



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة القادسية - كلية التربية
قسم الفيزياء

ايجاد مخطط باشن لمنظومة التفريغ التوهجي

بحث تقدم به الطالبين

زهراء ضرغام هاشم رواء فليح حسن

إلى مجلس قسم الفيزياء كلية التربية
وهو جزء من متطلبات نيل درجة البكالوريوس
علوم في الفيزياء

بإشراف

الدكتور: أحمد حميد

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
﴿قَالُوا سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا
عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ﴾

صدق الله العلي العظيم

[سورة البقرة: الآية ٢٢]

إهداء

إلى...
الفتاح لما أغلق * والخاتم لما سبق * والناصر للحق بالحق *
والهادي إلى الصراط المستقيم * سيد الخلق وحبیب الحق * نبينا
محمد عليه وعلى آله وصحبه أفضل الصلاة والتسليم *

إلى...
من أوصى الله بطاعتها.... والدي العزيزين * حسباً وتقديراً
وعرفاناً بالجميل *

إلى...
كل من ساندني وأزرنى خطوة بخطوة على هذا الطريق * رمز
النقاء والوفاء * والمحبة ونبض القلب * أصدقائي وأخوتي

إلى...
كل قلب خفق * حباً * ووفاءً *
إلى استاذتي الأفاضل وكل من ساهم في تعليمي *
أهدي ثمرة جهودي وأرجو قبولها

شكر وتقدير

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الخلق والمرسلين الرسول الكريم محمد وعلى آله الطيبين الطاهرين.

أتوجه بالشكر الجزيل إلى جميع أساتذتي الأفاضل في قسم الفيزياء كلية التربية جامعة الغامسية الذين بذلوا جهداً في توجيهي وأمدادي بما احتجت إليه من النصيحة.

وأرى أن أقف شاكراً لأستاذي الفاضل الدكتور أحمد حميد الذي بذل جهده معي وأعانني ووجهني في كتابتي لهذا البحث فكان نعم المعين والموجه، فجزاه الله عني خيراً.

وأشكر كل من ساعدني وأعانني من الأصدقاء على إنجاز هذا البحث فلهم في النفس منزلة وإن لم يسعف المقام لذكورهم، فهم أهل للفضل والخير والشكر.

الصفحة	الموضوع	ت
2	المقدمة	1
3	التأين والتفريغ الغازي (Ionization and gaseous discharge)	1
3	عمليات التأين في التفريغ الغازي (Ionization processes in gas) (discharges)	2-1
4	لتأين بالتصادم البسيط (Ionization by simple collision)	1-2-1
5	التأين بعملية الاثارة (Excitation)	-2-1 2
5	التأين بالتصادم المضاعف للإلكترون (Ionization by Double) (electron impact)	-1 -2 3
6	التأين الضوئي (Photo-ionization)	-1 -2 4
6	التأين بربط الإلكترون (Electron Attachment)	-1 -2

		5
6	التأين بفصل الالكترون (Electron detachment)	-1 -2 6
8	مميزات الانهيار الغازي (breakdown Characteristic in gases)	4-1
8	ميكانيكية التكتل الالكتروني (عملية انهيار تاونسند) Electron Avalanche Mechanism (Townsend Breakdown Process)	5-1
9	معامل الاول لتأين تاونسند (Townsend's first ionization coefficient).	6-1
15	قانون باشن (Paschen's Law):	7-1
21	الآلية الانهيار الشراري (The streamer breakdown)	8-1

		:(mechanism	
23		العوامل المؤثرة على فولتية الانهيار في الفراغ : Factors affecting the breakdown voltage a Vacuum) gap	9-1
27		تأخيرات زمنية من انهيار الشرارة (Time lags of Spark) (breakdown	10-1
29		تأخر الزمن الاحصائي (Statistical Time lag)	-1 11
		الفصل الثاني	
31		المقدمة	
31		منظومة التفريغ	1-2
31		حجرة التفريغ	-1-2 1

32	FLANGE الشفة	-1-2 2
32	مقياس ضغط الفراغ	-1-2 3
33	مجهز القدرة	-1-2 4
33	قنينة الغاز	-2 5-1
34	مضخة الفراغ	-1-2 6

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة عملية لمنحني باشن لمنظومة تفريغ الكهربائي والخاصة بغاز ثاني اوكسيد الكربون حيث ان المنظومة مصنعة محليا ومن مواد متوفرة وبديلة عن الاجهزة المختبرية الغالية الثمن .والتي تشمل حجرة التفريغ الزجاجية ذات الابعاد (15سم المختبرية الغالية الثمن .والتي تشمل حجرة التفريغ الزجاجية ذات الابعاد (15سم، 10سم، 6ملم) كما استخدم مجهر قدرة للفولتية العالية وهو مصنع محليا (3000فولت، 200مل امبير) ولقياس الضغط استخدمنا مقياس بيراني بوحدة التور ،اما الاقطاب فقد صنعت من مادة الالمنيوم وبقطر (3سم) وقد اخذت قيم مختلفة لضغط الغاز والمسافة بين الاقطاب لغرض الحصول على مخطط باشن الخاص بهذه الحجرة .

الفصل الأول

المقدمة

قانون باشن (Paschen's law) هو معادلة تعطي جهد الانهيار ، أي الجهد اللازم لبدء التفريغ أو القوس الكهربائي ، بين قطبين في الغاز كدالة للضغط وطول الفجوة. سميت على اسم فريدريش باشن الذي اكتشفها تجريبيا في عام 1889. درس باشن الجهد الكهربائي لانهيار مختلف الغازات بين الصفائح المعدنية المتوازية مع تباين ضغط الغاز ومسافة الفجوة. مع طول الفجوة الثابت ، انخفض الجهد اللازم للقوس عبر الفجوة مع انخفاض الضغط ثم زاد تدريجيا ، وتجاوز قيمته الأصلية. مع الضغط المستمر ، خفض الجهد اللازم للتسبب في قوس القوس مع تقليل حجم الفجوة ولكن فقط إلى نقطة معينة. ومع انخفاض الفجوة بشكل أكبر ، بدأ الجهد المطلوب لإحداث قوس في الارتفاع وتجاوز مرة أخرى قيمته الأصلية. بالنسبة للغاز المعطى ، فإن الجهد هو وظيفة فقط لمنتج الضغط وطول الفجوة. ويطلق على المنحنى الذي وجده في الجهد مقابل منتج طول الفجوة الضاغطة (يمين) منحنى باشن. وجد معادلة تناسب هذه المنحنيات ، والتي تسمى الآن قانون باشن. عند الضغط العالي وأطوال التجوات ، يكون جهد الانهيار متناسبا تقريبا مع ناتج الضغط وطول الفجوة ، ويستخدم أحيانا مصطلح قانون باشن للإشارة إلى هذه العلاقة البسيطة. ومع ذلك ، هذا صحيح فقط ، على مدى محدود من المنحنى.

1-التأين والتفريغ الغازي (Ionization and gaseous discharge):

المواد العازلة بصورة عامة تعرف بأنها مواد تبقى المجال الكهروستاتيكي فيها تقريبا غير معروف ، وتبدي مقاومة كبيرة لعبور التيار من خلاله ولا تطبق تسليط جهد عال الذي بوجوده تفقد خاصية العزل الكهربائي ، وتكون اما غاز او سائل او صلب. والعوازل الغازية لا تخلو من وجود جسيمات مشحونة كهربائيا خاصة الكترونات حرة التي تنتج من التشعيع او تنبعث من المجال مما يؤدي الى بداية عملية الانهيار ، وتتعمل هذه الالكترونات بواسطة المجال المسلط من الكاثود الى الانود بطاقة حركية $(1/2)mv^2$ وتتصادم مع جزيئات الغاز بين القطبين وبذلك تفقد بعضا من طاقتها بينما تمتص البعض الاخر من قبل الجسيمات المحايدة ، فعندما تكتسب هذه الجسيمات طاقة كافية (اكبر من طاقة الالكترونات اللازمة لحدوث التأين) عندئذ يمكنها ان تتأين بواسطة التصادمات (الكترون - جسيم محايد).

الالكترونات المتحررة الجديدة والمتصادمة تتعجلان بالمجال ثانية حيث تتولد انهيار الكتروني عندها ، ومن الواضح انه بتزايد الجهد المسلط تتزايد عملية تايين الجسيمات وتكون سريعة حيث تحدث عمليات تأين ثانوية وصولا الى عملية الانهيار اخيرا.[1]

1-2 عمليات التأين في التفريغ الغازي (Ionization processes in gas discharges)

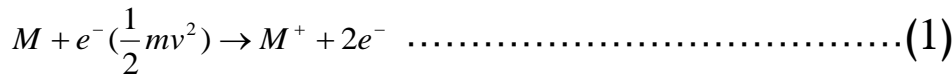
الانهيار الكهربائي في الغاز تحدث بعمليات تأين مختلفة ك (التأين بتصادم الالكترونات مع بعضها او تصادم الايونات والفوتونات مع جزيئات الغاز والتأين عند سطح القطبين و....الخ) وهي عملية تحول التفريغ الغازي من تفريغ تابع الى تفريغ ذاتي (يستمر فيه تأثير المؤين الخارجي حتى بعد رفعه).

والتأين بصورة عامة عملية خروج الإلكترون من الذرة تاركا اياه كايون موجب ولا شك ان الإلكترون في المدار الخارجي تكون احتمالية خروجه اكبر وأسهل بعمليات التصادم والطاقة اللازمة لحدوث ذلك تسمى طاقة التأين الاولى (first ionization potential).

وتقسم هذه العمليات الى :-

1-2-1 التأين بالتصادم البسيط (Ionization by simple collision):

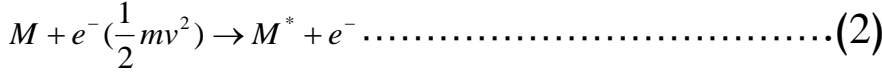
وتحدث عندما تتجاوز طاقة الإلكترون ($\frac{1}{2}mv^2$) المتصادم مع جزيئة الغاز طاقة تأينها ($E_i = eV_i$) وتنتج عنها ايون موجب وإلكترونين بطيئين :



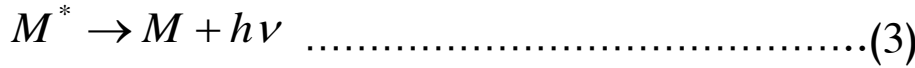
واحتمالية حدوث هذه العملية تكون مساوية الى الصفر في حال تساوي الطاقتين (الإلكترون وجزيئه الغاز) وتزداد بزيادة طاقة الإلكترون على حساب طاقة الجزيئة. عند قصف جزيئات الغاز بالكثرونات ذات طاقات عالية يتحرر بموجها الكثرونات اخرى محصورة في النواة. [2]

2-2-1 التأين بعملية الاثارة (Excitation) :

جزيئات الغاز المتعادل لا تتأين بالإلكترون دائما في عملية التصادم البسيط بسبب فرق الطاقة ،
وفي هذه الحالة تترك الجزيئة في حالة متهيجة M^* بطاقة E_e :



والتي تعطي بالنتيجة فوتونا ذات تردد ν وطاقة $h\nu$ بانتقاله من مدار الى اخر.



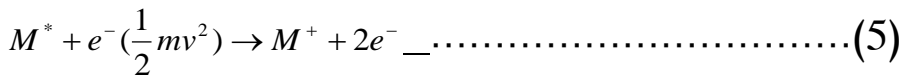
1-2-3 التأين بالتصادم المضاعف للإلكترون (Ionization by Double electron)

:(impact

إذا تم رفع جزيئة الغاز الى مستوى متهيج (بطاقة E_e) بتصادم سابق فأنها تتأين بتصادمه نسبيا مع إلكترون بطيء الذي يكون بحاجة الى طاقة اقل من طاقة التأين واعلى من الطاقة الاضافية

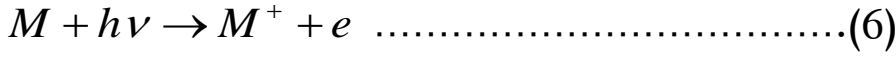
اللازمة لبلوغ التأين. [3]

$$\frac{1}{2}mv^2 > E_i - E_e \dots\dots\dots(4)$$



4-2-1 التأيين الضوئي (Photo-ionization):

يمكن تأيين الجزيئية في الحالة الارضية بفوتون تردده ν والذي يبعث طاقة مقدارها $h\nu$ (بالقفز من مدار الى اخر) اكبر من طاقة تأين الجزيئة $h\nu > E_i$:



5-2-1 التأيين بربط الالكترن (Electron Attachment):

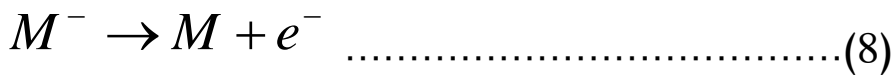
إذا كانت جزيئات الغاز تملك مستويات الطاقة غير مملوءة لذا فان الالكترن المتصادم يمكن ان يستقر في احدى هذه المستويات محولا الجزيئة الى ايون سالب M^- والتي تكون في حالة مهيجة تنتج بسبب فرق الطاقة.



ويمكن الاشارة الى ان التصادم بهذه العملية يقلص عدد الالكترونات الحرة بعكس العمليات السابقة التي تزيدها. [2]

6-2-1 التأيين بفصل الالكترن (Electron detachment):

وهي بعكس عملية ارتباط الالكترن وفيها تفقد الايون السالب طاقتها الاضافية لتنفصل الكترونها المكتسب وتتحول الى جزيئة متعادلة.



3-1 عمليات أخرى :

ومن جملتها على سبيل المثال :

تصادم (الايون - الذرة)

تصادم (الذرة المهيجة - الجزيئية)

تصادم (الذرة - الذرة)

ويمكن كتابة مجمل عمليات التأين في الجدول (1) :

جدول (1) يمثل مجمل عمليات التأين

$A + e \rightarrow A^* + e$	Excitation by electron impact.
$A + e \leftarrow A^* + e$	A collision of the second kind.
$A + e \rightarrow A^+ + e + e$	Ionization by electron impact.
$A + h\nu \rightarrow A^*$	Photo excitation (absorption of light).
$A + h\nu \leftarrow A^*$	Emission of light.
$A + h\nu \rightarrow A^+ + e$	Photo-ionization.
$A + h\nu \leftarrow A^+ + e$	Radiative recombination.
$A + B \rightarrow A^* + B$	Excitation by atom impact.
$A + B \rightarrow A^+ + e + B$	Ionization by atom impact.
$A^* + B \rightarrow A + B^*$	Excitation by excited atoms.
$A^+ + B \rightarrow A + B^+$	Change of charge.
$A^+ + B \rightarrow A^+ + B^+ + e$	Ionization by positive ion impact.

} Collisions of the second kind

1-4 مميزات الانهيار الغازي (breakdown Characteristic in gases):

يمكن دراسة التأين والتفريغ الغازي تحت نوعين من الضغط :

1. تحت ضغط منخفض.

2. تحت ضغط عال.

يمكن التحكم بالضغط المسلط على الغاز بصورة مباشرة من خلال درجة حرارتها التي تتناسب عكسيا معها اي عند تبريد الغاز تزداد ضغط الجزئيات على بعضها وعلى الوعاء الحاوي لها والعكس بالعكس.[4]

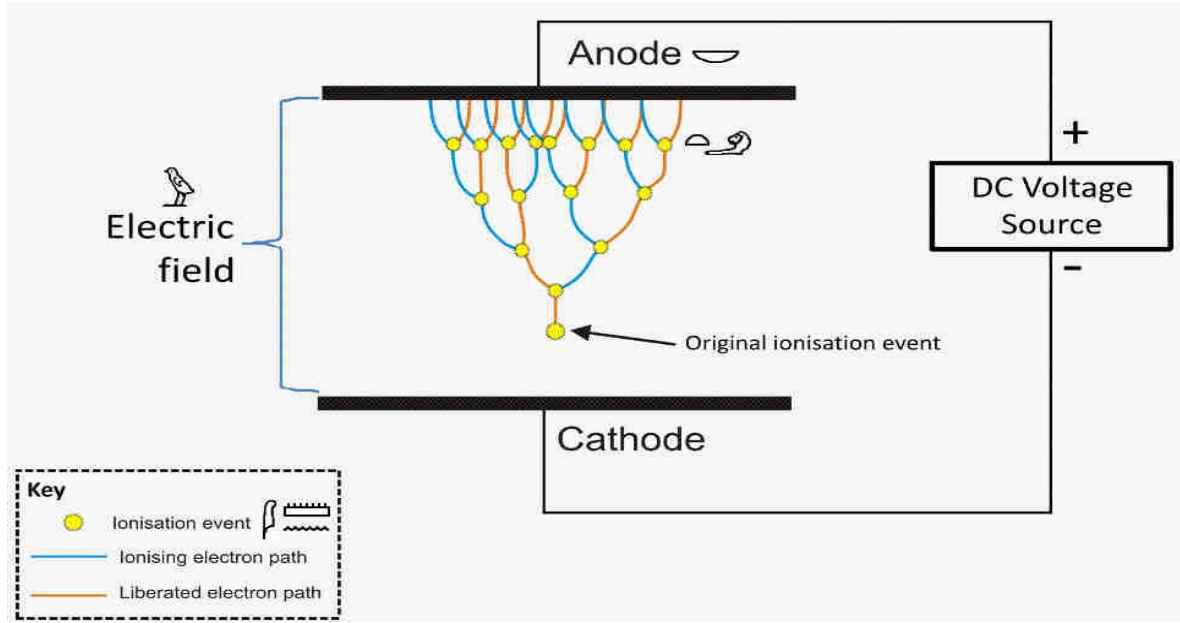
وهناك اليتان معروفتان والمصنفان ضمن التفريغ الغازي الذاتي لدراسة عملية الانهيار في الغازات (avalanche و streamer) (التكتلي و الشراري) تحت ضغط عال هما :

1-5 ميكانيكية التكتل الالكتروني (عملية انهيار تاونسند) :

Electron Avalanche Mechanism (Townsend Breakdown Process)

تستند هذه الإلية على توليد انهيارات ثانوية متتالية لإتمامها. ونفترض وجود إلكترون حر في غاز (نتيجة بعض المؤثرات الخارجية كالإشعاع او اشعة كونية) بوجود مجال كهربائي قوي كافي لتأين جزيئة الغاز بالتصادم البسيط لالكترونين مع ايون موجب حيث هذين الالكترونين تكون قادرتين على تصادمات اكثر فيما بعد تؤدي الى 4 الكترونات و3 ايونات موجبة .[5]

والعملية بمجملها تراكمية حيث تتزايد عدد الالكترونات الحرة كلما زادت تأثير المجال الكهربائي و تتولد سرب من ملايين من الكترونات حرة وايونات موجبة بطريقة تسمى انهيار الإلكترون (electron avalanche) في حيز صغير بأبعاد مليمترية. والشكل (1) يمثل آلية الانهيار .



الشكل (1) يمثل الية الانهيار للغاز في حجرة التفريغ.

وعند زيادة الفولتية بين قطبي المنظومة تبدأ التيار وبصورة بطيئة بالازدياد ايضا كلما كان الالكترونات تنبعث من الكاثود الى الانود عبر الغاز بمعدل سرعة تعطى من خلال حركتها بفعل قوة المجال .وتكون التأين بتصادم الالكترونات اكثر احتمالية وذو اهمية ملحوظة خلال هذه الالية

6-1 معامل الاول لتأين تاونسند (Townsend's first ionization coefficient).

لتكن $n_e(x)$: عدد الالكترونات المنبعثة من الكاثود لكل وحدة زمن.

$n_e(0)$: عدد الالكترونات المتحركة مسافة x من الكاثود لكل وحدة زمن ($n_e(x) > n_e(0)$) خلال

التصادمات المؤينة في الفجوة).

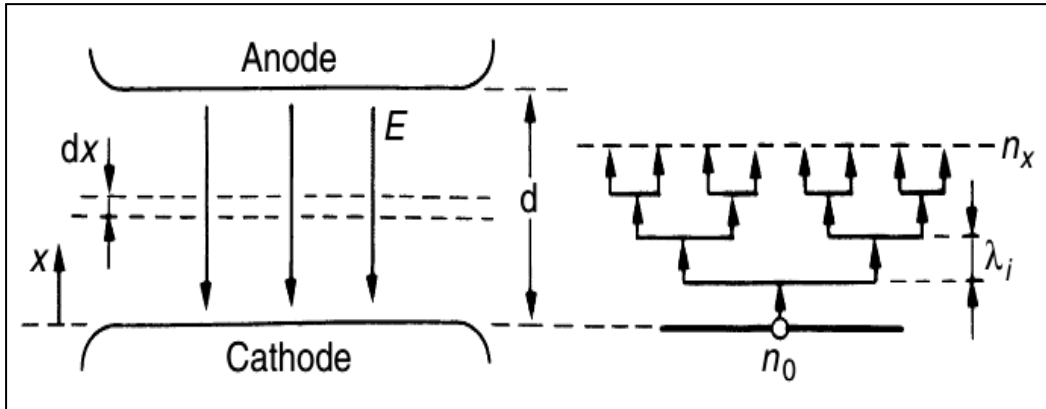
α : عدد التصادمات المؤينة والتي تنتج بـ (الكترون لكل وحدة انجراف باتجاه المجال) وتسمى معامل الاول لتأين تاونسند (Townsend's first ionization coefficient).

وعليه تكون $1/\alpha$ معدل المسافة المقطوع في اتجاه المجال بين التصادمات المؤينة. [6]

والآن لنفترض وجود شريحة سمكها dx على مسافة x من الكاثود فان الالكترونات $n_e(x)$ التي تدخل الشريحة ستجتازه بوجود المجال المسلط E حيث تتناسب عدد التصادمات المؤينة في فجوة الغاز مع dx و $n_e(x)$:

$$dn_e(x) \propto n_e(x) \quad \text{and} \quad \propto dx$$

$$dn_e(x) = \alpha n_e(x) dx \dots\dots\dots(9)$$



الشكل (2) يمثل الية حساب معامل الاول لتأين تاونسند.

بإعادة ترتيب واخذ تكامل الطرفين :

$$\int_{n_e(0)}^{n_e(x)} \frac{dn_e(x)}{n_e(x)} = \alpha \int_0^x dx \dots\dots\dots(10)$$

$$\ln(n_e(x)/n_e(0)) = \alpha x$$

$$n_e(x) = n_e(0)e^{\alpha x} \dots\dots\dots(11)$$

إذا كان الانود على بعد $d = x$ من الكاثود فإن عدد الإلكترونات التي تصل إليه في كل ثانية :

$$n_e(d) = n_e(0)e^{\alpha d}$$

لذا فإن كل الكترون يغادر الكاثود ينتج $[n_e(d) - n_e(0)]/n_e(0)$ من الكترونات جديدة (يقابله ايونات موجبة بنفس العدد) في الفجوة بين القطبين.

عدد الأيونات الموجبة التي تصل إلى الكاثود لكل ثانية في حالة الاستقرار يجب أن يساوي عدد الإلكترونات الجديدة التي تصل إلى الأنود. وتعطى تيار الدائرة :

$$I = I_0 e^{\alpha d} \dots\dots\dots(12)$$

حيث I_0 تمثل التيار الكهروضوئي الاولي عند الكاثود.[7]

في عملية الانهيار الفعلي ، تأين الإلكترون بالتصادم تتبع بعمليات ثانوية على الكاثود الذي يملا فجوة الغاز بالإلكترونات حرة وتزداد عددها مع كل عملية جديدة .
ولنأخذ الآن معادلات زيادة التيار في الآلية الثانوية بنظر الاعتبار .

نفرض انه γ : معدل عدد الإلكترونات الثانوية المتولدة في الكاثود لكل تصادم مؤين في الفجوة

(معامل تاونسند للتأين الثاني Townsend's second ionization coefficient)

$n_e(0)$: عدد الكترونات الكهروضوئية الاولية المتولدة من الكاثود لكل ثانية .

$n'_e(0)$: عدد الكترونات الكهروضوئية الثانوية المتولدة في الكاثود لكل ثانية .

$n''_e(0)$: عدد الكترونات الكلية التي تغادر الكاثود لكل ثانية .

لذا فان :

$$n'_e(0) = n_e(0) + n''_e(0)$$

وبالمحصلة ان كل الكترون يغادر الكاثود يولد ($e^{\alpha d} - 1$) تصادمات في الفجوة وبالتالي تعطى

عدد التصادمات المؤينة لكل ثانية في الفجوة بـ $n''_e(0)[e^{\alpha d} - 1]$ ومن التعريف :

$$\gamma = \frac{n'_e(0)}{n''_e(0)[e^{\alpha d} - 1]} \dots\dots\dots(13)$$

من معرفة $n'_e(0) = n_e(0) + n''_e(0)$ تكون الحل بالنسبة لـ $n''_e(0)$:

$$n''_e(0) = \frac{n_e(0)}{1 - \gamma[e^{\alpha d} - 1]}$$

مشابها الى حالة العملية الاولى (مع α) نجد :

$$n_e(d) = n''_e(0) \exp(\alpha d) = \frac{n_e(0)[e^{\alpha d} - 1]}{1 - \gamma[e^{\alpha d} - 1]}$$

وتعطى التيار في حالة الاستقرار بالمعادلة :

$$I = \frac{I_0[e^{\alpha d} - 1]}{1 - \gamma[e^{\alpha d} - 1]} \dots\dots\dots(14)$$

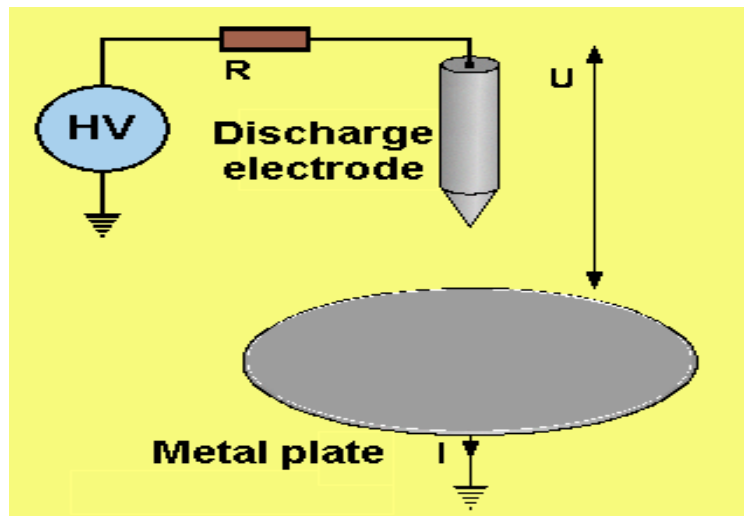
التي تمثل معادلة التيار المتزايد في الفجوة قبل حدوث انهيار الشرارة (spark breakdown) .

وبزيادة الفولتية المسلطة تزداد كل من e^{ad} و γe^{ad} لتصل $\gamma e^{ad} \rightarrow 1$ عندما تصبح مقام معادلة التيار مساويا الى صفر ، والتيار الى ∞ عندها ستحدد قيمتها العملية بمقاومة مجهر القدرة والغاز الموصل. هذا الشرط يمكن ان يعرف كانهيار وتكتب : [6]

$$\gamma[e^{ad} - 1] = 1$$

والتي تعرف بمعيار تاونسند لانهايار الشرارة (Townsend criteria for spark breakdown) و خلالها ينمو الانهايار التكنلي على مدى فترات زمنية طويلة نسبيا (يزيد على $1\mu s$) ولا تحدث مع الفولتية النبضية عموما.

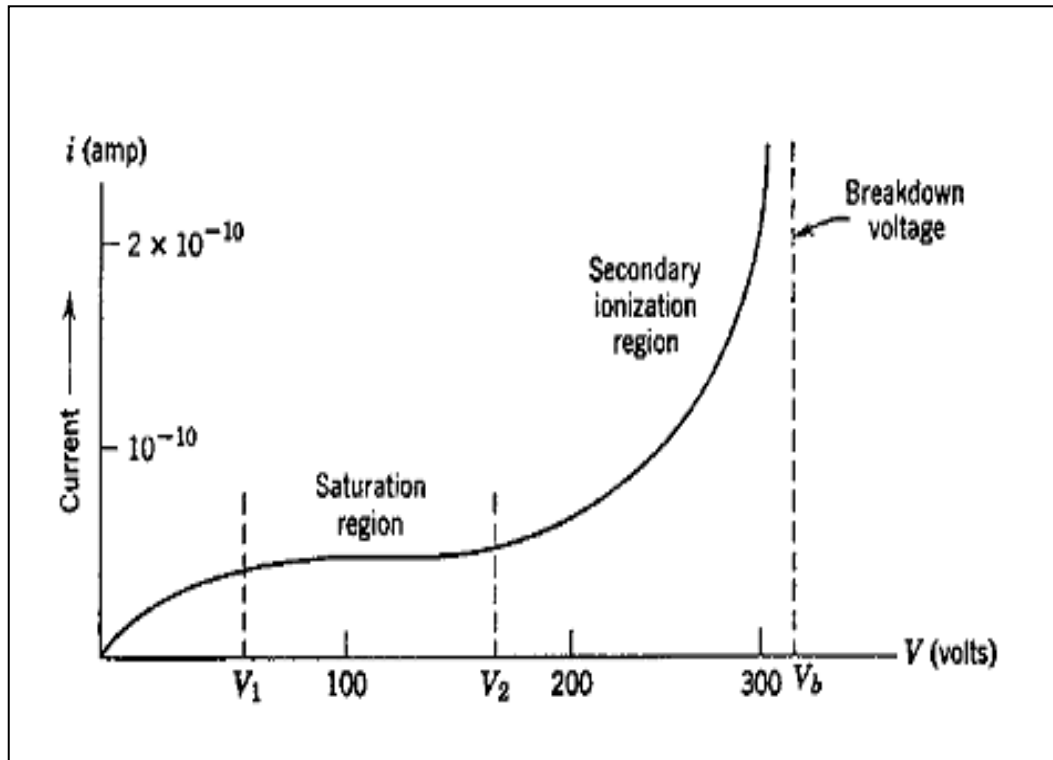
تحدد معاملات تاونسند في غرفة التأين مفرغة بدرجة عالية بحدود 10^{-4} و 10^{-6} تور قبل تعبئتها بالغاز المطلوب عند ضغط قليل ، الجهد المسلط بحدود 2 إلى 10 كيلو فولت، والنظام الكهربائي يتألف من صفيحة قطبية ذات جهد عالي وقطب ذات جهد منخفض محاط بقطب واقى للإبقاء على المجال منتظما ، وتيم تأريضها عبر مكبر الكتروميتر لقياس التيار في مدى من $0.01pA$ إلى $10nA$. يتم تشيع الكاثود من الخارج باستخدام باشعة فوق البنفسجية من مصباح كوارتز لإنتاج إلكترونات اولية.



الشكل (3) تمثل دائرة كهربائية بسيطة لتحديد معاملات تاونسند

وعند زيادة الفولتية المسلطة تدريجيا يبدأ التيار بالزيادة ايضا للوصول الى قيمة I_0 ببطء و يعتمد على قوة اضاءة الاشعة حيث تتبع تلك الزيادة بالإشباع بسبب عودة معظم الالكترونات المشعة الى الكاثود ثانية بعملية الانتشار بنسبة تقل بزيادة الفولتية مع عدم وصول جميع نظيرتها المنبعثة الى الانود مالم تصل الفولتية المسلطة الى فولتية تأين الغاز ، وتصل التيار الى قيمة عظمى له عند جهد V_b (breakdown voltage) وفي المنطقة واستفادة من ميكانيكية تاونسند عرفنا تيار التفريغ كالاتي [8]:

$$I = \frac{I_0[e^{\alpha d} - 1]}{1 - \gamma[e^{\alpha d} - 1]} = I_0 e^{\alpha d} \quad \alpha d \gg 1$$



الشكل (4) منحنى خصائص التيار و الفولتية في الية وتجربة تاونسند

في التفسير الوارد أعلاه لم يؤخذ مرافقة الإلكترون للجسيمات المحايدة في نظر الاعتبار لان ذلك يزيل الإلكترونات الحرة وبهذا يعطي للغازات قوة عزل كهربائي عالي جداً ، عندها تطلق تسمية الغازات الالكتروسالبة (electro-negative) عليها يعرف عامل الربط او المرافقة (attachment coefficient) بـ η بنفس طريقة α بأنها عدد المرافقات لكل الكترون لوحد الانجراف باتجاه المجال ، وعليه تكون قيمة التيار في المجال المنتظم :

$$I = I_0 \frac{\left[\frac{\alpha}{\alpha - \eta} e^{(\alpha - \eta)d} - \frac{\eta}{\alpha - \eta} \right]}{1 - \gamma \frac{\alpha}{\alpha - \eta} [e^{(\alpha - \eta)d} - 1]} \dots\dots\dots(15)$$

وفي المقابل لدينا معايرة انهيار الشرارة (spark breakdown) كالآتي :

$$\gamma \frac{\alpha}{\alpha - \eta} [e^{(\alpha - \eta)d} - 1] = 1 \dots\dots\dots(16)$$

7-1 قانون باشن (Paschen's Law):

عند حركة الإلكترون او الايون في مجال منتظم E و ضغط الغاز p فان متوسط طاقتيهما يصل الى التوازن معتمدا على النسبة E/p او بدقة اكثر : [9]

$$\alpha / p = f_1(E / p)$$

$$\gamma = f_2(E / p) \dots\dots\dots(17)$$

المجال الكهربائي المنتظم في الفجوة تعطى بـ $E=V/d$ لذا فان معايرة تاونسند لانهييار الشرارة للغازات تكون :

$$\gamma(e^{ad} - 1) = 1$$

والتي يمكن كتابته بالصيغة:

$$f_2\left(\frac{V}{pd}\right)\left[e^{pd f_1\left(\frac{V}{pd}\right)} - 1\right] = 1 \dots\dots\dots(18)$$

وتتضح من خلال المعادلة ان جهد الانهييار V دالة لضرب ضغط الغاز p و مسافة الفجوة d .

$$V = f(p \cdot d)$$

وفي الاشتقاق اعلاه نرى بان تأثير درجة الحرارة لم يؤخذ بالاعتبار .

وباستخدام المعادلة العامة للغازات $pV=nRT$ نرى انه $p = \rho RT$ ، لذا تكون الصيغة الصحيحة

$$V = f(\rho \cdot d)$$

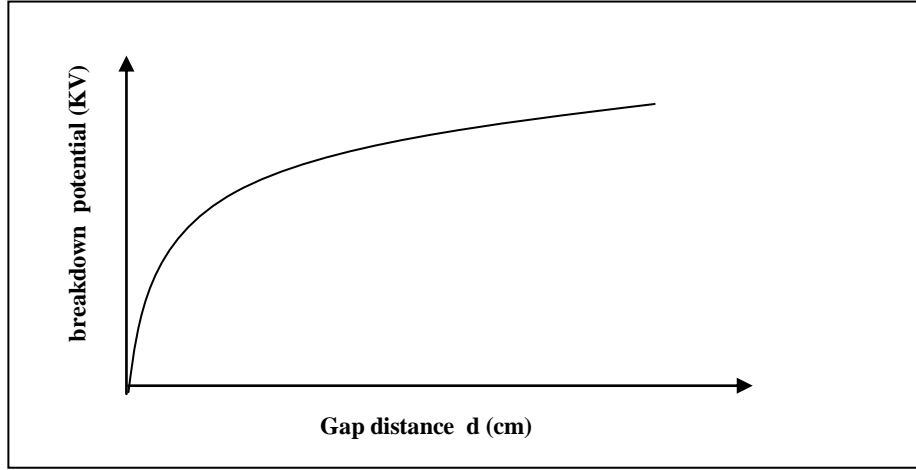
وهذه هي صيغة قانون باشن (Paschen's Law) حيث ρ كثافة الغاز .

حيث وجد القيمة العملية لهذا الجهد في ضغط جوي 1 ومجال كهربائي منتظم :

$$V = Ad + B\sqrt{d} \dots\dots\dots(19)$$

وللهواء فان قيمة $A = 24.4kV/cm$ و $B = 6.29kV/cm^{1/2}$

وتتراوح قيمته من 30kV/cm للفجوات الصغيرة 1cm الى 6 kV/cm للفجوات الكبيرة لبضع
امتار.



الشكل(5)تغير جهد الانهيار مع مسافة الفجوة

هذا التغير يمكن ان يعدل باستخدام قانون باشن ليتضمن التغير مع كثافة الغاز :

$$V = \frac{A}{\rho_0} \cdot \rho d + \frac{B}{\rho_0^{1/2}} \cdot (\rho d)^{1/2}$$

$$= A(\delta d) + B(\delta d)^{1/2} \dots\dots\dots(20)$$

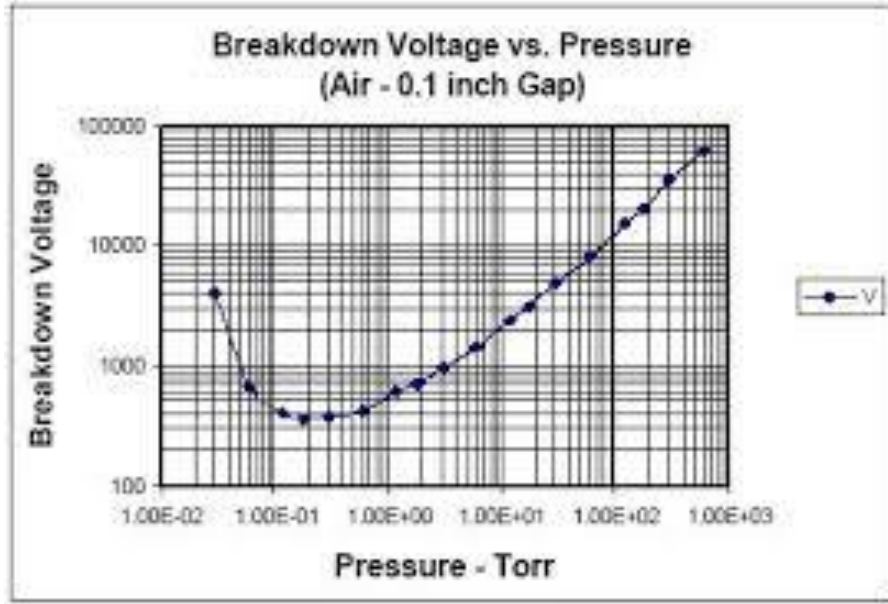
حيث δ الكثافة النسبية (او عامل تصحيح كثافة الغاز).

وهي صيغة صحيحة عند مسافة الفجوة اكبر من 0.1mm ، وعموما نحصل على جهد انهيار

صغرى عند ضرب اقل قيمتي لمسافة الفجوة d والضغط ρ وهو ما تسمى بـ (Paschen's

minimum) ويمكن تفسيرها كآلاتي : [10]

نفرض مسافة فجوة d ثابتة وان الضغط يتناقص باتجاه اليمين الى اقل قيمة كما في الشكل :



الشكل (6) مخطط باشن

لذا فان الكثافة تتناقص وان الالكترتون يعمل تصادمات أقل مع جزيئات الغاز في حركته باتجاه الانود في المجال ، فان كل اصطدام ناتج عن فقدان الطاقة يتبع بإجهاد كهربائي أقل يكفي لنقلها الى الإلكترونات تكافئ $(\frac{1}{2}mv^2)$ والمطلوبة للتأين بالتصادم.

وفي حال الكثافة المنخفضة تكون هناك عدد قليل نسبيا من تصادمات ما يستوجب منا الاخذ في الاعتبار انه ليس من الضروري ان يتاين الايون بتصادمه مع الالكترتون حتى في كون طاقة الإلكترون تفوق طاقة التأين ، وعندها تكون فرصة تأينها محدودة ، وتحدث الانهيار فقط اذا زادت عدد التصادمات وهو ما يفسر الجزء اليسار الادنى من الشكل (6).

ويتبين من منحنى خصائص الانهيار ايضا أنه لمسافة الفجوة d الثابتة ، يتطلب جهد وإجهاد انهيارى اعلى بكثير مما في ظروف الاعتيادية والتي تسمى بـ (ظروف التفريغ العالي) تكون فيها

جهد الانهيار غير معتمد على ضغط الغاز و يستفاد منها كوسط عازل. بينما في الظروف الاعتيادية يفسر بقانون باشن الصغرى (Paschen's minimum) .

الجدول (2) خاص بجهد الشرارة الصغرى لبعض الغازات

Gas	V_{min} (V)	p.d at V_{min} (torr-cm)
Air	327	0.567
Argon	137	0.9
Hydrogen	273	1.15
Helium	156	4.0
Carbon dioxide	420	0.51
Nitrogen	251	0.67
Nitrous oxide	418	0.5
Oxygen	450	0.7
Sulphur dioxide	457	0.33
Hydrogen Sulphide	414	0.6

تتكون المنظومة من حجره زجاجيه اسطوانية محاطة بملف اسطواني متصل بمصدر

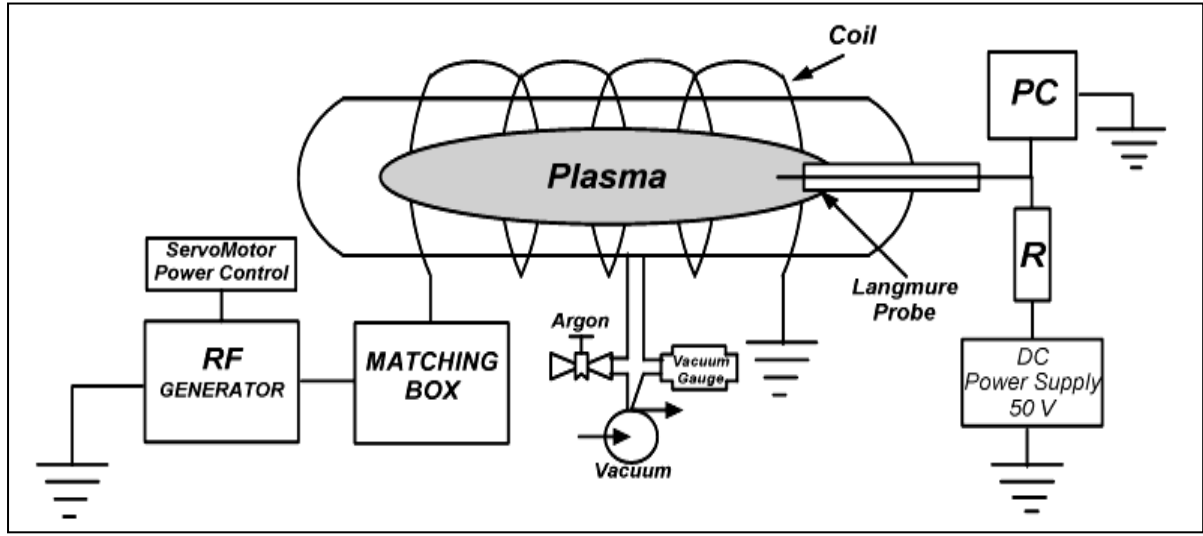
الموجات الراديوية Coaxial 13.56 MHz والذي تبلغ قدرته القصوى Power 600W

Systems Ltd، يتصل المصدر بملف الحث المحيط بحجرة التفريغ من خلال منظومة موثمة

اوتوماتيكية وتتصل إضافة إلى فتحة تفريغ الغاز بمنظومة ثنائية الصمامات لإدخال الغاز

والتحكم بالضغط داخلها وبالإستعانة بمقياس الضغط المتصل بها [3] .

إن النقطة الأساسية في هذا العمل هي محاولة معرفة النقطة التي يبدأ عندها التفريغ الشراري بالحدوث. إن الاعتماد على الملاحظة البصرية لظهور لا يمكن أن يوفر مقياساً دقيقاً ، لذلك فقد تم تصميم منظومة إلكترونية يمكنها التحسس السريع والدقيق ليس فقط بلحظة بدء التفريغ بل بطريقة تطوره مع زيادة القدرة [8] .



الشكل (7) يبين المنظومة المستخدمة في حسابات منحني باشن

تعتمد المنظومة في الأساس على وضع مجس كهربائي داخل الحجرة . يتكون المجس من سلك من التنكستن قطره 0.5 mm محاط بجدار زجاجي بشكل كامل عدا الجزء المعرض للبلازما والبالغ طوله 1mm يكون هذا المجس ذا جهد موجب بدرجة كبيرة إلى الحد الذي يجعله ضمن منطقة عمل تيار الاشباع الالكتروني لمجس لانغموير [2] .

إن حصول أي تفريغ داخل الحجرة سيؤدي إلى تكون تيار الكتروني في المجس . وتم ربط المجس إلى دائرة اكتساب بيانات حاسوبية تقوم بتسجيل تيار المجس بشكل متناغم مع تغير القدرة الراديوية المسلطة على الملف . ولأجل الحصول على التناغم الذي ورد ذكره فقد تم تصميم الية

كهروميكانيكية تتضمن وجود محرك كهربائي صغير يقوم بتغيير القدرة الصادرة عن المصدر الراديوي فور البدء باكتساب البيانات عن طريق إعاز صادر من الحاسبة.

يقوم المحرك الكهربائي بتحريك بكرة زيادة القدرة للمولد الراديوي بسرعة ثابتة باستخدام دائرة تحكم الكترونية في نفس الوقت الذي تقوم فيه الحاسب الالكترونية باكتساب البيانات الخاصة بالتيار الكهربائي المار في المجس .تم اكتساب البيانات الخاصة بتيار المجس بسرعة مقدارها (40000 degree / sec) مما يضمن تحسنا دقيقا تجاه التغيرات السريعة والآنية في كثافة البلازما.

عند بدء التشغيل وعند القدرات الواطئة وعدم وجود تفريغ فان تيار المجس سيكون صفرا تقريبا . حال بدء التفريغ فان الجهد الموجب العالي للمجس سيؤدي إلى قيام المجس بسحب تيار مساوي لتيار الاشباع الإلكتروني والذي بدوره يتناسب مع كثافة الالكترونات في البلازما المتولدة . إن هذا الترتيب يعطي مقياسا ليس فقط عن مقدار قدرة العتبة التي يحدث عندها التفريغ بل أيضا عن كيفية تطور كثافة البلازما مع زيادة القدرة . إن معرفة هذا التطور يؤدي إلى الحصول على معلومات مهمة تتعلق بطبيعة انتقال البلازما من طور الى اخرى .

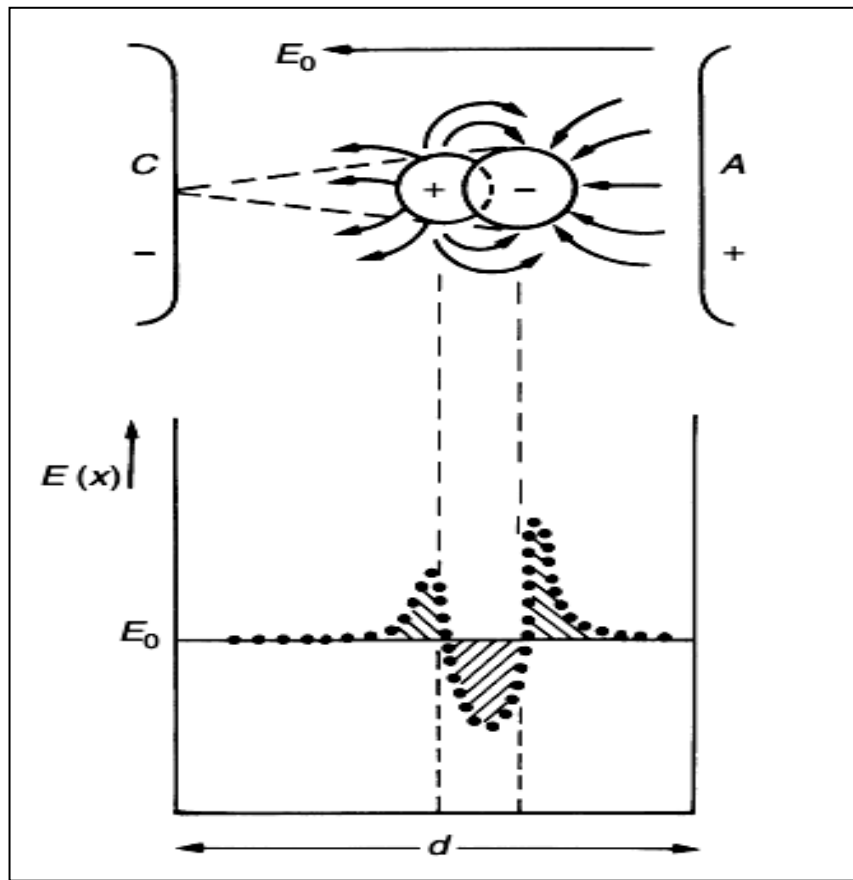
8-1 الية الانهيار الشراري (The streamer breakdown mechanism):

ينشأ هذا النوع من الانهيار نتيجة التأثير المضاف من قبل مجال فضاء الشحنة للانهار العادي و تأثير التأين الكهروضوئي في الغاز ، وتنتبأ بحدوث تفريغ لانهار الشرارة مباشرة من خلال انهيار عادي منفرد ، في حين الية تاونسند كانت تنتبأ بانتشار كبير للتفريغ ، حيث انه في التطبيقات العملية وجد ان الكثير من التفريغ كان خطيا وغير منتظمة.

فضاء الشحنة المتولد في الانهيار التكتلي يسبب تشويه مناسب للمجال الكهربائي يكفي لتحريك الإلكترونات الحرة باتجاه راس الكتلة حيث يتضاعف ويتراكم بسرعة بهيئة حجم كروي .

وكلما تقدم الإلكترونات بسرعة تترك الأيونات الموجبة بحركة بطيئة نسبيا في مؤخرة المجال بينما تقوى جبهة ومقدمتها الامامي ، لكن خلفها أي المجال بين الالكترونات والايونات الموجبة تكون بعكس اتجاه المجال المسلط (E_0) الذي يقلل من قوة المجال الناشئ لذا فالمجال المتبقي بين الكاثود والمؤخرة تتطور باستمرار لتغذية مقدمة المجال .

كما في الشكل ادناه الذي يبين تشوه المجال في مسافة الفجوة بسبب التداخل بين المجال الكهربائي لفضاء الشحنة لتكتل الالكترونات والمجال المسلط E_0 الذي يزيد حركية الالكترونات .



الشكل (8) يبين تشوه المجال

9-1 العوامل المؤثرة على فولتية الانهيار في الفراغ :

(Factors affecting the breakdown voltage a Vacuum gap)

تعتبر الفراغ من العوازل المثالية اذ تبلغ قوة انهيارها حوالي 10Kv/c ، وتعرف فولتية الانهيار لفجوة شديدة التفريغ على انها الفولتية التي عندما تزداد بمقدار قليل جدا سوف يسبب انهيار الفجوة لمدة وجيزة متناهية. وعلى كل حال هذا التعريف غير متوقع التطبيق لتأثر الانهيار بعوامل عدة منها [11]:

1-المسافة بين القطبين الانود والكاثود (Electrode Separation):

عندما تكون مسافة الفجوة بين القطبين اقل من 1mm ، فان فولتية الانهيار تعتمد على ابعاد وطول المنظومة بينما تبقى المتغيرات الاخرى ثابتة مما يعطي فرق جهد انهيار ثابت مع الزمن في المقابل تكون شدتها كبيرة نسبيا تبدأ من 1Mv/cm بمساعدة المجال المنبعث من الالكترونات الذي يلعب دورا مهما في عملية التأين وحدوث الانهيار .

$$V = k \cdot d \quad \downarrow \quad d < 1mm \quad \dots\dots\dots(21)$$

وبخلاف ذلك اي عندما تكون d اكبر من 1mm فان فولتية الانهيار لا تزداد بمعدل ثابت بينما تقل شدة الانهيار الظاهري (apparent breakdown) : الفولتية اللازمة لحدوث الانهيار مقسوما على مسافة الفجوة بين القطبين) كثيرا للفجوات الكبيرة والتي تصل الى 1Kv/cm عند 10cm .

النتائج النظرية للعالم كرانبرغ (Cranberg) للفجوات الكبيرة بينت بان حاصل ضرب فولتية الانهيار وشدتها تبقى ثابت

$$V \cdot E = k_1 \quad d > 1mm$$

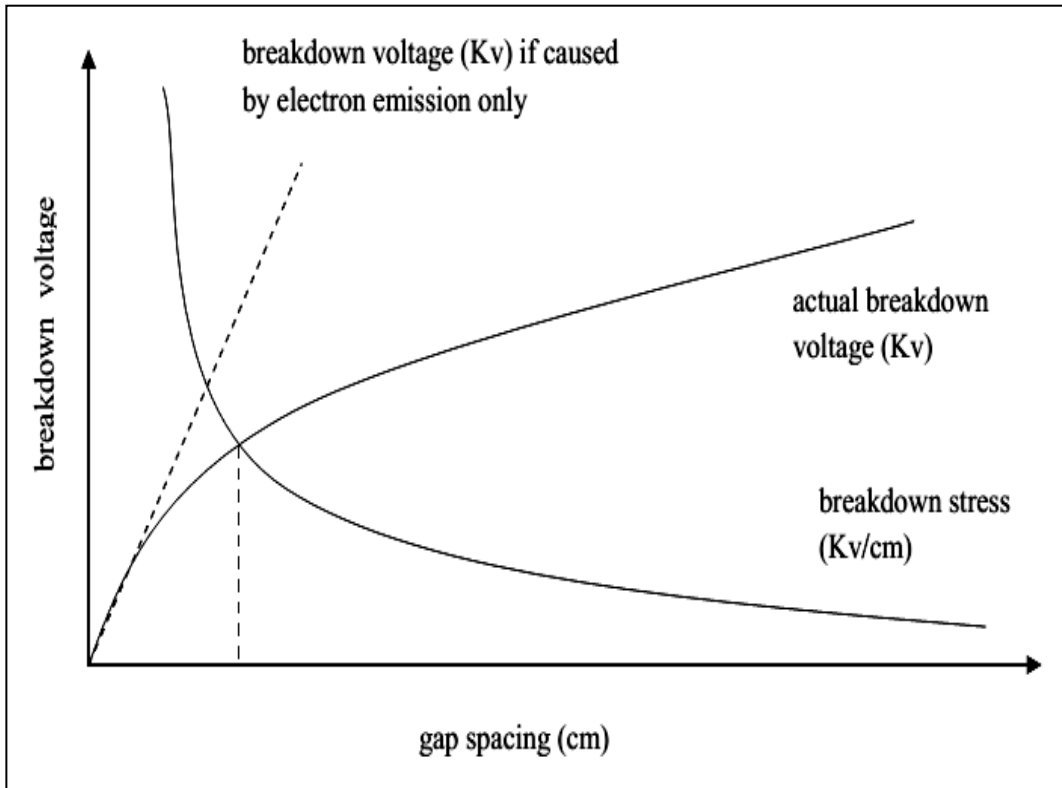
حيث ان الثابت k_1 تعتمد على مادة وظروف سطح الاقطاب ، وللمجال المنتظم للفجوة $E = V / d$ لذا فان :

$$V = k_2 d^{1/2}$$

يمكن كتابة المعادلة بصورة عامة :

$$V = kd^x \dots\dots\dots(22)$$

حيث $x = 0.5$ للفجوة الكبيرة $1mm < 1$ و $x = 1$ للفجوة $1mm > 1$.



الشكل (9) تمثل خصائص الانهيار

2- تأثير تكييف الاقطاب (Electrode conditioning effects) :

تزداد فولتية الانهيار بعد سلسلة من التفريغات الكهربائي المتتالية الى ان تصل الى قيمة ثابتة ، عندها يمكن القول بان الاقطاب قد تكيفت ، وهذه الزيادة في الفولتية تعزى الى احتراق من قبل مما أثار المخالفات المجهرية أو الشوائب التي قد تكون موجودة على الأقطاب. وعند التحقيق في تأثير العوامل المختلفة على الانهيار ، يجب أولاً أن يكون تكييف الأقطاب بطريقة يتم الحصول من خلالها على نتائج قابلة للتكرار.

3- نظافة اسطح الاقطاب (Surface contamination of electrodes) :

وجود تلوث في الخلية الاختبار يقلل من انهيار الجهد في بعض الأحيان بنسبة تصل إلى 50% من قيمة القطب النظيف.

4- مساحة وشكل الاقطاب (Area and configuration of electrodes) :

زيادة مساحة الأقطاب يجعل الأمر أكثر صعوبة في الحفاظ على انهيار الجهد . وبالتالي تنخفض انهيار الجهد قليلا مع الزيادة في مساحة السطح وعلى سبيل المثال ، أقطاب ذات مساحة 20cm^2 يعطي انهيار الجهد 40Kv عبر فجوة 1mm في حين أقطاب من نفس المادة ذات المساحة 1000cm^2 يعطي انهيار الجهد 25Kv عبر نفس الفجوة 1mm . ويمكننا القول بان الأقطاب المحدبة يعطي جهد انهيار اكبر من الأقطاب المستوية تقريبا مهما كان المجال الكهربائي على اسطحها.

5- نوع مادة سطح الاقطاب (Material and Surface of electrodes):

تعد اسطح الاقطاب الحدود الفيزيائية بين ما تشارك فيه الانهيار أخيرا ، وبالتالي فإنه ليس من المستغرب أن نجد أن شدة الانهيار لحجم معين من الفجوة وتعتمد بشدة على مادة المصنوعة منها الأقطاب فكلما السطح املس وتزداد فولتية الانهيار.

الجدول (3) خاص بجهد الشرارة الصغرى لبعض المعادن

Electrode Material	Voltage across 1 mm gap (kV)
Steel	122
Stainless Steel	120
Nickel	96
Monel metal	60
Aluminium	41
Copper	37

6-درجة الحرارة (Temperature):

أن التباين في انهيار الجهد مع درجة الحرارة صغير جدا ، حيث لأقطاب النيكل والحديد ، لا تتغير شدة الانهيار لدرجات حرارة تصل إلى $500C^0$ ، وان تبريد الأقطاب إلى درجة حرارة النيتروجين السائل يزيد من انهيار الجهد.

7-تردد الجهد المسلط (Frequency of applied voltage):

من المعروف أن وجود فجوة معينة توقف الجهد النبضي العالي أكثر من الجهد المتناوب وبدوره أكثر من الجهد المستمر ومع ذلك ، فقد تبين أنه لفجوة صغيرة 2mm لا تعتمد انهيار الجهد على تردد في نطاق 50KHz إلى 50KHz .

8-ضغط الفراغ (Vacuum Pressure)

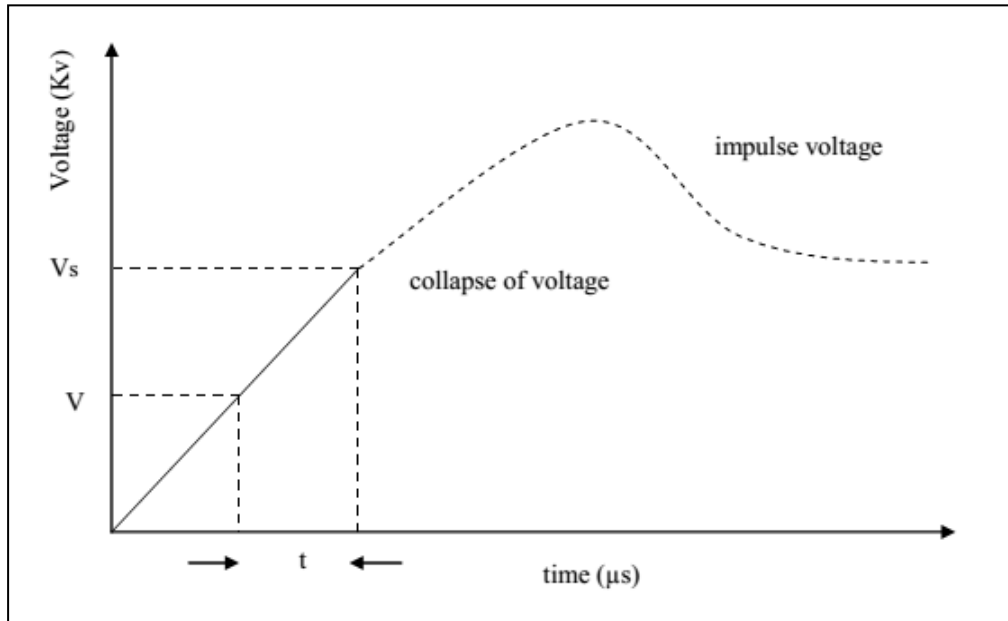
لا يمكننا رؤية أي تغيير على العملية في حال الفجوات صغيرة ، وزيادة مساحتها التي تزيد جهد الانهيار حتى عند ادنى حد لضغط الفراغ لان الفجوة تصبح مستقلا عن الضغط الخارجي المسلط . ومع ذلك فالفجوات الكبيرة حوالي 200mm فقد وجد أن ادنى زيادة للضغط يؤدي الى تناقص جهد الانهيار قليلا .

10-1 تأخيرات زمنية من انهيار الشرارة (Time lags of Spark breakdown) :

في التطبيقات العملية ، لا سيما في هندسة الجهد الكهربائي العالي ، تعد الانهيار ضمن المجالات الدافعة ذو أهمية كبيرة .في حال تطبيق الجهد ، فان بعضا من الوقت تتقضي قبل

حدوث الانهيار الفعلي على الرغم من أن الجهد المطبق قد يكون أكبر بكثير من الجهد اللازم للتسبب في الانهيار.

عند النظر في الفترة الزمنية الفاصلة بين تطبيق الجهد الكافي لحدوث الانهيار والانهيار الفعلي ان كلتا العمليتين تكونان في حالة الاضطراب نتيجة حدوث تكتل للالكترونات ولتحقق النمو المؤقت للتيار بعد معايرة الانهيار الساكن.



الشكل (10) تمثل تأخير زمن انهيار الشرارة

في المجالات المتغيرة مع الزمن ببطء ، عادة ما يصعب العثور على إلكترون أولي من المصادر الطبيعية (الأشعة الكونية مثلا ، مجموعة من الأيونات الغازية ، الخ) ومع ذلك ، فإنه للنبضات قصيرة المدة (حوالي μs) اعتمادا على حجم الفجوة ، قد لا تكون المصادر الطبيعية كافية لتوفير الإلكترون الأولي في حال تطبيق الجهد الكهربائي ، ومن جانب آخر في حال عدم توفر

اي مصدر آخر فان الانهيار لا يحدث .ويبين الشكل اعلاه تأخر في الحصول على الجهد نبضي الموجة.

يسمى t_s الوقت الذي ينقضي بين تطبيق جهد أكبر من أو يساوي جهد الانهيار الساكن (V_s) لحدوث الشرارة اللازمة في الفجوة وظهور الإلكترون الاولي المناسب ، ويسمى بتأخر الزمن الاحصائي للفجوة (statistical time lag of the gap) وبعد ذلك فان عمليات التأين يستغرق زمنا t_f لتوليد تيار يمكن استخدامه لتحديد نوعية الانهيار في الفجوة ويعرف بتأخر الزمن التكويني (formative time lag) بينما يمثل $t = t_s + t_f$ مجموع تأخر الزمن والموضح في الشكل اعلاه ، وتسمى النسبة V/V_s التي تكون عادة اكبر من واحد بنسبة الاندفاع (impulse ratio) وتعتمد بشكل واضح على $t_s + t_f$ ومعدل نمو الجهد المطبق [12].

1-1 تأخر الزمن الاحصائي (Statistical Time lag) :

ويعرف بمتوسط الزمن اللازم لظهور الإلكترون الاولي في الفجوة عند بداية حدوث عملية الانهيار.

اذا كان W تمثل معدل إنتاج الإلكترونات في الفجوة بالتشعيع الخارجي.

و P_1 احتمالية ان تظهر إلكترون ما في منطقة ما من الفجوة يمكنه احداث الشرارة الاولي.

و P_2 احتمالية ظهور مثل هذا الإلكترون فعلا في الفجوة وتؤدي إلى احداث الشرارة .

فان معدل تأخر الزمن [12] :

$$t_s = \frac{1}{W P_1 P_2} \dots\dots\dots(23)$$

في هذا الفصل سنقوم بحساب فولتية الانهيار وايجاد مخطط باشن لمنظومة بلازما عملية والتي تتكون من حجرة التفريغ الزجاجية ذات طرف مفتوح واحد والطرف الاخر تم غلقه باستخدام قاعدة من مادة التفلون الابيض المقاوم للحرارة .

1-2 منظومة التفريغ

تتكون منظومة التفريغ من الاجزاء التالية :

2-1-1-1 حجرة التفريغ : وهي عبارة عن حجرة زجاجية ذات قطر 10سم وارتفاع 15سم ويسمك 6ملم مفتوحة من طرف واحد والطرف الاخر مغلق حيث تم ثقب الزجاجه لغرض تركيب القطب الكهربائي .وكما في الشكل التالي



الشكل (11) يمثل حجرة الفراغ

2-1-2 الشفة FLANGE: و هي مصنوعة من مادة التفلون الحراري وتم اضافة صمام عدد اثنان لغرض دخول الغاز المدروس وهو في حالتنا غاز ثاني اوكسيد الكربون وتفريغ الحجرة من الغازات الأخرى ،كما تم وضع القطب الكهربائي الثاني في الوسط وكما في الشكل التالي .



الشكل (12) تمثل الشفة

3-1-2 مقياس ضغط الفراغ: وهو مقياس لمقدار الضغط داخل الحجرة وبوحدة التور



الشكل (13) يمثل مقياس الضغط الواطيء

2-1-4 مجهاز القدرة : جهاز القدرة مصنع محليا ويعطي فولتية تصل الى 3000 فولت وبتيار 200 ملي امبير ويتم التحكم به بواسطة مجزء جهد فاريك .وكما في الشكل



الشكل (14) يمثل جهاز الفولتية العالية

2-1-5 قنينة الغاز : تحتوي قنينة الغاز على غاز النايتروجين مربوط معها مقياس الجريان للتحكم بمقدار الضغط الغاز الداخل.



الشكل (15) يمثل قنينة الغاز

6-1-2 مضخة الفراغ : وهي من نوع الدوار ذو المرحلتين صناعة امريكية



الشكل (16) يمثل مضخة الفراغ

طريقة العمل

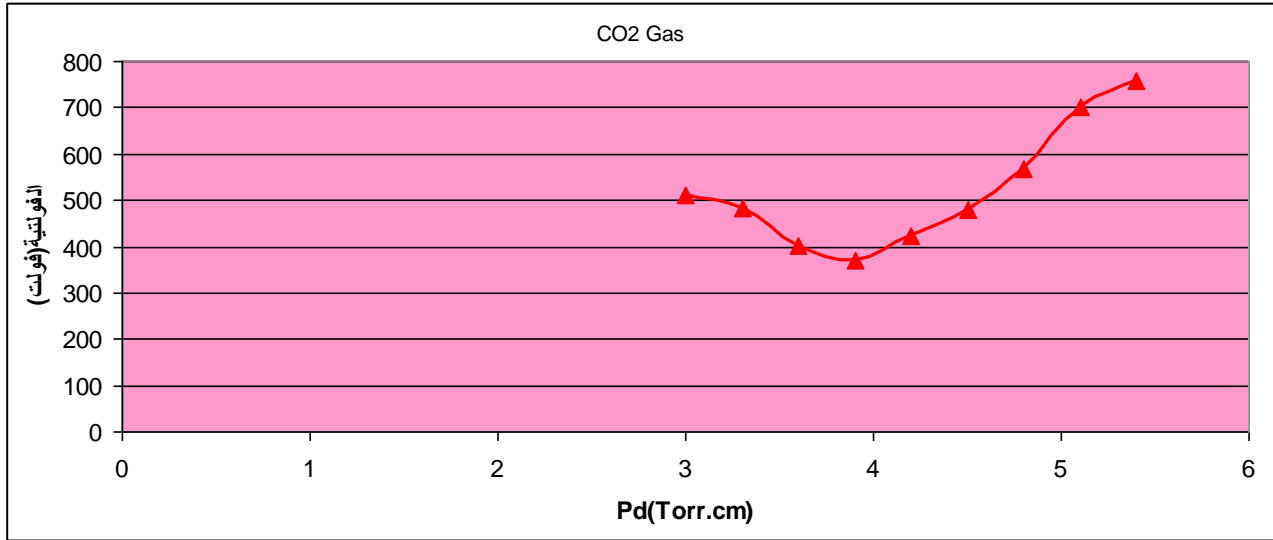
يتم اجراء التجربة وذلك وفق الخطوات الاتية :

- 1- تم تشغيل منظومة التفريغ لمدة نصف ساعة حيث اصبح الضغط بحدود (صفر تور)
- 2- تم ادخال غاز CO₂ الى حجرة التفريغ وبتثبيت الضغط وبتثبيت المسافة بين القطبين .
- 3- يتم تسليط فرق جهد من خلال مجهز القدرة الى ان يتم الحصول على شكل التفريغ الوهاج .
- 4- يتم تسجيل فرق الجهد مقابل التيار وذلك قيم لفرق الجهد

نعيد الخطوات 2,3,4 لعدد من قيم المسافة d

مخطط باشن:

في الشكل التالي الذي يمثل مخطط باشن لحجرة التفريغ ولغاز ثاني اوكسيد الكربون ولمسافات وضغوط مختلفة .



حيث نلاحظ الهبوط بالفولتية عند قيم مختلفة من (الضغط والمسافة) ومن ثم ترجع الحالة الى الزيادة بعد ذلك.

المصادر

- 1- Francis F. Chen and Jane P. Chang, " principles of plasma processing ", Los Angeles, Part A1, 2002.
- 2- Martin A. Uman, " Introduction to plasma physics ", by McGraw-Hill, Inc., New York, San Francisco, Toronto, London, Chap. 1, 1964.
- 3- Krall, Nicholas A., Trivelpiece, and Alvin W., " Principles of plasma physics ", San Francisco Press, Inc., Chap. 1, 1986.
- 4- John Howard, " Introduction to plasma physics ", Plasma research laboratory, Research school of physical sciences and engineering, Australian national university, Chap. 1, 2002.
- 5- A. Dinklage, T. Klinger, G. Marx, L. Schweikhard, " Plasma physics confinement transport and collective effects ", Lect. Notes in phys. 670, Springer, Berlin Heideelberg, Chap. 1, 2005.
- 6- Paul M. Bellan, " Fundamentals of plasma physics ", Scientific WorkPlace V5, Chap. 1, 2004.
- 7- L. Tonks and I. Langmuir, Physical Review, 33, 195, 1929.
- 8- Lord Rayleigh, Phil. Mag., 11, 117, 1906.
- 9- Weston M. Stacey, " Fusion plasma physics ", Wiley-VCH, Verlag Gmbh and Co. Kga, Weinheim, Chap. 1, 2005.
- 10- Richard Fitzpatrick, " Introduction to plasma physics ", The institute for fusion studies, The University of Texas at Austin, Chap. 1, 1998.
- 11- Friedrich Paschen, Wied. Ann., 37,69, 1889
- 12- F.Llewellyn-Jonec, "Ionization and Breakdown in gases" by Fletcher and son LTD, Norwich,(1956).

