

اعداد مكتبة الروضة الحيدرية المكتبة الرقمية

السر سائل
حاسة داسا
البحر جمع
حاسة داسا

دراسة تأثير المجال المغناطيسي على نمو
عدم الاستقرار للتفريغ التوهجي

نيسان سعود عربي

رسالة ماجستير فيزياء
جامعة بغداد /كلية التربية

٢٠٠٤

المستخلص

تم في هذا البحث استخدام تقنية المحاكاة مونت كارل لنمذجة منطقة هبوط الكاثود للتفريغ التوهجي لغاز الهليوم تحت تأثير المجال الكهربائي غير المنتظم و المجال المغناطيسي المنتظم، من اجل الحصول على تفريغ كهربائي مستقر. فقد تم خلال البرنامج حساب معلمات الحشد الالكتروني وهي سرعة التفريغ وزمن الطيران وعدد التصادمات داخل منطقة هبوط الكاثود . و البيانات النظرية أظهرت تأثير المجال المغناطيسي على الأستقرارية .

أثبتت النتائج لهذا البحث أن استخدام المجال المغناطيسي قرب سطح الكاثود كان فعالاً، و قد أدى فعلاً إلى زيادة استقرارية التفريغ لليزرات الغازية ، وذلك من خلال زيادة سرعة التفريغ و زمن الطيران و عدد التصادمات عند زيادة شدة المجال المغناطيسي داخل منطقة هبوط الكاثود ، وبذلك سوف تزداد القدرة الخارجية لليزر.

ولقد استخدمت لغة الفتران (٧٧) في كتابة البرنامج الرئيسي المعد للحساب ، هذا بالإضافة الى عدة برامج فرعية . وقد كان عدد الالكترونات المستخدمة في الحشد (٣٠٠٠) الكترون لكل حالة تشغيل ، وقد تضمنت الحسابات دقة تقريبية تقدر حوالي

1.8%

أن الدراسات النظرية و العملية قد أظهرت بأن المجال المغناطيسي من الممكن أن يقدم وسائل مؤثرة لتقليل نمو عدم الأستقرارية.

1-1 المقدمة :

نظراً للاستخدامات العديدة لأشعة الليزر في المجالات العلمية والعملية وبشكل واسع ، لذا تم الاهتمام بطريقة توليده والحصول على أفضل خرج ليزري ممكن ، و هذا يتطلب الأخذ بالحسبان لعوامل التي تؤثر سلباً على الفعل الليزري وتقليلها قدر الإمكان ، وبطرائق علمية دقيقة . أن من أهم و أوسع أنواع الليزر المستخدمة هي الليزر الغازية والتي تمثل النوع الأكثر انتشاراً مثل ليزر غاز هليوم – نيون و ليزر غاز ثاني أوكسيد الكربون و ذلك لقلة كلفته و أطيافه الشائعة ، وكثرة استخداماته اليوميه في تطبيقات عمليه و صناعية متعددة .

أن أهم ما ينشر في الوقت الحاضر من بحوث هي موجهة نحو زيادة و تحسين كفاءة القدرة الخارجية لمنظومة الليزر الغازي . أن ظهور القوس الكهربائي في البلازما سوف يجعل الاستقرارية قلقة ، و حيث أن ظهور القوس سوف يحد الضخ الكهربائي للمستويات ، و بالتالي يقضي على الفعل الليزري و يعد هذا السبب الرئيسي الذي يقيد القدرة البصرية الخارجية لليزر . لهذا أصبحت دراسة الاستقرارية هي بؤرة الاهتمام . خلال السنوات السابقة استخدمت عدة طرائق لتقليل عدم الاستقرارية في التفريغ الكهربائي في الليزر و من ضمن أهم الطرائق المستخدمة هي طريقة التبريد بالحمل و تقنية التأين المسبق^[1] .

في أغلب الليزر الغازية يوجد عاملان مهمان يحددان القدرة الخارجية الأول هو منظومة حرارة الليزر ، و الثاني عدم الاستقرارية بالتفريغ^[2] ، هذا فضلاً عن عوامل أخرى تتحكم بقيمة القدرة الخارجية ، و من ضمنها الانتقال الليزري ، طرق تهيجهُ ، شدته ، قطر و طول أنبوب الليزر و كذلك المعدل الذي يمكن أن تتبدد به الحرارة من قبل الوسط الفعال لليزر ومصدر الضخ^[3] . فمنظومة الليزر الغازي التي تمتلك كفاءة خرج الليزر 20% [حيث المقصود بالكفاءة النسبة بين قدرة الليزر الخارجية الى القدرة الكهربائيه المستعملة في التفريغ الكهربائي^[4]] فسيكون هناك حوالي 80% من القدرة الكهربائيه الداخلة في أنبوب التفريغ تتبدد بهيئة حرارة وتلفظ الحرارة من هذه الليزر عن طريق الانتشار من مركز الأنبوب نحو جدرانها التي تكون مبردة^[2] ،^[5] .

و هناك طريقتان للتبريد :

1 - الانتشار الحراري (Thermal Diffusine)

يستخدم غلاف من مادة الزجاج (Pyrex) يحيط بأنبوب التفريغ يمر خلاله سائل التبريد ،
اذ تنتقل الحرارة من داخل حجرة لتفريغ الى سائل التبريد بسبب ملامسة السائل للجدران .
أن قدرة الخرج الليزري لوحدة الحجم تتناسب مع النسبة

$$P \propto (n\lambda V_t/R^2)$$

إذ أن

. P : قدرة الخرج الليزري (watt) .

. n : كثافة الغاز الكتلية (Kg / m³) .

. R : نصف قطر الأنبوب (m) .

. λ : متوسط المسار الحر لجزيئات الوسط (m) .

. V_t : السرعة الحرارية للجزيئات (m / s) .

أن معدل المسار الحر لجزيئات الوسط يتناسب عكسياً مع الكثافة ، لذا فان أحدهما سيلغي الآخر
عند زيادة الضغط و لذا فان الحل الافضل لزيادة قدرة الخرج الليزري هو زيادة طول التفريغ
الكهربائي ، و لهذا يفضل اللجوء الى طريقة الحمل الحراري^{[4],[6]} .

2 - الحمل الحراري (Convective cooling)

وتعتمد كفاءة هذه الطريقة على سرعة جريان الغاز ، اذ يتم جعل الغاز يجري داخل حجرة
التفريغ الكهربائي و بسرعة عالية^{[7],[8]} إذ أن قدرة الخرج الليزري لوحدة الحجم تتناسب (V_g/
d حيث ان (d) المسافة خلال منطقة التفريغ الكهربائي ، (V_g) سرعة جريان الغاز (m/s)^[6]

إما عدم الاستقرار فتعني وجود تغيرات موضعية في الكثافة الإلكترونية إذ إن زيادة تيار
التفريغ يعمل على زيادة الإلكترونات الأولية فضلاً عن زيادة الإلكترونات الثانوية الناتجة من
تصادم الإلكترونات الأولية بسطح الكاثود ، و هذا يعني ان اللااستقرارية هي عدم العودة الى
حالة التوازن وهذا يعني عدم وجود انتظام في الكثافة الإلكترونية لوحدة الطول^[9] ، و انها تحدث
في أي بلازما غير متجانسة. ان ظهور عدم الاستقرارية تجسد عملياً بظهور حزم و تقلصات
في البلازما ، و سرعة نشوء عدم الاستقرارية يعتمد على معدل النمو الزمني للاضطراب في
كثافة الإلكترون و درجة الحرارة لذلك فأن استقرار التفريغ الكهربائي يُعد عاملاً مهماً لتحديد
مقدار الخرج الليزري ، أذ تلعب الاستقرارية دوراً أساسياً ، لأن عملية الليزر تتأثر أكثر عند
عدم الاستقرارية للتفريغ الكهربائي بالمقارنة مع تغير درجة حرارة الغاز ، لأن الحرارة يمكن

السيطرة عليها نوعاً ما بالطرائق التي تم ذكرها مسبقاً . إذ إن التوهج الاعتيادي للتفريغ الكهربائي يتحول الى قوس كهربائي (Arc) عند عدم استقراره و الذي يخفض قيمة الربح (Gain) الى أن تصل الى الصفر فجاءة^[10] .

يعد التأين المسبق (Perionization) من الوسائل المهمة المتبعة في منظومات الليزر لتأثيره الإيجابي على قدرة الليزر الخارجية ، حيث يعمل التأين المسبق على زيادة كثافة حاملات الشحنة في الوسط الفعال قبل حدوث التفريغ الرئيسي^[11] ، و يحد من نشوء التفريغ القوسي (Arc Discharge) . الذي يظهر عادةً عند زيادة كل من ضغط الغاز^[7] ، و الفولتية المسلطة^[12] .

يعمل التفريغ القوسي على تشتيت الطاقة الكهربائيه المخزونة و يعمل على عدم تجانس حراري في الكثافة البصرية ، و يحد من استقرارية الليزر و قدرته، و من هنا تظهر أهمية التأين المسبق لتأمين سهولة حدوث تفريغ كهربائي رئيسي متجانس في الغاز و الحد من تأثير التفريغ القوسي^[11] .

من التقنيات الأكثر تطوراً في التأين الابتدائي هي طريقة التأين بالأشعة فوق البنفسجية أو الحزمة الإلكترونية . حيث ينتج من هذه الأساليب المحسنة تقدماً ملحوظاً في كثافة القدرة الخارجية. قادت هذه التطورات الى تقدم فهم ميكانيكية بلازما التفريغ عند الضغط الجوي (TEA) أو مضاعفاته بالنسبة لتهييج الليزر و الابقاء على استمرارية تفريغ توهجي مستقر . أن العامل الاساسي الذي يتحكم بسلوك البلازما في نظام شبه المستقر هو العامل E/N والذي يمثل النسبة بين شدة المجال الكهربائي (E) الى كثافة الغاز (N) .

أن الفرق بين أنظمة التأين بالأشعة فوق البنفسجية و الحزمة الإلكترونية يكمن في درجة التأين الناتجة من مصدر التأين . عند نظام التأين بالأشعة فوق البنفسجية تكون كثافة الإلكترونات واطئة في بداية التفريغ $(10^4 < n_e < 10^8) \text{e/cm}^3$ اذ يتم تسريع الإلكترونات عن طريق المجال الكهربائي المسلط بطاقة تكفي لتأين الغاز، بمعنى آخر أن نظام التأين بالأشعة فوق البنفسجية يتطلب قيمة عالية من العامل (E/N) لحدوث تأين انهيار للغاز لحين الوصول الى الحالة شبه المستقرة لهذا يدعى هذا النوع من التفريغ (قائم بذاته) ، أما تقنية الحزمة الإلكترونية فأن التأين اللازم ينتج لادامة التفريغ من قبل حزمة الكترونية خارجية يدخل في التقنية استخدام إلكترونات ذات طاقة عالية بحدود (100 – 200)KeV لكون ان المجال الكهربائي المسلط أو قيمة (E/N) صغيرة نسبياً ولا تسبب أي تأين ملحوظ و يدعى التفريغ غير قائم بذاته .

أن الفائدة الكبيرة في التقنية الثانية هي مرونة اختيار المجال الكهربائي و خليط الغاز وكما يمكن تحقيق أنظمة كبيرة تعمل لعدة ضغوط جوية للغاز ، اما مساوى تقنية الحزمة الإلكترونية فيمكن بالكلفة و التعقيد . أما تقنية التأين الأبتدائي بالأشعة فوق البنفسجية فهي ملائمة بصورة خاصة لمنظومة الليزر الصغيرة ، إذ تتولد هذه الأشعة في منطقة خارج التفريغ الرئيسي و كأنه مصدر قوي للأشعة فوق البنفسجية وهذه الفوتونات المتولدة تتحرك ضمن منطقة التفريغ الرئيسي ، و نتيجة التفريغ السريع سوف تسبب هذه الأشعة تأين جزيئات الغاز . وهذا بدوره يؤدي الى توظف عدد من الإلكترونات اللازمة لتوفير تفريغ رئيسي متجانس جزئياً و مستقراً مما يزيد من احتمالية انخفاض حصول القوس الكهربائي . أن التفريغ الرئيسي سوف يحصل بعد تأخير زمني قصيراً جداً يقدر أجزاء من المليون من الثانية بعد التأين الاولي [13],[14] .

بما أن البلازما تتأثر بكلا المجالين الكهربائي و المغناطيسي لذا يستخدم المجال المغناطيسي في حصر البلازما و كذلك يعمل المجال المغناطيسي على استقرارية البلازما أثناء عملية التفريغ الكهربائي للغازات ، إذ أثبتت التجارب الخدمة الفعالة للمجال المغناطيسي في تقليل نمو عدم الاستقرارية ، حيث تستند هذه الطريقة بالاستقرارية على تشتيت تمركز الجسيمات المشحونة فوق منطقة التفريغ [منطقة هبوط الكاثود (كروكس)] في وقت أقل من الزمن اللازم لنمو عدم الاستقرارية^[1] .

من الضروري الحصول على حالة الاستقرار لاحتواء البلازما ، لأن البلازما عندما يسلط عليها مجالاً مغناطيسياً اعتباطياً فأنها سوف تمتلك تيارات كهربائية داخلية ينتج من تفاعلها مع المجالات المغناطيسية الخارجية ، و ينتج من حركة الجسيمات المشحونة و التيارات الكهربائية حالات عدم استقرار تؤدي الى ضياع البلازما و خسارة جزء منها ، لذا أصبح من الضروري إيجاد الوسائل المناسبة لمنع البلازما من الوصول الى حالات غير مستقرة^[15] .

1 - 2 الضخ الكهربائي :

من أجل تحقيق التأهيل العكسي يجب اتخاذ طريقة للضح . ومن طرائق الضخ المستخدمة في الليزر الغازية هو الضخ الكهربائي ، إذ تستخدم هذه الطريقة في ليزر الغاز و ليزر شبه الموصل و لكن عملية الإثارة تختلف من حيث الأساس في الغاز عنه في شبه الموصل ، فهي تتم في الغاز عن طريق التفريغ الكهربائي ، في حين شبه الموصل باستخدام فرق جهد يعمل مجاله على حقن الناقلات المشحونة الى منطقة الملتقى^[16] .

1 - 3 الليزر الغازية :

في الغازات كما هو الحال في المواد الأخرى يحدث التكبير للأشعة فقط في حالة تحقق الشرط المسمى بالتأهيل العكسي (Population Inversion) ، وتنتم هذه العملية نتيجة وجود عدد كبير من الذرات في مستويات الطاقة العليا بينما يكون عدد الذرات في المستويات الطاقة الدنيا قليل جداً [16]، [17] . أن كثافة الوسط الفعال في الحالة الغازية قليل و لذلك فان مقدار التوزيع المعكوس يكون صغيراً جداً بالمقارنة مع ليزرات الحالة الصلبة ، إذ أن عدد الإلكترونات في المتر المكعب الواحد لمادة ليزر الحالة الصلبة يزيد $(10^4 - 10^5) \text{ e/cm}^3$ مما هي في الحالة الغازية ، ولهذا السبب يكون من الطبيعي أن تجد حجم منظومة الليزر الغازي كبير مقارنة مع منظومة الحالة الصلبة و التي لها القدرة نفسها . إذ تعد المواد الغازية أكثر تجانساً من المواد الصلبة ، وحركة جزيئاتها تسهل من عملية التبريد الذي يتم بواسطة غلاف زجاجي يمر فيه الماء [18] .

في الضخ الكهربائي يوضع الغاز تحت ضغط منخفض بحدود (6 - 20) torr في أنبوبة زجاجية . وفي نهايتها قطبي التفريغ (الكاثود و الانود) ، إذ تتعجل الإلكترونات الناتجة من عملية التفريغ باتجاه الانود بفعل المجال الكهربائي ، و تؤدي الاصطدامات المختلفة الى اكتساب الذرات المتعادلة أو الأيونات طاقة إضافية تتهيج بموجبها الى مستويات طاقة أعلى . و يكون وضع المادة في عملية التفريغ خليطاً من العديد من المكونات الأساسية ، فتكون المادة على شكل ذرات متعادلة أو متهيجة أو في حالة شبه مستقرة (Metastables) و أيونات موجبة و أخرى سالبة و الإلكترونات حرة و جسيمات أولية ، أن هذا الخليط يسمى بلازما . و يؤدي اكتساب الطاقة بالنسبة لكثير من الذرات المتهيجة التي تكون في حالة شبه المستقر الى حصول التوزيع المعكوس بالنسبة لمستويات من الطاقة وهذا هو الشرط [19] .

تصنف الأنواع المختلفة لليزر الغازية أحياناً وفق تركيب الغاز المستخدم كوسط فعال لعمل الليزر وهي [16]، [18] :-

- 1 - ليزر غاز ذري : ويدعى أحياناً بليزر الذرة المتعادلة، إذ يكون الوسط الفعال غاز أحادي الذرة ، وتقع ضمن هذه المجموعات بعض ليزرات الغازات النبيلة (هليوم ، نيون ، زنيون) وكذلك ليزر أبخرة بعض المعادن مثل ليزر النحاس الذري .
- 2 - ليزر غاز أيوني : إذ يكون في هذه الحالة غاز متأين ومن الأمثلة على هذا النوع ليزر غاز أيون الأركون أو بخار معدن ذراته متأينة مثل ليزر بخار الكاديوم وليزر بخار السلينيوم .

3 - **ليزر غاز جزيئي** : إذ يحدث الفعل الليزري بين مستويات الطاقة المختلفة للجزيئه (مستويات الطاقة الإلكترونيه و دورانية و تذبذبية) ومن أشهر الأمثلة على هذا النوع هو ليزر غاز جزيئه ثاني أكسيد الكربون CO₂ .

فعند إمرار تيار كهربائي خلال الغاز يحدث تأين في الغاز ، و تتعجل كل من الأيونات الموجبة و الإلكترونات بواسطة المجال الكهربائي فسيكسبها هذا طاقة حركية إضافية ، حينئذ تصبح قادرة على تحريض الذرات (ذرات الغاز) عن طريق التصادم ، و هذا التحريض يتم على الأكثر بواسطة الإلكترونات السريعة^[16] . و اذا كان الغاز يتكون من مزيج من غازين مختلفين مثلاً تحريض ذرة أحدهما الأخرى عن طريق التصادم فيما بينهما و أيضاً يتصادم كل منها مع الإلكترونات السريعة^[20] ، و يعد التفريغ الكهربائي المصدر الأساسي للطاقة في أكثر أنواع الليزرزات الغازية المشهورة ، إذ أن العملية المتغلبة فيها هي عملية الانتقال الرنيني للثارة (عند تصادم ذرتين أحدهما في الحالة الأرضية مثل (A) وأخرى متهيجه (B*) فبعد التصادم تصبح الأولى متهيجه (A*) والأخرى في حالة أرضيه (B))^[3] .

تتكون البلازما الناتجة من عملية التفريغ التوهجي من الإلكترونات الحرة و الأيونات فضلاً عن الجزيئات و الذرات المتعادلة . و أن تصرف البلازما هذه يعتمد وبصورة اساسية على كثافة الإلكترونات ودرجة حرارة ، و أن طاقة الإلكترونات هي التي تتحكم بمعظم العمليات التي تحصل داخل البلازما^{[21],[2]} .

ويمكن تصنيف التفريغ الكهربائي في الغاز اعتماداً على قيمة التيار الكهربائي عبر حيز التفريغ الى ثلاثة أصناف:

1- التفريغ المظلم : (تفريغ تاونزيد (Townsend))

إذ تكون قيمة تيار التفريغ بحدود (10^{-6}) Amp .

2- التفريغ التوهجي :

إذ تكون قيمة تيار التفريغ بحدود $(10^{-1} - 10^{-6})$ Amp .

3- التفريغ القوسي : (Arc)

إذ تكون قيمة تيار التفريغ بحدود (0.1 Amp) او أكثر^[22] .

1 - 4 الهليوم :

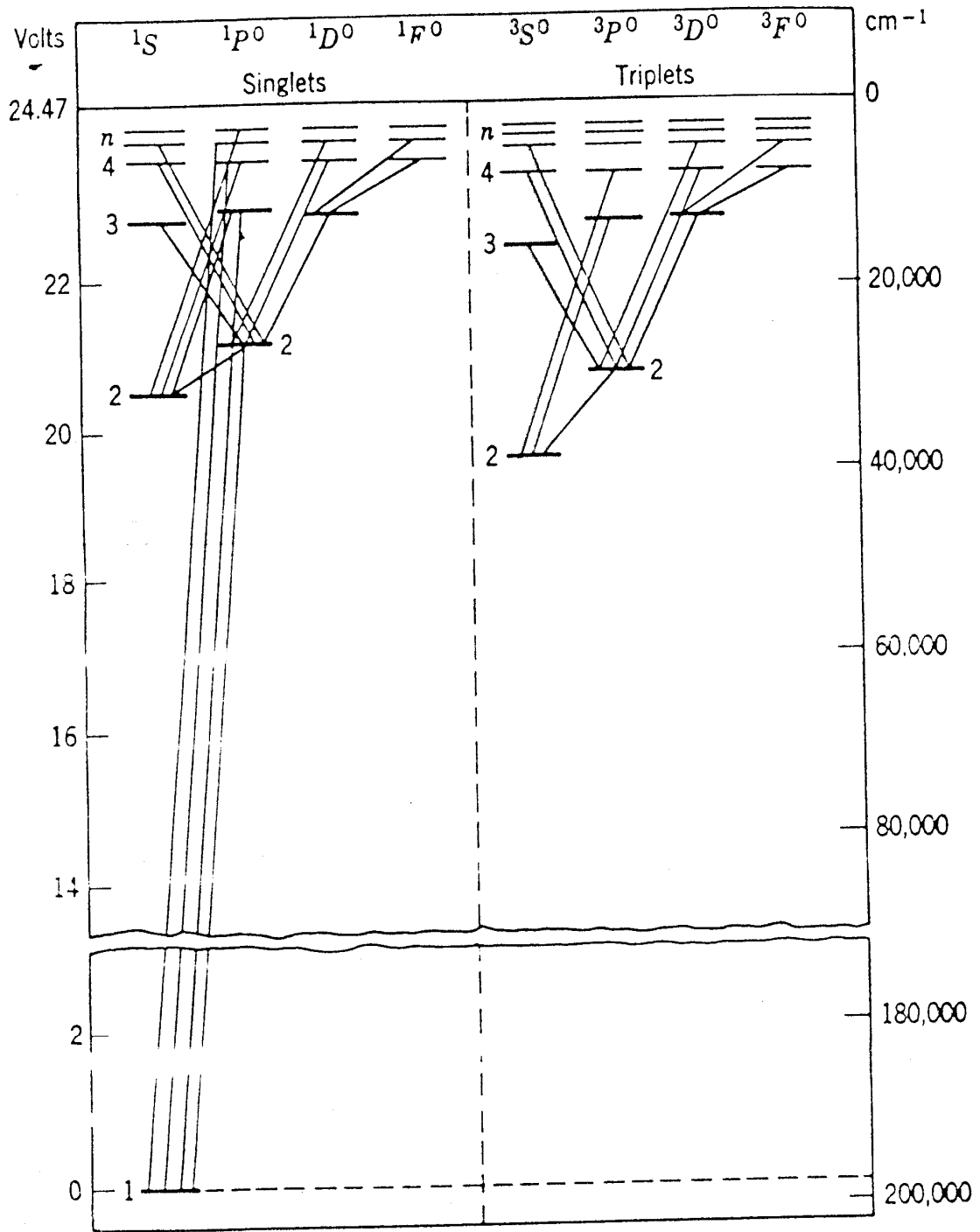
توجد ليزرات ذرية لغازات نبيلة تشابه الليزر الأيونية في مميزات التشغيل ، هناك ليزرات معينة من الهليوم تشتغل في المدى البعيد من المنطقة تحت الحمراء لا يمكن الحصول فيها على الفعالية الليزرية إلا باستخدام تيار تفريغ عالٍ . كما ان هناك عدد من الخطوط الطيفية في غازات نبيلة أخرى لا تظهر إلا باستخدام تفريغ نبضي و ذات تيار عالٍ . أن طبيعة التوزيع المعكوس في هذه الغازات تكون بحيث أنه في انتقالات معينة يبقى التأهيل المعكوس لفترة زمنية قصيرة (Micro Second) بعد بدء التفريغ بسبب كون عملية امتلاء المستوي الليزري العلوي يجري بصورة أسرع مما عليه للمستوي الليزري السفلي ، و لكن آخر الأمر يمتلئ أيضاً المستوي السفلي و يصبح ليس بمقدور التذبذبات الليزرية على الاستمرار ، و عادةً يظهر هذا الوضع عندما يكون تصرف المستوي السفلي بطيئاً (يمتلك مدى عمر طويل) ، أما في حالة الانتقالات المعتدلة فيبقى بعض التأهيل المعكوس إلا أن قيمتها للحالة المستقرة تكون أصغر بكثير من قيمتها العظمى التي وصلت إليها بعد وقت قصير من بدأ التفريغ وفي هذه الحالة يمكن احراز الفعالية الليزرية في تشغيل مستقر عند مستوي أوطى ما يمكن احرازه بالإثارة النبضية .

يمكن الحصول على التذبذبات الليزرية من غاز الهليوم في منطقتين طيفيتين تفصل بينهما مسافة كبيرة . و تعد الليزر في المنطقة البعيدة من تحت الحمراء عند الطول الموجي $1.9543 \mu\text{m}$ و الطول الموجي $2.0603 \mu\text{m}$ من نوع الليزر الغازية الذرية الاعتيادية و قد تم اكتشافها في وقت مبكر حيث اكتشف الأولى 1962 من قبل بحوث مختبر بيل تلفون و اكتشف الثانية 1963 من قبل مجموعة في فرنسا ، أما ليزرات الهليوم الاستثنائية في المنطقة البعيدة من تحت الحمراء عند الأطوال الموجية ($95.8 \mu\text{m}$ ، $218 \mu\text{m}$) اكتشفت من قبل Levine و Javan عام 1969 ، وتمتلك النوعين من ليزرات الهليوم صفات فريدة و مهمة و تعد الليزر التي تشتغل في المنطقة قرب الحمراء من الليزر السريعة الاهتياج في التفريغ التوهجي .

في أغلب الليزر الغازية و خاصةً ليزر غاز CO_2 يضاف غاز هليوم كعامل مساعد ، حيث ثبت علمياً ان إضافة غاز الهليوم كجزء من الخليط الغازي له تأثيراً كبيراً على القدرة الخارجية^[18] .

حيث يلعب غاز الهليوم دور المبرد للمزيج الغازي^[18]،^[23] اذ يعمل على تقليل درجة حرارة خليط الغازات اذ أن لغاز الهليوم توصيلية حرارية (Heat Capacity) تقدر بحوالي ستة أضعاف التوصيلة الحرارية لغازات CO_2 ، N_2 ^[24] ، حيث ان التوصيلة الحرارية لغاز CO_2 هي $0.034 \times 10^{-3} \text{ cal} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{deg}^{-1}$ و لغاز N_2 $0.057 \times 10^{-3} \text{ cal} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{deg}^{-1}$ اما لغاز الهليوم فهي $0.344 \times 10^{-3} \text{ cal} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{deg}^{-1}$ ^[25] وهي تؤهله لنقل الحرارة المتولدة

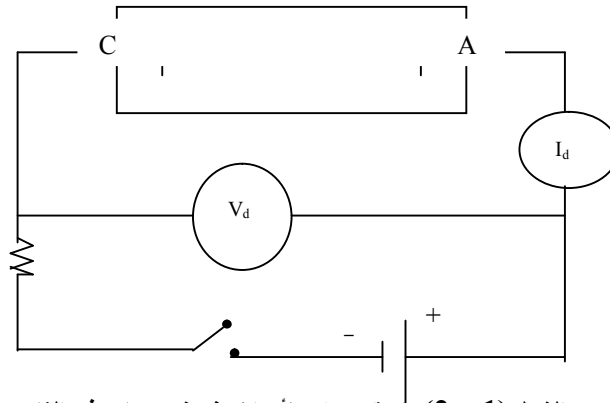
في منطقة الفعل الليزري و تبديدها عند الجدران^[26] كما ان غاز الهليوم يقوم بتوفير مجانسة (Homogeneity) للتفريغ الكهربائي^[27] .



شكل (1-1) رسم تخطيطي لمستويات طاقة الهيليوم. الخطوط المائلة تمثل الانتقالات النموذجية المسموح بها. المقياس على الجهة اليسرى بدلالة الانكترتون فولت، مقاساً من حالة الهدود؛ المقياس على الجهة اليمنى بدلالة الأرقام الموجية مقاساً من مستوى التأين [17].

1 - الخصائص العامة المميزة للتفريغ الكهربائي :

يمكن أن تنشأ التفريغات الكهربائية في الغاز على مدى واسع جداً من ضغط الغاز و أن تحمل تيارات كهربائية تتراوح من أقل من بضعة مايكرو أمبير الى أكثر من (10^6 A) . وقد تكون عمليات مستقرة الوضعية او عمليات عابرة ذات أمد قصير جداً . أن الخصائص المميزة للتفريغ الكهربائي بين القطبين تعتمد على ضغط الغاز ، المسافة بين القطبين ، طبيعة الفولتية المسلطة و ثوابت الدائرة الخارجية . يمكن زيادة التيار على نحو بطئ في تفريغ كهربائي ذي حالة مستقرة الوضعية عند ضغط منخفض للغاز بإنقاص المقاومة المربوطة على التوالي في الدائرة الكهربائية المبينة بالشكل (2-1) .

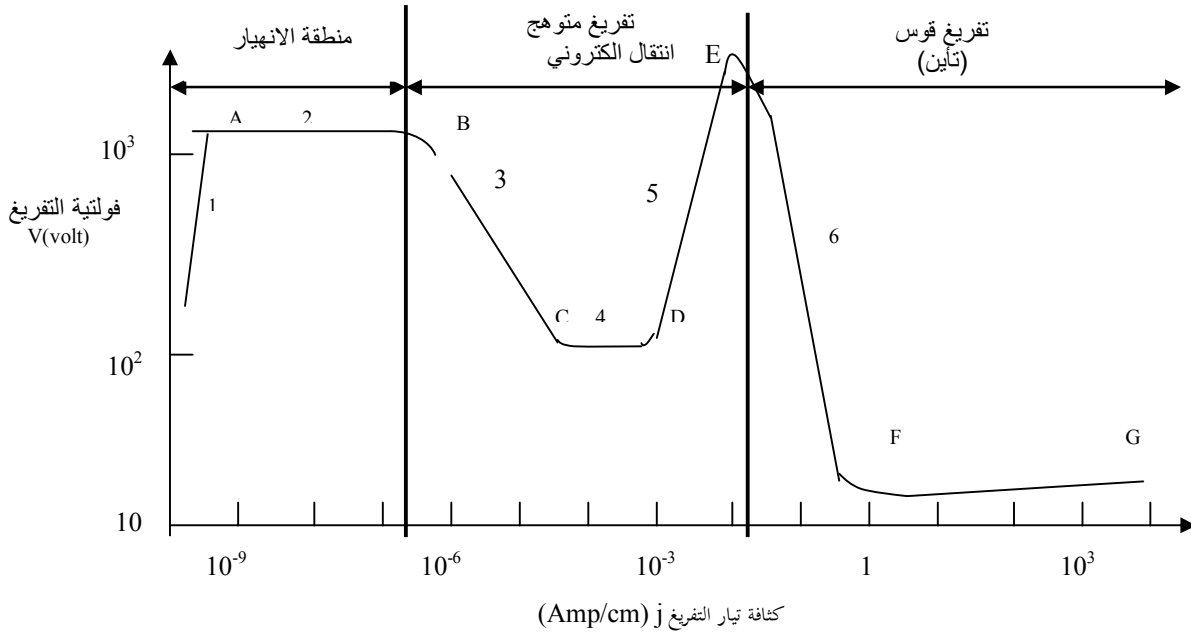


الشكل (1 - 2) دائرة تستخدم لأحداث تفريغ كهربائي في الغاز

أن الخصائص المرئية للتفريغ ستتغير مع كثافة التيار و مع الفولتية عبر التفريغ كما مبين في مخطط (تيار - الفولتية) الشكل (3-1) (28) ، عند كثافة تيار واطئ ($j < 10^{-12}$ Amp/cm³ → 10^{-4} سيظهر التفريغ غير ذاتي المداومة ، و أن توليد زوج الكترون - أيون يعود الى المصدر الخارجي ، بزيادة كثافة التيار ، $10^{-12} < j < 10^{-8}$ Amp/cm³ ستظهر منطقة تفريغ تاونزويد^[29] ، فهي منطقة تتميز بتيار قليل جداً . و يكون غير مرئي ، و ذلك بسبب الكثافة القليلة للذرات المهيجة التي تبعث ضوءاً مرئياً لذلك فإن أزواج إلكترون - أيون ستتولد نتيجة التصادم بين الإلكترونات و جزيئات الغاز مع بقاء المصدر الخارجي هو المؤثر عند قيمة (j) الواطئة^[30] ، إذن فهو ليس تفريغاً ذاتي المداومة أيضاً، فإذا انقصت قيمة المقاومة أو زادت فولتية التفريغ فسوف يزداد التيار على نحو سريع عدة عشرات من المرات بقدر قيمته الى أن تحصل فولتية الانهيار، التي تعتمد قيمتها على ضغط الغاز و طبيعته و على المسافة الفاصلة بين الأقطاب . بزيادة كثافة التيار بحدود 10^{-4} Amp/cm³ ، عندها سيحصل الانهيار و تهبط الفولتية و التفريغ يصبح واضحاً مع وجود مناطقه مضيئة ومظلمة داخل حيز التفريغ ، عندئذ يصبح التفريغ ذاتي المداومة و يأخذ شكل

التوهج أو القوس . و ذلك يعتمد على ظروف الدائرة الخارجية ، وفي كلتا الحالتين يصبح الغاز مضيئاً . عند زيادة كثافة التيار عن $(10^{-4} \text{ to } 10^{-3}) \text{ Amp/cm}^3$ → فان الفولتية عملياً سوف تبقى ثابتة و كل المناطق المجاورة للكاثود ستغطي تماماً بالتوهج السالب . و تزداد بزيادة التيار ، و تعود الى الزيادة عند تغطية الكاثود بأجمعه و الفولتية ستصل الى أعظم قيمة لها $(10^{-3} \text{ to } 10^{-1}) \text{ Amp/cm}^3$ ثم تعود الى الهبوط مرة أخرى عندما يسخن الكاثود و يؤدي الى سخونة الغاز بحدود $(1 \text{ to } 10^{-2}) \text{ Amp/cm}^3$ وهذه القيمة هي الحد الفاصل بين التفريغ التوهجي و القوسي [29] .

فإذا كان ضغط الغاز منخفضاً يحصل تفريغ متوهج عند فولتية الانهيار و عند تيار يقع في مرتبة الملي أمبير فيبعث الغاز عندئذ توهجاً منتشراً فيه مناطق متميزة عدة . أما اذا كان ضغط الغاز أقرب الى الضغط الجوي الاعتيادي . أو اذا كانت مقاومة الدائرة الخارجية صغيرة نسبياً فإن الانهيار سينتج تفريغاً قوسياً . أن الإشعاع من عمود قوسي يملك شدة أعلى من تلك التي للتفريغ المتوهج و يكون التيار فيه من مرتبة الأمبيرات في حين تكون الفولتية عبر التفريغ واطئة بحدود $(30 - 100) \text{ volt}$. ان بالامكان – ولو أنه يعدّ أمراً صعباً- دامة التفريغ التوهجي عند الضغط الجوي الاعتيادي أو أعلى منه و أن يحمل تيارات تزيد قيمتها على أمبير واحد ، غير أنه وجد أن التوهج الجيد يميل لان يتغير الى القوس اذا ازداد التيار أو الضغط أو كلاهما [22],[31] .



الشكل (1 - 3) خصائص (فولتية-تيار) الحالة المستقرة لتفريغ كهربائي في الغازات [30,31]

لو أخذ

على قيم مختلفة للتيار الكهربائي ، و برسم كلا المتغيرين (الفولتية – التيار) نحصل على منحني خواص أنبوبة التفريغ الكهربائي المستخدم ، و التي تحتوي على غاز معين تحت ضغط (p) و بمسافة مقدارها (d) بين القطبين ، في المخطط (1 - 3) ، يمثل الجزء الأول تفريغ الشرارة الذي يمتاز بفولتية عالية نسبياً و تيار قليل ، أما الحيز الثاني (AB) فيمثل تفريغ تاونزيد (Townsend) و تكون الفولتية في جزء منه ثابتة تقريباً أو تتغير بشكل طفيف مع زيادة التيار ، فإذا أخذنا النقطة B من الحيز (AB) ، هذه النقطة تمثل خواص الانهيار الذي يحدث في الغاز (و يعني فقدان الغاز لغازيته تماماً) ، أما للحيز الثالث (BC) فهو يمثل توهج شبه طبيعي ينتقل فيه التفريغ من نمط الى آخر ، أي من تفريغ تاونزيد المظلم الى التوهج الذي يستمر بامتداده ليشمل الحيز الرابع (CD) الذي يمثل التوهج الطبيعي للغاز و الذي تكون فيه الفولتية ثابتة تقريباً، في حين يتغير التيار بمقدار كبير نسبياً . أما الحيز الخامس (DE) فينتقل التفريغ الى حالة التوهج غير الطبيعي ، إذ تزداد الفولتية بشكل سريع ، في الوقت الذي تكون زيادة التيار طفيفة ، و أخيراً فأن الحيز السادس (EF) يمثل مرحلة انتقالية من التوهج الى القوس الكهربائي و الذي يمتاز بتيار عالي و انخفاض الفولتية ، و يمتاز التفريغ القوسي بارتفاع قيمة التيار الكهربائي و احتوائه على قدرة كهربائية عالية اذا ما قورنت بانماط التفريغ الكهربائي الاخرى [30],[3] .

اذا كانت لدينا منظومة مملوءة بوسط غازي تحت ضغط معين و قطبي التفريغ الكهربائي مفصولين بمسافة محددة ، ففي بداية تسليط المجال الكهربائي على الغاز لا يوجد سريان للتيار الكهربائي بسبب مقاومة الغاز الاستاتيكية العالية . نلاحظ من الشكل (1-3) ، أنه عند البدء بزيادة الفولتية المسلطة ما بين القطبين بشكل تدريجي يكون تدفق للتيار الكهربائي قليل جداً (I < 10⁻⁶ Amp) المنطقة A لذا سيكون الغاز موصلاً بشكل قليل جداً ، يسمى هذا التيار بتيار الانهيار الأولي (Per Break Down)، ومع استمرار زيادة الفولتية المسلطة ما بين قطبي التفريغ الكهربائي و وصولاً الى قيمة فولتية الانهيار للوسط الغازي حيث تستمر زيادة التيار المار الى أن تصل قيمته الى بضعة (nAmp) في (نقطة B) ، عند هذه النقطة يحدث تحول لعدد كبير من جزيئات الوسط الغازي الى أيونات و تزداد توصيلة الوسط الغازي و تتعجل الإلكترونات لتصبح قادرة على الانتقال بطاقة أعلى لتأين جزيئات أكثر من خلال التصادم معها ، مع استمرار زيادة قيمة تيار التفريغ الكهربائي الى أن تصل الى النقطة C و عند هذه النقطة ، فان الفولتية اللازمة لتعزيز التفريغ تقل مع استمرار زيادة قيمة تيار التفريغ الكهربائي فتصبح مقاومة الغاز سالبة (Negative Resistance) أي لا تخضع لقانون أوم . لذا و من اجل

إبقاء التيار ضمن حدود معقولة تربط مقاومة موجبة (Ballast Resistor) على التوالي مع أنبوب التفريغ^[32]. حيث تعمل المقاومة الموازنة على تحديد مقدار التيار الداخل الى منطقة التفريغ الكهربائي. و لأجل الحصول على أفضل استقرارية يجب ان تكون قيمة المقاومة تبعاً للشرط الآتي :

$$\Omega s + \Omega > 0 \quad (A)$$

حيث ان

Ωs : المقاومة الاستاتيكية .

Ω : المقاومة الموازنة .

وبما أن قيمة مقاومة التفريغ تكون سالبة ، لذا يجب أن تكون قيمة المقاومة الموازنة موجبة لتحقيق الشرط السابق ، كما و يجب أن تكون أكبر من مقاومة التفريغ (مقاومة الغاز)^[33].
أن الدراسات السابقة لم تستطيع تحديد القيمة المثلى للمقاومة الموازنة التي يحتاجها ممانعة التفريغ التوهجي ليكون مستقراً ، لكن توجد طريقة تقريبية لحساب قيمة المقاومة الموازنة بالاستعانة بقانون أوم لتعين ممانعة التفريغ الكهربائي.

$$\Omega s = E d / I \quad (B)$$

حيث أن

E : شدة المجال الكهربائي المسلط (volt/cm).

I : التيار الكهربائي المار (Amp) .

d : المسافة بين الاقطاب (cm) .

و بتعويض المعادلة (B) في المعادلة (A) نحصل :

$$E d / I + \Omega > 0$$

من المعادلة أعلاه يمكن معرفة قيمة المقاومة الموازنة تقريباً .
و أخيراً فأن الصعوبة تكمن في تحديد المقاومة نتيجة تغير مقاومة التفريغ و كذلك نتيجة تغير قيمة المقاومة الموازنة نفسها ، بسبب ارتفاع درجة حرارتها^[34]. لذا سيكون من الصعوبة السيطرة على فولتية و تيار التفريغ الكهربائي بعد حدوث الانهيار وخلال لتفريغ أيضاً ، لذا سيحدث اضطراب (Fluctuation) في مقاومة التفريغ مما يؤدي الى حدوث اضطراب في القدرة الخارجية . و أن هذا الاضطراب ينتج بفعل التغيرات في درجة حرارة البلازما و جدران حاوية الليزر الناتج أصلاً من تفاعل شعاع الليزر مع وسط التفريغ داخل حجرة الليزر^[35].

1 - 6 فولتية التفريغ :

إن عدة عوامل رئيسية تحدد قيمة فولتية التفريغ الكهربائي التي تحتاجها المنظومة المصممة و شروط حصول الانهيار الغازي ، فقد استنتج العالم باشن (Phaschen) بأن الفولتية اللازمة لعملية التفريغ الكهربائي (فولتية التوهج أو ما يسمى بجهد التفريغ Sparking) هي دالة لحاصل ضرب المسافة الفاصلة بين أقطاب التفريغ الكهربائي و ضغط الغاز المستخدم و حسب العلاقة الآتية^{[32],[36]} :

$$V_{dis} = F(Pd)$$

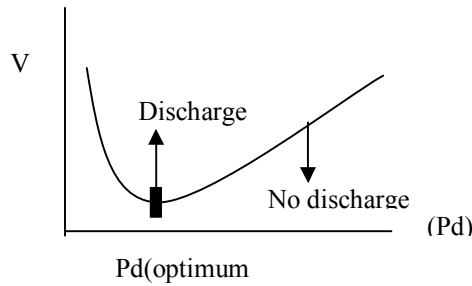
حيث أن

V_{dis} : فولتية التوهج (Volt/cm) .

P : ضغط الغاز المستخدم (Torr).

d : المسافة الفاصلة بين الاقطاب (cm) .

F : ثابت يعتمد على نوع الغاز .



الشكل (1 - 4) العلاقة بين فولتية التفريغ و المسافة الفاصلة بين الأقطاب لضغوط مختلفة^{[36],[37]}

الشكل (1 - 4) يوضح الجهد العالي لحصول الانهيار بالغاز عند الضغوط العالية (High Pressure) و الضغوط الواطئة (Low Pressure)، إلا أن هناك قيمة معينة لحاصل ضرب قيمة الضغوط و المسافة يحصل عندها التوهج و التي تدعى بفولتية الانهيار (Break Down Voltage)، و تعتمد فولتية التوهج أيضاً على نوع الغاز المستخدم ، و شكل الأقطاب ، مادة الأقطاب كما تتأثر بحالة وجود مجال مغناطيسي خارجي أو لا^{[34],[36],[37],[38]} . و عادةً يتم حساب فولتية الانهيار بطريقتين :-

1- المسافة بين الأقطاب ثابتة (d) و فولتية الانهيار تحسب لقيم مختلفة من ضغط الغاز (p).

2- الضغط ثابت (p) و فولتية الانهيار تحسب بتغيير المسافة ما بين الأقطاب (d) .

ولقد استنتج (V. A. Lisovkiy) بأن فولتية الانهيار ليست فقط دالة لحاصل ضرب الضغط (p) و المسافة ما بين الأقطاب (d) و إنما هي دالة للنسبة بين (d/R) حيث R نصف قطر حجرة التفريغ ، أي ان $V_{dc} = f(Pd, d/R)$ و خاصة عند الضغوط الواطئة^[37] .
يوضح الجدول (1-1) أقل قيم لحاصل ضرب pd و فولتية انهيار لغازات مختلفة .

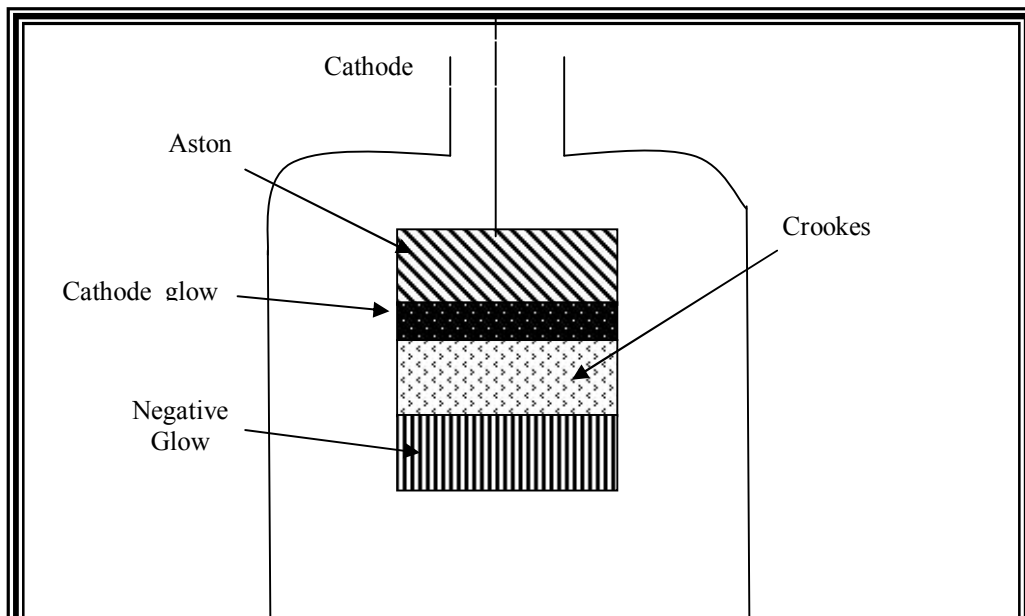
جدول (1 - 1) يبين أقل جهد للانهايار لمختلف الغازات^[39]

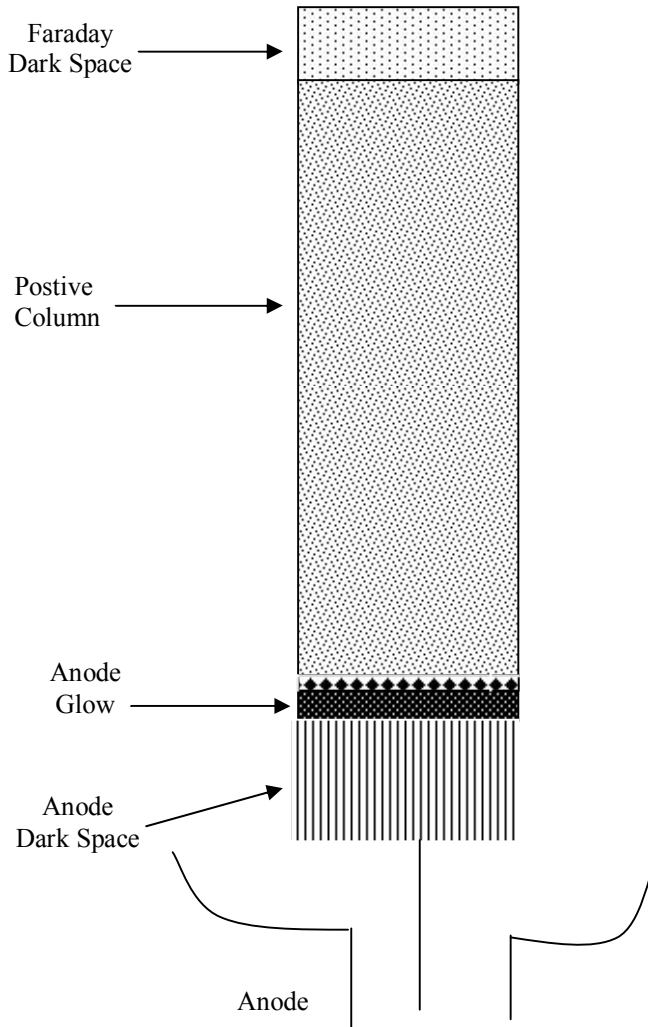
Gas	V _s (Volt)	Pd at V _s min (torr . cm)
Air	327	0.567
Ar	137	0.9
H ₂	273	1.15
He	156	4.0
Co ₂	420	0.51
N ₂	251	0.67
N ₂ O	418	0.5
O ₂	450	0.7
SO ₂	457	0.33
H ₂ S	414	0.6

1 - 7 مناطق التفريغ التوهجي :

أن تسمية التفريغ التوهجي تعود الى المناطق المضيئة المتولدة بالقرب من الكاثود مع وجود المنطقة المظلمة بينهما وبين الكاثود ، إذ أن الإلكترونات ستتجلى الى طاقة كافية لتوليد أزواج إلكترون - أيون .

أن الإلكترونات المخترقة لمنطقة التوهج تتضمن مجموعتان الاولى هي الإلكترونات السريعة المتولدة بالقرب من الكاثود و التي لا تعاني التصادمات غير المرنة في المنطقة المظلمة ، و الثانية وهي و تتضمن الإلكترونات المتولدة عند المنطقة المظلمة و التي تعاني من التصادمات غير المرنة . و تكون بسرعة أبطأ من الاولى . و ينقسم التفريغ التوهجي في أنبوب التفريغ التوهجي الى مناطق مختلفة^[40] كما موضح بالشكل (1-5) ، ففي مقدمة الكاثود هناك منطقة مظلمة تسمى فضاء استون المظلم (Aston Dark Space) بسبب بطئ الإلكترونات الخارجة بالقرب من الكاثود . تليها منطقة توهج الكاثود (Cathod Glow) ، وهو توهج متألق يغطي كل الكاثود أو جزء منه و يعتمد طول هذه المنطقة على الغاز و ضغطه ، أما الثالثة فتسمى كروكس (Crookes) ، و التي يكون فيها الإلكترونات ذات سرعة عالية أي أعلى من السرعة المطلوبة لحصول أحسن تهيج ، و لذا تكون هذه المنطقة مظلمة نسبياً . عند الكثافات العالية فإن الإلكترونات البطيئة ستكون هي مؤثرة في عملية التهيج و التي تولد التوهج السالب (Negative Glow)^{[40],[2]} وهي أول منطقة مضيئة و براقية في التفريغ التوهجي يمكن رؤيتها ، فهي منطقة البلازما حيث تتكون من حزمة من الإلكترونات ذات الطاقة العالية التي تنبعث من الكاثود و تتعجل عبر منطقة المجال الكهربائي عالي الشدة^{[41],[22]} أن تكون الأيونات الموجبة يؤدي الى تقليل شدة المجال الكهربائي فينتج عنه تباطؤ في سرعة الإلكترونات عندئذ تحصل منطقة مظلمة أخرى تسمى فضاء فردي (Farady Dark Space)^[25] . ففي هذه المنطقة المظلمة تكون طاقة الإلكترونات صغيرة جداً و لا تؤدي الى التهيج و ان المجال الكهربائي سيزداد بزيادة المسافة عن الكاثود و يصبح ثابتاً و مستقراً في العمود الموجب (Positive Coulmn) ، و عادةً تكون هذه المنطقة ذات توهج منتظم و واضح ، بسبب التحركية (Mobility) الواطئة للأيونات ، فإن الإلكترونات هي المسؤولة عن حمل تيار التفريغ ضمن العمود الموجب^[40] ، أن منطقة العمود الموجب هي المنطقة المضيئة الثانية في أنبوب التفريغ و تشغل القسم الأكبر من المسافة الفاصلة بين قطبي التفريغ الكهربائي و تحدث في هذه المنطقة أغلب عمليات التهيج المطلوبة اذ تكون شدة المجال الكهربائي على طول هذه المنطقة ثابتة و تكون تركيز كل من الإلكترونات و الأيونات الموجبة و السالبة متساوية^{[38],[40]} ، و تعد منطقة لكاثود لمظلم هي المنطقة الأهم في التفريغ الكهربائي بالنسبة لانتقال التوهج الى القوس و ذلك بسبب الشدة العالية للمجال الكهربائي في هذه المنطقة^[1] .





الشكل (1 - 5) مناطق التفريغ الكهربائي التوهجي في الغاز [25],[45]

1 - 8 أنواع التفريغ التوهجي :

يقسم التفريغ التوهجي الى نوعين و هما التفريغ التوهجي القائم بذاته (Self-sustained glow discharge) و التفريغ التوهجي غير القائم بذاته (Non - self sustained glow discharge)، اذ يقصد بالتفريغ الكهربائي القائم بذاته هو أن يقوم المجال الكهربائي المسلط بتعجيل الإلكترونات بطاقة تكفي لإحداث التأين الانهياري (Avalanch Ionization) للغاز ، ويحتاج هذا النوع من التأين بالأشعة فوق البنفسجية الى أن يكون العامل $E \setminus N$] حيث أن E شدة المجال الكهربائي ، N كثافة الغاز] كبيراً بصورة كافية لديمومة الانهيار حتى الوصول الى الكثافة الإلكترونية المطلوبة [6],[42],[42]. وتكون مواصفات هذا التفريغ ثابتة مع الزمن . و يتم فيه دعم التفريغ الكهربائي بالجسيمات المشحونة و الأيونات

بمعدل ثابت مع الزمن لاستمرار أحداث التفريغ خلال الغاز [22],[48]. أما النوع الثاني غير القائم بذاته فإن المجال الكهربائي يكون فيه ضعيفاً نسبياً و لهذا فإن النسبة E/VN تكون قليلة ، لذلك يحتاج الى توظيف حزمة إلكترونية بطاقات عاليه (100–200)kev للسيطرة على عملية الضخ وأحداث التأين اللازم [6],[42],[43].

من الضروري توليد فولتية أعلى بكثير من الهبوط بالفولتية عبر الأنبوب و السبب في ذلك ، هو امتلاك التفريغ الكهربائي مميزات مقاومة سالبة ، وهنا يجب موازنة الدائرة الكهربائية عن طريق ربط مقاومة الكبح على التوالي مع الأنبوب . و يجب على مصدر الطاقة أن يزود بفولتية عالية ليعوض الهبوط عبر مقاومة الكبح التي تؤثر كثيراً [34].

1 - 9 البلازما وعدم استقرارها :

يمكن توليد البلازما عملياً باستخدام غاز تحت ضغط واطى ، و تسخينه أو تفريغه كهربائياً ، حتى يصبح معدل الطاقة الحركية لجسيمات الغاز مقاربة الى ما يلزمه لتأين الغاز. عندئذ تكفي التصادمات بين جزيئات الغاز الى التأين السريع لذراته و لأن الجهد المطلوب للتأين عدة وحدات من فرق الجهد ، إذن ستصبح عملية التأين ممكنة عندما تصبح الطاقة الحركية عدة وحدات من الإلكترون فولت [44],[45].

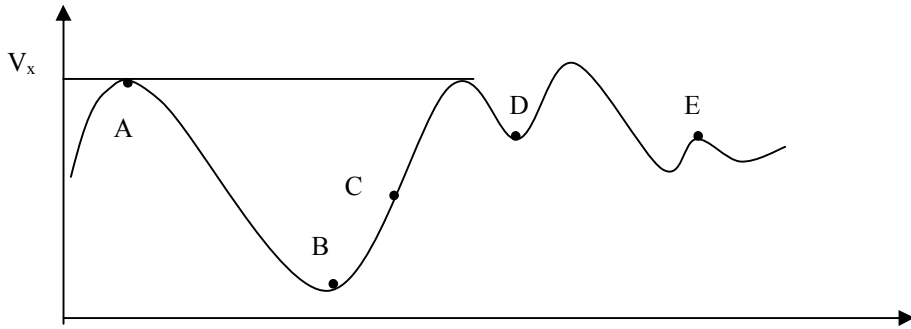
عند وضع البلازما في مجال مغناطيسي تبدأ عليها ظواهر حركة غير مستقرة ، تسبب حركة موضعية عالية تغطي على جميع ظواهر البلازما الأخرى .

بما ان البلازما تسلط ضغطاً خارجياً على ما حولها ، أذن يمكن مقاومة الضغط الذي تسلطه بتسليط قوة كهرومغناطيسية ناتجة عن المجال المغناطيسي لمغناطيس محيط بالبلازما ، و يمكن قيادة أو تسيير الجسيمات المشحونة باتجاه تحدده حدود المجال المغناطيسي بحيث تدور هذه الجسيمات في مدارات تبقىها داخل حجرة البلازما و تمنعها من التماس مع الجدران.

أن الصعوبة تكمن في احتواء البلازما مغناطيسياً ، لان البلازما عند احتوائها يجب ان تمتلك تيارات كهربائية داخلية ينتج عن تفاعلها مع المجالات المغناطيسية الخارجية القوة اللازمة لاحتوائها . و ينتج عن حركة الجسيمات المشحونة و التيارات الكهربائية حالات عدم استقرار تؤدي الى ضياع البلازما أو خسارة جزء منها و لذا من الضروري الحصول على حالة الاستقرار لاحتواء البلازما ، لذلك أصبح إيجاد الوسائل لمنع البلازما من الوصول الى حالات غير مستقرة من الأهداف المهمة في (بحوث) فيزياء البلازما [15].

لما كانت ظاهرة النقل تمثل ظاهرة مصاحبة لظاهرة التفريغ الكهربائي ولما كانت ظاهرة التفريغ نفسها هي ظاهرة غير مسقرة . فأن مسألة حدوث اضطراب و على الرغم من تنوع

اللاستقراريات تعد مسألة مهمة يجب معالجتها. أن بالإمكان تشبيه وضع البلازما أثناء فترة تسليط مجال مغناطيسي (احتوائها بمجال مغناطيسي) بوضع جسيم موضوع في قعر منخفض يقع على ارتفاع معين بحيث يمتلك هذا الجسيم طاقة كامنة معينة على الرغم من أن طاقته الكامنة عندما يكون في قعر المنخفض ستكون أقل ما يمكن كما في الشكل (1-6). أن أحداث أي اضطراب في موضع الجسيم عن وضع الاستقرار D سوف يؤدي الى تحريك الجسم حركة اهتزازية حول وضع الاستقرار و سوف لا يتعدى الامر ذلك طالما بقي مقدار الاضطرابات أقل من الارتفاع المساوي لارتفاع النقطة A والتي لو تجاوزها الجسيم فأن وضع استقراره سوف ينتهي و هذا الوضع لا يمكن حدوثه إلا اذا كان مقدار الاضطراب الاصلي كبير الى الحد الكافي ، أو اذا كانت هناك تأثيرات أخرى لا تتعلق بالحركة الميكانيكية للجسيم تقوم بزيادة طاقته الحركية كلما ابتعد عن نقطة التوازن . إن هذا ما يحدث في البلازما في حالة نمو اللاستقراريات حيث تبدأ هذه اللاستقراريات باضطراب صغير جداً في البلازما يفترض فيه انه سوف لا يؤثر على استقرارها بل يكون باستطاعته فقط إعطاء البلازما حركة اهتزازية ذات سرعة صغيرة بحيث تبقى البلازما رغم ذلك مستقرة^[44].



الشكل (1 - 6) يوضح مبدأ اللاستقرارية ميكانيكياً : D تمثل وضعاً مستقراً و لكن وصول جسيم الى ارتفاع نقطة A سيؤدي الى زوال استقراره^[44].

1 - 10 ماهية استقرارية التفريغ التوهجي :

ان تهيج حجوم كبيرة من الغازات تهيجاً منتظماً يتطلب ان يكون التفريغ الكهربائي مستقراً ضد التغيرات الموضعية في الكثافة الإلكترونية^[22]. ان الإفراط الإلكتروني في عمود البلازما تقابله خسارة لكل الطاقة الفائضة وفقاً للحالة الفعلية للتفريغ التوهجي في الضغوط الواطئة و لكن بصورة عامة ، أن فقدان الطاقة بواسطة تصادم الإلكترونات المرنة و غير المرنة مع ذرات

أو جزيئات الغاز و كذلك الأيونات يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار . لذا فإن التصادم المرن سيرفع من درجة الحرارة الانتقالية للإلكترونات في الغاز (T_g) بينما يعمل التصادم غير المرن على رفع الحرارة الداخلية لدرجات الحرية (أي أنماط الاهتزاز) T_s ، كما أن هناك في كلتا الحالتين العمليتين عمليات عكسية تقود الى اعادة جزء من الطاقة الى إلكترونات الغاز ، أي أن درجة حرارتها (T_e) تأخذ بالازدياد و يؤدي هذا الى تسخين الإلكترونات أي زيادة التأين (Z) . الذي بدوره يغلق دائرة التغذية الخلفية الموجبة ، و من خلال ما تقدم و عند أخذ التصادمات المرنة و غير المرنة بالحسبان فأنا بذلك سوف ننفاد الى عدم الاستقرارية الحرارية و كذلك عدم الاستقرارية الأيونية .

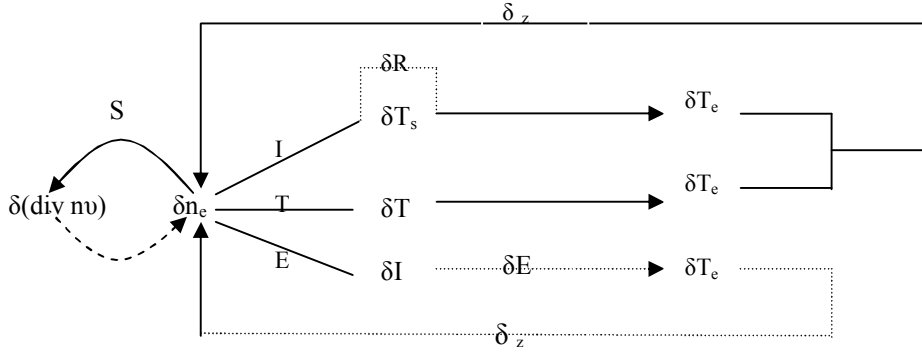
تنشأ عدم الاستقرارية الحرارية غالباً في التفريغ التوهجي للغازات النبيلة، و ذلك لأن احتمالية انتقال الطاقة من الإلكترونات الى الذرات نتيجة التصادم المرن أكبر بكثير من احتمالية تهيج الإلكترونات الى مستوي أعلى بينما في الغازات الجزيئية و لأنها تمتلك مقطعاً عرضياً كبيراً جداً للتهيج الى المستويات الاهتزازية فأن عدم الاستقرارية الأيونية تكون هي المتغلبة^[34,10] .

و بما ان الليزران النبيلة (غاز الهليوم) سيكون موضع اهتمامنا في هذا البحث لذلك سوف نتطرق لعدم الاستقرارية الحرارية فقط .

1 - 11 عدم الاستقرارية الحرارية : Thermal Instability

يمثل المسار T في الشكل (1 - 7) عدم الاستقرارية الحرارية ، وتحصل نتيجة ارتفاع حرارة الغاز الموضعية و ذلك لضطراب جريانه ويعد التفريغ الكهربائي السبب الرئيسي في رفع درجة حرارة الغاز ، إذ انه يقوم بعملية التسخين^[10] .

أن من الممكن ان تكون البلازما منتظمة في بداية التفريغ الكهربائي و لكن هذا يتوقف على الاضطراب الحاصل في درجة حرارة الغاز و يكون هذا الاضطراب ناشئاً عن تسخين غير منتظم للخليط الغازي خلال مروره في منطقة التفريغ الكهربائي . فعند وجود تقلبات في الضغط فأن الزيادة الموضعية لحرارة الغاز تؤدي الى قلة كثافة الغاز ، يتبع ذلك زيادة درجة الحرارة الإلكترونية و معدل التأين ، و لما كان الأخير حساساً جداً للتغيرات البسيطة للحرارة الإلكترونية . فإنه سوف يسبب زيادة في التوصيل الكهربائي مما يؤدي الى زيادة كبيرة في الكثافة الإلكترونية و عندما تكون هذه الزيادة موضعية ، فأنها سوف تؤدي الى تسخين الغاز أكثر (عن طريق التصادمات المرنة) وهذا بحد ذاته تغذية خلفية موجبة مما يجعل العملية بأكملها غير مستقرة و ذلك نتيجة للنقص الحاصل في طاقة الإلكترون بسبب ارتفاع درجة حرارته^[46] .



الشكل (1 - 7) مخطط عام لمسارات عدم الاستقرار في التفريغ الكهربائي حيث تمثل الخطوط المتصلة قابلية العمليات على زيادة التذبذب الابتدائي ، اما الخطوط المنقطعة تمثل عمليات الاستقرار [34].

بالنسبة للمسار E الموضح بالشكل (1 - 7) فإن المهمة الأساسية لهذا المسار هي حماية التفريغ الكهربائي من مسببات عدم الاستقرار الحرارية (المسار T) و عدم الاستقرار الأيونية (المسار I)، فبواسطة المسار (E) يمكن تعيين حدود استقرار التفريغ الكهربائي للمنظومة و ذلك عن طريق الوصول الى أفضل توزيع منتظم للكثافة الإلكترونية في منطقة التفريغ باستخدام مقاومات موازنة أو بإيجاد صيغة مناسبة لتوزيعه بصورة منتظمة من خلال تحديد هيئة الأقطاب [47].

1 - 12 العوامل المؤثرة على استقرارية التفريغ التوهجي :

تتأثر ظاهرة عدم الاستقرار في التفريغ تأثيراً كبيراً بالعوامل الآتية (30) :-

- 1- هيئة و طبيعة المادة التي تصنع منها الأقطاب .
- 2- نسبة مكونات المزيج الغازي (اذا كان الغاز عبارة عن مزيج من غازات) .
- 3- ضغط الغاز (p) و الذي يساهم في قيمة النسبة (E/P) و التي لها تأثير كبير في استقرارية التفريغ .
- 4- كثافة تيار التفريغ على سطح الكاثود .
- 5- سمك أنبوب التفريغ (Discharge channel thickness) [48] .
- 6- سرعة جريان الغاز .

7- الشوائب التي قد تتواجد أساساً قبل بدأ عملية التشغيل او قد تتكون خلال التشغيل من جراء حصول التفاعلات الكهروكيميائية داخل منطقة التفريغ [23] . إذ أن الصعوبة تكمن في تحلل الغاز و الذي سرعان ما تتحد نواتج التحلل (مكوناته) مع إلكترونات الوسط الفعال خلال التأخير الزمني بين التفريغ الرئيسي و التأين و هذا بدوره يؤدي الى نقصان الكثافة الإلكترونية للوسط الفعال (إلكترونات التأين لابتدائي و كذلك التفريغ الرئيسي) . أن قيمة كثافة التفريغ الكهربائي تكون حساسة جداً للنسبة (E/N) حيث تكون لهذه النسبة تأثيراً كبيراً على استقرارية

التفريغ التوهجي ، اذ تعدعاملاً مهماً في تحديد كفاءة العملية لمنظومة الليزر لأنها تحدد القدرة الكهربائية الداخلة الى منطقة التفريغ الكهربائي المستخدم في عملية التوهج^[49] .

كما ان للنسبة (E\p) (حيث p ضغط الغاز) و التي هي دالة للنسبة (E\N) تأثير كبير و مهماً على استقرارية التفريغ الكهربائي من خلال تحديد القيمة المثالية لتيار التفريغ الكهربائي عند ضغط معين لخليط غازي ، حيث يفضل ان تكون قيمة النسبة (E\p) قليلة (لأنها تقلل من تفكك الغازات) في منطقة التفريغ الكهربائي للمحافظة على استقرارية التفريغ الكهربائي^{[50],[51]} .

أن هذه النسبة (E\p) هي كمية الاساس التي تحدد درجة حرارة الإلكترون من خلال

العلاقة :-

$$T_e = 2 \frac{q^2 (E\lambda)^2}{I^* \left(1 - \frac{\beta N^*}{N}\right)} = 2 \frac{q^2 (E/p)^2 (kT/\sigma)^2}{I^* \left(1 - \frac{\beta N^*}{N}\right)} \quad (1)$$

حيث أن:

λ : متوسط المسار الحر .

N : عدد الجزيئات الكلي .

N* : عدد الجزيئات المتهيجة .

I* : معدل الطاقة المصروفة من قبل الإلكترون في التهيج .

q : شحنة الإلكترون .

σ : مساحة مقطع الذرة

E : شدة المجال الكهربائي .

β : ثابت يعتمد على التردد التصادمي و المقطع العرضي للمستويات .

كما أن النسبة (E\p) تستخدم عادةً من الناحية العملية كمتغير مفيد لتحديد التفريغ فمثلاً عندما تكون النسبة (E\p) صغيرة جداً فإنها تؤدي الى خفض درجة حرارة إلكترون (T_e) ، بحيث لا يمكن ان تتهيج بها مستويات الضخ الليزري بصورة فعالة . إما من ناحية أخرى فإن قيمة عالية جداً للنسبة (E\p) تؤدي الى قيمة كبيرة لدرجة حرارة الإلكترون (T_e) . يسبب ذلك تهيج مستويات أعلى للمزيج الغازي . و التي ربما لا تكون مرتبطة بصورة مباشرة مع الانتقال الليزري ، محدثاً بذلك فرطاً في تأين الخليط الغازي الذي قد يؤدي بدوره الى تفريغ غير متزن ذي استقرارية ضعيفة . و ربما يتحول من النوع التوهجي الى القوسي^[2] .

أن ظهور عدم الاستقرارية تجسد عملياً بظهور حروز أو تقلصات في البلازما . و أن سرعة نشوء عدم الاستقرارية تعتمد على معدل النمو الزمني للاضطراب في كثافة الإلكترونات و

درجة الحرارة ، و عليه فأن معدل النمو يحتوي على معلومات تخص التغير في عملية التصادم السائدة التي تكون مولدة و فاقدة للإلكترونات والأيونات ، و بذلك تكون السبب الرئيسي في أحداث عدم الاستقرارية الأيونية (المتزايدة مع الزمن)، التي هي عدم التوازن بين توليد الجسيمات المشحونة و عمليات خسائر الإلكترونات خلال الاضطراب في خواص البلازما^[52].

و يجب لعمل دائماً على تجنب التحول الى منطقة تفريغ القوس الكهربائي، لان هذا النمط من التفريغ سوف يسبب تأين الغاز مما يقلل من حجم الوسط الفعال و كذلك يقلل من القدرة المستحصلة من الوسط الفعال و بالتالي يؤدي الى إفشال عملية أحداث الليزر التي تحصل في الوسط افعال و التحول الى هذا النوع من التفريغات قد ينتج أيضاً بسبب عدم استقرارية البلازما الذي سببه الأساسي ارتفاع درجات الحرارة و خاصة عند الكاثود ، لذلك يجب تجنب عاملان أساسيان هما : -

1 - ارتفاع درجات الحرارة .

2 - زيادة التيار المسحوب من قبل المنظومة .

كما أن القياس المباشر للفولتية و التيار و الطاقة الداخلة الى التفريغ الكهربائي سوف يسببان عدم استقرارية هذا التفريغ و عدم انتظام توزيعه فراغياً الامر الذي يؤدي الى حصول القوس الكهربائي في نهاية المطاف^[25]

و بصورة عامه هناك ثلاثة أمور تؤدي الى ازالة أو تأخير بدء ظاهرة عدم استقرارية

التفريغ وهي :

1- عمليات التدوير الغازي المستمر ، و التي تحافظ تركيب المزيج الغازي (Gas composition) [النسبة التي تحقق عمليات التفريغ مستقرة] وتمنع الى حد ما حدوث التفاعلات الكهروكيميائية التي تلوث الخلطة الغازية .

2- تقليل النسبة (E\p) في المنظومة التي يحدث بها عمليات التفريغ الكهربائي و محاولة المحافظة على النسبة (E\p) تتراوح ما بين $(6 \times 10^{-6} - 4 \times 10^{-4}) \text{ Volt} \cdot \text{cm} \cdot \text{Torr}$.

3 - استخدام تقنيات تشغيل تجعل من التفريغ منتظماً^[49]،^[53] .

وبصورة عامة إن القيمة المثلى لقيمة (E\N) هي تلك القيمة التي تتيح للإلكترونات المتولدة ان تمتلك طاقة ملائمة للتهيج الكفوء لمستويات الليزر ذات العلاقة ، في الوقت الذي يكون بمقدورها (أي الإلكترونات)، ان تؤين الغاز الليزر تأييناً يكفي لتعويض الجسيمات التي تُفقد عن طريق الانتشار من مركز أنبوب التفريغ نحو جدرانهِ وعن طريق الجريان الحلمي^[54]

تؤثر استقرارية البلازما الناتجة من التفريغ الكهربائي على كفاءة عملية الضخ الكهربائي، و بالتالي على قدرة الليزر الخارجية و قد تسبب عدم الاستقرارية إيقاف الفعل الليزري بعد فترة قصيرة عند الضغوط العالية .

أن مصادر عدم استقرارية البلازما قد تكون ناتجة من ارتفاع درجة حرارة البلازما (عدم الاستقرارية الحرارية) أو عدم الاستقرارية الأيونية ، أو عدم الاستقرارية الناتجة عن وجود أيونات سالبة الشحنة في منطقة التفريغ . من أجل الحصول على تفريغ كهربائي مستقر و ضمن منطقة التفريغ التوهجي يجب تحقق شرطين :-

1- الحصول على توزيع منتظم كثافة تيار التفريغ الابتدائي .

2- انتظام توزيع سرعة جريان الغاز خلال مقطع التفريغ^[26] .

أن الأقطاب لها دور أساسي في عملية التفريغ الكهربائي خلال أي غاز ، إذ تجهز الإلكترونات بالطاقة الكافية لاتمام عملية التفريغ ، عند الظروف الاعتيادية تُمنع الإلكترونات من مغادرة القطب الصلب (Solid Electrode) بقوة كهروستاتيكية ، و لغرض التغلب على هذه القوة يتطلب مقدار محدد من طاقة الكم (Quntum Energy) كحد أدنى و هذا يسمى بدالة الشغل (ϕ) (Work Function) و التي هي صفة من صفات المادة الجدول (1-2) يوضح قيمة دالة الشغل لبعض المعادن ، و هناك عدة طرائق لتجهيز الطاقة المطلوبة لتحرير الإلكترونات منها الانبعاث الكهوضوئي و انبعاث إلكترون يتصادم أيون موجب أو ذرة مثارة و انبعاث الأيون الحراري و الانبعاث المجالي^[56,55] .

أن مادة و طبيعة سطح القطب هي المحدد لقيمة كل من الفولتية المسلطة على الاقطاب و المسافة الفاصلة بين الاقطاب ، ويعزى سبب تحديد المسافة للفولتية المسلطة على الاقطاب الى طبيعة المادة التي تمتلك حد لقوة المجال الكهربائي المسلط عليها و الذي سوف يسبب ارتفاعاً في درجة حرارتها نتيجة التصادم الإلكتروني أو الأيوني معه أو كمية التيار المار بين الاقطاب و الذي يعتمد على المسافة الفاصلة بينهما . كما أن هذا الارتفاع في درجة الحرارة سوف يؤدي الى زيادة الحركة الاهتزازية لجسيمات مادة القطب و بذلك تكون قوة المجال الكهربائي قادرة على فك ارتباط الجسيم من المادة و هنا يعمل المجال على نقل هذه الجسيمات معه تاركة القطب و تدعى مثل هذه الظاهرة بالاجتثاث (Sputtering) و التي ينتج عنها حُفر (Pits) مسببه تآكل الاقطاب (Electrod Erosion)^[33] ، ان مسببات هذه الظاهرة هو وجود الشوائب و النتوات على سطوح الاقطاب التي ستكون مصدراً للانبعاث الإلكتروني الموضعي الكثيف فلذلك يلجأ الباحثون الى تقليل المسافة الفاصلة بين الاقطاب و كذلك ازالة النتوات و الترسبات و الشوائب الموجودة على سطحها ، و يتم ذلك بتنعيم السطح ميكانيكياً أو كيميائياً أو طليه بمادة نقية خالية

من الشوائب^[57] . وعليه فعند اختيار مادة القطب يجب ان تتوافر بها صلابة عالية ليكون التبخر قليل ، و كذلك توصيلية حرارية جيدة ، كما يجب ان تختار المادة بحيث لا تتفاعل مع الغاز^[58]

و بما ان الأقطاب أهم جزء في منظومة الليزر ذات التفريغ الكهربائي لذلك يجب التركيز الى كيفية الشكل الهندسي لها . حيث أن لها التأثير الكبير عل فعالية و اداء المنظومة ومدى تجانس (Uniform) المجال الكهربائي المتولد، حيث يحدده انتظامية و تشكيل الاقطاب و الذي بدوره يؤدي الى تقليل الشرر و الاقواس و التي يكون لها تأثير سلبي في التقليل من عمر الأقطاب حيث أنه وجود الحافات الحادة و المدببة تؤدي الى زيادة مفاجئة و عالية لشدة المجال الكهربائي و يزيد من احتمالية حدوث الشرر و الاقواس^[59,33] .

الجدول (1- 2) يبين القيم لدالة الشغل لبعض المعادن^[56]

نوع المعدن	$\rho(ev)$ دالة الشغل	
الالمنيوم	4.2	1
الانتيمون	4.1	2
الكاديوميوم	4.0	3
الكاربون	4.3	4
نحاس	4.5	5
ذهب	4.8	6
رصاص	4.0	7
نيكل	4.9	8
بلاتين	4.3	9
سليكون	4.2	10
فضة	4.7	11
زنك	4.3	12

1 - 14 سلوك البلازما في مجال مغناطيسي [44],[45] :

Plasma Behavior In Magnetic Field

أن الجسيمات المشحونة موجودة دائماً في البلازما ، و البلازما متعرضة غالباً لتأثيرات المجالين الكهربائي و المغناطيسي فسيكون من المفيد دراسة مفاعلة هذه الجسيمات مع هذين المجالين.

أن البلازما تكون متواجدة في مجالات كهربائية ومغناطيسية دائماً و يمكن تقسيم هذه المجالات الى نوعين:

الأول هو ما يتم تسليطه على البلازما بتأثيرات خارجية لأغراض شتى أهمها احتواء البلازما و تسخينها ، و منها ما يتولد داخلياً في البلازما بفعل تأثيرات حركة الجسيمات بعضها على بعض الآخر و تفاعلها مع المجالات المسلطة داخلياً نتيجة الجسيمات المشحونة الأخرى ، لذلك فأن من الضروري معرفة طبيعية التأثيرات التي تحدث على حركة الجسيم و بالتالي التأثيرات التي تحدث في البلازما ككل نتيجة لوجود (تأثيرات) هذه المجالات .

أن تسليط مجال كهربائي ثابت ليس له أي جدوى ، لانه سيكون طبقة أو غلاف رقيق يغلف الجزء الرئيسي من البلازما . و لأن المجال المغناطيسي الثابت يظهر بعض التأثيرات المهمة. لذلك سنناقش الحالات الآتية :-

1 - الحالة الأولى : الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي متجانس ($E = 0$)

نفرض ان خطوط قوى المجال المغناطيسي تتجه عمودياً خارج الورقة و ينطلق جسم كتلته m و شحنته q و بسرعة v داخل المجال المغناطيسي و عمودياً على خطوط القوة كما في الشكل (1 - 8) ، أن قوة لورنس و التي تساوي ($F=q(v \times B)$) المسلطة على الجسيم عمودياً دائماً على V , B لذلك تجعل الجسيم (يدور) يسير في مسار دائري في مستوى الورقة ، و يجب ان تكون القوة (F) في أي مجال لحظة يتوازن مع القوة المركبة لذا :

$$q V B = mv^2/r \quad (2)$$

حيث r يمثل نصف قطر المدار و يسمى نصف قطر لارمر للمدار (Larmor Radius) و من هنا نجد ان التردد الزاوي ω_c هو

$$\omega_c = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$$

و يسمى بالتردد السايكلتروني .

أما إذا أطلقنا الجسم داخل المجال المغناطيسي بزواوية أخرى غير عمودياً بالنسبة لخطوط قوة المجال . فإن السرعة V سوف تتحلل الى مركبتين ، الأولى موازية للمجال V_{11} و الثانية عمودية عليه V_{\perp} في مستوى عمودي على B . و بما ان V_{11} لا تتأثر بالمجال فيمكن كتابة :

$$qV_{\perp} B = mV_{\perp}^2 / r \quad (3)$$

$$\therefore r = mV_{\perp} / qB \quad (4)$$

و سيكون المنحني الناتج حلزوني (Spiral) كما في الشكل (1 – 9) ، لأن المسار الدائري الذي نصف قطره R سيتحرك على خط القوة و بسرعة منتظمة V_{11} ، لذا يتحرك الجسم حلزونياً (Gyrating) حول خط القوة كأنما الجسم مقبول عليه خط المجال .

2 – الحالة الثانية : الجسيمات المشحونة في المجالين المتعامدين الكهربائي و المغناطيسي

أفرض أن مجال كهربائي متجانس و ضع عمودي على المجال المغناطيسي المتجانس ($E \perp B$) يوضح الشكل (1 – 12) المسار (Trajectory) . تعمل الآن ثلاث قوى على كل نقطة من المسار . و هي القوة المغناطيسية ($F_m = qvB$) و القوة المركزية ($F_c = mv^2/r$) و القوة الكهربائية ($F_e = qE$) ففي نقطة A مثلاً تعمل القوتان الكهربائية و المغناطيسية بنفس الهدف و الاتجاه لذلك يكون اتجاه المسار أكثر حدة . وفي هذه النقطة تتوازن القوتان نوعاً ما و يصبح نصف قطر الانحناء أكبر ، و المدار الناتج هو كما لو كانت الجسيمات تدور بانتظام حول مركز يسير بسرعة انجراف (Drift Velocity) و التي يمكن التعبير عنها :

$$V = V_d + V \quad (5)$$

$$F = q(E + V_d \times B + \bar{V} \times B) \quad (6)$$

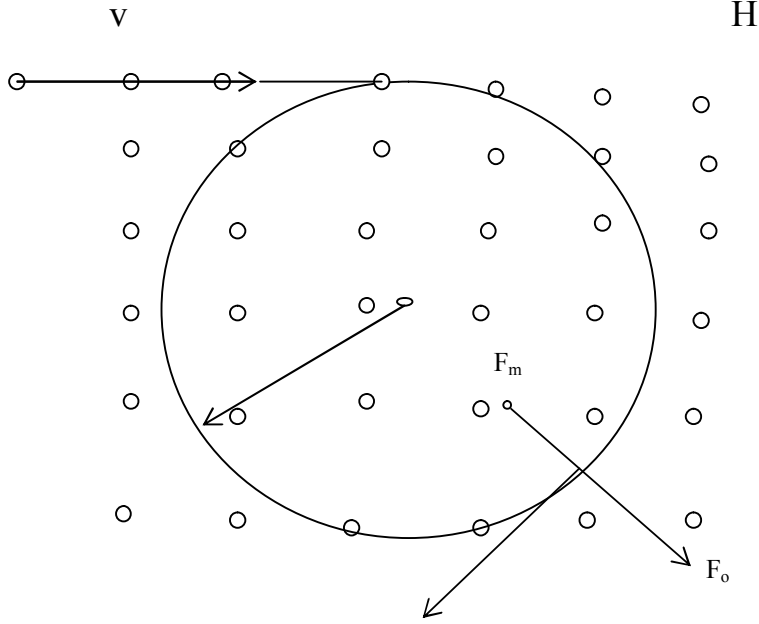
وإذا اخترنا:

$$V_d = E \times B / B^2 \quad (7)$$

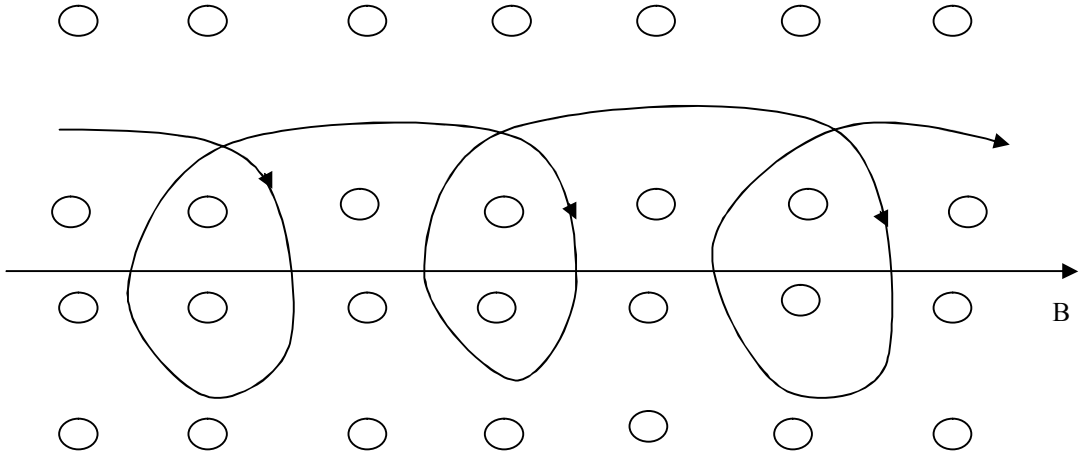
لذلك فإن الحدين الاولين من المعادلة (6) (الطرف الايمن) سوف يلغي احدهما الاخر.

3 – الحالة الثالثة :

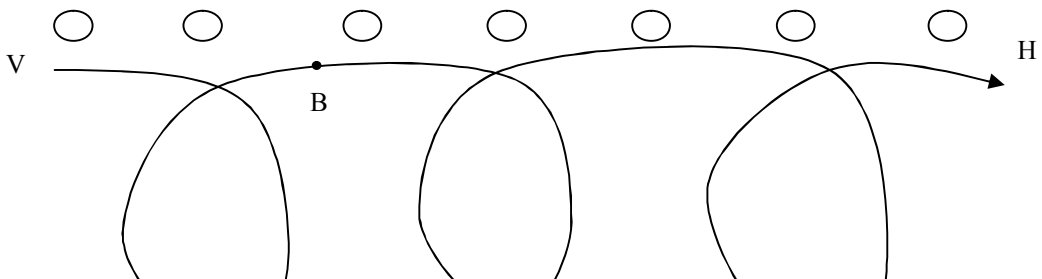
الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي غير متجانس (و هذا ما لا ينصب عليه اهتمامنا في الوقت الحاضر) .

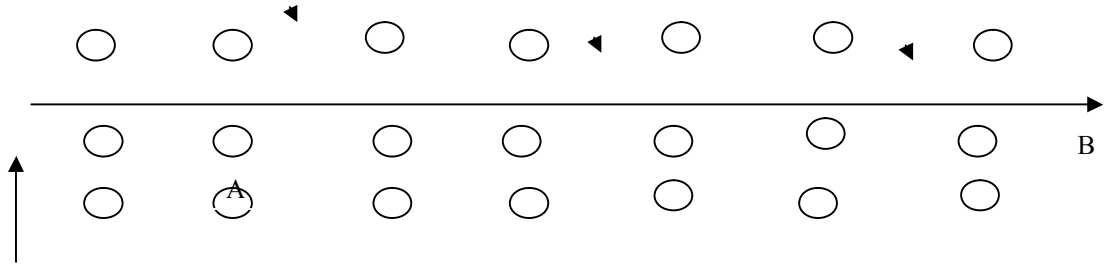


الشكل (1 - 8) حركة جسم مشحون في مجال مغناطيسي متجانس ($E=0$)



الشكل (1 - 9) حركة جسم مشحون بمسار حلزوني خلال مجال مغناطيسي متجانس ($E=0$)





الشكل (1 - 10) حركة جسم مشحون في مجال مغناطيسي و آخر كهربائي متعامدين

1 - 15 الدراسات السابقة :

مما لا شك فيه أن الاستقرار في التفريغ الكهربائي لليزرات الغازية باتت تستأثر اهتمام الباحثين في هذا المجال ، فقد احتلت استقرارية التفريغ مجالاً واسعاً في البحوث والدراسات و على مدى السنين السابقة .

في عام 1969 قدم (Thoms and Thoms) [60] بحثاً يستخدم طريقة مونتي كارلو لمحاكاة التفريغ الكهربائي في الغازات . حيث تم تتبع حركة الإلكترونات المحتشدة خلال التفريغ الكهربائي لغاز النيون . و قد عالج البحث مشكلتين ، الأولى احتمالية الاستطارة الخلفية للإلكترونات نحو الكاثود ، و التي حددت لقيم $E \setminus P_0$ تتراوح ما بين 10-200 Volt/cm.torr و بطاقة انبعاث أعلى من أقل جهد مطلوب للتهيج ، و الثانية معامل تاونزويد للتأين الابتدائي α/P_0 و سرعة الانجراف و التي حسبت لقيم $E \setminus P_0$ تتراوح ما بين (20-400) Volt/cm.torr . فقد تم في هذا البحث استخدام طريقة مونتي كارلو لحساب معاملات التفريغ و بشكل دقيق .

في عام 1972 قام (Roger A. Haas) [61] بتقديم بحثاً تجريبياً درس فيه البلازما في التفريغ الكهربائي للغازات الجزيئية ، إذ تشير الحسابات بأن التقلبات التي تحدث في التفريغ الكهربائي تمثل بأشكال مختلفة من الموجات و التي تعرف بإنموذج الاسترخاء للشحنات و إنموذج الإلكترونات الحرارية و إنموذج التأين تكون الأيونات السالبة و إنموذج التهيج الإلكتروني و إنموذج الصوت و نموذج الاهتزاز لطاقة الاسترخاء و إنموذج انتقال الجسيمات الحرارية و نموذج السرعة . و أن تفاصيل الاستقرار لهذه الأنماط عولجت بشكل خاص في تحليل تأثيرها في استقرار الطاقة الحركية للجسيمات المشحونة .

في عام 1976 قدم (E. I. Asionusk , A. A. Afanasjev , E. P. Pate) [62] بحثاً عملياً على عدم استقرارية جدار الاستقرار عند الضغوط العليا لعمود القوس تحت تأثير مجال مغناطيسي .

في عام 1976 قام (Mokoto Hayoshi) [63] بدراسة لانهييار الإلكترونات باستخدام محاكاة لمونتي كارلو ، إذ تم تتبع حركة الإلكترونات في غاز He وغاز Ar و التي تخضع لمجال كهربائي منتظم في الفضاء الثنائي و الثلاثي الأبعاد .

في عام 1977 قُدم بحث من قبل (Tram Ngocpn , Emoode and Johnson) [64] لمحاكاة حركة الإلكترونات في منطقة هبوط الكاثود للتفريغ الكهربائي التوهجي في غاز الهليوم باستخدام طريقة مونتي كارلو باتجاه واحد .

قدم (C. E. Capjack , D. M. Dntoniute and H. J. Jsegnin) [65] عام 1981 بحثاً عملياً لديناميكية الاستقرارية المغناطيسية في تفريغ الليزرات . حيث تم اختار ديناميكية تعاقب البلازما في بحوث علم هندسة القطب الكهربائي المستعرض و المناسب لضخ ليزر CO₂ عالي القدرة . أن هذا الانموذج استعمل في إثبات بأنه و بشكل خاص عند استعمال مجال كهربائي غير منتظم و آخر مغناطيسي غير منتظم مع التفريغ الكهربائي للغاز يكون السبب في سرعة و دوران البلازما و الغاز لتصبح السرعة أكثر حدة عند منطقة هبوط الكاثود و العمود الموجب . وأن هذه الحدة في الدوران قد خدم كل من استقرارية التفريغ الكهربائي ضد التحولات التي تحدث من التوهج الى القوس كما يخدم انسياب الغاز و بشكل طبيعي بعيداً عن المركز . كما تم إثبات الدور المهم لتبريد الغاز في جعل قدرة الخرج الليزرية عالية .

وفي السنة نفسها أيضاً درس (H. J. Jsegnin , C. E. Capjack and D. Antouk) [66] بحثاً عن الاستقرارية المغناطيسية للتفريغ النصف قطري عند الضغوط العالية لليزرات العالية القدرة (غاز O₂ و Sf₆) حيث تم تقديم تفاصيل بشأن الاستقرارية المغناطيسية لنظام قطب كهربائي متحد المحور ، و تم البرهنة على أن التفريغ الكهربائي في الليزرات الغازية يمكن أن يكون منتظماً و مستقراً من خلال تسليط مجال كهربائي منتظم و آخر مغناطيسي . حيث أن تفاعل هذه المجالات مع الجسيمات المشحونة يكون السبب في التدفق السريع للخليط الغازي مما يقلل الى حد ما عدم الاستقرارية .

وفي عام 1985 [1] نشر (R. Razan , C. E. Capjack and H. J. Jsegnin) بحثاً لدراسة استقرارية تفريغ غاز He باستخدام المحاكاة لمونتي كارلو حيث بينت نتائج البحث تأثير المجال المغناطيسي في عدم نمو اللااستقرارية للتفريغ التوهجي لغاز He عند منطقة هبوط الكاثود ، و قد تبين ان تقنية الاستقرارية المغناطيسية تزيد من القدرة الخارجية لليزرات الغازية .

وقد قدم الباحثون انفسهم في عام 1986 [67] بحثاً باستخدام تقنية المحاكاة لمونتي كارلو تبين خلاله من أن استخدام مجال مغناطيسي مستعرض سوف يزيد من استقرارية ليزر غاز CO₂ .

كما أن التحليلات الرياضية بينت بأن ميكانيكية الاستقرار الأولية تتضمن التشتيت الموقعي للجسيمات المشحونة و المشوشة على طول مساحة سطح الكاثود بزمن أقل من زمن تطور عدم الاستقرار و هذا البحث هو تطوير للبحث الذي نشر عام 1985 إذ يمتد هذا البحث الى إضافة غاز N_2 و He الى ليزر غاز CO_2 ، حيث احتوى الخليط الغازي $He : N_2 : CO_2$ بالنسب 2 : 8 : 20 ، و نتيجة هذا البحث فقد تأكد من أن استخدام مجال مغناطيسي في منطقة مجاورة لسطح الكاثود سوف يعزز و يقوي الاستقرار في تفريغ ليزر غاز CO_2 وهذا بالنتيجة يقود الى زيادة القدرة الخارجية .

اما عام 1987 قدم (V. A. Seguin , C. E. Capjack and H. J. Jsegnin) [68] بحث لمحاكاة عددية لجريان الغاز في الاستقرار المغناطيسية المتحدة المحور مع التفريغ الكهربائي لليزر .

درس البحث (عدي محمود) [69] عام 1989 استقرارية التفريغ الكهربائي في منظومة ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون ذو الضخ المستعرض, إذ تتكون منطقة التفريغ من الكاثود و الذي هو عبارة عن صف من ثمان أوتاد Pins . الانود عبارة عن قضيب مجوف من سبيكة النحاس الاصفر ، ولقد تم تنظيم التيار في كل وتد باستخدام مقاومة موازنة مقدارها $10.4 \text{ k}\Omega$ و استنتج أن فترة الاستقرار تكون قصيرة عندما لا يكون الوسط الغازي مبرد بينما تكون أطول عند تبريد الوسط الغازي . و يعتمد طول فترة الاستقرار هذه على كمية الحرارة المزالة من منطقة لتفريغ و كذلك على انخفاض درجة حرارة الأقطاب ، كما يكون التفريغ أكثر استقرارية عندما يكون الفرق أقل ما يمكن بين فولتية المداومة و فولتية الانهيار ، وكذلك يكون التفريغ أكثر استقراراً عندما تكون المساحة السطحية للانود أكبر من مساحة الكاثود .

وفي السنة نفسها قدم الباحث (هشام محمد) [31] بحثاً عملياً درس فيه استقرارية التفريغ الكهربائي في ليزر غاز CO_2 باستخدام تقنية حقن البلازما ، إذ تضمنت تقنية حقن البلازما استخدام حاقيات بلازما تعمل على تأين غاز النتروجين داخلها بواسطة تفريغ ثانوي . ثم يجبر هذا الغاز على المرور في منطقة التفريغ الرئيسي خلال ثقب ضيق ، وتم الحصول على أحسن استقرار لتفريغ التأين السبقي باستخدام مقاومة موازنة $24 \text{ k}\Omega$ و تيار 70 mA اما التفريغ الرئيسي فقد حصل استقرارية عند النسبة $Co_2 : N_2 : He$ (1 : 5 : 9) وقيمة مقاومة موازنة قيمتها $280 \text{ k}\Omega$ وضغط 20 Torr و تيار سبقي 55.70 mA .

وفي عام (19 98) نشر (L.F.Delgad , Apricio) [70] بحثاً درس فيه جهد انهيار الغاز تحت تأثير مجال مغناطيسي طولي .

كما قدم عام 2000 الباحث (خالص اسعد)^[71] دراسة بطريقة المحاكاة لعدم الاستقرار و الفوضى في ليزر شبه الموصل .

وفي السنة نفسها قدم (Yhliu , Zliu and Jzwang)^[72] بحثاً باستخدام طريقة المحاكاة لمونتي كارلو لدراسة تأثير مرآيا المجال المغناطيسي على تيار التفريغ لغاز He ودرس تصرف الإلكترونات و حركتها تحت تأثير مرآيا المجال المغناطيسي فضلاً عن مجال كهربائي منتظم في منطقة العمود الموجب للتفريغ الكهربائي المستمر لغاز الهليوم ، وقد تم دراسة بعض أنواع التصادمات (المرنة و التهيج و التأين) و استنتجوا أن مرآيا المجال المغناطيسي يمكن ان تسيطر على تصرف الإلكترونات أثناء انتقالها بالعمود الموجب .

قدم كل من (D. A. Markas , V. P. Krivobokov , D. S. Rytchtcor)^[73] عام 2000 بحثاً لامتداد منطقة الانود في تفريغ الصمام الخاضع لمجال مغناطيسي ، إذ تم دراسة تدفق الإلكترونات الخاضعة لمجال مغناطيسي في منطقة الانود و على فرض أن تحركية الإلكترونات و التردد التصادمي ثابت .

و في نفس السنة قدم الباحث (خلدون ناجي)^[74] بحثاً في بناء و تشغيل منظومتي لليزر غاز CO₂ بتقنية التهيج المستعرض و تقنية التهيج الطولي و استخدمت التقنيتين نظام تجزئة أقطاب التفريغ .

وفي عام 2003 قدم الباحث (سامر حسني)^[75] دراسة لخصائص ليزر أشباه الموصلات تحت تأثير المجال المغناطيسي . إذ درس تأثير المجال المغناطيسي على الخواص الأساسية لليزر الثنائي (التيار و الفولتية و القدرة الضوئية و كذلك تيار العتبة) ثم دراسة تأثير المجال المغناطيسي على القدرة الخارجية و الكفاءة الخارجية .

أما في هذا العام 2004 قام (Shou – Zheli and Hans. Uhm)^[76] بدراسة خصائص الانهيار الكهربائي تحت تأثير المجال المغناطيسي إذ سلط مجال مغناطيسي على طول الاتجاه الطولي للصمام الثنائي و قد وجد أن خصائص الانهيار الكهربائي بوجود المجال المغناطيسي يعتمد على القطبية الكهربائية لثنائي القطب الأسطواني .

1- 16 الهدف من البحث:

ان الهدف من البحث هو تسليط مجال مغناطيسي منتظم عمودي على مجال كهربائي غير منتظم في منطقة هبوط الكاثود للتفريغ الكهربائي التوهجي لغاز الهليوم للحصول على تفريغ كهربائي مستقر و الحد من تحول التفريغ من التوهجي الى القوسي، من خلال ايجاد معلمات الحشد الالكتروني داخل منطقة هبوط الكاثود ، وبالتالي سوف يزيد القدرة الخارجية لمنظومة الليزر.

1-2 المقدمة :

يتضمن هذا الفصل يتضمن التفصيل الكامل للانموذج الرياضي المستخدم في دراسة تأثير المجال المغناطيسي على التفريغ التوهجي في منطقة هبوط الكاثود . لكون هذه المنطقة أكثر أهمية من المناطق الأخرى آنفة الذكر في الفصل الأول بالنسبة لانتقالات التوهج الى القوس بسبب المجال الكهربائي العالي . لذلك يجب أن يفهم بوضوح سلوك الإلكترونات في هذه المنطقة .

أن الوظيفة الرئيسية لعمل البرنامج المعد لدراسة تأثير المجال المغناطيسي على التفريغ التوهجي لمنطقة هبوط الكاثود ، هو معرفة حركة الإلكترونات تحت تأثير المجال الكهربائي غير المنتظم و المجال المغناطيسي المنتظم حتى تصادمه مع جزيئات الغاز . و متى حدث هذا التصادم يتم معرفة نوعه ، هل هو تصادم متهيج؟ أو متأين؟ أو شبه مستقر؟ ، و كذلك معرفة الاتجاه الجديد للإلكترون المستطار ، بعد ذلك يستمر الإلكترون بحركة حرة في المجالين الكهربائي و المغناطيسي حتى يتصادم مرة ثانية مع جزيئة الغاز . في هذه الطريقة نتعرف على أثر الإلكترون الذي سيتم تتبع خروجه من منطقة هبوط الكاثود ، و بعد كل هذا يتم تسجيل الموقع النهائي ، السرعة ، الطاقة ، الزمن الكلي للطيران ، وعدد التصادمات التي حدثت ، يتم ذلك بوساطة مسار الإلكترون باستخدام طريقة مونتى كارلو ، و من أجل توضيح سير البرنامج لا بد من إعطاء فكرة عن طريقة مونتى كارلو و خواصها و طريقة تصادم الإلكترونات مع جزيئة الغاز .

2-2 المحاكاة : (Simulation)

أن المحاكاة^{[76],[77]} هي عبارة عن امتداد طبيعي ومنطقي للنماذج الرياضية و التحليلية في بحوث العمليات ، فهناك معضلات تقريبية نسبياً للعالم الحقيقي إذ يمكن الحصول على حل معين و إعطاء قرار لمعضلة معينة باستخدام بعض المعادلات القياسية أو استخدام الحسابات الرياضية لاستخراج النتائج المطلوبة .

أن كثيراً من المعضلات تواجه الباحثون لا يمكن إيجاد نموذج معين لها ، وهذه حقيقة يدركها كل من له مساس بالموضوع إذ تكون طبيعة المعضلة طبيعة عشوائية متغيرة أو قد تكون المعضلة معقدة يتداخل فيها كثير من المتغيرات التي يصعب التحكم فيها مما يؤدي إلى صعوبة حلها بالطرائق الرياضية المتعارف عليها ولهذا فأن الأسلوب الوحيد الذي يمكن استخدامه للحصول على أجوبة ملائمة للمعضلات و بسرعة مناسبة و باستخدام الحاسبة الإلكترونية هو أسلوب المحاكاة (Simulation) .

أن للمحاكاة مفاهيم متعددة إلا انها تؤدي إلى هدف واحد حيث تُعرف المحاكاة بأنها أسلوب رياضي لمعالجة المعضلات وتنفيذها في الحاسب الإلكتروني والتي تتداخل فيها أنواع معينة من العلاقات الرياضية و المنطقية الضرورية لوصف سلوك وهيئة نظام لعالم حقيقي . تبدأ عملية المحاكاة ببناء إنموذج للمعضلة قيد البحث ثم تنفذ التجارب و الحلول للأنموذج المعقد في الحاسبات الإلكترونية .

تستخدم أساليب المحاكاة في حالة فشل جميع الطرائق الأخرى لإيجاد الحل لمعضلة ما ، و في هذه الأيام اتسعت استخدامات أساليب المحاكاة وخاصة بعد التطور السريع في توفير البرامج الجاهزة و الأساليب التكتيكية ، وهناك عدة أساليب ساعدت في استخدام أسلوب المحاكاة و بصورة واسعة إذ يلخصها نيلز^[77] كما يأتي .

- 1 - يؤدي أسلوب المحاكاة دوراً مهماً في دراسة وتنفيذ التجارب والمعضلات المعقدة .
 - 2 - يساعد استخدام أسلوب المحاكاة في دراسة النظام و مشاهدة النتائج بصورة واضحة مما يسهل اتخاذ إجراءات لتطوير النظام .
 - 3 - يساعد استخدام أسلوب المحاكاة في ملاحظة التغيرات التي تطرأ على صياغة المعضلة في حالة تنفيذها عملياً مما يؤدي الى تطوير إنموذج للنظام يعني بالعرض المطلوب .
 - 4 - يؤدي أسلوب المحاكاة دوراً مهماً في تدريب الأخصائين و الطلبة على الأسس المطلوبة في تحليلات النظرية ، التحليلات الاحصائية و اتخاذ القرار .
 - 5 - يساعد أسلوب المحاكاة في اكتساب الخبرة عندما يصر إلى تعميم إنموذج محاكاة في الحاسب الإلكتروني و الذي قد يكون أهم من المحاكاة نفسها ، أن الخبرة المكتسبة خلال عملية تعميم و دراسة المحاكاة تؤدي إلى اقتراحات و استنتاجات مهمة لتغيير النظام ، إذ تختبر هذه التغييرات باستخدام أسلوب المحاكاة قبل تطبيقها عملياً .
 - 6 - يساعد أسلوب المحاكاة في الحصول على معلومات و استنتاجات لمواقف مستقبلية لا نعرف طبيعتها أو ماهيتها وذلك بتكرار التجارب لتلك المواقف .
 - 7 - يستخدم أسلوب المحاكاة في الاختبار قبل تطبيق التجربة في الواقع العملي .
 - 8 - يستخدم أسلوب المحاكاة في تنفيذ مونت كارلو (Monte Carlo) لتحقيق الحلول التحليلية.
 - 9 - تستخدم المحاكاة في معرفة تغيير نتائج النظام عند وقوع تغييرات جديدة للنظام .
- تبدأ عملية المحاكاة بتمثيل النظام تحت الدراسة فمثلاً تمثيل النظام في الحاسبة الإلكترونية يكون على شكل برنامج وهذا البرنامج يكون وصفاً للنظام تحت الدراسة و تكون كتابة البرنامج على شكل لغة من لغات الحاسبة مثل Fortran و أي لغة أخرى ، ان الأساليب الأساسية و المنطقية للإنموذج يجب الحصول عليها من خلال دراسة أساليب وطرائق المحاكاة .

2 - 2 - 1 طريقة دراسة المحاكاة

لدراسة المحاكاة طرائق و أساليب منها :-

أ - صياغة المشكلة : خطوات صياغة المشكلة مشابهة الى صياغة أي مشكلة في بحوث العمليات ، و بما أن الحاسب الإلكتروني هو المستخدم في تنفيذ المحاكاة فلا توجد صعوبة في وضع تفصيل كثيرة للنظام و لو أن عامل الوقت سيزاد نسبياً في حالة التفاصيل الكثيرة و الدقيقة .

ب - اختيار الطريقة : غالباً ما تكون المشكلات معقدة ولا يمكن الحصول على أسلوب معين يلائم المشكلة قيد البحث ، فأن وجد مثل هذا الأسلوب أو الصياغة فيمكن تطبيقه و الحصول على الحلول المقبولة دون استخدام أسلوب المحاكاة و أن لم يكن كذلك فأن الأسلوب المقترح سيكون أسلوب المحاكاة .

ج - تصميم التجربة : قبل تنفيذ البرنامج في الحاسب الإلكتروني تبسط سياقات التجربة بشكل أو بأخر لأجل تقليل نسبة حصول الخطأ أو زيادة الوقت أو الأنفاق المادي ،ومن ثم الوصول الى نتائج صحيحة ودقيقة للمشكلة ، لذا فأن التصميم الصحيح للتجربة يؤدي إلى زيادة نسبة نجاح تنفيذ النظام المراد محاكاته بصورة صحيحة .

د - تطوير البرنامج : يتم تنفيذ أسلوب المحاكاة في الحاسب الإلكتروني ذا سرعة عالية بعد أن تصمم التجربة ، لذا فأن من الضروري تحديد النموذج الذي سيستخدم في الحاسب وتطويره عن طريق توليد متغيرات عشوائية ووضع الإنموذج بصورة مبسطة تسهل استخدام لغة برمجية قياسية له .

2 - 2 - 2 الأرقام العشوائية : (Random Number) [78], [79]

من أجل تنفيذ إنموذج في الحاسبة الإلكترونية يتطلب الأمر الحصول على بيانات لإنجاز الإنموذج وإلا ما هي الفائدة من استعمال الإنموذج وتنفيذه في الحاسبة الإلكترونية ، هناك صعوبات تتجلى بكثرة في الحصول على بيانات دقيقة لذا فأن استخدام المتغيرات العشوائية المفترضة أمر لا مفر منه، حيث يمكن الحصول على هذه المتغيرات من الجداول العشوائية أو من خلال التوزيعات الإحصائية التي تمثل ويصنف الإنموذج تحت الدراسة بصورة جيدة خلال تجارب المحاكاة الحقيقية ، يتطلب الأمر إعادة التجربة مرات عدة باستعمال توزيعات إحصائية مختلفة للوقوف على تفصيلات ودقائق التجربة المنفذة ويعتمد الاستخدام على درجة تعقيد الإنموذج الذي يراد البحث عنه أو استقصاءه، أذن فلأجل تكوين أرقام متغيرات عشوائية من توزيع إحصائي يجب اتباع أسلوب معين لتنفيذ تلك الدراسة أو بعبارة أخرى أتباع خطوات مناسبة لهذا الغرض ، فالخطوة الأولى تكوين أرقام عشوائية من التوزيع المنظم و الثانية تهيئة

وسيلة رياضية لتحويل الرقم العشوائي المنظم بطريقه معينة للحصول على متغير عشوائي من توزيع إحصائي يصف الانموذج تحت التجربة ، في بعض النماذج يتطلب الأمر تكوين أرقام عشوائية فقط و لذلك لا يتم استخدام الخطوة الثانية ، أن للتوزيعات الإحصائية أهمية خاصة لأجل الحصول على أرقام عشوائية و من هذه التوزيعات التوزيع المنتظم و الذي له أهمية خاصة في الحصول على أرقام عشوائية تقع بين الصفر و الواحد .

ولأجل تكوين أرقام عشوائية مختارة هناك أساليب معينة يجب أتباعها ، إلا ان هذه الأساليب ينقصها في حالات معينة العشوائية ، وهناك طرق معينة يختبر بها شرط العشوائية فإذا كانت الأرقام المتكونة ينقصها الشرط العشوائي ترفض و إذا كانت العشوائية إلى درجة ما تقبل ، أن الأرقام العشوائية المتكونة يجب ان تكون ذات خصائص معينة كما يأتي :-

- أ – الأرقام العشوائية المتكونة يجب ان تكون جميعها أو أغلبيتها موزعة بصورة منظمة .
- ب – البرامج المكونة لهذه الأرقام يجب ان لا يتطلب وحدة خزن كبيرة .
- ج – البرامج المكونة لهذه الأرقام يجب ان يكون سريعاً .
- د – يجب ان تكون دورة الأرقام العشوائية طويلة وحسب امكانية الحاسبة .
- هـ – يجب ان تكون القيم المتكونة متغيرة .

2-2-3 التكامل العددي : (Numerical Integration)

عند صياغة المسألة من خلال وضع البرنامج الرئيسي لها و خلال توليد البيانات في الحاسبة وتقسيمها إلى فئات كان لابد من حساب القيم المتوقعة (Expected Values) للفئات و القيم المتوقعة هي قيم نظرية يمكن الحصول عليها بحساب تكاملات دوال الكثافة الاحتمالية للتوزيعات التي تتبعها الأرقام العشوائية المتولدة لحدود مثبتة حسب تقسيمات الفئات . وفي حساب هذه التكاملات [80],[81] في الحاسبة هناك طرائق عديدة :-

- أ – شبه المنحرف (Trapezoidal Method) .
- ب – طريقة سمبسون (Simpson Method) .
- ج – طريقة مونتني كارلو (Monte Carlo Method) .

ولقد تم استخدام طريقة مونتني كارلو في معالجة الانموذج الحالي ، لأن تقنية المحاكاة لمونتني كارلو تستخدم تفاصيل المسار المنحني للإلكترونات في الاتجاهات الثلاث اخذ بالحسبان الاستطارة غير الموحدة الخواص للإلكترونات نتيجة التصادم ، ففي تقنية مونتني كارلو يجب حساب المقطع العرضي التصادمي للإلكترونات و بدقة في تحليل الغازات. أن المشكلة الوحيدة التي تم مواجهتها في الاستفادة من تقنية مونتني كارلو هي حساب الوقت الذي تستغرقه عملية

التفريغ الكهربائي ، وقد تم تقليل هذه الصعوبة باستخدام الحاسبات السريعة، وقد استخدمت هذه التقنية في توضيح منطقة معينة بتسليط المجال المغناطيسي وقادة إلى النتائج الآتية :

1- تقليل كلفة الحساب .

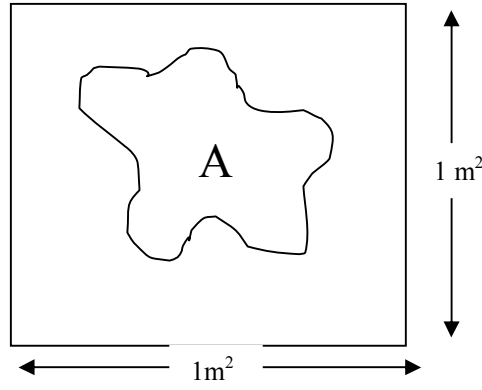
2- تقليل الأخطاء .

أن تقنية مونتي كارلو تستخدم طريقة أتباع عدد كبير من الجسيمات من مصادرها إلى نهايتها مستخدمة في كل مرحلة احتمالية مناسبة لحساب التيار ، ولقد طبقت هذه التقنية لمحاكاة حركة الإلكترونات المتحشدة في الغازات التي يحصل فيها تفريغ كهربائي والتي تخضع لمجال كهربائي غير منتظم^[1] .

2 - 3 طريقة مونتي كارلو : (Monte Carlo Method)

أطلق مصطلح مونتي كارلو بين الرياضيين الأمريكيين (Von Neumann and S.Ulam) نسبة الى مدينة مونتي كارلو عاصمة إمارة موناكو ، وقد نشر أول تقرير يحمل اسم مونتي كارلو عام 1949 بعنوان (the Monte Carlo Method)^[82] ، أما في الاتحاد السوفيتي السابق فقد نشر أول تقرير عام 1955 ، أن بداية هذه الطريقة في الحقيقة كانت منذ نهاية القرن التاسع عشر ، حيث حلت بعض المسائل الإحصائية (Statistical Problems) بواسطة الاختيار (الانتقاء) العشوائي (Random Selection) وهذا ما يُعرف الآن بطريقة مونتي كارلو .

لم يكن استعمال هذه الطريقة شائعاً قبل تطور و استخدام الحاسبة الإلكترونية ذلك أن عملية المحاكاة (Simulation) للكميات العشوائية بواسطة اليد عملياً غير كفوءه بالنسبة إلى الوقت الذي تتطلبه هذه العملية ، إلا أن هذا لا يعني أنه لم تجر عمليات محاكاة باليد فقد أجرى (shirkin)^[83] حساباً لاخترق حزمة من أشعة كما مكونة من 60 فوتوناً في طبقة من الماء يدوياً وبدون استخدام الحاسبة الإلكترونية، الآن التطور والتوسع في استخدام هذه التقنية يبقى مرتبطاً بتطور الحاسبة الإلكترونية حيث تعد من أكثر الطرق المستقبلية كفاءة في حل المسائل العملية و العلمية و الهندسية المعقدة التي لا توجد لها صيغ رياضية و العمليات التجريبية غير ممكنة^[19] عن طريق تشبيه المتغيرات الفيزيائية و الرياضية بالأرقام العشوائية المختارة^[82] ، وقد تبادر إلى ذهن القارئ إن هذه الطريقة تستخدم لمعالجة المسائل و الحالات ذات التصرف العشوائي حصراً ، إلا أنه يمكن استخدامه كذلك لحل المعادلات (المسائل) المحددة (Determinate) إذا ما تضمنت تعبيراً شكلياً مشابهاً لعملية عشوائية وقد استخدمت في البرنامج الحالي كلا النوعين من المعالجة ، ولتوضيح كيفية استخدام هذه الطريقة لحل مسائل فأننا نورد المثال الآتي :-



الشكل (2 - 1) جسم غير منتظم A داخل مربع ذي قياسات معلومة [82],[84]

لو كان لدينا لوح مربع الشكل مساحته 1 m^2 كما موضح بالشكل (1-2) وداخله الشكل (A) والمطلوب حساب مساحته ، فمن الصعب إيجاد ذلك باستخدام قوانين المساحة المعروفة ، ولكن لو أخذت نقاط عشوائية داخل المربع فأن قسماً من هذه النقاط سوف يقع داخل الشكل (A) ومن ذلك يمكن إيجاد قيمة تربيعة لمساحة الشكل (A) عن طريق إيجاد نسبة عدد النقاط الموجودة داخل الشكل إلى العدد الكلي للنقاط في المربع وضرب هذه النسبة بالمساحة الكلية .

يتضح من هذا المثال أن القيم المستحصلة بواسطة هذه الطرائق هي قيم تقريبيه للحل ، إذ يحصل على قيمة واحدة ناتجة من سلسلة عمليات كل واحدة تمثل احتماليتها الخاصة بها [82],[84] وقد تكون سلسلة العمليات هذه طويلة ومعقدة ، ومن هنا تبرز أهمية استخدام الحاسبة الإلكترونية .

أن مبدأ الاحتمالية (Probability) و المتغيرات العشوائية (Random Variable) تعد من أهم أساسيات مونتي كارلو خاصة في البحث العلمي و الأساسيات هي :-

أ - الاحتمالية :-

لو فرضنا ان تجربة ما أجريت (N_m) من المرات و ان (M) تمثل عدد مرات نجاح هذه التجربة ، أذن احتمالية نجاح هذه التجربة و التي تقترب من قيمة محددة نهائية عندما تقترب (N_m) من اللانهاية هي [85] :-

$$P_c = \frac{M}{N_m} \quad (8)$$

إما احتمال فشلها

$$P_f = \frac{N_m - M}{N_m} = 1 - \frac{M}{N_m} \quad (9)$$

إذ أن $(P_c + P_f = 1)$ إن المعالجة الحديثة لنظرية الاحتمالية تبدأ من مجموعة بديهيات (Axioms) لبناء إنموذج رياضي ، لو فرضنا إن (s) تمثل العينة (Sample Space) وأن P_r (s) تمثل احتمالية العينة (s) ، و $P_r(E)$ تمثل احتمالية الحدث (E) فإن $P_r(E)$ تحقق الفرضيات

$$1 - 0 \leq P_r(E) \leq 1$$

$$2 - P_r(s) = 1$$

وإذا كان لدينا حدثان متنافيان E_{11} , E_{22} فإن :-

$$3 - P_r(E_{11} + E_{22}) = P_r(E_{11}) + P_r(E_{22})$$

كما ان هناك احتمالية تسمى بالاحتمالية المشروطة (Conditional Probability) و التي تعني ارتباط احتمالية حدوث فعل ما باحتمالية حدوث فعل آخر ، و تسمى هذه الحوادث بالحوادث غير المستقلة (Dependent) وغير ذلك فهي حوادث مستقلة (Independent) [87].
ب - المتغيرات العشوائية [82],[86] :-

المتغيرات لعشوائية هي الناتج لأي عملية بدأت دون أي فكرة مدركة او اتجاه وهي على نوعين .

أولاً :- المتغيرات العشوائية المتقطعة (Discrete Random Variable)

يعد المتغير العشوائي (X) عشوائياً متقطعاً إذ أمكن التعبير عنه بأخذ القيم

$(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ حيث أن لكل (x_i) احتمالية $P_r(i)$ خاصة لذلك فإن :

$$P_r(i) \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^n P_r(i) = 1 \quad (10)$$

إما القيم المتوقعة للمتغير (X_i) فهي :-

$$E(x) = \sum_{i=1}^n x_i P_r(i) / \sum_{i=1}^n P_r(i) \quad (11)$$

ثانياً :- المتغيرات العشوائية المتصلة (Continue Random Variable) وهو المتغير الذي يكون معرفاً في فسحة محددة (Intervel) فالمتغير العشوائي (x) يكون متصلاً إذا عرف بدالة لاحتمالية $P_r(x)$ ففي الفترتين (أولاً)، (ثانياً) تنطبق $P_r(x)$ قوانين الاحتمالية من خلال :-

$$P_r(x) = 0 \quad (12)$$

$$\int_a^b P_r(x) = 1 \quad (13)$$

$$E(x) = \int_a^b x P_r(x) dx \Big/ \int_a^b P_r(x) dx \quad (14)$$

إما القيم المتوقعة للمتغير (x) فهي:

إن المعادلة الاخيرة توضح ان $E(x)$ تمثل معدل قيم (x) و ان المتغير (x) يمكن أن يأخذ إي قيمة تقع في الفسحة (a,b) باحتمالية قدرها $P_r(x)$.

ثالثاً :- تقنية أختار العينة (Sample Technque)

إن محاكاة العمليات الإحصائية تستند بالأساس الى الأعداد العشوائية (Random Number) التي تتوزع بانتظام في الفترة [0,1] كما ذكرنا سابقاً حيث ان $(0 \leq \mu \leq 1)$ ومن خلال هذه الأعداد يمكن الحصول على المتغيرات العشوائية (x) اعتماداً على توزيع الاحتمالية μ (Probability Distribution) و باستخدام العلاقة [88]

$$\mu = \int_{-\infty}^x F(x) dx \Big/ \int_{-\infty}^{\infty} F(x) dx \quad (15)$$

where

$$\begin{aligned} x = \infty &\Rightarrow \mu = 1 \\ x = -\infty &\Rightarrow \mu = 0 \end{aligned}$$

2-4 فرضيات الموديل الرياضي :

2-4-1 تتبع حركة الإلكترون :

ان صياغة هذا الانموذج الرياضي يفترض ان إلكترون الاختبار يبدأ من نقطة واحدة عند الكاثود مع مركبة السرعة باتجاه (-E) و مع طاقة منتظمة موزعة بين (0 - 10) eV . كذلك

يفترض ان الإلكترون يتحرك بشكل حر تحت تأثير مجال كهربائي غير منتظم و مجال مغناطيسي منتظم حتى يصطدم الإلكترون مع جزيئة الغاز و متى حصل هذا التصادم فانه سوف يحدد نوعه هل هو (شبه مستقر ، تهيج ، تأين) سوية مع فقدان الطاقة المرافقة . الاتجاه الجديد للإلكترون المتشتت سوف يحدد بوساطة دوال توزيع احتمالية التشتت . هذا الإلكترون يسمح له الاستمرار في حركته الحرة تحت تأثير المجالين الكهربائي و المغناطيسي مرة ثانية سوف يصطدم مع جزيئات الغاز . و تستمر هذه العملية حتى يخرج الإلكترون من منطقة هبوط الكاثود . بعد ذلك يحدد الموقع النهائي ، السرعة ، الطاقة ، الزمن الكلي للطيران و عدد التصادمات التي تحدث كلها تخزن .

الشكل (2 - 2) يمثل فضاء المنظومة للإلكترون المتمثلة في الأحداثيات x, y, z و الزاوية θ التي يصنعها متجة السرعة مع V_z ، و الزاوية Φ التي تمثل المسقط على المستوي لمركبات السرعة V_x و V_y تعمل مستوي مع السرعة V_x في نقطة التصادم C و مسار الإلكترون ينحرف بزاوية مقدارها θ_d و ϕ_d من أصل المسار .

الشروط التي فرضت في التحليل الحالي هي كالآتي :-

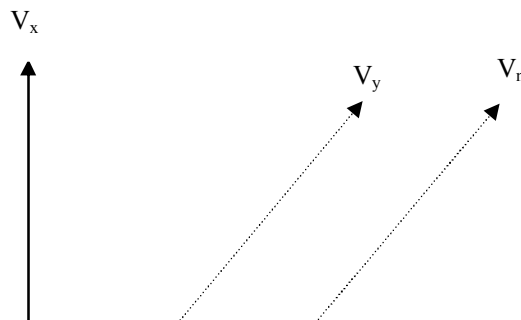
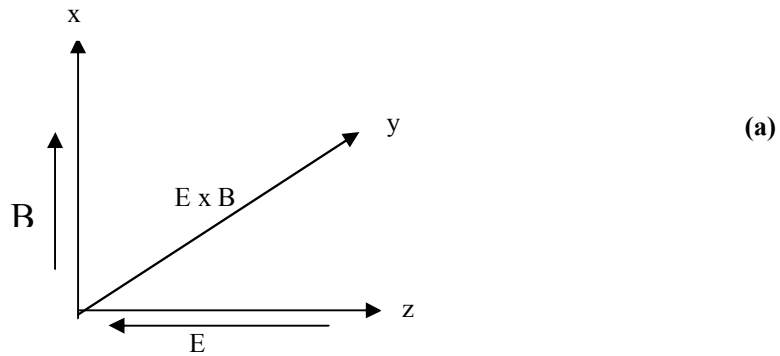
أ - مجال كهربائي غير منتظم E باتجاه $(-z)$.

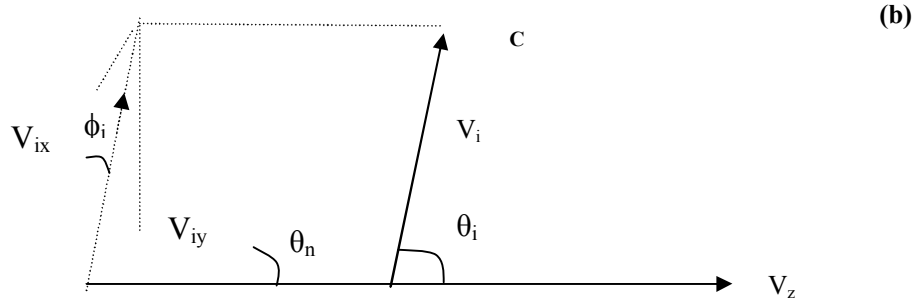
ب - مجال مغناطيسي منتظم B_0 باتجاه $(+x)$.

ج - لا يوجد تفاعل بين الجسيمات المشحونة (بسبب كثافة الشحنة الواطئة في التفريغ) .

د - ذرات الغاز مستقرة .

هـ - لا يوجد تصادم للنوع الثاني (هي الذرات المثيجة و التي تصبح أكثر تهيجا) .





الشكل (2 - 2) : أحداثيات فضاء المنظومة للإلكترون و المجال المغناطيسي افترض يملك مركبة x . النقطة c تمثل نقطة التصادم ما بين الإلكترون و جزيئة الغاز v_i و v_n هما تمثلان متجهات السرعة للإلكترون قبل و بعد التصادم (a) أحداثيات الفراغ ، (b) يمثل أحداثيات السرعة .

2 - 4 - 2 تعيين طول مسار الإلكترون [1], [67] :

في البدء لأي من هذه الحسابات من الضروري حساب طول مسار الاجتياز أو العبور للإلكترون قبل التصادم مع جزيئة الغاز . ان طول المسار بين التصادمات يفترض ان يكون موزع أسياً حول معدل المسار الحر λ للإلكترون و يعطى بالمعادلة الاتية :-

$$PL = -\lambda \ln(R1) \quad (16)$$

حيث أن

PL : طول المسار للإلكترون m .

λ : تمثل معدل طول لمسار للإلكترون وتساوي $8 \times 10^{-4} m$ عند 1 torr .

R1 : تمثل رقم عشوي تتراوح قيمته ما بين $(0 \rightarrow 1)$.

2 - 4 - 3 تعيين حركة الإلكترون بين التصادمات :

افترض ان حركة الإلكترون بين التصادمات تكون بصورة حرة و تحت تأثير المجالين الكهربائي و المغناطيسي . المجال الكهربائي في منطقة هبوط الكاثود يعبر عنه تقريباً بدالة خطية متناقصة [1], [64], [67] .

$$E(z) = \left(\frac{-2V_0}{dc} \right) \left[1 - \left(\frac{z}{dc} \right) \right] \quad (17)$$

حيث ان

V_0 : فولتية هبوط لكاثود .

dc : مسافة منطقة هبوط لكاثود .

ان معادلة توازن الزخم الأساسي للإلكترون في مجال مغناطيسي منتظم B_0 ومجال كهربائي $E(z)$ يعطى بالمعادلة الآتية [44], [51]:

$$m_0 \frac{dV}{dt} = q (E + V \times B) \quad (18)$$

حيث ان

m_0 : كتلة الإلكترون السكونية .

q : شحنة الإلكترون .

V : سرعة الإلكترون .

لنفرض ان صافي القوة \vec{f} المؤثرة على جسيم شحنته q في الموقع \vec{r} هي قوة لورنتز $(\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B})$ حيث $V = \partial r / \partial t$ تمثل سرعة الجسيم وبمساواة هذه القوة

$$m_0 \frac{d\vec{V}}{dt} = q_e (E + \vec{V} \times \vec{B}) \quad (19)$$

بحاصل ضرب الكتلة m_0 و التعجيل نحصل على معادلة الحركة الآتية:

حيث ان E يمثل المجال الكهربائي في اتجاه المحور ($-z$) ، B_0 تمثل المجال المغناطيسي باتجاه ($+x$) .

$$\vec{V} = \begin{Bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{Bmatrix}$$

$$\vec{V} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ V_x & V_y & V_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

$$\begin{aligned} \vec{V} \times \vec{B} &= i(V_y B_z - V_z B_y) - j(V_x B_z - V_z B_x) + k(V_x B_y - V_y B_x) \\ &= i 0 + j V_z B_x - k V_y B_x \\ &= 0 + j V_z B_0 - k V_y B_0 \end{aligned}$$

$$\vec{V} \times \vec{B} = \begin{Bmatrix} 0 \\ B_0 V_z \\ -B_0 V_y \end{Bmatrix}$$

وبما أن (dV/dt) هي مركبة من ثلاث سرع $(dV_z/dt, dV_y/dt, dV_x/dt)$ اذن يمكن حل المعادلة (19) بالنسبة لمركبات المحاور (z, y, x) كل على حده :

$$m \frac{dV_x}{dt} = q (E_x + V \times B)$$

$$m \frac{dV_x}{dt} = q (0 + 0)$$

$$V'_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{q}{m} 0 = 0$$

بأخذ التكامل للمعادلة أعلاه نحصل

$$V_x = \text{constant} \quad (20)$$

$$\frac{dV_y}{dt} = \frac{q}{m} (0 + V_z B_0)$$

$$\frac{dV_y}{dt} = \frac{q}{m} V_z B_0$$

$$\therefore \frac{dV_y}{dt} = \frac{q}{m} V_z B_0 \quad (21)$$

اما مركبة السرعة باتجاه (y)

اما بالنسبة لمركبة السرعة باتجاه z فهي :

و بالتعويض عن E_z من المعادلة (17) نحصل:

و بأخذ تفاضل الطرفين للمعادلة أعلاه نحصل :

وبتعويض عن (V'_y) من المعادلة (21) نحصل

$$V'_z = \frac{q}{m} \left[\frac{-2V_0}{d_c} \left(1 - \frac{z}{d_c} \right) - V_y \right] B_0 \quad (22)$$

$$\frac{dV_z}{dt} = \frac{q}{m} [E_z - V_y B_0]$$

$$V_z'' = - \left[\frac{-2V_0 q}{d_c^2 m} + \frac{q^2 B_0^2}{m^2} \right] V_z$$

$$V_z'' + \left[\frac{-2V_0 q}{d_c^2 m} + \frac{q^2 B_0^2}{m^2} \right] V_z = 0$$

$$V_z'' + \left[\frac{q^2 B_0^2}{m^2} - \frac{2V_0 q}{d_c^2 m} \right] V_z = 0$$

$$\therefore V_z'' + \left[\omega_c^2 - \frac{2V_0 q}{d_c^2 m} \right] V_z = 0 \quad (23)$$

حيث أن

$$\omega_c^2 = \frac{q^2 B_0^2}{m^2}$$

$$A = \sqrt{\omega_c^2 - \frac{2V_0 q}{d_c^2 m}}$$

$$V_z'' + A^2 V_z = 0$$

ω_c : التردد السايكلتروني ، وعلى فرض أن :
إذن سوف تصبح المعادلة (23) بالشكل :

ان المعادلة أعلاه تمثل معادلة متذبذب توافقي بسيط تحل بالشكل

$$V_z = A_1 \cos(At) + A_2 \sin(At) \quad (24)$$

at

$$t = 0 \quad \Rightarrow \quad V_z = A_1$$

و بأخذ التفاضل للمعادلة (24) نحصل :

$$V_z' = -AA_1 \sin(At) + AA_2 \cos(At) \quad (25)$$

وبمساواة المعادلتين (25 , 22) نحصل على :

$$-AA_1 \sin(At) + AA_2 \cos(At) = \frac{q}{m} \left[\frac{-2V_0}{d_c} \left(1 - \frac{z}{d}\right) - V_y B_0 \right]$$

$$-AA_1 \sin(At) + AA_2 \cos(At) + \frac{2qV_0}{md} \left(1 - \frac{z}{d}\right) = -\frac{B_0 q}{m} V_y$$

$$\therefore V_y = \frac{mA}{B_0 q} (A_1 \sin(At) - A_2 \cos(At)) - \frac{m}{B_0 q} \cdot \frac{2qV_0}{md} \left(1 - \frac{z}{d}\right)$$

$$V_y = \frac{mA}{B q} (A_1 \sin(At) - A_2 \cos(At)) - \frac{2V_0}{B_0 d_c} \left(1 - \frac{z}{d}\right)$$

و عندما الزمن يساوي صفراً (t = 0) نحصل على :

$$V_{y0} = \frac{mA}{B_0 q} (-A_2) - \frac{2V_0}{dB_0} \left(1 - \frac{z}{d}\right)$$

$$\frac{mAA_2}{B_0 q} = -V_{y0} - \frac{2V_0}{d_c B_0} \left(1 - \frac{z}{d}\right)$$

$$A_2 = -\frac{B_0 q}{mA} V_{y0} - \frac{2V_0}{d_c B_0} \left(1 - \frac{z}{d}\right) \frac{B_0 q}{mA}$$

$$A_2 = -\frac{2V_0 q}{mdA} \left(1 - \frac{z}{d}\right) - \frac{w_c}{A} V_{y0}$$

وبتطبيق الشروط الحدودية (t = 0) ، $z \rightarrow z_0$

$$\therefore B_c = A_2 = -\frac{2V_0 q}{m d_c A} \left(1 - \frac{z_0}{d}\right) - \frac{w}{A} V_{y0}$$

إذن سوف تصبح المعادلة (2-9) بالشكل الآتي :

$$V_z = A_1 \cos(At) + A_2 \sin(At) \quad (24)$$

$$V_z = V_{z0} \cos(At) + B_c \sin(At) \quad (26)$$

وبما ان ومن المعادلة (21)

$$V_y' = \frac{q}{m} V_z B_0$$

سوف نحصل :

$$V_y' = \frac{qB_0}{m} (V_{z0} \cos(At) + B_c \sin(At))$$

$$\frac{dV_y}{dt} = \frac{qB_0}{m} (V_{z0} \cos(At) + B_c \sin(At))$$

و بأخذ التكامل للمعادلة أعلاه :

$$\int_{V_{y0}}^{V_y} dV_y = \frac{qB_0}{m} V_{z0} \int_0^t \cos(At) dt + \frac{qB_0}{m} B_c \int_0^t dt$$

$$V_y - V_{y0} = \frac{\omega_c}{A} V_{z0} \sin(At) \Big|_0^t - \frac{\omega_c}{A} B_c \cos(At) \Big|_0^t$$

$$V_y - V_{y0} = \frac{\omega_c}{A} V_{z0} \sin(At) - \frac{B_c \omega_c}{A} (\cos(At) - 1)$$

$$\therefore V_y = V_{y0} + \frac{\omega_c V_{z0}}{A} \sin(At) - \frac{B_c \omega_c}{A} (\cos(At) - 1) \quad (27)$$

وبذلك تمكنا من إيجاد معادلة سرعة الإلكترونات (V_x, V_y, V_z) .

اما لحساب آخر موقع للإلكترونات قيم بأجراء التكامل للمعادلات (27,26) و بالشكل الآتي (من

المعادلة (27))

$$\frac{dy}{dt} = V_y + \frac{\omega_c V_{z_0}}{A} \sin(At) - \frac{\omega_c B_c}{A} \cos(At) + \frac{\omega_c B_c}{A}$$

بأخذ تكامل للطرفين وبتحديد تكامل بالنسبة لـ y من $(y_0 \rightarrow y)$ و للزمن من $(0 \rightarrow t)$ حيث نحصل :

$$\int_{y_0}^y dy = \frac{\omega_c V_{z_0}}{A} \int_0^t \sin(At) dt - \frac{B_c \omega_c}{A} \int_0^t \cos(At) dt + \frac{B_c \omega_c}{A} \int_0^t dt$$

$$y]_{y_0}^y = -\frac{\omega_c V_{z_0}}{A} \cos(At)]_0^t - \frac{\omega_c B_c}{A} \sin(At)]_0^t + \frac{\omega_c B_c}{A} t]_0^t$$

$$y - y_0 = -\frac{\omega_c V_{z_0}}{A} (\cos(At) - 1) - \frac{B_c \omega_c}{A^2} \sin(At) + \frac{B_c \omega_c}{A} t$$

$$y = -\frac{\omega_c V_{z_0}}{A^2} (\cos(At) - 1) - \frac{B_c \omega_c}{A^2} \sin(At) + \frac{B_c \omega_c}{A} t$$

حيث أن $y_0 = 0$ إذن :

$$\frac{dz}{dt} = V_z = V_{z_0} \cos(At) + B_c \sin(At) \quad (26)$$

و من المعادلة (26) :

و بأخذ تكامل للطرفين وبتحديد تكامل محصورة من z من $(z_0 \rightarrow z)$ و للزمن t من $(0 \rightarrow t)$.

$$\int_{z_0}^z dz = V_{z_0} \int_0^t \cos(At) dt + B_c \int_0^t \sin(At) dt$$

$$z]_{z_0}^z = \frac{V_{z_0}}{A} \sin(At)]_{z_0}^z - \frac{B_c}{A} \cos(At)]_0^t$$

$$z - z_0 = \frac{V_{z_0}}{A} (\sin(At) - 0) - \frac{B_c}{A} (\cos(At) - 1)$$

حيث $z_0 = 0$ فإن

و من ثم يمكن حساب محصلة السرعة لإلكترون في الاتجاهات الثلاث (x, y, z) من القانون

$$z = \frac{V_{z_0}}{A} \sin(At) - \frac{B_c}{A} [\cos(At) - 1] \quad (28)$$

$$V_r = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

و كذلك يمكن حساب محصلة المسافة المقطوعة للإلكترونات تصل حجرة التفريغ من القانون

$$L = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

و بذلك يمكن حساب زمن التفريغ .

فإذا كان الإلكترون ضمن المدى L , أي $(L > d_c > 0)$ فسوف يتم حساب سرعته و موقعه من جديد أما إذا كان خارج هذا المدى فسوف يتم حساب نوع التصادم و طاقته .

3 - 1 المقدمة :

لقد بيّنا من الفصل السابق الفكرة الاساسية للموديل الرياضي ، اذ وضحت فكرة تأثير المجال المغناطيسي و كيفية استخدام طريقة مونتى كارلو والفرضيات المتعلقة بحركة الإلكترون في المجالين المغناطيسي و الكهربائي . و في هذا الفصل سوف نوضح كيفية ربط المعلومات السابقة و وضعها في برنامج رياضي يتم فيه حساب معلمات الحشد (Swarm Parameters) و التي تتضمن السرعة ، الزمن الكامل للطيران ، الموقع ، و نوع التصادمات و عددها .

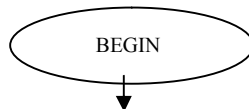
3 - 2 مراحل عمل البرنامج :

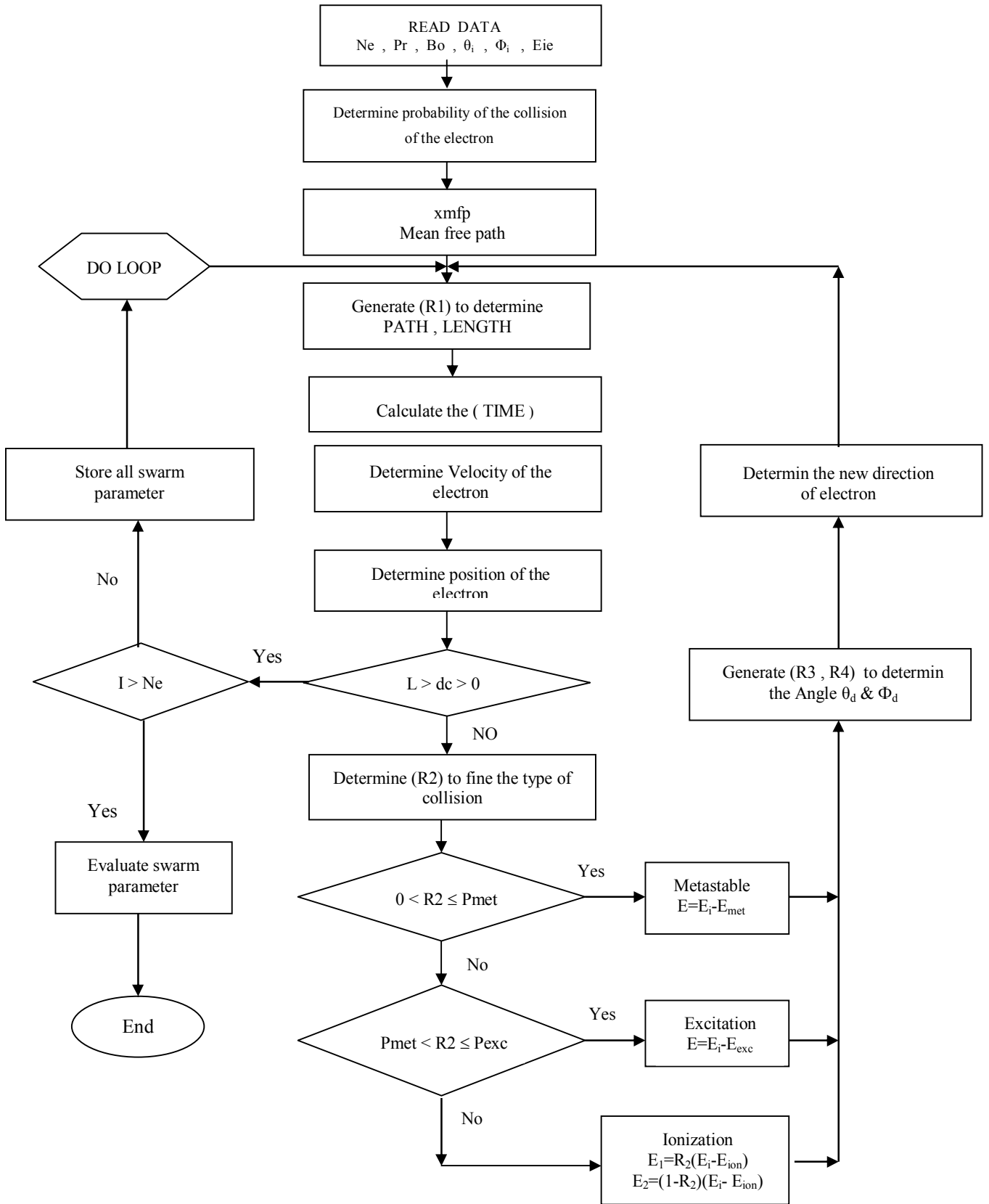
استخدمت لغة فورتران (77) لكتابة البرنامج الذي احتوى إضافة الى البرنامج الرئيسي (Main Program) عدة برامج فرعية و كما هو موضح بالمخطط الانسيابي في الشكل (3 - 1) (Subroutine Program) ، يؤدي كل واحد منها وظيفة خاصة في حساب عمليات حركة الإلكترون اذ تستدعى هذه البرامج عند الحاجة اليها خلال سير البرنامج . و لغرض توضيح عمل البرنامج فسوف يقسم الى خطوات ، توضح في كل خطوة الاجراءات الخاصة بها و كما يأتي :

الخطوة الاولى : تتألف هذه الخطوة من

1 - المدخلات :

- لكي يبدأ البرنامج بالعمل فلا بد من إدخال قيم معينة ، هذه القيم تمثل ثوابت يعتمد عليها البرنامج خلال سيره و تشمل على المعلمات الآتية:
- أ - العدد الكلي للإلكترونات التي يراد دراستها .
 - ب - ضغط الغاز (Torr) .
 - ج - المجال المغناطيسي (Gauss) .
 - د - زاوية الانبعاث الاولى (Degree) .
 - هـ - طاقة الانبعاث (eV) .
 - و - طاقة التصادمات للإلكترونات (eV) .
 - ز - طول منطقة هبوط الكاثود (m) .
 - ح - فولتية الانهيار أو فرق الجهد (Volt) .





الشكل (3 - 1) : المخطط الانسيابي لخطوات سير البرنامج

يستخدم هذا البرنامج في حساب احتمالية و نوع التصادم ، يمكن حساب المقاطع العرضية

$$Q(E) = \frac{AA(E_i - E_j)}{BB + (E_i - E_j)^2} + CC \quad (29)$$

التصادمية كدالة للطاقة (Q(E)) باستخدام المعادلة [64]

إذ أن :

E_j : الطاقة الكامنة لكل مستوي .

E_i : طاقة الإلكترونات المقذوفة .

AA , BB , CC : ثوابت خاصة لكل من مستويات (شبه المستقر ، متهيج ، متأين) و بذلك

يمكن حساب المقطع العرضي المتهيج Q_{exe} ، المقطع العرضي التأيني Q_{ion} و المقطع

العرضي شبه المستقر Q_{met} و ذلك بأستخدام القيم الموجودة في الجدول أدناه .

الجدول (1-3) قيم طاقة المستويات والاحتمالية لغاز الهليوم [64]

	$E_j(\text{ev})$	AA	BB	CC	Probabilty
Metastable	19.82	0.109	0.25	0.0311	0.01681
Exeitation	21.45	68.8	1850	0	0.34887
Ionization	24.52	172	4900	0	0.63432

يمكن حساب احتمالية حدوث كل من التصادمات شبه المستقرة و التهيج و التأين وحسب

المعادلات الآتية و بعد حساب الاحتمالية الكلية .

$$Q_t = Q_{met} + Q_{exet} + Q_{ion} \quad (30)$$

$$P_{met} = \frac{Q_{met}}{Q_t} \quad (31)$$

Q_{met} : المقطع العرضي للمستوي شبه المستقر .

$$P_{exe} = \frac{Q_{exet}}{Q_t} \quad (32)$$

Q_{exe} : المقطع العرضي للمستوي المتهيج .

$$P_{ion} = \frac{Q_{ion}}{Q_t} \quad (33)$$

Q_{ion} : المقطع العرضي للمستوي المتأين .

في حالة حدوث التأين فأن طاقة الإلكترون سوف تتوزع بين الإلكترونين ، إذ تكون طاقة الإلكترون الاول مساوية $R_2(E_i - E_{ion})$ بالاتجاه الموجب، اما طاقة الإلكترون الثاني فانها تساوي $(1 - R_2)(E_i - E_{ion})$ بالاتجاه السالب .

ب – البرنامج الفرعي [xmf] (Mean Free Path)

إذ يمكن في هذا البرنامج حساب معدل المسار الحر λ للإلكترونات المقطوع بين التصادمات و لضغوط مختلفة وفقاً للعلاقة^{[1],[89]} أدناه .

$$\lambda = \frac{kT}{\sigma p} \quad (34)$$

حيث ان :

T : درجة الحرارة (كلفن) .

k : ثابت بولتزمان (1.238×10^{-23} جول/كلفن) .

p : ضغط الغاز (تور) و أن

$$1 \text{ torr} = 133.3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$$

σ : مساحة الذرة ، حيث ان

$$\sigma = \pi i^2$$

i : تمثل نصف قطر الذرة و تعادل (1 Angstrom $\approx 1 \times 10^{-10}$ m)^[89]

$$\sigma = 3.14 \times 10^{-20} \text{ m}^2$$

وبذلك يمكن حساب معدل المسار الحر للإلكترون و لضغوط مختلفة من ضغط الغاز (1 , 5 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30) تور، إذ ان باقي ما موجود في المعادلة (34) هي ثوابت ، و يتم استدعاء البرنامج (xmf) خلال سير البرنامج و عند الحاجة اليه في حالة تغير ضغط الغاز الذي يحدث فيه التفريغ الكهربائي .

ج – البرنامج الفرعي (Random)

يستخدم البرنامج الفرعي (Random) لتوليد أرقام حقيقية (Real) عشوائية مختارة ضمن

المدى (0 – 1) .

الخطوة الثانية : تتضمن هذه الخطوة إيجاد كل من طول المسار ، الزمن الكلي ، الموقع الاتجاهي و مركبات السرعة للإلكترون الاختبار ، و تتألف من البرامج الفرعية الآتية :

1 - البرنامج الفرعي (Path) (Path Length)

يمكن في هذا البرنامج حساب طول المسار المقطوع ، لأن في كل إحصائية يتم فيها حساب طول المسار لمقطع من قبل الإلكترون قبل التصادم مع جزيئات الغاز ، و أن طول المسار (Path) بين تصادمين معروف كتوزيع أسّي لطول المسار الحر (λ) و يعطى

$$PL = -\lambda \ln(R_1) \quad (35)$$

بالمعادلة الآتية [1] :-

إذ ان

R_1 : هو عبارة عن رقم عشوائي في المدى (1 - 0) و يتم الحصول عليه من البرنامج الفرعي (Random) الذي يولد تلك الأرقام العشوائية.
PL : طول المسار الحر .

2 - البرنامج الفرعي (Time)

حيث يتم في هذا البرنامج حساب الزمن (t) و من العلاقة الآتية :-

$$\omega = \left(\frac{2q v_0}{m} \right)^{\frac{1}{2}} / PL \quad (36)$$

و أن

$$t = \frac{\pi}{2\omega} \quad (37)$$

حيث ان

t : زمن الانتقال للإلكترونات التصادم (sec) .

q : شحنة الإلكترون (1.6 x 10⁻¹⁹ Coulomb) .

v₀ : فولتية المهبط و تعتمد على طبيعة و ضغط الغاز و مادة سطح الكاثود .

و ان قيمتها تساوي (156 Volt) -(4cm) .

m : كتلة الإلكترون السكونية (9.1 x 10⁻³¹ Kg) .

dc : هي المسافة لمنطقة هبوط الكاثود و تعتمد على ضغط الغاز .

و تستخدم المعادلة (37) اذا لم يكن هناك تصادم بين الإلكترونات و جزيئات الغاز ، أما في حالة حدوث تصادم بين الإلكترونات و جزيئات الغاز فتستخدم العلاقة رقم (37) لإيجاد قيمة

(ω) و تعويضها في المعادلة (37) ، و أن (PL) يتم حسابه ضمن فعاليات البرنامج الفرعي (Path) .

3 – البرنامج الفرعي (Motion)

يتم في هذا البرنامج حساب سرع و مواقع الاتجاهية للإلكترونات بين التصادمات و كما تم توضيح ذلك في الفصل السابق حول اشتقاق معادلات السرع و المواقع ومن المعادلات المهمة التي يجب ذكرها هنا في هذه الفقرة هي :

$$V_x(t) = V_x(0)$$

$$V_y(t) = \frac{\omega_c V_z(0)}{A} \sin(At) - \left(\frac{\omega_c B_c}{A} \right) [\cos(At) - 1] + V_y(0)$$

$$V_z(t) = V_z(0) \cos(At) + B_c \sin(At)$$

$$\omega_c = q B_o / m$$

إذ أن

$$A = \left[\omega_c^2 - \left(\frac{2qV_o}{m d_c^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$B_c = \left(\frac{-2qV_o}{m d_c A} \right) \left(1 - \frac{z(0)}{dc} \right) - \frac{\omega_c V_y(0)}{A}$$

$$y = -\frac{\omega_c V_{zo}}{A^2} (\cos(At) - 1) - \frac{B_c \omega_c}{A^2} \sin(At) + \frac{B_c \omega_c}{A} t$$

$$z = \frac{V_{zo}}{A} \sin(At) - \frac{B_c}{A} (\cos(At) - 1)$$

$$V_r = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

$$L = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

الآن بعد ان تم إيجاد قيم المسافة والزمن الكلي و السرع و المواقع للإلكترونات الاختبارية حيث ان هذه القيم هي تمثل المعدل بالنسبة للسرع و المواقع و الزمن .

نحن في وضع يمكننا من طرح السؤال الأتي وهو: هل ان الإلكترون داخل منطقة هبوط الكاثود أم لا و ذلك من مقارنة المسافة L التي تم إيجادها مع dc فاذا كان L أكبر من (منطقة هبوط الكاثود)dc فان الإلكترون قد خرج و اذا كان الجواب لا فان الإلكترون لازال مستمراً داخل منطقة هبوط الكاثود و بذلك يمكن معرفة نوع التصادم بوساطة البرنامج الفرعي (colls)

الخطوة الثالثة : و تتضمن هذه الخطوة تحديد نوع التصادم و طاقة الإلكترون و تتألف من البرامج الفرعية الآتية :

1 - البرنامج الفرعي (Colls)

يمكن في هذا البرنامج تحديد نوع التصادم وتحديد طاقة الإلكترون من خلال إدخال رقم عشوائي (R_2) موزع بانتظام ($1 \rightarrow 0$) و يمكن تحديد نوع التصادم (شبه مستقر ، متأين ، متهيج) وفق الحالات الثلاث الآتية :-

$$0 < R_2 \leq P_{met} \quad \text{أ -}$$

فأن تصادم شبه المستقر سوف يحدث و يمكن حساب طاقة الإلكترون في هذا التصادم وفقاً للعلاقة :-

$$E_e = E_i - E_{met} \quad (38)$$

إذ أن

E_i : طاقة لإلكترون الابتدائية .

E_{met} : طاقة لمستوي شبه المستقر .

$$P_{met} < R_2 \leq P_{exe} \quad \text{ب -}$$

P_{met} : احتمالية التصادم شبه لمستقر .

P_{exe} : احتمالية التصادم المتهيج .

ولهذا فأن تصادم و تهيج سوف يحصل و يمكن حساب طاقة الإلكترون في التصادم المتهيج وفقاً للعلاقة :-

$$E_e = E_i - E_{exe} \quad (39)$$

إذ أن

E_{exe} هي طاقة المستوي المتهيج .

$$P_{exe} < R_2 \leq 1 \quad \text{ج -}$$

فان الإلكترون في هذه الحالة سوف يؤين الذرة و ينتج من هذا التأين إلكترونين لكل واحد من الإلكترونين طاقة و تحسب و وفقاً للعلاقة :-

$$E_{e1} = R_2 (E_i - E_{ion}) \quad (40)$$

$$E_{e2} = (1-R_2)(E_i - E_{ion}) \quad (41)$$

إذ أن

E_{e1} : طاقة الإلكترون الاول .

E_{e2} : طاقة الإلكترون الثاني .

E_{ion} : طاقة التأين .

2 – البرنامج الفرعي (Angle)

يستخدم هذا البرنامج في حساب كل من Φ_d ، θ_d من خلال استخدام أرقام عشوائية جديدة مختارة R_3 , R_4 موزعة بانتظام بين (1 \rightarrow 0) حيث تمثل θ_d الزاوية التي يولدها متجه السرعة مع محور V_z ، أما Φ_d ناتجة من إسقاط المستوي $V_x - V_y$ مع محور V_x و (Φ_i, θ_i) هي الزوايا الابتدائية قبل التصادم أما نقطة التصادم C فانه الإلكترون سوف ينحرف و تصبح Φ_d ، θ_d .

ان الزاويتين المتجهتان الجديدتان (θ_n , Φ_n) تعطى وفق العلاقة^[1] .

حيث

$$\theta_n = \cos^{-1}(\cos(\theta_d)\cos(\theta_i) + \sin(\theta_d)\cos(\Phi_d)\sin(\theta_i)) \quad (42)$$

$$\Phi_n = \Phi_i + \Phi_d$$

حيث يمكن حساب زاوية انحراف الإلكترون Φ_d باستخدام الرقم العشوائي R_3 أما لحساب θ_d فيستخدم الرقم العشوائي R_4 و حسب العلاقة :-

$$\left. \begin{aligned} \Phi_d &= 2\pi R_3 \\ \theta_d &= 2R_4 - 1 \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

4 – 1 المقدمة :

بعد أن تم توضيح فكرة البرنامج في الفصول السابقة و طريقة الحساب المستخدمة لتأثير المجال المغناطيسي على منطقة التفريغ التوهجي لمنطقة هبوط الكاثود على حركة الإلكترون و التحديدات كدراسة نظرية . نستعرض في هذا الفصل النتائج التي تم الحصول عليها و سوف نتناقش على ضوء المتغيرات للمجال المغناطيسي .

صمم برنامج الحاسبة الموضح في الشكل (3 – 1) من الفصل الثالث الذي استخدم في محاكاة غاز الهليوم لمختلف قيم الضغوط و المجالات المغناطيسية . و كانت فولتية هبوط الكاثود $156 \text{ Volt (Pd , mm Hg x cm (4.0))}^{[90,39]}$.

و بالتالي أخذ بلحسبان قيمة الفولتية لضغط ومسافة معينة لمنطقة هبوط الكاثود . أما معدل طول المسار الحر للإلكترون في الهليوم فكان $8 \times 10^{-4} \text{ m}$ عند ضغط واحد تور^[1] ، وبالطريقة نفسها أخذت قيمة معدل المسار الحر بالنسبة للضغوط المختلفة .

المعلومات الخاصة لحركة الإلكترون في المجالين المغناطيسي و الكهربائي و التي حسبت لضغوط مختلفة (1, 5, 10, 15, 20, 25, 30) torr و كانت المجالات المغناطيسية من 50 الى 900 بمعدل 50 كاوس (Gauss) . النتائج ملخصة في الجداول [1-4] و لغاية [4-7] ، عدد الإلكترونات المستخدمة في الحشد كانت 3000 لكل حالة تشغيل ، تتضمن دقة تقريبية حوالي 1.8% و أن الملاحظ من الجداول هو قيم كبيرة للمجال المغناطيسي ، إذ أن عدد التصادمات تزداد طردياً وكذلك زمن الطيران للإلكترون الاختبار يزداد طردياً . هذه الملاحظة خاصة في الجدول لقيمة المجال المغناطيسي و ضغط (Torr) 1 حيث عدد التصادمات تزداد من 20817 الى 411454 بزيادة قيمة المجال المغناطيسي من (Gauss) 50 الى (Gauss) 900 . و نلاحظ تدرج الزيادة في عدد التصادمات في الجداول الأخرى و لقيم الضغط من (Torr) 5 الى (Torr) 30 .

سرعة الانتقال أو التفريغ و زمن الانتقال هي دالة للمجال المغناطيسي و الموضحة في الأشكال من (1-4) و لغاية (4-14) وهذه النتائج تثبت الاعتماد الخطي لسرعة و زمن الانتقال التفريغ على قوة المجال المغناطيسي . و كذلك الشكلين رقم (4-15) ، (4-16) يوضحان مجموع المنحنيات لسرعة الانتقال و زمنه مع المجال المغناطيسي في رسم واحد، حيث نلاحظ من خلالهما بأن سرعة التفريغ و زمن الطيران تتناقصان مع زيادة ضغط الغاز .

اما الشكلين (4-17) و (4-18) فيثبتان بأن عدد التصادمات و سرعة التفريغ يتناقصان مع زيادة ضغط الغاز عند قيمة شدة المجال المغناطيسي (500Gauss) .

والشكل الاخير (4-19) يمثل العلاقة بين ضغط الغاز وطول منطقة هبوط الكاثود ، حيث يتبين من خلاله بأن طول المنطقة يقل بزيادة ضغط الغاز.

ان الدور الذي يمكن ان يلعبه المجال المغناطيسي في منع النمو لتوليد عدم الاستقرارية في منطقة هبوط الكاثود يمكن ان يخمن أو يقدر بواسطة مقارنة النسبة لسرعة الانتقال من التوهج الى القوس و صولاً الى الابعاد القياسية لعدم الاستقرارية فاذا كانت النسبة أكبر من واحد فالمجال المغناطيسي يعدفعلاً في منع انتشار أي تشوش محلي في كثافة الإلكترون أو التيار على حجم التفريغ في زمن أقل من زمن عدم الاستقرارية و هكذا عمل تفريغ منيع لأي نوع من عدم الاستقرارية .

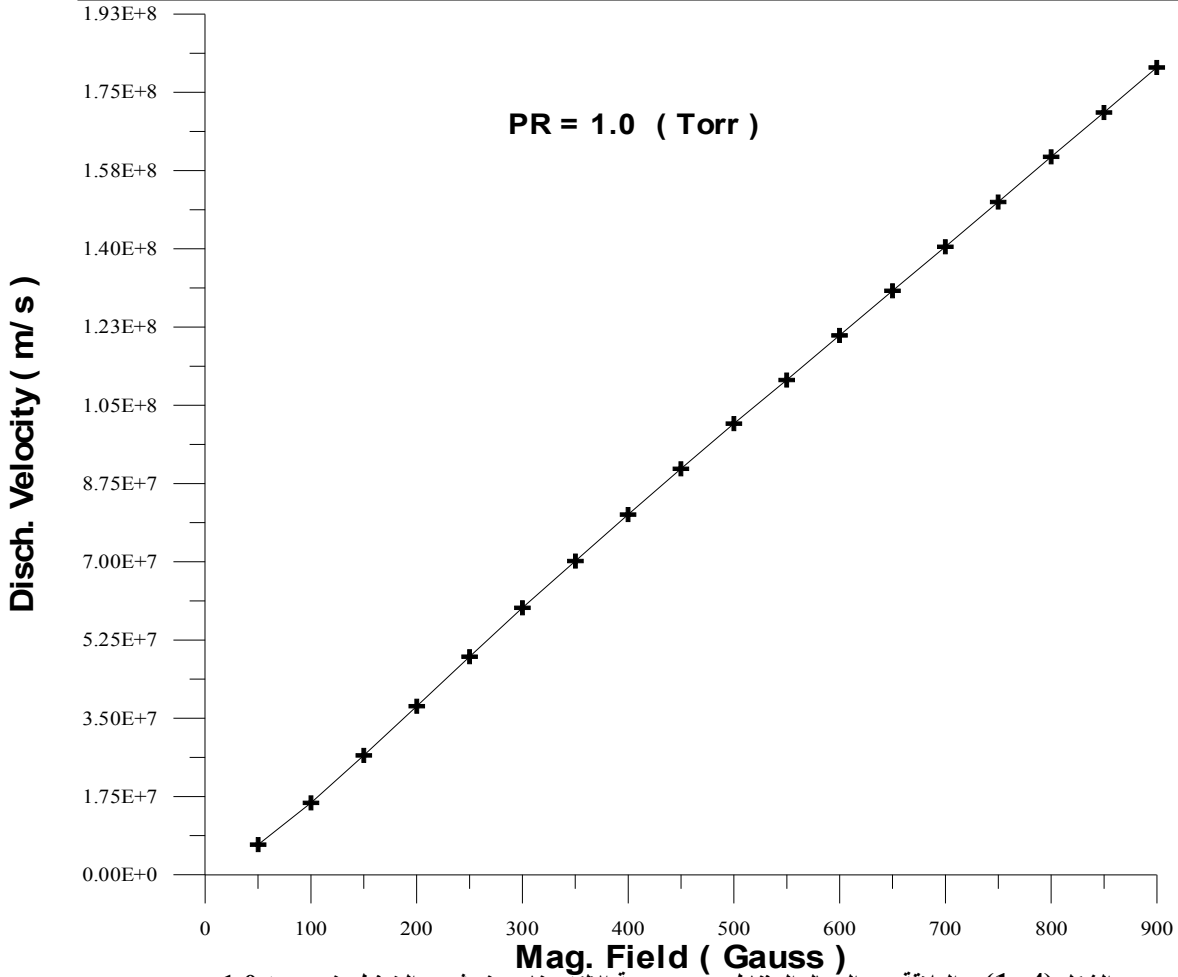
البحث الذي اجرى من قبل الباحث [91] Haas & Nighan & Wiegand [92] يبين ان السبب الرئيسي للقوس في التفريغ يعود الى تأثيرات الإلكترونات الحرارية ، هذه ظاهرة و ضحت و بينت الوقت اللازم بحدود 10^{-3} sec بحدود هذا الزمن التفريغ سوف يوضح بقوة خارج بمسافة 34 cm لقيمة مجال مغناطيسي 100 Gauss و 372 cm لقيمة مجال مغناطيسي 500 Gauss عند ضغط 10 Torr . هذه الانتقالات تزيد بكثير عند أبعاد الحيز المكاني الموجود لهذا النوع من عدم الاستقرارية و الذي هو (1 cm) و هكذا الاستقرار للتفريغ ضمن تأثيرات الإلكترونات الحرارية .

هذه النتائج توضح الى حد ما استقرارية التفريغ بشكل ممتاز والذي لوحظ أيضاً من الباحث [5, 6] Capjack ، وذلك من خلال زيادة سرعة التفريغ وزمن الطيران وعدد التصادمات مع زيادة شدة المجال المغناطيسي المسلط على منطقة هبوط الكاثود ، ومن ثم زيادة المسافة المقطوعة من قبل الإلكترونات خلال منطقة هبوط الكاثود ، مما يمنع احتشاد الإلكترونات في هذه المنطقة والتي قد تزيد من احتمالية ظهور الاقواس الكهربائية.

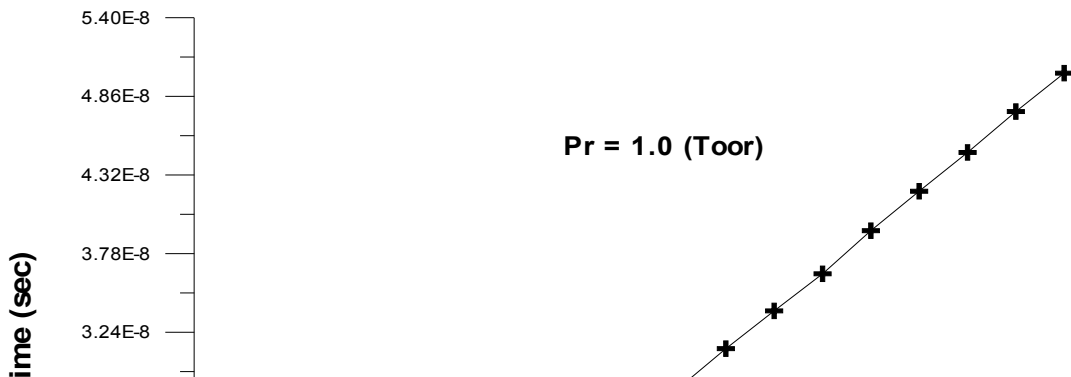
جدول (4 - 1) : النتائج المستحصلة عندما (Pr = 1.0 torr)

Mag. field G	Total No.of colls	Meta stable colls	Excit ation colls	Ioniz ation colls	Avg. transt time	Disch Velocity m/s

50.0	20817	305	6939	13573	.25532E-08	.67092E+07
100.0	45461	826	15101	29534	.55723E-08	.16051E+08
150.0	70477	1159	23369	45949	.85784E-08	.26687E+08
200.0	94936	1642	31661	61633	.11549E-07	.37678E+08
250.0	119289	2002	39460	77827	.14500E-07	.48745E+08
300.0	143154	2368	47439	93347	.17476E-07	.59695E+08
350.0	166011	2817	55423	107771	.20261E-07	.70161E+08
400.0	188809	3056	62762	122991	.23090E-07	.80544E+08
450.0	211414	3509	70217	137688	.25769E-07	.90793E+08
500.0	233615	4037	77580	151998	.28501E-07	.10090E+09
550.0	255162	4287	84863	166012	.31268E-07	.11063E+09
600.0	277375	4605	92069	180701	.33861E-07	.12061E+09
650.0	299611	5003	99870	194738	.36407E-07	.13060E+09
700.0	321625	5254	106370	210001	.39373E-07	.14045E+09
750.0	344013	5671	114513	223829	.42082E-07	.15047E+09
800.0	366724	6219	121593	238912	.44755E-07	.16060E+09
850.0	388900	6580	129046	253274	.47564E-07	.17051E+09
900.0	411454	6884	136454	268116	.50201E-07	.18057E+09



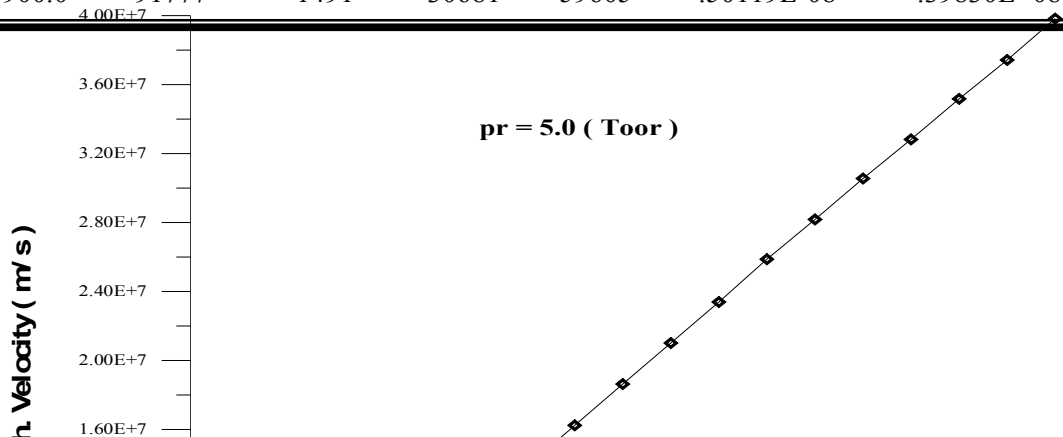
الشكل (4- 1) : العلاقة بين المجال المغناطيسي و سرعة الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 1.0 torr



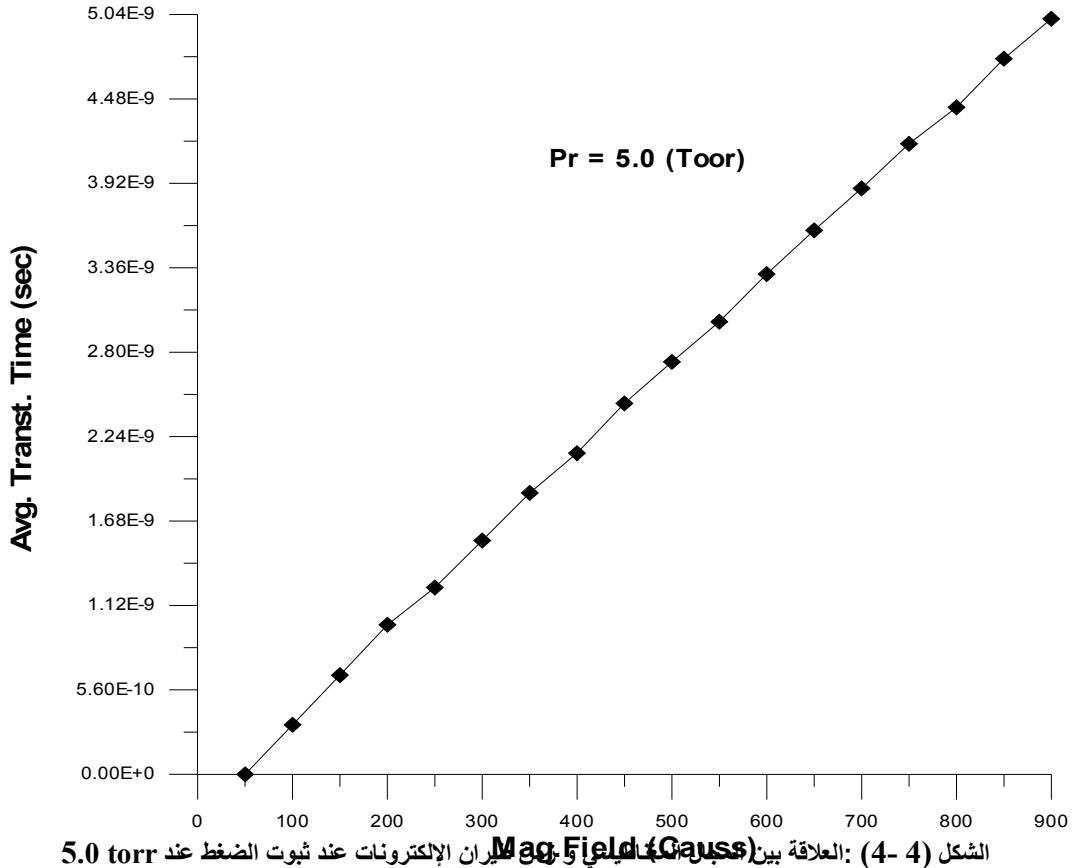
الشكل (4 - 2): العلاقة بين المجال المغناطيسي و زمن طيران الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 1.0 torr

جدول (4 - 2) : النتائج المستحصلة عندما (Pr = 5.0 torr)

Mag. field G	Total No.of colls	Meta stable colls	Excit ation colls	Ioniz ation colls	Avg. Transt. Time	Disch Velocity m/s
50.0	0	0	0	0	.00000E+00	.00000E+00
100.0	6000	97	2006	3897	.32768E-09	.22780E+07
150.0	12048	217	3933	7898	.65745E-09	.46504E+07
200.0	17880	263	6060	11557	.99125E-09	.70151E+07
250.0	22552	404	7485	14663	.12385E-08	.90153E+07
300.0	28282	480	9228	18574	.15501E-08	.11459E+08
350.0	33627	556	11154	21917	.18657E-08	.13803E+08
400.0	39164	674	13139	25351	.21296E-08	.16235E+08
450.0	44528	747	14685	29096	.24603E-08	.18631E+08
500.0	49877	838	16526	32513	.27354E-08	.21011E+08
550.0	55167	913	18284	35970	.30021E-08	.23390E+08
600.0	60704	1064	20318	39322	.33172E-08	.25870E+08
650.0	65796	1104	22101	42591	.36083E-08	.28174E+08
700.0	71112	1196	23546	46370	.38863E-08	.30552E+08
750.0	76161	1264	25467	49430	.41829E-08	.32825E+08
800.0	81386	1362	26700	53324	.44251E-08	.35176E+08
850.0	86405	1432	28846	56127	.47469E-08	.37428E+08
900.0	91777	1491	30681	59605	.50119E-08	.39830E+08



الشكل (4- 3) : العلاقة بين المجال المغناطيسي و سرعة الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 5.0 torr

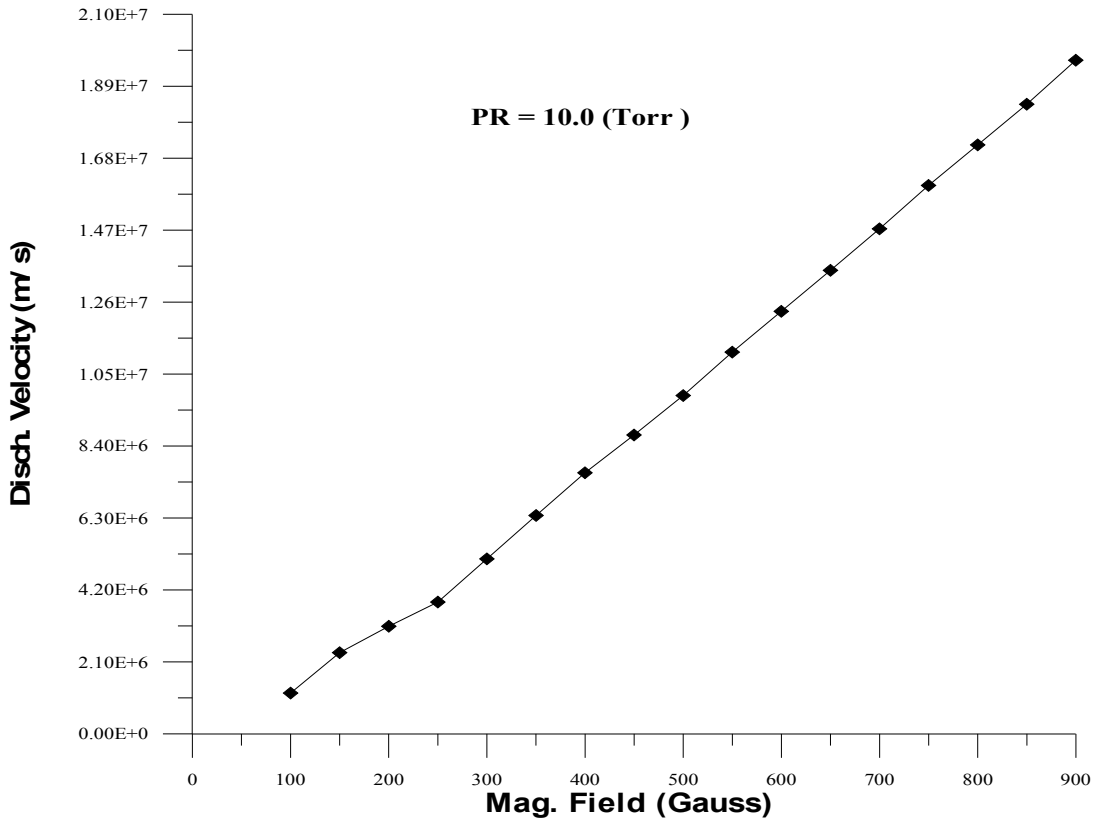


الشكل (4- 4) : العلاقة بين المجال المغناطيسي و سرعة الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 5.0 torr

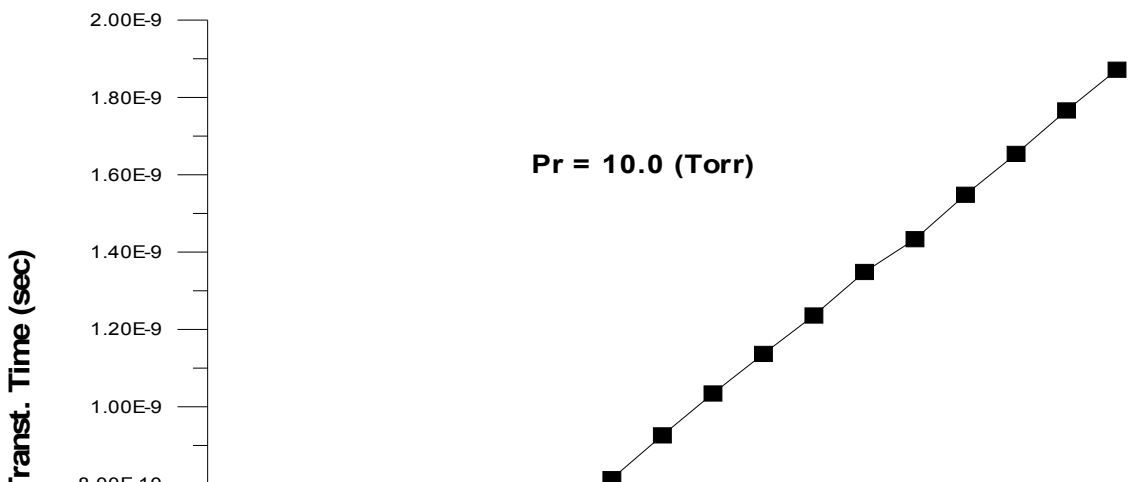
جدول (3 - 4) : النتائج المستحصلة عندما (Pr = 10.0 torr)

Mag. field G	Total No.of colls	Meta stable colls	Excit ation colls	Ioniz ation colls	Avg. transt time	Disch Velocity m/s
100.0	3000	36	994	1970	.11637E-09	.11895E+07
150.0	5931	95	1982	3854	.22716E-09	.23688E+07

200.0	7759	125	2533	5101	.28190E-09	.31362E+07
250.0	9496	165	3143	6188	.36916E-09	.38452E+07
300.0	12511	200	4256	8055	.50353E-09	.51042E+07
350.0	15502	275	5169	10058	.60697E-09	.63729E+07
400.0	18398	297	6029	12072	.71768E-09	.76193E+07
450.0	20916	310	6980	13626	.81391E-09	.87210E+07
500.0	23540	394	7909	15237	.92571E-09	.98729E+07
550.0	26425	480	8739	17206	.10343E-08	.11139E+08
600.0	29106	483	9595	19028	.11365E-08	.12328E+08
650.0	31797	531	10537	20729	.12359E-08	.13527E+08
700.0	34505	590	11501	22414	.13484E-08	.14736E+08
750.0	37367	596	12433	24338	.14331E-08	.16003E+08
800.0	40016	627	13362	26027	.15482E-08	.17189E+08
850.0	42675	739	14144	27792	.16541E-08	.18378E+08
900.0	45532	773	14954	29805	.17666E-08	.19660E+08



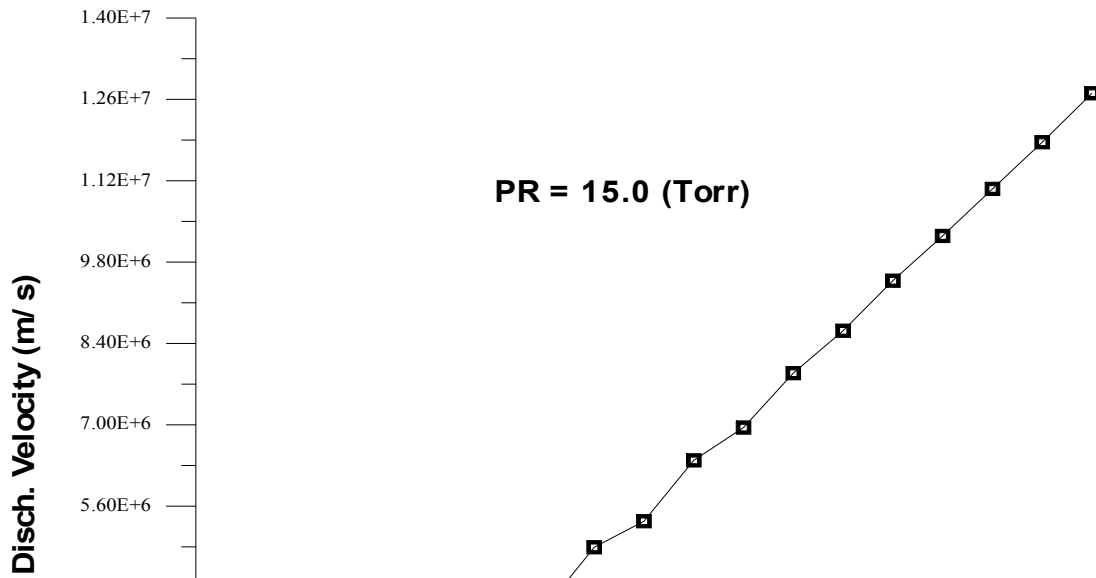
الشكل (4 - 5) : العلاقة بين المجال المغناطيسي و سرعة الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 10.0 torr



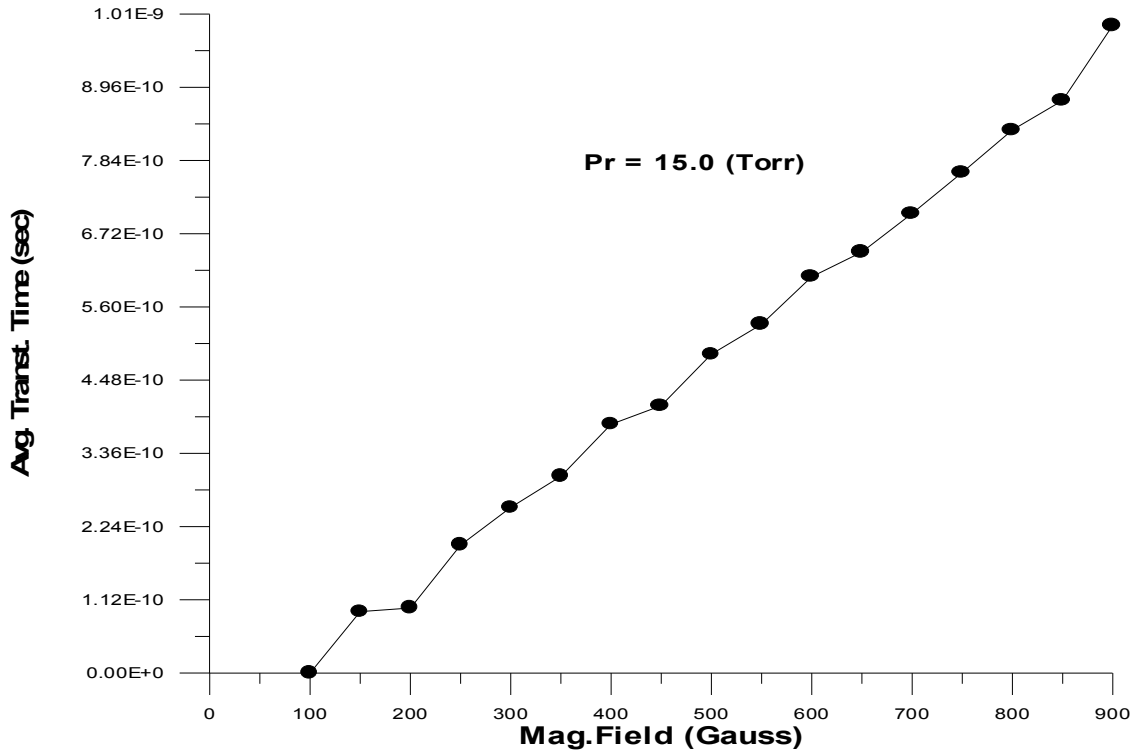
الشكل (4 - 6): العلاقة بين المجال المغناطيسي و زمن طيران الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 10 torr

جدول (4 - 4) : النتائج المستحصلة عندما (Pr = 15.0 torr)

Mag. field G	Total No.of colls	Meta stable colls	Excit ation colls	Ioniz ation colls	Avg. transt time	Disch Velocity m/s
100.0	0	0	0	0	.00000E+00	.00000E+00
150.0	3000	41	993	1966	.93907E-10	.12203E+07
200.0	3290	58	1101	2131	.99313E-10	.13488E+07
250.0	6041	98	1928	4015	.19559E-09	.24732E+07
300.0	8310	126	2782	5402	.25329E-09	.34302E+07
350.0	9264	159	3149	5956	.30100E-09	.38298E+07
400.0	11763	184	3902	7677	.38029E-09	.48925E+07
450.0	12777	219	4161	8397	.40890E-09	.53398E+07
500.0	15209	248	4957	10004	.48755E-09	.63870E+07
550.0	16501	259	5428	10814	.53330E-09	.69517E+07
600.0	18638	300	6169	12169	.60613E-09	.78889E+07
650.0	20288	369	6711	13208	.64385E-09	.86192E+07
700.0	22251	339	7450	14462	.70287E-09	.94789E+07
750.0	23982	386	7962	15634	.76547E-09	.10249E+08
800.0	25799	408	8481	16910	.83086E-09	.11060E+08
850.0	27630	471	9061	18098	.87589E-09	.11865E+08
900.0	29518	457	9905	19156	.93989E-09	.12707E+08



الشكل (4 - 7) : العلاقة بين المجال المغناطيسي و سرعة الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 15.0 torr

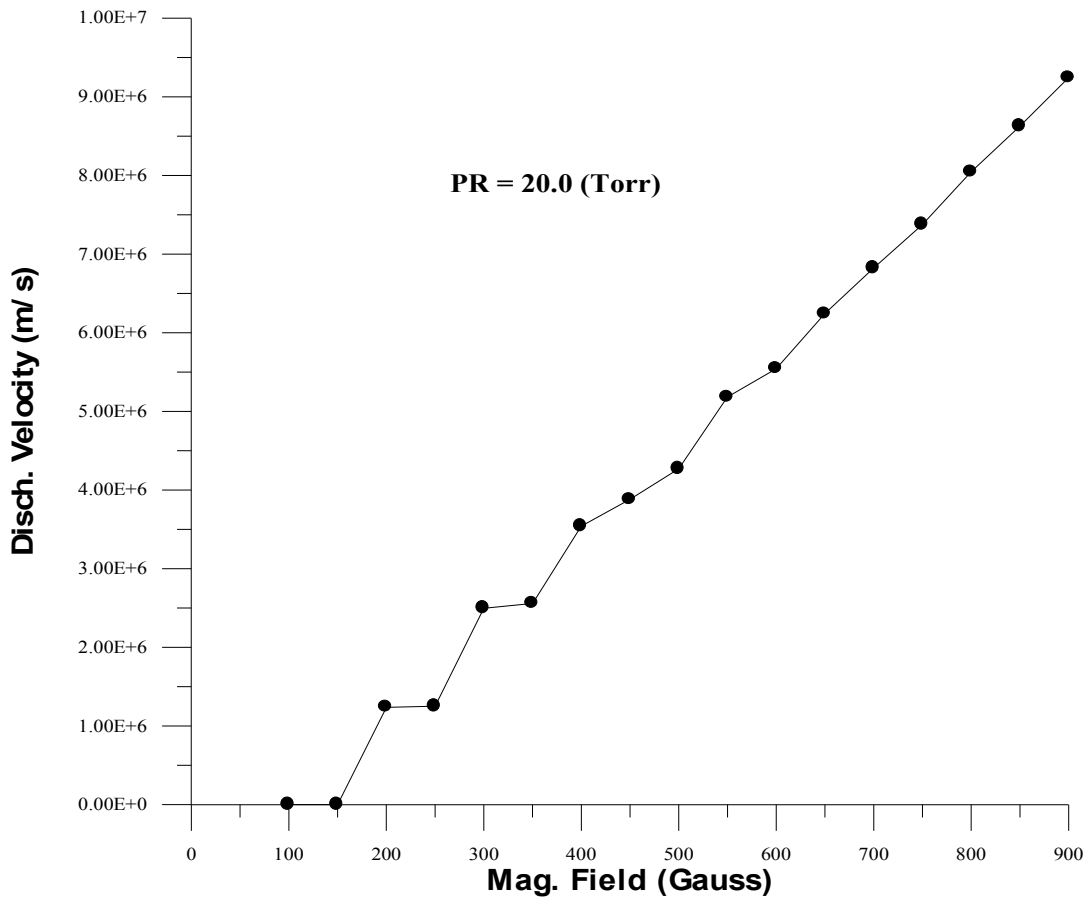


شكل (4 - 8): العلاقة بين المجال المغناطيسي و زمن طيران الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 15 torr

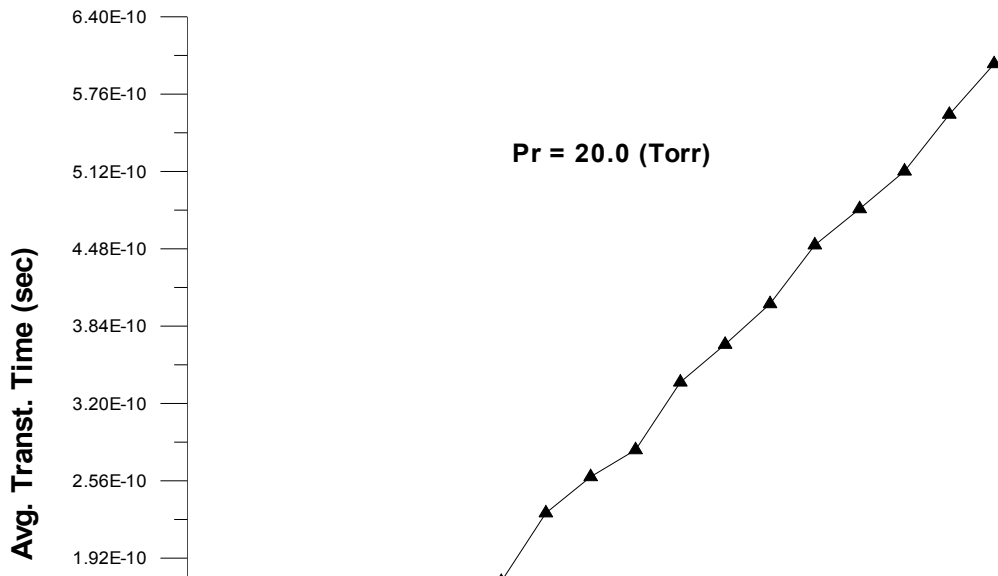
جدول (4 - 5) : النتائج المستحصلة عندما (Pr = 20.0 torr)

Mag. field G	Total No.of colls	Meta stable colls	Excit ation colls	Ioniz ation colls	Avg. transt time	Disch Velocity m/s
100.0	0	0	0	0	.00000E+00	.00000E+00
150.0	0	0	0	0	.00000E+00	.00000E+00
200.0	3000	39	980	1981	.82784E-10	.12364E+07
250.0	3030	42	1006	1982	.86081E-10	.12515E+07

300.0	6015	97	2018	3900	.16407E-09	.24952E+07
350.0	6148	92	2075	3981	.17249E-09	.25580E+07
400.0	8464	134	2870	5460	.22931E-09	.35392E+07
450.0	9263	174	3142	5947	.25928E-09	.38806E+07
500.0	10149	200	3334	6615	.28150E-09	.42690E+07
550.0	12281	185	4071	8025	.33754E-09	.51831E+07
600.0	13087	206	4366	8515	.36885E-09	.55409E+07
650.0	14700	245	4970	9485	.40242E-09	.62439E+07
700.0	16023	236	5339	10448	.45108E-09	.68232E+07
750.0	17267	297	5701	11269	.48100E-09	.73740E+07
800.0	18791	300	6443	12048	.51219E-09	.80456E+07
850.0	20111	329	6662	13120	.55920E-09	.86276E+07
900.0	21493	387	7077	14029	.60099E-09	.92438E+07



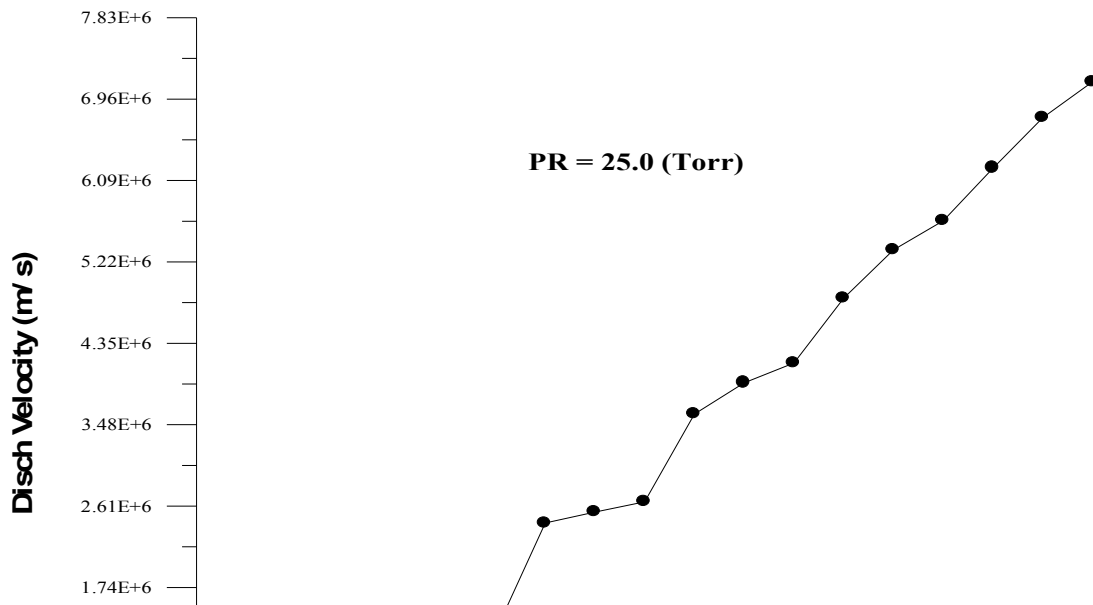
الشكل (4 - 9): العلاقة بين المجال المغناطيسي و سرعة الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 20.0 torr



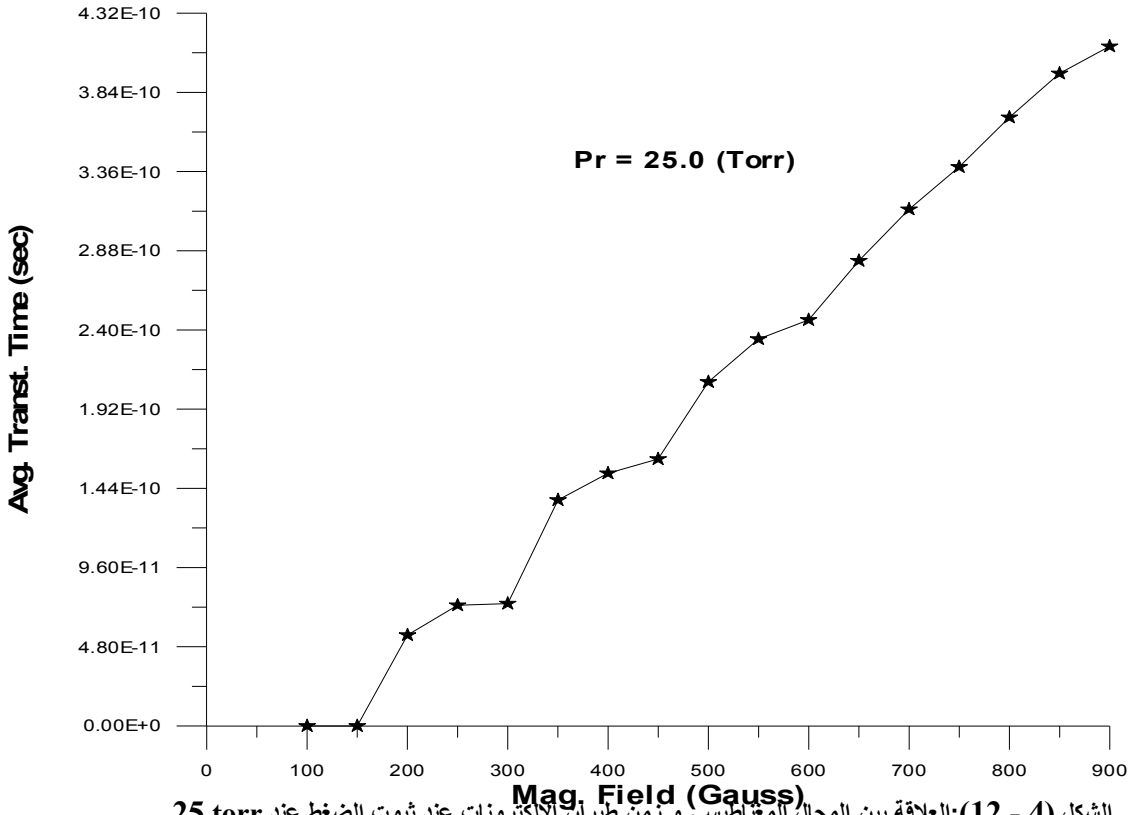
الشكل (10-1) يوضح العلاقة بين شدة المجال المغناطيسي وزمن الطيران عند ثبوت الضغط (20 torr)

جدول (4 - 6) : النتائج المستحصلة عندما (Pr = 25.0 torr)

Mag. field G	Total No.of colls	Meta stable colls	Excit ation colls	Ioniz ation colls	Avg. transt time	Disch Velocity m/s
100.0	0	0	0	0	.00000E+00	.00000E+00
150.0	0	0	0	0	.00000E+00	.00000E+00
200.0	2733	38	900	1795	.55059E-10	.11452E+07
250.0	3001	38	1004	1959	.73106E-10	.12500E+07
300.0	3030	54	1019	1957	.74129E-10	.12649E+07
350.0	5798	97	1862	3839	.13691E-09	.24292E+07
400.0	6077	98	2061	3918	.15310E-09	.25459E+07
450.0	6317	119	2108	4090	.16173E-09	.26554E+07
500.0	8516	150	2841	5525	.20850E-09	.35935E+07
550.0	9292	166	3059	6067	.23448E-09	.39280E+07
600.0	9763	150	3231	6382	.24606E-09	.41382E+07
650.0	11365	207	3730	7428	.28189E-09	.48330E+07
700.0	12553	188	4173	8192	.31308E-09	.53491E+07
750.0	13246	209	4425	8612	.33878E-09	.56597E+07
800.0	14536	233	4868	9435	.36886E-09	.62234E+07
850.0	15770	257	5110	10403	.39552E-09	.67637E+07
900.0	16636	273	5482	10881	.41194E-09	.71467E+07



الشكل (4 - 11) : العلاقة بين المجال المغناطيسي و سرعة الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 25.0 torr

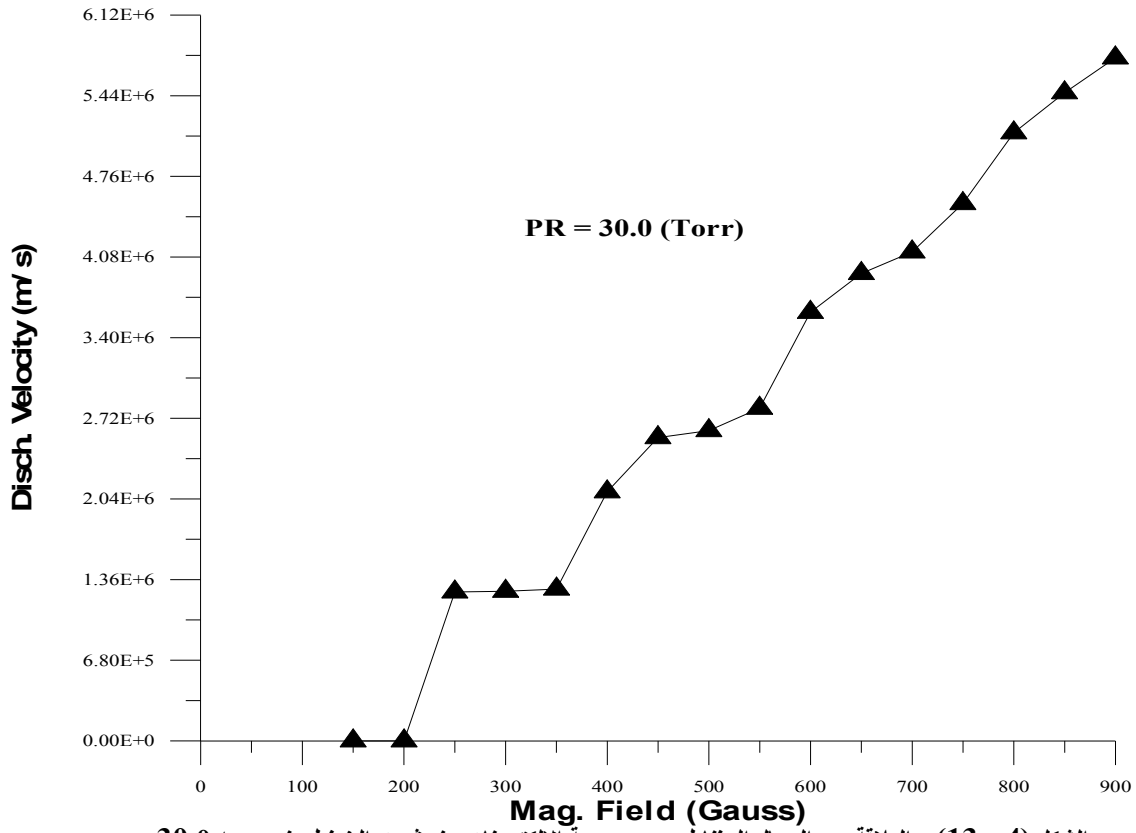


الشكل (4 - 12): العلاقة بين المجال المغناطيسي و زمن طيران الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 25 torr

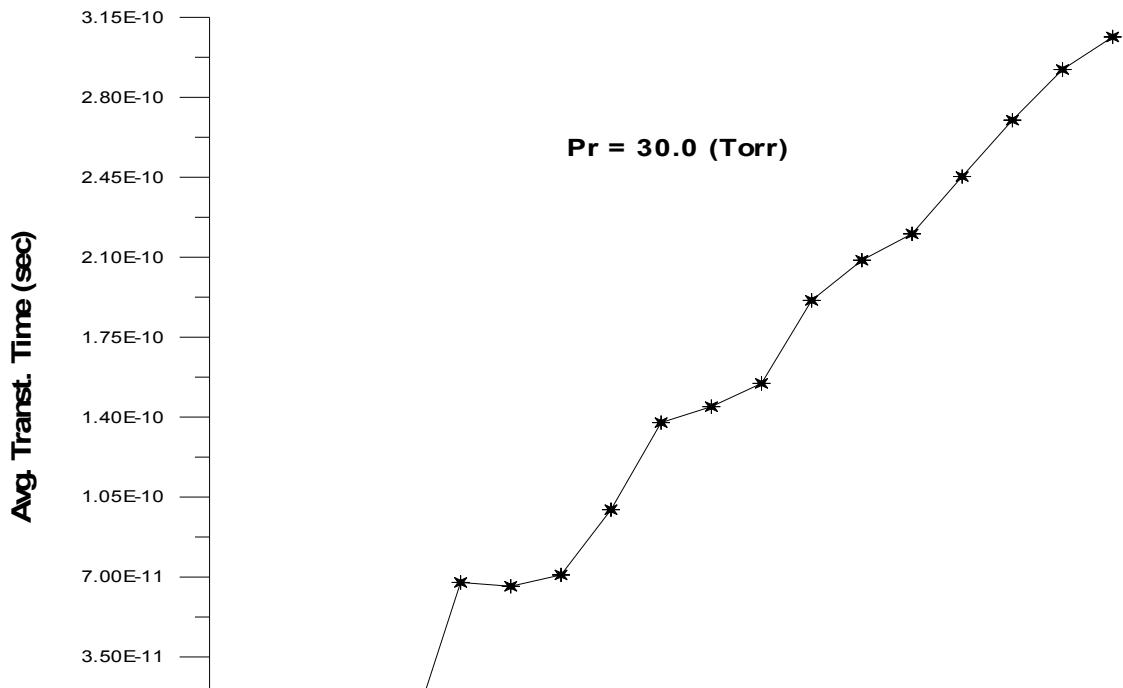
جدول (4 - 7) : النتائج المستحصلة عندما (Pr = 30.0 torr)

Mag. field G	Total No.of colls	Meta stable colls	Excit ation colls	Ioniz ation colls	Avg. transt time	Disch Velocity m/s
150.0	0	0	0	0	.00000E+00	.00000E+00
200.0	0	0	0	0	.00000E+00	.00000E+00
250.0	3000	39	980	1981	.67593E-10	.12554E+07
300.0	3005	52	1018	1935	.65917E-10	.12608E+07
350.0	3048	47	1007	1994	.70881E-10	.12794E+07
400.0	4966	77	1596	3293	.99449E-10	.20996E+07
450.0	6063	101	2096	3866	.13758E-09	.25569E+07

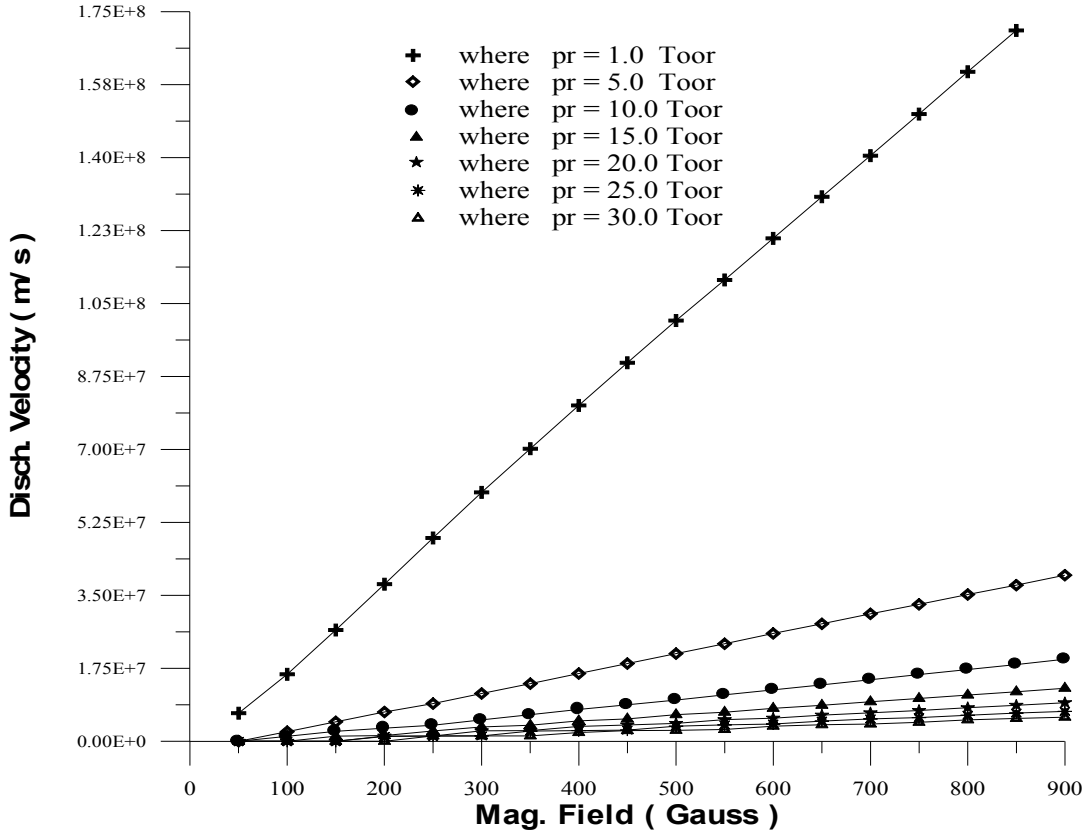
500.0	6190	93	2072	4025	.14457E-09	.26162E+07
550.0	6621	124	2188	4309	.15476E-09	.28046E+07
600.0	8508	168	2818	5522	.19107E-09	.36135E+07
650.0	9261	174	2953	6134	.20867E-09	.39408E+07
700.0	9668	162	3202	6304	.22023E-09	.41227E+07
750.0	10595	181	3492	6922	.24532E-09	.45301E+07
800.0	11979	219	3939	7821	.27003E-09	.51280E+07
850.0	12747	213	4271	8263	.29219E-09	.54659E+07
900.0	13401	238	4476	8687	.30646E-09	.57597E+07



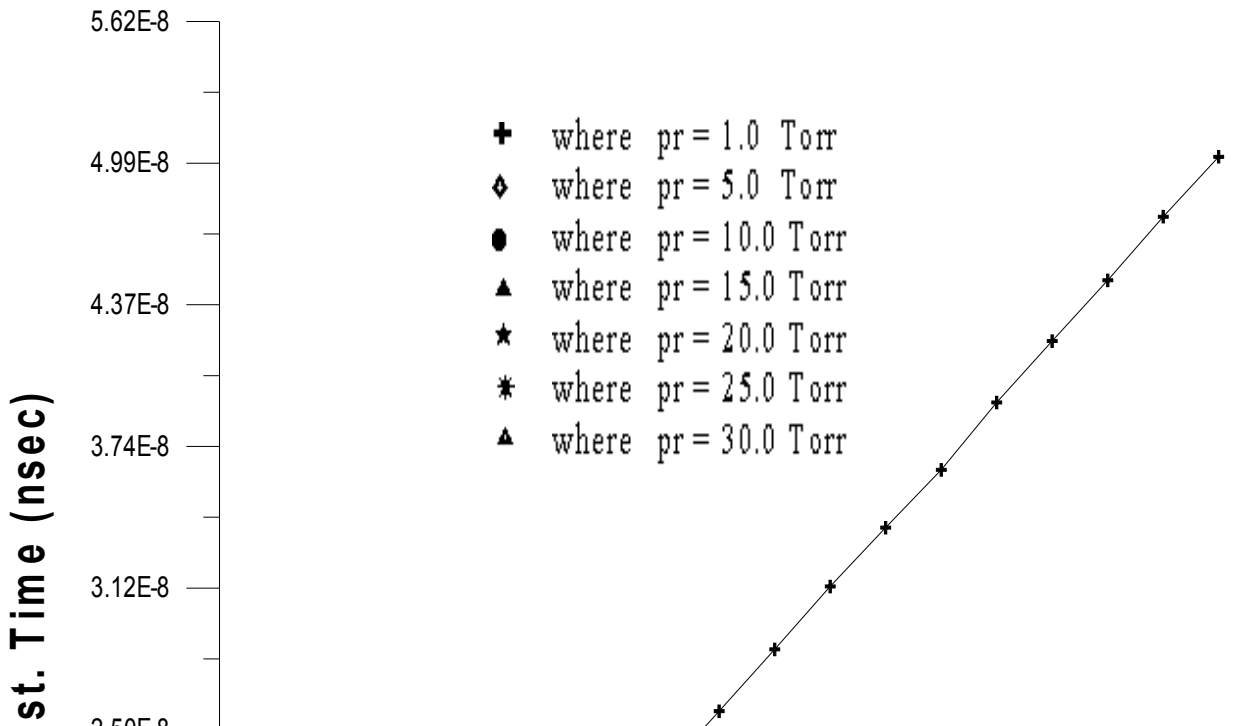
الشكل (4 - 13) : العلاقة بين المجال المغناطيسي و سرعة الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 30.0 torr



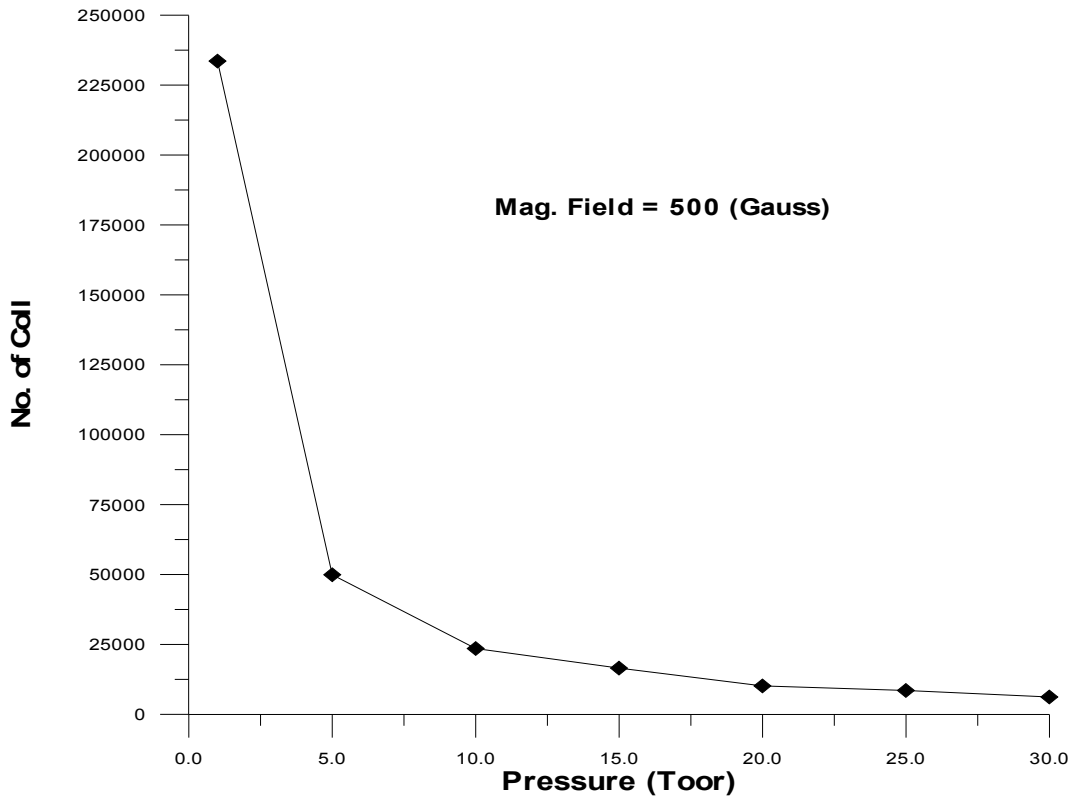
الشكل (4 - 14): العلاقة بين المجال المغناطيسي و زمن طيران الإلكترونات عند ثبوت الضغط عند 30torr



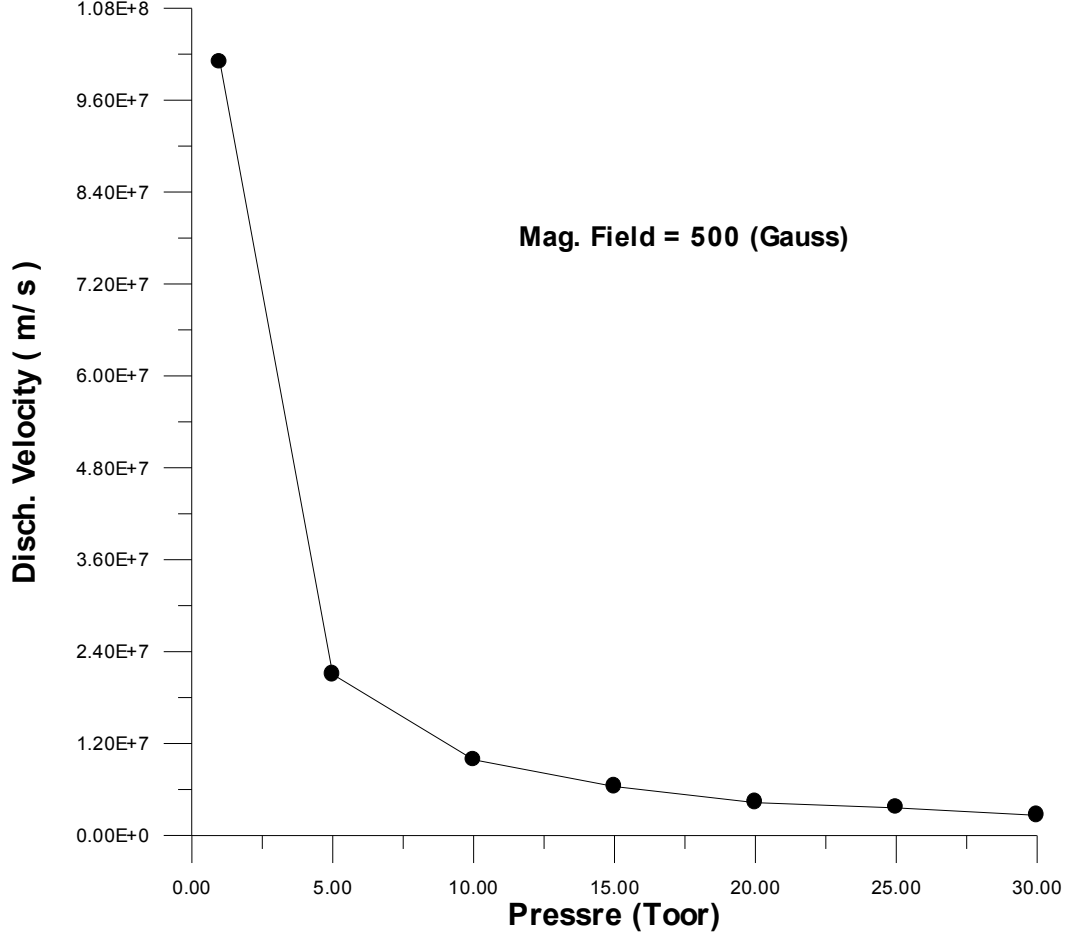
الشكل (4 - 15): العلاقة بين المجال المغناطيسي و سرعة الإلكترونات عند درجات ضغوط مختلفة



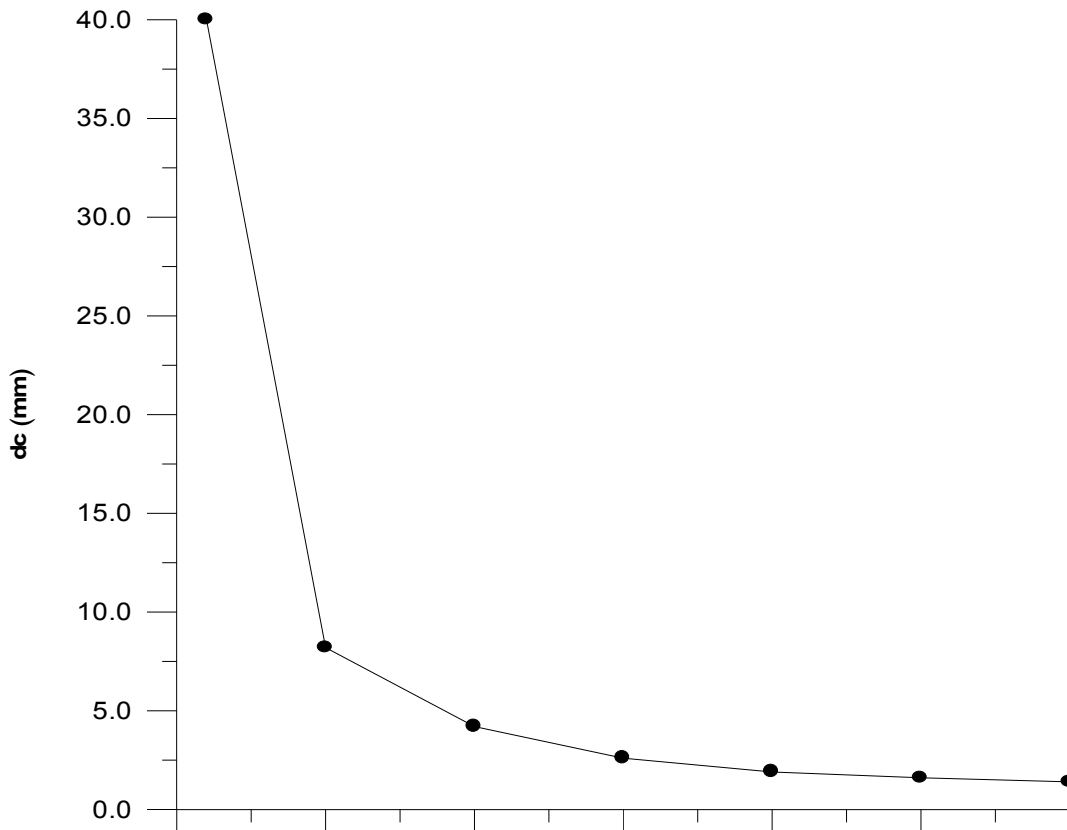
الشكل (4-16) العلاقة بين شدة المجال المغناطيسي و زمن الطيران للإلكترون عند درجات ضغوط مختلفة



الشكل (4 - 17): العلاقة بين الضغط و عدد التصادمات عند ثبوت المجال المغناطيسي عند 500 Gauss



الشكل (4 - 18): العلاقة بين الضغط و سرعة الإلكترونات عند ثبوت المجال المغناطيسي عند 500 Gauss



الشكل (4-19) يوضح العلاقة بين ضغط الغاز وطول منطقة هبوط الكاثود

4 – 2 الاستنتاجات : (Conclusions)

ان محاكاة مونت كارلو التي سُرحت أو وضحّت في هذه الرسالة يمكن ان تستعمل بفعالية كإنموذج للتفريغ التوهجي ، أخذ بلحسبان المجال الكهربائي غير المنتظم و المجال المغناطيسي المنتظم في منطقة هبوط الكاثود . تقنية الحسابات المستخدمة في هذه المحاكاة الحالية مختلفة عن التقنيات السابقة ، إذ أن منطقة هبوط الكاثود قسمت الى شبكات مختلفة ومعلومات فراغ فضائية محددة عن كل نقطة شبكة عوضاً عن استخدام معادلات الحركة للإلكترون في المجال الكهربائي غير المنتظم و المجال المغناطيسي المنتظم ، و حلت بأسلوب تحليلي و النتائج استخدمت لإيجاد معلومات الفراغ الفضائي فقط عند نقاط التصادم .

فعند مقارنة النتائج التي حصلنا عليها مع النتائج المنشورة عام (1985)^[1] ، نلاحظ بأن النتائج متوافقة وتصب في نفس الاتجاه . فعند ثبوت الضغط عند (1torr) وزيادة شدة المجال المغناطيسي من (100Gauss) الى (500Gauss)، نلاحظ أن سرعة التفريغ وزمن الطيران وعدد التصادمات تزداد مع زيادة شدة المجال المغناطيسي . حيث أن السرعة تتغير من m/s $10^3 * (1.925 \text{ الى } 6.922)$ ، وكذلك عدد التصادمات تتغير من (396 الى 986)، وايضاً زمن الطيران يتغير من ns (337 الى 962) .

اما في البحث الحالي ولنفس قيمة الضغط والزيادة بشدة المجال المغناطيسي نلاحظ زيادة في السرعة والزمن وعدد التصادمات ، حيث تغيرت سرعة التفريغ من $10^8 \text{ m/s} (0.16 \text{ الى } 1)$ ، وعدد التصادمات (45461 الى 233615) ، وكذلك زمن الطيران $10^{-7} \text{ s} (0.055 \text{ الى } 0.285)$.

اما عند مقارنة النتائج التي حصلنا عليها مع النتائج المنشورة عام (1986)^[67] ، وعند تغير ضغط الغاز من (5torr) الى (10torr)، وثبوت شدة المجال المغناطيسي عند (500Gauss) ، نلاحظ بأن سرعة التفريغ وزمن الطيران وعدد التصادمات تقل بزيادة الضغط عند ثبوت شدة المجال المغناطيسي ، فمثلاً السرعة $\text{m/s} (576 \text{ الى } 6415)$ ، وعدد التصادمات (68 الى 57) ، وزمن الطيران ns (4.75 الى 12.2) .

وفي نتائج البحث الحالي ، فقد قلت سرعة التفريغ وعدد التصادمات وزمن الطيران عند نفس الزيادة بالضغط وعند نفس القيمة لشدة المجال المغناطيسي ، فقد تغيرت السرعة 10^7 m/s (2.1 الى 0.987) ، وعدد التصادمات (49877 الى 23540) ، وزمن الطيران 10^{-7} s (0.0273 الى 0.925) .

أذن ومن خلال ما تم توضيحه يمكن أن نستنتج وجود تطابق تام بين بالنتائج والحسابات بين البحث الحالي والبحوث المنشورة سابقاً، بالرغم من اختلاف طريقة الحساب والحصول على النتائج .

ومن خلال ذلك يمكن ان نخرج بجملته من الاستنتاجات وهي :

١ . عند تسليط مجال مغناطيسي منتظم وبثبوت ضغط الغاز فأن سرعة انجراف الالكترونات و زمن الطيران وعدد التصادمات سوف تزداد بزيادة شدة المجال المغناطيسي (أي ان التناسب طردي).

٢ . عند تغير ضغط الغاز وبثبوت المجال المغناطيسي فأن سرعة الانجراف وعدد التصادمات وزمن الطيران يقل عند زيادة الضغط (أي التناسب عكسي).

٣ . يمكن استخدام معادلات الحركة للالكترونون في مجال كهربائي غير منتظم ومجال مغناطيسي منتظم لايجاد معالم الفراغ عند نقطة التصادم .

٤ . يمكن استخدام محاكاة مونتني كارلو بفعالية كأنموذج لدراسة التفريغ الكهربائي لغاز الهليوم تحت تأثير مجال مغناطيسي منتظم ومجال كهربائي غير منتظم في منطقة هبوط الكاثود .

٥ . ان من الممكن ان يستخدم المجال المغناطيسي بفعالية لتقليل نمو عدم الاستقرارية في التفريغ الكهربائي التوهجي والحد من ظهور القوس.

٦ . المحاكاة تجهز بعض النتائج المشوقة التي لها علاقة جيدة مع المشاهدات العملية وذلك ممكن حيث ان المجال المغناطيسي يستعمل بفعالية لكي يقلل نمو عدم الاستقرارية في التفريغ.

3-4 المقترحات :

1 – امتداداً لهذا العمل نأمل في المستقبل إيجاد أو تحديد التأثير عند تطبيق المجال المغناطيسي على تكوين و نمو عدم الاستقرارية في منطقة العمود الموجب .

2 – النتائج لكنا الطريقتين التحليلية و المحاكاة لدراسة تأثير المجال المغناطيسي يجب أن تجهز نظرة أو تبصر أفضل الى مُعلمات الليزر مثل القدرة و الكفاءة .

3 – يمكن تطبيق هذه الدراسة على ليزرات غازية أخرى مثل غاز ثاني أكسيد الكربون و بيان تأثير المجال المغناطيسي على التفريغ التوهجي في منطقة هبوط الكاثود .

المصادر

- 1 - R. Razdan , C. E. Copjack and H. J. J. Seguin , J. Appl. Phy. Vol. 57 , No. 11 ,(1985) , pp(4954-4961).
- 2 - Orazio Svelto, “ Principles of Laser “ , 2nd edition Plenum (1982).
- 3 - حي . أي . هاري " الليرات الصناعية و تطبيقاتها " ، ترجمة د. عبد الكريم حميد ، د. مهندس صالح نوري صالح .
- 4 - J. P. Reilly , “ High Power electric discharge Laser “ , SPIE , Vol. 76 (1976) , pp (98-110) .
- 5 - Horrigan , F. Klein , C. , Rudleo , R. and Wilson. D. , Microwaves Vol. 8 , No. 68 , (1969) .
- 6 - Present Paper , “ Module 3-9 CO₂ Laser System “ , internet (<http://home.earthink.net/jimux/hv/laser.htm>), (2001) .
- 7 - W. B. Tiffany , R. Tary and J. D. Foster , Appl. Phy. Vol. 15 , No. 13 , (1969), pp(91-93) .
- 8 - L. Migliore , “ Laser Materials Processing “ , Marcel – Dekker (New york) (1996) .
- 9 - A. V. Guglielmi , and O. A. Pokhotelov , “Goelectromagnetic Wave” , the VK Arrowsmith london (1996) .
- 10 - Kavng – Hsing , J. of QE. Vol. - QE - 23 No. 11 , (1987) .
- 11 - A. Bojara , Rev. Sci. Instrum. , Vol. 55, No. 2 , (1984) , pp(166) .
- 12 - A. Rothens , Optics Communication , Vol. 30 , No. 2 , (1979) , pp(227-2230) .
- 13 - A. K. Laflamma , Rev Sci. Instrum. , Vol. 41 , (1970) , pp(1578-1580) .
- 14 - H. M. Lamberton , P. R. Pearson : elect. Lett. Vol. 7 , (1971) , pp(191-200) .
- 15 - د. خضر عبد العباس ، د. غسان هشام الخطيب ، منشورات الطاقة الذرية " الطاقة الذرية و استخدامها " ، ١٩٨٩ .
- 16 - د. سهام قندلا ، " فيزياء الليزر وبعض تطبيقاته العملية " ، ١٩٨٨ .

- 17 - د. ليلي محمد نقيب ، " الطيف " ، جامعة الموصل ، ١٩٨٥ .
- 18 - ب . م . لنيكل ، " الليزر " ، ترجمة فاروق عبود قيصر ١٩٨٤ ، جامعة الموصل
- 19 - د. خالد عبد الحميد ، د. وليد خلف حمود ، " ضوئيات الكم و الليزر " ، ١٩٨٩
- 20- د. سهام قندلا ، " الليزر " ، الأسس الفيزيائية و بعض التطبيقات العملية ، ١٩٩٢
- 21 - P. Bletzinger and A. Garscadden , Proceeding of IEEE , Vol. 59 , No. 4 , (1971) , pp(675-679) .
- 22 - Howatson , A. M. , " An Introdcion to gas discharge " , 2nd edition , Pergamon (Oxford) (1965) .
- 23 - B. E. Cherrington , " Goseous eletronics and gas laser " ,pergamon (Oxford) (1979) .
- 24 - Nam, K. H. , Seguin , H. J. J. and Tulip , J. IEEE , J. of .QE. Vol. -QE-15, No. 1 , (1979) , pp(44-50) .
- 25 - Joseph T. Verdenen , " Laser Electronics " , Prentice –Hall , (1988) .
- 26 - " Laser , Operition , equipment , applaction design " , Cohrerent , Inc. (1980) .
- 27 - Ishii , T. K. , " Meser and Laser Engineering " , Robert Kreiger , (1980).
- 28 - W. J. Witteman " The CO₂ Laser " , Springer – Verlag (Berlin) , (1987) .
- 29 - H. M. Bergann , J. Phy. E. Sci. Inst. , Vol. 10 , (1977) , pp(602-606) .
- 30 - Johne E. Harry , " Industrial Laser and Their Application " , London (New york) (1985) .
- 31 - هشام محمد أحمد ، " تصميم بناء منظومة ليزر CO₂ تعمل بتقنية حقن البلازما " ، كلية الهندسية العسكرية ١٩٨٩ .
- 32 - S. C. Brown , " Introduction to Electrical Discharge in Gas" , SONS INC , USE (1966) .
- 33 - J. M. Meek and J. D. Craggs , " Electrical Break down in gas " , (1974) .
- 34 - A. I. Ivanchenko , R. I. Soloutchin , G. I. Fidelman Sov. Phy . Tech.

- Phy. , Vol. 20 , No. 11 , (1975) , pp(1434-1440) .
- 35 - S. Muller and J. Vhlenbusch , J. Phy. D : Appli Phy. Vol. 20 , (1987) , pp(697-708) .
- 36 - J. H. Mason : PROC : I. E. E. , Vol. 112 , (1965) , pp(1407-1410) .
- 37 - V. A. Lisovskiyy and S. D. Yakovin , Plasma Physics Reports , Vol. 26 , (2000) , pp(1066-1068) .
- 38 - R. J. Freibery , P. O. Clark , IEEE , J. of QE. , Vol.- QE- 6 , No. 2 , 1970 , pp(105-113) .
- 39 - “ Gaseous Break down and Paschen’s law “ , present peper internet (<http://www.Einlightrrd.tue.nl/education/3p270/gww=picmc.pdf>) 2003.
- 40 - Brian Champman , “ Glow Discharge Processes “ (New york) (1980) .
- 41 - Bullis , R. , AIAA J. , Vol. 10 , No. 4 , (1972) , pp(407-413) .
- 42 - V. S. Letokov and N. D. Mstinov , “Power Laser and their Application “ (New York) , (1983) .
- 43 - O. R. Wood , Proc. Of IEEE , Vol. 62 , No. 3 , (1974) , pp(355-360).
- 44 - د. عاصم عبد الكريم عزوز ، د. رحمن رستم عبد الله ، " فيزياء البلازما " ، مطبعة الموصل (١٩٩١) .
- 45 - B. B. Laud ، " الكهرومغناطيسية " ، ترجمة د. علي إبراهيم مهدي العزاوي ١٩٩٠
- 46 - William L. Nighan , and W. J. Wiegand , Appl. Phy. Lett. Vol. 25 , No. 11 , (1974) .
- 47 - Alan . C. E. Ectebreth and Frank. S. Owen , The Rev. of Sci. Inst. , Vol. 43 , No. 7 , (1972) .
- 48 - W. L. Nighan and W. J. Wiegand , Physical Rev. Vol. 10 , No. 3 , pp(583-588) (1974) .
- 49 - E. Armandilla and A. S. Koye , Phy. D: J. Appl. Phy. , Vol. 13 , (1980) , pp(321-338).
- 50 - P. T. Gavrilor , j. Limponch , G, loncar , K. , Masete , J. Phy. E. Sci.

- Inst. , Vol. 20 , (1987) , PP(906-910) .
- 51 - R. H. Bullis , W. L. Nighan , M. C. Fowler and W. J. Wiegand ,
AIAA J. Vol. 10 , No. 4 , (1972) , pp(407-413).
- 52 - E. P. Velikhov , Mem. USSR. Acad. Sc. , “ Molecular Gas Laser “ ,
Physics and Application (1981) .
- 53 - W. L. Nighan , W. J. Wiegand , Appl. Phy. Lett. , Vol. 22 , No. 11 ,
(1973) .
- 54 - F. W. Quelle , “ Electrical Excited CO₂ laser “ , SPIS Vol. 69 ,
(1975) , pp(55-63).
- 55 - K. Matsumoto , JJAP , Vol. 19 , No. 10 , (1980) , pp(1959-1968) .
- 56 - أي . كفل . أم ، " هندسة الضغط العالي " ، ترجمة فاروق خليل ، الهندسة الكهربائية -
جامعة الموصل ١٩٨٢ .
- 57 - T. Akiba , Ha. Nagai , IEEE , J. QE. Vol. - QE-15 , No. 3 ,
(1979) , pp(162-170).
- 58 - A. M. Howatson , “ An Introduction to Gas discharge “ , 2nd edition ,
Pergamon press (Oxford) (1976) .
- 59 - Don. Macken , “ Laser and Optronics “ , (1988) .
- 60 - R. W. L. Thomas and , W. R. L. Thmas , J. Phy. B. , (1969) , Vol. 2
, pp(562-570) .
- 61 - Roger A. Haas , Phy. Rev. A , Vol. 8, No. 2 , (1972) ,pp(1017-1043)
- 62 - E. I. Asionvsky , A. A. Afanasjev , E. P. Pakhomov 4th international
conferenceon , “ Gas discharge “ , (1976) , pp(372-378) .
- 63 - Makoto Hayashi , 4th international conferenceon , “ Gas discharge “ ,
(1976) , pp(195-197) .
- 64 - Tran Noge An, E. Marode and PC Johan Son , J. Phy. D: Appl. Phy.
Vol. 10 , (1977) , pp(2317-2328) .
- 65 - C. E. Capjack , D. M. Antoniuk , and H. J. J. Seguin , J. Appl. Phy. ,
Vol. 52 , No. 7 , (1981), pp(4518-4522).
- 66 - H. J. J. Seguin , C. E. Capjack , D. Antonink , and V. A. Seguin ,

- Appl. Phys. Lett. , Vol. 39 , No. 3 , (1981) , pp(203-205) .
- 67 - R. Razdan , Appl. Optics , Vol. 25 , No. 17 , (1986) , pp(2915-2925).
- 68 - V. A. Seguin , Appl. Phys. B 42 , PP(239-240) , (1987) .
- 69 - عدي محمود العميشي ، " استقرارية التفريغ الكهربائي في منظومة الليزر الغازية -
ذي الضخ المستعرض " ، الجامعة التكنولوجية ، ١٩٨٩ .
- 70 - L. F. Delgado – Aparicio V. , Licenciata thesis work pontificia
universidad catolica del peru , 1998 .
- 71- خالص اسعد محمد ، " دراسة بطريقة المحاكاة لعدم الاستقرارية و الفوضى في ليزر
شبه الموصل عند التضمين المباشر " ، كلية الهندسة ، جامعة الموصل ، ٢٠٠٠ .
- 72 - Yhiu , Zlliu , Klyao , J. Phy. D: Appl. Phy. Vol. 33 , (2000) ,
PP(812-818) .
- 73 - D. S. Rgtchkov , V. P. Krivobokov , D. A. Marakassov , Russia
Physics Jornal , Vol. 45 , No. 11 , (2000) , pp(1066-1074).
- 74 - خلدون ناجي ، " بناء ليزر CO2 المستمر ذي تهيج مستعرض " ، الجامعة التكنولوجية
٢٠٠٠ .
- 75 - سامر حسني عبد الرزاق ، " دراسة خصائص ليزر أشباه الموصلات تحت تأثير
المجال المغناطيسي " ، كلية العلوم ، جامعة بغداد ٢٠٠٣ .
- 76 - Shou – Zhe Li and Han S. Uhm , Phy. of Plasmas , Vol. 11 , No. 7 ,
July (2004) , pp(3443-3448).
- 77 - Naylor , T. H. , “ Computer Simulation Experment with Modles of
Economic System “ , (New york) , (1971) .
- 78 - عبد نيباب جزاع ، " بحوث العمليات " ، مطبعة جامعة بغداد ، ١٩٨٥ .
- 79 - Alex F. Bielajew , unversity of Michigan , “ Fandementals of the
Monte Carlo Method for Neutral and changed Partical Trasport” ,
2001 .
- 80 - د. ماركن ، د. س . دورن ، " التحليلات العددية مع حالات دراسة باستخدام لغة -
فورتران " ، ترجمة د. علي الجبوري ، د. فاروق الرسام ، مطبعة الأديب ، بغداد ،
١٩٨٣ .
- 81 - د. يوسف زكي بطرس ، " الرياضة العددية و تطبيقاتها في الحاسبات الإلكترونية " -

دار بور سعيد ، مصر ، ١٩٧٦ .

- 82 - I. M. Sobol , “ The Monte Carlo Method “ The Unversity of Chicago prees,1974
- 83 - I. m. Shirkin , Nucl.Inst, Vol. 17 , (1964) , pp(509-514).
- 84 - S. S. Kno , “ Computer Application of Numerical Methods “ , Addison-wesiy pub. Compny , Inc , 1972 .
- 85 - B. Wilbar , and J. R. Daveapart ,” Probability Random Varible and Stochastic Processes “ , MCGROWHILL Series 1965 .
- 86 - C. P. Robert , and Gosaslla , “ Monte Carlo Statistical Methods “ , INC , (New York) , 2000 .
- 87 - M. Loeve , “ Probability Theroy “ , INC , New Jersey 1960 .
- 88 - B. Grosswchd , and E. Waibel , Nucl , INC. Meth. , Vol. B1,(1973) , pp(134-138) .
- 89 - Franeis W. Sears and Gerhard L. Salinger , “ Heat and Thermodynamics “ , 1975 .
- 90 - E.Kuffel, M.Hbdullah , “ High – voltage Engineering“ ,(1970) .
- 91 - W.L.Nighan and W.J.Wiegand , phys. Rev .,A 10 ,(1974),PP(922).
- 92 - R.A.Haas , phys. Rev .A 8 , (1973) ,PP(1017) .

Abstract

In this work , A Monte Carlo simulation technique has been used to model the cathode fall region of helium gas glow discharge under the influence of nonuniform electric field and transverse magnetic field , for stabilizing the discharge .

In the program , the electron swarm parameter discharge velocity , total time of flight , and the number of collisions are determined . The data of present work shows the effect of a varying magnetic field on stability .

The results of this paper confirm that the use of magnetic field in the vicinity of the cathode surface can indeed enhance the stability of gas laser , and this do by increasing of discharge velocity , time of flight ,and number of collisions when we increased the magnetic field . Then by providing the potential for increasing its power output .

The Fortran 77 used to write the basic program , which provide to calculate . The number of electrons used in the swarm were 3000 for each of the case , which implies an accuracy of approximately 1.8 % for the swarm parameters .