

دراسة مقارنة للعمليات الفيزيائية المسئولة عن
انهيار غازي الهيليوم والكربيتون بواسطة نبضات
ليزر الاكسيمر

إعداد

حمده عبدالله أحمد الزهراني

بكالوريوس فيزياء

بحث مقدم لنيل درجة الماجستير في العلوم
(فيزياء/بصريات كمية و أطياف)

إشراف أ.د/ يسر عز الدين جمال

أستاذ فيزياء البصريات الكمية و الأطياف بكلية العلوم

كلية العلوم

جامعة الملك عبد العزيز

جدة - المملكة العربية السعودية

(جماد الثاني 1432 - 2011)

قائمة المحتويات

نموذج إجازة الرسالة

ج شكر و تقدير

ه المستخلص

ط قائمة المحتويات

ن قائمة الأشكال

ق قائمة الجداول

ر قائمة الرموز و المصطلحات

1 الفصل الأول : مقدمة و مسح مرجعي

1 (1 1) مقدمة

4 (2 1) مسح مرجعي

5 (1 2 1) ظاهرة الانهيار و تكون البلازما

9 (2 2 1) مفهوم شرط الانهيار

10 (3 2 1) آليات تكون مناطق الانهيار و التأين

(1-3-2-1) خصائص أشعة الليزر للتأين المباشر بالامتصاص

11 متعدد الفوتونات

(2-3-2-1) خصائص أشعة الليزر للتأين التدريجي بالتصادم الإلكتروني

- (العملية العكسية لبرمشتر اهلنج)..... 16
- (3 1) تطبيقات ظاهرة الانهيار المستحث بواسطة أشعة الليزر 27
- (4 1) الهدف من البحث 30
- الفصل الثاني: تحديد عتبة شدة استضاءة أشعة الليزر للعمليات الفيزيائية في ظاهرة انهيار الغاز**
- 32 32
- (1-2) مقدمة 32
- (2-2) التأثير الضوئي للكلمات المتعددة 33
- (1-2-2) احتمالية التأين بواسطة الامتصاص المتعدد الفوتونات 35
- (2-2-2) الفيض الفوتوني اللازم لانهيار الغاز تحت التأثير المفرد لعملية
- 38 الامتصاص متعدد الفوتونات
- (3-2) عملية الامتصاص لبرمشتر اهلنج العكسية - التأين الشلالي 39
- (1-3-2) معدل اكتساب طاقة الإلكترونات بواسطة عملية برمشتر اهلنج
- 41..... العكسية
- (2-3-2) تحديد شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغاز تحت التأثير
- 43 المفرد لعملية برمشتر اهلنج العكسية
- (4-2) تحديد شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغاز تحت التأثير
- 46..... الفعال لعملية انسياب الإلكترونات خارج حيز التفاعل
- (5-2) عملية إعادة الاتحاد..... 49
- (1-5-2) تعيين شدة استضاءة أشعة الليزر اللازمة لانهيار الغاز

50 في وجود عملية إعادة الاتحاد

الفصل الثالث : نماذج عددية لتفسير الظواهر الفيزيائية المصاحبة لانهايار الغازات المستحث

52..... بواسطة أشعة الليزر

52..... (1-3) مقدمة

52..... (2-3) الانهيار بالتأين التدريجي المستحث بواسطة أشعة الليزر

53..... (1-2-3) تحديد ثابت الزمن

57..... (2-2-3) تأثير طاقة الفوتون

62..... (3-2-3) تأثير قطر التفاعل على ضغط الغاز

65 (4-2-3) تأثير الكثافة الابتدائية للإلكترونات

67..... (5-2-3) تغير طاقة الإلكترونات

71..... (3-3) نموذج ويل وروزن

75..... (4-3) نموذج تاكاهاشي

الفصل الرابع : دراسة نظرية لتفسير ظاهرة انهيار غازي الهيليوم و الكريبتون بواسطة

78 أشعة الليزر

78 (1-4) إعداد النموذج العددي

79..... (1-1-4) وصف النموذج المطور للتدرج الإلكتروني

81..... (2-1-4) حدود كسب الإلكترونات

82..... (3-1-4) حدود فقد الإلكترونات

84..... (4-1-4) حدود الكسب أو الفقد للذرات المثارة

85..... (5-1-4) وصف العمليات الفيزيائية

87..... (6-1-4) مساحة مقطع و معاملات و معدلات العمليات الفيزيائية

99..... (7-1-4) طريقة الحساب

102 الفصل الخامس : النتائج و المناقشة

102..... (1-5) مقدمة

103 (2-5) تعيين شدة الاستضاءة اللازمة للانهايار

109..... (3-5) دالة توزيع طاقة الإلكترونات

109 (4-5) التكوين الزمني لكثافة الإلكترونات

112..... (5-5) دراسة التكوين الزمني لكثافة الذرات

112..... (6-5) التغير الزمني لمتوسط طاقة الإلكترون

114 (7-5) التغير الزمني لمعدل الإثارة

116..... (8-5) التغير الزمني لمعدل التآين

119..... (9-5) التكوين الزمني لدالة توزيع طاقة الإلكترونات

127..... (10-5) تأثير عمليات الكسب

139..... (11-5) دالة توزيع طاقة الإلكترونات

142 (12-5) تأثير ضغط الغاز على التكوين الزمني لكثافة الإلكترونات

144 (13-5) تأثير ضغط الغاز على التكوين الزمني لكثافة الذرات

146 (5-14) العلاقة بين ضغط الغاز و التغير الزمني لمتوسط طاقة الإلكترون

148..... (5-15) تأثير ضغط الغاز على التغير الزمني لمعدل التأين

150 (5-16) الترابط بين التغير الزمني لمعدل الإثارة و ضغط الغاز

150 (5-17) التكوين الزمني لدالة توزيع طاقة الإلكترونات

169..... (5-18) تأثير ضغط الغاز على عمليات التأين

173..... (5-19) تأثير عملية فقد الإلكترونات بالانسياب

179 الفصل السادس : الخلاصة و نظرة مستقبلية

185..... قائمة المراجع

194..... الملاحق

a..... ملخص الرسالة باللغة الإنجليزية

المستخلص

في هذا البحث تمت دراسة العمليات الفيزيائية المسؤولة عن ظاهرة انهيار غازي الهيليوم والكريبتون كلاً على حده بواسطة نبضات ليزر الاكسيمير . ثم أخذت هذه الدراسة في الاعتبار مقارنة بين هذه العمليات نسبة إلى منطقة الضغط المختبرة معملياً لكل غاز . أجريت الحسابات لتفسير نتائج القياسات التي أعطيت بواسطة تركو و مجموعته (Turcu et al , 1997) حيث استخدم مصدر لأشعة ليزر الاكسيمير يعمل عند طول موجي 248 nm وزمن نبضة 18 ns لتشعيع كلاً من الغازين على مدى من الضغط 4.5 torr إلى 300 torr لغاز الكريبتون و الهيليوم من 180 torr إلى 3000 torr و تمت المقارنة بين القيم الحسابية لشدة الاستضاءة اللازمة للانهيال كدالة في ضغط الغاز وتلك المقاسة عملياً لكلا الغازين وتم الحصول على توافق مناسب بينهما . مكنت دراسة دالة توزيع طاقة الإلكترونات ومعاملاتها من إيجاد الترابط الفعلي بين العملية الفيزيائية وضغط الغاز وطبيعته من حيث العدد الذري وطاقة التأين إضافة إلى ذلك دراسة التغير الزمني . أوضحت دراسة التغير الزمني لكثافة الإلكترونات وكثافة المستويات المثارة ومتوسط طاقة الإلكترون بجانب معدلي الإثارة والتأين أنه عند منطقة الضغط المنخفض فإن الإلكترونات تتولد أساساً خلال عملية التأين بالامتصاص الفوتوني من المستوى الأرضي والمستوى المثار هذه الإلكترونات يمكنها أن تنساب بسهولة خارج حيز التفاعل مسببة في فقد ملحوظ لكثافة الإلكترونات وهذا يفسر القيم المرتفعة لشدة الاستضاءة عند هذا المدى من الضغط لغاز الكريبتون بينما في حالة غاز الهيليوم فإن العلاقة بين شدة الاستضاءة اللازمة للانهيال و ضغط الغاز يعزى إلى تأثير ضغط الغاز على عمليات التصادم غير المرنة التي تؤدي إلى إثارة الذرات يتبعها في الحال تأين بواسطة الامتصاص متعدد الفوتونات . وعلاوة على ذلك وجد أن قيم شدة الاستضاءة اللازمة لانهيال غاز الهيليوم تقع أعلى كثيراً من القيم التي تم الحصول عليها بالنسبة لغاز الكريبتون عند نفس القيم المشتركة المقاسة عملياً لضغط الغاز . أوضح تحليل التغير الزمني لدالة توزيع طاقة الإلكترونات, الزمن ومنطقة الطاقة التي عندها تتكون البلازما كدالة في ضغط الغاز لكلاً من غازي الهيليوم والكريبتون أنه في حالة الهيليوم عند الضغوط المنخفضة 180 torr فإن البلازما المتكونة قبل نهاية زمن النبضة بمدى طاقة يتراوح ما بين 1 إلى 2eV مع زيادة ضغط الغاز $p=300$ torr تتكون البلازما عند نهاية زمن النبضة وتتحصر في مدى طاقة

صغير جداً بالقرب من 0 eV . بينما في حالة غاز الكريبتون فقد وجد أن سلوك تكون البلازما يختلف من ضغط لآخر بطريقة غير منتظمة حيث أنه عند الضغط المنخفض فإن البلازما تتكون مباشرة بعد منتصف زمن النبضة (القيمة العظمى لشدة الإستضاءة) , وتنحصر في مدى طاقة يقترب من 0 eV . بينما عند ضغط 37.5 torr فإنها تشغل فترة زمنية طويلة بالقرب من نهاية زمن النبضة بطاقة تقترب من 1 eV .

1-6 الخلاصة

6-1 Conclusion

قدمت هذه الدراسة تفسيراً نظرياً للقياسات المعملية التي أجريت بواسطة تركو ومجموعته (Turcu et al,1997) لتعيين شدة الاستضاءة اللازمة لانهايار كلاً من غاز الهيليوم على مدى من الضغط يتراوح ما بين 180 torr إلى 3000 torr وغاز الكريبتون على مدى من الضغط يتراوح ما بين 4.5 torr إلى 300 torr وذلك بواسطة مصدر ليزر الاكسيمر بطول موجي 248 nm وزمن نبضة 18 ns. وتم اختيار هذين الغازين نظراً لأنهما يمثلان منطقتين مختلفتين لطاقة التأين وكذلك لأن معدل تبادل العزم بين الإلكترون والذرة لهما يعاني من سلوكاً مختلفاً . حيث أنه في حالة الهيليوم يزداد المعدل مع زيادة طاقة الإلكترون, بينما في حالة الكريبتون فإن المعدل يعاني من تأثير انخفاض رامزوير مما يؤجل من عملية كسب الإلكترونات من طاقة أشعة الليزر والتي تؤدي إلى انخفاض معدل التأين لذرات الغاز .

أستخدم في هذه الدراسة نموذجاً عددياً يعتمد على حل معادلة بولتزمان المتغيرة مع الزمن ومتلازمة مع مجموعة من معادلات المعدلة التي تصف معدل تغير كثافة الذرات المثارة المتكونة أثناء التفاعل . أخذ النموذج في الاعتبار العمليات الفيزيائية المتوقع حدوثها في حيز التفاعل أدمجت هذه المعادلات ومعدلات ومساحات مقطع العمليات الفيزيائية في برنامج حسابي كتب بلغة الفورتران 77. أجريت الحسابات لتعيين شدة الاستضاءة اللازمة لانهايار كلاً من هذين الغازين كدالة في ضغط الغاز . أوضحت نتائج الحسابات توافقاً بين القيم المحسوبة و القيم المقاسة عملياً مما أكد صلاحية البرنامج لتفسير هذه القياسات , والتي أشارت بأنه عند

قيمة مشتركة من الضغط لكلا من الغازين فإن الشدة اللازمة لانهيـار غاز الهيليوم تزيد بقيمة أسية تصل إلى 10^2 عن تلك الشدة اللازمة لانهيـار غاز الكريبتون . مما يدل على اختلاف العمليات الفيزيائية اللازمة لانهيـار كلا منهما وعليها أجريت دراسة لمقارنة العمليات المسئولة عن انهيـار كلا من هذين الغازي وذلك من خلال تعيين دالة توزيع طاقة الإلكترونات ومعاملاتها .

– في حالة غاز الهيليوم أشارت نتائج حسابات دالة توزيع طاقة الإلكترونات, عند منتصف زمن النبضة ونهايتها للقيم المختلفة لضغط الغاز. (i) أن قيم الدالة عند منتصف زمن النبضة تقل كثيراً عن نهايتها. (ii) بزيادة ضغط الغاز فإن نهاية الدالة تعاني من انحدار يكون ذلك أكثر وضوحاً عند نهاية زمن النبضة. (iii) يزداد الانحدار مع زيادة ضغط الغاز. (iv) يدل هذا الانحدار على الفقد السريع لطاقة الإلكترونات نتيجة لعمليات التصادم غير المرن التي يفقد فيها الإلكترون جزءاً كبيراً من طاقته.

بالنسبة لغاز الكريبتون (i) وجد أن قيم الدالة المحسوبة عند منتصف زمن النبضة تقترب من القيم المحسوبة عند نهايتها وذلك على المدى المنخفض لطاقة الإلكترون. (ii) تعاني الدالة من انخفاض على المدى المرتفع للطاقة عند نهاية الزمن يظهر على شكل انخفاض تدريجي عند القيم المنخفضة لضغط الغاز بينما يكون على شكل انحدار عند القيم المرتفعة له. (iii) يزداد انحدار الدالة بزيادة ضغط الغاز. (iv) يرجع هذا الانحدار إلى الدور الذي تلعبه عملية إثارة ذرات الغاز بالتصادم الإلكتروني والتي يزداد معدلها بزيادة ضغط الغاز.

– لغاز الهيليوم (i) أكدت الزيادة السريعة في كثافة الإلكترونات خلال المراحل الأولى لزمن النبضة عند القيم المنخفضة لضغط الغاز على الدور الفعال الذي تلعبه عملية التأين بالامتصاص الفوتوني. (ii) تتواصل هذه الزيادة إلى منتصف النبضة يتبعها انخفاض يصل إلى حالة من التشبع عند النصف الأخير منها. (iii) يختلف هذا السلوك مع زيادة ضغط الغاز حيث ينخفض معدل النمو خلال المراحل الأولى مع تزايد سريع في النصف الأخير من زمن النبضة. (iv) يدل هذا التزايد على زيادة معدل عمليات التصادم الإلكتروني التي تؤدي إلى التأين مع زيادة ضغط الغاز .

في حالة غاز الكريبتون (i) وجد أن كثافة الإلكترونات تتزايد بشكل سريع منذ المراحل الأولى لزمن النبضة ويتفق ذلك مع زيادة معدل التأين بالامتصاص الفوتوني عند القيم المنخفضة لضغط الغاز. (ii) خلال النصف الأخير من نبضة الليزر تعاني كثافة الإلكترونات من حالة من الاستقرار يؤكد ذلك الدور الفعال الذي تلعبه عملية التأين الفوتوني في ظاهرة انهيار الكريبتون على مدى الضغط المختبر معملياً .

– أعطت دراسة التغير الزمني لكثافة الذرات المثارة لغاز الهيليوم (i) تطابق بين قيم الكثافة المحسوبة على مدى ضغط الغاز المختبر معملياً خلال النصف الأول من زمن النبضة (ii) . تتزايد معدل نمو هذه الكثافة مع زيادة ضغط الغاز خلال النصف الأخير منها .

أما في حالة غاز الكريبتون (i) وجد أن التكوين الزمني لكثافة الذرات المثارة يسلك سلوكاً مختلفاً عند قيم ضغط الغاز من (4.5 torr إلى 37.5 torr) . (ii) التذبذب في قيم الكثافة يرجع إلى الدور الذي تلعبه عملية التأين الفوتوني لتأين الذرات المثارة خلال المراحل الأولى من زمن النبضة . (iii) بينما على المدى المرتفع من الضغط من 75 torr إلى 300 torr) فإن التكوين الزمني لكثافة الذرات المثارة يسلك سلوكاً مشابهاً مما يؤكد على تشابه العمليات الفيزيائية المسؤولة عن نمو كثافة الذرات المثارة على هذا المدى من الضغط .

– أشارت حسابات التكوين الزمني لمتوسط طاقة الإلكترون ومعدل الإثارة ومعدل التأين لغاز الهيليوم إلى أن (i) تأثير ضغط الغاز يظهر فقط خلال المراحل الأولى من زمن النبضة . (ii) كما أن زيادة الضغط تؤدي إلى انخفاض قيمة متوسط طاقة الإلكترون في منطقة الاستقرار والتي تبدأ على المدى من 5 ns إلى 15 ns . (iii) ويؤكد ذلك زيادة معدل التصادم غير المرن الذي يفقد فيه الإلكترون طاقته أو جزءاً منها لإثارة أو تأين ذرات الغاز . (iv) يبدأ التغير الزمني لكلاً من معدلي الإثارة والتأين بقيمة مرتفعة ينخفض بعدها سريعاً ليأخذ شكلاً جاوسياً يزداد وضوحاً مع زيادة الضغط .

لغاز الكريبتون أعطت دراسة التكوين الزمني لكلاً من متوسط طاقة الإلكترون ومعدلي الإثارة و التأين لذرات الغاز (i) برهاناً عن الدور الفعال الذي تلعبه عملية التأين الفوتوني وذلك من خلال القيم الثابتة لمتوسط طاقة الإلكترون على مدى زمن النبضة عند الضغوط المنخفضة . (ii) يؤكد ذلك انخفاض معدل عمليات التصادم الإلكتروني التي فيها تفقد

الإلكترونات طاقتها . (iii) على المدى المرتفع لضغط الغاز من 75 torr إلى 300 torr
أوضحت الدراسة أن قيم متوسط الطاقة تتخفض بشكل ملحوظ خلال المراحل الأولى
لزمان النبضة يتبعها زيادة سريعة بالقرب من منتصفها لتعاني بعدها من حالة من
الاستقرار حتى نهايتها. (iv) يؤكد هذا الانخفاض الزيادة الملحوظة في معدلي التأين
والإثارة خلال نفس المرحلة الزمنية .

– أوضحت دراسة التكوين الزمني لدالة توزيع طاقة الإلكترونات عند القيم المختلفة لضغط
الغاز تغيراً ملحوظاً في شكل الدالة خلال نبضة الليزر لكلا الغازين الكريبتون والهيليوم
مما يؤكد أن دالة التوزيع لا تأخذ شكلاً ماكسويلياً ثابتاً بل يتغير مع الزمن . كما أوضحت
هذه الدراسة أيضاً الفترة الزمنية التي يحدث عندها الانهيار وفقاً لضغط الغاز حيث وجد
(i) أنه في حالة غاز الهيليوم عند الضغوط المنخفضة يحدث الانهيار مبكراً قبل نهاية زمن
النبضة. (ii) مع زيادة ضغط الغاز فإن الانهيار يحدث فقط عند نهاية الزمن .

أما في حالة غاز الكريبتون فنجد أن (i) يحدث الانهيار بالقرب من منتصف زمن النبضة
عند الضغوط المنخفضة. (ii) بالقرب من نهايتها عند الضغوط المرتفعة . (iii) يؤكد
ذلك الدور الهام الذي تلعبه عملية التأين الفوتوني في نمو كثافة الإلكترونات لهذا الغاز
عند الضغوط المنخفضة والتي تعمل على الزيادة السريعة في نمو الإلكترونات منذ
المراحل الأولى لزمن النبضة .

– أوضحت مقارنة تأثير عمليات الكسب و الفقد في نمو كثافة الإلكترونات , أهمية الدور
الذي تلعبه كل عملية عند القيم المختلفة لضغط الغاز . (i) أعطت هذه الدراسة تصوراً
حقيقياً لما يحدث في ظاهرة انهيار غازي الهيليوم و الكريبتون من حيث عمليات التأين
الفوتوني للذرات المثارة . (ii) وجد أن هذه العملية تلعب دوراً هاماً في نمو كثافة
الإلكترونات على مدى ضغط الغاز المختبر معملياً مقارنة بعمليات التصادم الإلكتروني
التي وجد أن لها تأثيراً فعالاً فقط عند الضغوط المرتفعة . (iii) أوضحت هذه الدراسة
عدم تأثير عملية فقد الإلكترونات بالانسياب في ظاهرة انهيار غاز الهيليوم تحت الشروط
المعملية التي أخذت في الحسابات. (iv) تؤثر هذه العملية في حالة انهيار غاز الكريبتون
عند المدى المنخفض لضغط الغاز حيث وجد أنها تعمل على خفض معدل نمو كثافة

الإلكترونات منذ المراحل الأولى لزمان النبضة كما يظهر تأثيرها أيضاً عند نهايتها ويقل مع زيادة ضغط الغاز .

Abstract

Numerical analysis is presented to investigate the electrical breakdown of helium and Krypton gases over a pressure range 4.5-3000 torr induced by a 248 nm excimer laser source of pulse length 18 ns operated at threshold intensity varies between, 4.0×10^{11} and 2.0×10^{13} W/cm² (Turcu et al 1997). The investigations are based on a modified electron cascade model, which solves numerically the time dependent Boltzmann equation for the electron energy distribution function (EEDF) and a set of rate equations describing the rate of change of the formed excited states population. In this work the He and Kr atoms are treated as a four state atoms namely; a ground state an ionized state and two excited states. For more realistic results, the rate coefficients and cross sections of the physical processes involved into the model are taken to vary with the electron energy. The result of computations showed a reasonably good agreement between the calculated threshold irradiance and the measured ones for both gases over the whole range of the gas pressure examined experimentally. A study of the effect of the physical processes on the breakdown threshold revealed that multi-photon ionization of the ground and excited states are the main process which contributes to the breakdown of Kr. For He however, only photoionization of the formed excited atoms are responsible for the generation of the seed electrons which execute the plasma formation. More over inspection of the actual contribution of loss processes to the breakdown of helium gas showed that No evidence for diffusion and recombination losses is observed for the whole gas pressure range. On the contrary for Kr diffusion losses are found to play a major role over the low pressure regime. Analysis of the calculated electron energy

distribution function and its parameters, viz, the time evolution of electrons, excited states population, ionization rate.....etc, reflected the importance of photo-ionization of the excited atoms in comparison with collisional ionization processes as a physical mechanism responsible for the breakdown of both gases under the experimental condition used in this work.

Summary

Although there have been a great deal of researches reported on the breakdown of gases by lasers operated at different wavelengths , the results obtained for shorter wavelengths, however, showed a healthy contradiction concerning the threshold intensity for breakdown in the nanosecond time scale under laser wavelengths in the VUV regime (Davis et al ,1991 and Thareja and Tambay, 1996). Moreover, in their measurements (Turcu et al ,1997) on the breakdown threshold intensity as a function of gas pressure for a number of rare gases (He, Ne, Ar and Kr) by a KrF laser operating at 248 nm wavelength and 18ns pulse duration 18 ns over a wide pressure range (4.5-3000 torr), it was found that threshold intensity varies between, 4.0×10^{11} and 2.0×10^{13} W/cm². The highest measured threshold intensities was corresponding to He (at pressures of 180- 3000 torr), while the lowest ones refer to Kr (over a pressure range varies between 4.5-300 torr). Generally the physical models that have been emerged from theory and experiment include processes acting as sources for seed electrons (multi-photon ionization, tunneling ionization and inverse Bremsstrahlung) as well as mechanisms responsible for the rapid buildup of electrons density (cascade ionization by collision).

Accordingly, in this work a numerical analysis is under taken to investigate the physical processes responsible for the breakdown of these two gases to find out the origin of this threshold intensity difference. The investigations are based on a modified realistic electron cascade model which is previously developed by Evans and Gamal (1980). The model solves numerically the time dependent Boltzmann equation for the electron energy distribution function (EEDF) and a set of rate equations describing the rate of change of the formed excited states population . The model considers the electron energy gain through inverse Bremsstrahlung

absorption and electron generation by both multi-photon ionization and collisional ionization of the ground state as well as these formed excited states. In this work the He and Kr atoms are treated as four state atoms namely; a ground state an ionized state and two excited states. For more reasonable results, the rate coefficients and cross sections of the physical processes involved into the model are taken to vary with the electron energy. A computer program (in Fortran 77) is developed to calculate the threshold intensity as a function of gas pressure at each pressure value for both gases. This enabled us to obtain a comparison between the calculated threshold intensity as a function of gas pressure and the measured ones for both gases. Reasonable agreement is shown for both of them over the whole range of gas pressure examined experimentally. This validates the applicability of the model to investigate the experimental measurement given by Turcu et al (1997). It is noticed here that over the common pressure range tested experimentally for the two gases the obtained thresholds for He lie about two order of magnitude above those obtained for Kr. Consequently, the study is performed to analyze the EEDF in order to find out the exact relationship between the physical processes, gas pressure and nature of gas viz, atomic number Z and ionization energy E_i . In addition the study of the time evolution of the electron density, excited states density as well as the excitation and ionization rates showed that for Kr (at the low pressure regime) electrons are mainly generated through Multi photon ionization process from ground and excited states. These electrons are found to have high probability to diffuse out of the focal region causing a pronounced loss of the electron density in particular at the lowest pressure region. This result explains the steep decrease of the threshold intensities with pressure associated with the Kr gas at this considerably low pressure regime. For He however, the analysis revealed that only multi-photon ionization of

the formed excited atoms is the main process which contributes to the breakdown phenomenon over the whole pressure range considered in this study. Electron impact ionization processes are found to convert only the ground state atoms into the excited states. No evidence for electron diffusion or recombination losses is observed for He over this pressure range (180 -3000 torr) . The noticeable slop shown in the I_{th} versus p relation is attributed to the effect of inelastic collision processes ,which lead to high rate of atomic excitation followed by an immediate ionization through multi-photon absorption processes.

Analyzing the temporal variation of the EEDF enabled the determination of the time and energy region at which plasma (breakdown) is formed as a function of gas pressure for both He and Kr gases. It was found that for He gas at low pressure (180 torr) the plasma develops before the end of the laser pulse with energy ranging from 1.0-2.0 eV. With the increase of gas pressure ($p= 3000$ torr) the plasma is produced at the end of the laser pulse and confines in a very small energy region near zero eV.