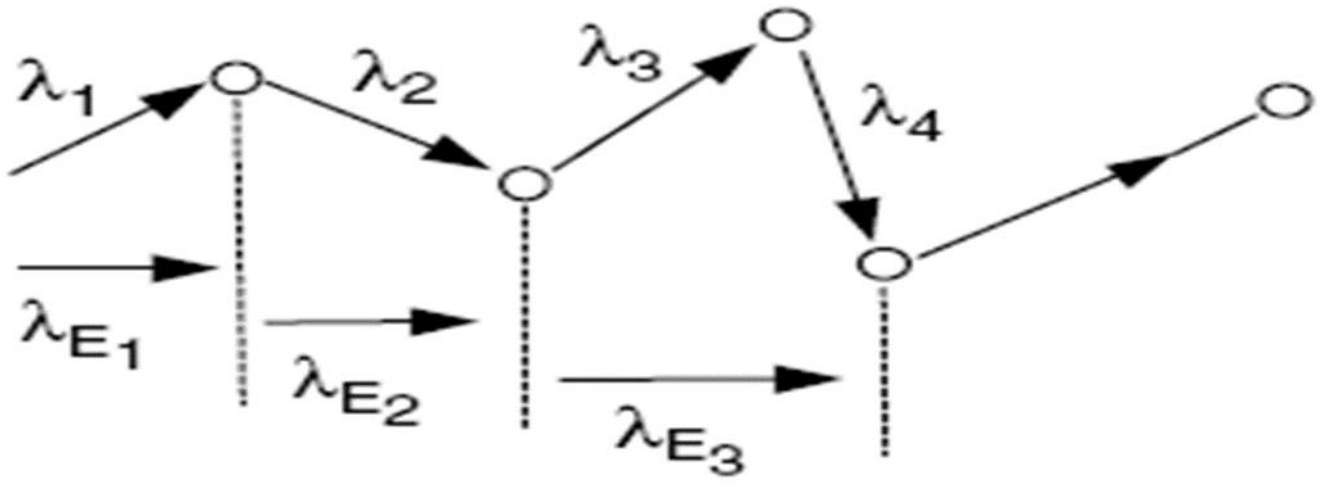
گاز های الکترونگاتیو:

در این گاز ها الکترون آزاد نیز می تواند با یک اتم خنثی ترکیب شود و اتم خنثی به علت داشتن یک الکترون اضافی و یک یون منفی تبدیل شود این خاصیت در تعدادی از گاز ها مانند اکسیژن ، کلر ، فلوئور ، SF_6 وجود دارند که به این گاز ها ، گاز های الکترونگاتیو می گویند

فاصله آزاد ذرات در گازها:

مسیر حرکت ذرات در گاز ها تقریبا به صورت خطی مستقیم است ولی ذرات گاز در هنگام حرکت بایکدیگر برخورد می کنند و در هنگام برخورد تبادل انرژی می کنند.

فاصله بین دو برخورد متوالی را فاصله آزاد می گویند.



فاصله آزاد متوسط برای چند گاز مختلف در دمای ۱۵ C و فشار ۷۶۰mmHg

نوع گاز	H2	O2	N2	CO2	H2O	مقیاس
متوسط فاصله آزاد مواکول	11/77	6/79	6/28	4/19	4/18	10^{-8}
متوسط فاصله ازاد الکترون	63	36	33	22	13	10^{-8}
وزن ملکولی	2/016	32	28/02	44	18	

ضریب تخلیه الکتریکی (چگونگی یونیزاسیون توسط الکترون ها و یون ها)

درست است که در گازها عمل برخورد انجام میشود اما تنها برخورد هایی به یونیزاسیون می انجامد که دارای انرژی کافی باشد

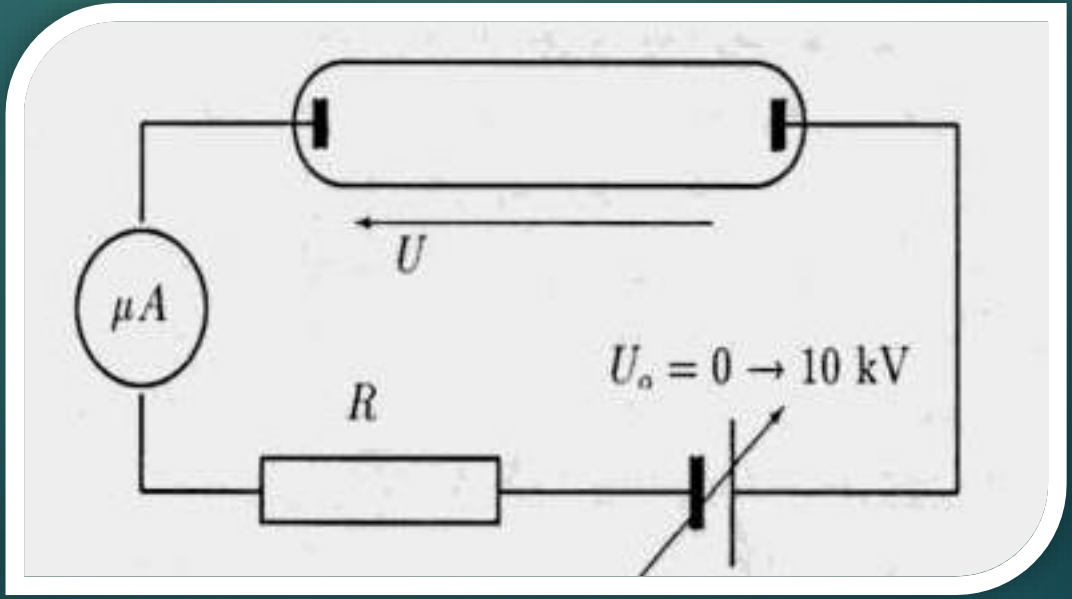
ضریب تانزند (ضریب تخلیه الکتریکی)

عبارت است از تعداد یونیزاسیون هایی که یک الکترون در طی مسیری برابر واحد طول مثلا یک سانتی متر در جهت میدان الکتریکی و در حجم گاز صورت می دهد (انگلیسی ها اثبات کردن)

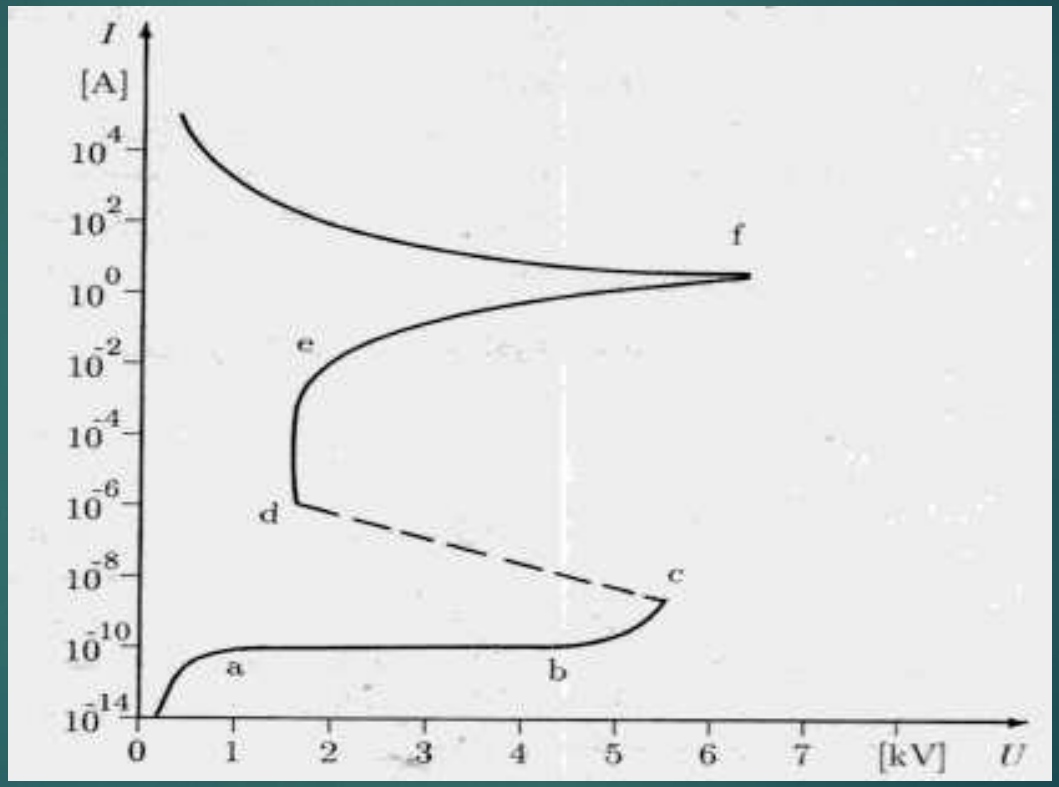
پدیده بهمن الکترونی و تخلیه الکتریکی تانزند:

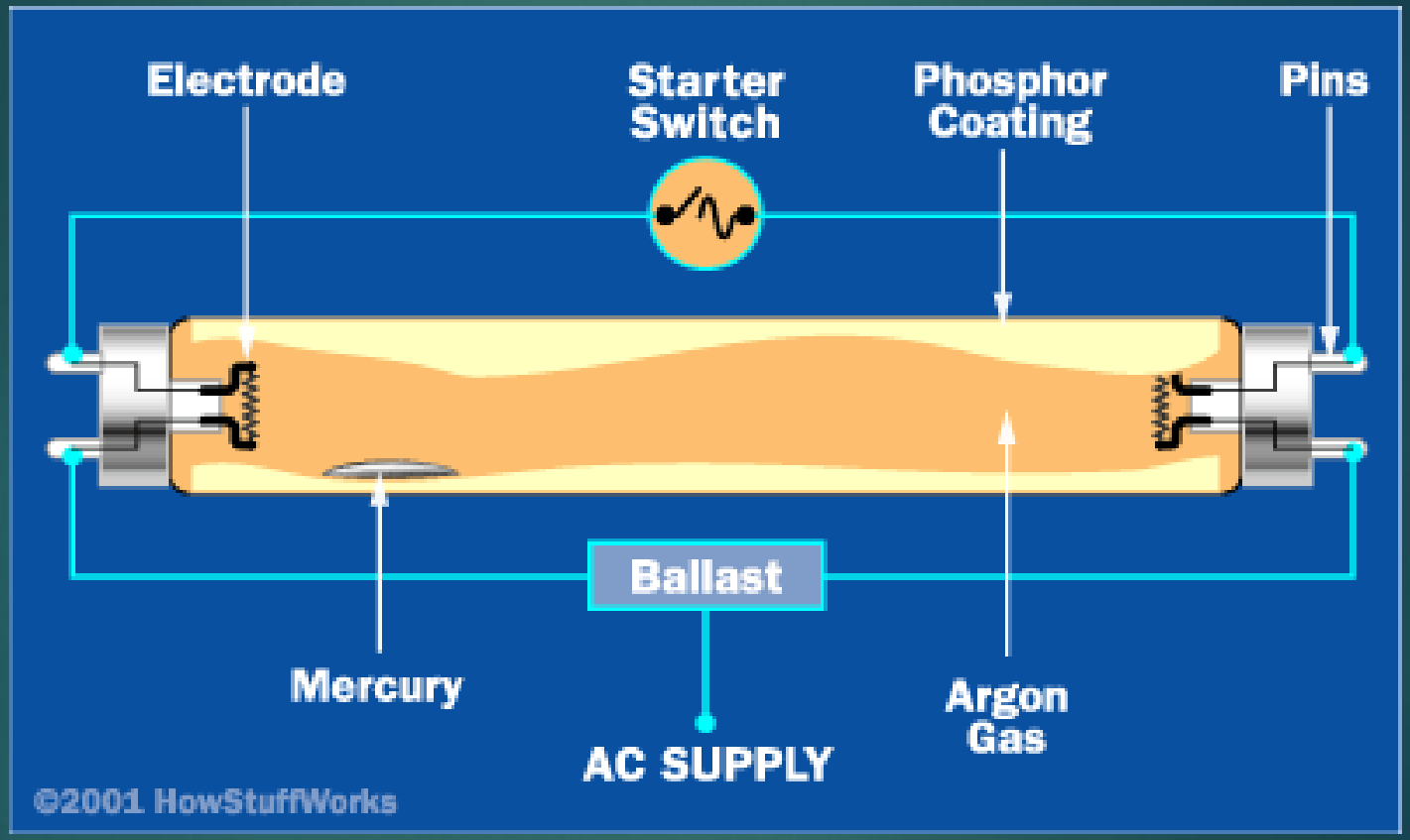
رابطه بین ولتاژ دو الکترود و جریان عبوری از هوا را نشان می دهد . در ولتاژ کم ، جریان بسیار کمی از گاز عبور می کند که متناسب با ولتاژ) تقریباً خطی (افزایش می یابد ، ولی این جریان در نقطه a به حد اشباع رسیده و دیگر با افزایش ولتاژ تغییر نمی کند .

به دلیل وجود الکترونها و یونهایی است که به دلیل عوامل a عبور جریان قبل از نقطه خارجی در گاز داخل محفظه به وجود می آیند



البته افزایش تعداد الکترونها و یونها در هوا نامحدود نمی باشد ، چرا که تعدادی از الکترونها در پروازهای خود بین مولکولها ،به یونها رسیده و با آنها خنثی می شوند. بنابراین همواره مقداری الکترون و یون بوجود می آیند که پس از برخورد با یکدیگر مجدداً خنثی می شوند و عمل خنثی شدن را ترکیب مجدد گویند.




Electrode
Starter Switch
Phosphor Coating
Pins
Ballast
Mercury
AC SUPPLY
Argon Gas
©2001 HowStuffWorks

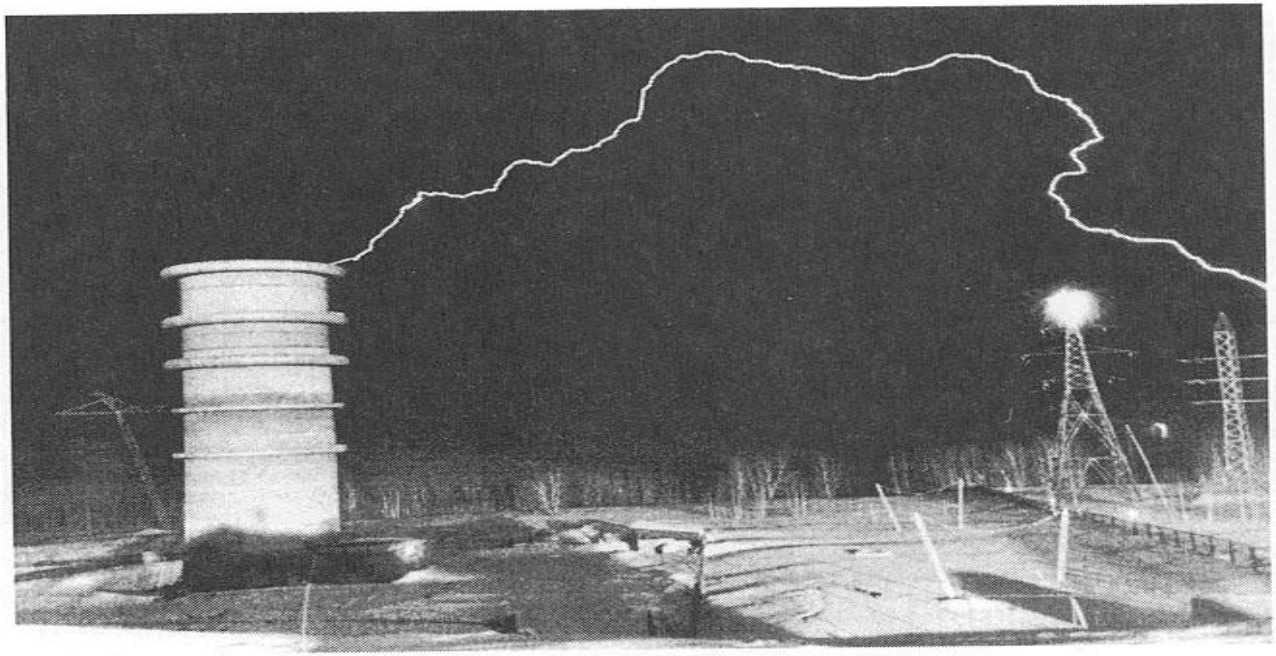
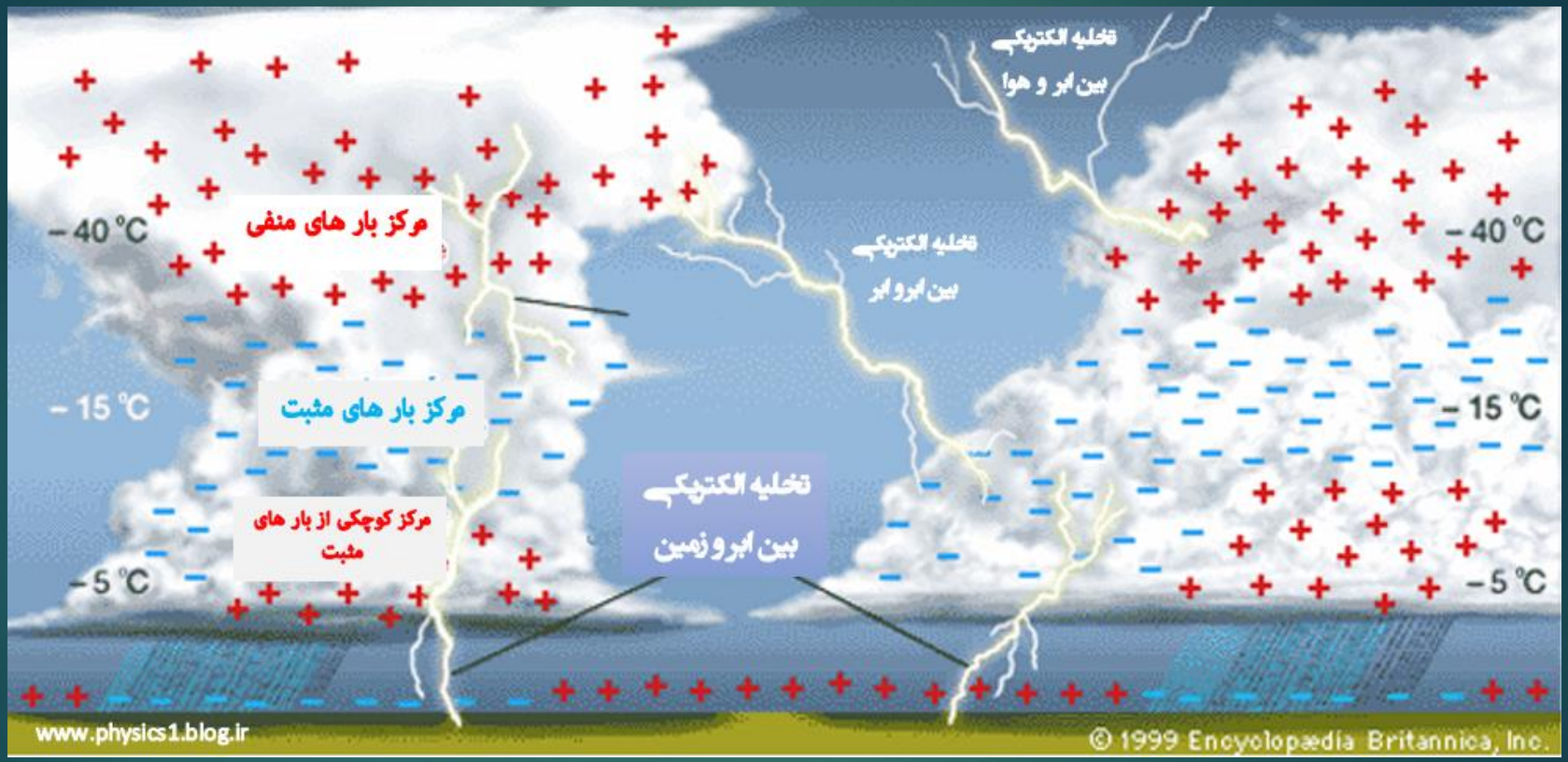
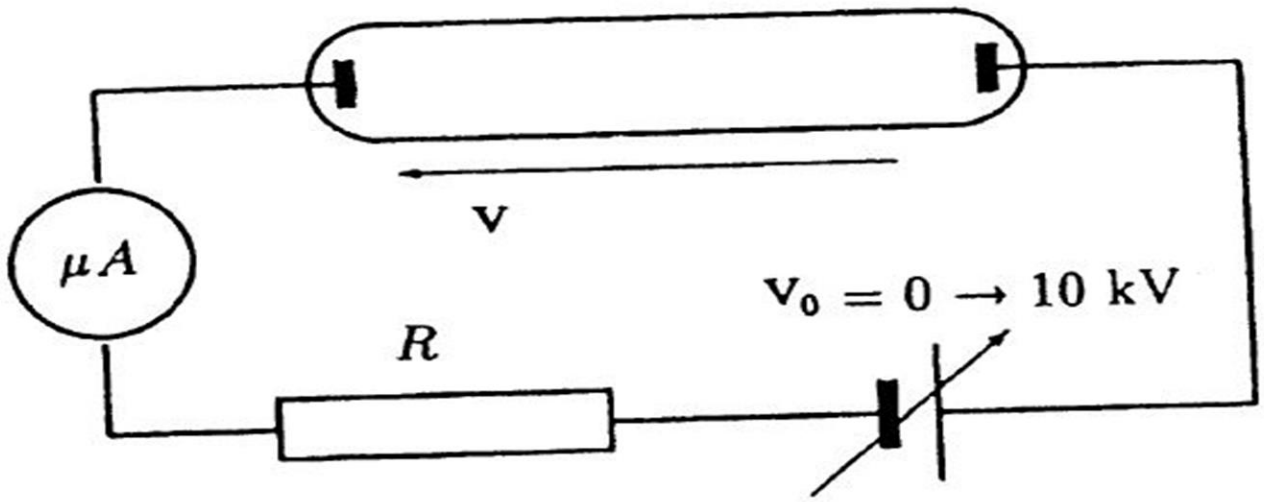


FIGURE 1.2
Superlong negative discharge to a 110 kV transmission line wire. Voltage pulse amplitude, 5 MV. Courtesy of A. Gaivoronsky and A. Ovsyannikov, the Siberian Institute for Power Engineering.


تخلیه الکتریکی
بین ابر و هوا
تخلیه الکتریکی
بین ابر و ابر
تخلیه الکتریکی
بین ابر و زمین
مرکز بار های منفی
مرکز بار های مثبت
مرکز کوچکی از بار های
مثبت
- 40 °C
- 15 °C
- 5 °C
- 40 °C
- 15 °C
- 5 °C
www.physics1.blog.ir
© 1999 Encyclopædia Britannica, Inc.

پدیده بهمن الکترونی و تخلیه الکتریکی تانزند :

مطابق شکل یک گاز را بین دو الکترود قرار می دهیم و الکترودها را از طریق یک مقاومت و آمپر متر سری در مدار به منبع ولتاژ دائم متصل می کنیم .

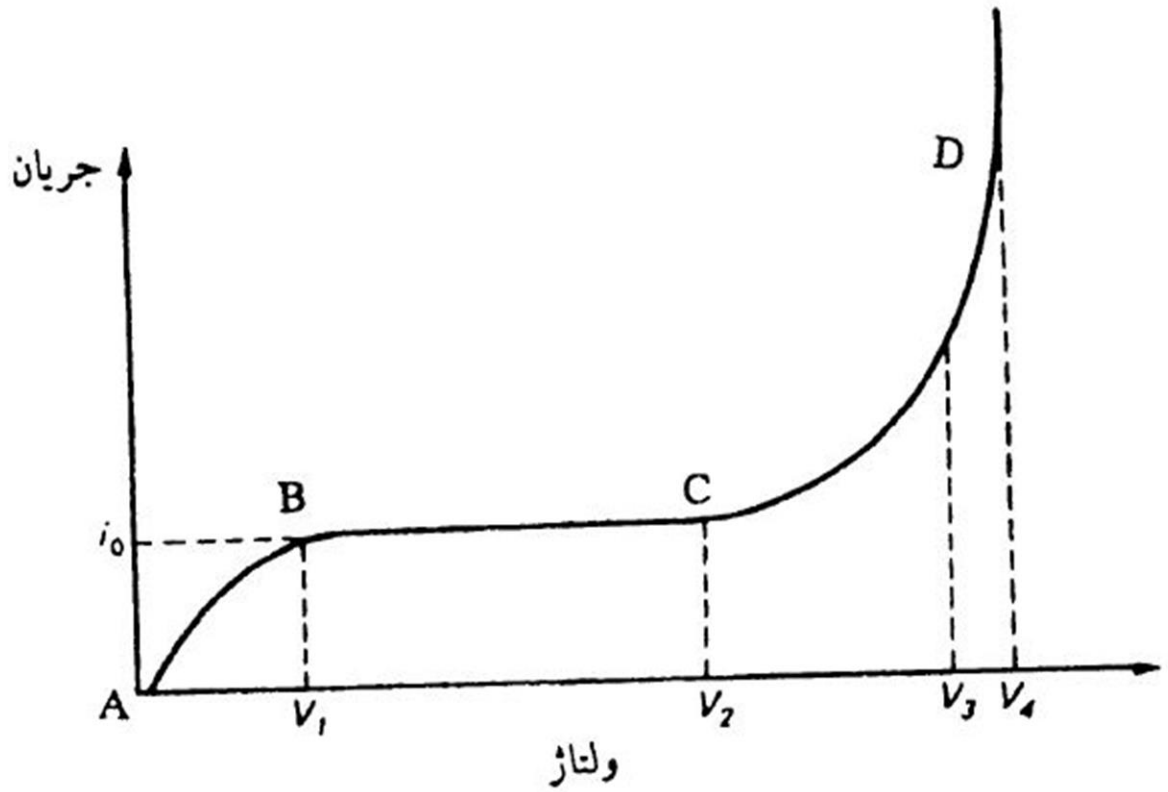


شکل (۲-۹): مدار آزمایش برای نشان دادن عبور جریان گاز

چون در اثر عوامل خارجی مانند اشعه های کیهانی و اشعه ایکس همواره تعدادی الکترون آزاد داخل گاز وجود دارد و یا از سطح الکترود کاتد صادر می شود با اعمال میدان الکتریکی ناشی از ولتاژ منبع الکترون های آزاد داخل گاز در خلاف جهت میدان تحت تاثیر نیرویی که از طرف میدان الکتریکی به آنها وارد می شود به طرف آند حرکت می کنند و مرتباً انرژی آنها توسط میدان زیادتر می شود تا زمانی که به یک مولکول برخورد کنند همچنین یون های مثبت داخل گاز به طرف کاتد و در جهت میدان حرکت می کنند در این بین تعدادی از الکترون ها و یون ها با هم ترکیب شده و اتم خنثی را تشکیل می دهند در اثر الکترون ها و یون های رسیده به آند و کاتد یک جریان در مدار برقرار می گردد که مقدار آن بسیار ناچیز است.

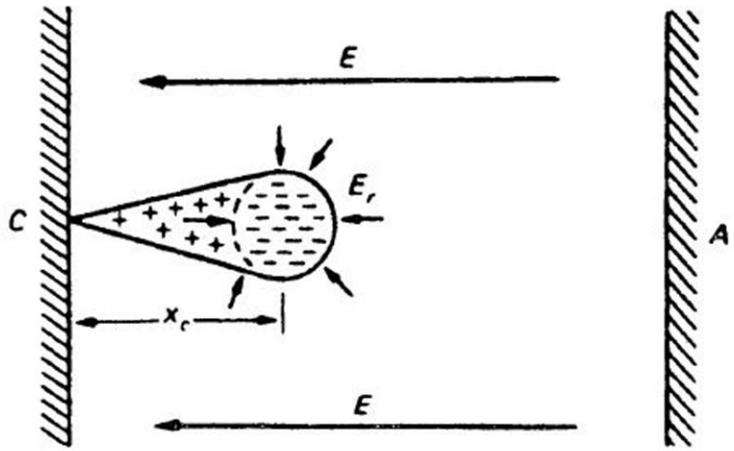
حال وقتی ولتاژ منبع را افزایش دهیم میدان الکتریکی داخل گاز زیادتر شده در نتیجه یون ها و الکترون ها با سرعت بیشتری و کسب انرژی زیادتری حرکت می کنند در این حالت الکترون ها و یون ها فرصت کمتری برای ترکیب مجدد دارند و تعداد زیادتری الکترون و یون به آند و کاتد می رسد بنابراین جریان بیشتری به وسیله آمپرمتر سنجیده می شود این افزایش جریان در اثر افزایش ولتاژ یک رابطه تقریباً خطی است (قسمت AB در مشخصه ولتاژ- جریان)

هنگامی که ولتاژ عایق به V1 می رسد با افزایش ولتاژ منبع جریان الکتریکی در مدار تقریباً ثابت می ماند و به حالت اشباع می رسد (قسمت B تا C) در این حالت جریان مستقل از ولتاژ دو سر الکترود می گردد زیرا از ولتاژ V1 تا V2 هرچه الکترون و یون به واسطه عوامل خارجی در گاز وجود دارند به آند و کاتد می رسند و بیش از این ذرات بارداری وجود ندارد در این حالت اگر فقط شدت عوامل خارجی افزایش یابد مقدار این جریان اشباع بیشتر می شود حال اگر باز هم ولتاژ را افزایش دهیم با افزایش شدت میدان الکترون های آزاد داخل گاز آنقدر انرژی کسب می کنند که می توانند در مسیر خود در برخورد با مولکول های گاز آنها را یونیزه کنند و الکترون های آزاد جدیدی را به وجود آورند این الکترون ها آزاد نیز از میدان انرژی کسب می کنند ودر مسیر خود به طرف آند الکترون های جدیدتری را به وجود می آورند.



شکل (۲-۱۰): رابطهٔ بین جریان و ولتاژ قبل از وقوع جرقّه

بدین ترتیب به صورت تصاعدی تعداد الکترون ها و یون های مثبت داخل گاز افزایش پیدا میکند و یک بهمن الکترونی تشکیل می شود الکترون های آزاد به دلیل جرم کمتر و همچنین سرعت زیادتر در سر پهن و کروی شکل این بهمن قرار می گیرند و همچنین یون های مثبت در دنباله مخروطی شکل آن قرار می گیرند.



شکل (۲-۱۱): شکل کلّی یک بهمن الکترونی

جریان تخلیه الکتریکی غیر مستقل :

این مقطع از یونیزاسیون و تخلیه الکتریکی در گاز را مستقل می گویند زیرا در این مقطع برای ادامه یونیزاسیون باید الکترون یا الکترون های اولیه توسط عامل خارجی به وجود آید.

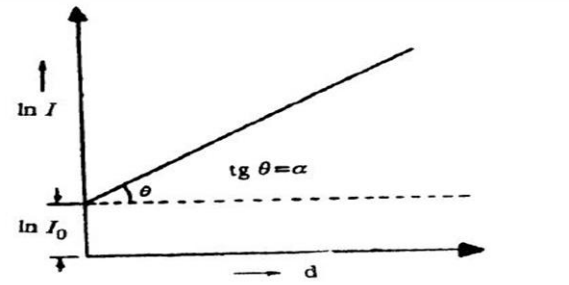
$$I = I_{\circ}\, e^{\alpha d}$$

d :فاصله بین الکترودها

α : ضریب یونیزاسیون اول تانزند

oI:جریان مربوط به الکترون های آزاد اولیه

ارتباط جریان تخلیه الکتریکی غیر مستقل با فاصله اکترودها :



شکل (۲-۱۳): رابطهٔ خطّی بین **ln I** و فاصلهٔ الکترودها

تخلیه الکتریکی مستقل :

با افزایش ولتاژ در مدار آزمایش شکل قبل، میدان الکتریکی داخل گاز قوی تر می شود و الکترون های آزاد بیشتری در داخل گاز در اثر یونیزاسیون تولید می شود و بالطبع تعداد الکترون های آزاد رسیده به آند و یون های مثبت رسیده به کاتد به طور ناگهانی افزایش می یابد در نتیجه یک جریان تخلیه الکتریکی زیادی توام با جرقه و شکست کامل گاز به وجود می آیدو به دلیل هادی شدن عایق گازی جریان تخلیه افزایش و ولتاژ دو سر عایق افت شدیدی پیدا می کند.

ولتاژ لازم برای شروع تخلیه الکتریکی مستقل را ولتاژ شکست یا ولتاژ جرقه می گویند.

محاسبه جریان تخلیه الکتریکی مستقل:

تعداد الکترون های آزاد شده از سطح کاتد به وسیله برخورد یک یون مثبت به کاتد را ضریب یونیزاسیون دوم تانزند می گویند و با γ نشان می دهند.

انرژی کسب شده توسط یون های مثبت نیز مانند الکترون ها تابعی از شدت میدان الکتریکی و فشار گاز است.

$$\gamma = f(\frac{E}{P})$$

P : فشار گاز

E : شدت میدان

آزاد سازی الکترون از سطح کاتد به وسیله یون های مثبت را صدور ثانویه الکترون می گویند و الکترون های آزاد شده آن را الکترون های ثانویه می گویند.

ولتاژ شکست گاز در میدان های الکتریکی یکنواخت (قانون پاشن) :

در یک میدان الکتریکی یکنواخت با ولتاژ V و فاصله بین الکترودها برابر d، شدت میدان الکتریکی برابر است با :

$$E = \frac{V}{d}$$

برای فشار معین P در گاز و فاصله ثابت d بین الکترودها، در یک حداقل ولتاژ معینی مانند Vb شرط زیر برقرار می شود که به آن ولتاژ شکست گاز یا ولتاژ جرقه گاز می گویند.

$$f_2\left(\frac{V}{P.d}\right)\left[e^{P.d\,f_1\left(\frac{V}{P.d}\right)} - 1\right] = 1$$

قانون پاشن :

از رابطه فوق نتیجه می گیریم که ولتاژ شکست گاز تابعی از حاصل ضرب P.d است یعنی :

$$V_b = F(p.d)$$

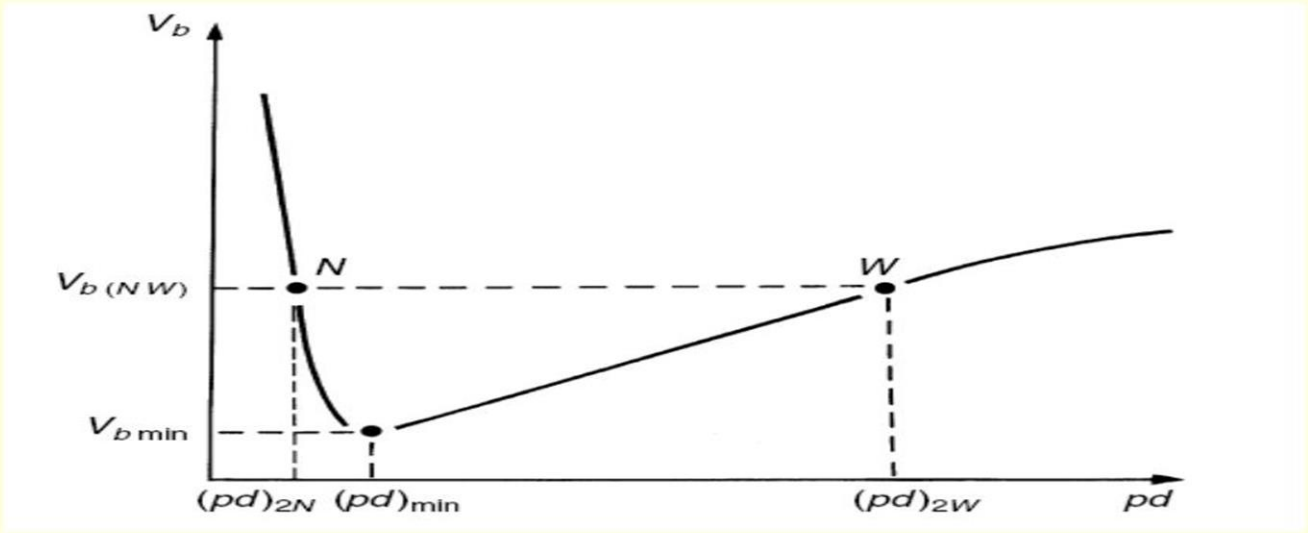
این بدین معنی است که برای دو میدان الکتریکی که در یکی از آنها فاصله d بزرگ ولی فشار P کم است و برای دیگری بر عکس فاصله d کوچک باشد و فشار P زیاد به طوری که حاصل ضرب P.d یکسان باشد ولتاژ شکست در هر دو یکسان خواهد بود این میدان ها را میدان های مشابه می نامند.

$$V_b = \frac{B\ P.d}{\ln\left[\frac{AP.d}{\ln\left(1+\frac{1}{\gamma}\right)}\right]}$$

ولتاژ شکست گاز در میدان های یکنواخت برابر است با:

منحنی پاشن :

منحنی ولتاژ شکست گاز بر حسب P.d مطابق شکل زیر برای هر گازی و برای جنس معین کاتد به دست می آید به این منحنی به اصطلاح منحنی پاشن می گویند.



حداقل ولتاژ شکست :

حداقل ولتاژ شکست به صورت زیر به دست می آید :

$$V_{bmin} = B \,.\, (P.d)_{min}$$

هرچه فشار گاز بالاتر رود جنس الکترود اهمیت بیشتری پیدا می کند

گازها در Pd های خیلی کم و Pd های خیلی زیاد از استقامت بالایی برخوردارند و در یک Pd معین کمترین استقامت الکتریکی را دارند.

۱- وضعیت $(P.d)_{min} > (P.d)$

با کم فشار بیش از حد و یا کم شدن فاصله الکترودها ولتاژ شکست گاز افزایش می یابد زیرا با کم شدن فشار گاز فاصله آزاد الکترون ها زیاد می شود و درنتیجه تعداد برخورد های الکترون با مولکول های گاز کاهش می یابد.

۲- وضعیت $(P.d)_{min} < (P.d)$

با زیاد شدن فشار گاز با فرض ثابت بودن فاصله بین الکترودها ولتاژ شکست افزایش می یابد زیرا با زیاد شدن فشار گاز فاصله آزاد الکترون ها به شدت کاهش یافته و الکترون ها برای اینکه بتوانند با طی این فاصله آزاد کوچک انرژی لازم را برای یونیزاسیون گاز به دست آورند باید در یک میدان الکتریکی خیلی قوی قرار بگیرند بنابراین ولتاژ شکست گاز افزایش می یابد.

۳- وضعیت $(P.d) = (P.d)_{min}$

در حوالی P.d های نزدیک به P.d min فاصله آزاد الکترون ها به حدی است که با یک میدان الکتریکی نسبتا پایین انرژی لازم برای یونیزاسیون مولکول های گاز توسط الکترون ها کسب می شود و چگالی مولکول ها نیز به حدی است که تعداد برخوردهای منجر به یونیزاسیون زیاد بوده بنابراین در ولتاژ نسبتا کوچک شکست کامل گاز (تخلیه الکتریکی مستقل) ایجاد می شود از این خاصیت گازها در لامپ های گازی و برقگیرها نیز استفاده می شود.

ولتاژ شکست گازهای الکترو نگاتیو :

اتم ها و مولکول های بعضی از گازها خاصیت الکترون پذیری دارند و پس از کسب الکترون آزاد تبدیل به یون منفی می شوند. اتم این گازها در مدار آخر خود یک الکترون کم دارند و تمایل آنها به دریافت الکترون به همین دلیل است. یون منفی به دلیل جرم زیاد، تحرک و سرعت کم تری دارند. به دلیل داشتن میانگین فاصله آزاد کوتاه تر در یونیزاسیون نقشی را ایفا نمی کنندو مانند این است که آن الکترون از دست رفته باشد. بنابراین امکان یونیزاسیون در گاز کمتر شده و موجب افزایش استقامت عایقی این دسته از گازها می شود.

گازSF6 مهمترین گاز الکترو نگاتیو و در صنعت برق مصارف زیادی به عنوان عایق گازی دارد.

محاسبه ولتاژ شکست هوا و گاز SF6 :

برای گاز هوا رابطهٔ تجربی زیر به‌نام "رابطهٔ شومن"[11] در محدودهٔ $24/4\text{kV/(bar.cm)} \le E/P \le 60\text{kV/(bar.cm)}$ صادق است:

$$\frac{\bar{\alpha}}{P} = \frac{\alpha - \eta}{P} = C\left[\left(\frac{E}{P}\right) - \left(\frac{E}{P}\right)_c\right]^2 \qquad (۶۵-۲)$$

۲-۵-۶-۲- محاسبهٔ ولتاژ شکست گاز SF6

برای گاز SF6 در محدودهٔ $87/7\text{kV/(bar.cm)} \le E/P \le 120\text{kV/(bar.cm)}$ رابطهٔ تجربی زیر صادق است:

$$\frac{\bar{\alpha}}{P} = C\left[\left(\frac{E}{P}\right) - \left(\frac{E}{P}\right)_c\right] \qquad (۷۳-۲)$$

شکست الکتریکی گازها در ولتاژ های متناوب :

در صورتی که به جای ولتاژ دائم یک ولتاژ متناوب سینوسی با فرکانس f را به یک گاز اعمال کنیم آنگاه چنانچه فرکانس ولتاژ اعمالی کم باشد در هر نیم سیکل که پلاریته قطب ها عوض می شود یک یونیزاسیون و تخلیه الکتریکی مستقل به وجود می آید بنابراین ولتاژ شکست گاز با چنین ولتاژ متناوبی با ولتاژ شکست گاز مربوط به ولتاژ دائم تقریباً برابر است حال اگر فرکانس ولتاژ متناوب اعمالی به گاز از یک مقدار فرکانس بحرانی fcr زیادتر شود ولتاژ شکست گاز کاهش می یابد دلیل آن هم این است که با افزایش فرکانس سرعت تعویض پلاریته قطب ها به حدی زیاد می شود که در هر نیم سیکل تعدادی از یون ها مثبت به دلیل سنگینی و سرعت کم آنها و به علت زمان بسیار کم یک نیم سیکل زمان کافی برای رسیدن به کاتد را نمی یابند و به دلیل تجمع فضایی تعدادی یون مثبت در فضای بین الکترودها شدت میدان در نقاط بین الکترودها تقویت شده و موجب کاهش ولتاژ لازم برای شکست گاز می شود.

پایان